



**PENGARUH SUDUT PENGAPIAN TERHADAP UNJUK
KERJA MOTOR BAKAR 4 LANGKAH
BERBAHAN BAKAR GAS**

SKRIPSI

Oleh

Puji Kristiyanto

NIM 131910101087

**PROGRAM STUDI STRATA I TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2017**



**PENGARUH SUDUT PENGAPIAN TERHADAP UNJUK
KERJA MOTOR BAKAR 4 LANGKAH
BERBAHAN BAKAR GAS**

SKRIPSI

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

Oleh

Puji Kristiyanto

NIM 131910101087

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2017**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Negara Kesatuan Republik Indonesia (NKRI);
2. Kedua orang tua tercinta, Bapak Alex Supyantoro dan Ibu Sriyatin yang senantiasa memberikan restu, doa, kehangatan kasih sayang, dan pengorbanan yang luar biasa hingga saat ini;
3. Bapak dan Ibu guru tercinta dari sekolah dasar sampai dengan perguruan tinggi;
4. Bapak Dr. Nasrul Iminnafik, S.T., M.T. dan Bapak Moch. Edoward R., S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing dalam penyusunan skripsi ini;
5. Bapak Hary Sutjahjono, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Utama dan Bapak Robertus Sidartawan, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Anggota yang telah memberikan banyak saran demi terciptanya sebuah tulisan yang baik dan benar dalam penyelesaian skripsi ini;
6. Almamater Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember;
7. Dulur-dulur Teknik Mesin 2013 yang memberikan semangat kekeluargaan, ilmu dan motivasi selama perkuliahan hingga saat ini, salam *Solidarity Forever*;
8. Keluarga seperjuangan (Wasik, Zainuri, Rifqi, dan Fiqih) yang telah memberikan tenaga dan waktunya untuk membantu penelitian ini;
9. Angkringan Pakdhe Bogang dan Kantin Pak Kholik selaku penyuplai logistik kebutuhan jasmani dan rohani.
10. Serta civitas akademik baik lingkungan UNEJ maupun seluruh instansi pendidikan, perusahaan dan lembaga terkait.

MOTTO

Anda tidak akan mengetahui apa itu kesuksesan sebelum merasakan kegagalan,
kesuksesan itu bukanlah akhir segalanya, tetapi hanya sebuah pencapaian.



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini;

Nama : Puji Kristiyanto

NIM : 131910101087

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “PENGARUH SUDUT PENGAPIAN TERHADAP UNJUK KERJA MOTOR BAKAR 4 LANGKAH BERBAHAN BAKAR GAS” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan termasuk karya jiplakan. Saya selaku penulis bertanggung jawab penuh atas keabsahan dan kebenaran isi yang sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 16 November 2017

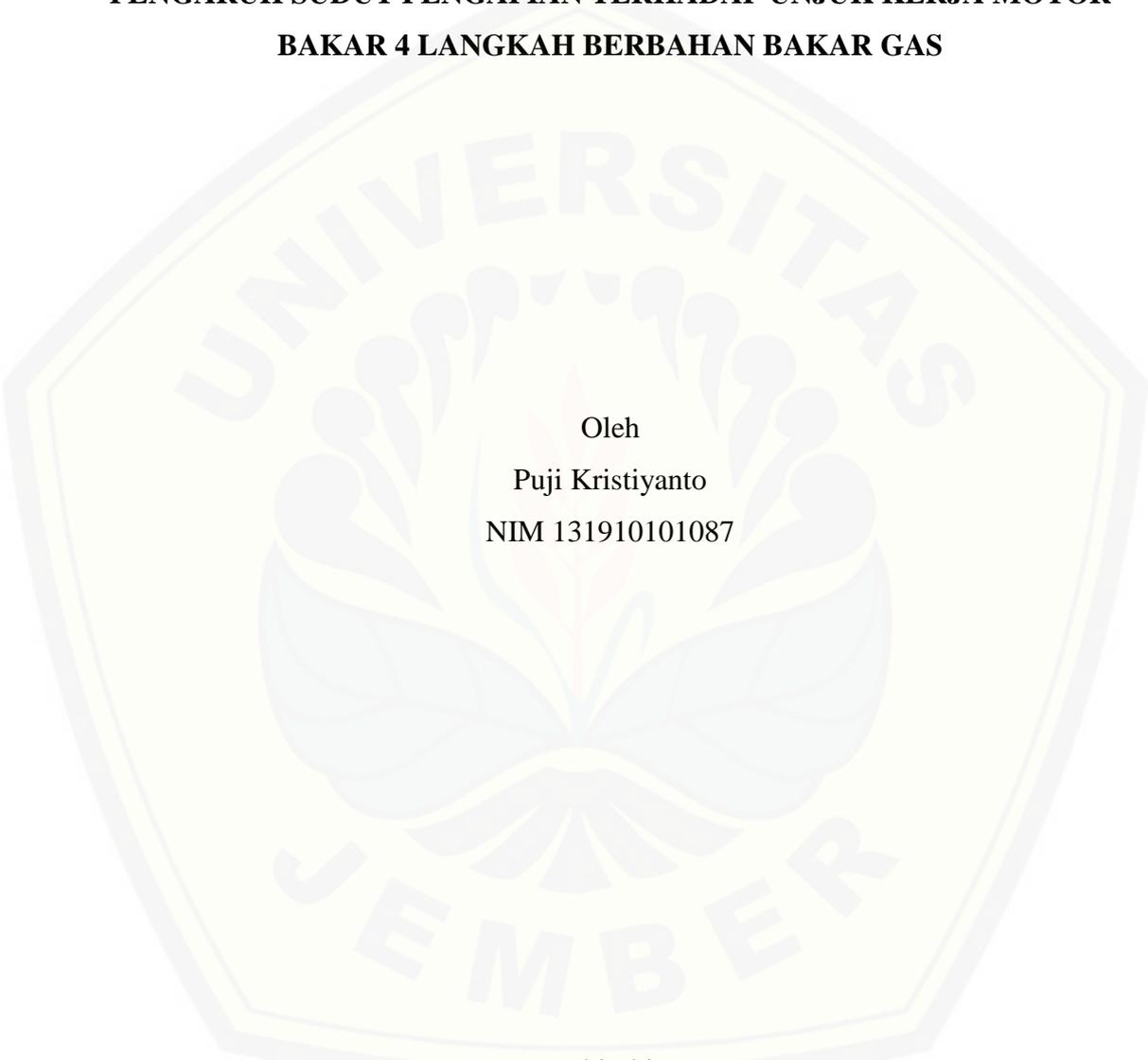
Yang menyatakan,

(Puji Kristiyanto)

NIM 131910101087

SKRIPSI

**PENGARUH SUDUT PENGAPIAN TERHADAP UNJUK KERJA MOTOR
BAKAR 4 LANGKAH BERBAHAN BAKAR GAS**



Oleh
Puji Kristiyanto
NIM 131910101087

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing Anggota : Moch. Edoward R., S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Sudut Pengapian Terhadap Unjuk Kerja Motor Bakar 4 Langkah Berbahan Bakar Gas” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Kamis, 30 November 2017

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

Dr. Nasrul Iminnafik, S.T., M.T.
NIP 19711114 199903 1 002

Moch. Edoward R., S.T., M.T.
NIP 19870430 201404 1 001

Dosen Penguji I,

Dosen Penguji II,

Hary Sutjahjono, S.T., M.T.
NIP 19681205 199702 1 002

Robertus Sidartawan, S.T., M.T.
NIP 19700310 199702 1 001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M. UM.
NIP 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

PENGARUH SUDUT PENGAPIAN TERHADAP UNJUK KERJA MOTOR BAKAR 4 LANGKAH BERBAHAN BAKAR GAS

Puji Kristiyanto, 131910101087; 2017; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Liquefied Petroleum Gas (LPG) merupakan gas minyak bumi yang dihasilkan dari pemurnian gas alam dan gas yang dihasilkan selama penyulingan minyak mentah. Komponen utama dari LPG adalah gas propane (C_3H_8) dan Butana (C_4H_{10}), LPG juga mengandung hidrokarbon lain dalam jumlah kecil yaitu etana (C_2H_6) dan pentana (C_5H_{12}).

Dalam penelitian ini, difokuskan tentang pengaruh beda sudut pengapian berbahan bakar gas LPG. Variasi yang digunakan adalah beda sudut pengapian 12° BTDC, 15° BTDC (standart), dan 18° BTDC dengan variasi putaran mesin 3 000 rpm, 4 000 rpm, 5 000 rpm, 6 000 rpm dan 7 000 rpm.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mesin Otomotif, Fakultas Teknik, Politeknik Negeri Jember untuk pengujian emisi gas buang dengan alat *Gas Analyzer*, pada pengujian daya dan torsi dilakukan di Bengkel Ahas Asia Sulfat Malang dengan menggunakan alat *Dynotest*, sedangkan untuk pengujian konsumsi bahan bakar dilakukan di Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Dari hasil penelitian menggunakan bahan bakar LPG, didapatkan nilai torsi maksimum sebesar 6,39 Nm diperoleh pada putaran mesin 3 765 rpm dengan sudut pengapian 18° BTDC, sedangkan nilai daya maksimum sebesar 5,48 kW diperoleh pada putaran mesin 8 602 rpm dengan sudut pengapian 18° BTDC. Pada pengujian emisi gas buang didapatkan nilai emisi CO optimum sebesar 0,143 % terjadi pada putaran mesin 7 000 rpm dengan sudut pengapian 15° BTDC, nilai emisi HC optimum sebesar 97 ppm terjadi pada putaran mesin 6 000 rpm dengan sudut pengapian 18° BTDC, nilai CO_2 optimum sebesar 1,4 % terjadi pada putaran mesin 3 000 rpm dengan sudut pengapian 12° BTDC, sedangkan nilai O_2 optimum sebesar 14,53 % terjadi pada putaran mesin 4 000 rpm dengan sudut pengapian 12° BTDC.

Berdasarkan nilai perbandingan konsumsi bahan, nilai konsumsi bahan bakar LPG dengan sudut pengapian 18° BTDC 47,94 % lebih hemat dibandingkan dengan bahan bakar premium.



SUMMARY

EFFECT OF IGNITION TIMING ON FUEL PERFORMANCE MEASURES 4 STROKE FUELED GAS

Puji Kristiyanto, 131910101087; 2017; *Mechanical Engineering Departement of Engineering Faculty of Jember.*

Liquefied Petroleum Gas (LPG) is a petroleum gas produced from the purification of natural gas and gas produced during crude oil refining. The main components of LPG are gas propane (C_3H_8) and butane (C_4H_{10}), LPG also contains other small hydrocarbons ethane (C_2H_6) and pentane (C_5H_{12}).

In this study, focused on the effect of different angle of ignition gas fuel LPG. The variations used are different ignition timing 12^0 BTDC, 15^0 BTDC (standart), and 18^0 BTDC with variation of engine speed 3 000 rpm, 4 000 rpm, 5 000 rpm, 6 000 rpm and 7 000 rpm.

This research is in Automotive Machine Laboratory of Faculty of Engineering, State Polytechnic of Jember for exhaust gas emission testing with Gas Analyzer. On testing power and torque done in Ahass Asia Sulfat Workshop Malang by using Dyno test machine, while for gas fuel consumption testing conducted at the Energy Conversion Laboratory, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

From the results of research using LPG fuel, o obtained a maximum torque value of 6.39 Nm obtained at 3 765 rpm engine rotation with 18^0 BTDC ignition timing, while the maximum power of 5,48 KW obtained at 8 602 rpm engine speed with 18^0 BTDC ignition timing. In the exhaust gas emission test obtained the value of CO optimum emission of 0.143% occurs at 7 000 rpm engine speed with 15^0 BTDC ignition timing, the optimum HC value of 97 ppm occurs at 6 000 rpm engine speed with 18^0 BTDC ignition timing, optimum CO_2 value 1.4% occurred at 3 000 rpm engine speed with 12^0 BTDC ignition timing, while the optimum O_2 value of 14.53% occurred at 4 000 rpm engine speed with 12^0 BTDC ignition timing. Based on the fuel consumption ratio, the fuel consumption of LPG with the 18^0 BTDC ignition angle is 47.94% more efficient than the gasoline fuel.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Tuhan yang maha esa. Atas segala rahmat dan karunianya-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Pengaruh Sudut Pengapian Terhadap Unjuk Kerja Motor Bakar 4 Langkah Berbahan Bakar Gas”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Tuhan yang maha esa yang telah memberikan berkat jasmani maupun rohani yang tidak pernah henti penulis rasakan;
2. Bapak Dr. Nasrul Iminnafik, S.T., M.T. dan Bapak Moch. Edowars R., S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu maupun pikiran dalam penyusunan skripsi ini;
3. Bapak Hary Sutjahjono, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Utama dan Bapak Robertus Sidartawan, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji anggota yang telah membantu memberikan ilmu dalam penyelesaian skripsi ini;
4. Ayah dan ibu yang selalu memberikan seluruh kasih sayang, semangat dan doa untuk penulis;
5. Bapak/Ibu Dosen Universitas Jember khususnya Jurusan Teknik Mesin yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
6. Guru-guruku sejak sekolah dasar hingga perguruan tinggi yang memberikan ilmu yang bermanfaat untuk penulis;
7. Dulur-dulur Teknik Mesin 2013 yang senantiasa memberikan motivasi, dukungan serta semangat selama mengikuti perkuliahan hingga saat ini, salam Solidarity Forever;
8. Semua pihak terkait yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa sebagai penulis tidak terlepas dari keterbatasan, yang biasanya mewarnai kadar ilmiah dari skripsi ini. Oleh karena itu, penulis selalu terbuka terhadap masukan dan saran dari semua pihak yang sifatnya membangun untuk kesempurnaan. Tidak lupa penulis menyampaikan permohonan maaf jika terjadi kesalahan penulisan. Akhir kata penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan dapat menjadi bahan acuan yang bermanfaat di kemudian hari.

Jember, 16 November 2017

Penulis



DAFTAR ISI

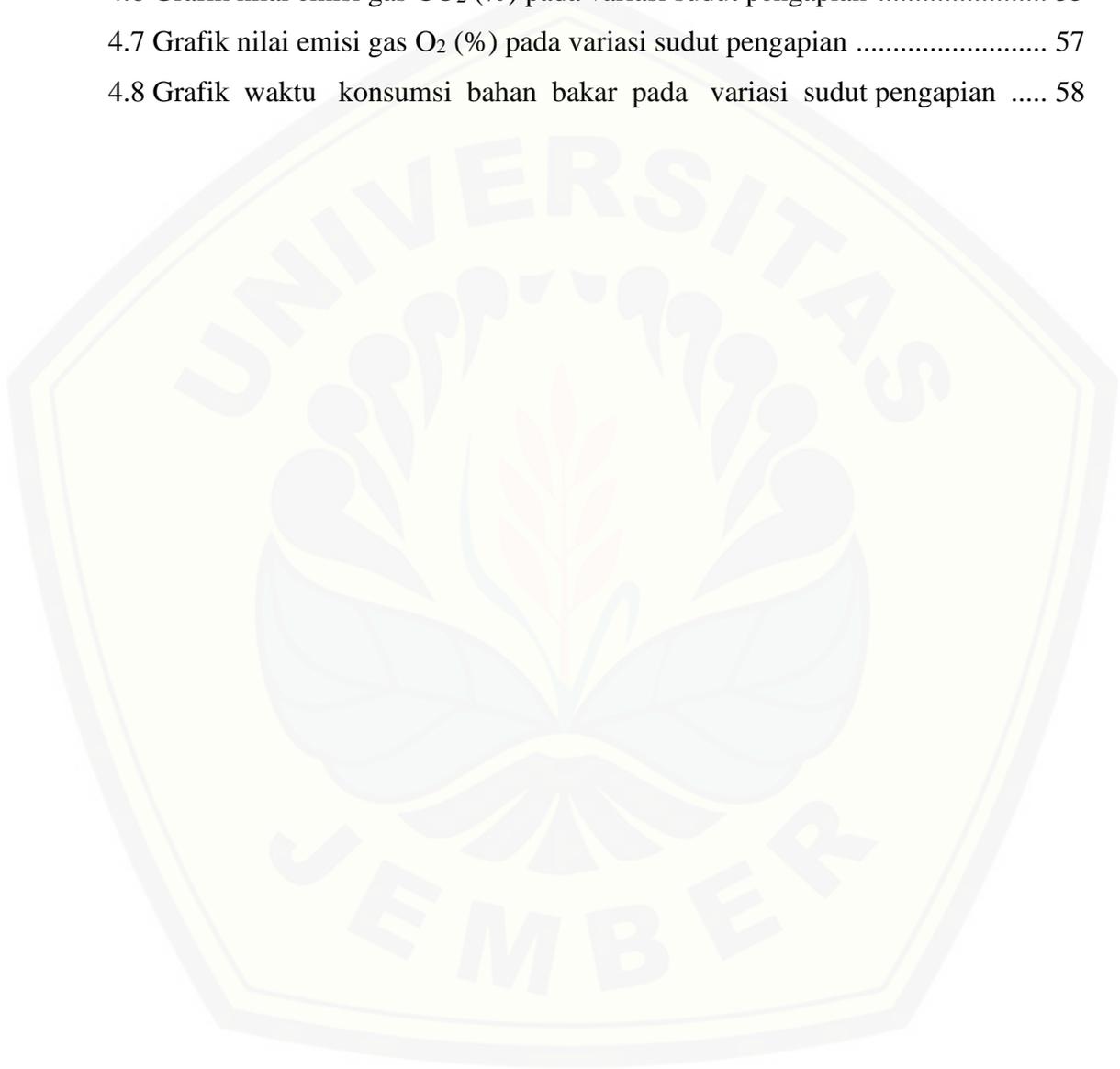
	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN	ii
MOTTO	iii
PERNYATAAN	iv
PEMBIMBING	v
PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Minyak dan Gas Indonesia	6
2.2 Karakteristik <i>Liquefied Petroleum Gas (LPG)</i>	9
2.2.1 Daya dan Konsumsi Bahan Bakar	13
2.2.2 Emisi Gas Buang	15
2.2.3 Karakteristik Pengapian LPG	17
2.3 Sistem Pengapian	18
2.4 Waktu Pengapian (Ignition Timing)	20
2.5 Hipotesa Penelitian	29

