

LAPORAN AKHIR
PENELITIAN DOSEN PEMULA



INVESTIGASI PENURUNAN DAYA
PADA KENDARAAN BERBAHAN BAKAR GAS LPG
DENGAN METODE PENGUKURAN EFISIENSI VOLUMETRIS

Tahun ke 1 dari rencana 1 tahun

Ketua : Muji Setiyo, ST., MT. NIDN. 0627038302

Anggota 1 : Bagiyo Condro P, ST NIDN. 0617017605

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAGELANG
November 2014

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Kegiatan : INVESTIGASI PENURUNAN DAYA PADA KENDARAAN BERBAHAN BAKAR GAS LPG DENGAN METODE PENGUKURAN EFISIENSI VOLUMETRIS

Peneliti / Pelaksana

Nama Lengkap : MUJI SETIYO ST., MT.
NIDN : 0627038302
Jabatan Fungsional :
Program Studi : Mesin Otomotif
Nomor HP : 081328648046
Surel (e-mail) : setiyo.muji@gmail.com

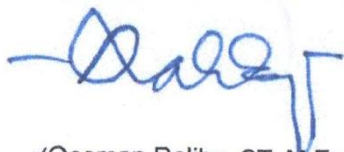
Anggota Peneliti (1)

Nama Lengkap : BAGIYO CONDRON PURNOMO ST
NIDN : 0617017605
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Magelang

Institusi Mitra (jika ada)

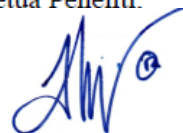
Nama Institusi Mitra :
Alamat :
Penanggung Jawab :
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 1 dari rencana 1 tahun
Biaya Tahun Berjalan : Rp. 15.000.000,00
Biaya Keseluruhan : Rp. 17.000.000,00

Mengetahui
Dekan



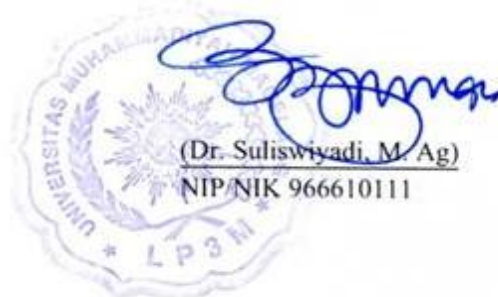
(Oesman Raliby, ST, M.Eng)
NIP/NIK 966800113

Magelang, 24 - 11 - 2014,
Ketua Peneliti.



(MUJI SETIYO ST., MT.)
NIP/NIK108306043

Menyetujui,
Ketua LP3M



RINGKASAN

Liquified Petroleum Gas (LPG) merupakan bahan bakar alternatif yang memiliki semua sifat kunci untuk mesin *Spark Ignition*. Salah satu model sistem pemasukan LPG ke mesin adalah dengan *converter kits* model *vaporizer-mixer*. LPG dimasukkan dalam fasa gas melalui *throttle body* (TB) dalam kondisi panas. Kondisi ini akan mengurangi massa aliran udara yang masuk ke mesin, karena keduanya (LPG dan udara) dimasukkan pada saluran yang sama pada *throttle body*, yang diduga menjadi penyebab penurunan daya. Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi dugaan penurunan daya pada mobil berbahan bakar LPG (TOYOTA 4A-FE 1500 cc) yang disebabkan oleh sistem pemasukan tersebut. Metode yang digunakan adalah dengan pengukuran efisiensi volumetrik pada dua jenis mode bahan bakar (LPG dan bensin). Pada masing-masing mode operasi, dilakukan variasi bukaan *throttle valve* dari 8,2%, 9,2%, 10,2%, 11,2%, sampai 12,2% pada diameter *airflow meter* konstan. Pada konfigurasi tersebut dilakukan pengukuran aliran udara dan putaran mesin. Dari olah data, diperoleh bahwa kecenderungan efisiensi volumetrik untuk mode LPG mengalami kenaikan untuk setiap penambahan bukaan *throttle*, yaitu 36% @8,2%TB dan 41% @12,2%TB. Sementara pada mode operasi bensin mengalami penurunan untuk setiap penambahan bukaan *throttle*, yaitu 37% @8,2%TB dan 31% @12,2%TB. Dari hasil analisis lanjut, diperoleh bahwa penurunan daya pada mode operasi LPG dikarenakan pada bukaan *throttle body* yang sama, mesin LPG menghasilkan putaran mesin yang lebih rendah yaitu 1690 rpm, @ 12,2%TB sementara mode operasi bensin menghasilkan 220 rpm @ 12,2%TB.

Kata kunci : Mobil LPG, penurunan daya, efisiensi volumetris

PRAKATA

Puji syukur dipanjatkan ke hadirat Allah SWT, karena atas nikmat dan karunia-Nya, laporan akhir kegiatan Penelitian Dosen Pemula ini dapat diselesaikan dengan baik. Laporan akhir ini melaporkan seluruh kegiatan yang direncanakan.

Pelaksanaan penelitian tahap pertama ini dibantu dan didukung oleh sejumlah pihak. Oleh karena itu diucapkan terimakasih kepada :

1. Dra. Kanthi Pamungkas Sari, M.Pd. selaku Kepala pusat penelitian Universitas Muhammadiyah Magelang , yang telah memberikan pengarahan dan monitoring selama pelaksanaan kegiatan penelitian.
2. Oesman Raliby, ST, M.Eng. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Magelang yang telah memberikan pengarahan dan fasilitas selama kegiatan.

Akhir kata semoga hasil penelitian ini dapat bermanfaat bagi pihak-pihak terkait, dan koreksi maupun saran sangat diharapkan untuk penyempurnaan pada kegiatan berikutnya.

