



**ANALISIS UNJUK KERJA MOTOR BAKAR 4 TAK BERBAHAN BAKAR
LPG DENGAN PENAMBAHAN *TURBULATOR*
PADA *INTAKE MANIFOLD***

SKRIPSI

oleh
Ahmad Zainuri
NIM 131910101054

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

2017



**ANALISIS UNJUK KERJA MOTOR BAKAR 4 TAK BERBAHAN BAKAR
LPG DENGAN PENAMBAHAN *TURBULATOR*
PADA *INTAKE MANIFOLD***

SKRIPSI

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

Oleh:

Ahmad Zainuri
NIM 131910101054

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

PERSEMBAHAN

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga karya tulis ini dapat terselesaikan. Semoga setiap untaian kata didalamnya dapat menjadi persembahan sebagai ungkapan atas segala rasa sayang dan terima kasih kepada :

1. Allah S.W.T yang telah memberikan rahmat dan hidayahNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan lancar.
2. Kedua orang tuaku, Bapak Buhari dan Ibu Marsiah yang tiada henti memberikan dukungan moral dan moril demi kesuksesan penulis.
3. Kakek dan nenekku, Ibu Wakina dan Alm Bapak Hasan yang menjadi panutandan motivator penulis, serta keluarga – keluarga yang selalu mendukung kesuksesan penulis.
4. Saudari Debby Octaerdiyani yang selalu mengingatkan dan memberikan semangat dalam menyelesaikan karya tulis ini.
5. Keluarga besar teknik mesin angkatan 2013 yang memberikan pengalaman, pengetahuan dan makna pertemanan.
6. Teman teman seperjuangan kelompok LPG saudara Wasik, Puji, Fiqih dan Rifki yang selalu menghibur dan memberikan dorongan semangat selama proses pengerjaan skripsi ini.
7. Kantin bapak Kholik yang memberikan support logistic selama berada dikampus tercinta.
8. Angkringan Pakdhe Bogang yang memberikan support logistic diwaktu ngopi senggang.
9. Teman – teman seperjuangan, keluarga angkringan Fc yang selalu menghibur dan memberi semangat.
10. Alamater tercinta universitas jember, khususnya fakultas teknik yang memberikan banyak pengalaman dan ilmu tentang kehidupan bersama.

HALAMAN MOTTO

إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا فَإِذَا فَرَغْتَ فَانصَبْ
وَإِلَىٰ رَبِّكَ فَارْغَبْ

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai (dari sesuatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain, dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap”.

(QS Al-Insyirah 6-8)

مَنْ خَرَجَ فِي طَلَبِ الْعِلْمِ فَهُوَ فِي سَبِيلِ اللَّهِ

"Barang siapa keluar untuk mencari Ilmu maka dia berada di jalan Allah".

(HR. Turmudzi)

“Sesuatu yang belum dikerjakan, seringkali tampak mustahil; kita baru yakin kalau kita telah berhasil melakukannya dengan baik”.

(Evelyn Underhill)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **Ahmad Zainuri**

NIM : **131910101054**

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya tulis ilmiah yang berjudul: **“ANALISIS UNJUK KERJA MOTOR BAKAR 4 TAK BERBAHAN BAKAR LPG DENGAN PENAMBAHAN *TURBULATOR* PADA *INTAKE MANIFOLD*”** adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada instansi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 11 Desember 2017

Yang Menyatakan

Ahmad Zainuri
NIM 131910101054

SKRIPSI

**P ANALISIS UNJUK KERJA MOTOR BAKAR 4 TAK BERBAHAN
BAKAR LPG DENGAN PENAMBAHAN *TURBULATOR*
PADA *INTAKE MANIFOLD***

Oleh :
Ahmad Zainuri
NIM. 1319101054

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Nasrul Ilminnafik, S. T., M.T.
Dosen Pembimbing Anggota : M Fahrur Rozy H., S.T., M.T.

PROGRAM STUDI STARTA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2017

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi berjudul “**ANALISIS UNJUK KERJA MOTOR BAKAR 4 TAK BERBAHAN BAKAR LPG DENGAN PENAMBAHAN *TURBULATOR* PADA *INTAKE MANIFOLD***” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada:

Hari : Selasa

Tanggal : 19 Desember 2017

Tempat : Ruang Ujian 2, Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim penguji:

Ketua,

Sekretaris,

Dr. Nasrul Iminnafik, S.T., M.T.

NIP. 19711114 199903 1 002

Anggota I,

M Fahrur Rozy H., S.T., M.T.

NIP.19800307 201212 1 003

Anggota II,

Dr. Salahuddin Junus, S.T., M.T.

NIP.19751006 200212 1 002

Hary Sutjahjono, S.T., M.T.

NIP.19681205 199702 1 002

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Jember

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

NIP.19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Analisis Unjuk Kerja Motor Bakar 4 Tak Berbahan Bakar LPG Dengan Penambahan *Turbulator* Pada *Intake manifold*: Ahmad Zainuri; 131910101054; 2017; 83 Halaman; Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember.

Semakin langkanya bahan bakar minyak tiap tahunnya disebabkan oleh bertambahnya jumlah kendaraan bermotor yang terus meningkat dan berdampak terhadap polusi udara yang membahayakan kesehatan manusia. Salah satu alternatif untuk menanggulangi masalah tersebut adalah dengan menggunakan bahan bakar LPG. Penggunaan LPG sebagai bahan bakar alternatif berdampak pada turunnya performa mesin. Salah satu upaya untuk meningkatkan performa mesin ialah dengan menambahkan *turbulator* pada *intake manifold*. *Turbulator* adalah sebuah alat yang mengubah aliran suatu fluida dari aliran laminar menjadi aliran yang turbulen. *Turbulator* pada kendaraan yang ditempatkan pada *intake manifold* kendaraan bermotor biasanya berbentuk baling – baling. Pemasangan *turbulator* pada *intake manifold* diharapkan dapat mengubah sifat aliran fluida yang bersifat laminar berubah menjadi aliran turbulen, dan diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pada peralatan industri ataupun pada mesin-mesin pembakaran dalam. Modifikasi *intake manifold* pada kendaraan bermotor dengan penambahan *turbulator* untuk mendapatkan aliran udara dan bahan bakar yang turbulen, dengan tujuan untuk meningkatkan kualitas pencampuran bahan bakar dan udara sebelum memasuki ruang bakar.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimental dengan variasi sudut bilah *turbulator* sebesar 30°, 45°, dan 60° pada putaran mesin 3000 – 7000 rpm dan kondisi standart sebagai perbandingan. Dalam pengujian ini menggunakan *gas analyzer* dan *dyno test* untuk mengetahui torsi, daya, emisi gas buang dan konsumsi bahan bakar yang dilakukan pada motor Honda Astrea Prima.

Hasil pengujian didapatkan dengan penambahan *turbulator* dapat meningkatkan performa kendaraan dan dapat menurunkan konsumsi bahan bakar

dan emisi gas buang. Pada pengujian nilai torsi dan daya maksimum dengan menggunakan *dyno test*, penggunaan *turbulator* dengan sudut bilah 30° menunjukkan nilai torsi dan daya yang paling tinggi yaitu 6,64 N.m dan 5,73 KW. Nilai emisi gas buang yang dihasilkan pada pengujian dengan gas analyzer menunjukkan dengan menggunakan *turbulator* dapat mereduksi kandungan gas HC hingga 45 ppm dan CO hingga 0,92% serta gas CO₂ sebesar 3,43%. Pada pengujian konsumsi bahan bakar, penambahan *turbulator* dengan sudut bilah 30° ini menunjukkan hasil yang baik, karena mampu menurunkan konsumsi bahan bakar hingga 53,2% dibandingkan dengan bahan bakar premium dan lebih hemat 0,001 gr/s dibanding dengan bahan bakar LPG pada kondisi standart.

Penambahan *turbulator* pada *intake manifold* mampu membuat campuran bahan bakar dan udara bercampur lebih homogen sebelum masuk ke ruang bakar sehingga terjadi pembakaran yang lebih sempurna. Hal tersebut mengakibatkan naiknya torsi dan daya mesin dan menghasilkan emisi gas buang yang lebih baik karena tidak ada sisa bahan bakar yang keluar akibat kurang sempurnanya pembakaran.

SUMMARY

Performance Analysis of LPG-Fueled 4 Stroke Internal Combustion Engine With the Addition of Turbulator on Intake Manifold: Ahmad Zainuri; 131910101054; 2017; 83 Pages; Department of Mechanical Engineering University of Jember.

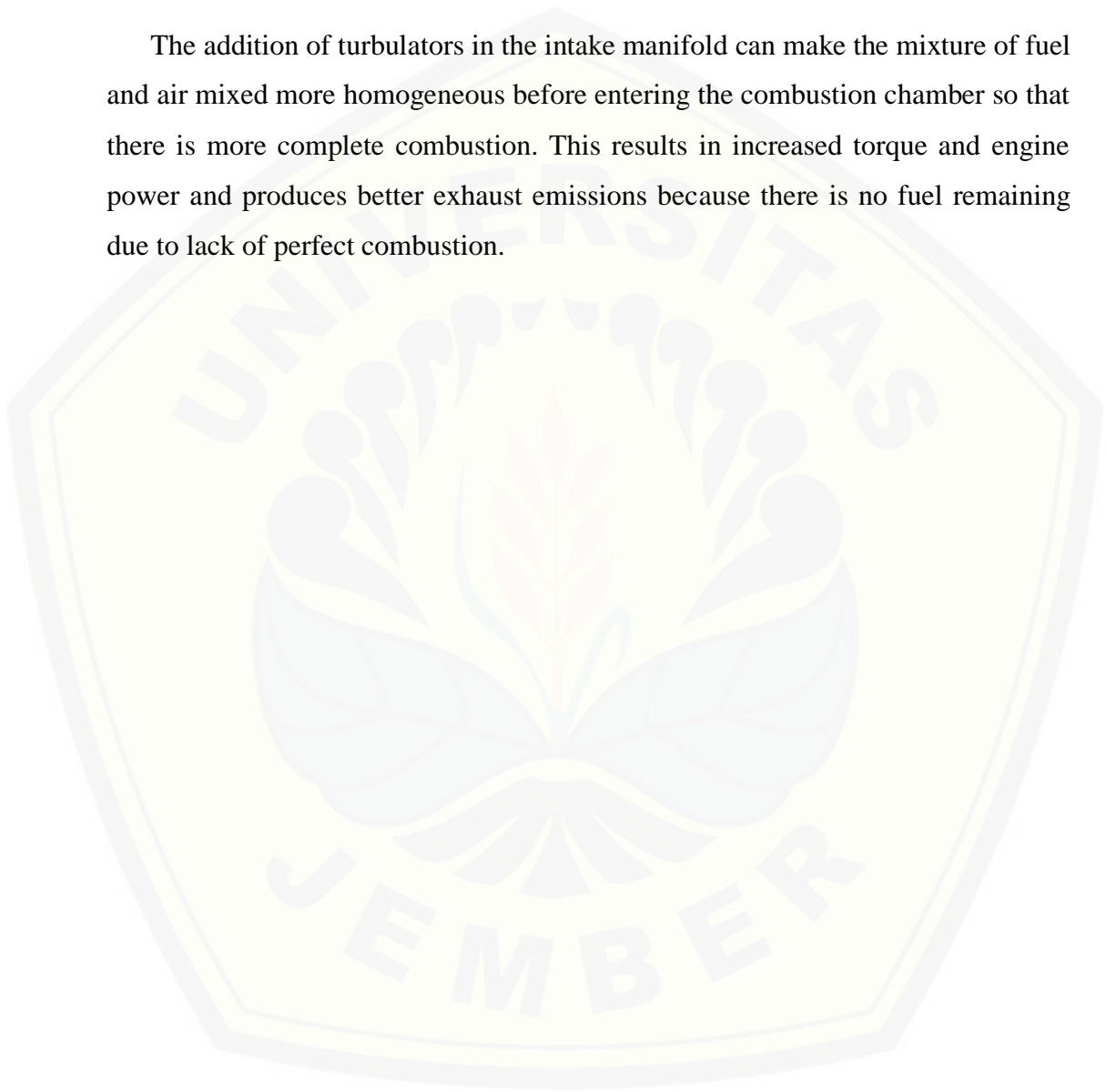
The scarcity of fuel oil each year is caused by the increasing number of motor vehicles that continue to increase and impact on air pollution that endanger human health. One alternative to solve the problem is to use LPG fuel. The use of LPG as an alternative fuel has an impact on the decrease of engine performance. One effort to improve engine performance is to add turbulator to the intake manifold. Turbulator is a device that converts the flow of a fluid from a laminar stream into a turbulent flow. Turbulators in vehicles placed in motor vehicle intake manifolds are usually in the form of a propeller. The installation of turbulator in the intake manifold is expected to change the nature of the laminar fluid flow into turbulent flow, and is expected to increase efficiency in industrial equipment or in internal combustion engines. Modified intake manifolds on motor vehicles with the addition of turbulators to obtain turbulent airflow and fuel, in order to improve the quality of fuel and air mixing before entering the combustion chamber.

This research was conducted by using experimental method with turbulator blade angle variation of 30°, 45°, and 60° at engine speed 3000 - 7000 rpm and standard condition as comparison. In this test using a gas analyzer and dyno test to determine the torque, power, exhaust emissions and fuel consumption performed on Honda Astrea Prima.

Test results obtained with the addition of turbulator can improve vehicle performance and can reduce fuel consumption and exhaust emissions. In testing the maximum torque and power value using the dynotest, the use of turbulator with corner blade 30° shows the highest torque and power value of 6.64 N.m and 5.73 KW. The value of exhaust emissions generated in the test by gas analyzer showed by using turbulator can reduce the HC gas content up to 45 ppm and CO

up to 0,92% and CO₂ gas equal to 3,43%. In the fuel consumption test, the addition of turbulator with the angle of the blade 30° this showed good results, because it can reduce fuel consumption up to 53.2% compared to premium fuel and more efficient 0.001 gr / s compared with LPG fuel at standard conditions.

The addition of turbulators in the intake manifold can make the mixture of fuel and air mixed more homogeneous before entering the combustion chamber so that there is more complete combustion. This results in increased torque and engine power and produces better exhaust emissions because there is no fuel remaining due to lack of perfect combustion.



KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan atas kehadiran Allah SWT. atas segala berkat, bimbingan, serta rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi tentang “Analisis Unjuk Kerja Motor Bakar 4 Tak Berbahan Bakar LPG Dengan Penambahan *Turbulator* Pada *Intake manifold*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Pada kesempatan ini pula penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah M.U.M. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Bapak Hari Arbiantara Basuki, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Fakultas Teknik Mesin Universitas Jember.
3. Bapak Hari Sutjahyono, S.T., M.T. selaku Ketua Prodi S1 Fakultas Teknik Mesin Universitas Jember.
4. Bapak Dr. Nasrul Iminnafik, S.T., M.T. dan Bapak M Fahrur Rozy H., S.T., M.T. selaku dosen pembimbing utama dan dosen pembimbing anggota dari Fakultas Teknik Mesin Universitas Jember.
5. Bapak Dr. Salahuddin Junus, S.T., M.T dan Bapak Hary Sutjahjono, S.T., M.T selaku dosen penguji I dan dosen penguji II dari Fakultas Teknik Mesin Universitas Jember.
6. Bapak Muamar Khadafi, S.T., M.T selaku dosen pembimbing akademik dari Fakultas Teknik Mesin Universitas Jember.
7. Keluarga besar Teknik Mesin Universitas Jember angkatan 2013 yang telah memberikan bantuan dan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.