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	30
3.1 Metode Penelitian	30
3.2 Waktu dan Tempat.....	30
3.2.1 Waktu	30
3.2.2 Tempat	30
3.3 Alat dan Bahan	31
3.3.1 Alat	31
3.3.2 Bahan	32
3.4 Variabel Penelitian	32
3.4.1 Variabel Bebas	33
3.4.2 Variabel Terikat.....	33
3.5 Rancangan Penelitian	34
3.6 Prosedur Penelitian.....	34
3.6.1 Persiapan dan Pemeriksaan Alat dan Bahan	35
3.6.2 Tahap Pengambilan Data.....	35
3.7 Skema <i>Flow Chat</i> Penelitian	42
3.8 Skema <i>Flow Chat</i> Konsumsi Bahan Bakar.....	43
3.9 Skema <i>Flow Chat</i> Pengujian Performa Mesin	44
3.10 Skema <i>Flow Chat</i> Emisi Gas Buang	45
BAB 4. PEMBAHASAN	46
4.1 Data Hasil Penelitian	46
4.1.1 Analisa Daya dan Torsi	46
4.1.2 Analisa Emisi Gas Buang.....	50
4.1.3 Analisa Konsumsi Bahan Bakar.....	58
BAB 5. PENUTUP.....	61
5.1 Kesimpulan.....	61
5.2 Saran	62
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN.....	66

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Perkembangan jumlah kendaraan bermotor tahun 2000 sampai 2013 .	6
2.2 Konsumsi dan devisa minyak Indonesia	8
2.3 Volume produksi dan Konsumsi BBM di Indonesia	8
2.4 Cadangan gas Indonesia	9
2.5 Putaran mesin vs daya	14
2.6 Grafik konsumsi bahan bakar	14
2.7 Perbandingan emisi CO pada premium dan LPG	15
2.8 Perbandingan emisi HC pada premium dan LPG	16
2.9 Karakterisasi pembakaran bensin	17
2.10 Konstruksi Busi	19
2.11 Coil	19
2.12 Saat Pengapian	21
2.13 Posisi saat pengapian	22
2.14 Torsi vs rpm	23
2.15 Daya vs rpm	24
2.16 Grafik Hubungan Torsi pada Poros Roda dengan Bahan Bakar LPG pada Variasi Waktu Pengapian 130 BTDC, 100 BTDC dan 70 BTDC	25
2.17 Grafik Hubungan Daya pada Poros Roda dengan Bahan Bakar LPG pada Variasi Waktu Pengapian 130 BTDC, 100 BTDC dan 70 BTDC	25
2.18 Torsi pengereman terhadap putaran mesin	26
2.19 Daya pengereman terhadap putaran mesin	27
2.20 BSFC terhadap putaran mesin	28
2.21 AFR Relatif terhadap putaran mesin	28
3.1 Memodifikasi <i>pick up pulser</i>	33
3.2 Skema Instalasi <i>converter kit</i>	40
3.3 Skema sensor tekanan intake dan exhaust ruang bakar	41
3.4 Skema mixer / karburator LPG	41
4.1 Grafik pengaruh sudut pengapian terhadap nilai torsi	47

4.2 Grafik pengaruh sudut pengapian terhadap nilai daya	48
4.3 Grafik pengaruh sudut pengapian terhadap nilai daya dan torsi	48
4.4 Grafik nilai emisi gas CO (%) pada variasi sudut pengapian	51
4.5 Grafik nilai emisi HC (ppm) pada variasi sudut pengapian	53
4.6 Grafik nilai emisi gas CO ₂ (%) pada variasi sudut pengapian	55
4.7 Grafik nilai emisi gas O ₂ (%) pada variasi sudut pengapian	57
4.8 Grafik waktu konsumsi bahan bakar pada variasi sudut pengapian	58



DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Spesifikasi LPG PT Pertamina Indonesia	10
2.2 Perbandingan property bahan bakar LPG, Bensin, Diesel dan CNG....	12
3.1 Pengambilan data pengujian emisi gas buang.....	38
3.2 Pengambilan data pengujian konsumsi bahan bakar.....	39
3.3 Pengambilan data pengujian dyno test.....	39
3.1 Jadwal penelitian.....	42
4.1 Hasil rata-rata pengujian torsi dan daya maksimum	47
4.2 Nilai rata-rata emisi gas CO (%).....	51
4.3 Nilai rata-rata emisi gas HC (ppm)	52
4.4 Nilai rata-rata gas CO ₂ (%)	54
4.5 Nilai rata-rata gas O ₂ (%).....	56
4.6 Konsumsi bahan bakar terhadap putaran mesin (gr/s).....	58

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A. Tabel Data Pengujian Emisi Gas Buang.....	66
Lampiran A.1 Tabel hasil rata-rata pengujian emisi gas buang 3000 rpm bahan bakar LPG	67
Lampiran A.2 Tabel hasil rata-rata pengujian emisi gas buang 4000 rpm bahan bakar LPG	68
Lampiran A.3 Tabel hasil rata-rata pengujian emisi gas buang 5000 rpm bahan bakar LPG	69
Lampiran A.4 Tabel hasil rata-rata pengujian emisi gas buang 6000 rpm bahan bakar LPG	70
Lampiran A.5 Tabel hasil rata-rata pengujian emisi gas buang 7000 rpm bahan bakar LPG	71
Lampiran A.6 Tabel hasil rata-rata pengujian emisi gas buang bahan bakar Premium	72
 Lampiran B. Tabel Data Pengujian Konsumsi Bahan Bakar	 73
Lampiran B.1 Tabel hasil rata-rata pengujian konsumsi bahan bakar LPG dengan massa 20 gram pada putaran mesin 3000 rpm.....	73
Lampiran B.2 Tabel hasil rata-rata pengujian konsumsi bahan bakar LPG dengan massa 20 gram pada putaran mesin 4000 rpm.....	74
Lampiran B.3 Tabel hasil rata-rata pengujian konsumsi bahan bakar LPG dengan massa 20 gram pada putaran mesin 5000 rpm.....	75
Lampiran B.4 Tabel hasil rata-rata pengujian konsumsi bahan bakar LPG dengan massa 20 gram pada putaran mesin 6000 rpm.....	76
Lampiran B.5 Tabel hasil rata-rata pengujian konsumsi bahan bakar LPG dengan massa 20 gram pada putaran mesin 7000 rpm.....	77
Lampiran B.6 Tabel hasil rata-rata pengujian konsumsi bahan bakar Premium dengan massa 20 gram pada celah elektroda busi 0,7 mm	78

Lampiran C. Data Pengujian Torsi dan Daya Maksimum	79
Lampiran C.1 Tabel hasil pengujian torsi dan daya maksimum	79
Lampiran C.2 Gambar data hasil pengujian <i>dynotest</i>	80
Lampiran E. Data dan Gambar Kaliberasi Sensor	85
Lampiran E.1 Tabel data kaliberasi sensor 1 <i>exhaust</i>	85
Lampiran E.2 Grafik kaliberasi sensor 1 <i>exhaust</i>	85
Lampiran E.3 Tabel data kaliberasi sensor 2 <i>intake</i>	86
Lampiran E.4 Grafik kaliberasi sensor 2 <i>intake</i>	86
Lampiran E.5 Gambar kaliberasi sensor tekanan	87
Lampiran E.6 Gambar pengujian sensor tekanan	87
Lampiran F. Gambar Proses Pengujian Daya dan Torsi.....	88
Lampiran F.1 Gambar alat uji <i>Dynotest</i>	88
Lampiran F.2 Gambar Pengambilan data <i>Dynotest</i>	89
Lampiran G. Gambar Proses Emisi Gas Buang	90
Lampiran G.1 Gambar alat uji <i>Gas Analyzer</i>	90
Lampiran G.2 Gambar pengujian emisi gas buang	90
Lampiran H. Gambar Proses Pengujian Konsumsi Bahan Bakar.....	91
Lampiran H.1 Pengujian konsumsi bahan bakar	91
Lampiran H.2 Penimbangan uji konsumsi bahan bakar LPG	91
Lampiran I. Gambar Alat dan Bahan Penelitian	92
Lampiran I.1 Gambar skema <i>converter kit</i>	92
Lampiran I.2 Gambar alat dan bahan penelitian	93

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring bertambahnya populasi kendaraan bermotor berbahan bakar fosil menyebabkan meningkatnya konsumsi bahan bakar fosil, hal ini berbanding terbalik dengan ketersediaan jumlah bahan bakar fosil yang ada. Selain itu penggunaan bahan bakar fosil menyebabkan dampak buruk bagi kebersihan udara. Menurut Soedomo, dkk, 1990, transportasi darat memberikan kontribusi yang signifikan terhadap setengah dari total emisi SPM₁₀, untuk sebagian besar timbal, CO, HC, dan NO_x di daerah perkotaan, dengan konsentrasi utama terdapat di daerah lalu lintas yang padat, dimana tingkat pencemaran udara sudah dan/atau hampir melampaui standar kualitas udara ambient.

Salah satu alternatif upaya untuk mengatasi dampak buruk penggunaan bahan bakar fosil adalah dengan mengganti bahan bakar fosil ke bahan bakar gas (BBG). Beberapa jenis BBG diantaranya adalah Liquid Petroleum Gas (LPG), Compression Natural Gas (CNG), Liquid Natural Gas (LNG) dan gas hydrogen (Setiyo, 2012). Dengan meningkatnya kesadaran perlindungan terhadap lingkungan dan konservasi energi di seluruh dunia, penelitian kendaraan yang menggunakan bahan bakar alternatif yang bersih telah menjadi subjek penting. Baru-baru ini, LPG secara luas diterima sebagai bahan bakar alternatif untuk kendaraan, karena LPG adalah bahan bakar yang bersih dan memiliki nilai oktan yang tinggi dan kecepatan nyala lebih besar dan batas mudah terbakar lebih luas dari pada bensin. Jumlah ketersediaan LPG dipasaran juga sangat melimpah dan dengan harga yang terjangkau, khususnya untuk kemasan 3 kg dan 12 kg. Ketersediaan gas LPG produksi PT Pertamina Indonesia ukuran 3 kg dan 12 kg yang banyak tersebar di seluruh wilayah menjadi salah satu solusi untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar transportasi yang saat ini masih menggunakan bahan bakar minyak bumi (Setiyo, 2013).

Berdasarkan hasil penelitiannya Anton (2013), Pemanfaatan LPG secara umum dapat berdampak pada pengurangan kandungan emisi gas buang CO dan HC,

dikarenakan rendahnya kandungan karbon pada LPG dibandingkan dengan premium dan hasil emisi yang tidak melebihi standar maksimal ambang batas emisi yang di iijinkan yaitu 5,5 % untuk CO dan 2400 ppm untuk HC. Mahmud dan Sungkono (2015), dalam penelitiannya menyebutkan bahwa penggunaan bahan bakar LPG pada sepeda motor Honda Supra X 125 tahun perakitan 2011 untuk kisaran putaran mesin 1500 rpm – 9000 rpm menghasilkan karbon monoksida (CO) lebih rendah 59,8 %, karbon dioksida (CO₂) lebih rendah 48,95 %, hidrokarbon (HC) lebih tinggi 48,13 % bila dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar premium.

Penggunaan LPG sebagai bahan bakar alternatif berdampak pada penurunan performa motor. Penurunan unjuk kerja ini karena mesin tersebut dirancang untuk berbahan bakar bensin. Penyebab penurunan unjuk kerja tersebut disebabkan oleh perbedaan karakteristik dari penyalaan kedua bahan bakar tersebut (Yunianto B, 2009). Nu'man dan Siregar (2013), dalam penelitiannya penggunaan LPG sebagai bahan bakar alternatif menghasilkan torsi yang cenderung menurun dibandingkan menggunakan bahan bakar pertamax. Pada pemakaian pertamax, torsi terendah sebesar 0,69 kgf.m didapat pada 7000 rpm dan torsi tertinggi sebesar 1,84 kgf.m didapat pada 3000 rpm. Pada penggunaan LPG, torsi terendah sebesar 0,26 kgf.m pada 7000 rpm dan torsi tertinggi sebesar 1,8 kgf.m pada 2500 rpm. Sementara untuk penggunaan bahan bakar LPG yang ditambahkan HHO, torsi terendah sebesar 0,16 kgf.m 7000 rpm dan torsi tertinggi sebesar 1,64 kgf.m pada putaran 2000 rpm. Hal ini disebabkan waktu pengapian (*timing*) yang ideal untuk LPG dan HHO yang berbeda. Namun penggunaan LPG sebagai bahan bakar alternatif dapat menghemat konsumsi bahan bakar, Arijiyanto dan Usman (2015) dalam penetiannya penggunaan bahan bahan bakar LPG dapat menghemat penggunaan bahan bakar sebesar 50%.

Salah satu cara untuk meningkatkan performa motor menggunakan bahan bakar LPG sebagai alternatif pengganti bensin adalah dengan mengatur ulang sudut pengapian dari motor tersebut, sehingga waktu penyalaannya menjadi lebih tepat. Waktu penyalaan adalah saat dimana bunga api dipercikkan oleh busi untuk membakar campuran udara dan bahan bakar yang dikompresi oleh piston,

kemudian menghasilkan tekanan yang digunakan untuk menghasilkan langkah kerja (Machmud dkk., 2013). Sistem pengapian berfungsi mengatur proses pembakaran campuran bahan bakar dan udara di dalam silinder dengan waktu yang telah ditentukan sesuai dengan karakteristik waktu penyalaan dari bahan bakar tersebut. Agar sistem pengapian berfungsi secara optimal, maka sistem pengapian harus memiliki beberapa kriteria yaitu, percikan bunga api harus kuat, saat pengapian harus tepat, dan sistem pengapian harus kuat dan tahan (Setiyono, dkk, 2013).

Setiyono, dkk, (2013) dalam penelitiannya Torsi yang dihasilkan oleh sepeda motor dengan bahan bakar LPG pada waktu pengapian dimajukan (13 derajat sebelum TMA) paling tinggi dibandingkan dengan variasi waktu pengapian yang lain, yaitu 7,31 Nm pada putaran mesin 6088 rpm. Torsi mengalami penurunan sebesar 1,34 Nm dari torsi yang dihasilkan sepeda motor dengan bahan bakar premium pada waktu pengapian standar yaitu 8,65 Nm pada putaran mesin 5337 rpm. Daya yang dihasilkan oleh sepeda motor dengan bahan bakar LPG pada waktu pengapian dimajukan (13 derajat sebelum TMA) paling tinggi dibandingkan dengan variasi waktu pengapian yang lain, yaitu 6,9 HP pada putaran mesin 7591 rpm. Daya mengalami penurunan sebesar 0,9 HP dari daya yang dihasilkan sepeda motor dengan bahan bakar premium pada waktu pengapian standar yaitu 7,8 HP pada putaran mesin 7344 rpm.

Yunianto B (2009), dalam penelitiannya menyebutkan bahwa torsi yang dihasilkan oleh LPG pada sudut pengapian 11° lebih tinggi dari torsi pada variasi sudut pengapian yang lain, yaitu pada 4000 rpm dengan torsi 8.309 Nm. Daya yang dihasilkan LPG 11° lebih tinggi dari daya pada variasi sudut pengapian yang lain, pada 5000 rpm dengan daya pengereman sebesar 3,673 kW. Untuk analisa konsumsi bahan bakar spesifik (BSFC) bahwa nilai BSFC terbaik untuk bahan bakar LPG pada pengapian 11° sebelum TMA dengan nilai BSFC 0,111 kg/kWh pada 6000 rpm.

Pada penelitian ini, peneliti tertarik untuk mengetahui pengaruh sudut pengapian terhadap unjuk kerja motor 4 langkah berbahan bakar gas, diharapkan dalam penelitian ini dapat mengetahui sudut pengapian yang sesuai untuk motor 4

langkah yang menggunakan bahan bakar gas sehingga performa yang dihasilkan menjadi lebih baik dan tingkat emisi gas buang yang rendah.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi sudut pengapian terhadap torsi motor bakar 4 langkah berbahan bakar gas LPG ?
2. Bagaimana pengaruh variasi sudut pengapian terhadap emisi gas buang motor bakar 4 langkah berbahan bakar gas LPG ?
3. Bagaimana pengaruh variasi sudut pengapian terhadap konsumsi bahan bakar motor bakar 4 langkah berbahan bakar gas LPG ?

1.3 Tujuan

1. Dapat mengetahui pengaruh sudut pengapian terhadap torsi motor bakar 4 langkah berbahan bakar gas LPG.
2. Untuk menganalisis emisi gas buang yang ditimbulkan akibat perubahan waktu penyalaan sehingga didapatkan sudut pengapian yang optimal.
3. Dapat mengetahui pengaruh sudut pengapian terhadap konsumsi bahan bakar motor bakar 4 langkah berbahan bakar gas LPG.

1.4 Batasan Masalah

Untuk memperjelas, menyederhanakan dan menghindari meluasnya masalah maka diberi batasan-batasan sebagai berikut:

1. Kandungan LPG produksi PT Pertamina Indonesia dengan kemasan 12 kg dianggap sama yaitu terdiri dari 50% propane dan 50% Butane.
2. Semua alat dan bahan dalam penelitian ini sesuai dengan standart dan dalam keadaan normal.
3. Tekanan dan suhu udara di lingkungan dianggap tetap dalam setiap percobaan.
4. Performa magnet yang digunakan dianggap sama.
5. Rasio udara dan bahan bakar (AFR) dianggap tetap dalam setiap pengujian.

6. Hanya meneliti emisi gas buang (CO, HC, CO₂ dan O₂).

1.5 Manfaat

1. Memperoleh kerja mesin yang maksimal dan optimal baik dilihat dari torsi, daya, konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang dengan mengatur sudut pengapian yang sesuai.
2. Hasil yang diperoleh akan memberikan informasi kepada masyarakat tentang sudut pengapian yang sesuai terhadap motor 4 langkah berbahan bakar gas LPG.
3. Mampu meningkatkan kualitas ilmu pengetahuan dan sebagai pertimbangan penelitian selanjutnya tentang sistem pengapian pada motor berbahan bakar gas LPG dengan variasi sudut pengapian.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Minyak dan Gas Indonesia

Pertumbuhan jumlah kendaraan yang terus meningkat tiap tahun mempengaruhi peningkatan jumlah kebutuhan bahan bakar minyak (BMM) di Indonesia. Dari data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2016 menyebutkan jumlah kendaraan di Indonesia baik mobil penumpang, bis, truk dan sepeda motor mengalami peningkatan seiring bertambahnya tahun. Dilihat dari gambar 2.1, rata-rata kenaikan jumlah kendaraan di Indonesia pada tahun 2010 sampai tahun 2013 mencapai 9.195.581 unit dan peningkatan jumlah kendaraan terbanyak didominasi oleh kendaraan sepeda motor yang mencapai 7.884.821 unit tiap tahun.