Magelang, November 2014



Muji Setiyo, ST, MT
NIDN. 0627038302

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
RINGKASAN.....	ii
PRAKATA.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	3
A. Karakteristik LPG sebagai bahan bakar kendaraan.....	3
B. Sistem pemasukan LPG ke mesin.....	4
C. Rasio Ekspansi Gas.....	5
D. Penelitian Relevan.....	6
BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN.....	8
A. Tujuan penelitian.....	8
B. Kontribusi (Manfaat) terhadap ilmu pengetahuan.....	8
C. Luaran penelitian.....	8
BAB 4. METODE PENELITIAN.....	9
A. Tahapan (<i>road map</i>) penelitian.....	9
B. Lokasi penelitian.....	10
C. Variabel penelitian dan parameter ukur.....	10
D. Model yang digunakan.....	11
E. Rancangan percobaan.....	11
F. Teknik pengumpulan dan analisis data.....	12
BAB 5. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	13
A. Volumetrik Mode Bensin.....	13
1. Pengukuran Konsumsi bahan bakar dan udara mode bensin.....	13
2. Perhitungan efisiensi volumetric mode bensin.....	13
B. Volumetrik Mode LPG.....	14

1. Pengukuran Konsumsi bahan bakar dan udara mode LPG	14
2. Perhitungan efisiensi volumetric mode LPG	15
C. Perbandingan Efisiensi Volumetrik	16
D. Pembahasan.....	18
BAB 7. KESIMPULAN DAN SARAN	19
A. Kesimpulan	19
B. Saran	19
DAFTAR PUSTAKA	20

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Peralatan dan Material Penelitian	10
Tabel 2. Variabel penelitian dan parameter ukur	10
Tabel 3. Rancangan Percobaan	11
Tabel 4. Konsumsi bahan bakar mode operasi bensin	13
Tabel 5. Perhitungan efisiensi volumetric mode bensin	14
Tabel 6. Konsumsi udara mode operasi LPG	15
Tabel 7. Perhitungan efisiensi volumetric mode LPG	15

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Mixer LPG	5
Gambar 2.	Rasio Ekspansi LPG.....	5
Gambar 3.	Tahapan (<i>road map</i>) penelitian	9
Gambar 4.	Set up peralatan dan media uji	12
Gambar 5.	Alur pengumpulan data dan analisis data.....	12
Gambar 6.	Efisiensi volumetric mode operasi bensin.....	14
Gambar 7.	Efisiensi volumetric mode operasi LPG.....	16
Gambar 8.	Perbandingan Efisiensi volumetric antara mode operasi bensin vs LPG pada basis bukaan throttle	16
Gambar 9.	Perbandingan Kecepatan Udara antara mode operasi bensin vs LPG pada basis bukaan throttle	17
Gambar 10.	Perbandingan Kecepatan Putar Mesin antara mode operasi bensin vs LPG pada basis bukaan throttle	18

BAB 1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan LPG sebagai bahan bakar kendaraan sudah menjadi kebijakan energi di beberapa Negara seperti Turki, Polandia, Jepang, dan Korea Selatan. Saat ini, ada lebih dari 17,4 juta kendaraan LPG digunakan dan menghiasi jalan-jalan diseluruh dunia sebagai kendaraan yang lebih ramah lingkungan dengan lebih dari 57.000 stasiun pengisian bahan bakar. Konsumsi global dari LPG mencapai 22,9 juta ton pada tahun 2010, dan meningkat sangat cepat. Permintaan meningkat sebesar 8,5 Mt, atau 59%, antara tahun 2000 sampai dengan tahun 2010 (WLPGA, 2012).

LPG memiliki nilai oktan 112 yang memungkinkan untuk diterapkan pada mesin dengan perbandingan kompresi yang lebih tinggi sehingga memberikan efisiensi thermal yang lebih tinggi pula. 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 (IEA ETSAP, 2010).

Namun demikian, **mesin LPG pada umumnya menghasilkan daya yang lebih rendah daripada mesin bensin.** Penurunan daya pada mesin LPG dengan sistem pemasukan sederhana sekitar 20%-30% (Rohmat, 2003). Dengan sistem dan teknologi mesin yang lebih maju, penurunan daya dapat direduksi menjadi 5% -10% (Ceviz & Yuksel, 2005). Mesin LPG sangat sensitif terhadap bentuk dan ukuran mixer. Jika ukuran mixer tidak sesuai, kemungkinan besar akan mengalami kerugian daya hingga 20 % dan seolah olah mesin hanya bekerja setengah *throttle* (Osch, 2013).

Salah satu model sistem pemasukan LPG ke mesin adalah dengan converter kits konvensional. LPG dimasukkan dalam fasa gas melalui *throttle body* dalam kondisi panas. **Gas dalam kondisi panas membutuhkan volume yang lebih banyak dalam ukuran massa yang sama.** Kondisi ini akan mengurangi massa aliran udara yang masuk ke mesin, karena keduanya (Gas LPG dan udara) dimasukkan pada saluran yang sama pada *throttle body*. Hal inilah yang menyebabkan penurunan efisiensi volumetris yang diduga menjadi penyebab penurunan daya.

Metode pendekatan untuk mengetahui secara pasti kerugian daya yang terjadi pada mesin berbahan bakar LPG salah satunya adalah melalui pengukuran jumlah udara yang dihisap mesin pada bukaan *throttle valve* yang sama dengan mode operasi bensin. Metode ini dikenal dengan pengukuran volumetris mesin. Jika benar jumlah udara yang dihisap lebih sedikit, maka kemungkinan besar penyebab penurunan dayanya akibat penurunan efisiensi volumetriknya. Untuk itu, perlu dilakukan penelitian untuk menginvestigasi penurunan daya mesin LPG melalui pengukuran efisiensi volumetris. Data hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai salah satu referensi untuk pengembangan model converter kits yang optimal.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

A. 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}). LPG juga mengandung hidrokarbon ringan lain dalam jumlah kecil, misalnya etana (C_2H_6) dan pentana (C_5H_{12}) (Brevitt, 2002). 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 (IEA ETSAP, 2010).

LPG memiliki nilai oktan 112 yang memungkinkan untuk diterapkan pada mesin dengan perbandingan kompresi yang lebih tinggi sehingga memberikan efisiensi thermal yang lebih tinggi pula. Dengan harga LPG per satuan volume yang lebih rendah dari harga bensin (non-subsidi), biaya operasional mesin LPG lebih rendah dan memiliki karakteristik ramah lingkungan. Oleh karena itu LPG menjadi alternatif energi yang populer sebagai pengganti bensin.

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 CO_2 yang lebih rendah (R.R. Saraf, 2009).

Dari beberapa keunggulan di atas, aplikasi LPG sebagai bahan bakar kendaraan memiliki beberapa kelemahan diantaranya bahwa mesin berbahan bakar LPG umumnya menghasilkan daya yang lebih rendah daripada mesin bensin, penurunan daya yang terjadi sekitar 5% -10% (Ceviz & Yuksel, 2005). Mesin LPG juga memerlukan penyesuaian saat pengapian, komponen sistem pengapian dan kualitas sistem pengapian (Bosch, 2010).

