



**ANALISIS UNJUK KERJA MOTOR BAKAR EMPAT LANGKAH
BERBAHAN BAKAR (*liquefied petroleum gas*) LPG
DENGAN WATER INJECTION**

SKRIPSI

Oleh:

**Fiqih Muhammad
NIM 131910101042**

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

2017



**ANALISIS UNJUK KERJA MOTOR BAKAR EMPAT LANGKAH
BERBAHAN BAKAR (*liquefied petroleum gas*) LPG
DENGAN WATER INJECTION**

SKRIPSI

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

Oleh:

Fiqih Muhammad
NIM 131910101042

**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 Imam Sachroni dan Ibu Ariana yang senantiasa memberikan 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 Ir. Ahmad Syuhri, M.T. dan Bapak Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing dalam penyusunan skripsi ini;
5. Bapak Ir. Digdo Listyadi Setyawan, MSc. selaku Dosen Penguji Utama dan Bapak Dr. Gaguk Jatisukanto, 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 LPG (Ahmad Zainuri, Ahmad Rifqi In'Amullah, Puji Kristianto, dan Khoirul Wasik) yang telah memberikan tenaga dan waktunya untuk membantu penelitian ini;
9. Keluarga Kontraan Brantas 23 yang selalu memberikan semangat dan motivasi yang tiada henti.

HALAMAN MOTTO

“Ilmu tidak akan mungkin didapatkan kecuali dengan kita meluangkan waktu”

(Imam Al-Baihaqi)

“Siapa yang ingin mencari dunia hendaklah dengan ilmu dan siapa yang ingin mencari akhirat hendaklah dengan ilmu”

(Imam Syafii)

“Orang mukmin yang kuat lebih baik dan lebih disukai Allah daripada orang mukmin yang lemah. Masing-masing ada kebaikannya, bersemangat lah untuk mengerjakan sesuatu yang bermanfaat bagi dirimu, serta mohonlah pertolongan kepada Allah dan janganlah lemah”

(HR. Muslim)

“Kalau tertimpa sesuatu, janganlah kamu mengucapkan: “Seandainya saya berbuat begini tentu akan terjadi begini dan begitu,” tetapi katakanlah: “Apa yang telah ditentukan Allah dan apa yang dikehendaki-Nya pasti akan terjadi.” Karena kata seandainya itu akan memberi jalan kepada setan.”

(HR. Muslim)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini;

Nama : **Fiqih Muhammad**

NIM : **131910101042**

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “**ANALISIS UNJUK KERJA MOTOR BAKAR EMPAT LANGKAH BERBAHAN BAKAR (*liquefied petroleum gas*) LPG DENGAN WATER INJECTION** ” 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, 20 Desember 2017

Yang menyatakan

Fiqih Muhammad

NIM 131910101042

SKRIPSI

**ANALISIS UNJUK KERJA MOTOR BAKAR EMPAT LANGKAH BERBAHAN
BAKAR (*liquefied petroleum gas*) LPG DENGAN WATER INJECTION**

Oleh:
Fiqih Muhammad
NIM. 1319101042

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Ahmad Syuhri, M.T.
Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T.

**PROGRAM STUDI STARTA 1 TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER**

2017

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “**ANALISIS UNJUK KERJA MOTOR BAKAR EMPAT LANGKAH BERBAHAN BAKAR (*liquefied petroleum gas*) LPG DENGAN *WATER INJECTION***” telah diuji dan disahkan pada:

Hari : Kamis

Tanggal : 28 Desember 2017

Tempat : Ruang Ujian 2, Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim penguji:

Ketua,

Sekretaris,

Ir. Ahmad Syuhri, M.T.

NIP. 19670123 199702 1 001

Anggota I,

Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T.

NIP. 19711114 199903 1 002

Anggota II,

Ir. Digo Listyadi Setyawan, MSc.

NIP. 19680617 199501 1 001

Dr. Gaguk Jatisukamto, S.T., M.T.

NIP. 19690209 199802 1 001

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Jember

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M.

NIP.19661215 199503 2 001

RINGKASAN

ANALISIS UNJUK KERJA MOTOR BAKAR EMPAT LANGKAH BERBAHAN BAKAR (*liquefied petroleum gas*) LPG DENGAN WATER INJECTION

Fiqih Muhammad, 131910101042; 2017; 88 halaman; 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 penambahan *water injection* yang dimasukkan melalui intake manifold pada motor bakar empat langkah berbahan bakar (*liquefied petroleum gas*) lpg. Variasi yang digunakan adalah jenis zat cair yang diinjeksikan yaitu akuades 100% (A100), akuades 75% + metanol 25% (A75), dan akuades 50% + metanol 50% (A100) dengan variasi putaran mesin 3000 rpm, 4000 rpm, 5000 rpm, 6000 rpm dan 7000 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 *Electric Dynotest*, sedangkan untuk pengujian laju aliran 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 8,43 Nm diperoleh pada putaran mesin 3614 RPM dengan variasi zat cair *water injection* A50, sedangkan nilai daya maksimum sebesar 7,43 kW diperoleh pada putaran mesin 9033 rpm dengan variasi zat cair *water injection* A50. Pada pengujian emisi gas buang didapatkan nilai rata-rata emisi CO optimum sebesar 1,59 % pada jenis variasi zat cair *water injection* A100, nilai rata-rata emisi CO₂ optimum sebesar 3,38 % pada jenis variasi zat cair *water injection* A100, nilai rata-rata emisi HC optimum sebesar 142 ppm pada jenis variasi zat cair *water injection* A100. Pada pengujian konsumsi bahan bakar didapatkan nilai rata-rata optimum konsumsi bahan bakar sebesar 0,059 g/s pada jenis variasi zat cair *water injection* A50

SUMMARY

ANALYSIS OF PERFORMANCE FOUR - STROKE COMBUSTION ENGINE USING (liquefied petroleum gas) LPG FUEL WITH WATER INJECTION

Fiqih Muhammad, 131910101042; 2017; 88 pages; *Mechanical Engineering Department of Engineering Faculty of Jember.*

Liquefied Petroleum Gas (LPG) is a gas that produced from natural gases purification, it is also produced during crude oil's distillation. Main component of LPG are propane gas (C_3H_8) and butane (C_4H_{10}), LPG also contain other hydrocarbon in a small amount, which are ethane (C_2H_6) and pentane (C_5H_{12}).

Focus in this research is about an addition of water injection that injected through to intake manifold in four stroke combustion engine using lpg fuel. Variations in this research using liquid that injected is akuades 100% (A100), akuades 75% + metanol 25% (A75), and akuades 50% + metanol 50% (A50) with engine speed 3000 rpm, 4000rpm, 5000 rpm, 6000 rpm, and 7000 rpm

These researches conduct in Laboratorium Mesin Otomotif, Faculty of engineering, Jember State Polytechnic to test exhaust gas emissions using *Gas Analyzer* machine. Power and torque testing conduct in workshop of Ahass Asia Sulfat Malang, using Electric Dyno Test machine. Fuel flow rate testing conduct in Conversion Energy Laboratory, Mechanical engineering, University of Jember.

From the results of research using LPG fuels, obtained maximum torque value of 8.43 Nm obtained at engine speed 3614 RPM with a variation of liquid water injection A50, while the maximum power value of 7.43 kW obtained at 9033 rpm engine rotation with a variation of liquid water injection A50. In the exhaust gas emission test, the average value of optimum CO emission is 1.59% in the type of liquid water injection A100 variation, the average value of the optimum CO₂ emissions of 3.38% in the type of liquid water injection A100 variation, the average value the optimum HC emission of 142 ppm in the type of variation of A100 water injection. In testing fuel consumption obtained an average value of optimum fuel consumption of 0.059 g/s in the type of variations of water injection A50

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT. Atas segala rahmat dan karunianya-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul Analisis Unjuk Kerja Motor Bakar Empat Langkah Berbahan Bakar (*liquefied petroleum gas*) lpg dengan *Water Injection*". 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. Allah SWT yang telah memberikan nikmat lahiriyah maupun batiniyah yang tidak pernah henti penulis rasakan;
2. Bapak Ir. Ahmad Syuhri, M.T. dan Bapak Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu maupun pikiran dalam penyusunan skripsi ini;
3. Bapak Ir. Digdo Listyadi Setyawan, MSc. dan Bapak Dr. Gaguk Jatisukamto, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah membantu 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. Dulur-dulur Teknik Mesin 2013 yang senantiasa memberikan motivasi, dukungan serta semangat selama mengikuti perkuliahan hingga saat ini, salam Solidarity Forever;

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, 20 September 2017

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PESEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	viii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan dan Manfaat	3
1.3.1 Tujuan	3
1.3.2 Manfaat	3
1.4 Batasan Masalah	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Minyak dan Gas di Indonesia	5
2.2 Karakteristik LPG Sebagai Bahan Bakar Kendaraan	7
2.2.1 Daya dan Torsi yang Dihasilkan LPG	8
2.2.2 Konsumsi Bahan Bakar LPG	10
2.2.3 Emisi Gas Buang	11
2.3 Converter Kit	12
2.4 Water Injection	13

2.4.1 Torsi dan Daya Menggunakan <i>Water Injection</i>	14
2.4.2 Konsumsi Bahan Bakar Menggunakan <i>Water Injection</i>	15
2.4.3 Emisi Gas Buang Menggunakan <i>Water Injection</i>	17
2.5 Hipotesa Penelitian	17
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	18
3.1 Metode Penelitian	18
3.2 Waktu dan Tempat	18
3.3 Alat dan Bahan	18
3.3.1 Alat	18
3.3.2 Bahan	20
3.4 Variabel Penelitian	20
3.4.1 Variabel Bebas	20
3.4.2 Variabel Terikat.....	21
3.5 Prosedur Penelitian	22
3.5.1 Persiapan dan Pemeriksaan Alat dan Bahan	22
3.5.2 Tahap Pengambilan Data.....	23
3.6 Skema <i>Flow Chat</i> Penelitian	30
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Data Hasil Penelitian	31
4.1.1 Analisis Torsi dan Daya.....	31
4.1.2 Analisis Emisi Gas Buang	38
4.1.3 Analisis Konsumsi Bahan Bakar	50
BAB 5. PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN DATA HASIL PENELITIAN	58
Lampiran A. Tabel Data Pengujian Emisi Gas Buang	58
Lampiran B. Tabel Data Pengujian Konsumsi Bahan Bakar	64
Lampiran C. Data Pengujian Torsi dan Daya Maksimum	70
Lampiran D. Data dan Gambar Kalibrasi Sensor	79
Lampiran E. Gambar Alat dan Bahan Penelitian	82

Lampiran F. Gambar Proses Pengujian Daya dan Torsi.....	86
Lampiran G. Gambar Proses Pengujian Emisi Gas Buang.....	87
Lampiran H. Gambar Proses Pengujian Konsumsi Bahan Bakar.....	88



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor di Indonesia	5
2.2 Volume Produksi dan Konsumsi BBM di Indonesia	6
2.3 Peta Cadangan Gas di Indonesia	6
2.4 Grafik Perbandingan Efisiensi Volumetrik Premium dan LPG	9
2.5 Perbandingan Daya Mesin	9
2.6 Grafik Perbandingan Torsi dan Daya Bahan Bakar LPG dan Premium	10
2.7 Grafik Perbandingan Konsumsi Bahan Bakar LPG dan Premium	11
2.8 Perbandingan Konsumsi Bahan Bakar LPG dan Bensin	11
2.9 Grafik Perbandingan Emisi Gas Buang LPG dan Bensin	12
2.10 Converter Kit Pada Sepeda Motor	13
2.11 Grafik Perbandingan Torsi dan Daya Menggunakan <i>Water Injection</i>	14
2.12 Grafik Perbandingan Torsi dan Daya Menggunakan <i>Water Injection</i>	15
2.13 Tabel Perbandingan Konsumsi Bahan Bakar dengan <i>Water Injection</i>	16
2.14 Grafik Perbandingan Konsumsi Bahan Bakar dengan <i>Water Injection</i>	16
2.15 Grafik Perbandingan Penurunan Kadar CO dengan <i>Water Injection</i> ...	17
3.1 Skema Instalasi <i>Water Injection</i>	27
3.2 Skema Instalasi <i>Converter Kits</i>	28
3.3 Skema Instalasi Turbulator dan Sensor Tekanan Pada <i>Intake</i> dan <i>Exhaust</i>	29
4.1 Grafik pengaruh penggunaan water injection LPG dengan tanpa water injection premium terhadap torsi maksimum mesin.....	32
4.2 Grafik pengaruh penggunaan water injection LPG dengan tanpa water injection LPG.....	33
4.3 Grafik pengaruh penggunaan water injection dengan tanpa water injection terhadap torsi maksimum mesin	34
4.4 Grafik pengaruh penggunaan <i>water injection</i> LPG dengan tanpa <i>water injection</i> premium terhadap daya maksimum mesin	35

4.5 Grafik pengaruh penggunaan <i>water injection</i> LPG dengan tanpa <i>water injection</i> LPG terhadap daya maksimum mesin.....	36
4.6 Grafik pengaruh penggunaan <i>water injection</i> dengan tanpa <i>water injection</i> terhadap daya maksimum mesin.....	37
4.7 Grafik pengaruh penggunaan <i>water injection</i> LPG dengan tanpa <i>water injection</i> premium terhadap emisi gas buang CO.....	39
4.8 Grafik pengaruh penggunaan <i>water injection</i> LPG dengan tanpa <i>water injection</i> LPG terhadap emisi gas buang CO.....	40
4.9 Grafik pengaruh penggunaan <i>water injection</i> dengan tanpa <i>water injection</i> terhadap emisi gas buang CO.....	41
4.10 Grafik pengaruh penggunaan <i>water injection</i> LPG dengan tanpa <i>water injection</i> premium terhadap emisi gas buang CO ₂	43
4.11 Grafik pengaruh penggunaan <i>water injection</i> LPG dengan tanpa <i>water injection</i> LPG terhadap emisi gas buang CO ₂	44
4.12 Grafik pengaruh penggunaan <i>water injection</i> dengan tanpa <i>water injection</i> terhadap emisi gas buang CO ₂	45
4.13 Grafik pengaruh penggunaan <i>water injection</i> LPG dengan tanpa <i>water injection</i> premium terhadap emisi gas buang HC.....	47
4.14 Grafik pengaruh penggunaan <i>water injection</i> LPG dengan tanpa <i>water injection</i> LPG terhadap emisi gas buang HC.....	48
4.15 Grafik pengaruh penggunaan <i>water injection</i> dengan tanpa <i>water injection</i> terhadap emisi gas buang HC.....	49
4.16 Grafik konsumsi bahan bakar <i>water injection</i> LPG dengan tanpa <i>water injection</i> premium.....	50
4.17 Grafik konsumsi bahan bakar <i>water injection</i> LPG dengan tanpa <i>water injection</i> LPG.....	51
4.18 Grafik konsumsi bahan bakar <i>water injection</i> dengan tanpa <i>water Injection</i>	52

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Perbandingan properti bahan bakar Bensin dan LPG	7
3.1 Pengambilan data Pengujian <i>Dyno Test</i>	25
3.2 Pengambilan data Pengujian Konsumsi Bahan Bakar	26
3.3 Pengambilan Data Emisi Gas Buang	26
4.1 Hasil rata – rata pengujian torsi dan daya mesin.....	32
4.2 Nilai rata – rata emisi gas CO (%)	38
4.3 Nilai rata – rata emisi gas CO ₂ (%).....	42
4.4 Nilai rata – rata emisi gas HC (ppm)	46
4.5 Konsumsi bahan bakar terhadap putaran mesin (g/s)	50

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kendaraan bermotor di Indonesia mengalami peningkatan yang cukup pesat dalam beberapa tahun terakhir. Badan Pusat Statistik (BPS) menyebutkan bahwa jumlah kendaraan bermotor meningkat sebesar 9.754.645 unit pada tahun 2012 hingga 2013. Indonesia menempati posisi 14 dunia dalam konsumsi minyak bumi dengan pemakaian sebesar 1,628 juta barel minyak per hari pada tahun 2015, sedangkan produksi minyak di Indonesia hanya 825 ribu barel minyak per hari. Data *BP Statistical Review* (2016) menyebutkan bahwa 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 di Indonesia hanya 39,7 BCM. Keberadaan gas di Indonesia sangat disayangkan jika tidak dimanfaatkan dengan baik