8. Semua pihak yang telah membantu dalam terselesaikannya skripsi ini

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

Jember, 11 Desember 2017

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan dan Manfaat	3
1.4.1 Tujuan	3
1.4.2 Manfaat	3
1.4 Batasan Masalah	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Minyak dan Gas di Indonesia	4
2.2 Karakteristik LPG Sebagai Bahan Bakar Kendaraan	6
2.2.1 Daya dan Torsi yang Dihasilkan LPG	7
2.2.2 Konsumsi Bahan Bakar LPG	11
2.2.3 Emisi Gas Buang	12
2.3 Converter Kit	13
2.4 Sistem Bahan Bakar	14

2.5	<i>Turbulator</i>	16
2.6	Aliran Campuran Udara dan Bahan Bakar	16
2.7	Hipotesa Penelitian	20
BAB 3.	METODOLOGI PENELITIAN	22
3.1	Metode Penelitian	22
3.2	Waktu dan Tempat	22
3.3	Alat dan Bahan	22
3.3.1	Alat	22
3.3.2	Bahan	24
3.4	Variabel Penelitian	24
3.4.1	Variabel Bebas	24
3.4.2	Variabel Terikat	25
3.5	Rancangan Penelitian	26
3.6	Prosedur Penelitian	27
3.6.1	Persiapan dan Pemeriksaan Alat dan Bahan	27
3.6.2	Tahap Pengujian	27
3.7	Skema <i>Flow Chart</i> Penelitian	33
BAB 4.	HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1	Data Hasil Penelitian	34
4.1.1	Analisa Torsi dan Daya	34
4.1.2	Analisa Emisi Gas Buang	37
4.1.3	Analisa Konsumsi Bahan Bakar	43
4.1.4	Analisa Nilai Optimum pada Tiap Data	45
BAB 5.	PENUTUP	46
5.1	Kesimpulan	46
5.2	Saran	46
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN A	Tabel Data Pengujian Emisi Gas Buang	50
LAMPIRAN B	Tabel Data Pengujian Konsumsi Bahan Bakar	56
LAMPIRAN C	Data Pengujian Torsi dan Daya Maksimum	62
LAMPIRAN D	Data dan Gambar Kalibrasi Sensor	71

LAMPIRAN E Gambar Alat dan Bahan Penelitian.....	74
LAMPIRAN F Gambar Proses Pengujian Daya dan Torsi	77
LAMPIRAN G Gambar Proses Pengujian Emisi Gas Buang	78
LAMPIRAN H Gambar Proses Pengujian Konsumsi Bahan Bakar..	79



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Volume produksi dan konsumsi BBM di Indonesia	4
2.2 Peta Cadangan Gas Bumi Indonesia Tahun 2013	5
2.3 Grafik Perbandingan Daya Mesin dengan Berbagai Macam <i>Vaporizer</i>	9
2.4 Grafik Perbandingan Bahan Bakar Premium dan LPG.....	10
2.5 Grafik Perbandingan Torsi Mesin LPG dan Premium	11
2.6 Grafik Perbandingan Konsumsi Bahan Bakar LPG dan Premium	11
2.7 Perbandingan Bahan Bakar Dalam km/kg	12
2.8 Perbandingan Emisi Gas CO dan HC Bahan Bakar Bensin dengan Bahan Bakar LPG	13
2.9 <i>Konverter Kit</i> Pada Sepeda Motor	14
2.10 Karburator	16
2.11 <i>Turbulator</i> Yang Dipasang Pada <i>Intake manifold</i>	16
2.12 Aliran Partikel Bahan Bakar Pada Saluran Masuk dengan Kondisi Laminer (kiri), Turbulen dengan satu <i>turbulator</i> (kanan), dan Turbulen dengan 2 <i>turbulator</i> (kanan).....	17
2.13 Grafik Perbandingan Performa Mesin Standart dan Penambahan <i>Turbulator</i>	19
2.14 Grafik Hasil Pengujian Performa Mesin Dengan Variasi Bilah <i>Turbulator</i>	20
3.1 Bilah <i>Turbulator</i>	24
3.2 Skema Instalasi <i>Konverter Kits</i>	30
3.3 Skema Instalasi <i>Turbulator</i> dan Sensor Tekanan Pada <i>Intake</i> dan <i>Exhaust</i>	31
4.1 Grafik pengaruh sudut <i>turbulator</i> terhadap torsi mesin.....	35
4.2 Grafik pengaruh sudut <i>turbulator</i> terhadap daya mesin	36
4.3 Nilai emisi gas CO pada variasi sudut bilah <i>turbulator</i>	39
4.4 Nilai emisi gas CO ₂ pada variasi sudut bilah <i>turbulator</i>	40
4.5 Nilai emisi gas HC pada variasi sudut bilah <i>turbulator</i>	42
4.6 Grafik konsumsi bahan bakar pada variasi jarak sudut bilah <i>turbulator</i>	44

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Perbandingan properti bahan bakar LPG, Bensin, Diesel dan CNG.....	6
3.1 Pengambilan data Pengujian Dyno Test	30
3.2 Pengambilan data Pengujian Konsumsi Bahan Bakar	30
3.3 Pengambilan Data Emisi Gas Buang	30
3.1 Jadwal Penelitian.....	32
4.1 Hasil rata – rata pengujian torsi dan daya mesin.....	35
4.2 Nilai rata – rata emisi gas CO (%)	38
4.3 Nilai rata – rata emisi gas CO ₂ (%).....	40
4.4 Nilai rata – rata emisi gas HC (ppm)	41
4.5 Konsumsi bahan bakar terhadap putaran mesin (gr/s).....	43
4.6 Nilai terbaik pada tiap data penelitian.....	45

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beberapa tahun terakhir, pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor di Indonesia meningkat dengan pesat, terutama pertumbuhan sepeda motor. Badan Pusat Statistik (BPS) menyebutkan bahwa jumlah kendaraan bermotor meningkat sebesar 9.754.645 unit pada tahun 2012 hingga 2013. Hal ini tentunya sangat berpengaruh pada konsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM) tiap tahunnya. Di lain sisi, terdapat cadangan bahan bakar lain yang cukup banyak dan tersedia, yaitu bahan bakar gas. *BP Statistical Review* (2016) menyebutkan bahwa cadangan gas bumi di Indonesia mencapai 2,8 TCM pada tahun 2015, dan konsumsi gas di Indonesia saat ini hanya 39,7 BCM. Dengan jumlah sebanyak itu sangat disayangkan kalau sampai sisa cadangan gas di bumi Indonesia harus di impor dan tidak dimanfaatkan seoptimal mungkin. Tersedianya tabung gas LPG ukuran 3 kg dan 12 kg produksi PT Pertamina Indonesia dapat menjadi solusi untuk kita manfaatkan sebagai bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar minyak (BBM).

Bertambahnya jumlah kendaraan bermotor juga sebanding dengan meningkatnya polusi udara yang membahayakan kesehatan dan juga menimbulkan efek rumah kaca. Gas LPG merupakan bahan bakar yang memiliki efek gas rumah kaca terkecil dibandingkan dengan bahan bakar minyak maupun gas lainnya (Anyon, 2003). Penggunaan LPG sebagai bahan bakar alternatif berdampak pada turunnya performa mesin. Selain dari faktor bahan bakar, terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi performa mesin, dimana hal tersebut juga dipengaruhi oleh perbandingan udara dan bahan bakar, kepadatan campuran udara dan bahan bakar, jarak antara elektroda busi dan temperatur campuran. Untuk mendapatkan kepadatan dari campuran bahan bakar dan udara yang optimal, dapat dilakukan dengan cara membuat aliran campuran bahan bakar dan udara yang turbulen sebelum masuk ruang bakar (Arismunandar, 1988).

Sulaiman, (2013) meneliti tentang penggunaan LPG sebagai bahan bakar motor bakar 4 tak dan didapat hasil bahwa penggunaan bahan bakar LPG menurunkan daya mesin sekitar 3% - 5%, namun mampu menghemat konsumsi bahan bakar hingga 25% dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar Pertamina Plus RON 95. Modifikasi *intake manifold* pada kendaraan bermotor dengan penambahan turbulator untuk mendapatkan aliran udara dan bahan bakar yang turbulen, dengan tujuan untuk meningkatkan kualitas pencampuran bahan bakar dan udara sebelum memasuki ruang bakar. Siswantoro, dan Wibowo, (2015) meneliti tentang turbulator ini, dan didapat hasil bahwa alat ini mampu menghasilkan aliran yang turbulen sehingga didapat campuran bahan bakar dan udara yang homogen dan hasil pembakaran yang sempurna. Selain hal tersebut, juga didapatkan fakta bahwa jenis turbulator dengan 3 bilah ternyata dapat menghasilkan pusaran aliran yang lebih baik, yang ditunjukkan dengan penurunan kebutuhan bahan bakar dan kadar CO dalam gas buang dibandingkan dengan bentuk bilah yang lebih banyak.

Dari uraian latar belakang tersebut, peneliti ingin mengetahui pengaruh variasi sudut kemiringan bilah turbulator yang tepat sehingga didapat unjuk kerja motor bakar berbahan bakar LPG yang lebih optimal.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi sudut kemiringan bilah turbulator terhadap daya motor bakar 4 langkah berbahan bakar gas LPG ?
2. Bagaimana pengaruh variasi sudut kemiringan bilah turbulator terhadap konsumsi bahan bakar motor bakar 4 langkah berbahan bakar gas LPG ?
3. Bagaimana pengaruh variasi sudut kemiringan bilah turbulator terhadap emisi gas buang motor bakar 4 langkah berbahan bakar gas LPG ?

1.3 Tujuan dan Manfaat

1.3.1 Tujuan

1. Dapat mengetahui pengaruh sudut kemiringan bilah turbulator terhadap daya motor bakar 4 langkah berbahan bakar gas LPG.
2. Dapat mengetahui pengaruh sudut kemiringan bilah turbulator terhadap konsumsi bahan bakar motor bakar 4 langkah berbahan bakar gas LPG.
3. Dapat mengetahui pengaruh sudut kemiringan bilah turbulator terhadap emisi gas buang motor bakar 4 langkah berbahan bakar gas LPG.

1.3.2 Manfaat

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

1.4 Batasan Masalah

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

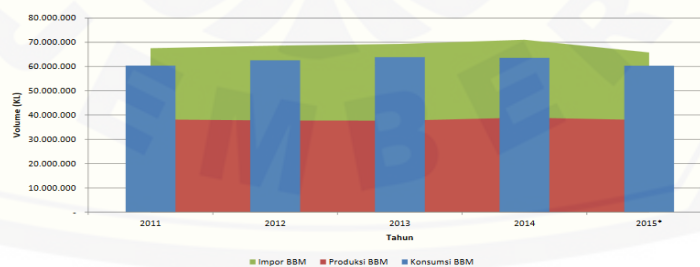
1. Semua alat dan bahan dalam penelitian ini sesuai dengan standart dan dalam keadaan normal.
2. Rasio udara dan bahan bakar (AFR) dianggap tetap dalam setiap pengujian.
3. Tekanan dan suhu udara di lingkungan dianggap tetap dalam setiap percobaan.
4. Kelembaban udara dianggap konstan dan sepeda motor dianggap standard.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Minyak dan Gas di Indonesia

Dari tahun ke tahun jumlah kendaraan yang menggunakan BBM di Indonesia semakin meningkat. Badan Pusat Statistik (BPS) menyebutkan jumlah kendaraan di Indonesia mencapai 104.118.969 unit tahun 2009. Jumlah tersebut meliputi 11.484.514 unit mobil penumpang, 2.286.309 unit bis, 5.615.494 unit truk, dan 84.732.652 unit jenis sepeda motor. 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.

Volume produksi dan jumlah konsumsi BBM di Indonesia dapat dilihat di Gambar 2.1



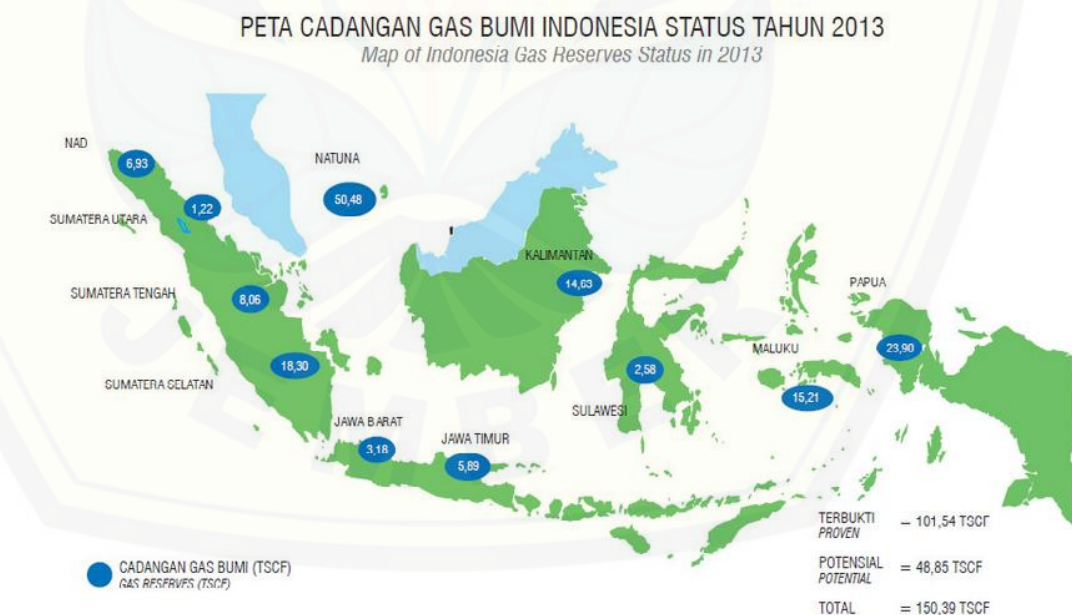
Tahun	2011	2012	2013	2014	2015*
Penjualan BBM (KL)	60,381,564	62,546,988	63,860,204	63,598,040	60,320,430
Impor BBM (KL)	29,333,166	30,849,979	31,629,547	32,079,786	27,858,945
Produksi (KL)	38,231,601	37,759,611	37,693,887	38,950,478	37,931,019
	67,564,767	68,609,590	69,323,434	71,030,265	65,789,964

Gambar 2.1 Volume produksi dan konsumsi BBM di Indonesia

(Sumber: Naufal, 2016)

Tingginya harga minyak mentah dunia, menyebabkan pemerintah harus memberikan subsidi BBM. Untuk tahun 2011, pemerintah mengalokasikan dana APBN sebesar Rp 92.79 triliun untuk subsidi BBM dan melihat perkembangan harga minyak dunia akhir-akhir ini, subsidi bisa tembus Rp100 triliun. Sehingga semakin banyak populasi kendaraan di Indonesia dimasa mendatang, menjadi semakin besar juga subsidi BBM yang harus dialokasikan pemerintah setiap tahunnya (Hartanto, dkk 2012).