B. Sistem pemasukan LPG ke mesin

Untuk memasukkan LPG ke saluran *manifold*, digunakan sebuah *mixer* yang dipasang pada sisi depan *throttle body*. *Mixer* memiliki beberapa lubang memanjang yang mengelilingi lingkaran dalam. LPG dalam fasa gas mengalir dari *vaporizer* ke *mixer* melalui katup aliran gas (katup akselerasi). *Mixer* memiliki dua fungsi utama yaitu :

1. Memberikan sinyal vakum

Mixer memberikan sinyal kevakuman untuk *vaporizer*. Sinyal vakum harus merepresentasikan jumlah udara yang melewati venturi *mixer* . Untuk mencapai hal ini *mixer* harus dirancang secara teliti . Salah satu komponen yang paling penting adalah venturi . LPG dan udara keluar dari venturi harus memiliki sudut lebih kurang 8 derajat untuk mencapai rasio konstan LPG dengan udara .

2. Pencampuran LPG dan udara

Untuk mendapatkan campuran yang cepat, LPG dan udara tidak hanya harus dalam proporsi yang tepat, tetapi juga dicampur dengan tepat. Para produsen *mixer* melakukan inovasi sampai menghasilkan desain terbaik untuk setiap mobil. Hasilnya, sebagian besar adalah bahwa ***mixer* memberikan campuran yang tepat hanya pada beban parsial** dan campuran kurus pada beban penuh (Osch, 2013).

Deain *mixer* yang baik tidak hanya pada bentuknya, tetapi juga ukuran venturi . Semakin kecil diameter venturi, semakin tinggi sinyal vakum untuk *vaporizer* dan semakin akurat aliran LPG . Kerugiannya adalah efisiensi volumetik mesin akan menurun karena diameter kecil . Ini seperti seolah-olah mesin hanya dapat bekerja setengah *throttle*. Terutama mobil injeksi atau karburator kemungkinan besar akan mengalami kerugian daya hingga 20 % .

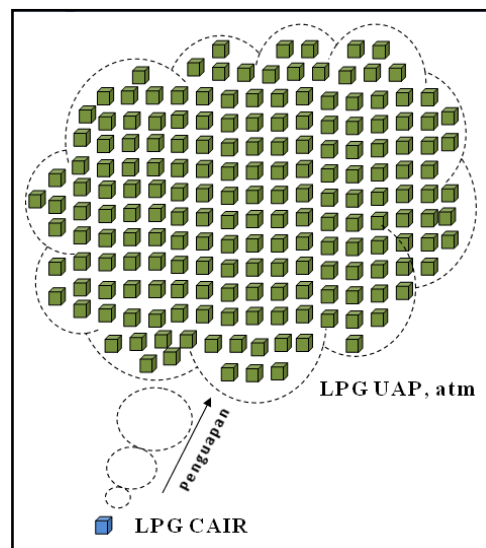
Osch (2013), merekomendasikan ukuran venturi harus minimal 75 % dari ukuran venturi karburator atau throttle body (jika mesin EFI). Lebih spesifik, ukuran venturi harus berkisar 7.5mm^2 dan jika mungkin 10mm^2 untuk setiap HP daya mesin. Beberapa model *mixer* disajikan dalam gambar 2 berikut.



Gambar 1 Mixer LPG
(Sumber : Mijo Autogas)

C. Rasio Ekspansi Gas

Jika LPG cair dilepaskan ke udara, dengan cepat menguap dan meluas hingga 270 kali volume awalnya (Hofmann, 2011). LPG keluar dari lubang mixer berbentuk gas dengan temperature yang lebih panas dari lingkungan. Gas LPG masuk ke intake manifold dan menempati ruang aliran udara masuk (*air stream*). Ekspansi volume gas LPG ini akan mengurangi jumlah udara yang dihisap mesin.



Gambar 2. Rasio Ekspansi LPG

D. Penelitian Relevan

Dziubinski, Walusiak, & Pietrzyk (2007), melakukan penelitian eksperimental tentang pengujian sistem pengapian pada mobil berbahan bakar LPG. Salah satu variabel yang diteliti adalah ketergantungan tegangan sekunder *ignition coil* pada variasi ukuran celah busi 0,8; 0,9; 1,0; 1,1 mm. Busi yang digunakan adalah NGK BPR6-ES11. Hasil dari penelitian ini menyebutkan tegangan sekunder *ignition coil* paling optimal terjadi pada celah elektroda busi 0,8 mm dan 1,1 mm.

Kazimierz Lejda, Lejda, & Jaworski (2007), meneliti pengaruh tekanan injeksi LPG terhadap perubahan kontrol injeksi. Pada penelitian ini LPG diinjeksikan dalam fasa cair. Beberapa diantara hasil penelitiannya adalah sebagai berikut :

1. Peningkatan tekanan injeksi memperbesar volume injeksi LPG, meskipun terjadi pemendekan waktu injeksi oleh unit kontrol.
2. Peningkatan tekanan injeksi menghasilkan peningkatan volume bahan bakar dan menghasilkan peningkatan emisi CO dan HC pada gas buang.
3. Optimasi emisi beracun dan parameter yang bermanfaat dari mesin dengan campuran bahan bakar yang berbeda, bahan bakar LPG jauh lebih sulit daripada bahan bakar bensin.

Saraf, Thipse, & Saxena (2009), melakukan penelitian tentang perbandingan emisi pada mesin berbahan bakar bensin dan LPG. Penelitian ini menunjukkan bahwa mesin LPG menghasilkan emisi yang lebih rendah dari mesin bensin, dengan rincian sebagai berikut.: CO menurun 30% untuk *urban cycle* dan 10 % untuk *extra urban cycle*, HC menurun 30% untuk *urban cycle* dan 51 % untuk *extra urban cycle*, CO₂ menurun 10% untuk *urban cycle* dan 11 % untuk *extra urban cycle*, dan NO_x menurun 41 % untuk *urban cycle* dan 77 % untuk *extra urban cycle*. Penelitian serupa juga dilakukan oleh R.R. Saraf (2009) yang menunjukkan penurunan emisi pada mesin berbahan bakar LPG, meskipun dengan prosentase yang sedikit berbeda.