Liquefied Petroleum Gas (LPG) adalah salah satu bahan bakar gas alternatif pengganti bahan bakar minyak untuk kendaraan bermotor di Indonesia. *Liquefied Petroleum Gas* merupakan campuran Propana (C_3H_8) dan Butana (C_4H_{10}). LPG memiliki nilai *octane* 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). Setiyo dan Condro (2012) meneliti kadar CO dan HC pada gas LPG, hasil penelitiannya menunjukkan penurunan gas CO hingga 80,6 % dan HC 37,2 %. Romandoni dan Siregar (2012) melakukan penelitian dengan menggunakan bahan bakar LPG pada motor Honda Vario 110 cc tahun 2010, dari penelitian tersebut diketahui bahwa penggunaan bahan bakar LPG dapat menurunkan kadar CO sebesar 99,56 % pada putaran 5500 rpm, CO_2 sebesar 55,72 % pada putaran 3500 rpm dan HC sebesar 77,67 % pada putaran 5500 rpm, sedangkan konsentrasi O_2 mengalami peningkatan sebesar 83,65% pada putaran 7500 rpm. Penelitian yang dilakukan oleh Sulaiman dkk., (2015) menyebutkan bahwa penggunaan bahan bakar LPG menimbulkan penurunan terhadap daya mesin sekitar 3% - 4%, namun mampu menghemat

konsumsi bahan bakar hingga 25% dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar ULP RON 95

Permasalahan yang sering terjadi pada motor berbahan bakar LPG yaitu panas yang tinggi pada mesin, sehingga dapat mengakibatkan terjadinya *engine knocking*. Panas yang terlalu tinggi akan menyebabkan terjadinya *engine knocking* yang mengakibatkan kerusakan komponen mesin (Mahmud, dkk. 2015). Upaya yang dapat dilakukan untuk menghindari masalah tersebut yaitu dengan menggunakan *Water injection*. *Water injection* merupakan suatu sistem penambahan zat cair yang berbentuk butiran air yang dimasukkan ke dalam ruang baka melalui *intake manifold*. Menurut Subramanian, dkk (2006) *Water injection* merupakan cara yang efektif guna mengurangi emisi pada mesin *Spark Ignition* (SI) dan pada mesin *Compression Ignition* (CI). Injeksi air pada mesin *spark ignition* dapat mengendalikan suhu dan tekanan pembakaran, metode ini juga berguna untuk mengendalikan emisi (Minguri, dkk 2015). Mahmud dkk., (2015) juga melakukan penelitian mengenai *water injection* pada sepeda motor Honda Mega Pro tahun 2009 di mana dari hasil penelitian tersebut didapatkan peningkatan torsi sebesar 8,42%, daya sebesar 7,28%. Pradana dkk (2015) melakukan penelitian mengenai kadar emisi CO dan HC menggunakan *water injection* dan tanpa menggunakan *water injection* pada kendaraan Honda Supra Fit tahun 2010 berbahan bakar premium. Hasil yang diperoleh dari penelitian tersebut menyatakan bahwa kadar CO mengalami penurunan 1,920% dan untuk kadar HC mengalami kenaikan sebesar 1140 ppm. Farag, dkk (2017) melakukan penelitian mengenai *water injection* pada mesin *Diesel* hasil penelitian tersebut menunjukkan penurunan tingkat emisi NOx sebesar 16% dan 56%. Arabaci dkk (2015) melakukan penelitian mengenai *water injection* pada mesin Honda GX 270. Hasil pengujian menunjukkan bahwa suhu gas buang dan konsumsi bahan bakar spesifik masing-masing turun 7% dan 9%. Sebaliknya, konsumsi bahan bakar dan tenaga listrik masing-masing meningkat 2% dan 10% dengan injeksi air. Emisi CO dan HC turun 21,97% dan masing-masing 18,23%

Dari uraian latar belakang tersebut, peneliti ingin mengetahui penggunaan *water injection* pada motor berbahan bakar LPG sehingga didapat unjuk kerja motor bakar berbahan bakar LPG yang lebih optimal

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh *water injection* terhadap torsi dan daya motor bakar empat langkah berbahan bakar LPG?
2. Bagaimana pengaruh *water injection* terhadap emisi gas buang motor bakar empat langkah berbahan bakar LPG?
3. Bagaimana pengaruh *water injection* terhadap konsumsi bahan bakar motor bakar empat langkah berbahan bakar LPG?

1.3 Tujuan Dan Manfaat

1.3.1 Tujuan

1. Dapat mengetahui pengaruh *water injection* terhadap torsi dan daya motor bakar empat langkah berbahan bakar LPG
2. Dapat mengetahui pengaruh *water injection* terhadap emisi gas buang motor bakar empat langkah berbahan bakar LPG
3. Dapat mengetahui pengaruh *water injection* terhadap konsumsi bahan bakar motor bakar empat langkah berbahan bakar LPG

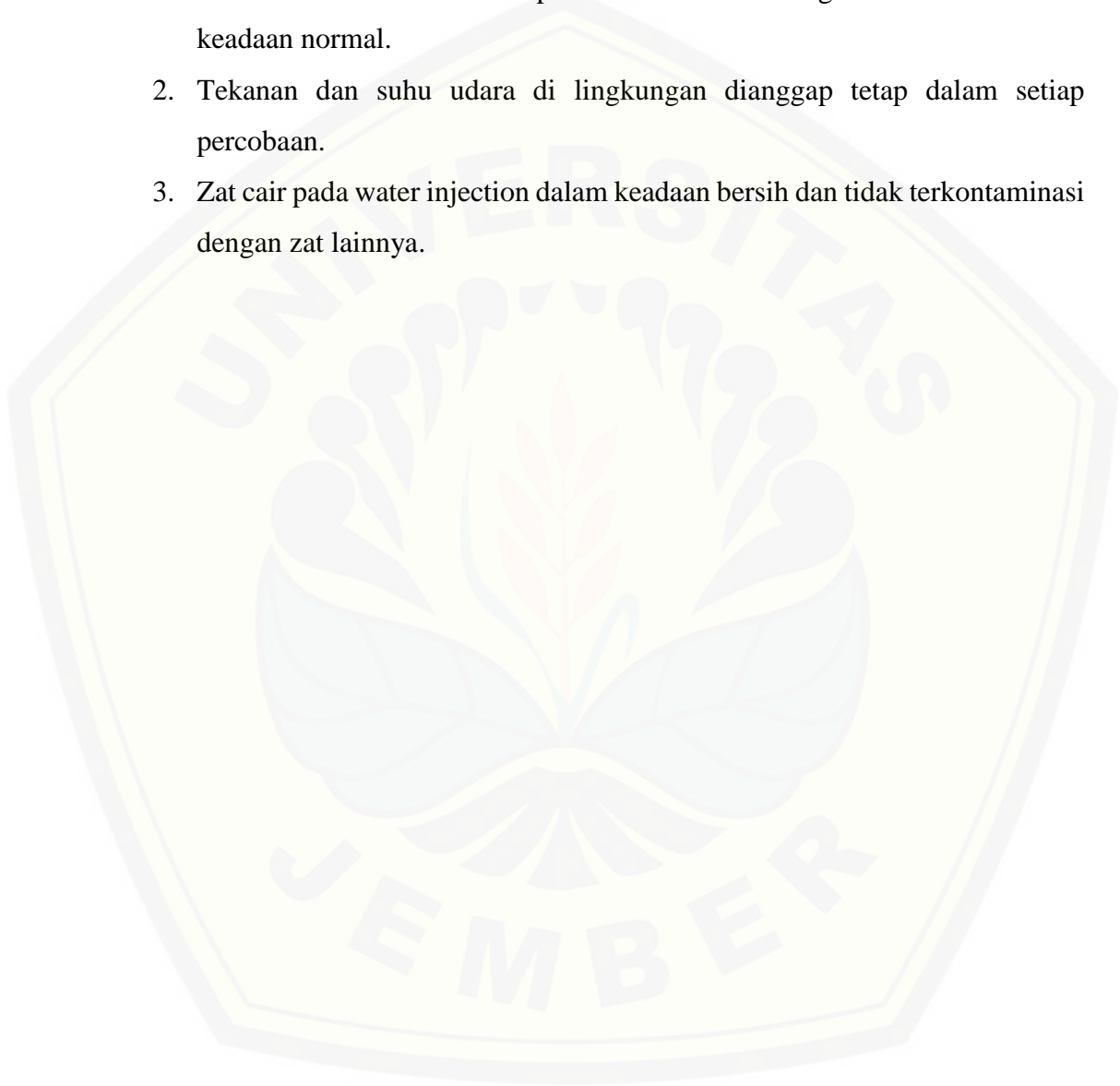
1.3.2 Manfaat

1. Memanfaatkan penggunaan gas di Indonesia agar dapat digunakan sebagai bahan bakar kendaraan bermotor
2. Meningkatkan kinerja kendaraan bermotor dengan penambahan *water injection*
3. Dapat menjadi referensi kepada masyarakat tentang penggunaan lpg sebagai bahan bakar kendaraan bermotor

1.4 Batasan Masalah

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

1. Semua alat dan bahan dalam penelitian ini sesuai dengan *standar* dan dalam keadaan normal.
2. Tekanan dan suhu udara di lingkungan dianggap tetap dalam setiap percobaan.
3. Zat cair pada water injection dalam keadaan bersih dan tidak terkontaminasi dengan zat lainnya.



BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Minyak dan Gas di Indonesia

Pertumbuhan jumlah kendaraan yang terus meningkat tiap tahun turut 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 104.118.969 unit dan peningkatan jumlah kendaraan terbanyak di dominasi oleh kendaraan sepeda motor yang mencapai 84.732.652 unit pada tahun 2013.

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

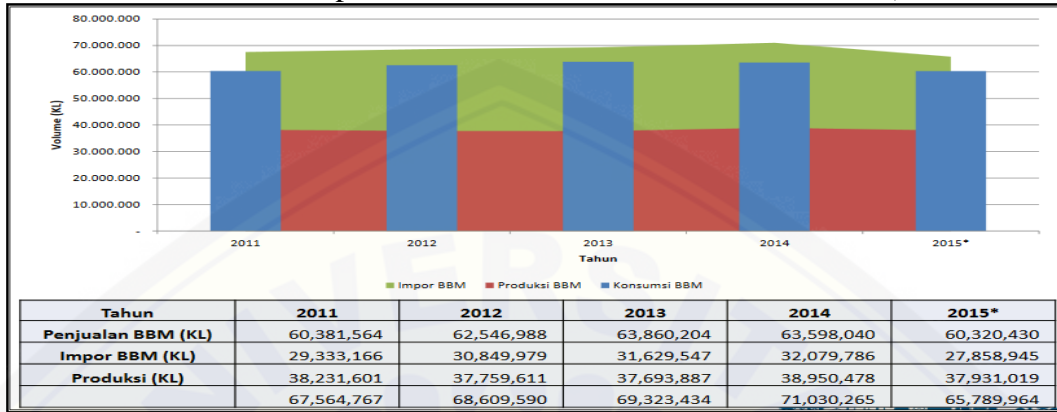
Gambar 2.1 Tabel jumlah kendaraan bermotor pada tahun 2000 hingga 2013

(Sumber: Badan Pusat Statistik (BPS), Indonesia)

Berdasarkan data BP Statistical Review (2016), pada tahun 2015 Indonesia menempati posisi 14 dunia dalam hal konsumsi minyak bumi dengan pemakaian sebesar 1,628 juta barel minyak per hari, sedangkan produksi minyak Indonesia hanya 825 ribu barel per hari. Data BPS tahun 2016 pada Gambar 2.2 menunjukkan 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

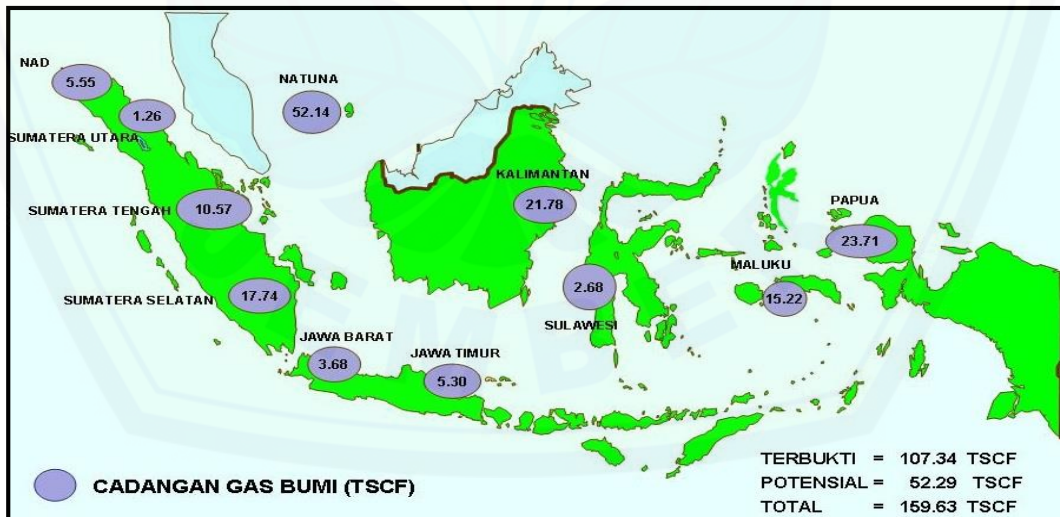
tahun, sehingga untuk memenuhi kekurangan tersebut, pemerintah melakukan impor minyak bumi sebesar ±30.000.000 kiloliter per tahun.

Gambar 2.2 Volume produksi dan konsumsi BBM di Indonesia (Sumber:



Kementerian ESDM Republik Indonesia, 2016)

Cadangan gas bumi di Indonesia cukup besar dan tidak sebanding dengan penggunaannya sehingga sisa produksi dari gas tersebut di ekspor keluar negeri. Salah satu energi alternatif pengganti bahan bakar minyak untuk kendaraan adalah bahan bakar gas (BBG). Peta cadangan gas di Indonesia dapat dilihat pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 Peta cadangan gas di Indonesia (Sumber: Kementerian ESDM Republik Indonesia, 2009)

2.2 Karakteristik LPG Sebagai Bahan Bakar Kendaraan

LPG (*Liquefied Petroleum Gas*) merupakan campuran propana (C_3H_8) dan Butana (C_4H_{10}), adalah campuran gas hidrokarbon yang mudah terbakar yang digunakan sebagai bahan bakar dalam peralatan pemanas, peralatan memasak dan Kendaraan (Karla dkk, 2014). LPG mengandung hidrokarbon ringan lain dalam jumlah kecil, misalnya etana (C_2H_6) dan pentana (C_5H_{12}). 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. LPG memiliki nilai *octane* 112 yang memungkinkan untuk diterapkan pada mesin dengan perbandingan kompresi yang lebih tinggi sehingga memberikan efisiensi *termal* yang lebih baik. Tabel 2.1 Perbandingan properti Gasolin dan LPG

Tabel 2.1 perbandingan properti bahan bakar Gasoline, Diesel, LPG, dan CNG

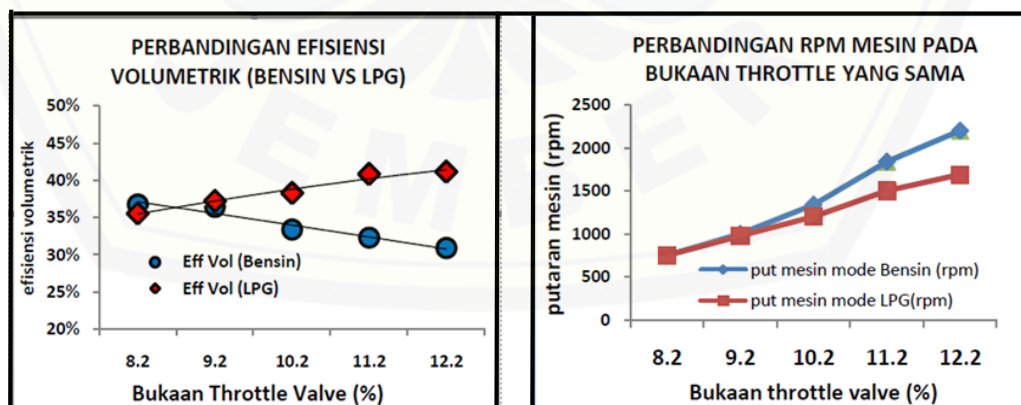
No	Properti Bahan Bakar	Gasoline	Diesel	LPG	CNG
1.	Struktur Kimia	C_8H_{18}/C_{12}	$C_4 - C_8 - C_{25}$	C_3H_8 dan C_4H_{10}	CH_4
2.	Kepadatan Energi (<i>Energy density</i>)	109.000 125.000	– – 130.000	84.000	35.000 @ 3.000
3.	Nilai oktan	86 – 94	8 – 15	105 +	120 +
4.	<i>Lower Heating Value</i> (MJ/kg)	43,44	42,79	46,60	47,14
5.	<i>High Heating Value</i> (MJ/kg)	46,53	45,76	50,15	52,20
6.	<i>Stoichiometric air/fuel ratio</i> (AFR)	14,7	14,7	15,5	17,2
17.	<i>Density at 15°C, 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>	0,72 – 0,78	0,508	0,85	0,424

(Sumber: Pundkar, 2012)

LPG memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan bensin. Konsumsi bahan bakar LPG per satuan volume lebih rendah daripada bensin. Distribusi gas pada tiap tiap silinder lebih merata sehingga percepatan mesin lebih baik dan putaran stasioner lebih halus. Ruang bakar lebih bersih sehingga umur mesin meningkat. Kandungan karbon LPG lebih rendah daripada bensin atau Diesel sehingga menghasilkan CO₂ yang lebih rendah.