Sedangkan untuk cadangan gas bumi di Indonesia cukup besar dan tidak sebanding dengan penggunaannya sehingga sisa produksi dari gas tersebut di impor keluar negeri. Salah satu energi alternatif pengganti bahan bakar minyak untuk kendaraan adalah 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, M. 2012).



Gambar 2.2 Peta Cadangan Gas Bumi Indonesia Tahun 2013

(Sumber: Naufal, 2016)

2.2 Karakteristik LPG Sebagai Bahan Bakar Kendaraan

LPG diperoleh dari hidrokarbon yang dihasilkan selama penyulingan minyak mentah dan dari komponen gas alam. Komponen LPG didominasi propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}). (Brevitt, 2011).

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. Dibandingkan dengan bensin, LPG memiliki kandungan energi per satuan massa relatif tinggi, tetapi kandungan energi per satuan volumenya rendah. (Condro, 2012).

Perbandingan property bahan bakar LPG, Bensin, Diesel dan CNG dapat dilihat di tabel 2.1

Tabel 2.1 Perbandingan properti bahan bakar LPG, Bensin, Diesel dan CNG

No	Properti Bahan Bakar	Gasoline	Diesel	LPG	CNG
1.	Struktur Kimia	$C_8H_{18}/ C_4 - C_{12}$	$C_8 - C_{25}$	C_3H_8 dan C_4H_{10}	CH_4
2.	Kepadatan Energi (<i>Energy density</i>)	109.000 – 125.000	128.000 – 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

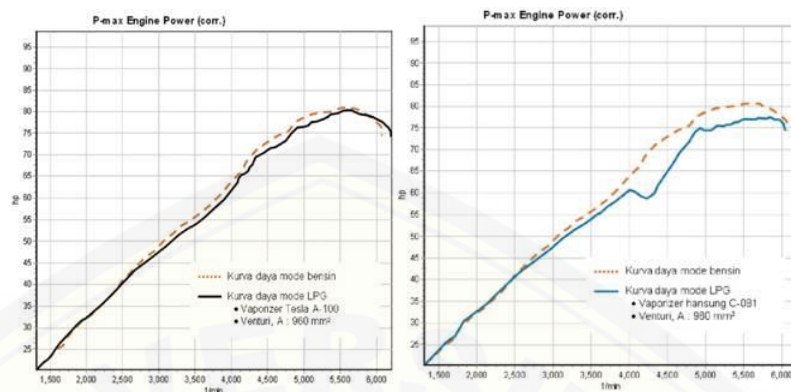
LPG memiliki nilai oktan 112. Nilai oktan 112 memungkinkan untuk diterapkan pada mesin dengan perbandingan kompresi yang lebih tinggi sehinggamemberikan efisiensi thermal yang lebih tinggi. Biaya operasional mesin LPG lebih rendah dan memiliki karakteristik ramah lingkungan. LPG menjadi alternatif energy yang populer sebagai pengganti bensin (Condro, 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

Mesin berbahan bakar LPG menghasilkan daya yang lebih rendah dari mesin bensin. Penurunan daya yang terjadi sekitar 5% -10% (Cewis dan Yuksel, 2005). Efisiensi volumetrik dapat ditingkatkan dengan menggunakan kontrol secara elektronik injeksi LPG cair sehingga rasio udara - bahan bakar dapat dikontrol yang dapat meningkatkan efisiensi pengisian asupan (Erkus dkk., 2013). Selain itu, dengan menerapkan *supercharger* dan *turbocharger* juga dapat meningkatkan daya dan juga rasio kompresi.

Husni (2015) melakukan penelitian tentang penggunaan gas sebagai bahan bakar pada mobil dengan menggunakan berbagai jenis *vaporizer*, dalam penelitiannya peneliti membandingkan antara bahan bakar LPG dengan bahan bakar premium dalam putaran 1500 rpm sampai 6000 rpm. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 2.3, bahwa penggunaan bahan bakar LPG dengan berbagai jenis *vaporizer* menghasilkan daya yang sedikit lebih tinggi dibawah putaran 2500 rpm, namun menurun lebih landai dari pada menggunakan bahan bakar premium setelah keduanya mencapai *peak power*.



(a)

(b)

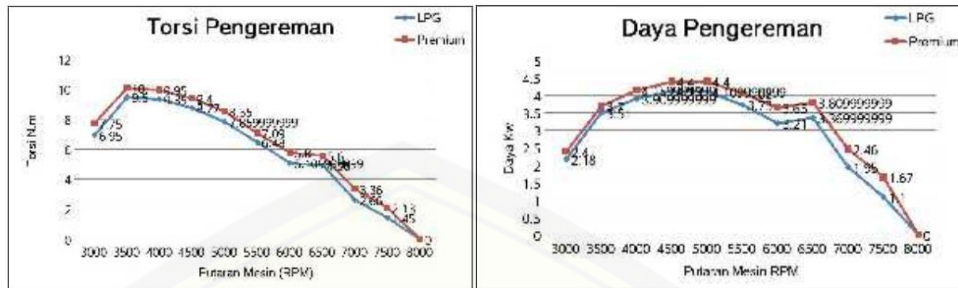


(c)

(a) *vaporizer* Tesla A-100, (b) *vaporizer* Hansung C-081, dan (c) *vaporizer* Stafanelli 150 HP

Gambar 2.3 Grafik Perbandingan Daya Mesin dengan Berbagai Macam Vaporizer

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 2.4, bahwa nilai torsi dan daya mesin LPG rata – rata 5% lebih rendah dari mesin berbahan bakar premium.

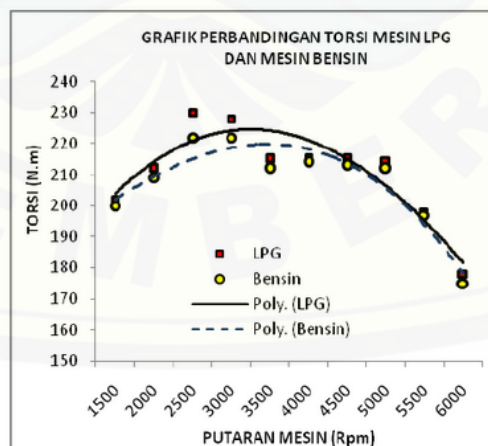


(a) (b)

(a) torsi dan (b) daya mesin, dengan menggunakan mesin injeksi.

Gambar 2.4 Grafik Perbandingan Bahan Bakar Premium dan LPG (Sumber: Arijiyanto dan Usman, 2015)

Setiyo (2016) melakukan penelitian tentang penggunaan gas sebagai bahan bakar pada mobil dengan menggunakan *vaporizer*, dalam penelitiannya peneliti membandingkan antara bahan bakar LPG dengan bahan bakar premium dalam putaran 1500 rpm sampai 6000 rpm dan juga mengoptimasi pemanfaatan LPG sebagai bahan bakar kendaraan melalui penyetelan *converter kits* dan saat pengapian, dalam penelitian (pada Gambar 2.5) dihasilkan torsi maksimum bahan bakar LPG sebesar 231,3 Nm pada bukaan katup aliran 40 %, penyetelan pegas lever pada 5,75 putaran dan saat pengapian 15 °BTDC, sedangkan dengan bahan bakar bensin sebesar 210 Nm.



Gambar 2.5 Grafik Perbandingan Torsi Mesin LPG dan Premium (Sumber : Setiyo, 2016)

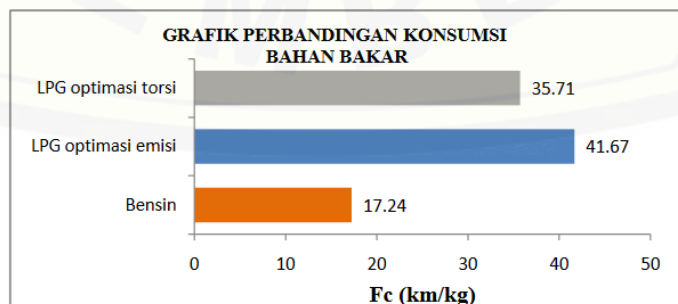
2.2.2 Konsumsi Bahan Bakar LPG

LPG sebagai bahan bakar kendaraan merupakan bahan bakar yang sangat efisien. Berdasarkan penelitiannya, Arijiyanto dan Usman (2015) membuktikan bahwa, penggunaan bahan bakar LPG pada mesin injeksi dapat menghemat penggunaan bahan bakar sampai dengan 50 % dibandingkan dengan bahan bakar premium. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 Grafik Perbandingan Konsumsi Bahan Bakar LPG dan Premium

Setiyo dan Condro (2012) melakukan pengujian untuk mengoptimasi pemanfaatan LPG sebagai bahan bakar kendaraan melalui penyetelan *converter kits* dan saat pengapian. Dapat dilihat pada Gambar 2.7, 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).

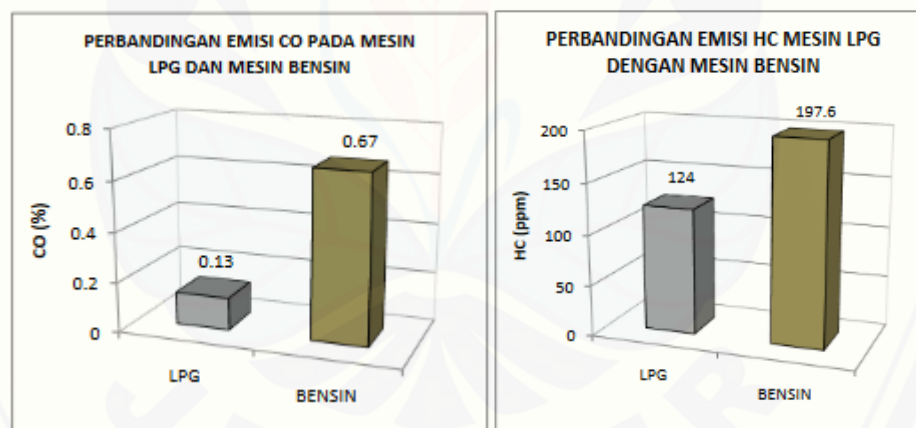


Gambar 2.7 Perbandingan Bahan Bakar Dalam km/kg (Sumber: Setiyo dan Condro, 2012)

2.2.3 Emisi Gas Buang

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) juga meneliti tentang kadar CO dan HC pada kendaraan berbahan bakar LPG dengan penyetulan *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 disekeliling 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 ditengah. Satu ujung dikaitkan dengan diafragma dan ujung yang lain ditahan oleh pegas lever (lihat Gambar 2.9).

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 penyetel 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 didalam *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.

Pada gambar 2.9 dapat dilihat *converter kit* yang sudah dipasang pada sepeda motor. Bagian yang ada pada *converter kit* tersebut adalah regulator, kran membrane, kran pembagi, selang, kran, dan karburator



Gambar 2.9 Konverter Kit Pada Sepeda Motor

2.4 Sistem Bahan Bakar

Sistem bahan bakar berfungsi untuk mencampurkan bahan bakar dan udara untuk selanjutnya campuran tersebut diteruskan ke ruang bakar. Cara pemasukan campuran udara dan bahan bakar tersebut ada 2 cara, yaitu dengan cara isap dan dengan system injeksi.

Komponen system bahan bakar motor bensin adalah sebagai berikut :

1. Tangki Bahan Bakar

Tangki bahan bakar (*fuel tank*) pada motor bensin dan motor diesel adalah sama. Umumnya tangki bahan bakar terbuat dari plat baja tipis, biasanya diletakkan dibagian bawah atau belakang kendaraan.

2. Saluran Bahan Bakar

Bahan bakar dialirkan dari tangki ke karburator melalui saluran bahan bakar (pipa dan selang). Pipa bahan bakar dibuat dari pelat seng (*zinc-plated*) dan tembaga (*copper lined steel*). Untuk bagian tertentu ada juga pipa bahan bakar yang terbuat dari selang karet.

3. Saringan Bahan Bakar

Elemen saringan menahan aliran bahan bakar dan menyaring air, pasir, kotoran dan benda asing lainnya yang lebih berat dibandingkan dengan bensin. Kotoran akan mengendap dibagian bawah saringan, sedangkan benda asing yang ringan akan menempel pada elemen. Saringan bahan bakar tidak dapat diperbaiki dan harus diganti dalam satu unit.

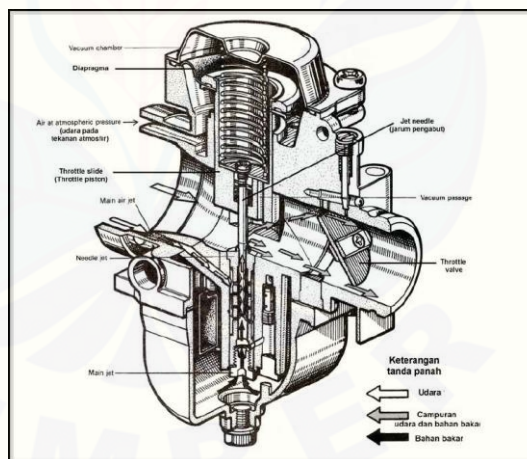
4. Karburator

Fungsi dari karburator adalah memberikan campuran udara dan bensin yang sesuai untuk dapat diubah menjadi energi yang dapat menggerakkan mekanisme mesin. Prinsip karburator yaitu menggunakan asas debit

aliran fluida, dimana aliran udara akan bertambah cepat bila melalui saluran udara yang menyempit sedangkan tekanannya menurun.

Ada 3 syarat yang harus dipenuhi untuk mesin bensin agar tenaga yang dihasilkan dapat tercapai dengan baik tekanan kompresi yang tinggi, waktu pengapian yang tepat, dan campuran udara dan bahan bakar yang sesuai.

Syarat ketiga inilah yang disediakan karburator. Bila torak bergerak ke bawah selama langkah hisap mesin, akan menyebabkan kevacuman di dalam ruang bakar. Dengan terjadinya *vacuum* udara masuk keruang bakar melalui karburator. Bertambah cepatnya aliran udara yang masuk melalui saluran yang sempit (*venturi*), tekanan pada venturi menjadi rendah sehingga bensin dalam ruang pelampung mengalir keluar melalui saluran utama ke ruang bakar. Bagian – bagian pada karburator dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Karburator

2.5 Turbulator

Turbulator adalah sebuah alat yang mengubah aliran suatu fluida dari aliran laminer menjadi aliran yang turbulen. *Turbulator* pada kendaraan yang ditempatkan

pada *intake manifold* kendaraan bermotor biasanya berbentuk baling – baling (lihat gambar 2.10). Pemasangan *turbulator* pada *intake manifold* diharapkan dapat mengubah sifat aliran fluida yang bersifat laminar berubah menjadi aliran turbulen, dan diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pada peralatan industri ataupun pada mesin-mesin pembakaran dalam.