Mockus (2006), melakukan analisis komposisi gas buang motor pembakaran dalam dengan bahan bakar LPG. Tujuan utama dari penelitian ini untuk mempelajari kerugian daya dan efek terhadap lingkungan. Metode pengukuran daya dan emisi dilakukan langsung pada dinamometer dengan memasang dinamometer pada roda mobil secara langsung. Objek utama penelitian ini adalah mesin dengan *LPG converter* untuk daya maksimum dan mesin dengan *LPG converter* untuk minimasi emisi. Salah satu hasil studi ini adalah untuk mendapatkan penyetelan yang tepat perlu dibuat algoritma dengan beberapa hal perlu diasumsikan. Jika karakteristik mekanikal diinginkan tanpa mengorbankan ekologi, harus dirumuskan dengan ketat.

Mandloi (2010) , melakukan penelitian tentang pengaruh penggunaan LPG pada kendaraan terhadap proses pembakaran. Hasil penelitian ini adalah aplikasi LPG pada mesin bensin mempercepat proses pembakaran, tetapi durasi pembakarannya melambat. Sebagai konsekuensinya, tekanan dan temperatur pembakaran menjadi tinggi. Ini bisa berakibat kerusakan pada elemen mesin. LPG menurunkan efisiensi volumetrik, sehingga untuk mendapatkan daya yang tinggi diperlukan penambahan konsumsi bahan bakar spesifik. LPG menurunkan emisi CO dan NOx. Dalam kesimpulan akhir diperoleh bahwa pemanfaatan LPG memberikan efek negatif terhadap performa mesin, tetapi memberikan efek positif terhadap emisi gas buang.

BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

A. Tujuan penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menginvestigasi penurunan daya pada mesin berbahan bakar LPG melalui metode pengukuran efisiensi volumetris.

B. Kontribusi (Manfaat) terhadap ilmu pengetahuan

Data hasil penelitian ini bermanfaat sebagai salah satu referensi untuk pengembangan model *converter kits* yang dapat menghasilkan daya paling optimal melalui penyempurnaan sistem pemasukannya.

C. Luaran penelitian

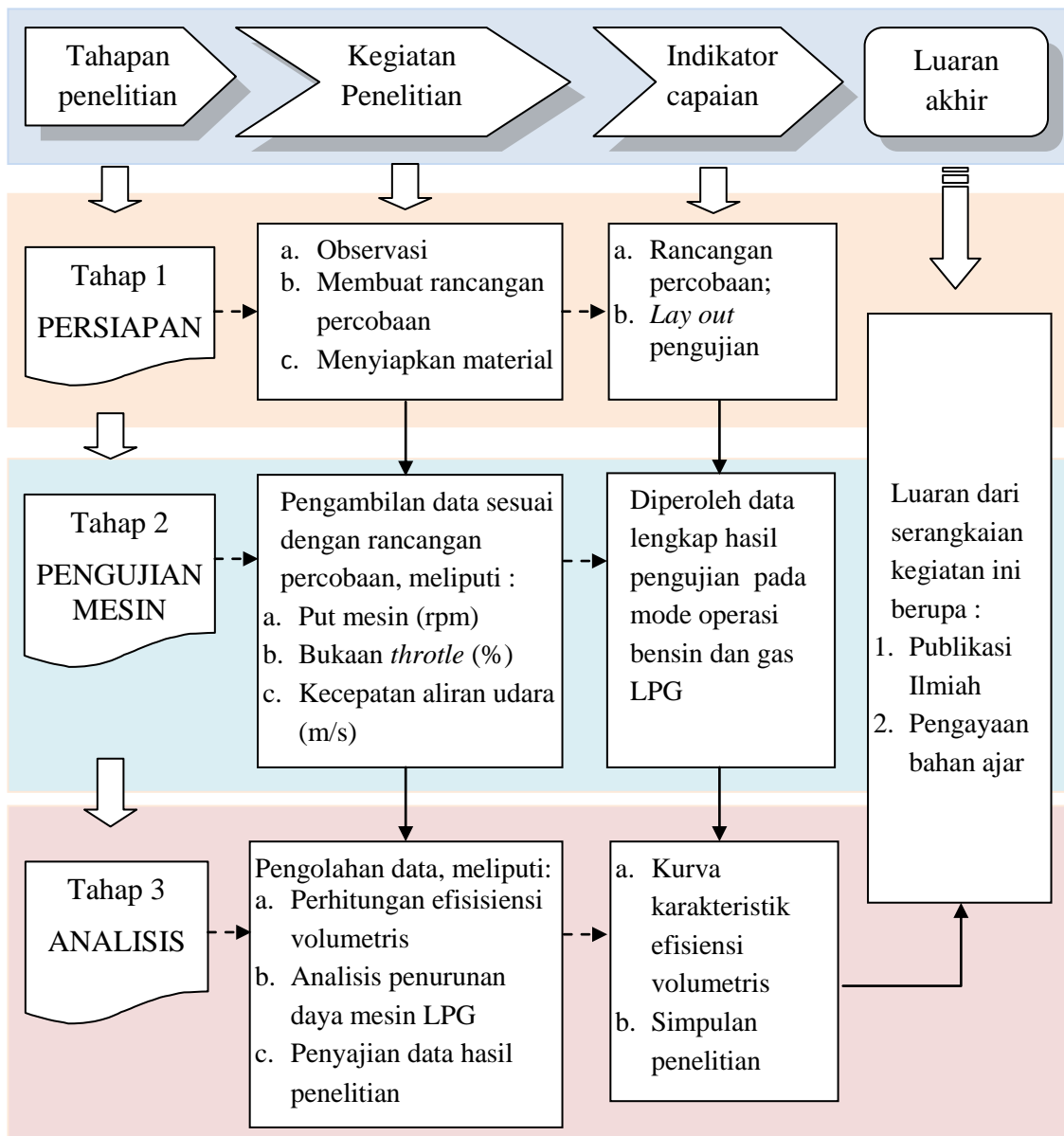
Target luaran yang ingin dicapai melalui kegiatan penelitian ini antara lain:

1. Publikasi ilmiah
2. Pengayaan bahan ajar (bagian dari buku ajar).

BAB 4. METODE PENELITIAN

A. Tahapan (*road map*) penelitian

Penelitian ini terdiri dari tiga tahapan, yaitu tahap persiapan penelitian, tahap pengujian mesin (pengambilan data), dan tahap analisis data. Masing masing tahapan mencakup jenis kegiatan, indikator capaian, dan luarannya disajikan dalam gambar 3 berikut.