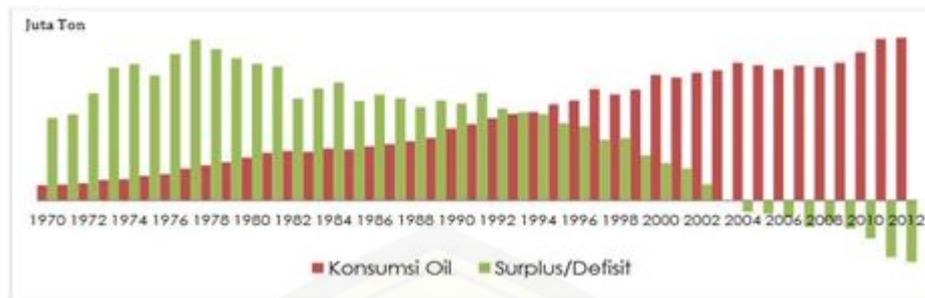
Tahun	Mobil Penumpang	Bis	Truk	Sepeda Motor	Jumlah
2000	3038913	666280	1707134	13563017	18975344
2001	3189319	680550	1777293	15275073	20922235
2002	3403433	714222	1865398	17002130	22985183
2003	3792510	798079	2047022	19976376	26613987
2004	4231901	933251	2315781	23061021	30541954
2005	5076230	1110255	2875116	28531831	37623432
2006	6035291	1350047	3398956	32528758	43313052
2007	6877229	1736087	4234236	41955128	54802680
2008	7489852	2059187	4452343	47683681	61685063
2009	7910407	2160973	4452343	52767093	67336644
2010	8891041	2250109	4687789	61078188	76907127
2011	9548866	2254406	4958738	68839341	85601351
2012	10432259	2273821	5286061	76381183	94373324
2013	11 484 514	2 286 309	5 615 494	84 732 652	104 118 969

Gambar 2.1 Perkembangan jumlah kendaraan bermotor tahun 2000 sampai 2013 (Badan Pusat Statistik (BPS) Indonesia, 2016)

Jumlah kendaraan yang semakin meningkat tiap tahun berpengaruh terhadap peningkatan polusi udara dan gas rumah kaca (GRK) di sebagian besar negara di dunia. Pembakaran sempurna kendaraan bermotor akan selalu membentuk karbon dioksida (CO₂) dan uap air (H₂O) yang tidak berbahaya bagi kesehatan manusia, tetapi pada kenyataannya pembakaran sempurna sangat sulit didapatkan. Polusi udara yang berbahaya bagi kesehatan manusia seperti hidrokarbon (HC), oksida nitrogen (NO_x),

karbon monoksida (CO) dan *particulate matter* (PM) berasal dari proses pembakaran yang tidak sempurna (Esteves dan Barbosa, 2007). Tingginya emisi gas buang pada kendaraan bermotor disebabkan oleh kurang sempurnanya proses pembakaran di dalam silinder, sehingga dihasilkan gas dan partikel sisa pembakaran atau emisi gas buang yang mengandung unsur polutan yang berbahaya bagi kesehatan (Sriyanto dkk., 2010). Dalam kondisi kaya, kekurangan gas oksigen pada percampuran bahan bakar dan udara menghasilkan kadar konsentrasi hidrokarbon (HC) dan karbon monoksida (CO) yang tinggi, hal tersebut terjadi karena tidak adanya proses oksidasi sehingga terjadi proses pembakaran yang tidak sempurna. Gas CO merupakan produk dari hasil pembakaran miskin yang didominasi dengan waktu pembakaran yang kurang tepat dan temperatur yang rendah. Presentasi kadar CO meningkat dalam keadaan stasioner, sedangkan konsentrasi CO rendah pada saat kecepatan konstan, karena CO dapat diubah menjadi CO₂ dengan oksidasi. Udara mengandung 78 % gas nitrogen, polutan NO_x pada gas buang dihasilkan akibat pembakaran dengan temperatur tinggi diatas 1800 °C, karena gas nitrogen akan bereaksi dengan oksigen pada saat pembakaran (Aditya dan Arijanto, 2012)

Indonesia merupakan salah satu negara sumber produksi minyak mentah di dunia. Indonesia menempati posisi ke-24 sebagai negara produsen minyak mentah dari 53 negara di dunia, sedangkan di asia pasifik, Indonesia menempati posisi ke-2 setelah China. Pada gambar 2.2 menyebutkan penurunan kinerja produksi dengan peningkatan konsumsi minyak bumi tiap tahun, sehingga pada akhirnya Indonesia mengalami defisit minyak pada tahun 2004 sekitar 5 juta ton (Nasir, 2014). Keadaan tersebut membuat Indonesia harus impor balik minyak mentah maupun hasil olahan minyak bumi ke negara lain.



Gambar 2.2 Konsumsi dan devisa minyak Indonesia (PB *Statistical Review*, 2013)

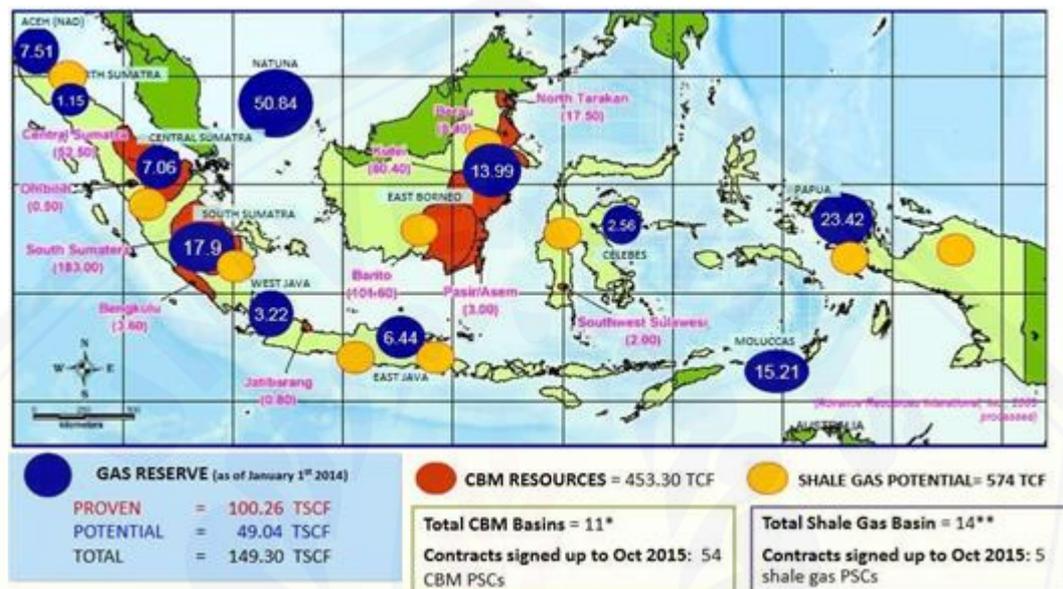
Berdasarkan data *BP Statistical Review* (2016), pada tahun 2015 Indonesia menempati posisi 14 dunia didalam hal konsumsi minyak bumi dengan pemakaian sebesar 1,628 juta barrel minyak per hari, sedangkan produksi minyak Indonesia hanya 825 ribu barrel per hari. Dilihat dari data BPS tahun 2016 pada gambar 2.3, menyebutkan kebutuhan masyarakat Indonesia akan bahan bakar minyak bumi lebih dari 60.000.000 kiloliter per tahun, sedangkan rata-rata nilai produksi minyak bumi di Indonesia pada tahun 2011 sampai 2015 hanya mencapai 38.113.319 kiloliter per tahun, sehingga untuk memenuhi kekurangan tersebut, pemerintah melakukan impor minyak bumi sebesar $\pm 30.000.000$ kiloliter pertahun.



Gambar 2.3 Volume produksi dan konsumsi BBM di Indonesia (Kementerian ESDM Republik Indonesia, 2016)

Dilihat dari sisi lain, Indonesia mempunyai cadangan gas yang cukup besar. Dari data kementerian ESDM tahun 2016 (pada gambar 2.4), total cadangan gas di Indonesia pada tahun 2014 mencapai 149,30 TSCF. Dari data PB *Statistical Review*

(2016) menyebutkan cadangan gas bumi di Indonesia tahun 2015 mencapai 2,8 TCM, dengan nilai produksi sebesar 75 BCM (sekitar 2,68 % dari total cadangan gas bumi), sedangkan konsumsi gas bumi di Indonesia hanya 39,7 BCM, sehingga sisa produksi gas di Indonesia di ekspor ke luar.



Gambar 2.4 Cadangan gas Indonesia (Kementerian ESDM Republik Indonesia, 2016)

2.2 Karakteristik *Liquefied Petroleum Gas* (LPG)

Liquefied Petroleum Gas (LPG) merupakan gas minyak bumi yang dicairkan dengan menambah tekanan dan menurunkan suhunya, LPG merupakan hasil dari pemurnian gas alam dan gas yang dihasilkan selama penyulingan minyak mentah. Pundkar dkk. (2012) menyebutkan bahwa 55 % gas LPG berasal dari pemurnian gas alam dan 45 % berasal dari penyulingan minyak mentah. Komponen utama dari LPG adalah gas propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}), LPG juga mengandung hidrokarbon lain dalam jumlah kecil yaitu (C_2H_6) dan pentana (C_5H_{12}) (Brevit, 2012). Pada table 2.1 merupakan spesifikasi komposisi campuran LPG dipasaran produksi PT Pertamina Indonesia mengandung 50 % propana dan 50 % butana dengan penambahan zat mercaptan untuk memberikan bau khas sehingga dapat dideteksi dengan cepat ketika terjadi kebocoran gas. LPG PT Pertamina Indonesia menyediakan tabung kemasan ukuran 3 kg, 6 kg, 12 kg dan 50 kg.

Tabel 2.1 Spesifikasi LPG PT Pertamina Indonesia

LPG Mixture specification

	Min	Max	Method
Specific Gravity at 60/60 °F	to be reported	to be reported	ASTM D-1657
Vapour Pressure 100 °F, psig	-	120	ASTM D-1267
Weathering Test 36 °E, % vol	95	-	ASTM D-1837
Copper Corrosion, thr, 100 °F	-	ASTM No. 1	ASTM D-1837
Total Sulfur, gr/100 cuft	-	15	ASTM D-784
Water Content	No Free Water	No Free Water	Visual
Composition:			ASTM D-2163
<input type="checkbox"/> C1 % vol		0.2	
<input type="checkbox"/> C3 & C4 % vol	97.5		
<input type="checkbox"/> C5 & heavier % vol		2.0	
Ethyl or Butyl. MI/1000 AG	50	50	
Mercaptan Added			

LPG Propane specification

	Min	Max	Method
Specific Gravity at 60/60 °F		to be reported	ASTM D-1657
Vapour Pressure 100 °F, psig	-	210	ASTM D-1267
Weathering Test 36 °E,% vol	95	-	ASTM D-1837
Copper Corrosion, thr, 100 °F	-	ASTM No. 1	ASTM D-1838
Total Sulfur, gr/100 cuft	-	15	ASTM D-784
Water Content		No Free Water	Visual
Composition:			ASTM D-2163
□ C3 Total % vol	95		
□ C4 & heavier % vol		2.5	
Ethyl or Buihyl. ml/1000 AG	50		
Mercaptan Added			

LPG Butane Specification

	Min	Max	Method
Specific Gravity at 60/60 °F	-	to be reported	ASTM D-1657
Vapour Pressure 100 °F, psig	-	70	ASTM D-1267
Weathering Test 36 °E,% vol	95	-	ASTM D-1837
Copper Corrosion, thr, 100 °F	-	ASTM No. 1	ASTM D-1838
Total Sulfur, gr/100 cuft	-	15	ASTM D-784
Water Content		No Free Water	Visual
Composition:			ASTM D-2163
□ C4 % vol	97.5		
□ C5 % vol		2.5	
□ C6 & heavier % vol	Nil		
Ethyl or Buihyl. ml/1000 AG	50		
Mercaptan Added			

(//www.pertamina.com/index.php/detail/read/liquefied-petroleum-gas#)

Tabel 2.2 Perbandingan properti bahan bakar LPG, Bensin, Diesel dan CNG

No	Properti / Bahan bakar	Gasoline	Diesel	LPG	CNG
1	Struktur Kimia	C ₈ H ₁₈ / C ₄ - C ₁₂	C ₈ – C ₂₅	C ₃ H ₈ dan C ₄ H ₁₀	CH ₄
2	Kepadatan Energi (<i>Energy density</i>)	109.000 – 125.000	128.000 – 30.000	84.000	35.000 @ 3.000
3	Nilai Oktan	86 – 94	8 – 15	105 +	120 +
4	<i>Lower Heating Value</i> (<i>MJ/kg</i>)	43,44	42,79	46,60	47,14
5	<i>High Heating Value</i> (<i>MJ/kg</i>)	46,53	45,76	50,15	52,20
6	<i>Stoichiometric air/fuel</i> <i>ratio (AFR)</i>	14,7	14,7	15,5	17,2
7	<i>Density at 15^oC, kg/m³</i> <i>Autoignition</i>	737	820 – 950	1,85 / 505	0,78
8	<i>Temperature, K</i>	531	588	724	755 – 905
9	<i>Specific Gravity</i> <i>60^oF/60^o</i>	0,72– 0,78	0,508	0,85	0,424

(Pundkar, 2012)

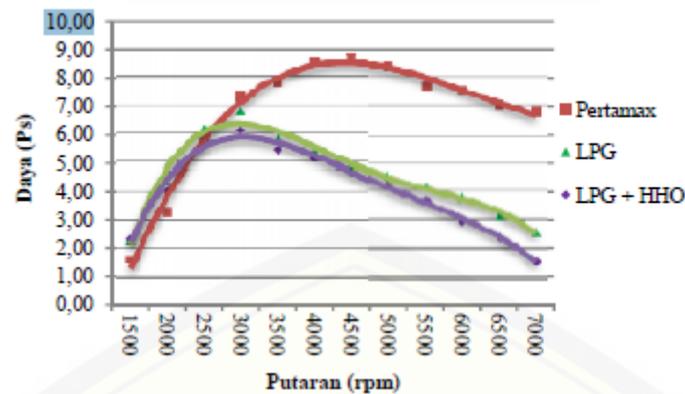
LPG pada umumnya memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan mesin bensin, salah satunya karakteristik pembakaran yang efisien yang dapat digunakan untuk bahan bakar alternatif kendaraan transportasi. LPG memiliki nilai oktan lebih tinggi (105-112) dibandingkan dengan bensin (91-97), yang memungkinkan untuk digunakan pada rasio kompresi yang lebih tinggi sehingga dapat meningkatkan efisiensi termal mesin (Kalra dkk,2014). Nilai oktan bahan bakar menunjukkan bagaimana perambatan bahan bakar akan terbakar dan seberapa baik bahan bakar akan menolak pra-ignition sebelum penyalaan bunga api busi. Bahan bakar yang memiliki nilai oktan lebih tinggi dapat dibakar pada rasio kompresi lebih tinggi (CR). Bahan bakar yang memiliki CR lebih tinggi menunjukkan seberapa besar tekanan yang diberikan sebelum bahan bakar terbakar secara spontan, semakin tinggi nilai oktan maka bahan bakar lebih lambat terbakar

sehingga dapat meningkatkan *output* daya mesin dan tidak meninggalkan residu yang dapat mengganggu kinerja mesin maupun terjadi *destructive knocking* (Pundkar dkk., 2012). LPG memiliki kandungan energi persatuan massa relatif tinggi dari bahan bakar bensin, tetapi untuk kandungan energi persatuan volumenya lebih rendah. Kandungan energi LPG sebesar 46,23 MJ/kg dan 26 MJ/l, sedangkan kandungan energi bensin sebesar 44,4 MJ/kg dan 34,8 MJ/l (IEA ETSAP, 2010).

2.2.1 Daya dan Konsumsi Bahan Bakar LPG

Kelemahan pada mesin bahan bakar LPG sebagai alternative pengganti bensin adalah menurunnya kinerja dari mesin tersebut. Penurunan unjuk kerja ini karena mesin tersebut memang dirancang untuk bahan bakar bensin, kecuali kalau mesin itu memang dirancang untuk berbahan bakar gas. Penurunan unjuk kerja motor ini disebabkan oleh adanya perbedaan karakteristik penyalaan dari kedua bahan bakar tersebut. Salah satu cara untuk meningkatkan unjuk kerja dari motor bensin yang menggunakan bahan bakar gas adalah dengan mengatur penyalaan pengapian sehingga waktu pengapiannya menjadi lebih tepat (Yunianto. 2009).

Nu'man dan Siregar (2013), dalam penelitiannya penggunaan LPG sebagai bahan bakar alternatif menghasilkan torsi yang cenderung menurun dibandingkan menggunakan bahan bakar pertamax. Pada pemakaian pertamax, torsi terendah sebesar 0,69 kgf.m didapat pada 7000 rpm dan torsi tertinggi sebesar 1,84 kgf.m didapat pada 3000 rpm. Pada penggunaan LPG, torsi terendah sebesar 0,26 kgf.m pada 7000 rpm dan torsi tertinggi sebesar 1,8 kgf.m pada 2500 rpm. Sementara untuk penggunaan bahan bakar LPG yang ditambahkan HHO, torsi terendah sebesar 0,16 kgf.m 7000 rpm dan torsi tertinggi sebesar 1,64 kgf.m pada putaran 2000 rpm. Hal ini disebabkan waktu pengapian (*timing*) yang ideal untuk LPG dan HHO yang berbeda.