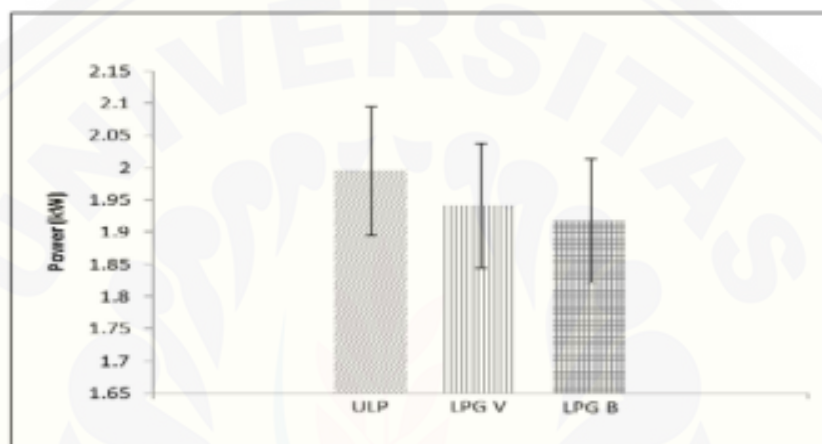
2.2.1 Daya dan Torsi yang Dihasilkan LPG

Penggunaan bahan bakar LPG pada kendaraan bermotor umumnya menghasilkan daya yang lebih rendah dari pada mesin bensin, penurunan daya yang terjadi sekitar 5% - 10%. Perbandingan volume LPG 15% sampai 20% lebih besar daripada bensin. Sehingga output daya yang dihasilkan berkurang 5% sampai 10% (Ceviz dan Yuksel, 2005). Setiyo dan Purnomo (2014) melakukan investigasi penurunan daya mobil berbahan bakar gas LPG melalui pengukuran efisiensi volumetrik, pada gambar 2.4 menunjukkan efisiensi volumetrik LPG lebih meningkat dibanding dengan efisiensi volumetrik bensin yang mengalami penurunan dengan bukaan *throttle body* yang sama, pada efisiensi volumetrik yang meningkat bahan bakar LPG mengalami penurunan kecepatan putaran mesin dibandingkan dengan bensin, sehingga pada bukaan *throttle body* yang sama daya LPG yang dihasilkan mengalami penurunan (tanpa mengajukan saat pengapian).



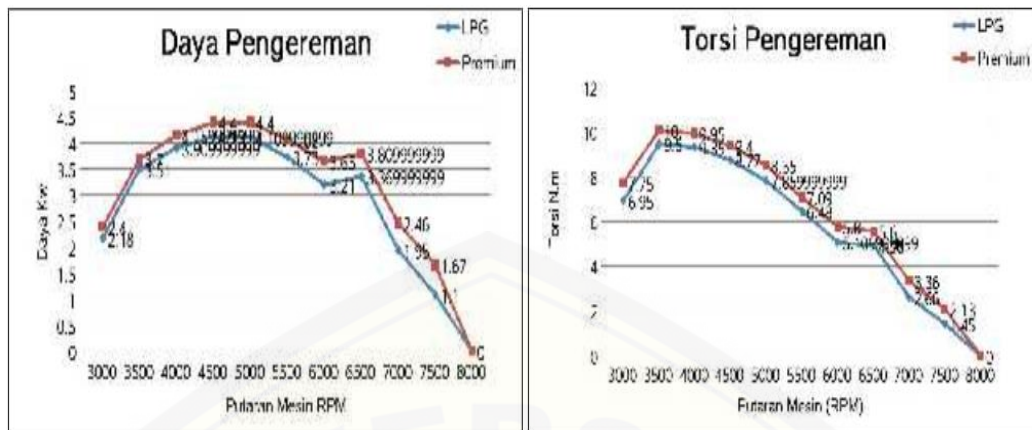
Gambar 2.4 Grafik perbandingan efisiensi volumetrik dan kecepatan mesin bahan bakar bensin dan LPG pada bukaan throttle body (Sumber: Setiyo dan Purnomo, 2014).

Sulaiman M.Y dkk (2013) melakukan penelitian tentang daya yang dihasilkan oleh LPG. Penelitian tersebut dilakukan dalam tiga variabel yang berbeda yaitu menggunakan ULP RON 95, LPG *vaporizer* (LPG-V), dan LPG *capsule valve* (LPG-B) yang dilakukan pada *spark ignition engine*. Hasil penelitian tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.5, daya yang dihasilkan dari LPG-V dan LPG-B lebih kecil dibandingkan dengan ULP RON 95 yaitu 3,00% dan 4,00% pada 2.600 rpm.



Gambar 2.5 Grafik perbandingan daya mesin dengan tiga jenis *vaporizer*
(Sumber: Sulaiman M.Y dkk (2013))

Arijianto dan Usman (2015) melakukan penelitian tentang penggunaan gas sebagai bahan bakar pada sepeda motor bermesin injeksi, penelitian tersebut dilakukan dengan cara 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 nilai torsi dan daya mesin LPG rata – rata 5% lebih rendah dari mesin berbahan bakar premium.

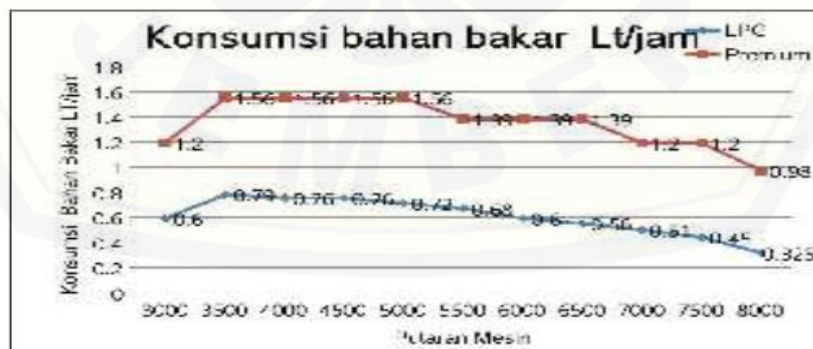


(a) (b)
 (a) Daya Pengereman dan (b) Torsi pengereman

Gambar 2.6 Grafik perbandingan Daya dan Torsi Pengereman menggunakan bahan baka Premium dan LPG (Sumber: Arjianto dan Usman, 2015)

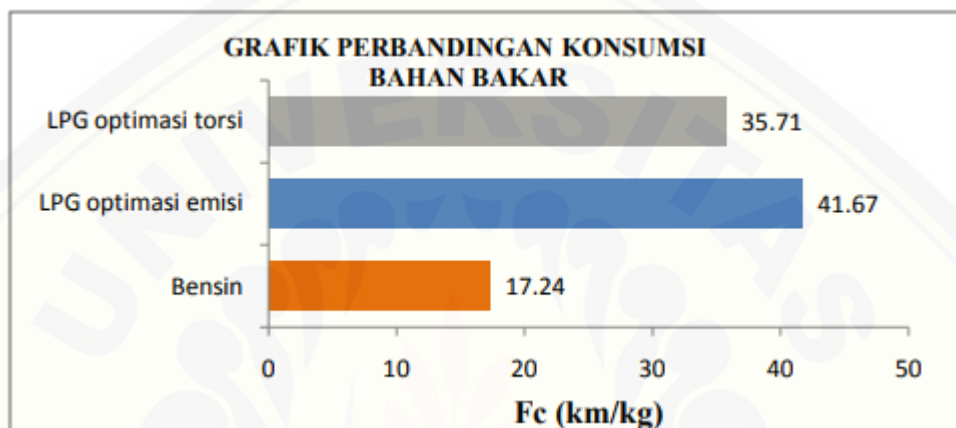
2.2.2 Konsumsi Bahan Bakar LPG

LPG sebagai bahan bakar kendaraan merupakan bahan bakar yang sangat efisien. Berdasarkan penelitiannya, Arjianto dan Usman (2015) melakukan penelitian tentang konsumsi bahan bakar LPG dengan premium pada sepeda motor bermesin injeksi. Dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa rata – rata konsumsi bahan bakar LPG lebih rendah 50 % dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar premium. Hasil penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 Grafik Perbandingan Konsumsi bahan bakar LPG dan Premium pada mesin injeksi (Sumber: Arjianto dan Usman, 2015)

Setiyo dan Condro (2012) melakukan pengujian untuk mengoptimalkan pemanfaatan LPG sebagai bahan bakar kendaraan melalui penyetelan *converter kits* dan saat pengapian. Pada Gambar 2.8 terlihat bahwa jarak tempuh per kilogram bahan bakar LPG lebih tinggi daripada bensin, penggunaan LPG dengan skala optimasi torsi menghasilkan 35,71 km/kg. Sedangkan konsumsi bahan bakar premium menghasilkan 17,24 km/kg (ρ_{bensin} 0,76 kg/l)

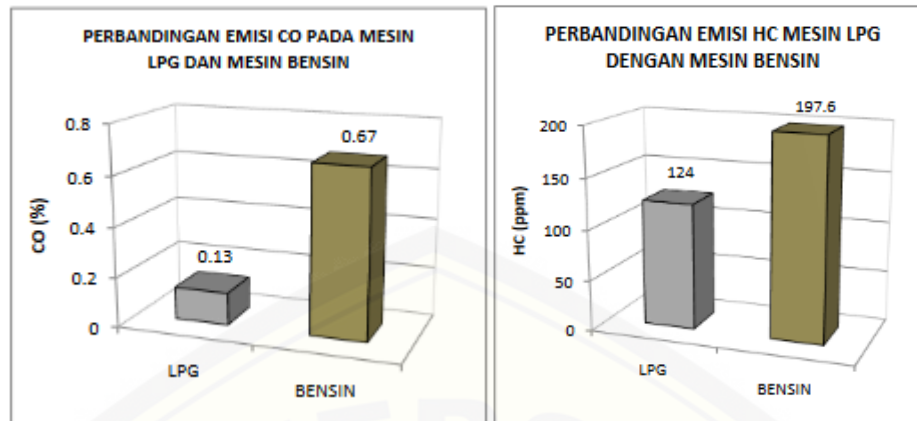


Gambar 2.8 Perbandingan konsumsi bahan bakar (Sumber: Setiyo dan Condro, 2012)

2.2.3 Emisi Gas Buang LPG

LPG merupakan bahan bakar gas yang memiliki efek gas rumah kaca terkecil dibandingkan dengan bahan bakar minyak maupun gas lainnya (Anyon, 2013). Arijanto dan Usman (2015) membandingkan emisi gas buang pada mesin injeksi berbahan bakar LPG pada putaran 3000 hingga 8000 rpm dan diperoleh hasil pengurangan gas CO sebesar 15%, gas CO₂, 25 %, dan HC sebesar 50 %.

Setiyo dan Condro (2012) meneliti tentang kadar CO dan HC pada kendaraan berbahan bakar LPG dengan penyetelan *converter kits* dan saat pengapian. Dihasilkan emisi CO optimum (0,13 %) diperoleh pada kombinasi setelan pegas lever 5,5 putaran, bukaan katup aliran 40% dan saat pengapian 10° BTDC, juga emisi HC optimum (124 ppm) diperoleh pada kombinasi setelan pegas lever 5,5 putaran, bukaan katup aliran 40% dan saat pengapian 15° BTDC (lihat pada Gambar 2.8).



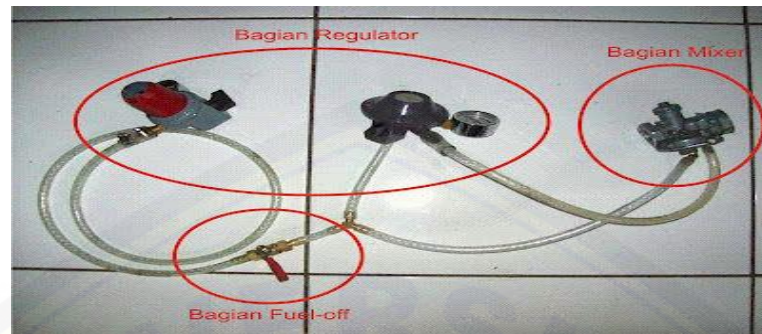
Gambar 2.8 Perbandingan Emisi Gas CO dan HC Bahan Bakar Bensin dengan Bahan Bakar LPG (Sumber: Setiyo dan Condro, 2012).

2.3 Converter Kit

Converter kits adalah peralatan utama pada mesin dengan bahan bakar LPG. *Converter kits* terdiri dari dua bagian utama. Bagian pertama dinamakan regulator tekanan, berfungsi untuk menurunkan tekanan LPG dari tabung menjadi tekanan *output*. Penurunan tekanan pada regulator mengakibatkan perubahan fasa LPG dari cair ke gas. Untuk membantu proses penguapan, air pendingin mesin dialirkan di sekeliling regulator. Bagian kedua, dinamakan dengan regulator aliran. Regulator aliran berupa katup yang dikendalikan oleh kevakuman *throttle body*. Katup *regulator* digerakkan oleh *lever*. *Lever* berupa pengungkit dengan titik tumpu di tengah. Satu ujung dikaitkan dengan diafragma dan ujung yang lain ditahan oleh pegas *lever* bisa dilihat pada Gambar 2.10

Jumlah gas yang mengalir dari regulator tekanan ke ruang diafragma dipengaruhi oleh kekuatan pegas *lever* dan kevakuman ruang diafragma. Pegas *lever* dapat diatur dengan memutar baut penyetelan yang terdapat pada bagian luar *converter kits*. Kevakuman ruang diafragma tergantung dari kecepatan aliran udara pada *throttle body*. *Converter kits* juga dilengkapi dengan katup solenoid dan katup aliran gas pada saluran *output*. Solenoid berfungsi untuk membuka dan menutup saluran gas di dalam *converter kits*. Solenoid dikendalikan oleh tegangan listrik dari sistem kelistrikan kendaraan. Katup aliran gas berfungsi untuk mengatur kapasitas

aliran pada sisi *output converter kits*. Katup aliran gas dapat diatur untuk mengurangi atau menambah luasan saluran output.



Gambar 2.10 *Converter Kit* Pada Sepeda Motor

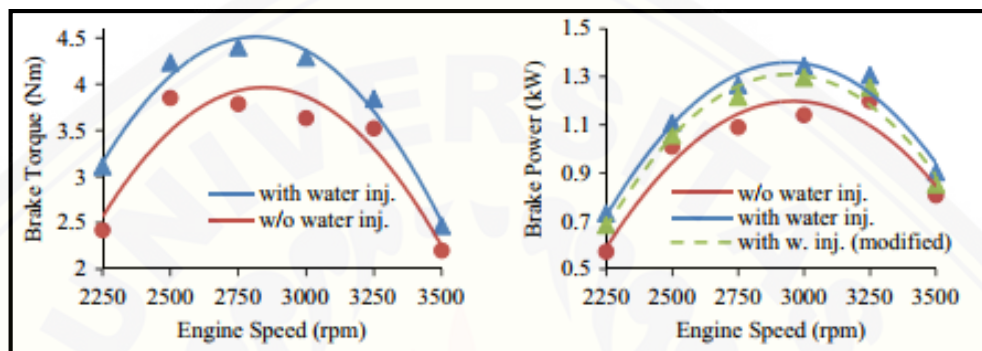
2.4 *Water Injection*

Water injection merupakan sebuah sistem penginjeksian air dalam bentuk butiran halus ke dalam ruang pembakaran. Air yang berwujud butiran halus akan masuk ke dalam ruang pembakaran melalui *intake manifold* yang bercampur secara bersamaan dengan bahan bakar dan udara. Tingkat penguapan air yang tinggi membuat air yang diinjeksikan ke dalam ruang bahan bakar mengakibatkan panas dari kepala silinder berpindah menuju air, yang membuat suhu dalam ruang pembakaran menjadi turun, sehingga efisiensi termal pada mesin menjadi stabil. Penginjeksian air di dalam ruang bahan bakar membuat kompresi menjadi naik dan sekaligus dapat meningkatkan *octane* bahan bakar (Mahmud dkk, 2015). Tujuan utama dari penggunaan *Water injection* adalah untuk mengurangi terjadinya *engine knocking* atau detonasi pada mesin. Pembakaran yang tidak sempurna akibat *knocking* atau detonasi pada pembakaran dalam (*internal engine combustion*) yang menyebabkan penurunan performa mesin. *Water injection* juga dapat menurunkan emisi gas buang dan meningkatkan konsumsi bahan bakar (Isnugroho dkk, 2016).