Gambar 3. Tahapan (*road map*) penelitian

Untuk melaksanakan serangkaian kegiatan penelitian sesuai dengan *road map* pada gambar 3, dibutuhkan material dan peralatan penelitian sebagai berikut.

Tabel 1. Peralatan dan Material Penelitian

No	Nama peralatan dan material penelitian	Fungsi dalam kegiatan penelitian	Cara pengadaan
1	Kendaraan berbahan bakar bi-fuel bensin/ LPG	Media uji	Sewa
2	<i>Engine scanner</i>	<i>Scanning data</i>	sewa
3	<i>Air flow meter</i> digital	Mengukur kecepatan udara	Beli
4	LPG	Bahan bakar pada mode LPG	Beli
5	<i>Throttle body</i>	Media uji	Beli
6	Bensin	Bahan bakar pada mode bensin	Beli
7	Mixer LPG	Media uji	Beli
8	Selang air duct	Media uji	Beli

B. Lokasi penelitian

Kegiatan penelitian dilaksanakan di gedung laboratorium terpadu Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Magelang. Uraian lokasinya sebagai berikut :

1. Pengujian mesin : Laboratorium Motor bensin dan diesel
2. Pengolahan data : Laboratorium Komputer

C. Variabel penelitian dan parameter ukur

Variabel bebas yang diteliti dan variasi rentang levelnya serta parameter yang diukur dalam penelitian ini disajikan dalam tabel berikut,

Tabel 2. Variabel penelitian dan parameter ukur

Variabel penelitian	Level	Parameter ukur
Mode bahan bakar	Bensin dan LPG	1. Putaran mesin (rpm) 2. Kecepatan aliran udara (m/s)
Bukaan <i>throttle</i> (%)	8,2; 9,2; 10,2; 11,2; 12,2	
Diameter <i>Air flow meter</i>	Konstan	

D. Model yang digunakan

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah **metode eksperimen**. Model pengujiannya menggunakan model *full factorial design*. Kombinasi variabel bebas dan levelnya dilakukan pengujian dengan korespondensi utuh tanpa dilakukan penyederhanaan atau pengurangan.

E. Rancangan percobaan

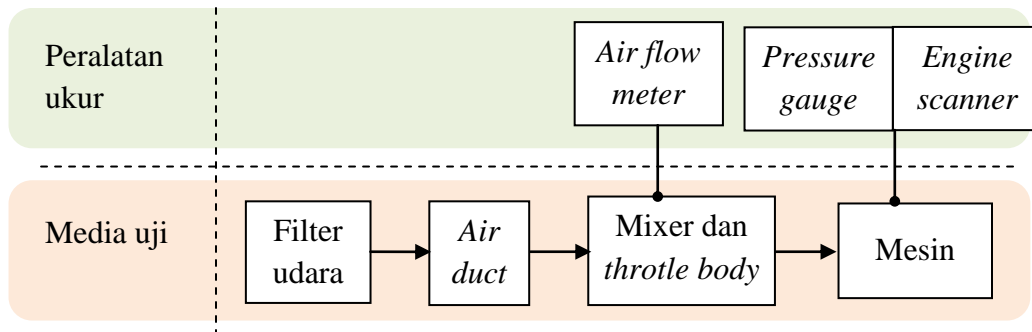
Lingkup penelitian ini mencakup dua jenis mode bahan bakar (LPG dan bensin). Pada konfigurasi tersebut dilakukan pengukuran aliran udara, konsumsi bensin dan tekanan. **Setiap nomor pengujian dilakukan pengulangan tiga kali**. Rancangan percobaannya sebagai berikut.

Tabel 3. Rancangan Percobaan

No uji	Variabel penelitian			Parameter ukur	
	Mode operasi	Ø Air Flow meter (m)	Bukaan throttle body (%)	Putaran mesin (rpm)	Kecepatan udara (m/s)
1	Bensin	0.0697	8.2		
2		0.0697	9.2		
3		0.0697	10.2		
4		0.0697	11.2		
5		0.0697	12.2		
6	LPG	0.0697	8.2		
7		0.0697	9.2		
8		0.0697	10.2		
9		0.0697	11.2		
10		0.0697	12.2		

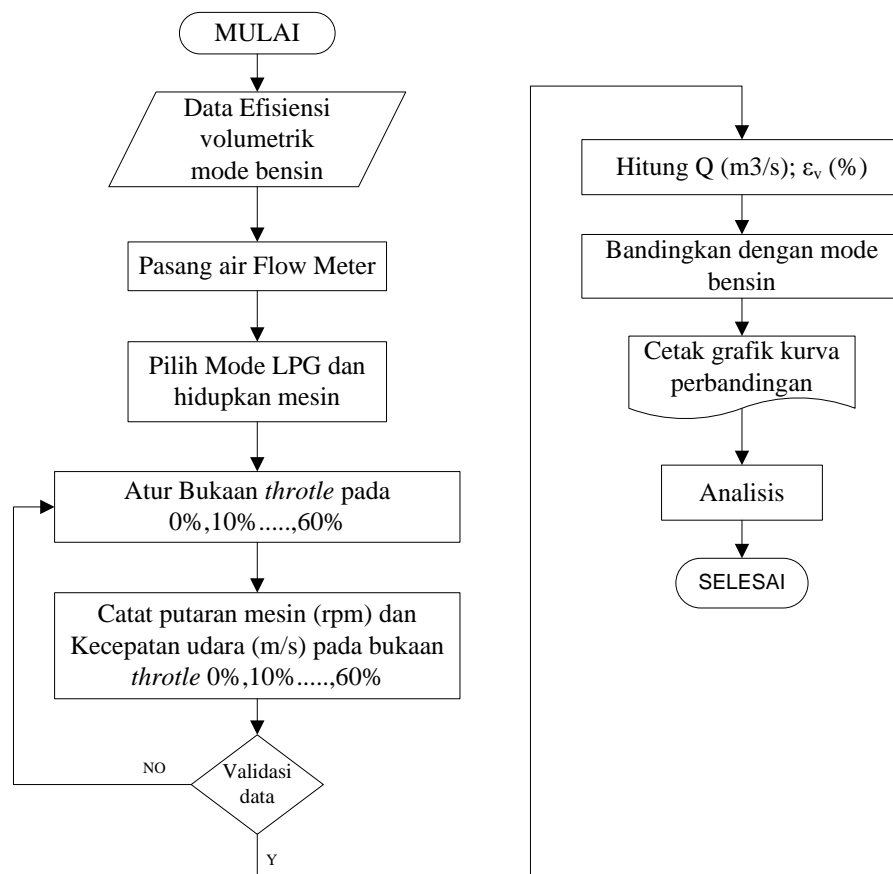
F. Teknik pengumpulan dan analisis data

1. *Set up* peralatan dan media uji



Gambar 4. Set up peralatan dan media uji

2. Alur pengambilan data dan analisisnya



Gambar 5. Alur pengumpulan data dan analisis data

BAB 5. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Volumetrik Mode Bensin