Gambar 2.5 Putaran mesin vs Daya (Nu'man dan Siregar, 2013)

Arijianto dan Usman (2015) melakukan penelitian tentang penggunaan gas sebagai bahan bakar pada sepeda motor bermesin injeksi, dalam penelitiannya peneliti membandingkan antara bahan bakar LPG dengan bahan bakar premium dalam putaran 3000 rpm sampai 8000 rpm. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 2.6, bahwa penggunaan mesin injeksi mampu menghemat bahan bakar LPG sampai dengan 50 % dibandingkan dengan bahan bakar premium. Pada grafik juga terlihat bahwa nilai torsi dan daya mesin LPG hanya 5% lebih rendah dari mesin berbahan bakar premium, sehingga dengan bahan bakar yang sama mesin berbahan bakar LPG akan mampu memberikan torsi dan daya mesin lebih tinggi dari bahan bakar bensin.



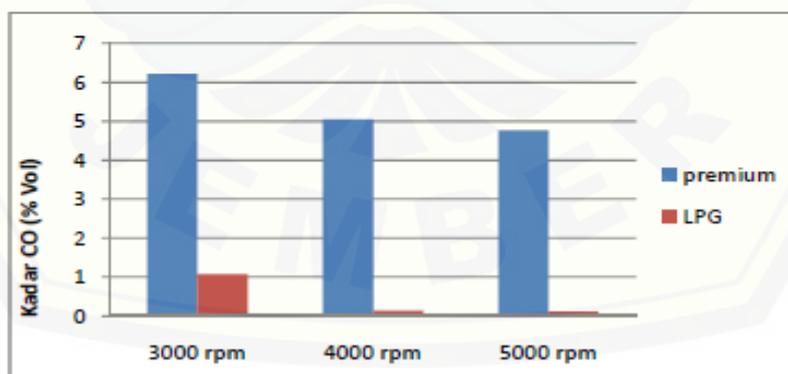
Gambar 2.6 Grafik konsumsi bahan bakar (Arijianto dan Usman, 2015)

2.2.2 Emisi Gas Buang

LPG merupakan bahan bakar yang menghasilkan gas buang ramah terhadap lingkungan. Berdasarkan hasil penelitiannya Anton (2013), Pemanfaatan LPG secara umum dapat berdampak pada pengurangan kandungan emisi gas buang CO dan HC, dikarenakan rendahnya kandungan karbon pada LPG dibandingkan dengan premium dan hasil emisi yang tidak melebihi standar maksimal ambang batas emisi yang di ijinkan yaitu 5,5 % untuk CO dan 2400 ppm untuk HC. Mahmud dan Sungkono (2015), dalam penelitiannya menyebutkan bahwa penggunaan bahan bakar LPG pada sepeda motor Honda Supra X 125 tahun perakitan 2011 untuk kisaran putaran mesin 1500 rpm – 9000 rpm menghasilkan karbon monoksida (CO) lebih rendah 59,8 %, karbon dioksida (CO₂) lebih rendah 48,95 %, hidrokarbon (HC) lebih tinggi 48,13 % bila dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar premium.

Tabel 5. Emisi CO

Penguujian	3000 rpm		4000 rpm		5000 rpm	
	Premium (% Vol)	LPG (% Vol)	Premium (% Vol)	LPG (% Vol)	Premium (% Vol)	LPG (% Vol)
1	6.073	1.643	5.126	0.122	4.717	0.117
2	6.339	0.728	4.951	0.145	4.818	0.105
3	6.229	0.861	5.083	0.137	4.762	0.128
Rerata	6.213	1.077	5.053	0.135	4.765	0.117

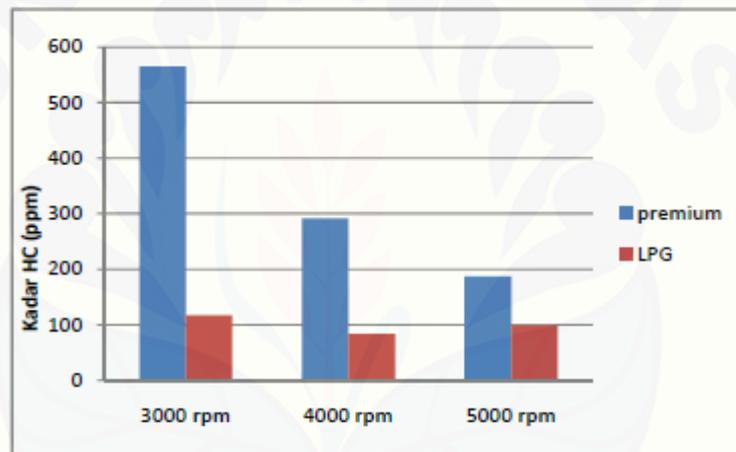


Gambar 2.7 Perbandingan emisi CO pada premium dan LPG (Mahmud dan Sungkono, 2015)

Dari gambar 2.7 dapat dilihat bahwa pada setiap kenaikan rpm kadar emisi CO cenderung menurun pada penggunaan bahan bakar premium dan LPG. Penggunaan

LPG sebagai bahan bakar menghasilkan kadar emisi CO yang lebih kecil dibandingkan penggunaan bahan bakar premium. Pada penelitian tersebut penggunaan bahan bakar LPG menghasilkan kadar emisi terbesar pada putaran 3000 rpm dan menghasilkan kadar emisi terendah pada putaran 5000 rpm.

Pengujian	3000 rpm		4000 rpm		5000 rpm	
	Premium (ppm)	LPG (ppm)	Premium (ppm)	LPG (ppm)	Premium (ppm)	LPG (ppm)
1	580	125	321	82	230	109
2	563	107	287	81	170	86
3	552	118	226	87	163	103
Rerata	565	117	291	83	187	99



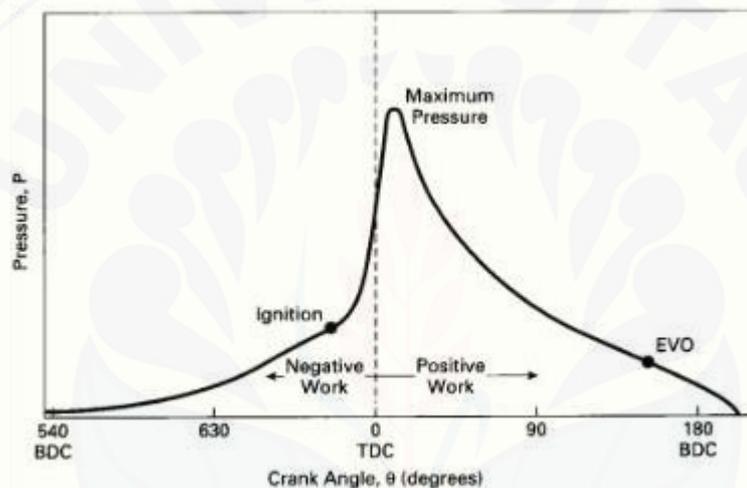
Gambar 2.8 Perbandingan emisi HC pada premium dan LPG (Mahmud dan Sungkono, 2015)

Dari gambar 2.8 dapat dilihat bahwa ada perbedaan kadar emisi HC yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar premium dan LPG. Penggunaan LPG sebagai bahan bakar menghasilkan kadar emisi HC lebih kecil dari pada penggunaan bahan bakar premium. Kadar emisi HC yang dihasilkan LPG tertinggi dikisaran putaran mesin 3000 rpm dan kadar emisi HC terendah dihasilkan dikisaran putaran mesin 4000 rpm.

2.2.3 Karakteristik Pengapian LPG

Salah satu variabel oprasi utama yang mempengaruhi performa, efisiensi dan emisi mesin SI adalah waktu percikan bunga api atau saat penyalaan dan tegangan

pengapian (Heywood, 1998; Heywood dan Badvadeker, 2004). Penyalaan yang terlalu awal akan menyebabkan kerja negatif dimana proses *ekspansi* gas reaksi pembakaran akan melawan gerakan piston yang bergerak menuju titik mati atas, sedangkan penyalaan yang terlalu lambat menyebabkan tekanan puncak menurun sehingga kerja (*ekspansi*) yang dihasilkan akan menurun. Proses pembakaran pada mesin bensin terdiri dari tiga priode, yaitu priode penyalaan dan pengembangan api (*ignition and flame developmen*), priode penyebaran api (*flame propagation*), dan priode akhir pembakaran (*flame termination*) (Pulkrabek, 1985). Proses pembakaran diilustrasikan pada gambar 2.10.



Gambar 2.9 Karakterisasi pembakaran bensin (Setiyo dan Condro, 2012)

Kecepatan rambat api LPG 12 % lebih cepat dari bahan bakar bensin di campuran yang sama. LPG membutuhkan waktu yang singkat untuk mencapai pembakaran eksplosif, sehingga pada putaran tinggi proses pembakaran berlangsung lebih sempurna (Rohmat dan Saptoadi, 2003). Shankar dan Mohanan (2011) mengatakan bahwa rasio kesetimbangan stokiometri kecepatan rambat api dari bahan bakar LPG lebih cepat dari bahan bakar bensin pada campuran bahan bakar miskin.

Ditinjau dari temperatur ruang bakar, bahan bakar gas pada umumnya mengalami fenomena pembakaran kering dan tidak mengalami efek pendinginan dalam (*inner cooling*) tidak seperti pada bahan bakar bensin yang berbentuk uap saat masuk ke ruang bakar sehingga dapat berfungsi sebagai pendingin

(*evaporative cooling*) komponen di dalam ruang bakar baik katup, elektroda busi maupun dinding ruang bakar (Setiyo dan Condro, 2012). Karena terjadi pembakaran kering maka beban panas yang diterima lebih besar sehingga busi yang digunakan harus dapat mentransfer panas pembakaran ke *silinder head* yang lebih baik.

2.3 Sistem Pengapian

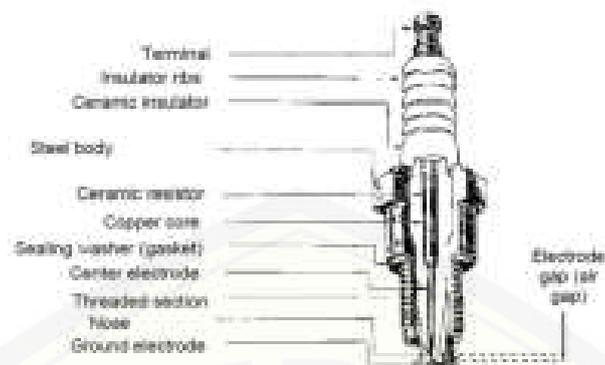
Sistem pengapian pada motor bensin berfungsi mengatur proses pembakaran campuran bensin dan udara di dalam silinder sesuai waktu yang sudah ditentukan yaitu pada akhir langkah kompresi. Saat penyalaan yang tepat sangat mempengaruhi proses pembakaran sempurna. Sistem pengapian terdiri dari berbagai komponen, yang bekerja bersama-sama dalam waktu yang sangat cepat dan singkat. Sistem pengapian ini memiliki beberapa komponen yang sangat penting untuk terciptanya bunga api pada saat pembakaran, diantaranya adalah :

1. Magnet

Magnet ditempatkan pada roda penerus yang dipasangkan pada poros engkol. Inti besi ditempatkan sebagai stator. Magnet berputar bersama-sama dengan putaran poros engkol dan antara inti besi dengan magnet terdapat celah kecil. Putaran magnet ini akan menimbulkan listrik dalam lilitan primer pada inti besi dan akibat gerakan cam, titik kontak akan terbuka, maka akan terjadi arus listrik tegangan tinggi yang memungkinkan terjadinya loncatan bunga api pada busi (Machmud dkk., 2013).

2. Busi (*Spark Plug*)

Busi merupakan suatu komponen yang berfungsi untuk menciptakan loncatan bunga api saat dialiri arus listrik tegangan tinggi. Kedua elektroda pada busi dipisahkan oleh isolator agar loncatan listrik hanya terjadi diantara ujung elektroda. Bahan isolator itu sendiri haruslah memiliki tahanan listrik yang tinggi, tidak rapuh terhadap kejutan mekanik dan panas (Machmud dkk., 2013).



Gambar 2.10 Konstruksi Busi (Machmud dkk., 2013)

3. Koil Pengapian (*Ignition Coil*)

Koil pengapian berfungsi mengubah sumber tegangan rendah dari baterai atau koil sumber (12 V) menjadi sumber tegangan tinggi (10 KV atau lebih) yang diperlukan untuk menghasilkan loncatan bunga api yang kuat pada celah busi dalam sistem pengapian (Machmud dkk., 2013).



Gambar 2.11 Coil (Machmud dkk., 2013)

4. CDI dan Pulser

CDI (*Capacitive Discharge Ignition*) merupakan sebuah perangkat elektronik sebagai pengatur pengapian (*ignition*) dan kelistrikan (*electricity*) yang terdapat pada sebuah sepeda motor dan berperan membaca sensor yang mengatur waktu pengapian yang terdapat pada mesin, lalu diolah secara digital dalam CDI. Hasil pemrosesan CDI berupa output yang akan mengatur perangkat pengapian untuk

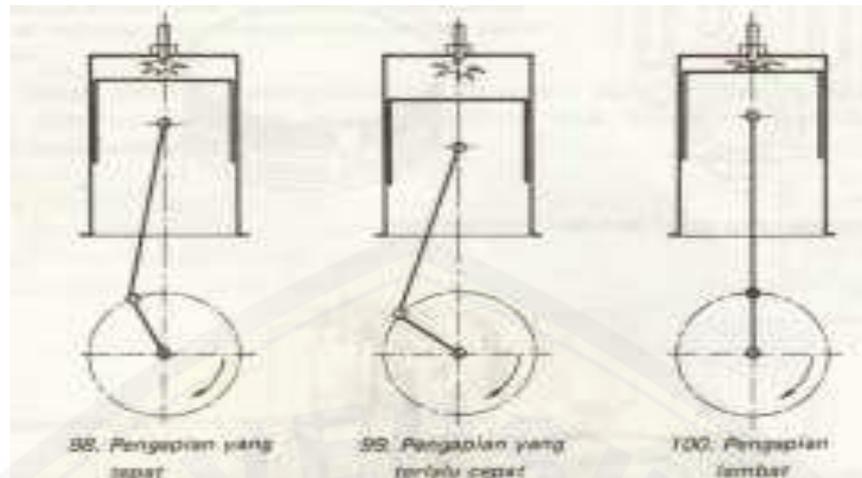
melakukan pembakaran (*combustion*) bahan bakar di dalam ruang bakar (*combustion chamber*) sebuah mesin sepeda motor (Machmud dkk., 2013).

Sensor pengatur *timing* pengapian terdapat pada bagian ruang magnet sebuah mesin. Sensor berupa pulser (*pick-up coil*) akan membaca tonjolan (*Trigger Magnet*) yang terdapat pada sisi luar pelat dudukan (*sitting*) magnet. Magnet yang terhubung dengan poros engkol (*crankshaft*) akan berputar sesuai dengan putaran mesin. Semakin tinggi putaran mesin, maka semakin tinggi pula putaran magnet yang akan berpengaruh terhadap pembacaan pulser terhadap tonjolan sisi luar *sitting plate* magnet (Machmud dkk., 2013).

CDI mengandalkan pulser (*pickup coil*). Pulser ini memberi sinyal berdasarkan putaran magnet. Sinyal itu dikirim ke CDI, yang kemudian memerintahkan busi menembak. Dalam CDI, sinyal pulser diterima dioda penyearah arus, lalu dicekal resistor dan diterima beberapa kapasitor, sebelum dilepas ke koil yang kemudian diteruskan ke busi (Machmud dkk., 2013).

2.4 Waktu Pengapian (Ignition Timing)

Setelah campuran bahan bakar dibakar oleh bunga api listrik, maka diperlukan waktu tertentu bagi bunga api untuk merambat di dalam ruang bakar. Oleh sebab itu akan terjadi sedikit kelambatan antara awal pembakaran dengan pencapaian tekanan pembakaran maksimum. Oleh karenanya, agar diperoleh output maksimum pada *engine* dengan tekanan pembakaran mencapai titik tertinggi (sekitar 10° setelah TMA), periode perlambatan api harus diperhitungkan pada saat menentukan saat pengapian (*Ignition timing*) untuk memperoleh output mesin yang semaksimal mungkin. Akan tetapi karena diperlukan waktu untuk perambatan api, maka campuran udara dan bahan bakar harus dibakar sebelum TMA. Saat terjadinya pembakaran ini disebut dengan saat pengapian (*Ignition Timing*) (Machmud dkk., 2013).



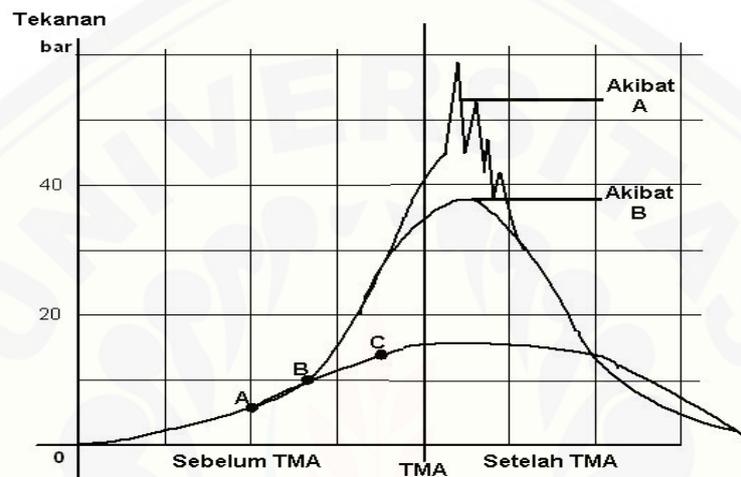
Gambar 2.12 Saat Pengapian (Machmud dkk., 2013)

Loncatan bunga api terjadi sesaat piston mencapai titik mati atas (TMA) sewaktu langkah kompresi. Saat loncatan api biasanya dinyatakan dalam derajat sudut engkol sebelum piston mencapai TMA. Pada pembakaran sempurna setelah penyalaan dimulai, api menjalar dari busi dan menyebar keseluruh arah dalam waktu yang sebanding, dengan 20 derajat sudut engkol atau lebih, untuk membakar campuran sampai mencapai tekanan maksimum. Kecepatan api umumnya kurang dari 10 – 30 m/ detik. Panas pembakaran dari TMA diubah dalam bentuk kerja dengan efisiensi yang tinggi. Kelambatan waktu akan menurunkan efisiensi dan ini disebabkan rendahnya tekanan akibat pertambahan volume dan waktu penyebaran api yang terlalu lambat (Machmud dkk., 2013).