2.4.1 Torsi dan Daya menggunakan *Water injection*

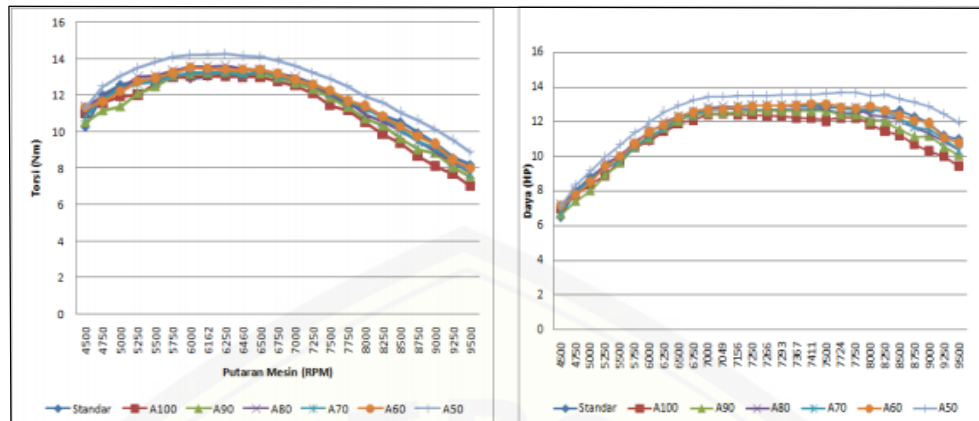
Menggunakan *Water injection* pada kendaraan bermotor dapat meningkatkan daya dan torsi yang dihasilkan oleh mesin. Arabaci dkk. (2015) telah

melakukan penelitian tentang daya dan torsi mesin menggunakan *Water injection* pada mesin Honda GX 270 dengan memvariasikan tekanan *injector* yakni pada 25, 50, 75, dan 100 bar pada putaran mesin antara 2250 dan 3500 rpm. Pada Gambar 2.11 terlihat bahwa terjadi peningkatan terhadap daya dan torsi sebesar 10% dan pada putaran mesin antara 2750 sampai 3000 merupakan puncak tertinggi peningkatan dari *Water injection*



Gambar 2.11 Grafik perbandingan Torsi dan Daya menggunakan *Water Injection*
(Sumber: Arabaci dkk, 2015)

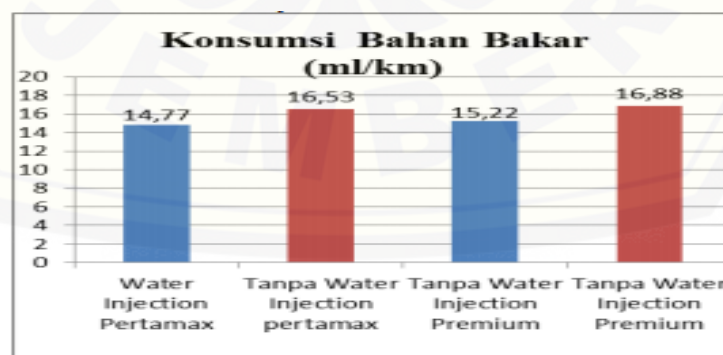
Mahmud dkk. (2015) juga melakukan penelitian mengenai *Water Injection* pada sepeda motor Honda Mega Pro tahun 2009 dengan memvariasikan zat cair yang digunakan yaitu Akuades dengan Metanol dengan takaran Akuades 100% (A100), Akuades 90% + Metanol 10% (A90), Akuades 80% + Metanol 20% (A80), Akuades 70% + Metanol 30% (A30), Akuades 60% + Metanol 40% (A40), dan Akuades 50% + Metanol 50% (A50). Pada Gambar 2.12 terlihat bahwa penggunaan *Water injection* dapat meningkatkan torsi dan daya yang dihasilkan oleh mesin. Peningkatan torsi dan daya tertinggi diperoleh pada *water injection* A50 dengan nilai torsi 8,42% dan daya 7,28%.



Gambar 2.12 Grafik perbandingan Daya dan Torsi menggunakan *Water Injection* (Sumber: Mahmud dkk, 2015)

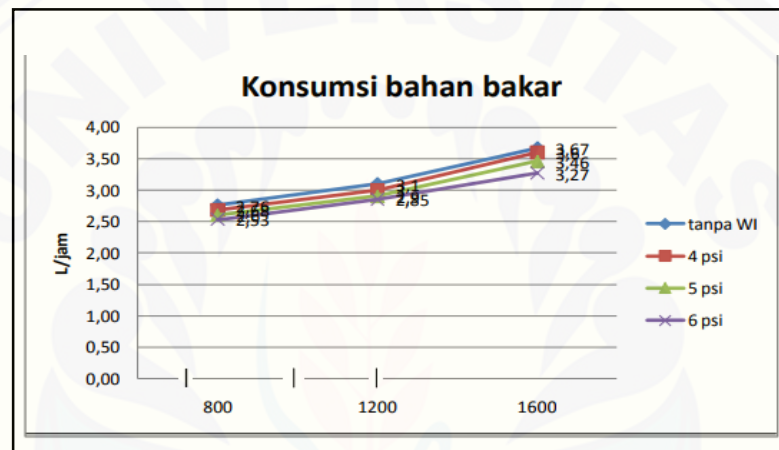
2.4.2 Konsumsi bahan bakar menggunakan *Water injection*

Water injection telah terbukti dapat menurunkan tingkat konsumsi kendaraan bermotor. Siddik, dkk (2014) telah melakukan penelitian tentang pengaruh *Water injection* terhadap konsumsi bahan bakar pada motor Honda Supra Fit tahun 2006. Dalam penelitian tersebut *injector* yang digunakan berupa jarum berukuran 21G berdiameter 0,80 mm dua jenis bahan bahan bakar yaitu Premium dan Pertamina. Pada Gambar 2.13 terlihat bahwa dengan penggunaan *Water injection* terjadi penurunan tingkat konsumsi bahan bakar pada masing-masing jenis bahan bakar. Pada bahan bakar premium terjadi penurunan sebesar 1,66 ml/km dan pada bahan bakar pertamax terjadi penurunan 1,76 ml/km



Gambar 2.13 Tabel perbandingan konsumsi bahan bakar Premium dan Pertamina menggunakan *Water Injection* (Sumber: Siddik dkk, 2014)

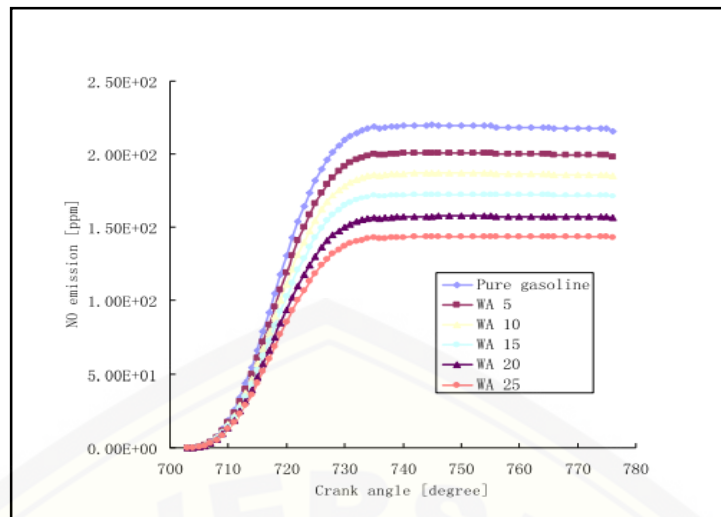
Wibowo W.P (2011) juga melakukan penelitian tentang pengaruh *water injection* terhadap konsumsi bahan bakar pada mesin Toyota Starlet GT Turbo 4E-FTE dengan variasi putaran mesin 800 rpm, 1200 rpm, dan 1600 rpm dan dengan variasi tekanan *injector* 4 psi, 5 psi dan 6 psi. Pada Gambar 2.14 terlihat bahwa Hasil uji konsumsi bahan bakar setelah menggunakan *water injector* terjadi penurunan pada tekanan *injector* 4psi, 5psi, dan 6psi sebesar 0.08, 0.16, 0.23 L/jam pada putaran 800 rpm dan pada 1200 rpm terjadi penurunan sebesar 2.8, 0.20, 0.25 L/jam kemudian pada 1600 rpm terjadi penurunan sebesar 0.07, 0.21, 0.40 L/jam.



Gambar 2.14 Grafik perbandingan konsumsi bahan bakar dengan beda tekanan *injector* menggunakan *Water Injection* (Sumber: Wibowo W.P, 2011)

2.4.3 Emisi gas buang menggunakan *Water injection*

Minguri, dkk (2016) telah melakukan penelitian mengenai pengaruh *Water injection* terhadap emisi gas buang pada mesin injeksi berbahan bakar bensin dengan menggunakan kompresi rasio 13 : 1 dan dengan variasi penambahan *Water injection* 5% (WA 5), 10% (WA 10), 15% (WA 15), 20% (WA 20), dan 25% (WA 25). Pengujian dilakukan pada kecepatan mesin 2000 rpm. Bahan bakar disuntikkan ke dalam silinder yang dimulai pada 660 CA untuk durasi injeksi 20 CA. Hasil penelitian tersebut terlihat bahwa penambahan *Water injection* dapat menurunkan kadar CO. Kadar penurunan CO terbesar terdapat pada *Water injection* 25 %. Bisa dilihat pada Gambar 2.15



Gambar 2.15 Grafik Nilai emisi gas buang CO dengan variasi jenis zat cair *water injection* (Sumber: Minguri dkk, 2016)

2.5 Hipotesa Penelitian

Penggunaan gas sebagai bahan bakar untuk kendaraan bermotor dapat menghemat bahan bakar dan menghasilkan emisi yang lebih rendah, akan tetapi daya yang dihasilkan cenderung lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar premium. Water injection merupakan salah satu cara yang dapat dilakukan agar dapat meningkatkan daya yang dihasilkan oleh motor berbahan bakar gas, menghasilkan tingkat emisi yang rendah serta dapat menghemat konsumsi bahan bakar. Air yang berwujud butiran halus akan masuk ke dalam ruang pembakaran melalui *intake manifold* yang bercampur secara bersamaan dengan bahan bakar dan udara. Tingkat penguapan air yang tinggi membuat air yang diinjeksikan ke dalam ruang bahan bakar mengakibatkan panas dari kepala silinder berpindah menuju air, yang membuat suhu dalam ruang pembakaran menjadi turun, sehingga efisiensi termal pada mesin menjadi stabil

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, yaitu metode yang digunakan untuk menguji dan menemukan variasi yang tepat terhadap penelitian yang sudah dilakukan dengan menambahkan beberapa perlakuan variasi. Pengujian ini dilakukan dengan menambahkan *water injection* pada *intake manifold* dan variasi putaran mesin, dilakukan 3 kali pengulangan percobaan. Masing-masing variasi dilakukan pengujian performa mesin meliputi emisi gas buang, daya, dan konsumsi bahan bakar. Alat pengubah sistem bahan bakar bensin ke bahan bakar gas menggunakan *converter kit*. Tekanan udara pada *intake manifold* dan *exhaust* diukur dengan menggunakan 2 buah sensor yaitu Sensor MPX 5100 AP dan Sensor MPX 5100 DP.

3.2 Waktu dan Tempat

Penelitian yang dilakukan penulis mengenai “Analisis unjuk kerja motor bakar empat langkah berbahan bakar (*Liquefied Petroleum Gas*) LPG dengan *water injection*” dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember Jl. Slamet Riyadi No. 62 Patrang - Jember. Waktu penelitian berlangsung selama 5 bulan yaitu dimulai dari bulan Juli 2017 sampai dengan bulan Desember 2017.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

Peralatan yang digunakan dalam pengujian adalah sebagai berikut:

1. Motor Bensin 4 Langkah dengan spesifikasi sebagai berikut :
 - Merk Mesin : Astrea Prima 4-Langkah SOHC
 - Siklus : 4 Langkah
 - Pencampuran Bahan Bakar : Karburator (Keihin 16 mm)
 - Jumlah Silinder : 1 Silinder
 - Volume Langkah Total : 97 cc (100 cc)

- Bore x stroke : 50 x 49,5 mm
- Max. Power : 8,9 ps @ 8000 rpm
- Max. torsi : 0,93 kgf.m @ 6000 rpm
- Sistem Transmisi : Roda Gigi 4 speed (N-1-2-3-4)rotary
- Perbandingan Kompresi : 9 : 1
- Pendingin : Udara
- Negara Pembuat : Jepang

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)

2. *Motor Cycle Dinamometer* dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Merk Mesin : Rextor Sportdyno
- *Type* : Pro-Fix Dyno (Kalibrasi ISO 1585)

3. *Komponen Water injection*

- Tangki air : 1 liter
- *Accu* : 12 volt
- Selang
- Pompa air Durable 12 volt

- Tekanan pompa :3 bar
- Debit *Injector* :6,15 ml/menit
- Dimensi :170 x 100 x 67 mm
- Diameter nepel in : 8 mm
- Diameter nepel out : 10 mm

4. *Gas Analyzer*

5. Tabung LPG ukuran 12 kg Produksi PT Pertamina Indonesia

6. Tabung LPG ukuran 3 kg Produksi PT Pertamina Indonesia

7. Adaptor Gas

8. Selang Gas LPG

9. Kran pembagi

10. Kran Membran

11. Timbangan Digital

12. *Stopwatch*

13. *Tool Set*

14. *Blower*

15. *Converter Kit*

3.3.2 Bahan Penelitian

1. Gas LPG (*Liquefied Petroleum Gas*) produksi PT Pertamina Indonesia ukuran 12 kg sebagai bahan bakar dengan nilai propana dan butana 50: 50.
2. Tiga jenis zat cair pada *water injection* Akuades 100% (A100), Akuades 75% + Metanol 25% (A75), dan Akuades 50% + Metanol 50% (A50)

3.4 Variabel Penelitian

3.4.1 Variabel Bebas

Yaitu variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti sebelum melakukan penelitian, variabel bebas yang digunakan adalah sebagai berikut:

a. Variasi Perlakuan

Variasi perlakuan yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu variasi jenis zat cair pada *water injection* Akuades 100% (A100), Akuades 75% + Metanol 25% (A75), dan Akuades 50% + Metanol 50% (A50)

b. Putaran Mesin

Metode yang dilakukan pada pengujian dengan menggunakan dinamometer menginginkan putaran yang berubah secara cepat sesuai dengan kemampuan mesin per putaran 1000 rpm dimulai dengan 3000 rpm sampai 7000 rpm.

3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan sepenuhnya oleh peneliti, tetapi besarnya tergantung pada variabel bebasnya. Penelitian ini mempunyai variabel terikat yang meliputi data – data yang diperoleh pada pengujian motor bakar. Tujuan dari pengujian motor bakar adalah untuk mengetahui unjuk kerja mesin tersebut dengan menganalisa data-datanya yang meliputi:

- Torsi (N.m)
- Daya (kW)
- Emisi Gas Buang (CO, CO₂ dan HC)
- Konsumsi Bahan Bakar (g/s)

3.5 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian ini dilaksanakan menggunakan 2 faktor di mana faktor yang pertama adalah jenis zat cair *water injection* dan faktor kedua yaitu putaran mesin. Jenis zat cair yang digunakan memiliki 3 variasi sedangkan faktor putaran mesin menggunakan 5 variasi, sehingga terdapat 15 kombinasi perlakuan dengan 3 kali pengulangan.

Faktor I: Jenis Zat Cair (X)

- $X_1 = A100$
- $X_2 = A75$
- $X_3 = A50$

Faktor II: Putaran Mesin (N)

- $N_1 = 3000 \text{ rpm}$
- $N_2 = 4000 \text{ rpm}$
- $N_3 = 5000 \text{ rpm}$
- $N_4 = 6000 \text{ rpm}$
- $N_5 = 7000 \text{ rpm}$

Sehingga diperoleh kombinasi perlakuan sebagai berikut:

Perlakuan	X_1	X_2	X_3
N_1	X_1N_1	X_2N_1	X_3N_1
N_2	X_1N_2	X_2N_2	X_3N_2
N_3	X_1N_3	X_2N_3	X_3N_3
N_4	X_1N_4	X_2N_4	X_3N_4
N_5	X_1N_5	X_2N_5	X_3N_5

3.6 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian adalah rangkaian kegiatan yang dilakukan oleh peneliti secara terstruktur dan sistematis untuk mencapai tujuan penelitian. Prosedur

penelitian ini dimulai dengan langkah penyusunan alat penelitian dan kemudian, dilanjutkan dengan tahapan penelitian yang meliputi tahap pengujian, pengambilan data dan pengolahan hasil penelitian.