1. Pengukuran Konsumsi bahan bakar dan udara mode bensin

Pengambilan data mode operasi bensin dilakukan untuk mengetahui besarnya kecepatan putar mesin dan kecepatan udara yang diperlukan setiap variabel bukaan *throttle body*. Hasil uji kecepatan putar mesin dan kecepatan udara pada mode bensin disajikan dalam tabel 4 sebagai berikut.

Tabel 4. Konsumsi bahan bakar mode operasi bensin

No	Bukaan Throttle (%)	Put mesin mode bensin (rpm)	Kecepatan Udara (m/s)			Kecepatan Udara Rata-rata (m/s)
			1	2	3	
1	8.2	750	0.9	0.9	0.9	0.900
2	9.2	1000	1.19	1.19	1.19	1.190
3	10.2	1340	1.46	1.46	1.46	1.460
4	11.2	1840	1.94	1.94	1.94	1.940
5	12.2	2200	2.22	2.22	2.22	2.220

Dimana :

Diameter *Air flow meter* : 69,7 mm = 0,0697 m

Luas penampang *air flow meter* : 0,003814 m²

Kapasitas mesin : 1493 cc = 0,001493 m³

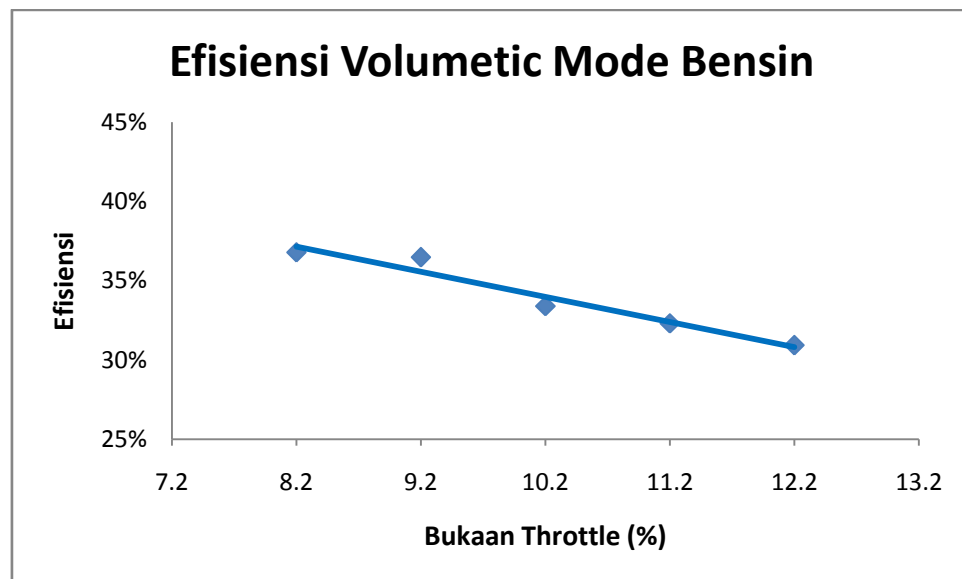
2. Perhitungan efisiensi volumetric mode bensin

Efisiensi volumetric mode bensin dilakukan dengan membandingkan laju konsumsi udara dengan kapasitas mesin teotitis pada putaran mesin tertentu. Volume mesin yang diuji adalah 1493 cc (0,001493 m³), data efisiensi volumetrisnya disajikan dalam tabel 5 sebagai berikut :

Tabel 5. Perhitungan efisiensi volumetric mode bensin

No	Bukaan Throttle (%)	Q_{Udara} (m^3/s)	$Q_{Teoritis}$ (m^3/s)	Efisiensi (%)
1	8.2	0.00343	0.0093313	37%
2	9.2	0.00454	0.0124417	36%
3	10.2	0.00557	0.0166718	33%
4	11.2	0.00740	0.0228927	32%
5	12.2	0.00847	0.0273717	31%

Dari pengolahan data diatas terlihat bahwa untuk setiap peningkatan bukaan Throttle terjadi penurunan efisiensi volumetric, secara jelas dapat dilihat pada gambar 6 berikut.

**Gambar 6. Efisiensi volumetric mode operasi bensin**

B. Volumetrik Mode LPG

1. Pengukuran Konsumsi bahan bakar dan udara mode LPG

Pengambilan data mode LPG dilakukan untuk mencari besarnya perubahan kecepatan putar mesin dan kecepatan udara yang dibutuhkan setiap perubahan bukaan throttle. Hasil uji kecepatan putar mesin dan kecepatan udara pada mode LPG disajikan dalam tabel 6 sebagai berikut.

Tabel 6. Konsumsi udara mode operasi LPG

No	Bukaan Throttle (%)	Put mesin mode bensin (rpm)	Kecepatan Udara (m/s)			Kecepatan Udara Rata-rata (m/s)
			1	2	3	
1	8.2	750	0.87	0.87	0.87	0.870
2	9.2	980	1.19	1.19	1.19	1.190
3	10.2	1200	1.5	1.5	1.5	1.500
4	11.2	1500	2	2	2	2.000
5	12.2	1690	2.27	2.27	2.27	2.270