Bila Proses pembakaran dimulai dari awal sebelum TMA (menjauhi TMA), tekanan hasil pembakaran meningkat, sehingga gaya dorong piston meningkat (kerja piston menuju gas pada ruang bakar). Jika proses sudut penyalaan dimundurkan mendekati TMA, maka tekanan hasil pembakaran maksimum lebih rendah, bila dibandingkan tekanan hasil pembakaran maksimum, bila sudut penyalaan dimulai normal. Hal ini dikarenakan, pada saat sudut penyalaan yang terlalu dekat dengan TMA, pada saat busi memercikkan bunga api dan api mulai merambat, gerakan piston sudah melewati TMA, sehingga volume ruang bakar mulai membesar. Sehingga walaupun terjadi kenaikan tekanan hasil pembakaran, sebagian telah diubah menjadi perubahan volume ruang bakar. Efek yang terjadi

adalah kecilnya kerja ekspansi yang diterima oleh piston (Machmud dkk., 2013).

Apabila saat pengapian dimajukan terlalu jauh (lihat gambar 2.13 titik A) tekanan pembakaran maksimum akan tercapai sebelum 10° sesudah TMA. Karena tekanan di dalam silinder akan menjadi lebih tinggi dari pada pembakaran dengan waktu yang tepat, pembakaran campuran udara dan bahan bakar yang spontan akan terjadi dan akhirnya akan terjadi *knocking* atau *detonasi* (Jama J. 2008).

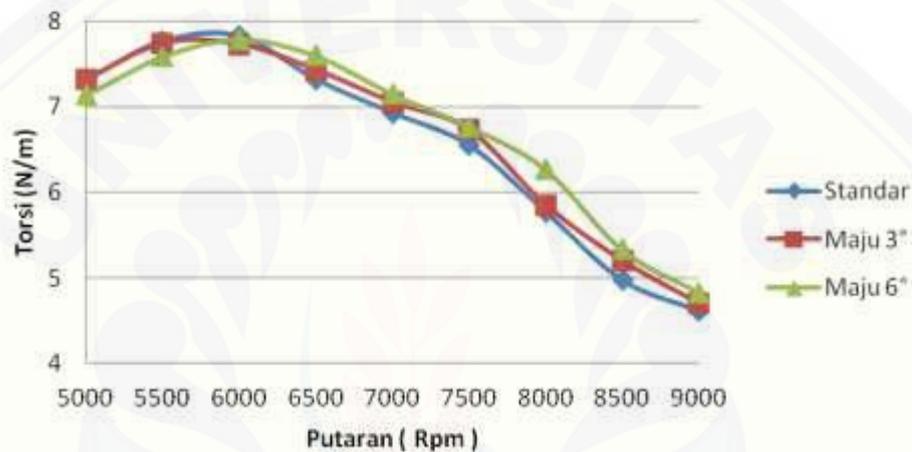


Gambar 2.13 Posisi saat pengapian (Jama J. 2008)

Sedangkan apabila saat pengapian dimundurkan terlalu jauh pada gambar 2.13 titik c, maka tekanan pembakaran maksimum akan terjadi setelah 10° setelah TMA (saat dimana torak turun cukup jauh). Bila dibandingkan dengan waktu pengapian yang tepat (gambar 2.13 titik B), maka tekanan di dalam silinder agak rendah sehingga output mesin menurun, dan masalah pemborosan bahan bakar dan lainnya akan terjadi. Waktu pengapian yang tepat dapat menghasilkan tekanan pembakaran yang optimal (Jama J. 2008)

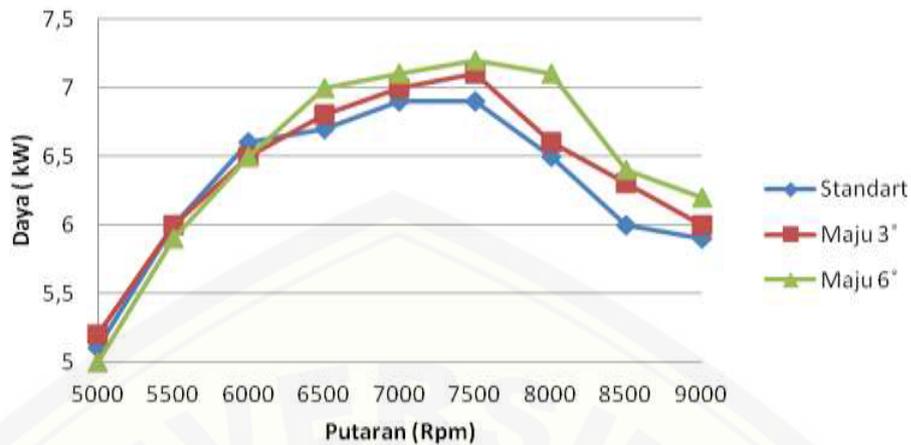
Machmud, dkk, (2013) dalam penelitiannya torsi yang dihasilkan dari semua variasi sudut pengapian memiliki kecenderungan yang sama, yaitu mengalami peningkatan kemudian akan mengalami penurunan setelah mencapai torsi maksimum seiring bertambahnya putaran mesinnya. Pada pengapian standar torsi maksimal yang dihasilkan sebesar 7,86 Nm pada putaran mesin 5854 rpm. Pada variasi pengapian yang dimajukan 3° dari standarnya menghasilkan torsi maksimal sebesar 7,89 Nm pada putaran mesin 6165 rpm. Sedangkan pada variasi pengapian yang dimajukan 6° dari standarnya memperoleh torsi maksimal 7,90 Nm pada

putaran mesin 6194 rpm. Pada saat derajat pengapian dimajukan, proses pembakaran menjadi panjang sehingga campuran bahan bakar dan udara menjadi lebih baik dan tekanan hasil pembakaran menjadi lebih tinggi. Dengan meningkatnya tekanan diruang bakar maka gaya dorong piston meningkat, sehingga torsi yang dihasilkan menjadi lebih besar pada saat putaran mesin menengah ke atas.



Gambar 2.14 Torsi vs rpm (Machmud dkk., 2013)

Dari gambar 2.14 terlihat bahwa torsi maksimum yang dihasilkan dari semua variasi sudut pengapian dicapai pada putaran mesin 5500 rpm sampai 6000 rpm. Pada variasi sudut pengapian yang dimajukan 6° dari standarnya menghasilkan torsi yang lebih besar dari pada variasi sudut pengapian yang lainnya. Pada variasi sudut pengapian tersebut dapat menghasilkan torsi maksimum sebesar 7,90 Nm yang dicapai pada putaran mesin 6194 rpm.

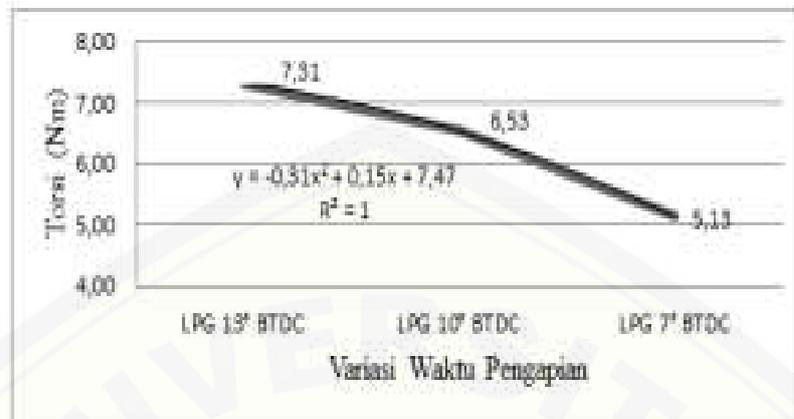


Gambar 2.15 Daya vs rpm (Machmud dkk., 2013)

Dari gambar 2.15 dapat dilihat bahwa pada setiap variasi derajat pengapian daya efektif yang dihasilkan cenderung meningkat kemudian mengalami penurunan setelah mencapai daya maksimalnya dicapai seiring bertambahnya putaran mesin. Daya maksimal diperoleh pada putaran mesin 7000 rpm sampai 8000 rpm dan daya maksimal tertinggi diperoleh pada variasi sudut pengapian 6° sebelum TMA. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi putaran mesin, maka semakin sedikit waktu proses pembakaran. Oleh karena itu, derajat pengapian perlu dimajukan agar setiap siklus pembakaran memperoleh waktu yang cukup untuk menghasilkan tekanan pembakaran yang optimal, sehingga torsi dan daya efektif yang dihasilkan lebih besar.

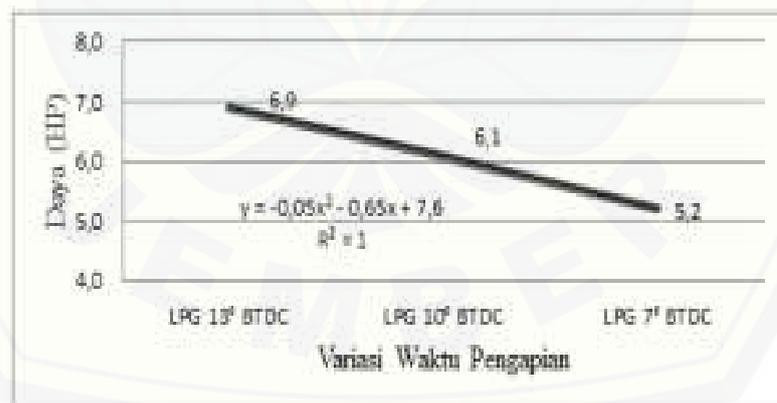
Setiyono, dkk, (2013) dalam penelitiannya Torsi yang dihasilkan oleh sepeda motor dengan bahan bakar LPG pada waktu pengapian dimajukan (13 derajat sebelum TMA) paling tinggi dibandingkan dengan variasi waktu pengapian yang lain, yaitu 7,31 Nm pada putaran mesin 6088 rpm. Torsi mengalami penurunan sebesar 1,34 Nm dari torsi yang dihasilkan sepeda motor dengan bahan bakar premium pada waktu pengapian standar yaitu 8,65 Nm pada putaran mesin 5337 rpm. Daya yang dihasilkan oleh sepeda motor dengan bahan bakar LPG pada waktu pengapian dimajukan (13 derajat sebelum TMA) paling tinggi dibandingkan dengan variasi waktu pengapian yang lain, yaitu 6,9 HP pada putaran mesin 7591 rpm. Daya mengalami penurunan sebesar 0,9 HP dari daya yang dihasilkan sepeda motor dengan bahan bakar premium pada waktu pengapian standar yaitu 7,8 HP

pada putaran mesin 7344 rpm.



Gambar 2.16 Grafik Hubungan Torsi pada Poros Roda dengan Bahan Bakar LPG pada Variasi Waktu Pengapian 13° BTDC, 10° BTDC dan 7° BTDC (Setiyono., 2013)

Dari gambar 2.16 dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan torsi yang dihasilkan oleh setiap variasi sudut pengapian pada penggunaan bahan bakar LPG. Torsi tertinggi dihasilkan oleh variasi sudut pengapian 13° BTDC yaitu sebesar 7,31 Nm pada putaran mesin 6088 rpm.

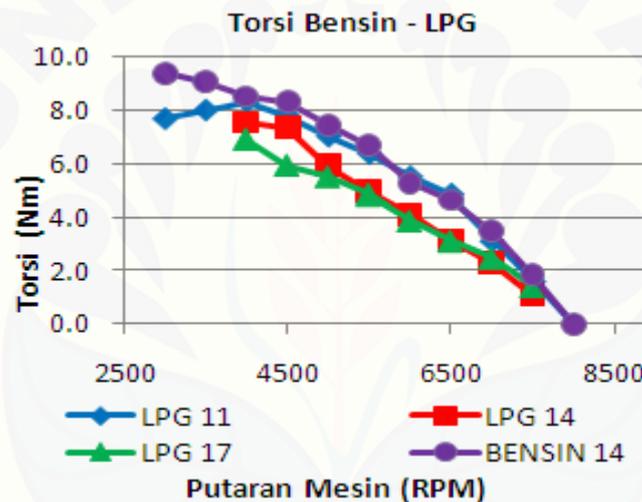


Gambar 2.17 Grafik Hubungan Daya pada Poros Roda dengan Bahan Bakar LPG pada Variasi Waktu Pengapian 13° BTDC, 10° BTDC dan 7° BTDC (Setiyono dkk., 2013)

Pada gambar 2.17 terlihat bahwa daya yang dihasilkan pada sudut pengapian 13° sebelum TMA paling tinggi dibandingkan dengan variasi sudut pengapian yang lain, yaitu sebesar 6,9 HP pada putaran mesin 7591 rpm. Dari gambar 2.15 dan 2.16

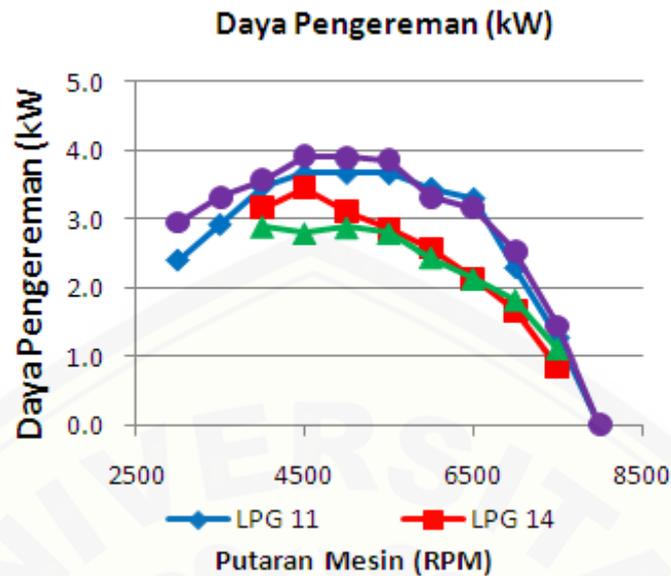
dapat dilihat bahwa putaran efektif terjadi pada putaran mesin 6000 rpm samapai 8000 rpm.

Yunianto B (2009), dalam penelitiannya menyebutkan bahwa torsi yang dihasilkan oleh LPG pada sudut pengapian 11° lebih tinggi dari torsi pada variasi sudut pengapian yang lain, yaitu pada 4000 rpm dengan torsi 8.309 Nm. Daya yang dihasilkan LPG 11° lebih tinggi dari daya pada variasi sudut pengapian yang lain, pada 5000 rpm dengan daya pengereman sebesar 3,673 kW. Untuk analisa konsumsi bahan bakar spesifik (BSFC) bahwa nilai BSFC terbaik untuk bahan bakar LPG pada pengapian 11° sebelum TMA dengan nilai BSFC 0,111 kg/kWh pada 6000 rpm.



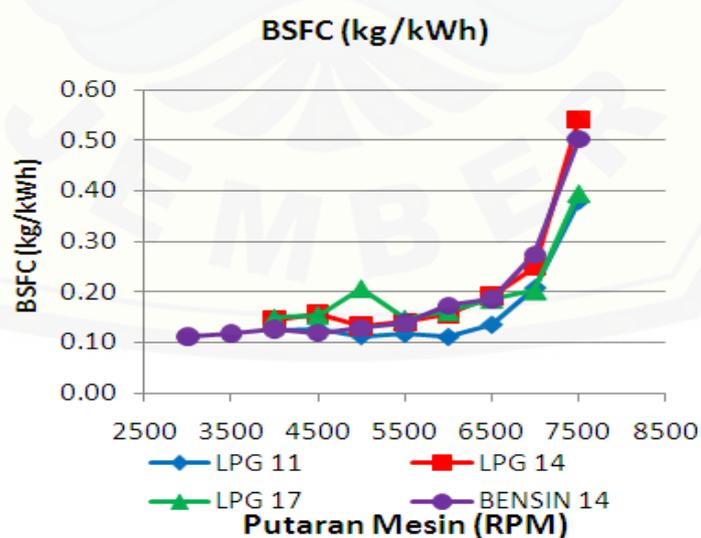
Gambar 2.18 Torsi pengereman terhadap putaran mesin (Yunianto B, 2009)

Dari gambar 2.18 menunjukkan bahwa mesin dengan bahan bakar LPG menghasilkan torsi lebih kecil dibandingkan bahan bakar bensin. Pada pengoprasian yang sama, variasi sudut pengapian 14° dan 17° sebelum TMA dengan bahan bakar LPG tidak mampu memutar mesin dengan beban pengereman. Hal ini dikarenakan efek torsi yang kecil sehingga berdampak pada daya putar mesin yang lebih kecil ketika menerima beban, berbeda dengan variasi sudut pengapian 11° sebelum TMA pada bahan bakar LPG yang masih mampu memutar mesin dengan beban pengereman hingga putaran mesin 3000 rpm, hal ini disebabkan oleh karakterisasi pembakaran LPG itu tersendiri.



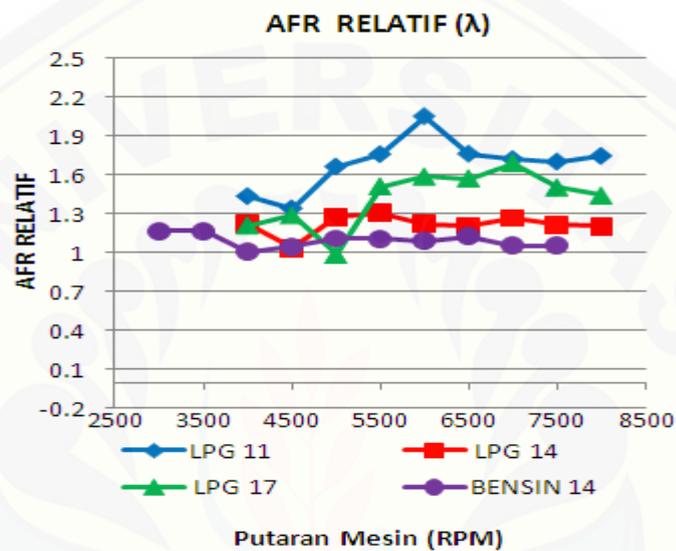
Gambar 2.19 Daya pengereman terhadap putaran mesin (Yunianto B, 2009)

Gambar 2.19 menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan variasi sudut pengapian 11° sebelum TMA menggunakan bahan bakar LPG dibandingkan sudut pengapian standar menggunakan bahan bakar bensin hanya beselisih rata-rata 3% lebih kecil. Daya yang dihasilkan sudut pengapian 11° sebelum TMA lebih besar dari pada variasi sudut pengapian yang lain pada penggunaan bahan bakar LPG, yaitu 3,673 Kw pada putaran mesin 5000 rpm.