3.6.1 Persiapan dan Pemeriksaan Alat Pengujian

Peneliti melakukan persiapan alat dan bahan baik meliputi proses penyewaan, pembelian hingga modifikasi alat pengujian. Setelah alat dan bahan terkumpul, dilakukan pemeriksaan meliputi kesiapan dan kelengkapan alat uji agar bekerja sesuai dengan sistem pengujian. Adapun tahap persiapan dan pemeriksaan alat dalam penelitian ini meliputi:

- a. Perangkaian komponen - komponen *converter kit* sesuai dengan rancangan
- b. Pемindahan gas LPG dari tabung 12 kg ke dalam tabung LPG 3 kg dengan menggunakan adaptor gas
- c. Melakukan pengecekan motor yang akan diuji sesuai dengan standar pengujian
- d. Menyiapkan dan memeriksa alat uji *dyno test*, *gas analyzer* dan alat - alat lainnya agar bekerja maksimal

3.6.2 Tahap Pengujian

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

- a. Pengujian *dynotest*
 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. Memasang *water injection* pada *intake manifold* sesuai variasi yang diinginkan
 3. Menjalankan *dynotest* 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 *throttle* 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 Jenis zat cair dan mengulangi langkah 1-8 pada setiap percobaan.
- b. Pengujian konsumsi bahan bakar tanpa beban
1. Merangkai dan mengecek kembali semua alat pengujian dan *converter kit*
 2. Memasang *water injection* pada *intake manifold* sesuai variasi yang diinginkan
 3. Memasang tabung LPG 3 kg pada alat *converter kit*
 4. Meletakkan tabung LPG 3 kg ke atas timbangan digital untuk mengetahui massa awal saat pengujian berlangsung
 5. Menyiapkan *stopwatch* untuk menghitung waktu yang diperlukan untuk menghabiskan bahan bakar LPG sebanyak 20 gram
 6. Menghidupkan mesin dan memposisikan gas stabil pada putaran mesin (N rpm) dengan posisi transmisi gigi 3
 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, voltase input 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 Jenis zat cair 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, *converter kit* dan alat uji *gas analyzer*
2. Memasang *water injection* pada *intake manifold* sesuai variasi yang diinginkan
3. Pemasangan alat *gas analyzer* dan penyambungan perangkat *auto gas analyzer* ke komputer
4. Pengujian dilakukan pada posisi gigi 3
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 Jenis zat cair dan putaran mesin (N rpm).

Tabel 3.1 Pengambilan data Pengujian *Dyno Test*

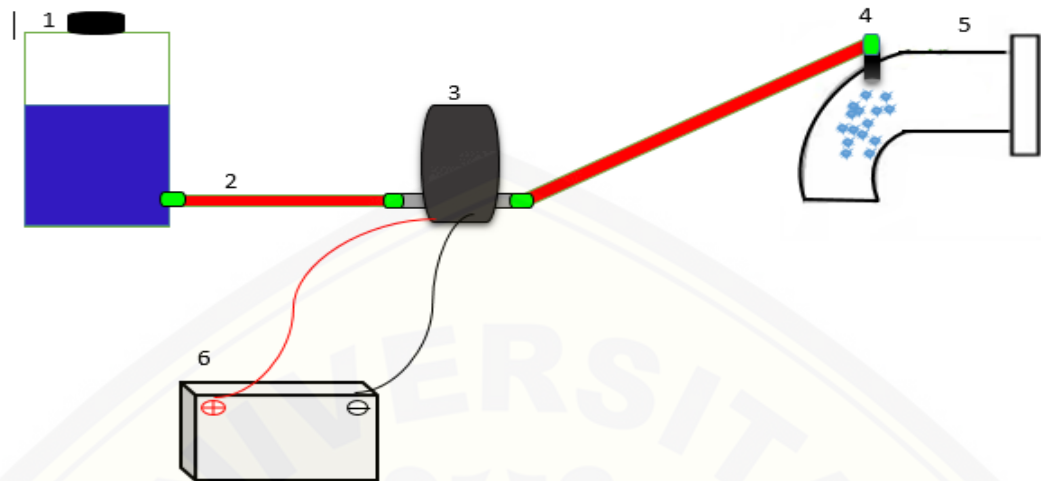
No	Jenis zat cair	Percobaan	Torsi Max	Daya Max
1.	X1	Pertama		
	X1	Kedua		
	X1	Ketiga		
2.	X2	Pertama		
	X2	Kedua		
	X2	Ketiga		
3	X3	Pertama		
	X3	Kedua		
	X3	Ketiga		

Tabel 3.2 Pengambilan data Pengujian Konsumsi Bahan Bakar

No	Jenis Zat Cair	RPM	Percobaan	Massa (gram)	Waktu (s)
1.	X1	3000	Pertama		
	X1	s/d	Kedua		
	X1	7000	Ketiga		
2.	X2	3000	Pertama		
	X2	s/d	Kedua		
	X2	7000	Ketiga		
3	X3	3000	Pertama		
	X3	s/d	Kedua		
	X3	7000	Ketiga		

Tabel 3.3 Pengambilan Data Emisi Gas Buang

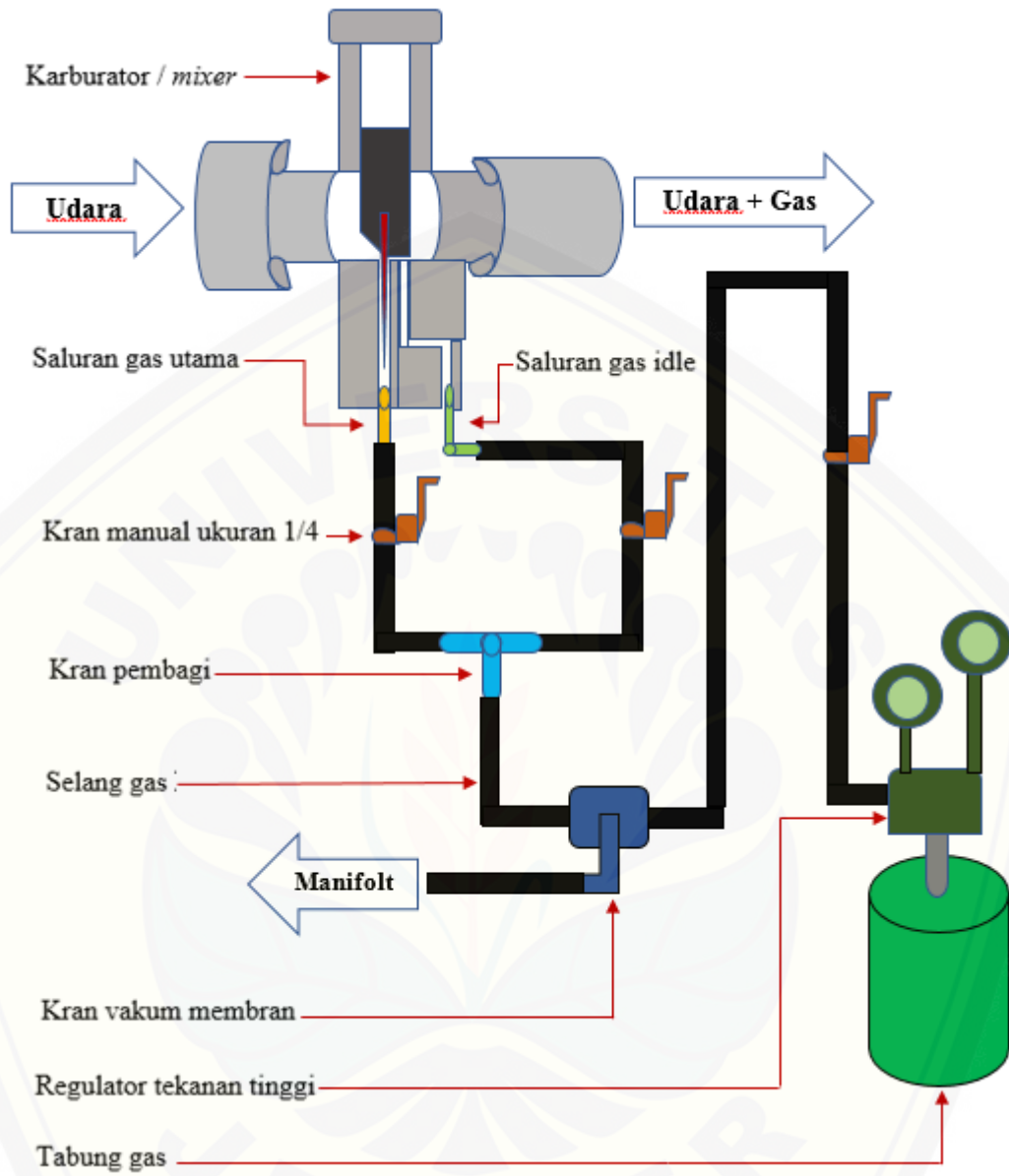
No	Jenis Zat cair	RPM	Percobaan	CO (%)	HC (ppm)	CO ₂ (%)
1.	X1	3000	Pertama			
	X1	s/d	Kedua			
	X1	7000	Ketiga			
2	X2	3000	Pertama			
	X2	s/d	Kedua			
	X2	7000	Ketiga			
3	X3	3000	Pertama			
	X3	s/d	Kedua			
	X3	7000	Ketiga			



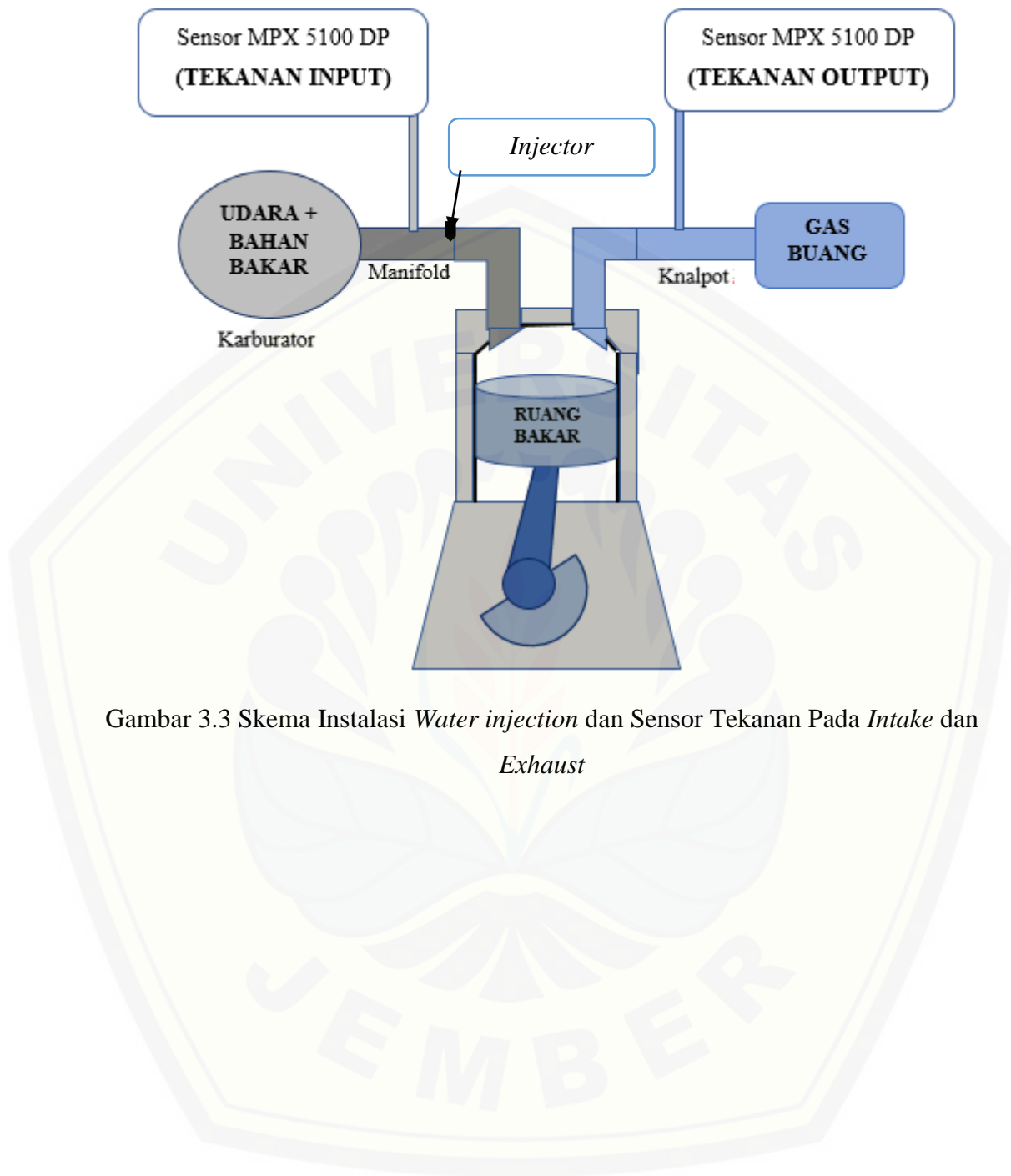
Gambar 3.1 Skema Instalasi *Water injection*

Keterangan:

1. Tangki air
2. Selang
3. Pompa
4. *Nozzle*
5. *Intake manifold*
6. *Accu*

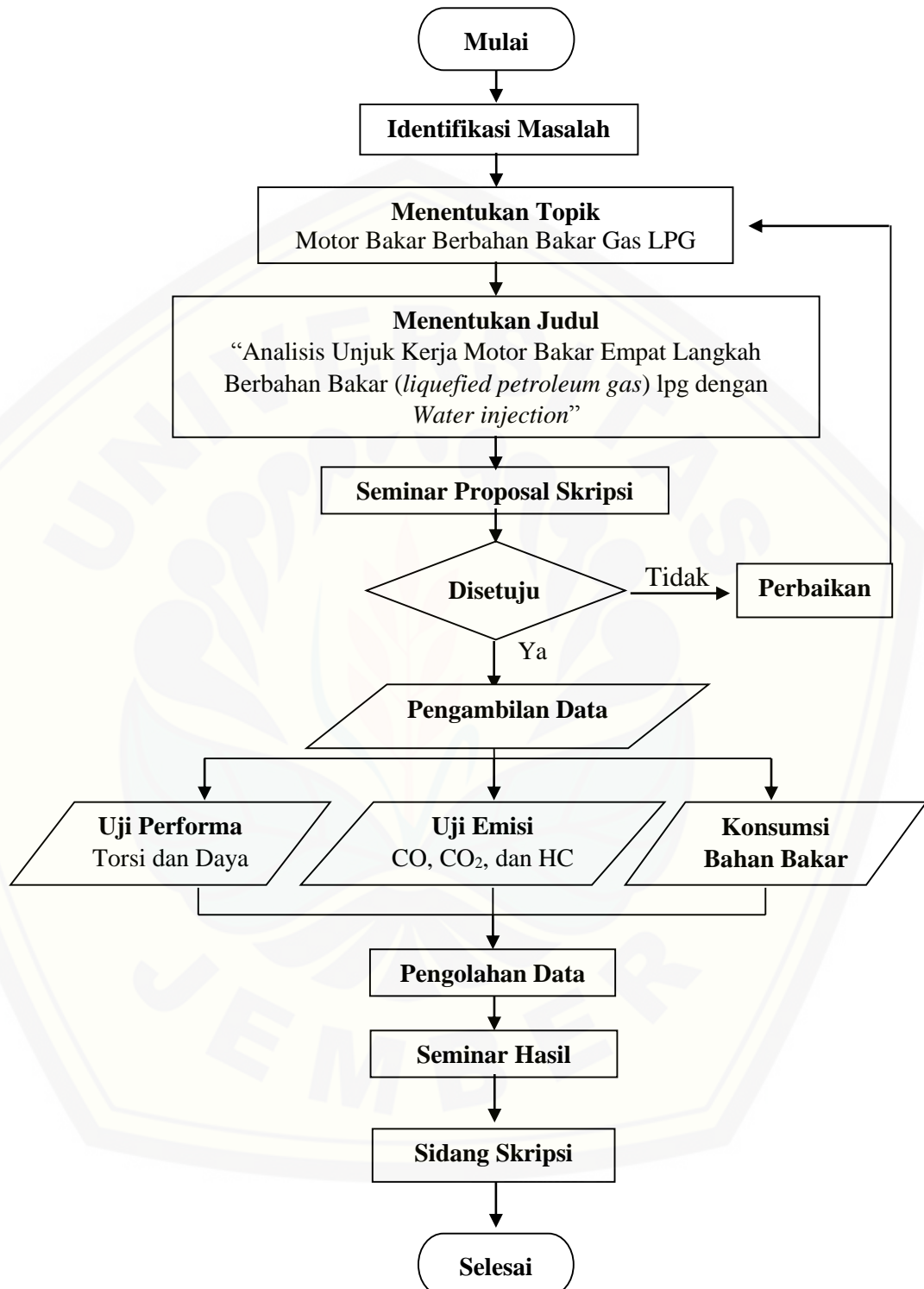


Gambar 3.2 Skema Instalasi *Converter Kit*



Gambar 3.3 Skema Instalasi *Water injection* dan Sensor Tekanan Pada *Intake* dan *Exhaust*