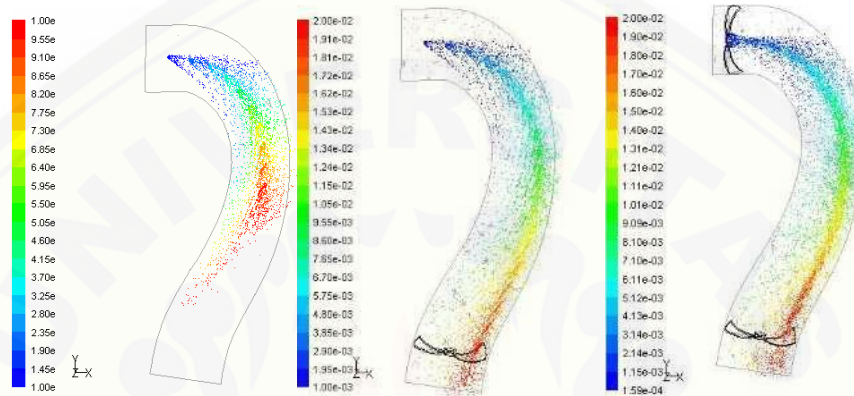
Gambar 2.11 *Turbulator* Yang Dipasang Pada *Intake manifold*

2.6 Aliran Campuran Udara dan Bahan Bakar

Secara teoritis, proses pembakaran akan terjadi sempurna apabila udara yang tersedia adalah cukup sehingga semua unsur karbon menjadi karbon dioksida dan semua unsur hidrogen menjadi air, tapi kenyataannya proses pembakaran berlangsung tidak sempurna yaitu timbul unsur C, H₂, CO, OH pada emisi gas buang yang menyebabkan polusi udara. Arismunandar, W. (1988) menunjukkan bahwa pada proses pembakaran yang terjadi dalam ruang bakar tergantung pada perbandingan udara dan bahan bakar, kepadatan campuran udara dan bahan bakar, jarak antara kedua elektroda dan temperatur campuran. Untuk mendapatkan kepadatan dari campuran dengan membuat aliran campuran bahan bakar dan udara yang turbulen sebelum masuk ruang bahan bakar.

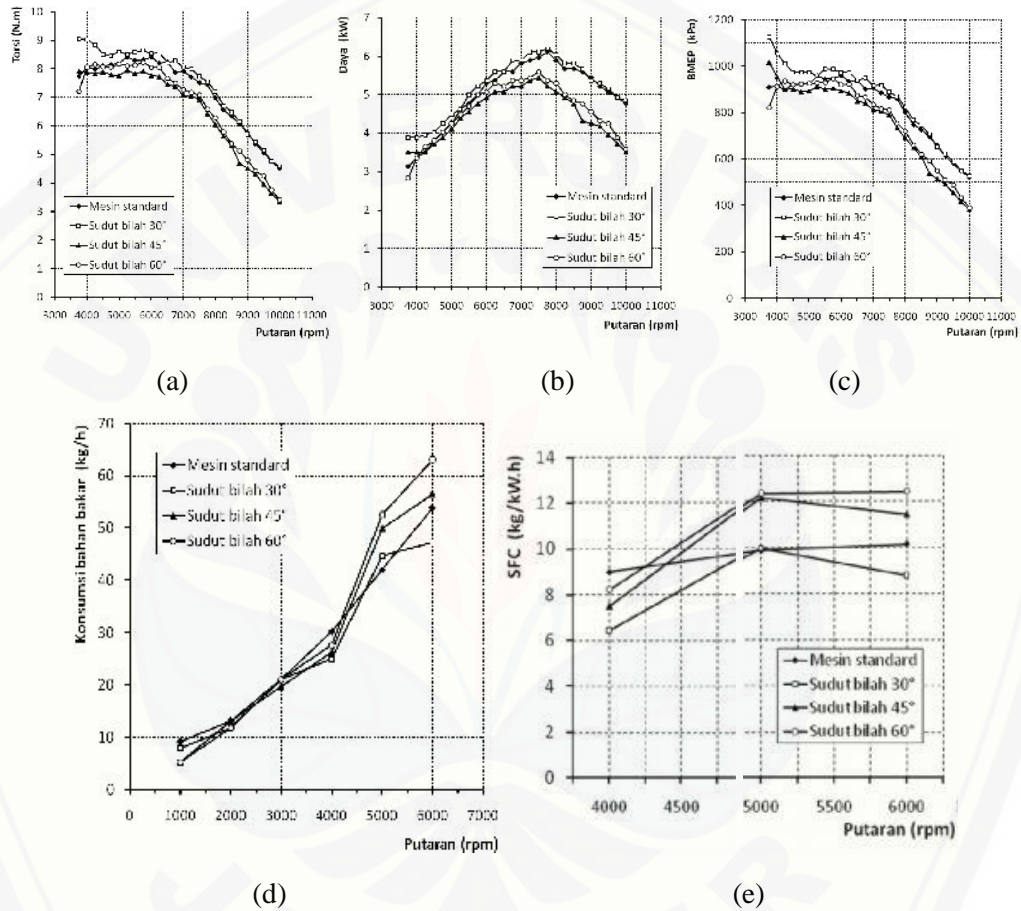
Gambar 2.12 menunjukkan bahwa pada aliran laminar partikel-partikel fluida bergerak sepanjang lintasan-lintasan yang halus serta lancar dalam lapisan-lapisan. Dalam aliran laminar, kerja viskositas meredam kecenderungan turbulen. Aliran laminar cenderung tidak stabil dan akan berubah menjadi aliran turbulen pada kondisi viskositas yang rendah, kecepatan tinggi, atau laluan aliran yang besar. Pada aliran

turbulen partikel-partikel fluida bergerak dalam lintasan-lintasan yang tidak teratur, dengan mengakibatkan pertukaran momentum dari satu bagian kebagian lainnya (Steer dan Wylie, 1985).



Gambar 2.12 Aliran Partikel Bahan Bakar Pada Saluran Masuk dengan Kondisi Laminer (kiri), Turbulen dengan satu *turbulator* (kanan), dan Turbulen dengan 2 *turbulator* (kanan) (Sumber: Wibowo dan Siswantoro, 2015)

Surono, dkk (2012), dalam penelitiannya penambahan *turbulator* pada *intake manifold* pada sudut 30° , 45° , dan 60° dengan bahan bakar premium cenderung meningkatkan performa mesin dibandingkan dengan kondisi standart. Dari data hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan, pemakaian *turbulator* dengan sudut bilah 30° memiliki pengaruh paling baik terhadap unjuk kerja mesin (lihat gambar 2.13). Hal ini ditunjukkan dari hasil pengujian torsi dan daya serta perhitungan BMEP yang mempunyai harga rata-rata paling tinggi. Selain itu ditunjukkan juga oleh konsumsi bahan bakar dan *specific fuel consumption* (SFC) yang lebih rendah dibanding dengan yang lain. Sementara, mesin yang menghasilkan torsi, daya dan BMEP terendah adalah mesin yang menggunakan *turbulator* dengan sudut bilah 45° . Selain itu, mesin yang konsumsi bahan bakar dan SFCnya paling tinggi adalah mesin yang menggunakan *tabulator* dengan sudut bilah 60° .

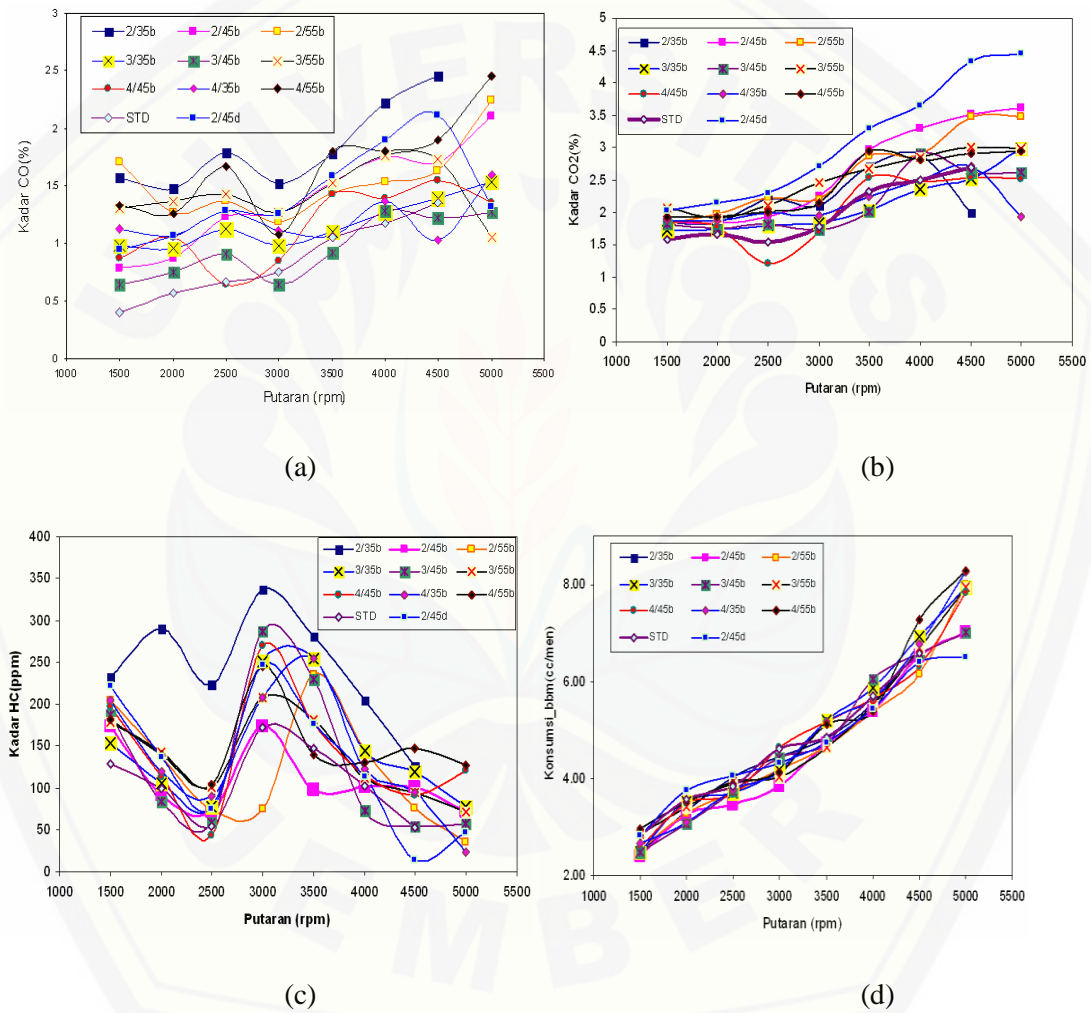


(a) Torsi, (b) Daya, (c) BMEP (*Break Mean Effective Pressure*) / Tekanan efektif Rata – rata, (d) Konsumsi Bahan Bakar, (e) SFC (*Spesific Fuel Consumption*)

Gambar 2.13 Grafik Perbandingan Performa Mesin Standart dan Penambahan *Turbulator* (Sumber: Surono, dkk, 2012)

Wibowo dan Siswanto (2015) melakukan penelitian tentang performa kendaraan bermotor 4 tak merk Supra X 125 dengan penambahan *turbulator* pada *intake manifold* menggunakan variasi jumlah bilah *turbulator* sebanyak 3, 4, dan 5

bilah (XX), sudut bilah *turbulator* sebesar 35° , 45° , dan 55° (YY), dan juga penempatan *turbulator* di depan (d) dan belakang (b) *intake manifold* (Z). Dan disebutkan bahwa karakteristik aliran pencampuran bahan bakar dengan udara pada jenis kendaraan Honda SupraX 125 sudah memiliki kualitas yang lebih baik dilihat dari nilai emisi gas buangnya (lihat gambar 2.14).



(a) Kadar CO, (b) Kadar CO₂, (c) Kadar HC, (d) Konsumsi Bahan Bakar

Gambar 2.14 Grafik Hasil Pengujian Performa Mesin Dengan Variasi Bilah *Turbulator*

Penambahan modifikasi pada *intake manifold* akan meningkatkan olakan aliran sehingga campuran bahan bakar udara lebih homogen. Jumlah sudu *turbulator* yang

lebih banyak dan sudut sudu yang lebih kecil menyebabkan kenaikan turbulensi, akan tetapi efek yang lain adalah semakin besarnya hambatan aliran dan kenaikan gradien tekanan yang menyebabkan kerugaian aliran campuran bahan bakar - udara, sehingga pembakaran menjadi tidak optimal. Dari hasil penelitian didapatkan penggunaan *turbulator* dengan 2 bilah sudu dengan sudut 45° yang ditempatkan dibagian belakang (2/45b) menghasilkan hasil emisi yang paling baik.

2.7 Hipotesa Penelitian

Berdasarkan penelitian sebelumnya, mesin berbahan bakar LPG menghasilkan daya yang lebih rendah dari mesin bensin. Penurunan daya yang terjadi sekitar 5% - 10%. Sistem bahan bakar harus dibuat lebih baik dari segi pencampuran bahan bakar dengan udara, dan juga aliran bahan bakar yang masuk ke ruang bakar. Pada aliran laminar partikel-partikel fluida bergerak secara teratur dan lancar. Aliran laminar cenderung tidak stabil dan akan berubah menjadi aliran turbulen pada kondisi viskositas yang rendah atau pada kecepatan tinggi. Pada aliran turbulen partikel-partikel fluida bergerak dalam lintasan-lintasan yang tidak teratur, dan mengakibatkan bertumbuhnya udara dan bahan bakar sehingga hal tersebut dapat membuat bahan bakar dan udara menjadi lebih tercampur. Dari pernyataan tersebut, penulis melakukan penelitian tentang analisis unjuk kerja motor bakar 4 tak berbahan bakar LPG dengan penambahan *turbulator* pada *intake manifold*. Sehingga penelitian tersebut diharapkan dapat meningkatkan performa mesin dan mengurangi emisi gas buang motor bakar berbahan bakar gas LPG.

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 turbulator 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 konverter kit. Tekanan udara pada *intake manifold* dan *exhaust* diukur dengan menggunakan 2 buah sensor yaitu Sensor MPX 5100 AP dan Sensor MPX 5100 DP. Pengujian konsumsi bahan bakar menggunakan 2 kali pengujian yaitu dengan dan tanpa beban.