Gambar 2.20 BSFC terhadap putaran mesin (Yunianto B, 2009)

Pada gambar 2.20 terlihat bahwa kondisi terbaik mesin adalah pada kisaran putaran mesin 3000 rpm sampai 4500 rpm untuk bahan bakar bensin dan 4000 rpm sampai 5000 rpm untuk bahan bakar LPG untuk pengapian standar (14° sebelum TMA) dan Nilai BSFC terbaik untuk bahan bakar LPG dicapai pada pengapian 11° sebelum TMA dengan nilai BSFC sebesar 0,111 kg/kWh pada putaran mesin 6000 rpm.



Gambar 2.21 AFR Relatif terhadap putaran mesin (Yunianto B, 2009)

Pada gambar 2.21 dapat diketahui AFR relatif pada pengapian 11° sebelum TMA pada bahan bakar LPG lebih besar dari pada AFR relatif pada sudut pengapian yang lain. Dapat disimpulkan bahwa pengubahan sudut pengapian 11° sebelum TMA adalah sudut pengapian yang menghasilkan daya yang maksimal dibandingkan variasi sudut pengapian 14° dan 17° sebelum TMA pada penggunaan bahan bakar LPG.

2.5 Hipotesa Penelitian

Ditinjau dari penelitian sebelumnya, pada umumnya penggunaan LPG sebagai bahan bakar mengalami penurunan daya sekitar 5% sampai 10% dari daya yang dihasilkan mesin berbahan bakar bensin. Hilangnya daya dapat diperoleh dengan menerapkan pemakaian *supercharger* atau *turbocharger* dan meningkatkan rasio kompresi. LPG memiliki nilai oktan yang lebih tinggi sekitar (105-112) dibandingkan bensin sekitar (91-97) yang memungkinkan untuk digunakan pada

rasio kompresi tinggi untuk meningkatkan efisiensi termal. Penggunaan LPG sebagai bahan bakar alternatif berdampak pada penurunan performa motor. Penurunan unjuk kerja ini karena mesin tersebut dirancang untuk berbahan bakar bensin. Penyebab penurunan unjuk kerja tersebut disebabkan oleh perbedaan karakteristik dari penyalaan kedua bahan bakar tersebut. Salah satu cara untuk meningkatkan performa motor yang menggunakan bahan bakar LPG adalah dengan mengatur ulang sudut pengapian dari motor tersebut, sehingga waktu penyalaannya menjadi lebih tepat. Waktu penyalaan adalah saat dimana bunga api dipercikkan oleh busi untuk membakar campuran udara dan bahan bakar yang dikompresi oleh piston, kemudian menghasilkan tekanan yang digunakan untuk menghasilkan langkah kerja. Dari latar belakang tersebut, penulis ingin melakukan penelitian tentang pengaruh beda sudut pengapian terhadap unjuk kerja motor bakar 4 langkah berbahan bakar LPG. Setiyono, dkk, (2013) dalam penelitiannya Torsi yang dihasilkan oleh sepeda motor dengan bahan bakar LPG pada waktu pengapian dimajukan (13° sebelum TMA) paling tinggi dibandingkan dengan variasi waktu pengapian yang lain, yaitu $7,31$ Nm pada putaran mesin 6088 rpm. Sehingga dengan variasi beda sudut pengapian (12° BTDC, 15° BTDC, dan 18° BTDC) penulis dapat mengetahui tiap perubahan karakter baik dilihat dari nilai torsi, emisi gas buang, dan konsumsi bahan bakar. Sudut pengapian yang tidak sesuai dengan karakteristik bahan bakar yang digunakan akan berakibat pada terjadinya proses pembakaran yang terlalu dini atau terlalu lambat dari waktu penyalaan yang sesuai sebelum mencapai TMA, yang berakibat pada penurunan unjuk kerja yang dihasilkan. Dari masing-masing variasi diduga nilai torsi, emisi gas buang dan konsumsi bahan bakar yang paling optimal terjadi pada variasi sudut pengapian yang dimajukan (18° BTDC).

BAB III. METODOLOGI

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan kali ini adalah metode eksperimental. Metode eksperimental adalah suatu penelitian yang dilakukan terhadap variabel dengan data-data yang belum ada sehingga diperlukan proses manipulasi dengan memberikan perlakuan tertentu pada obyek penelitian serta dengan kontrol yang diukur dampak dari perlakuan tersebut (Jaedun, 2011). Penelitian ini dilakukan dengan sudut pengapian dan kecepatan putaran mesin dengan melakukan 3 kali pengulangan percobaan, masing-masing variasi dilakukan pengujian performa mesin meliputi daya, konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang. Tekanan *intake* dan *exhaust* ruang bakar diketahui dengan menggunakan sensor MPX 5100 DP dan MPX 5100 AP untuk mengetahui perubahan tekanan pada setiap pengujian. Pemindahan bahan bakar LPG 12 kg dari berat tabung 15,1 kg ke tabung gas kecil yang mempunyai berat tabung 144 gr dengan alat adaptor gas sehingga memudahkan dalam penimbangan gas ketika pengujian konsumsi bahan bakar. Alat pengubah sistem bahan bakar bensin ke bahan bakar gas melalui karburator menggunakan alat konverter kit. Pengujian konsumsi bahan bakar menggunakan 2 sistem pengujian yaitu menggunakan beban dan tanpa beban.

3.2 Waktu dan Tempat

3.2.1 Waktu

Penelitian yang dilakukan oleh penulis mengenai “Pengaruh Sudut Pengapian Terhadap Unjuk Kerja Motor Bakar 4 Langkah Berbahan Bakar Gas” akan dilakukan selama 7 bulan, yang dimulai pada bulan November 2016 sampai dengan Mei 2017.

3.2.2 Tempat

Perancangan, pembuatan dan pengujian alat skripsi dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Fakultas Teknik Universitas Jember Jln. Slamet Riyadi No. 62 Patrang Jember.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

- a. Mesin yang digunakan dalam pengujian yaitu motor Honda Astrea Prima tahun 1991 dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tipe Mesin	: 4 Langkah,
Kapasitas	: 97 cc
Bore x stroke	: 50 x 49,5 mm
Rasio Kompresi	: 9,0 : 1
Max. power	: 8,9 ps @ 8000 rpm
Max. torsi	: 0,93 kgf.m @ 6000 rpm
Pendingin	: udara
Karburator	: keihin 16 mm
Transmisi	: 4 speed (N-1-2-3-4) rotary
Kopling	: manual, basah, multiplat
Starter	: electric dan kick.
Kelistrikan	
Baterai	: 12 v – 4 Ah
Busi	: C7HSA
Koil	: KGD FL503CDI
Pengapian	: CDI-AC
Dimensi	
Panjang x lebar x tinggi	: 1915 x 705 x 1076 mm
Jarak sumbu roda	: 1234 mm
Kapasitas oil mesin	: 0,9
Tangki BBM	: 3,7 liter
Berat	: 93 kg
Ban Depan	: 2.25 – 17”
Ban Belakang	: 2.50 – 17”
Rem Depan dan Belakang	: drum (tromol)

- b. Motor *cycle dynamometer* dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Merk mesin : Rextor

- Tipe : Pro-Fix Dyno (Kalibrasi ISO 1585)
- c. Tabung LPG ukuran 12 kg Produksi PT Pertamina Indonesia dengan berat tabung 15,1 kg
- d. Tabung gas *portable* (kecil)
- e. *Exhaust gas analyzer*
- f. Sensor MPX 5100 Differential Pressure
- g. Sensor MPX 5100 Absolut Pressure
- h. Regulator tekanan tinggi
- i. Adaptor gas
- j. Selang gas LPG
- k. Kran membran
- l. Kran pembagi
- m. Blower
- n. Komputer
- o. Timbangan digital
- p. *Tool set*
- q. *Stopwatch*

3.3.2 Bahan

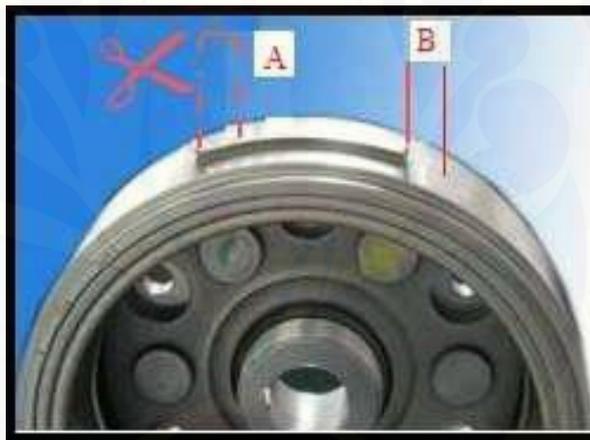
- a. Bahan bakar LPG (*Liquified Petroleum Gas*) sebanyak 12 kg yang diproduksi oleh PT Pertamina Indonesia dengan nilai propana 50 % dan butana 50 %.
- b. Magnet yang telah dimodifikasi tonjolan sensornya.

3.4 Variabel Penelitian

Variabel penelitian merupakan sesuatu yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari guna memperoleh informasi mengenai kajian dari penelitian tersebut yang selanjutnya ditarik sebuah kesimpulan.

3.4.1 Variabel Bebas (Independen)

Variabel bebas yaitu variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti dalam rangka untuk menerangkan hubungannya dengan fenomena yang diobservasi. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah sudut pengapian sebesar 12° BTDC, 15° BTDC, dan 18° BTDC. Pemilihan variasi tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Yuniarto B (2009) yang melakukan variasi sudut pengapian 11° , 14° , dan 17° sebelum TMA dan didapat sudut pengapian yang optimal pada penggunaan bahan bakar LPG, yaitu 11° sebelum TMA. Variabel kedua adalah putaran mesin yang digunakan adalah 3000 rpm, 4000 rpm, 5000 rpm, 6000 rpm dan 7000 rpm sesuai dengan spesifikasi putaran maksimum motor dan rentan minimum alat uji.



Gambar 3.1 Memodifikasi *pick up pulser* (Setiyono dkk., 2013)

3.4.2 Variabel Terikat

Merupakan variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan sepenuhnya oleh peneliti, tetapi besarnya tergantung dengan variabel bebasnya. Variabel terikat dalam penelitian kali ini adalah:

- a. Torsi
- b. Tekanan campuran bahan bakar dan udara ketika memasuki ruang bakar
- c. Tekanan gas buang hasil pembakaran
- b. Konsumsi bahan bakar

c. Emisi gas buang (CO, HC dan CO₂)

3.5 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian ini dilaksanakan menggunakan 2 faktor dimana faktor yang pertama adalah perubahan sudut pengapian dan faktor kedua yaitu putaran mesin. Perubahan sudut pengapian menggunakan 3 variasi sedangkan faktor putaran mesin yang menggunakan 5 variasi, sehingga terdapat 15 kombinasi perlakuan dengan 3 kali pengulangan.

Faktor I: Mengatur sudut pengapian mesin (X):

- X₁ = 12 ° BTDC
- X₂ = 15 ° BTDC
- X₃ = 18 ° BTDC

Faktor II: Putaran Mesin (N)

- N₁ = 3000 rpm
- N₂ = 4000 rpm
- N₃ = 5000 rpm
- N₄ = 6000 rpm
- N₅ = 7000 rpm

Sehingga diperoleh kombinasi perlakuan sebagai berikut:

Perlakuan	X ₁	X ₂	X ₃
N ₁	X ₁ N ₁	X ₂ N ₁	X ₃ N ₁
N ₂	X ₁ N ₂	X ₂ N ₂	X ₃ N ₂
N ₃	X ₁ N ₃	X ₂ N ₃	X ₃ N ₃
N ₄	X ₁ N ₄	X ₂ N ₄	X ₃ N ₄
N ₅	X ₁ N ₅	X ₂ N ₅	X ₃ N ₅

3.6 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian merupakan suatu rangkaian kegiatan yang dilakukan oleh peneliti secara terstruktur guna mencapai tujuan penelitian. Prosedur penelitian ini diawali dengan langkah penyusunan alat penelitian dan dilanjutkan dengan tahapan penelitian yang meliputi tahap pengujian, pengambilan data dan pengolahan hasil penelitian.

3.6.1 Persiapan dan Pemeriksaan Alat Pengujian

Persiapan alat pengujian ini meliputi persiapan alat dan bahan, baik melalui tahap pembelian, penyewaan, perakitan sampai proses pemodifikasian alat. Setelah alat dan bahan terkumpul, perlu adanya pemeriksaan meliputi kesiapan dan kelengkapan alat uji agar bekerja sesuai dengan sistem pengujian. Adapun tahap persiapan dan pemeriksaan alat dalam penelitian ini meliputi:

- a. Merangkai komponen *converter kit* sesuai dengan perancangan
- b. Mengatur sudut pengapian dengan menggeser tonjolan *pick up pulser* pada magnet
- c. Merancang dan memasang alat ukur tekanan *intake* dan *exhaust* ruang bakar dengan sensor MPX 5100 AP dan MPX 5100 DP sesuai dengan perancangan
- d. Memindahkan gas LPG dari tabung 12 kg ke dalam tabung gas *portable* (kecil) dengan menggunakan alat adaptor gas
- e. Melakukan pengecekan motor yang akan digunakan sesuai dengan standart pengujian
- f. Menyiapkan dan memeriksa alat uji *dyno test*, *gas analyzer* dan alat lainnya agar bekerja maksimal

3.6.2 Tahap Pengambilan data

Tahap pengambilan data dilakukan dengan cara mengukur variabel bebas dan variabel tetap saat pengujian. Tahapan yang dilakukan untuk pengambilan data adalah sebagai berikut:

- a. Pengujian *dyno test*
 1. Merangkai dan mengecek kembali semua alat komponen pengujian, meliputi alat ukur voltase input, alat uji tekanan, *converter kit* dan alat uji *dyno test*
 2. Melakukan pemasangan magnet yang telah dimodifikasi tonjolan *pick up pulser* sesuai besar sudut pengapian yang diinginkan.
 3. Menjalankan alat uji *dyno test* sesuai dengan prosedur pengujian
 4. Menghidupkan mesin dan memposisikan gas stabil pada putaran gas *idle* dan setelah itu memposisikan bukaan *throttle* penuh hingga putaran mesin 7000 rpm pada transmisi gigi 3
 5. Mesin dimatikan.

6. Pengambilan data terhitung pada waktu bukaan throtel penuh pada putaran mesin 3000 rpm sampai dengan 7000 rpm
7. Pengambilan data berupa waktu pengujian, data perubahan tekanan yang terjadi pada saluran *intake* dan *exhaust* ruang bakar dan data hasil pengujian berupa torsi dan daya pada layar komputer
8. Pengambilan data dilakukan 3 kali pengulangan pengujian pada variabel yang sama.
9. Mengubah variabel besar sudut pengapian dan mengulangi langkah 1-8 pada setiap percobaan.

b. Pengujian konsumsi bahan bakar

1. Merangkai dan mengecek kembali semua alat komponen pengujian, meliputi alat ukur voltase input, alat uji tekanan dan *converter kit*
2. Melakukan pemasangan magnet yang telah dimodifikasi tonjolan *pick up pulser* sesuai dengan besar sudut pengapian yang diinginkan.
3. Memasang tabung gas *portable* (kecil) pada alat *converter kit*
4. Meletakkan tabung gas *portable* (kecil) ke atas timbangan digital untuk mengetahui massa awal saat pengujian berlangsung
5. Menyiapkan *stopwatch* untuk menghitung waktu yang diperlukan, jika diketahui massa bahan bakar LPG dalam satu kali pengujian adalah 20 gram
6. Menghidupkan mesin dan memosisikan gas stabil pada putaran mesin (N rpm) dengan posisi transmisi gigi netral
7. Menghentikan *stopwatch* dan mencatat waktu yang diperlukan, jika massa LPG sudah berkurang 20 gram
8. Mematikan mesin
9. Pengambilan data berupa data konsumsi bahan bakar per detik dan data perubahan tekanan pada *intake* dan *exhaust* ruang bakar
10. Pengambilan data dilakukan 3 kali pengulangan pengujian dengan variabel yang sama
11. Mengulangi langkah 1-10, dengan mengubah variabel besar sudut pengapian dan putaran mesin (N rpm).

c. Pengujian emisi gas buang

1. Merangkai dan mengecek kembali semua alat komponen pengujian, meliputi alat ukur voltase input, alat uji tekanan, *konverter kit* dan alat uji *gas analyzer*
2. Melakukan pemasangan magnet yang telah dimodifikasi tonjolan *pick up pulser* sesuai dengan besar sudut pengapian yang diinginkan.
3. Pemasangan alat *gas analyzer* dan penyambungan perangkat *auto gas analyzer* ke computer
4. Pengujian dilakukan pada posisi gigi netral
5. Menghidupkan mesin dan memposisikan gas stabil pada putaran mesin N rpm dengan waktu pengujian selama 1 menit
6. Pengambilan data berupa perubahan tekanan yang terjadi pada saluran *intake* dan *exhaust* ruang bakar dan data hasil pengujian berupa kadar emisi gas buang (CO, HC dan CO₂) pada layar komputer
7. Mematikan mesin
8. Pengambilan data dilakukan 3 kali pengulangan pengujian pada setiap variabel yang sama
9. Mengulangi langkah pengujian 1-8 dengan mengubah variabel besar sudut pengapian dan putaran mesin (N rpm).