3.7 Skema Flow Cart Penelitian



BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan data – data hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa:

1. Peningkatan daya dan torsi tertinggi diperoleh pada penggunaan bahan bakar LPG dengan penambahan penambahan *water injection* A50
2. Hasil rata-rata emisi gas buang CO terbaik diperoleh pada penggunaan bahan bakar LPG tanpa penambahan *water injection*, sedangkan untuk hasil emisi gas buang CO₂ terbaik diperoleh pada penggunaan bahan bakar LPG dengan penambahan *water injection* A100 dan untuk hasil emisi gas buang HC hasil terbaik didapatkan pada penggunaan bahan bakar LPG dengan penambahan *water injection* A100
3. Rata-rata konsumsi bahan bakar paling rendah diperoleh dengan penggunaan bahan bakar LPG dengan penambahan *water injection* A50

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan oleh penulis dari hasil penelitian ini yaitu antara lain:

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai jumlah air yang di injeksikan ke dalam *intake manifold* agar mesin tidak mati karena kelebihan air.
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai tekanan air yang di injeksikan ke dalam *intake manifold* agar didapat kinerja mesin yang lebih optimal
3. Perlu adanya penyempurnaan instalasi *converter kit* bahan bakar gas sehingga tidak terjadi kebocoran dan pengaturan gas menjadi lebih stabil saat akselerasi maupun deselerasi

Daftar Pustaka

- Anton. 2013. Perbandingan Gas Buang Kendaraan Bermotor Berbahan Bakar Bensin dan LPG dengan *Converter* KIT Dual Fuel Sebagai Pengatur LPG Pada Motor Bermesin 150 cc. Semarang: Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
- Arabaci,E., Icingur,y., Solmaz,h., Uyumaz,A., Yilmaz,E. 2015. Experimental Investigation of Effect *Water Injection* Parameters on Engine Performance in a Six Stroke Engine. *Journal Energy Conversion and Management*. Vol 98. 89-97
- Arijianto dan Usman, M.B.I. 2015. Penggunaan Gas Sebagai Bahan Bakar Pada Sepeda Motor Bermesin Injeksi. Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (*SNTTM XIV*).7-8 Oktober 2015. Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Labung Mangkurat
- 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. London: BP *Statistical Review World*.
- Cevis, M.A., Yuksel, F. 2005. Cyclic variation on LPG and gasoline-fuelled lean burn SI engine, *Renewable Energi 31 (2006): 1950-1960*.
- Farag,M., Kosaka,H., Bady,M., Abdel-Rahmat, A,K. 2017. Effect of Intake and Exhaust Manifold Water Injection on Combustion And Emission Characteristic of a Diesel Engine. *Journal Thermal Science nnd Technology*. Vol 12 No 1
- Isnugroho,T.P., Basori., Bugis, H. 2016. Rancang Bangun *Water Injection* Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno Serta Pengaruhnya Terhadap Torsi Dan Daya Sepeda Motor Honda Mega Pro Tahun 2009. *Jurnal Nosel Vol 4 No 3*
- 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.
- Mahmud, F., Bugis, H., Basori. 2015. Rancang Bangun *Water Injection* Berbasis Mikrokontroler Serta Pengaruhnya Terhadap Torsi Dan Daya Sepeda Motor Honda Mega Pro Tahun 2009. *Jurnal Nosel Vol 3 No 4*

- Minguri, W., Nguyen Thanh, S, A., Turkson, R, F., Jinping, L., Guanlung, G. 2016. Water Injection for Higher Engine Performance and Lower Emission. *Journal of the Energy Institut.* 1-15
- 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.
- Pradana, A, Z., Bugis, H., Rohman, N. 2015. Uji Emisi Co dan Hc Mesin Berbahan Bakar Premium Pada Sepeda Motor Honda Supra Fit Tahun 2010. *Jurnal Nosel Vol 3 No 3*
- Pradep, V., Bakshi, S., Ramesh, A., 2013. Scavenging port based injection strategies for an LPG fuelled two-stroke spark-ignition engine. *Applied Thermal Engineering* 67, 80-88
- 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.
- Siddik, M, T, S., Ranto., Rohman, N., 2014. Pengaruh Penggunaan *Water Injection* dan Jenis Bahan Bakar Terhadap Konsumsi Bahan Bakar pada Sepeda Motor Honda Supra Fit Tahun 2006. *Nosel Vol 3 No 2*
- Subramanian, V., Mallikarjuna, J, M., Ramesh, A., 2006. Effect of Water Injection and Spark Ignition Timing on the Nitric Oxide Emission and Combustion Parameters of a Hydrogen Fuelled Spark Ignition Engine. *International of Hydrogen Journal Energy* 32. 1159-1173
- Sulaiman, M.Y., M.R, Ayob., Meran, I. 2013. Performance of Single Cylinder Spark Ignition Engine Fueled by LPG. University Teknikal Malaysia Melaka. *Vol 53 Hal 579 – 585*
- 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 Efisiensi Volumetric. Laporan Penelitian Dosen. Magelang: Universitas Muhammadiyah Magelang.

Wibowo, W.P., 2011. Pengaruh Water Injection Terhadap Performa Mesin Toyota Starlet Gt Turbo 4e-Fte Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.



LAMPIRAN DATA HASIL PENELITIAN

Lampiran A. Tabel Data Pengujian Emisi Gas Buang

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

Variasi	Percobaan	Emisi Gas Buang		
		CO (%)	CO₂ (%)	HC (ppm)
<i>Water injection</i>				
Tanpa	I	2.19	1.4	257
<i>Water</i>	II	2.17	1.4	279
<i>Injection</i>	III	2.31	1.5	265
	Rata – Rata	2.22	1.43	267
A100	I	0.98	2.15	210
	II	1.03	2.45	197
	III	1.01	2.37	205
	Rata – Rata	1.01	2.32	204
A75	I	1.82	2.1	206
	II	1.88	2.2	217
	III	1.95	2.3	232
	Rata - Rata	1.88	2.20	218
A50	I	2.84	2.12	358
	II	2.92	2.14	370
	III	2.89	2.11	376
	Rata - Rata	2.88	2.12	368

Lampiran A.2 Tabel hasil rata-rata pengujian emisi gas buang 4000 rpm bahan bakar LPG

Variasi	Percobaan	Emisi Gas Buang		
		CO (%)	CO₂ (%)	HC (ppm)
Water Injection				
Tanpa	I	1.69	1.5	279
Water	II	1.71	1.6	284
injection	III	1.78	1.7	291
	Rata – Rata	1.726	1.6	285
A100	I	2.61	2.4	103
	II	2.75	2.6	112
	III	2.84	2.7	98
	Rata – Rata	2.73	2.57	104
A75	I	2.78	2.5	284
	II	2.64	2.8	297
	III	2.23	2.9	293
	Rata - Rata	2.55	2.73	291
A50	I	3.06	2	357
	II	3.12	2.1	375
	III	2.86	2	427
	Rata - Rata	3.01	2.03	386

Lampiran A.3 Tabel hasil rata-rata pengujian emisi gas buang 5000 rpm bahan bakar LPG

Variasi	Percobaan	Emisi Gas Buang		
		CO (%)	CO₂ (%)	HC (ppm)
<i>Water Injection</i>				
Tanpa	I	1.88	2.4	152
<i>Water Injection</i>	II	1.95	2.5	160
	III	1.94	2.6	163
	Rata – Rata	1.923	2.5	158
A100	I	1.02	3.24	787
	II	1.02	3.33	665
	III	1.01	3.45	291
	Rata – Rata	1.02	3.34	581
A75	I	2.47	3.34	100
	II	2.61	3.25	115
	III	2.71	3.21	126
	Rata - Rata	2.60	3.27	114
A50	I	2.5	3.44	94
	II	2.6	3.25	102
	III	2.8	3.29	106
	Rata - Rata	2.63	3.33	101

Lampiran A.4 Tabel hasil rata-rata pengujian emisi gas buang 6000 rpm bahan bakar LPG

Variasi	Percobaan	Emisi Gas Buang		
		CO (%)	CO₂ (%)	HC (ppm)
<i>Water Injection</i>				
Tanpa	I	1.13	3.3	63
<i>Water</i>	II	1.15	3.3	54
<i>Injection</i>	III	1.1	3.3	80
	Rata – Rata	1.13	3.3	66
A100	I	2.58	4.3	76
	II	2.49	4.43	84
	III	2.25	4.23	60
	Rata – Rata	2.44	4.32	73
A75	I	1.45	3.4	63
	II	1.48	3.7	67
	III	1.55	3.9	72
	Rata - Rata	1.49	3.67	67
A50	I	2.43	4.2	59
	II	2.56	4.2	70
	III	2.35	4.2	69
	Rata - Rata	2.45	4.20	66

Lampiran A.5 Tabel hasil rata-rata pengujian emisi gas buang 7000 rpm bahan bakar LPG

Variasi	Percobaan	Emisi Gas Buang		
		CO (%)	CO₂ (%)	HC (ppm)
<i>Water Injection</i>				
Tanpa	I	1.27	3.6	53
<i>Water Injection</i>	II	1.19	3.4	57
	III	1.23	3.1	59
	Rata – Rata	1.23	3.37	56
A100	I	1.22	4.11	59
	II	1.75	4.56	77
	III	1.79	4.39	65
	Rata – Rata	1.59	4.35	67
A75	I	1.97	3.3	78
	II	2.06	3.6	86
	III	2.22	3.8	104
	Rata - Rata	2.08	3.57	89
A50	I	1.45	4.2	70
	II	1.56	4	73
	III	1.47	4.12	71
	Rata - Rata	1.49	4.11	71

Lampiran A.6 Tabel hasil rata-rata pengujian emisi gas buang bahan bakar Premium

Variasi <i>Water Injection</i>	Putaran Mesin	Percobaan	Emisi Gas Buang		
			CO (%)	CO ₂ (%)	HC (ppm)
Tanpa <i>Water Injection</i>	3000	I	2.92	2.5	369
		II	2.94	2.5	372
		III	2.94	2.5	379
		Rata – Rata	2.933	2.5	373
Tanpa <i>Water Injection</i>	4000	I	3.26	2.9	293
		II	3.23	2.8	297
		III	3.13	2.7	299
		Rata – Rata	3.206	2.8	296
Tanpa <i>Water Injection</i>	5000	I	2.98	3.3	156
		II	3.00	3.4	158
		III	3.02	3.5	160
		Rata - Rata	3.00	3.4	156
Tanpa <i>Water Injection</i>	6000	I	3.06	1.8	135
		II	3.20	2.3	142
		III	2.81	1.8	125
		Rata - Rata	2.757	1.97	134
Tanpa <i>Water Injection</i>	7000	I	1.98	5.0	30
		II	2.19	4.6	33
		III	2.21	4.8	31
		Rata - Rata	2.13	4.8	31

Lampiran B. Tabel Data Pengujian Konsumsi Bahan Bakar

Lampiran B.1 Tabel hasil rata-rata pengujian konsumsi bahan bakar LPG dengan massa 20 gram pada putaran mesin 3000 rpm.

Variasi	Percobaan	Waktu (detik)
<i>Tanpa Water Injection</i>	I	460
	II	500
	III	480
	Rata – Rata	480
A100	I	350
	II	380
	III	400
	Rata – Rata	376
A75	I	497
	II	510
	III	482
	Rata – Rata	496
A50	I	537
	II	550
	III	548
	Rata - Rata	545

Lampiran B.2 Tabel hasil rata-rata pengujian konsumsi bahan bakar LPG dengan massa 20 gram pada putaran mesin 4000 rpm.

Variasi	Percobaan	Waktu (detik)
<i>Water Injection</i>		
Tanpa <i>Water Injection</i>	I	397
	II	385
	III	391
	Rata – Rata	391
A100	I	372
	II	310
	III	338
	Rata – Rata	340
A75	I	385
	II	381
	III	355
	Rata – Rata	373
A50	I	469
	II	440
	III	390
	Rata - Rata	433

Lampiran B.3 Tabel hasil rata-rata pengujian konsumsi bahan bakar LPG dengan massa 20 gram pada putaran mesin 5000 rpm.

Variasi	Percobaan	Waktu (detik)
<i>Water Injection</i>		
Tanpa <i>Water Injection</i>	I	294
	II	291
	III	306
	Rata – Rata	297
A100	I	280
	II	238
	III	288
	Rata – Rata	268
A75	I	286
	II	340
	III	310
	Rata – Rata	312
A50	I	376
	II	351
	III	368
	Rata - Rata	365

Lampiran B.4 Tabel hasil rata-rata pengujian konsumsi bahan bakar LPG dengan massa 20 gram pada putaran mesin 6000 rpm.

Variasi	Percobaan	Waktu (detik)
<i>Water Injection</i>		
Tanpa <i>Water Injection</i>	I	232
	II	253
	III	234
	Rata – Rata	240
A100	I	218
	II	222
	III	238
	Rata – Rata	226
A75	I	215
	II	250
	III	214
	Rata – Rata	226
A50	I	283
	II	269
	III	270
	Rata - Rata	274

Lampiran B.5 Tabel hasil rata-rata pengujian konsumsi bahan bakar LPG dengan massa 20 gram pada putaran mesin 7000 rpm.

Variasi	Percobaan	Waktu (detik)
<i>Water Injection</i>		
Tanpa <i>Water Injection</i>	I	211
	II	209
	III	218
	Rata – Rata	213
A100	I	204
	II	168
	III	163
	Rata – Rata	178
A75	I	201
	II	190
	III	173
	Rata – Rata	188
A50	I	249
	II	237
	III	215
	Rata - Rata	233

Lampiran B.6 Tabel hasil rata-rata pengujian konsumsi bahan bakar Premium dengan massa 20 gram pada celah elektroda busi 0.7 mm.

Putaran Mesin (rpm)	Percobaan	Waktu (detik)
3000	I	233
	II	240
	III	238
	Rata – Rata	237
4000	I	172
	II	158
	III	176
	Rata – Rata	169
5000	I	146
	II	141
	III	155
	Rata – Rata	147
6000	I	119
	II	123
	III	116
	Rata - Rata	119
7000	I	99
	II	101
	III	103
	Rata - Rata	101

Lampiran C. Data Pengujian Torsi dan Daya Maksimum

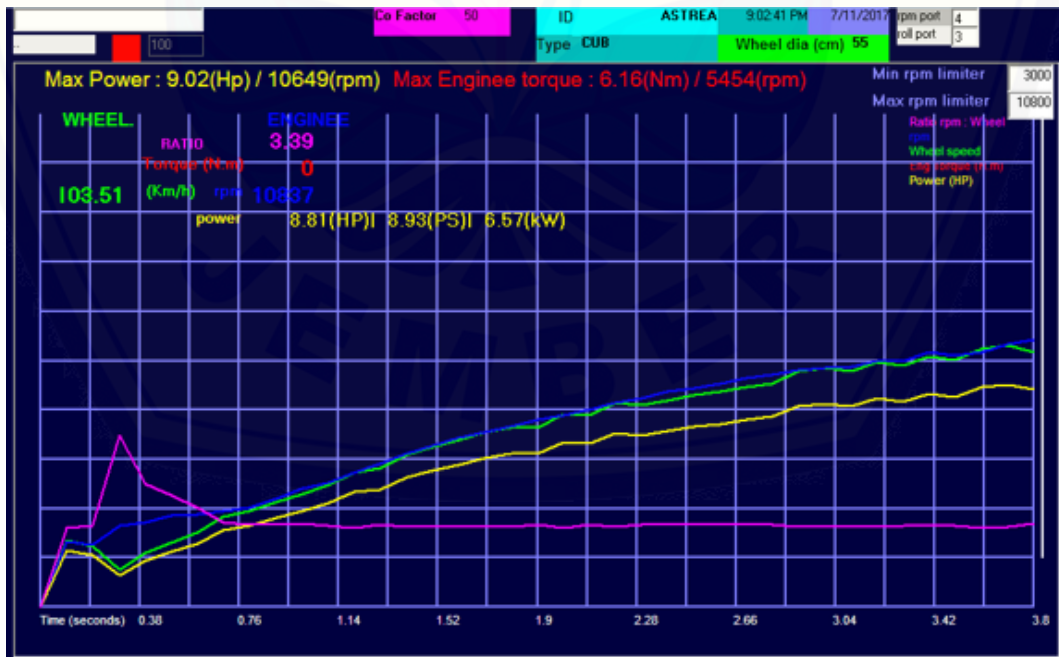
Lampiran C.1 Tabel hasil pengujian torsi dan daya maksimum