3.2 Waktu dan Tempat

Penelitian yang dilakukan penulis mengenai “Analisa Unjuk Kerja Motor Bakar 4 Tak Berbahan Bakar LPG dengan Penambahan Turbulator Pada Intake Manifold” dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember Jl. Slamet Riyadi No. 62 Patrang - Jember. Waktu penelitian berlangsung selama 7 bulan yaitu dimulai dari bulan April 2017 sampai dengan bulan November 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 : Karbulator (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 Sportdino
 - Type : Pro-Fix Dyno (Kalibrasi ISO 1585)
- 3. *Gas Analyzer*
- 4. Sensor MPX 5100 Differential Pressure
- 5. Sensor MPX 5100 Absolut Pressure
- 6. Tabung LPG ukuran 12 kg Produksi PT Pertamina Indonesia dengan berat tabung 15,1 kg
- 7. Tabung LPG ukuran 3 kg Produksi PT Pertamina Indonesia dengan berat tabung 5,01 kg
- 8. Adaptor Gas
- 9. Selang Gas Elpiji
- 10. Kran pembagi
- 11. Kran Membran
- 12. Timbangan Digital
- 13. *Stopwatch*
- 14. *Tool Set*
- 15. *Blower*
- 16. *Converter Kit*
- 17. Seperangkat Komputer

3.3.2 Bahan Penelitian

1. Gas LPG (*Liquified Petroleum Gas*) produksi PT Pertamina Indonesia ukuran 12 kg sebagai bahan bakar dengan nilai propana dan butana 50 : 50.
2. 3 Buah bilah Turbulator sebagai pencampur bahan bakar dengan sudut 30°, 45°, dan 60°.

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 sudut kemiringan bilah turbulator dengan sudut 30° , 45° , dan 60° .

Visualisasi dari turbulator dapat dilihat pada gambar 3.1 dengan sudut bilah 30° (kiri), 45° (tengah), dan 60° (kanan).



Gambar 3.1 Bilah Turbulator

b. Putaran Mesin

Metode yang digunakan 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:

- Konsumsi Bahan Bakar (kg/h)
- Torsi (N.m)
- Emisi Gas Buang (CO, HC dan CO₂)

3.5 Rancangan Penelitian

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

Faktor I : Sudut Bilah Turbulator (X)

- $X_1 = 30^\circ$
- $X_2 = 45^\circ$
- $X_3 = 60^\circ$

Faktor II : Puratan Mesin (N)

- $N_1 = 3000$ rpm
- $N_2 = 4000$ rpm
- $N_3 = 5000$ rpm
- $N_4 = 6000$ rpm
- $N_5 = 7000$ 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

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. Memasang *watt hours meter* untuk mengukur voltase masukan pada kumparan primer koil
- 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. Pемindahan gas LPG dari tabung 12 kg ke dalam tabung LPG 3 kg dengan menggunakan adaptor gas
- e. Melakukan pengecekan motor yang akan diuji sesuai dengan standart pengujian
- f. 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 *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. Memasang sudut bilah turbulator pada intake manifold sesuai dengan sudut yang diinginkan

3. Menjalankan *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 pegulangan pengujian pada variabel yang sama.
 9. Mengubah variabel sudut bilah turbulator dan mengulangi langkah 1-8 pada setiap percobaan.
- b. Pengujian konsumsi bahan bakar tanpa beban
1. Merangkai dan mengecek kembali semua alat pengujian, meliputi alat ukur voltase input, alat uji tekanan (sensor MPX 5100 AP dan MPX 5100 DP) dan *converter kit*
 2. Memasang turbulator pada intake manifold sesuai dengan sudut 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 pegulangan pengujian dengan variabel yang sama
 11. Mengulangi langkah 1-10, dengan mengubah variabel sudut bilah turbulator 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. Memasang bilah turbulator pada intake manifold sesuai dengan sudut yang diinginkan
 3. Pemasangan alat *gas analyzer* dan penyambungan perangkat *auto gas analyzer* ke computer
 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 pegulangan pengujian pada setiap variabel yang sama
 9. Mengulangi langkah pengujian 1-8 dengan mengubah variabel sudut bilah turbulator dan putaran mesin (N rpm).

Tabel 3.1 Pengambilan data Pengujian *Dyno Test*

No	Sudut		Percobaan	Waktu	Torsi	Daya Max.	P _{in}	P _{out}
	Bilah	RPM						
1.	X1	3000	Pertama					
	X1	s/d	Kedua					
	X1	7000	Ketiga					
2.	X2	3000	Pertama					
	X2	s/d	Kedua					
	X2	7000	Ketiga					

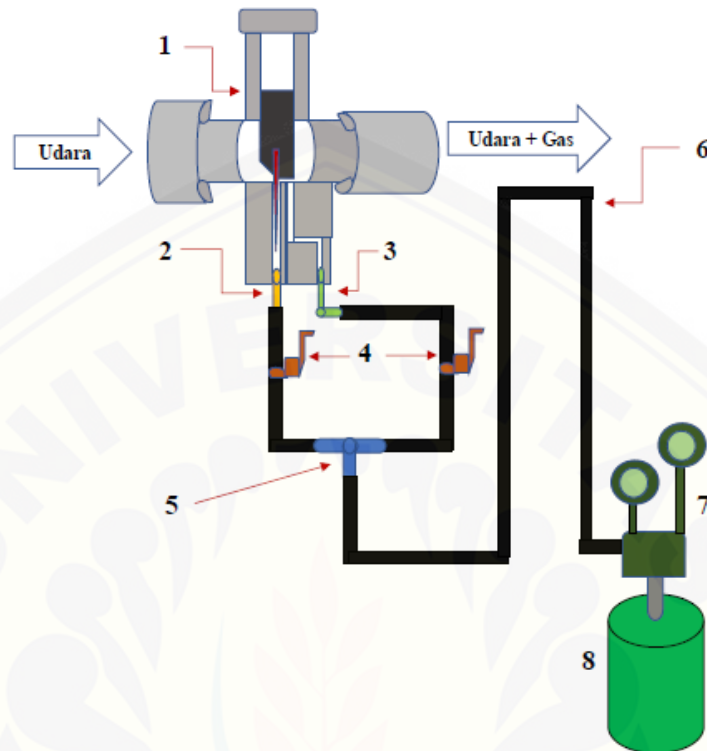
Tabel 3.2 Pengambilan data Pengujian Konsumsi Bahan Bakar

No	Sudut		Percobaan	Massa (gram)	Waktu (s)	P _{in}	P _{out}
	Bilah	RPM					
1.	X ₁	N ₁	Pertama				
	X ₁	N ₁	Kedua				
	X ₁	N ₁	Ketiga				
2.	X ₂	N ₂	Pertama				
	X ₂	N ₂	Kedua				
	X ₂	N ₂	Ketiga				

Tabel 3.3 Pengambilan Data Emisi Gas Buang

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

Skema instalasi konverter kit dan bagiannya dapat dilihat pada gambar 3.2 sebagai berikut :



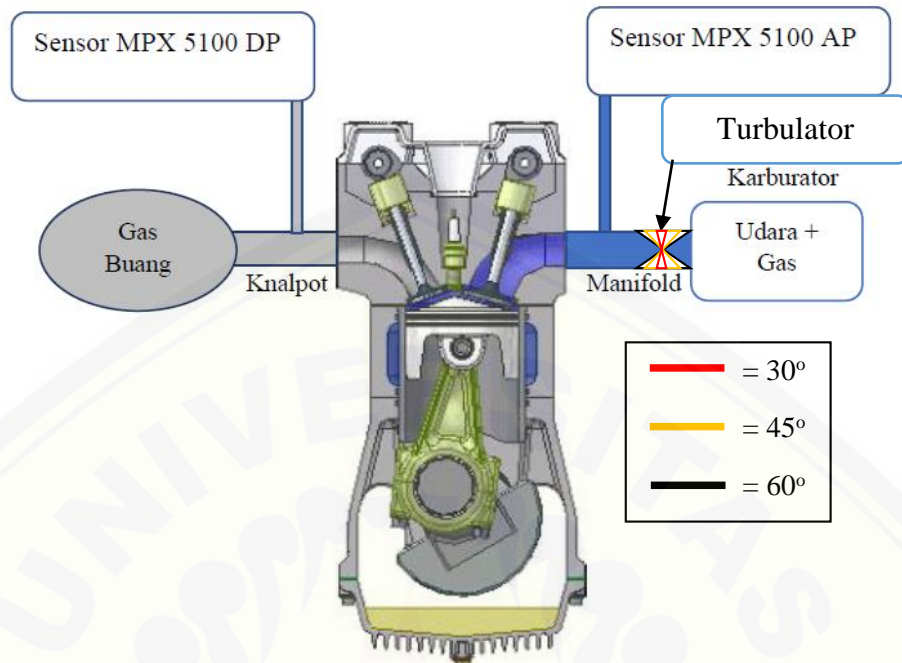
Gambar 3.2 Skema Instalasi *Converter Kits*

(Sumber : Wasik, 2017)

Keterangan :

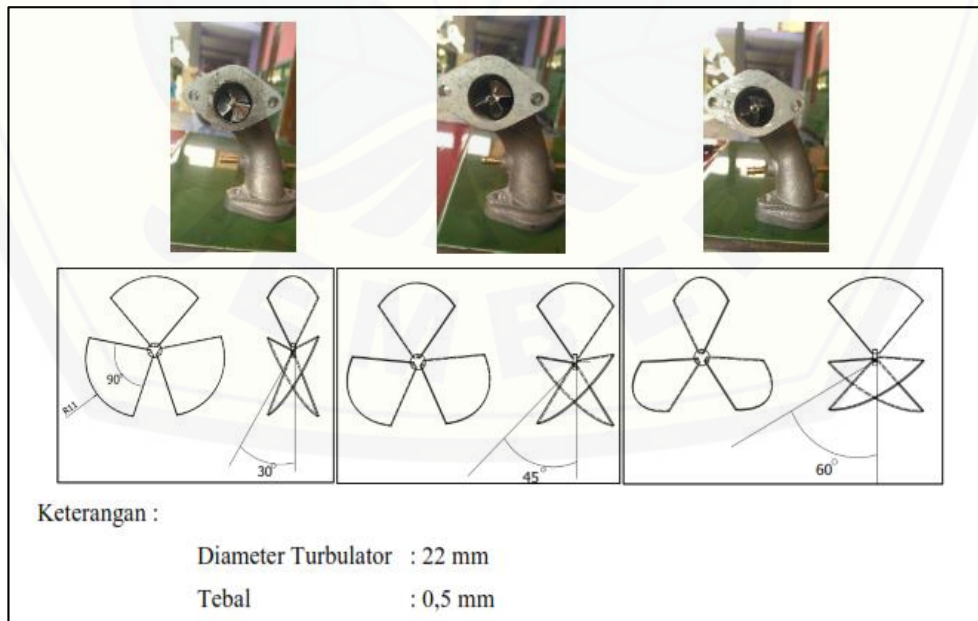
1. Karburator / *mixer*
2. Saluran gas utama
3. Saluran gas idle
4. Kran membran
5. Kran pembagi
6. Selang gas LPG
7. Regulator tekanan tinggi
8. Tabung gas

Instalasi turbulator dapat dilihat pada gambar 3.3 sebagai berikut.



Gambar 3.3 Skema Instalasi Turbulator dan Sensor Tekanan Pada *Intake* dan *Exhaust*

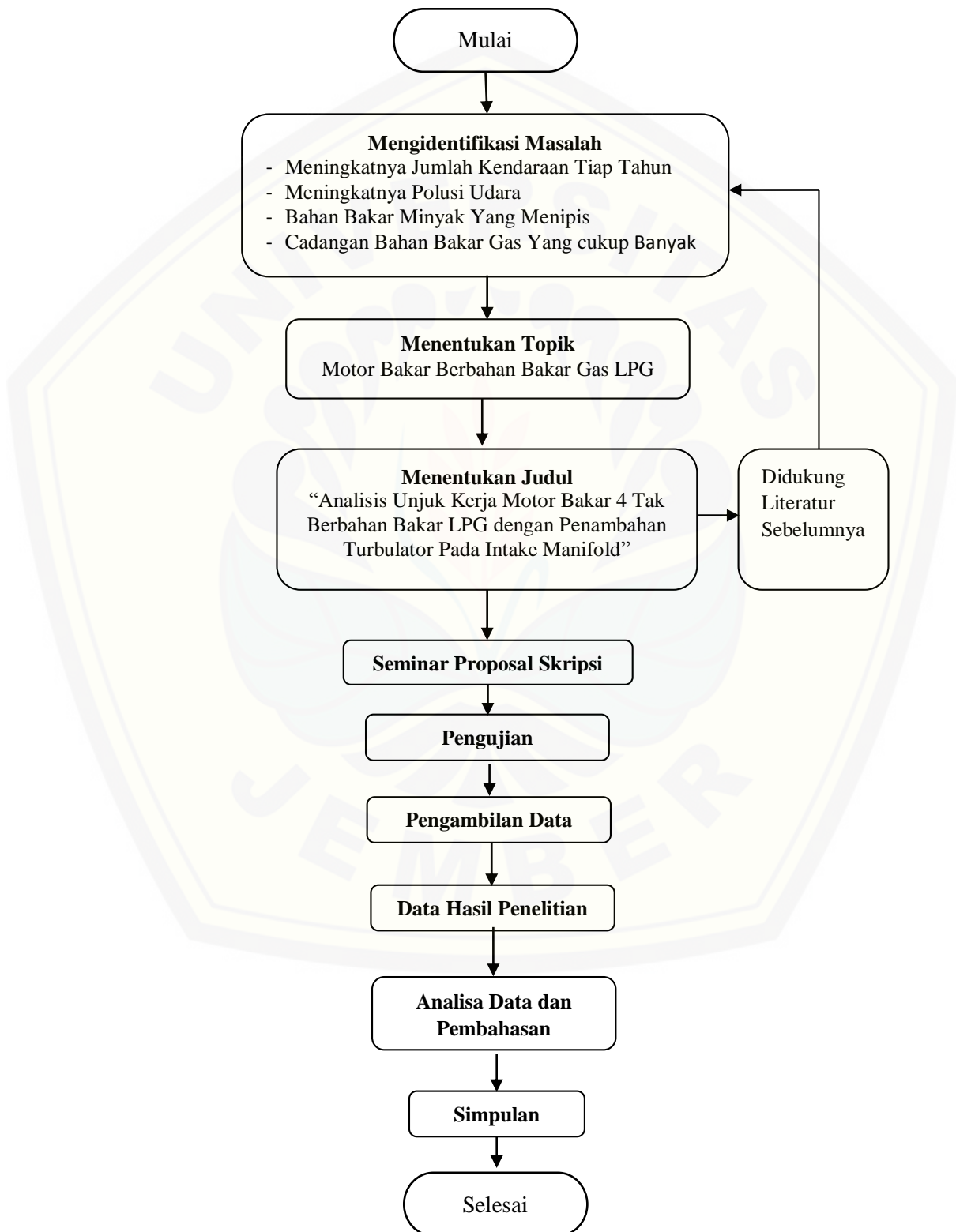
Foto dan dimensi turbulator yang digunakan pada saat penelitian dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.3 Dimensi Turbulator

3.7 Skema Flow Cart Penelitian

Alur yang dilakukan selama penelitian dijabarkan pada flow chart sebagai berikut :



BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa dan data – data yang diperoleh dari hasil pengujian maka hasil dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Torsi maksimum bahan bakar LPG diperoleh pada penggunaan turbulator dengan sudut bilah 30° sebesar 6,64 Nm pada 3220 rpm, sedangkan daya maksimum diperoleh pada penggunaan turbulator dengan sudut bilah 45° sebesar 5,73 KW pada 9122 rpm.
2. Kadar HC optimum (45 ppm) diputaran mesin 7000 rpm pada penggunaan turbulator dengan sudut bilah 30° , kadar CO optimum (0,02 %) diputaran mesin 6000 rpm tanpa menggunakan turbulator, dan kadar CO_2 optimum (3,43 %) diputaran mesin 7000 rpm pada penggunaan turbulator dengan sudut bilah 30° .
3. Penggunaan turbulator dengan sudut bilah 30° mampu menghemat bahan bakar hingga 53,2 % dibandingkan bahan bakar premium.