Tabel 3.1 Pengambilan data pengujian emisi gas buang

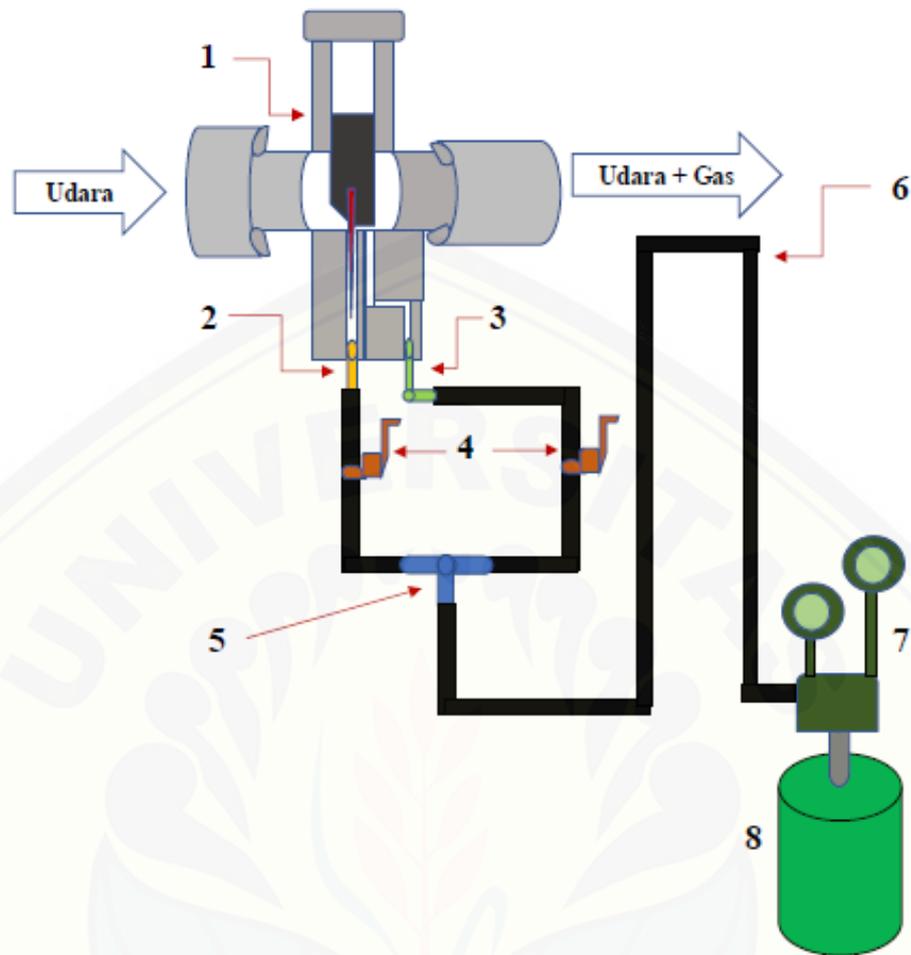
NO	Sudut Pengapian	RPM (N)	Percobaan	CO %	HC %	CO ₂ %	P _{in}	P _{out}
1	X ₁	N ₁	Pertama					
	X ₁	N ₁	Kedua					
	X ₁	N ₁	Ketiga					
2	X ₂	N ₁	Pertama					
	X ₂	N ₁	Kedua					
	X ₂	N ₁	Ketiga					

Tabel 3.2 Pengambilan data pengujian konsumsi bahan bakar

NO	Sudut Pengapian	RPM (N)	Percobaan	Massa (gram)	Waktu (detik)	P_{in}	P_{out}
1	X_1	N_1	Pertama	20			
	X_1	N_1	Kedua	20			
	X_1	N_1	Ketiga	20			
2	X_2	N_1	Pertama	20			
	X_2	N_1	Kedua	20			
	X_2	N_1	Ketiga	20			

Tabel 3.3 Pengambilan data pengujian *Dyno test*

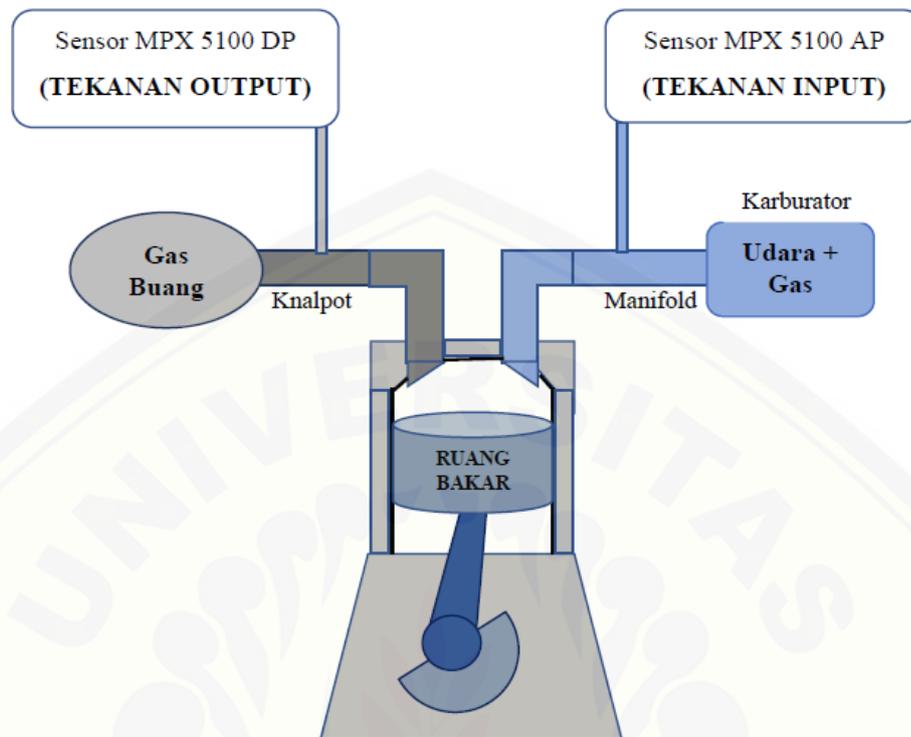
NO	Sudut Pengapian	RPM (N)	Percobaan	Waktu (s)	Torsi	Daya max	P_{in}	P_{out}
1	X_1	3000	Pertama					
	X_1	s/d	Kedua					
	X_1	7000	Ketiga					
2	X_2	3000	Pertama					
	X_2	s/d	Kedua					
	X_2	7000	Ketiga					



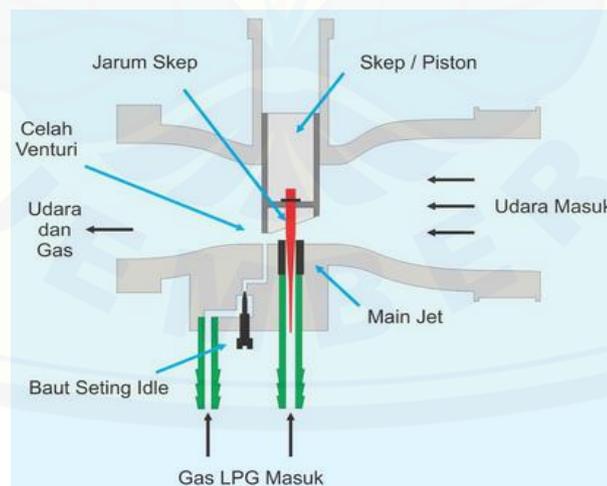
Gambar 3.2 Skema instalasi *konverter kit*

Keterangan :

1. Karburator / *mixer*
2. Saluran gas utama
3. Saluran gas idle
4. Kran membran
5. Kran pembagi
6. Selang gas LPG
7. Regulator tekanan tinggi
8. Tabung gas



Gambar 3.3 Skema sensor tekanan intake dan exhaust ruang bakar



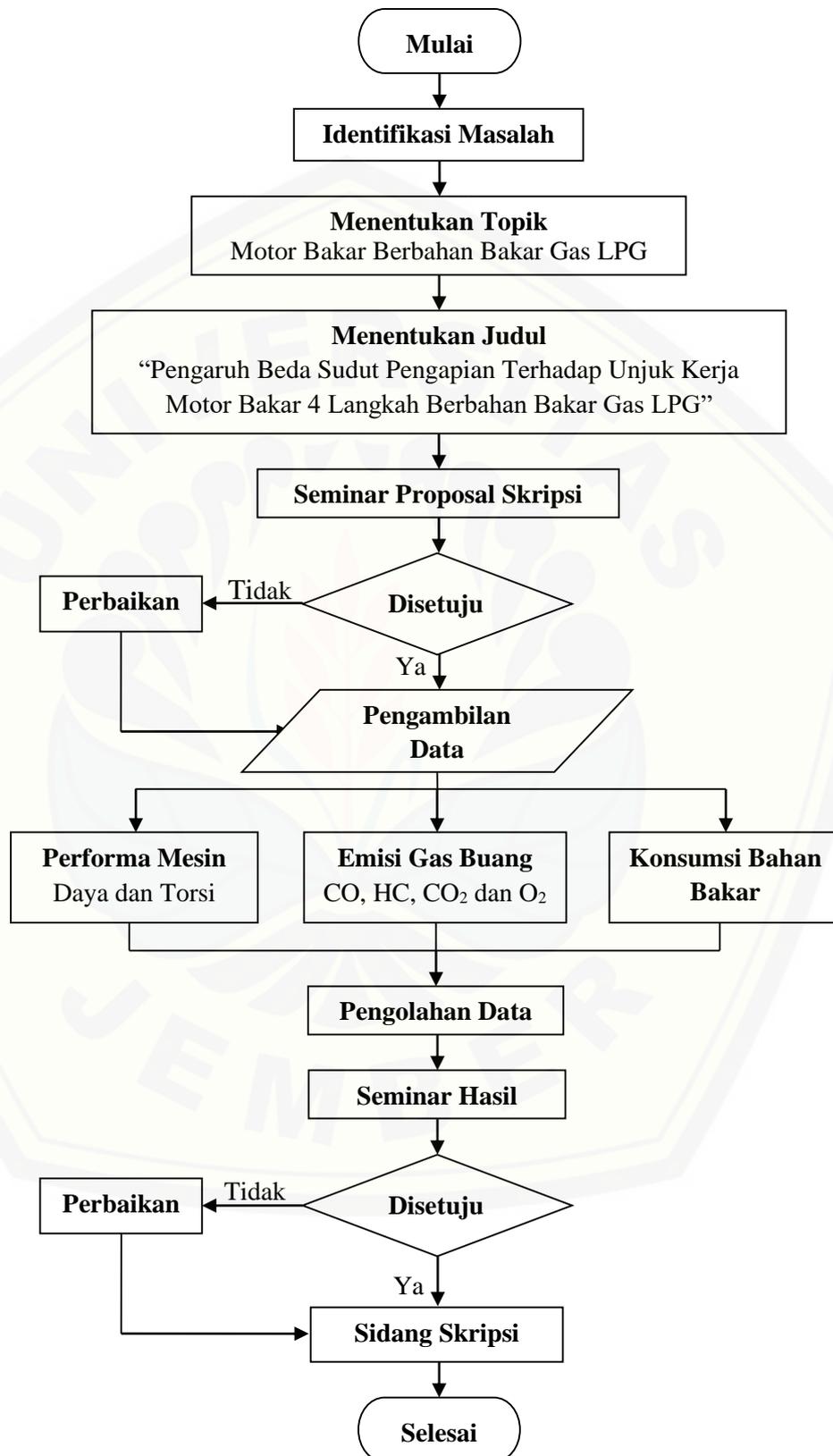
Gambar 3.4 Skema mixer / karburator LPG

(<http://motor-lpg-blogspot.com>)

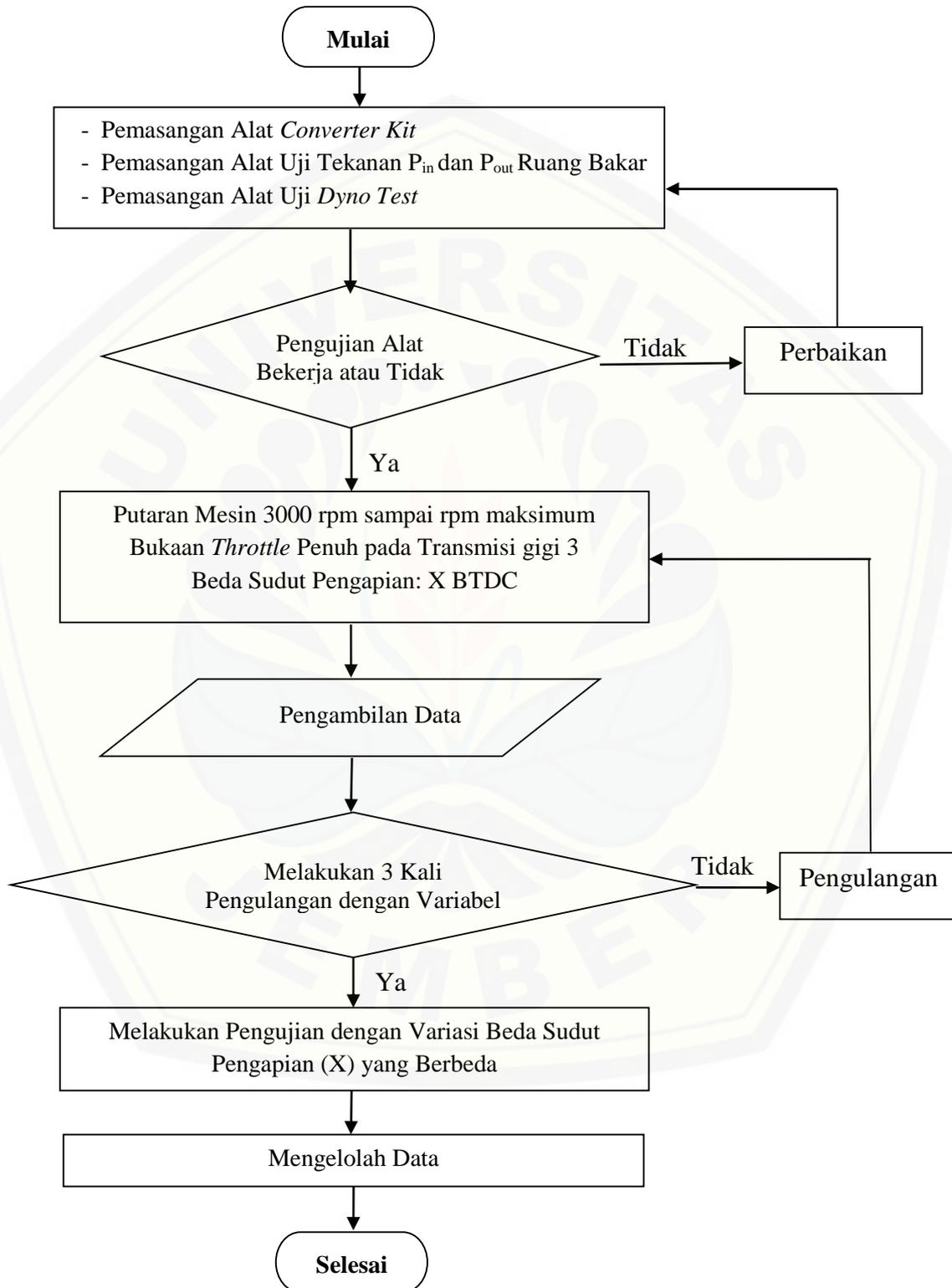
Tabel 3.4 Jadwal Penelitian

No	Jenis Kegiatan	Bulan						
		Nov	Des	Jan	Feb	Mar	April	Mei
1	Observasi dan studi literature	■						
2	Penyusunan Proposal	■	■					
3	Seminar Proposal			■				
4	Pembuatan Alat				■			
5	Pelaksanaan Penelitian					■		
6	Pengolahan data dan analisis					■	■	
7	Seminar Hasil						■	
8	Ujian Penelitian							■