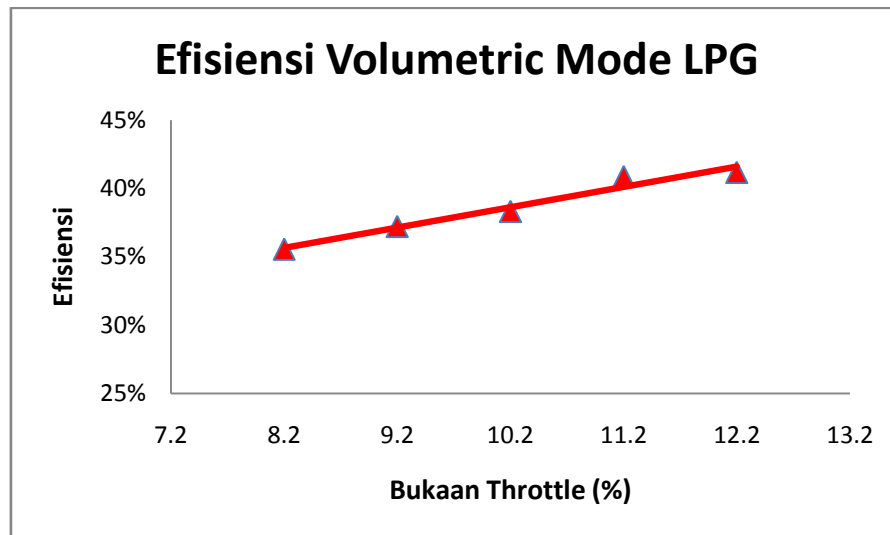
2. Perhitungan efisiensi volumetric mode LPG

Sama halnya dengan mode bensin, efisiensi volumetric mode LPG dilakukan dengan membandingkan laju konsumsi udara dengan kapasitas mesin teotitis pada bukaan *throttle* tertentu. Volume mesin yang diuji adalah 1493 cc (0,001493 m³), data efisiensi volumetrisnya disajikan dalam tabel 7 sebagai berikut:

Tabel 7. Perhitungan efisiensi volumetric mode LPG

No	Bukaan Throttle (%)	Q _{Udara} (m ³ /s)	Q _{Teoritis} (m ³ /s)	Efisiensi (%)
1	8.2	0.00332	0.0093313	36%
2	9.2	0.00454	0.0121928	37%
3	10.2	0.00572	0.01493	38%
4	11.2	0.00763	0.0186625	41%
5	12.2	0.00866	0.0210264	41%

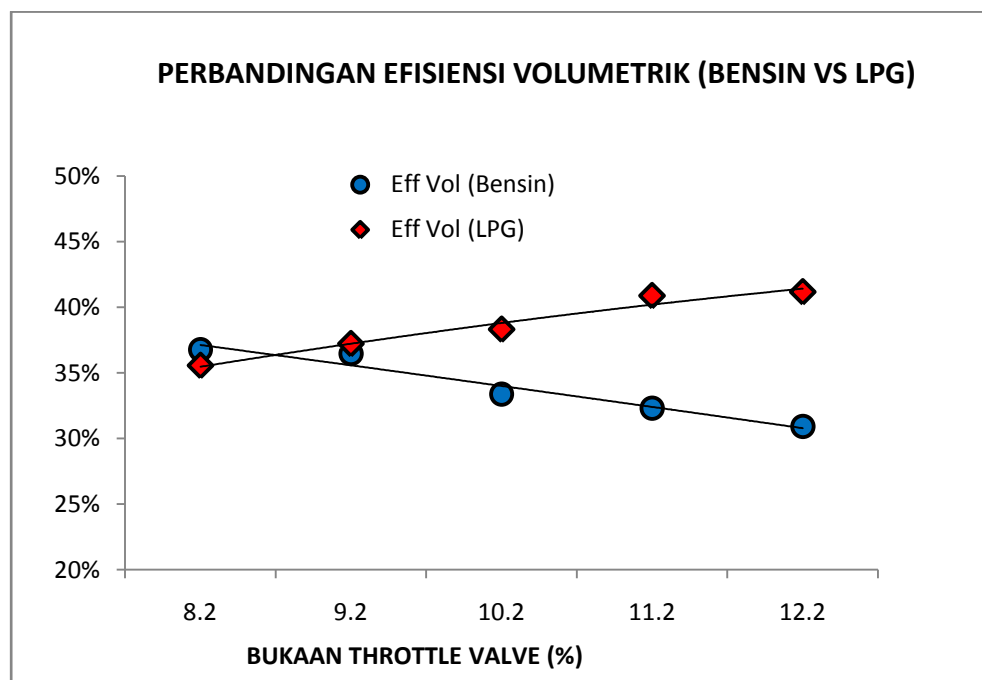
Dari pengolahan data diatas terlihat bahwa untuk setiap peningkatan bukaan Throttle terjadi peningkatan efisiensi volumetric, secara jelas dapat dilihat pada gambar 7 berikut.



Gambar 7. Efisiensi volumetric mode operasi LPG

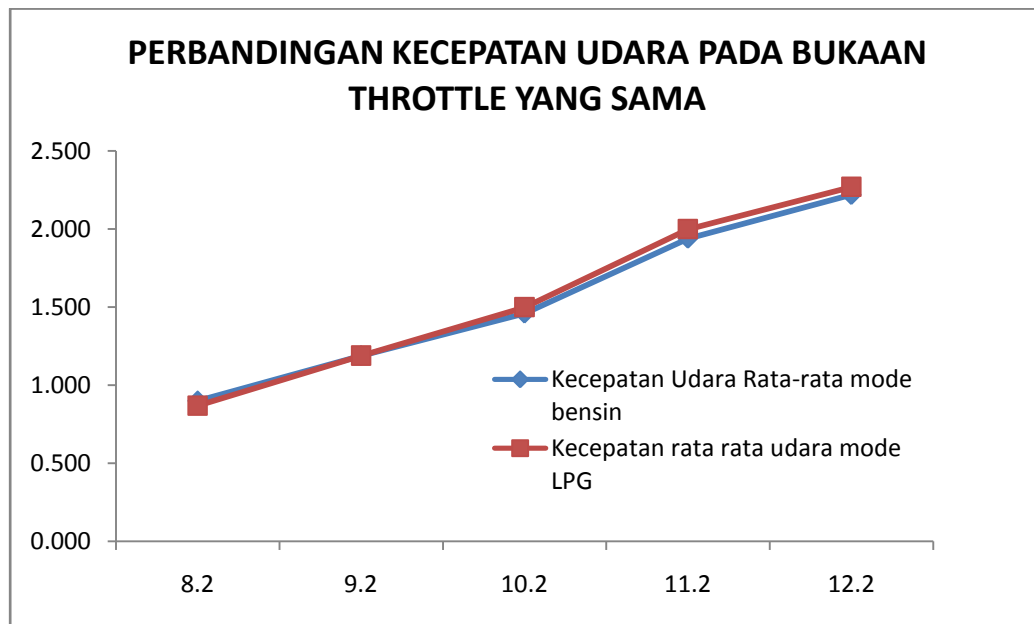
C. Perbandingan Efisiensi Volumetrik

Dari hasil perhitungan diatas, maka diperoleh data perbandingan efisiensi volumetric antara mode operasi bensin dan LPG sebagai berikut.