5.2 Saran

Saran yang dapat diambil dari penelitian kali ini adalah :

1. Perlu adanya penyempurnaan instalasi *converter kit* bahan bakar gas sehingga tidak terjadi kebocoran dan pengaturan gas menjadi lebih stabil saat akselerasi maupun deselerasi.
2. Terjadinya penurunan tekanan dalam tabung gas saat berkurangnya jumlah bahan bakar yang terkandung didalamnya sehingga perlu adanya penelitian lanjutan tentang pengaruh penurunan tekanan maupun aliran gas terhadap kinerja mesin.
3. Perlu adanya penelitian lanjutan tentang media pendingin dikarenakan pembakaran LPG yang merupakan pembakaran kering yang menyebabkan

temperatur yang terlalu cepat naik pada mesin sehingga berpengaruh terhadap kinerja mesin.

4. Dibutuhkan penelitian lanjutan untuk meningkatkan torsi dan daya mesin dengan menambahkan beberapa perlakuan variasi seperti memvariasikan celah katup bahan bakar, bentuk piston, dan lain – lain.



DAFTAR PUSTAKA

- 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.
- Anyon, P. 2003. *LPG - The Clean Transport Alternative: Presenting the Environmental Case, Australian Liquefied Petroleum Gas Association Limited*: ISBN: 0 9750843 2 1, Sydney.
- 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:10.
- Arismunandar, W. 1998. *Penggerak Mula Motor Bakar*. ITB Press. Bandung.
- 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.
- Brevitt, B. 2002. *Alternative Vehicle Fuel*, Science Environment Section, House of Commons Library, Research Paper 02/11.
- Cevis, M.A. dan Yuksel, F. 2005. Cyclic variation on LPG and gasoline-fuelled lean burn SI engine. *Renewable Energi 31* (2006). 31(12): 1950-1960.
- Erkus, B. Surmen, A. Karamangil, M.I. 2013. A Comparative Study of Carburation and Injection Fuel Supply Methods in an LPG – Fuelled SI Engine. 107: 511 – 517.
- Husni, M., 2015, Karakteristik Kurva Daya Mesin EFI 1,5 L Berbahan Bakar LPG Pada Berbagai Jenis Vaporizer, Malang: Widya Swara Madya PPPPTK BOE Malang.
- Setiyo, M. 2016. Pemanfaatan LPG Kemasan 12 KG Sebagai Bahan Bakar Kendaraan dan Optimasinya. *Conference Paper*. Magelang: Universitas Muhammadiyah Magelang.

- Setiyo, M. dan Condro, B. 2012. Optimasi Pemanfaatan LPG Sebagai Bahan Bakar Kendaraan Melalui Penyetelan Converter Kits dan Saat Pengapian. Prosiding Seminar Nasional “Efisiensi Energi Untuk Peningkatan Daya Saing Industri Manufaktur & Otomotif Nasional” (SNEEMO) 2012. *Research Gate*.
- Setyo, M. 2014. Sistem Bahan Bakar Bensin dan Komponennya. www.guruotomotif.com [diakses pada 14 – 01 – 2017].
- Steer, V.L. dan Wylie, E.B. 1985. Fluid Mechanics. 8th Edition. Mc Graw Hill Inc. New York.
- Sulaiman, M.Y. 2013. Performance of Single Cylinder Spark Ignition Engine Fuelled by LPG. *Procedia Engineering*. 53: 579 – 585.
- Surono, U.B., dkk. 2012. Pengaruh Penambahan *Turbulator* Pada *Intake Manifold* Terhadap Unjuk Kerja Mesin Bensin 4 Tak. 2(1): 1 – 7.
- Wibowo, S.B. dan Siswantoro, S. 2015. Analisis Unjuk Kerja Mesin Sepeda Motor 4 Tak Dengan Penambahan *Turbulator* Pada *Intake Manifold*. 10(2): 39 – 48.

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

Sudut Bilah Turbulator (°)	Percobaan	Emisi Gas Buang			P _{in} (KPa)	P _{out} (KPa)
		CO (%)	CO ₂ (%)	HC (ppm)		
Tanpa Turbulator	I	2,19	1,4	1527	56,56	25,31
	II	2,17	1,4	1498	53,82	28,71
	III	2,31	1,5	1674	55,89	28,72
	Rata – Rata	2,223	1,43	1566	55,42	27,58
30	I	1,83	2,3	261	52,40	20,36
	II	1,85	2,7	243	58,51	24,32
	III	1,75	2,1	262	55,89	23,66
	Rata – Rata	1,81	2,37	255	55,60	22,78
45	I	2,01	1,4	1286	54,04	26,96
	II	1,93	1,3	1464	53,49	28,39
	III	1,92	1,3	1641	54,58	30,91
	Rata - Rata	1,95	1,33	1464	54,04	29,52
60	I	0,89	2,1	71	54,37	26,29
	II	0,91	2,3	72	54,15	30,36
	III	0,96	2,3	76	53,06	24,54
	Rata - Rata	0,92	2,23	73	53,86	27,06

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

Sudut Bilah Turbulator (°)	Percobaan	Emisi Gas Buang			P _{in} (KPa)	P _{out} (KPa)
		CO (%)	CO ₂ (%)	HC (ppm)		
Tanpa Turbulator	I	1,69	1,5	279	56,54	28,72
	II	1,71	1,6	284	53,82	23,99
	III	1,78	1,7	291	54,91	26,96
	Rata – Rata	1,726	1,6	285	55,09	26,56
30	I	1,85	2,7	126	54,76	24,62
	II	1,88	2,7	123	57,20	23,33
	III	1,89	2,7	142	54,47	24,02
	Rata – Rata	1,87	2,7	130	55,47	23,99
45	I	1,76	2,1	128	56,77	23,79
	II	1,78	2,0	129	54,34	24,31
	III	1,79	2,0	132	54,95	27,52
	Rata - Rata	1,78	2,03	130	55,35	25,20
60	I	1,53	2,8	97	55,73	22,01
	II	1,66	3,3	107	57,31	25,76
	III	1,97	3,5	120	54,94	26,40
	Rata - Rata	1,72	3,2	108	55,99	24,72

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

Sudut Bilah Turbulator (°)	Percobaan	Emisi Gas Buang			P _{in} (KPa)	P _{out} (KPa)
		CO (%)	CO ₂ (%)	HC (ppm)		
Tanpa Turbulator	I	1,88	2,4	152	56,22	26,52
	II	1,95	2,5	160	55,24	30,91
	III	1,94	2,6	163	55,13	30,58
	Rata – Rata	1,923	2,5	158	55,53	29,33
30	I	2,83	2	327	54,88	28,56
	II	2,84	2	343	55,81	29,90
	III	2,83	2	336	57,42	28,57
	Rata – Rata	2,83	2	335	56,03	29,01
45	I	1,58	2,5	75	53,02	29,05
	II	1,60	2,6	80	57,72	29,69
	III	1,64	2,7	79	54,46	30,25
	Rata - Rata	1,61	2,6	78	55,06	29,75
60	I	2,68	1,9	249	55,61	30,02
	II	2,71	1,8	251	55,32	28,93
	III	2,73	2	312	55,96	28,91
	Rata - Rata	2,71	1,9	271	55,63	29,28

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

Sudut Bilah Turbulator (°)	Percobaan	Emisi Gas Buang			P _{in} (KPa)	P _{out} (KPa)
		CO (%)	CO ₂ (%)	HC (ppm)		
Tanpa Turbulator	I	0,02	3,3	63	54,37	32,89
	II	0,01	3,3	54	55,46	28,39
	III	0,02	3,3	80	53,71	34,98
	Rata – Rata	0,017	3,3	66	54,49	32,09
30	I	1,79	2,3	89	53,38	31,03
	II	2,07	2,4	103	54,03	28,65
	III	1,99	2,5	92	54,68	29,52
	Rata – Rata	1,95	2,4	95	54,09	29,73
45	I	2,01	2,1	94	51,63	32,89
	II	2,20	2,4	109	55,46	32,32
	III	2,24	2,5	112	53,74	28,93
	Rata - Rata	2,15	2,33	105	53,61	31,38
60	I	2,47	2,4	118	53,93	28,73
	II	2,55	2,5	129	52,71	30,46
	III	2,64	2,6	135	56,32	29,57
	Rata - Rata	2,55	2,5	127	54,32	29,58

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

Sudut Bilah Turbulator (°)	Percobaan	Emisi Gas Buang			P _{in} (KPa)	P _{out} (KPa)
		CO (%)	CO ₂ (%)	HC (ppm)		
Tanpa Turbulator	I	0,23	3,6	1300	50,55	32,87
	II	0,23	3,4	1256	51,86	30,92
	III	0,23	3,1	1171	52,19	32,89
	Rata – Rata	0,23	3,37	1242	51,53	32,22
30	I	0,82	3,5	41	51,21	32,87
	II	0,86	3,5	43	51,86	32,15
	III	1,15	3,5	51	52,51	30,91
	Rata – Rata	0,94	3,5	45	51,86	31,97
45	I	1,45	2,6	63	52,38	30,53
	II	1,56	2,7	71	53,02	28,97
	III	1,47	2,7	69	52,92	29,58
	Rata - Rata	1,49	2,67	68	52,77	29,69
60	I	1,45	2,6	63	51,24	30,84
	II	1,56	2,7	71	52,93	32,03
	III	1,47	2,7	69	54,62	31,53
	Rata - Rata	1,49	2,67	68	52,93	31,46

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

Sudut Bilah Turbulator (°)	Putaran Mesin	Percobaan	Emisi Gas Buang			P _{in} (KPa)	P _{out} (KPa)
			CO (%)	CO ₂ (%)	HC (ppm)		
Tanpa Turbulator	3000	I	2,92	2,5	369	52,40	20,36
		II	2,94	2,5	372	58,51	24,32
		III	2,94	2,5	379	55,89	23,66
		Rata – Rata	2,933	2,5	373	55,60	22,78
Tanpa Turbulator	4000	I	3,26	2,9	293	58,23	24,32
		II	3,23	2,8	297	54,37	24,54
		III	3,13	2,7	299	54,47	24,98
		Rata – Rata	3,206	2,8	296	55,69	24,61
Tanpa Turbulator	5000	I	2,98	3,3	156	54,15	26,63
		II	3,00	3,4	158	54,25	26,08
		III	3,02	3,5	160	53,49	28,71
		Rata - Rata	3,00	3,4	156	53,96	27,14
Tanpa Turbulator	6000	I	3,06	1,8	135	51,64	28,94
		II	3,20	2,3	142	52,84	25,42
		III	2,81	1,8	125	53,93	26,52
		Rata - Rata	2,757	1,97	134	52,80	26,96
Tanpa Turbulator	7000	I	0,62	5,0	30	54,04	29,26
		II	0,69	4,6	33	53,49	28,39
		III	0,64	4,8	31	54,58	20,91
		Rata - Rata	0,65	4,8	31	54,04	29,52

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.

Sudut Bilah Turbulator (°)	Percobaan	Waktu (detik)	P_{in} (KPa)	P_{out} (KPa)
Tanpa Turbulator	I	460	56,56	25,31
	II	500	53,82	28,71
	III	480	55,89	28,72
	Rata – Rata	480	55,42	27,58
30	I	542	52,40	20,36
	II	520	58,51	24,32
	III	502	55,89	23,66
	Rata – Rata	521	55,60	22,78
45	I	479	54,04	26,96
	II	456	53,49	28,39
	III	440	54,58	30,91
	Rata – Rata		54,04	29,52
60	I	412	54,37	26,29
	II	403	54,15	30,36
	III	424	53,06	24,54
	Rata - Rata	413	53,86	27,06

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

Sudut Bilah Turbulator (°)	Percobaan	Waktu (detik)	P_{in} (KPa)	P_{out} (KPa)
Tanpa Turbulator	I	397	56,54	28,72
	II	385	53,82	23,99
	III	391	54,91	26,96
	Rata – Rata	391	55,09	26,56
30	I	522	54,76	24,62
	II	500	57,20	23,33
	III	513	54,47	24,02
	Rata – Rata	511	55,47	23,99
45	I	421	56,77	23,79
	II	413	54,34	24,31
	III	439	54,95	27,52
	Rata – Rata	424	55,35	25,20
60	I	348	55,73	22,01
	II	355	57,31	25,76
	III	351	54,94	26,40
	Rata - Rata	351	55,99	24,72

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

Sudut Bilah Turbulator (°)	Percobaan	Waktu (detik)	P_{in} (KPa)	P_{out} (KPa)
Tanpa Turbulator	I	294	56,22	26,15
	II	291	55,24	30,91
	III	306	55,13	30,58
	Rata – Rata	297	55,53	29,33
30	I	288	54,88	28,56
	II	270	55,81	29,90
	III	294	57,42	28,57
	Rata – Rata	284	56,03	29,01
45	I	300	53,02	29,05
	II	281	57,72	29,69
	III	301	54,46	30,25
	Rata – Rata	294	55,06	29,75
60	I	236	55,61	30,02
	II	221	55,32	28,93
	III	247	55,96	28,91
	Rata - Rata	234	55,63	29,28

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

Sudut Bilah Turbulator (°)	Percobaan	Waktu (detik)	P_{in} (KPa)	P_{out} (KPa)
Tanpa Turbulator	I	232	54,37	32,89
	II	253	55,46	28,39
	III	234	53,71	34,98
	Rata – Rata	240	54,49	32,09
30	I	265	53,38	31,03
	II	234	54,03	28,65
	III	220	54,68	29,52
	Rata – Rata	239	54,09	29,73
45	I	186	51,63	32,89
	II	180	55,46	32,32
	III	199	53,74	28,93
	Rata – Rata	188	53,61	31,38
60	I	219	53,93	28,73
	II	203	52,71	30,46
	III	193	56,32	29,57
	Rata - Rata	205	54,32	29,58

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

Sudut Bilah Turbulator (°)	Percobaan	Waktu (detik)	P_{in} (KPa)	P_{out} (KPa)
Tanpa Turbulator	I	211	50,55	32,87
	II	209	51,86	30,92
	III	218	52,19	32,89
	Rata – Rata	213	51,53	32,22
30	I	217	51,21	32,87
	II	203	51,86	32,15
	III	193	52,51	30,91
	Rata – Rata	204	51,86	31,97
45	I	160	52,38	30,53
	II	158	53,02	28,97
	III	150	52,92	29,58
	Rata – Rata	156	52,77	29,69
60	I	195	51,24	30,84
	II	188	52,93	32,03
	III	199	54,62	31,53
	Rata - Rata	194	52,93	31,46

Lampiran B.6 Tabel hasil rata-rata pengujian konsumsi bahan bakar Premium dengan massa 20 gram pada celah elektroda busi 0,7 mm.