Variasi Water		Torsi	Daya
Injection / Bahan Bakar	Percobaan	Maksimum (Nm) / rpm	Maksimum (kW) / rpm
Tanpa Water Injection / Premium	I	6.43 / 4263	6.90 / 10982
	II	6.16 / 5454	6.73 / 10649
	III	6.26 / 5030	6.82 / 10649
	Rata – Rata	6.28 / 4916	6.82 / 10760
Tanpa Water Injection / LPG	I	6.36 / 4205	5.70 / 8945
	II	6.31 / 4197	5.55 / 8692
	III	6.36 / 3831	5.59 / 8754
	Rata - Rata	6.34 / 4078	5.61 / 8797
A100 / LPG	I	8.33 / 3612	7.5 / 9077
	II	8.36 / 3676	7.1 / 9044
	III	8.2 / 4234	7.38 / 8848
	Rata – Rata	8.30 / 3841	7.33 / 8990
A75 / LPG	I	8.28 / 3837	7.3 / 8913
	II	8.4 / 3244	7.4 / 9111
	III	8.38 / 4006	7.44 / 9077
	Rata – Rata	8.35 / 3696	7.38 / 9034
A50 / LPG	I	8.38 / 3526	7.5 / 9144
	II	8.68 / 3655	7.42 / 9010
	III	8.24 / 3660	7.5 / 8945
	Rata - Rata	8.43 / 3614	7.47 / 9033

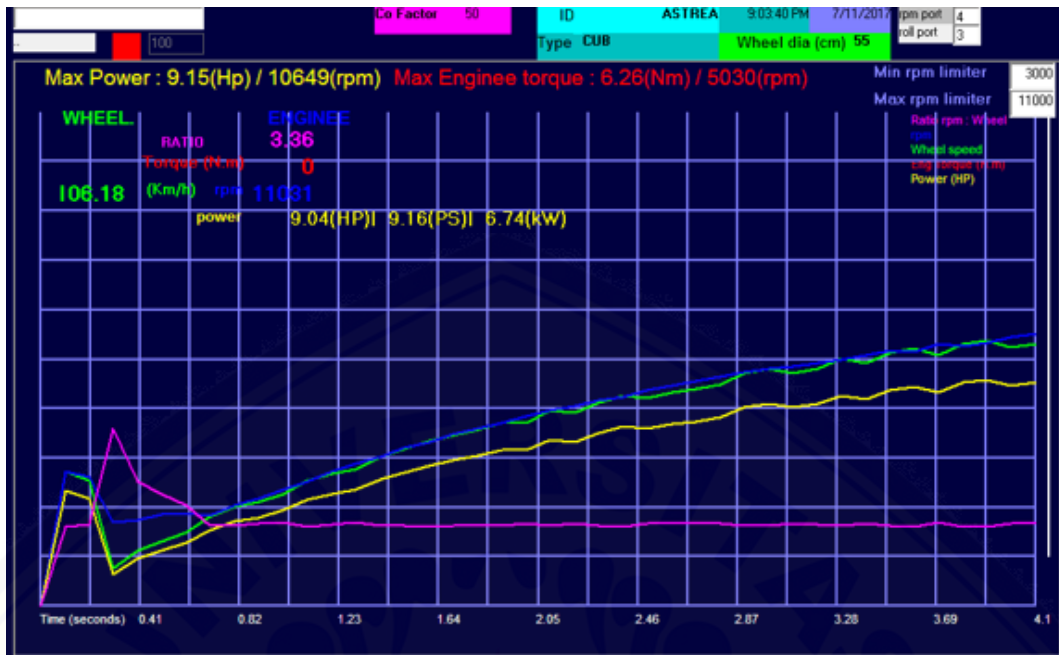
Lampiran C.2 Gambar data hasil pengujian dynotest



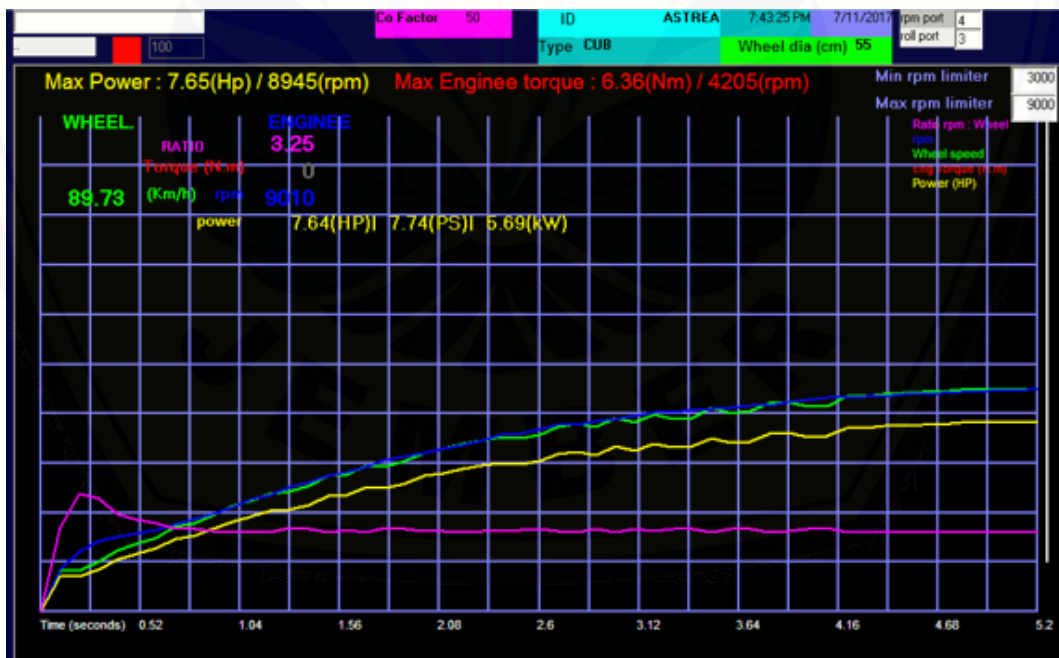
Lampiran C.2.1 Grafik percobaan 1 tanpa water injection dengan bahan bakar Premium



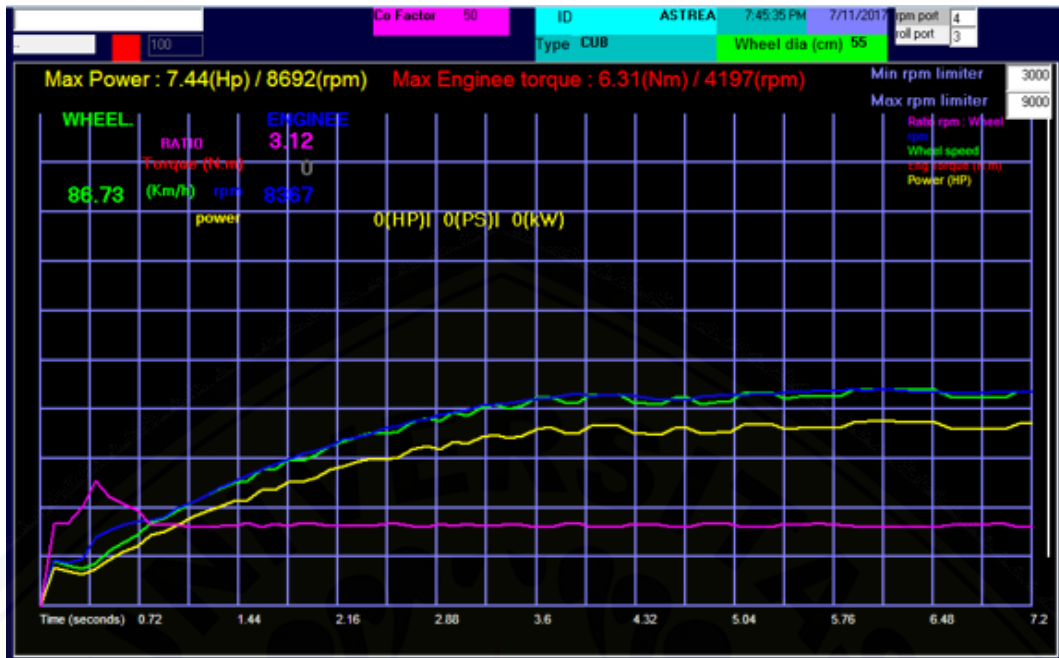
Lampiran C.2.2 Grafik percobaan 2 tanpa water injection dengan bahan bakar Premium



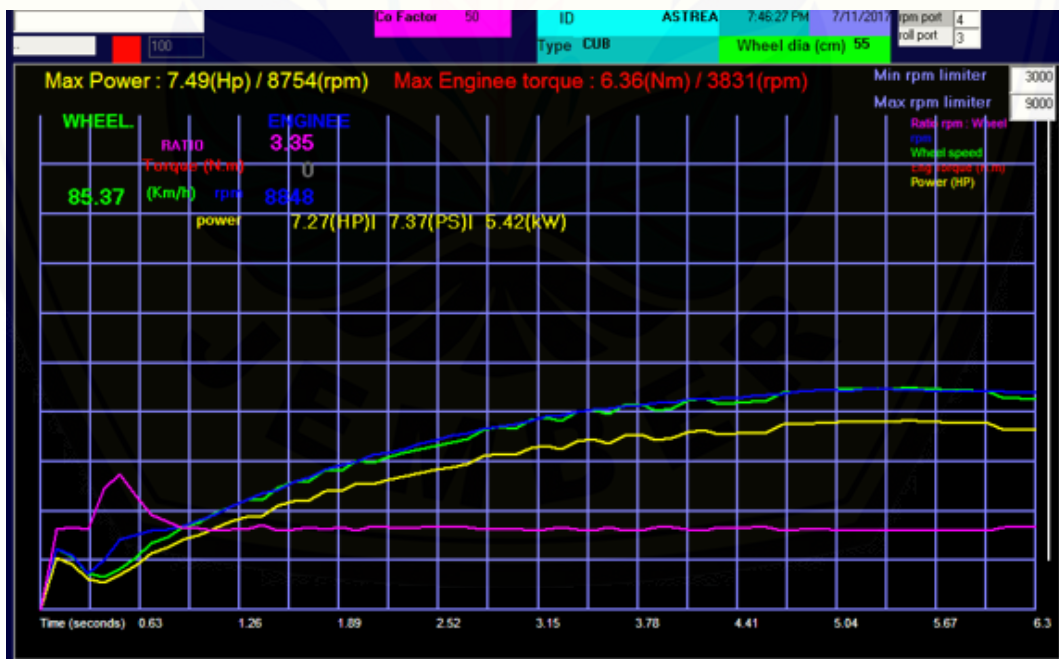
Lampiran C.2.3 Grafik percobaan 3 tanpa water injection dengan bahan bakar Premium



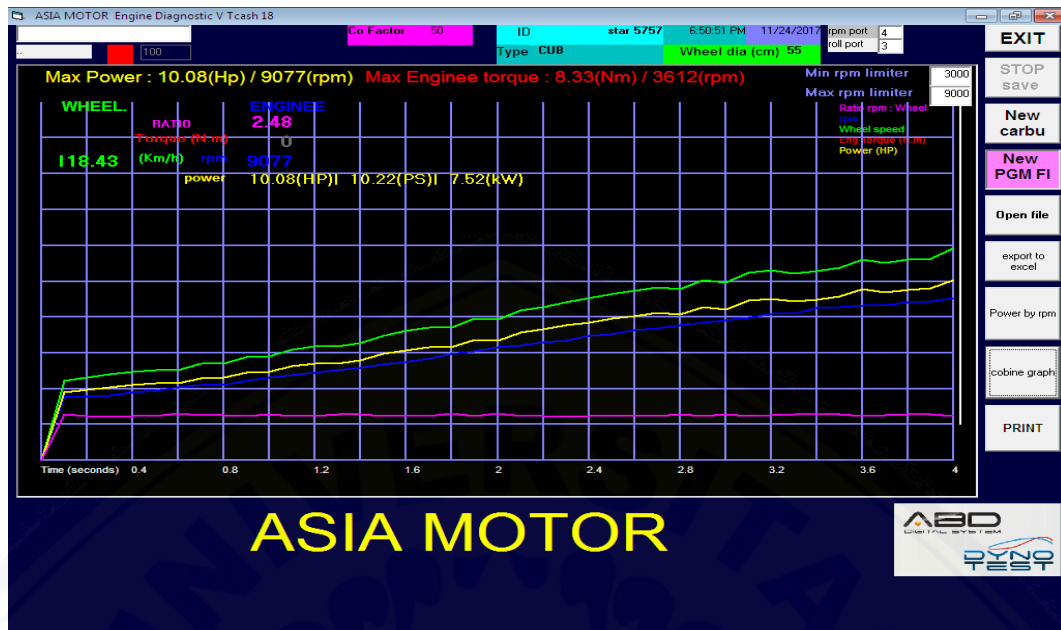
Lampiran C.2.4 Grafik percobaan 1 tanpa water injection dengan bahan bakar LPG



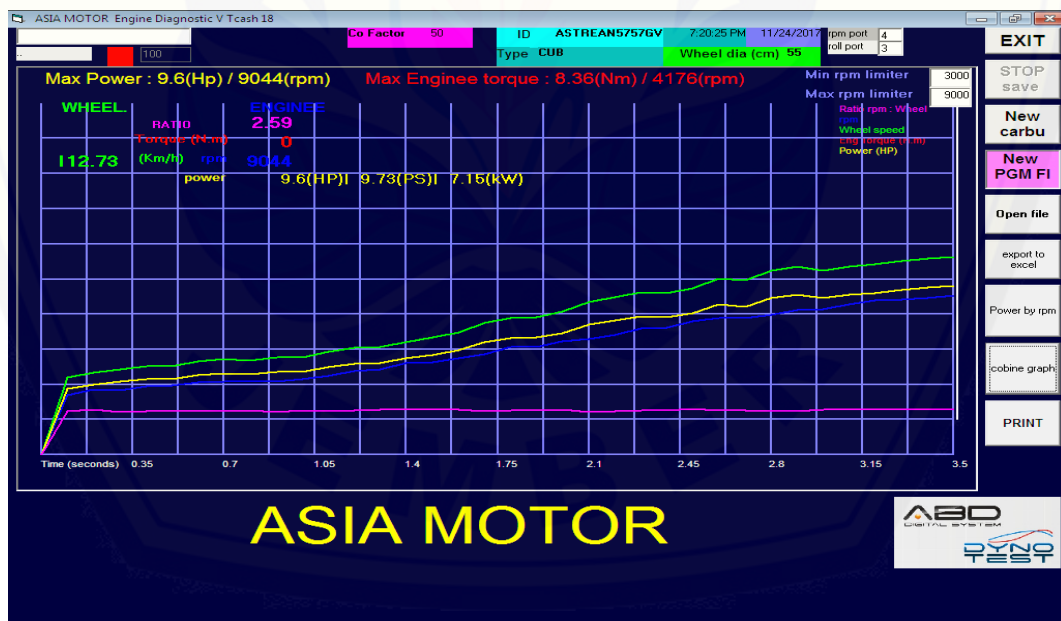
Lampiran C.2.5 Grafik percobaan 2 tanpa water injection dengan bahan bakar LPG



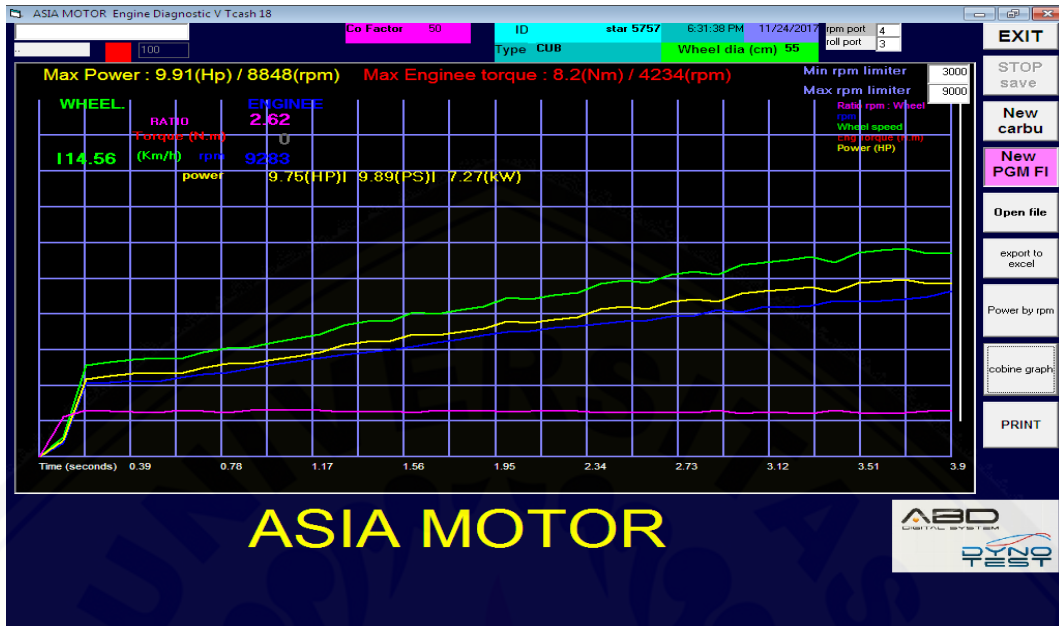
Lampiran C.2.6 Grafik percobaan 3 tanpa water injection dengan bahan bakar LPG