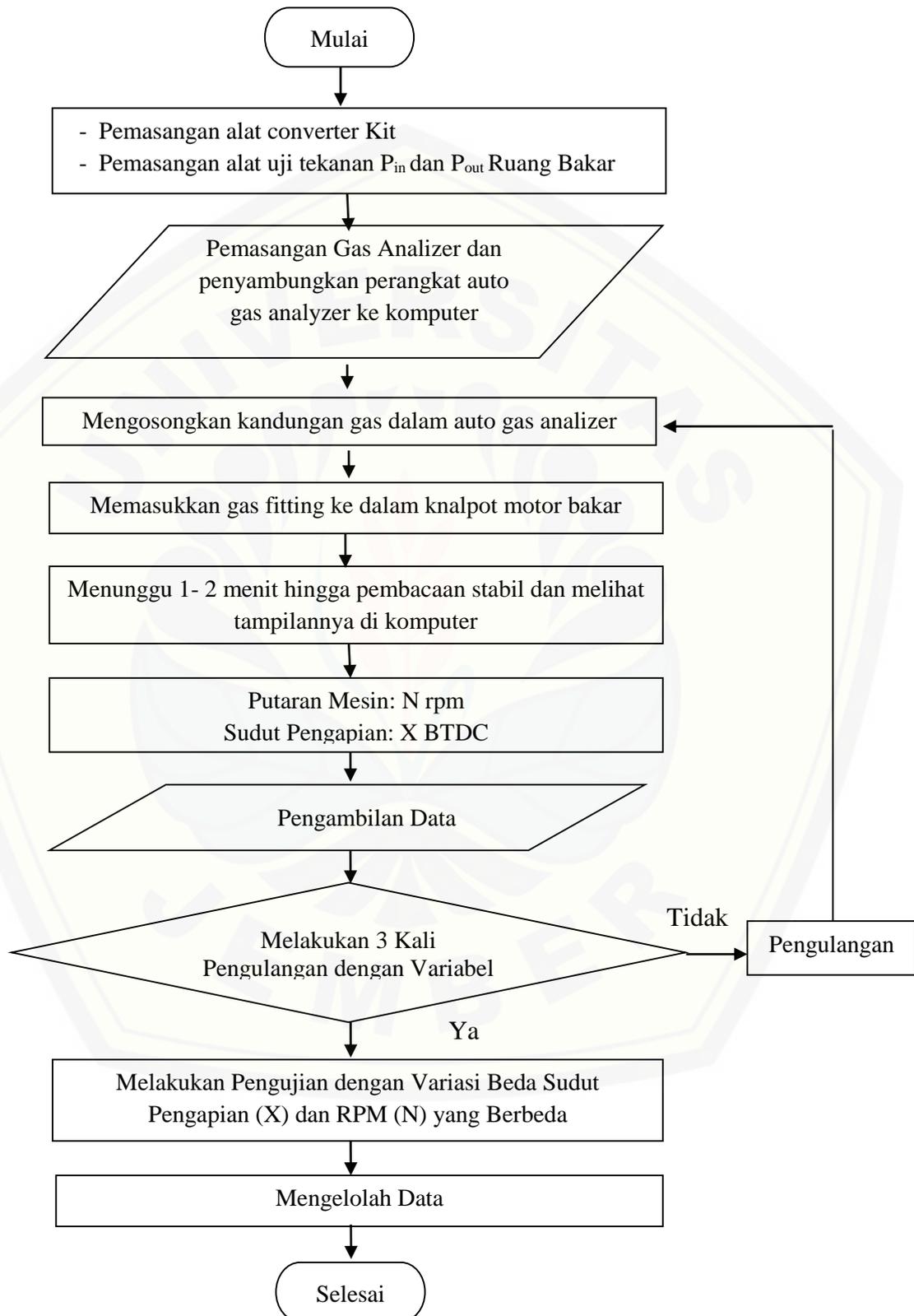
3.7 Skema Flow Chat Penelitian

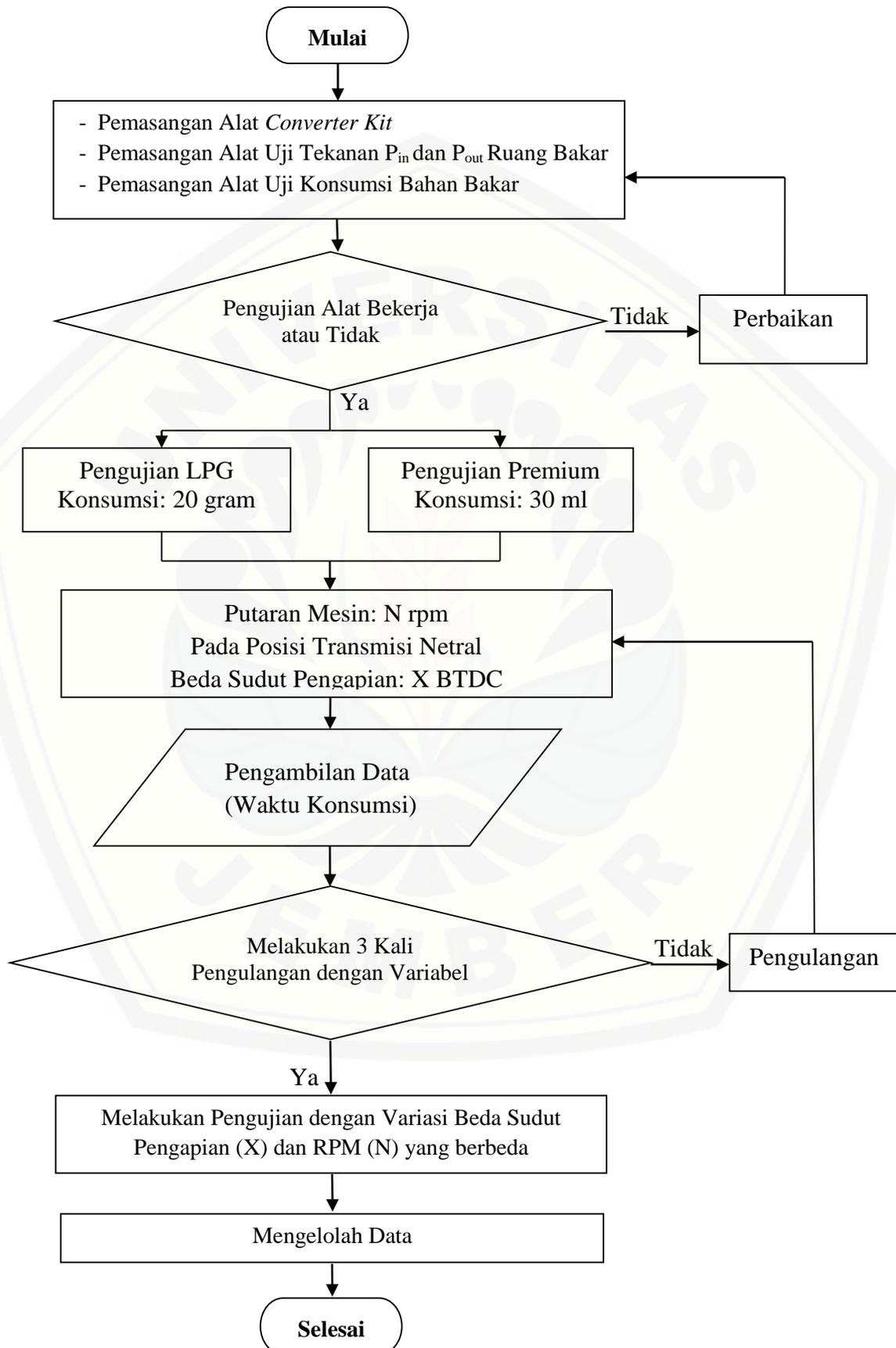


3.8 Pengujian Performa Mesin



3.9 Skema Flow Chat Pengujian Emisi Gas Buang



3.10 Skema Flow Chat Pengujian Konsumsi Bahan Bakar

BAB 5. PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Berdasar analisis dan data-data yang diperoleh dari hasil pengujian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan bahan bakar LPG pada motor bakar 4 langkah menghasilkan nilai torsi yang lebih besar dari pada penggunaan bahan bakar premium sebesar 1,72%. Nilai torsi maksimum tertinggi (6,39 Nm) bahan bakar LPG diperoleh pada putaran mesin 3 765 rpm pada sudut pengapian maju (18° BTDC). Sedangkan penggunaan LPG sebagai bahan bakar menghasilkan nilai daya yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar premium sebesar 19,65%. Nilai daya maksimum tertinggi (5,48 kW) bahan bakar LPG diperoleh pada putaran mesin 8 602 rpm pada sudut pengapian maju (18° BTDC).
2. Bahan bakar LPG memiliki nilai emisi gas buang CO dan CO₂ lebih rendah sedangkan memiliki nilai emisi gas buang HC dan O₂ lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar premium. Pada bahan bakar LPG nilai emisi CO terendah (0,143 %) terjadi pada putaran mesin 7 000 rpm pada sudut pengapian standart (15° BTDC), HC terendah (97 ppm) terjadi pada putaran mesin 6 000 rpm pada sudut pengapian maju (18° BTDC), CO₂ terendah (3,37 %) terjadi pada putaran mesin 7 000 rpm pada sudut pengapian mundur (12° BTDC) dan O₂ terendah (14,47 %) terjadi pada putaran mesin 4 000 rpm pada sudut pengapian mundur (12° BTDC).
3. Bahan bakar LPG dengan sudut pengapian 18⁰ BTDC terjadi penurunan konsumsi bahan bakar palig optimal sebesar 47,94% dari penggunaan bahan bakar premium.

5.2 SARAN

Saran yang dapat diambil pada penelitian kali ini adalah:

1. Untuk mendapatkan nilai torsi dan daya maksimal perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan memvariasikan putaran mesin, sehingga perubahan grafik torsi dan daya terlihat lebih jelas.
2. Pembakaran LPG merupakan pembakaran kering, sehingga perlu adanya penelitian lanjutan tentang media pendingin yang sesuai sehingga tidak terjadi pijaran pada busi yang memungkinkan terjadi penyalaan dini.
3. Untuk peneliti lanjutan, perlu adanya penelitian tentang pengaruh tekanan maupun aliran gas yang sesuai sehingga dapat mereduksi emisi gas buang dan menghemat bahan bakar.
4. Perlu adanya uji kelayakan tentang instalasi dari *converter kit* bahan bakar gas yang *portable* pada sepeda motor, sehingga pengaturan gas lebih stabil pada saat deselerasi maupun akselerasi dan tidak terjadi kebocoran gas.
5. Pada saat dilakukan pengujian terjadi pengembunan pada sisi luar tabung LPG sehingga perlu adanya mekanisme pemanas untuk menghindari penurunan tekanan.

DAFTAR PUSTAKA

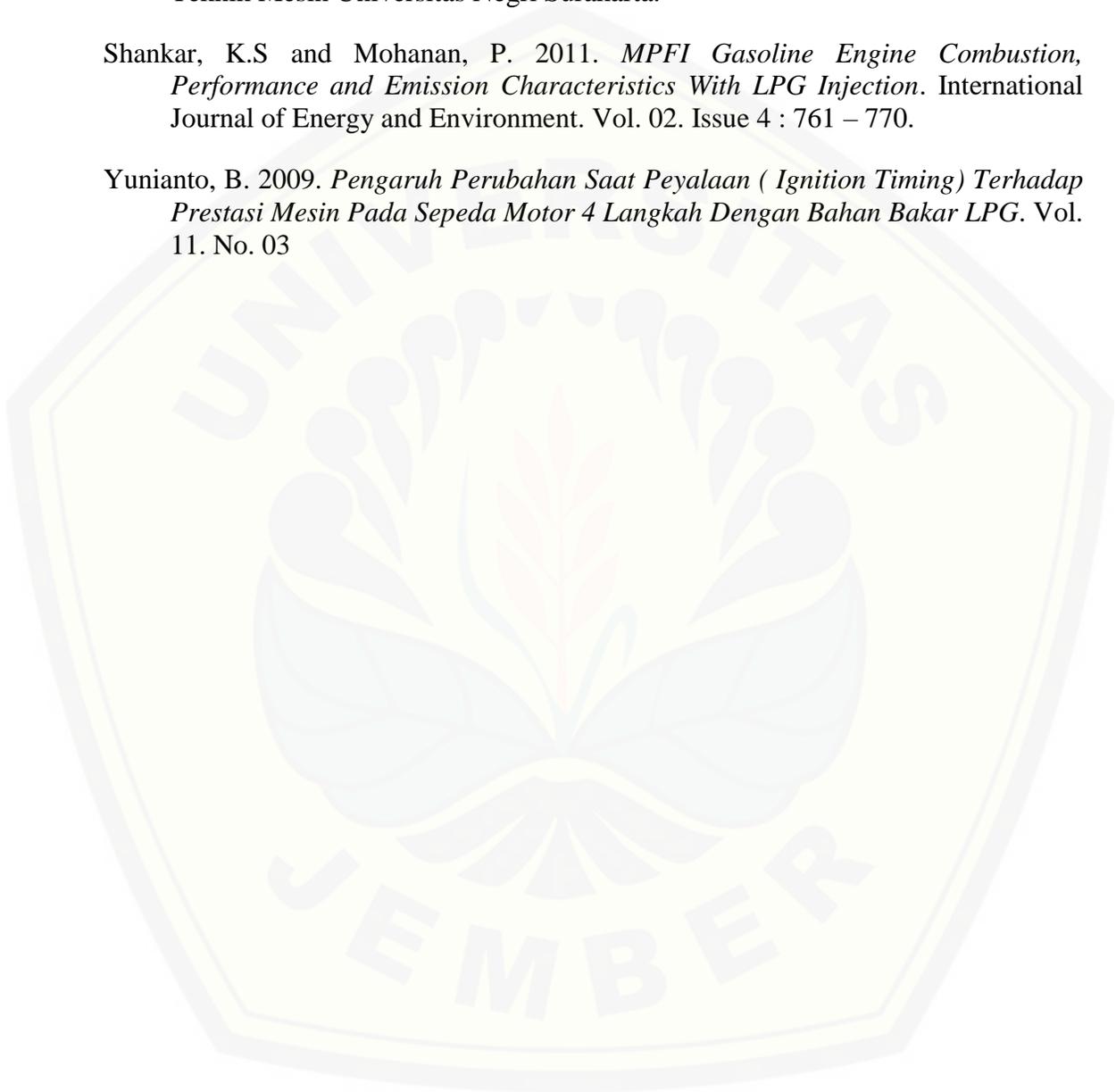
- Aditya, P dan Arijiyanto, Ir. MT. 2012. Pengujian Menggunakan Katalisator Broquet Terhadap Emisi Gas Buang Mesin Sepeda Motor 4 Langkah. *Thesis*. Universitas Diponegoro. <http://eprints.undip.ac.id/41573/>.
- Anton. 2013. Perbandingan Gas Buang Kendaraan Bermotor Berbahan Bakar Bensin dan LPG dengan Konverter KIT Dual Fuel Sebagai Pengatur LPG Pada Motor Bermesin 150 cc. *Skripsi*. Semarang: Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
- Arijiyanto dan Usman, M.B.I. 2015. *Penggunaan Gas Sebagai Bahan Bakar Pada Sepeda Motor Bermesin Injeksi. Pcoceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV)*.7-8 Oktober 2015. Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Labung Mangkurat:10.
- Badan Pusat Statistik. 2016. *Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis tahun 1987-2013*. Jakarta: BPS Indonesia.
- BP Statistical Review. 2016. *BP Statistical Review of World Energy June 2016*. June. London: BP Statistical Review World.
- Esteves, G.R.T and Barbosa, S.P.C.S. 2007. *Correlation Between Pollutans Emmision and Inhabitants Morbidity*. Paper presented to Pripode Workshop on Urban Population. 11 – 13 June 2007. Nairobi Kenya.
- Heywood J.B. 1998. *International Combustion Engine Funamentals*. United States: MC Graw Hill.
- Heywood, J and Bandvadeker. 2004. *Assessment of future ICE and fuel cell powdered vehicles, and their potential impacts 10th annual Diesel engines Emission Reduction*. 29 Agust – 2 September. San Diego: USA.
- IEA ETSAP, 2010, *Automotive LPG and Natural Gas Engines*, Technology Brief T03 – April 2010 - www.etsap.org.
- Jaedun, A., 2011. *Metode Penelitian Eksperimental*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta
- Jama J. 2008. *Teknik Sepeda Motor*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jendral Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional.

- Kalra, D., Dr.Veeresh, B.A., Kumar, M.V. 2014. *Effects of LPG on the performance and emission characteristics of SI engine - An Overview*. IJEDR1403019. Volume 2, Issue 3, ISSN: 2321-9939: 2997 – 3003.
- Machmud, R dan Sungkono. 2015. *Komparasi Penggunaan bahan Bakar Premium Dengan bahan Bakar LPG Sistem Manifold Injeksi Terhadap Kadar Emisi Gas Buang Sepeda Motor 4 Langkah*.
- Machmud, S., Surono, U.B., Sitorus, L. 2013. *Pengaruh Varisi Unjuk Derajat Pengapian Terhadap Kerja Mesin*. Jurnal Teknik. Vol. 03. No. 01. April. ISSN 2088 – 3676: 58 – 64.
- Mixer LPG. 2012. *Modifikasi Karburator Untuk Konverter Kit Sepeda Motor LPG*. Motor-lpg.blogspot.co.id. [diakses 12-12-2016]
- Nasir, M. 2014. *Potret Kinerja Migas Indonesia*. Buletin Info Risiko Fisikal. Edisi 1. annasiru@gmail.com.
- Nu'maan dan Siregar, I.A. 2013. *Performa Mesin dan Emisi Gas Buang Motor Bensin Berbahan Bakar LPG Dengan Penambahan Gas HHO*. Skripsi. Universitas Negeri Surabaya.
- Pundkar, A.H. Lawankar, S.M. Deshmukh, Dr.S. 2012. *Performance and Emissions of LPG Fueled Internal Combustion Engine: A Review*. International Journal of Scientific & Engineering Research. Vol. 03. Issue. 03. March. ISSN: 2229-5518.
- Rohmat, T.A dan Saptoadi, H. 2003. *Pengaruh Waktu Penyalaan Terhadap Kinerja Spark-Ignition Engine Berbahan Bakar LPG*. Media Teknik. No. 03. ISSN: 0216 – 3012.
- Romandoni, N. dan Siregar, I.H. 2012. *Studi Komparasi Performa Mesin dan Kadar Emisi Gas Buang Sepeda Motor Empat Langkah Berbahan Bakar Bensin dan LPG*. Surabaya: Penelitian Eksperimen. April – September.
- Setiyo, M. dan Condro, B. 2012. *Optimasi Pemanfaatan LPG Sebagai Bahan Bakar Kendaraan Melalui Penyetelan Converter Kits dan Saat Pengapian*. Laporan Penelitian Dosen. Magelang: Universitas Muhammadiyah Magelang.
- Setiyo, M dan Purnomo B.C.2014. *Investigasi Penurunan Daya Pada Kendaraan Berbahan Bakar Gas LPG dengan Metode Pengukuran Evisiensi Volumetris*. Laporan Penelitian Dosen. Magelang: Universitas Muhammadiyah Magelang.

Setiyono, L., Subangsono, Basori. 2013. *Pengaruh Perubahan Waktu Penyalaan (Ignition Timing) Terhadap Torsi dan Daya Pada Sepeda Motor Vega R 110 CC Tahun 2008 Dengan Bahan Bakar LPG (Liquefied Petroleum Gas)*. Pendidikan Teknik Mesin Universitas Negeri Surakarta.

Shankar, K.S and Mohanan, P. 2011. *MPFI Gasoline Engine Combustion, Performance and Emission Characteristics With LPG Injection*. International Journal of Energy and Environment. Vol. 02. Issue 4 : 761 – 770.

Yunianto, B. 2009. *Pengaruh Perubahan Saat Peyalaan (Ignition Timing) Terhadap Prestasi Mesin Pada Sepeda Motor 4 Langkah Dengan Bahan Bakar LPG*. Vol. 11. No. 03



LAMPIRAN DATA HASIL PENELITIAN

Lampiran A. Tabel Data Pengujian Emisi Gas Buang

Tabel A.1 Hasil rata-rata pengujian emisi gas buang 3000 rpm bahan bakar LPG

sudut pengapian (mm)	Percobaan	Emisi Gas Buang				P _{in} (KPa)	P _{out} (KPa)
		CO (%)	HC (ppm)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)		
12°	I	1,93	576	1,4	16,4	52,73	29,15
	II	1,93	566	1,4	16,5	54,26	24,98
	III	1,92	586	1,4	16,4	45,21	25,64
	Rata-rata	1,927	576	1,4	16,433	50,73	26,59
15°	I	2,02	372	1,7	16,1	58,50	28,72
	II	1,99	370	1,7	16,2	52,41	28,71
	III	1,98	368	1,7	16,3	54,04	25,63
	Rata-rata	1,997	370	1,7	16,2	54,98	27,68
18°	I	2,25	690	2,0	16,1	56,56	25,31
	II	2,48	812	2,0	16,1	53,82	28,71
	III	2,58	888	2,0	16,0	55,89	28,72
	Rata-rata	2,437	796,67	2,0	16,07	55,42	27,58