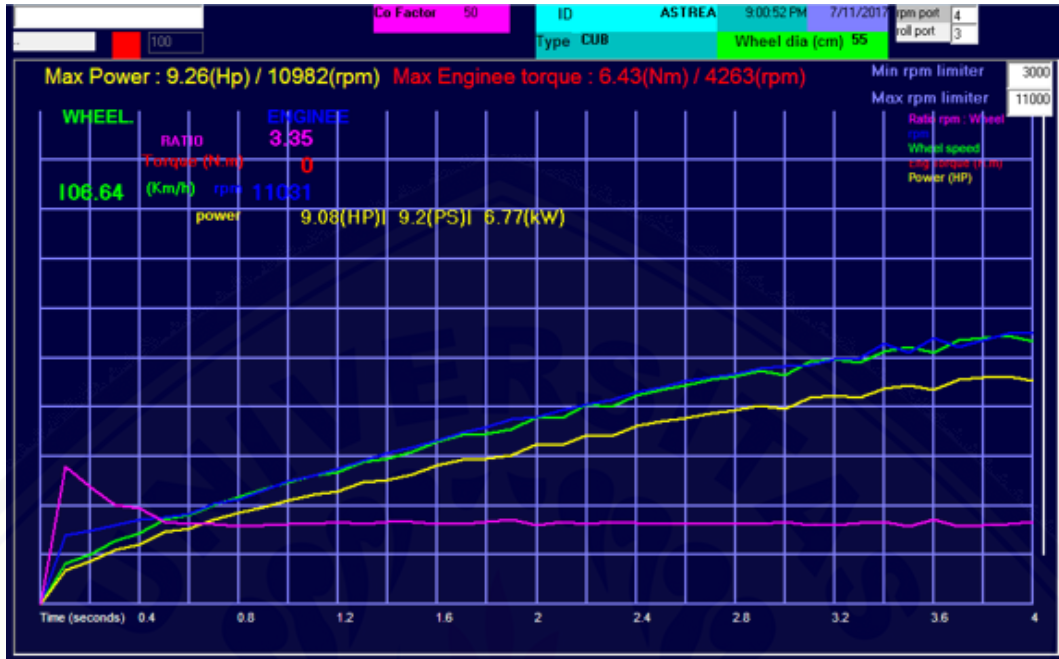
Putaran Mesin (rpm)	Percobaan	Waktu (detik)	P_{in} (KPa)	P_{out} (KPa)
3000	I	233	52,40	20,36
	II	240	58,51	24,32
	III	238	55,89	23,66
	Rata – Rata	237	55,60	22,78
4000	I	172	58,23	24,32
	II	158	54,37	24,54
	III	176	54,47	24,98
	Rata – Rata	169	55,69	24,61
5000	I	146	54,15	26,63
	II	141	54,25	26,08
	III	155	53,49	28,71
	Rata – Rata	147	53,96	27,71
6000	I	119	51,64	28,94
	II	123	52,84	25,42
	III	116	53,93	26,52
	Rata - Rata	119	52,80	26,96
7000	I	99	54,04	29,26
	II	101	53,49	28,39
	III	103	54,58	30,91
	Rata - Rata	101	54,04	29,52

Lampiran C. Data Pengujian Torsi dan Daya Maksimum

Lampiran C.1 Tabel hasil pengujian torsi dan daya maksimum

Sudut Bilah Turbulator (°) / Bahan Bakar	Percobaan	Torsi Maksimum (Nm) / rpm	Daya Maksimum (KW) / rpm
Tanpa Turbulator / 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 Turbulator / 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
30 / LPG	I	6,77 / 3000	5,72 / 9010
	II	6,31 / 3601	5,73 / 9044
	III	6,84 / 3059	5,53 / 9144
	Rata – Rata	6,64 / 3220	5,66 / 9066
45 / LPG	I	6,55 / 3666	5,82 / 9213
	II	6,73 / 3565	5,65 / 9144
	III	6,55 / 3407	5,71 / 9010
	Rata – Rata	6,61 / 3546	5,73 / 9122
60 / LPG	I	6,25 / 3284	5,64 / 9044
	II	6,48 / 3271	5,54 / 9077
	III	6,36 / 3727	5,70 / 9077
	Rata - Rata	6,36 / 3427	5,63 / 9066

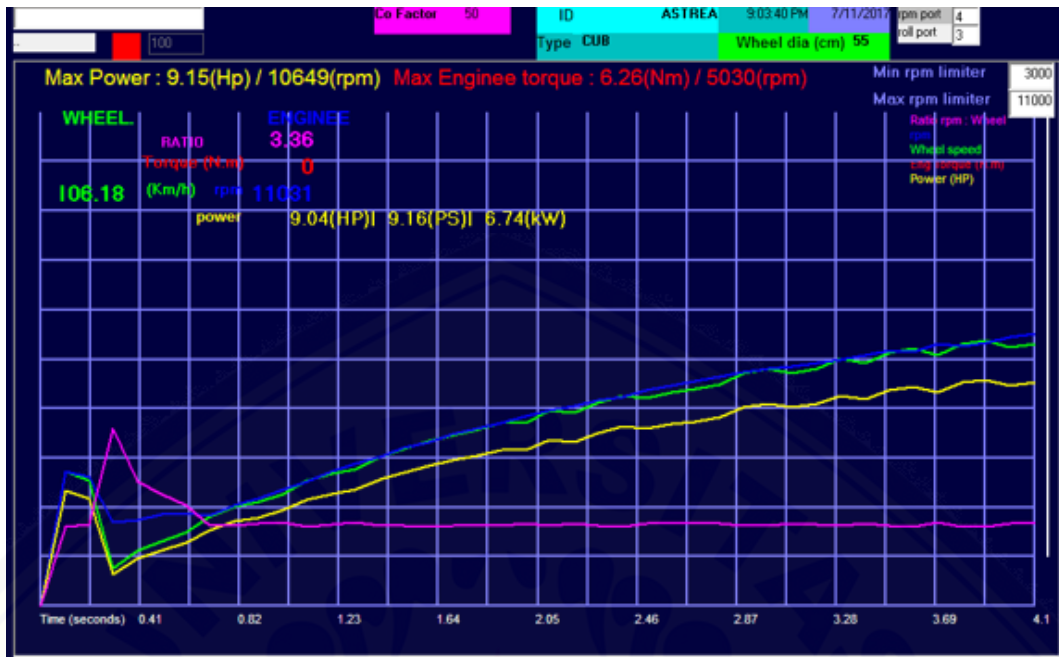
Lampiran C.2 Gambar data hasil pengujian dynotest



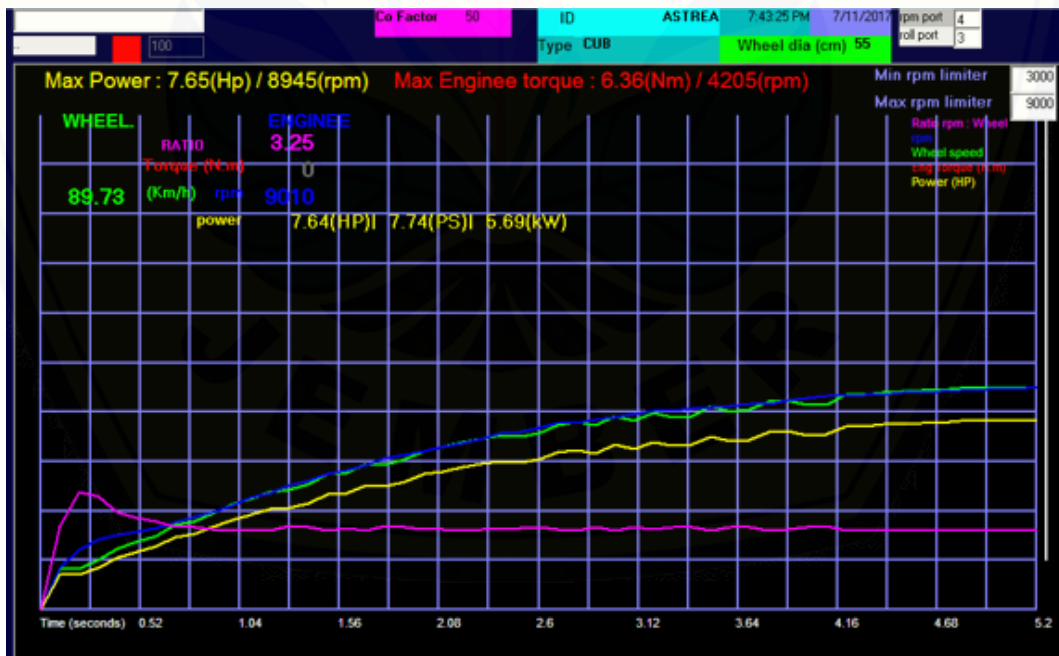
Lampiran C.2.1 Grafik percobaan 1 tanpa turbulator dengan bahan bakar Premium



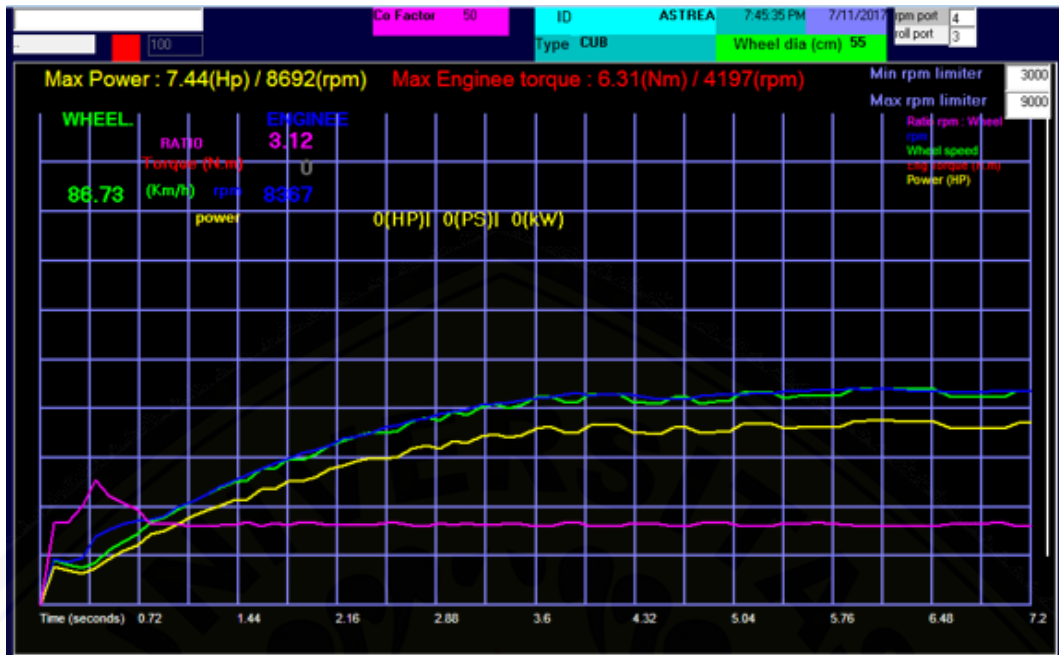
Lampiran C.2.2 Grafik percobaan 2 tanpa turbulator dengan bahan bakar Premium



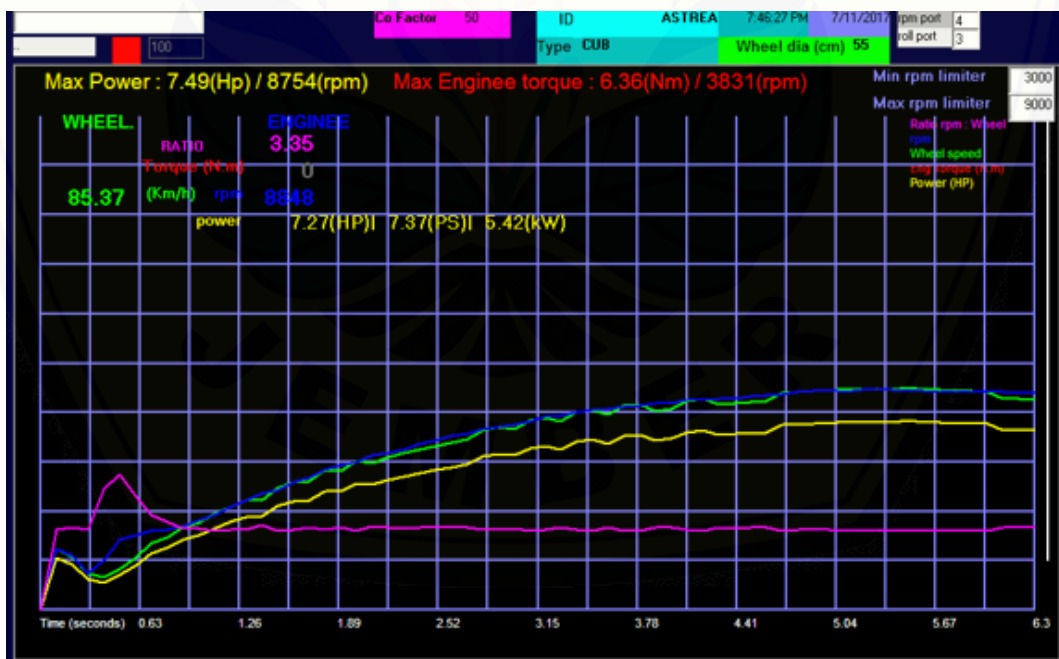
Lampiran C.2.3 Grafik percobaan 3 tanpa turbulator dengan bahan bakar Premium



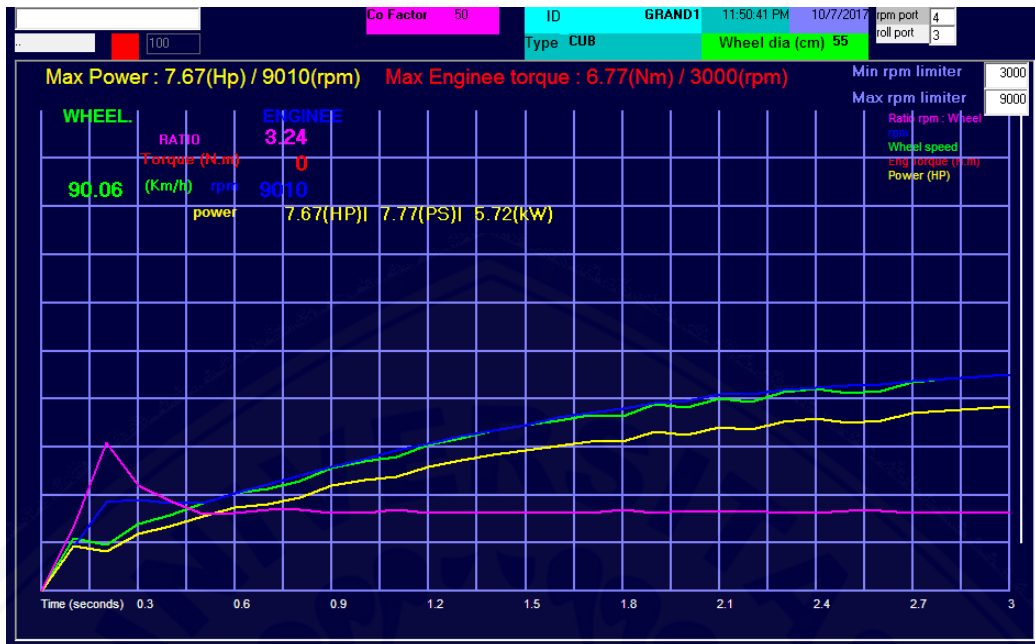
Lampiran C.2.4 Grafik percobaan 1 tanpa turbulator dengan bahan bakar LPG