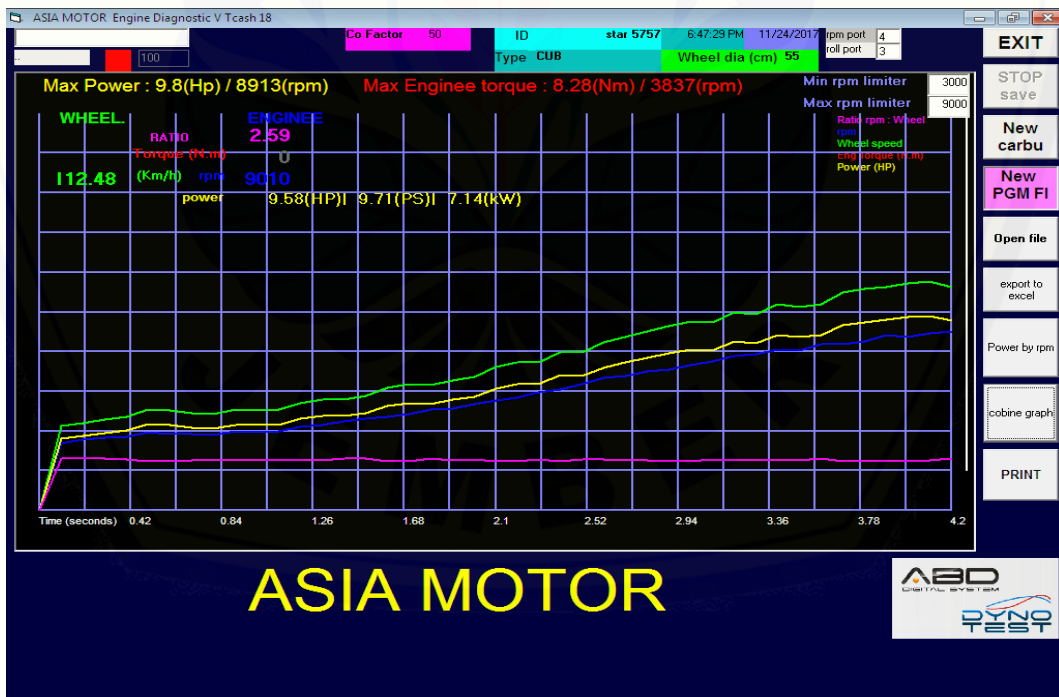
Lampiran C.2.7 Grafik percobaan 1 dengan water injection A100 bahan bakar LPG



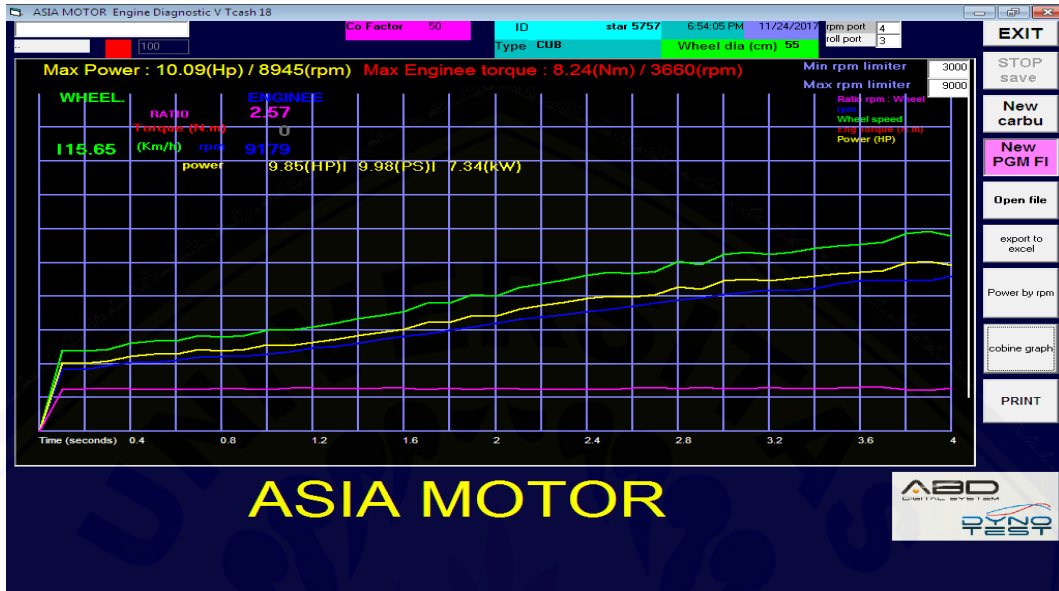
Lampiran C.2.8 Grafik percobaan 2 dengan water injection A100 bahan bakar LPG



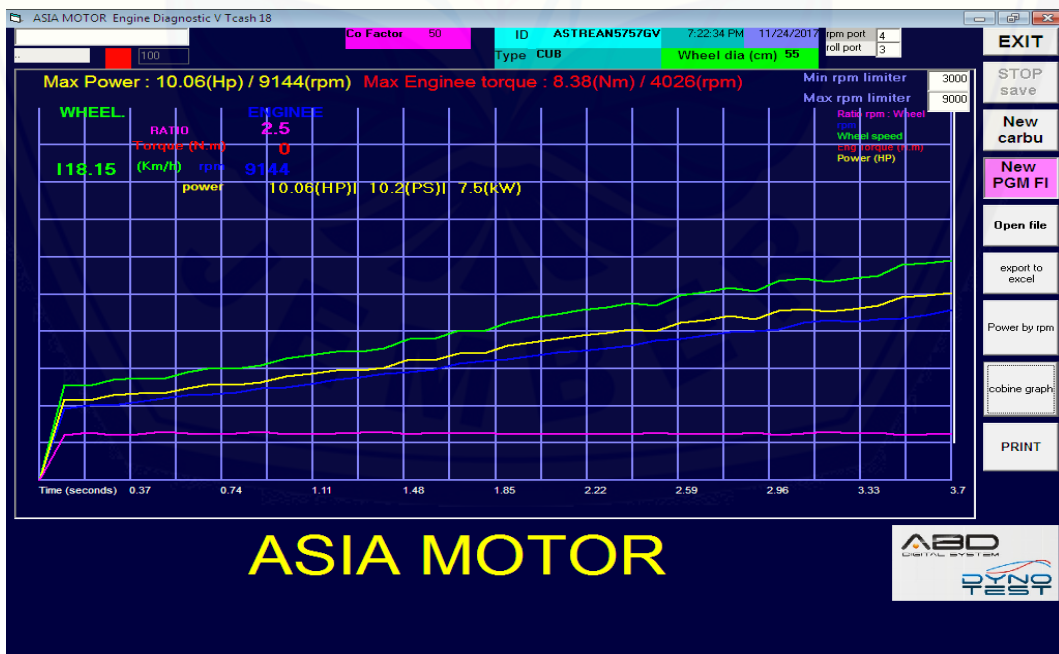
Lampiran C.2.9 Grafik percobaan 3 dengan water injection A100 bahan bakar LPG



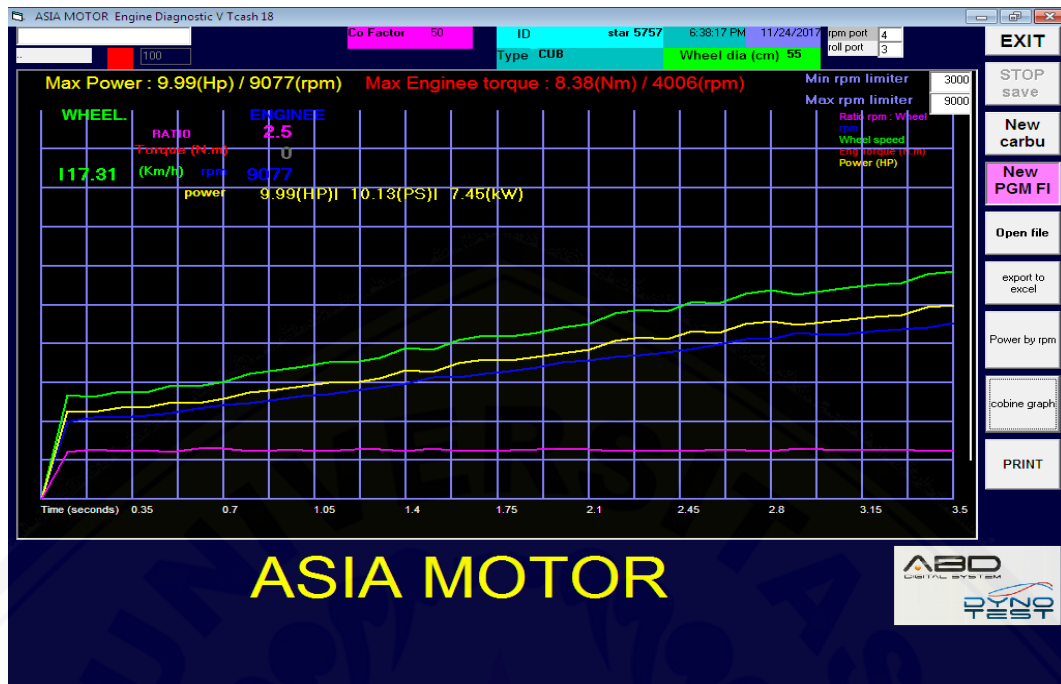
Lampiran C.2.10 Grafik percobaan 1 dengan water injection A75 bahan bakar LPG



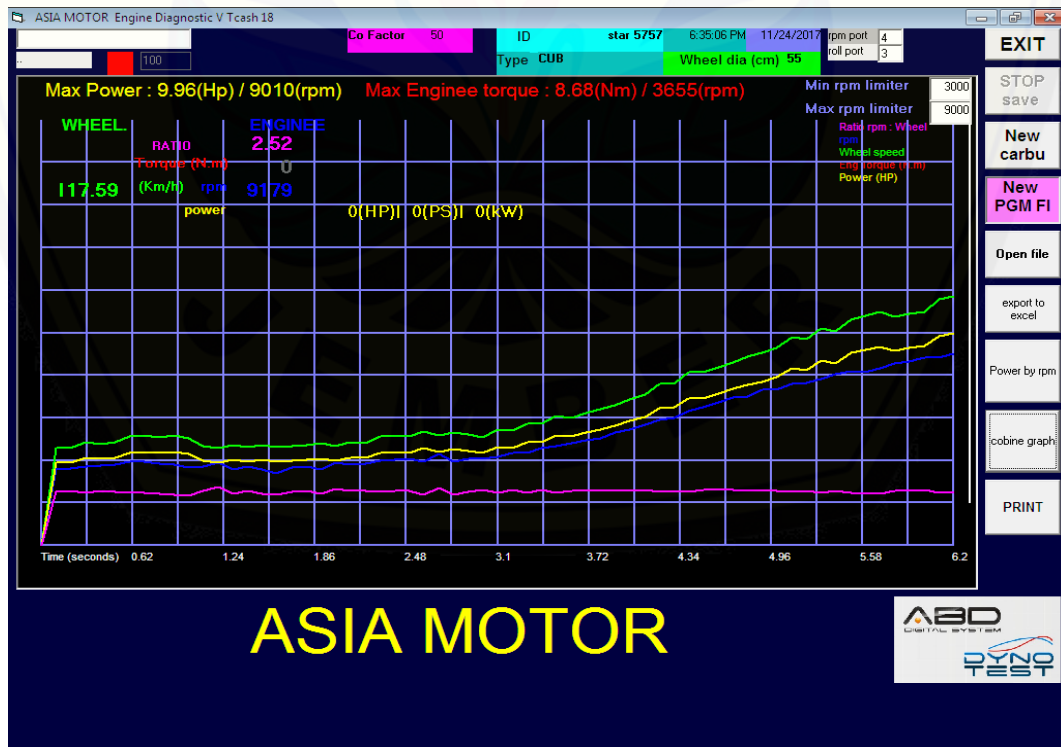
Lampiran C.2.11 Grafik percobaan 2 dengan water injection A75 bahan bakar LPG



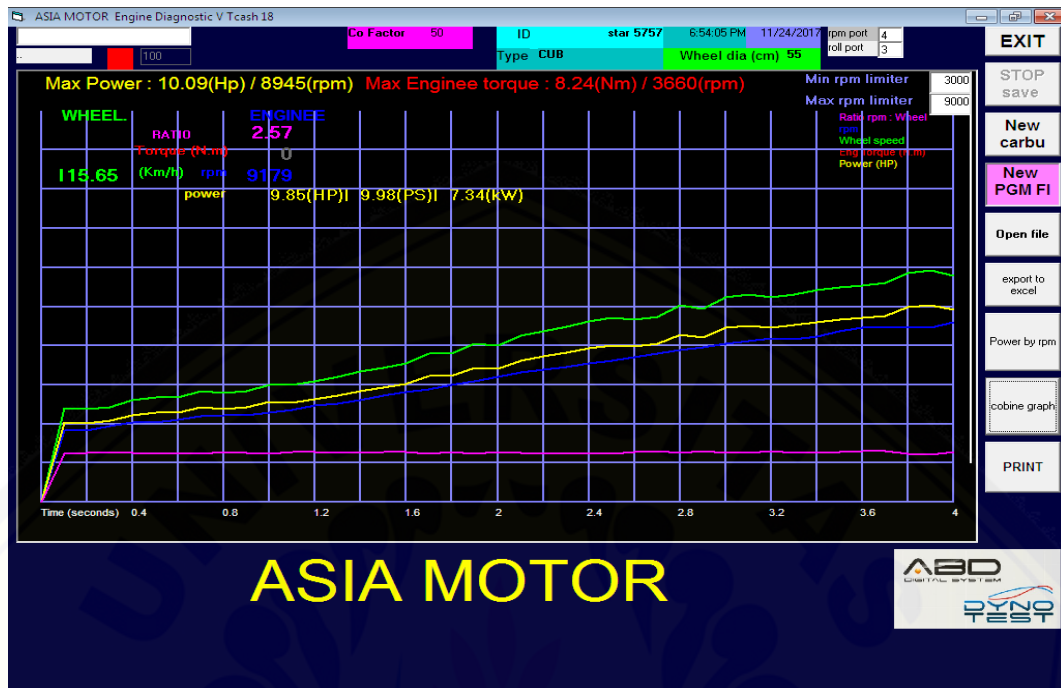
Lampiran C.2.12 Grafik percobaan 3 dengan water injection A75 bahan bakar LPG



Lampiran C.2.13 Grafik percobaan 1 dengan water injection A50 bahan bakar LPG



Lampiran C.2.14 Grafik percobaan 2 dengan water injection A50 bahan bakar LPG



Lampiran C.2.15 Grafik percobaan 3 dengan water injection A50 bahan bakar LPG

Lampiran D. Gambar Alat dan Bahan Penelitian



Lampiran D.1 Gambar *Converter Kit*



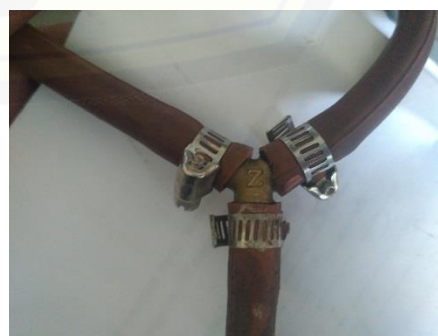
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)



(i)



(j)



(k)



(l)



(m)



(n)



(o)

- Keterangan:
- (a). Regulator tekanan tinggi
 - (b). Kran manual ukuran $\frac{1}{4}$
 - (c). Kran vakum membran
 - (d). Kran pembagi
 - (e). Klem
 - (f). Selang ukuran $\frac{1}{4}$
 - (g). Seltip
 - (h). Timbangan digital
 - (i). Tabung butan 144 gr
 - (j). Blower
 - (k). Posisi injector di manifold
 - (l). Pompa dc 12 volt
 - (m). Accu
 - (n). Selang
 - (o) Tangki air

Lampiran D.2 Gambar alat dan bahan penelitian

Lampiran F. Gambar Proses Pengujian Daya dan Torsi



Lampiran F.1 Gambar alat uji *Dynotest*



Lampiran F.2 Gambar pengambilan data *Dynotest*

Lampiran G. Gambar Proses Pengujian Emisi Gas Buang



Lampiran G.1 Gambar alat uji emisi gas buang / Gas Analyzer



Lampiran G.2 Gambar pengujian emisi gas buang

Lampiran H. Gambar Proses Pengujian Konsumsi Bahan Bakar

Lampiran H.1 Pengujian konsumsi bahan bakar Premium



Lampiran H.2 Penimbangan uji konsumsi bahan bakar LPG