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



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



Lampiran C.2.7 Grafik percobaan 1 dengan sudut bilah turbulator 30° bahan bakar LPG



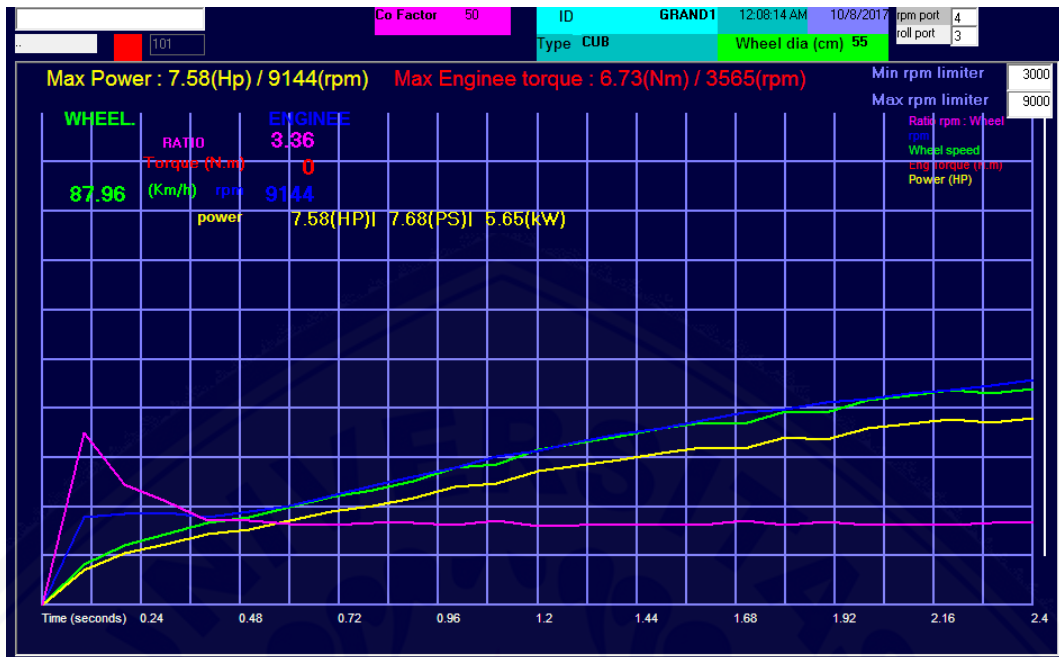
Lampiran C.2.8 Grafik percobaan 2 dengan sudut bilah turbulator 30° bahan bakar LPG



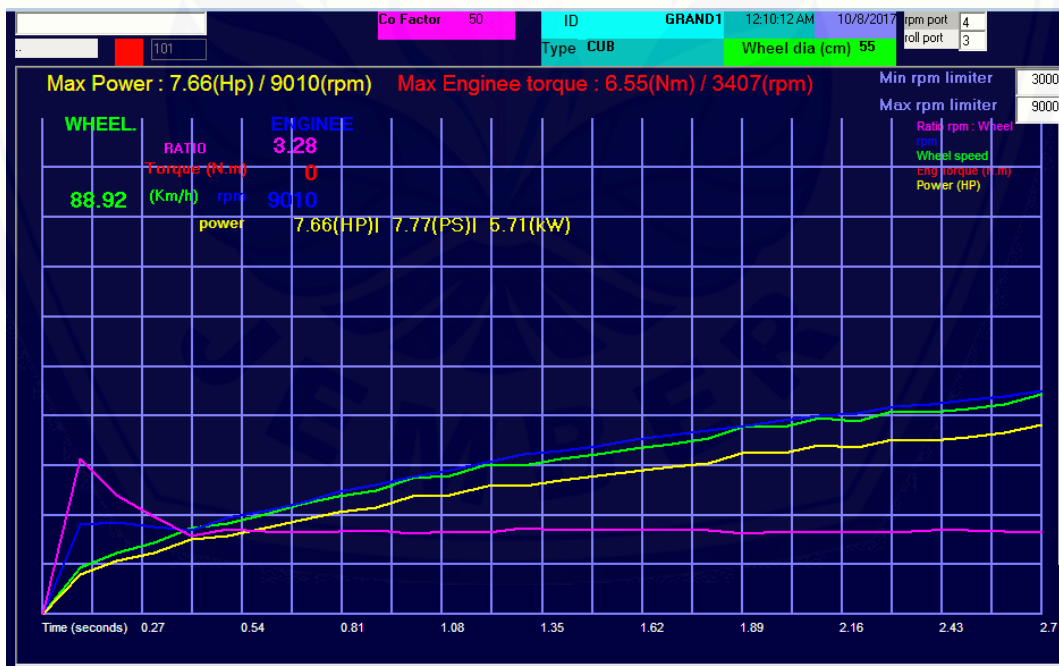
Lampiran C.2.9 Grafik percobaan 3 dengan sudut bilah turbulator 30° bahan bakar LPG



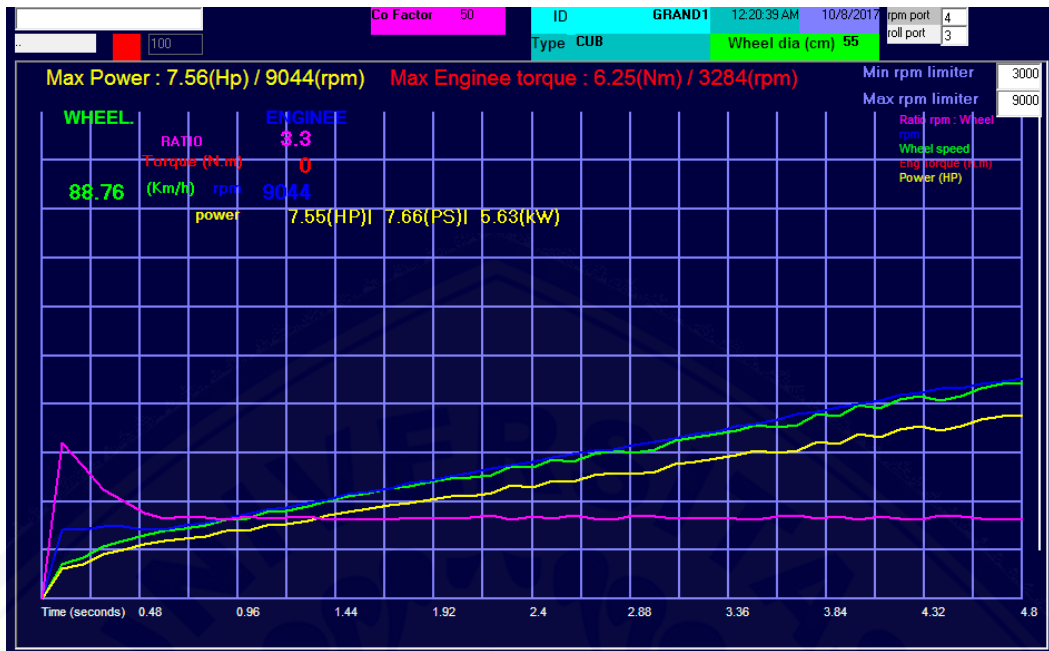
Lampiran C.2.10 Grafik percobaan 1 dengan sudut bilah turbulator 45° bahan bakar LPG



Lampiran C.2.11 Grafik percobaan 2 dengan sudut bilah turbulator 45° bahan bakar LPG



Lampiran C.2.12 Grafik percobaan 3 dengan sudut bilah turbulator 45° bahan bakar LPG



Lampiran C.2.13 Grafik percobaan 1 dengan sudut bilah turbulator 60° bahan bakar LPG



Lampiran C.2.14 Grafik percobaan 2 dengan sudut bilah turbulator 60° bahan bakar LPG

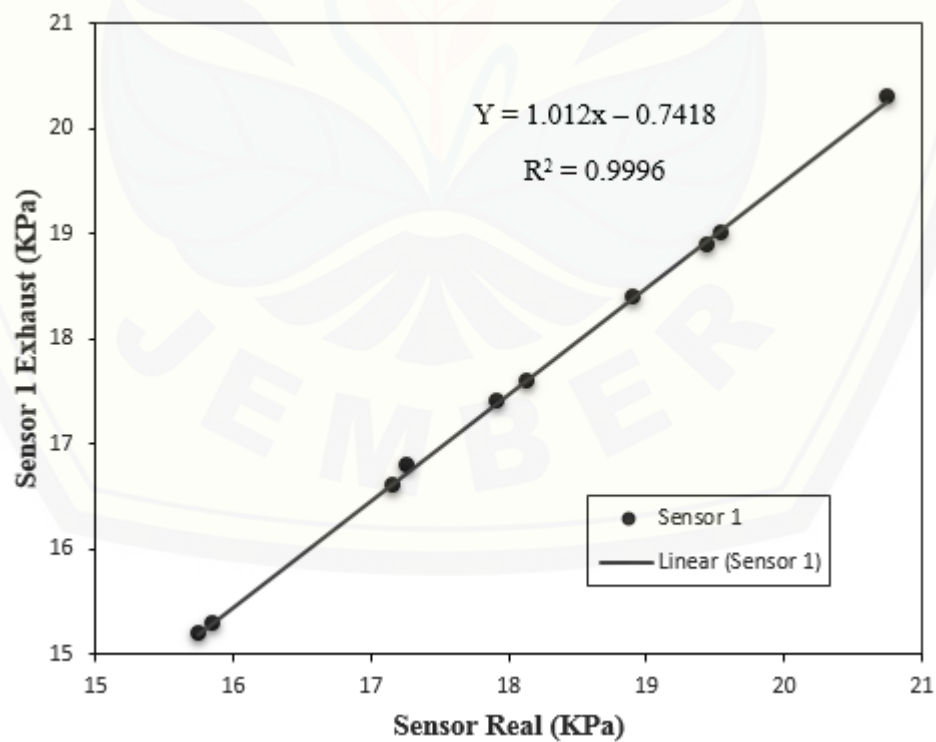


Lampiran C.2.15 Grafik percobaan 3 dengan sudut bilah turbulator 60° bahan bakar LPG

Lampiran D. Data dan Gambar Kalibrasi Sensor

Lampiran D.1 Tabel data kalibrasi sensor 1 exhaust

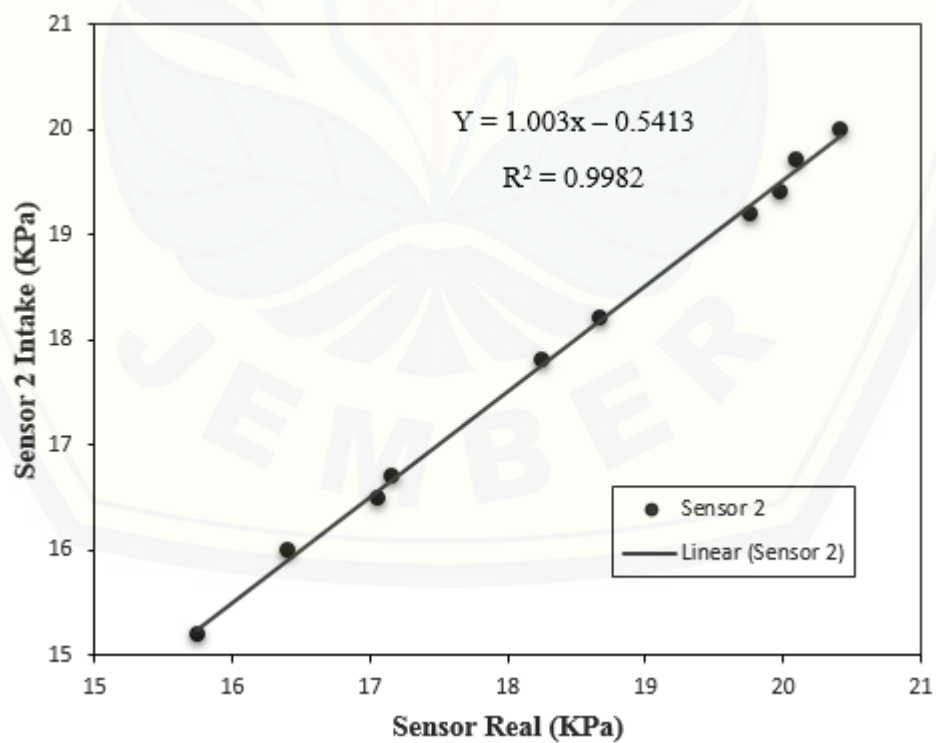
Sensor 1 Exhaust (KPa)	Sensor Real (KPa)
15,75	15,2
15,86	15,3
17,16	16,6
17,27	16,8
17,92	17,4
18,14	17,6
18,90	18,4
19,44	18,9
19,55	19,0
20,75	20,3



Lampiran D.2 Grafik kalibrasi sensor 1 exhaust (KPa)

Lampiran D.3 Tabel data kalibrasi sensor 2 intake

Sensor 2 Intake (KPa)	Sensor Real
15,75	15,2
16,40	16,0
17,06	16,5
17,16	16,7
18,25	17,8
18,68	18,2
19,77	19,2
19,98	19,4
20,10	19,7
20,42	20,0



Lampiran D.4 Grafik kalibrasi sensor 2 intake (KPa)



Lampiran D.5 Gambar kalibrasi sensor tekanan



Lampiran D.6 Gambar pengujian sensor tekanan

Lampiran E. Gambar Alat dan Bahan Penelitian



Lampiran E.1 Gambar alat Konverter Kit



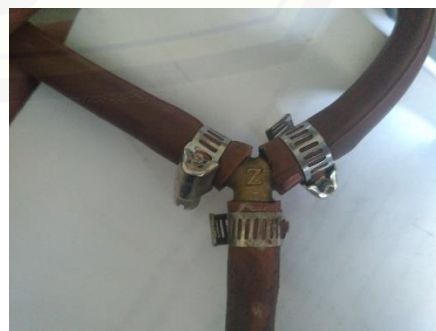
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)



(i)



(j)



(k)

- 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). Buret ukur bahan bakar

Lampiran E.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