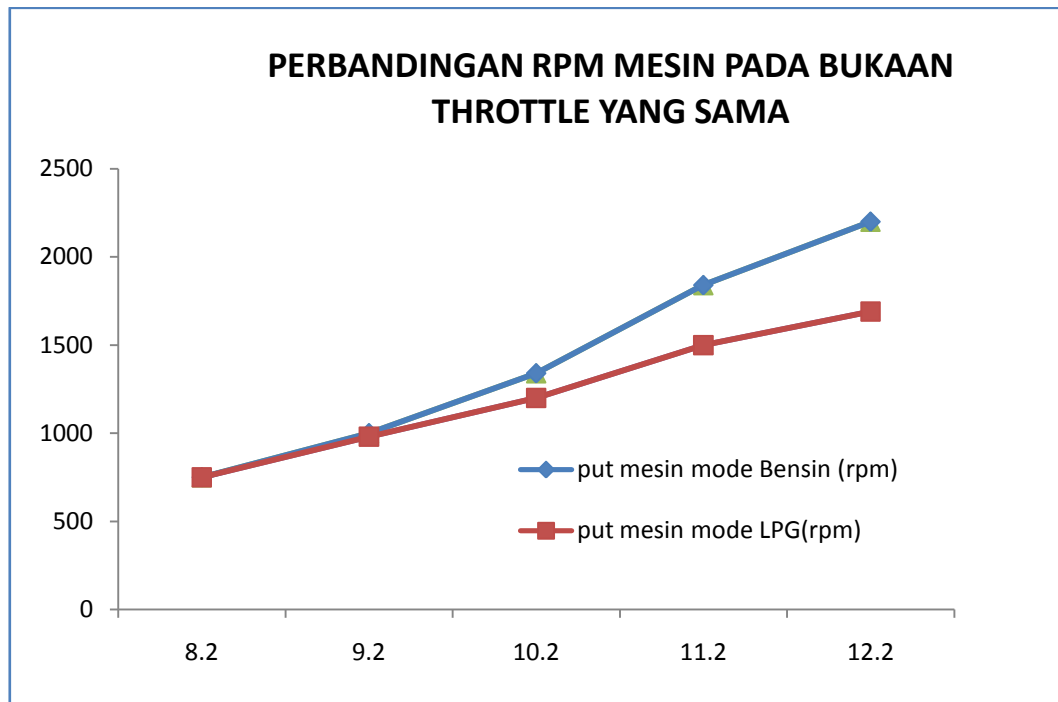


Gambar 8. Perbandingan Efisiensi volumetric antara mode operasi bensin vs LPG pada basis bukaan throttle

Terlihat dari gambar 8 bahwa kecenderungan dari mode operasi bensin terjadi penurunan sedangkan mode operasi LPG terjadi peningkatan. Perbedaan kecenderungan tersebut karena efisiensi volumetric dihitung berbasis kecepatan putar mesin dan kecepatan udara masuk ke mesin. Data penelitian menunjukkan kecepatan udara yang masuk ke mesin untuk setiap kenaikan bukaan throttle hampir sama untuk masing-masing mode operasi, sedangkan untuk kecepatan putar mesin ada perbedaan, untuk jelasnya dapat dilihat pada gambar 9 dan 10 berturut-turut sebagai berikut.



Gambar 9. Perbandingan Kecepatan Udara antara mode operasi bensin vs LPG pada basis bukaan throttle



Gambar 10. Perbandingan Kecepatan Putar Mesin antara mode operasi bensin vs LPG pada basis bukaan throttle

D. Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi volumetrik mode LPG mengalami peningkatan sedangkan efisiensi volumetrik mode bensin mengalami penurunan setiap kenaikan bukaan *throttle* (8.2% sampai 12.2%). Perbedaan ini dipengaruhi oleh besarnya kecepatan putar mesin yang dicapai pada setiap tingkat bukaan *throttle*. Mode LPG cenderung memiliki efisiensi volumetrik yang lebih tinggi dari mode bensein. hal ini disebabkan kecepatan putar mesin yang lebih rendah, sementara kecepatan udara yang terukur pada *air flow meter* besarnya sama untuk setiap bukaan *throttle*.

BAB 7. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dengan konsumsi udara yang hampir sama (konsumsi bahan bakar diabaikan) pada kedua mode, sementara mode operasi LPG menghasilkan putaran yang lebih rendah dari mode operasi bensin, diperoleh kesimpulan bahwa penurunan daya mode operasi LPG (tanpa memajukan saat pengapian) dikarenakan capaian putaran mesin yang lebih rendah pada bukaan throttle body yang sama dengan mode bensin.

B. Saran

Penelitian ini merupakan suatu awal dari penelitian berikutnya untuk mendapatkan data yang lebih akurat, sehingga diperlukan pengembangan metode atau cara untuk mencari besarnya efisiensi volumetric. Pengembangan yang harus dilakukan adalah penambahan variasi waktu pengapian sehingga data yang didapat akan lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Bosch. (2010). *LPG Spark Plugs*. Road Claiton Vic: Robert Bosch (Australia) Pty Ltd.
- Brenda Brevitt, 2002, *Alternative Vehicle Fuels*, Science Environment Section, House of Commons Library, Research Paper 02/11.
- ETSAP, 2010, *Automotive LPG and Natural Gas Engines*, Technology Brief T03 – April 2010 - www.etsap.org
- Franz Hofmann, 2011, *Converting Vehicles to Propane Autogas Part 1: Installing Fuel Tanks and Fuel Lines*, Propane Education & Research Council, Propane Exceptional Energy, Washington, D.C. 20036
- Kazimierz Lejda, Artur Jaworski, 2008, *Influence of liquid LPG injection pressure on the injection control*, TEKA Kom. Mot. Energ. Roln. – OL PAN, 2008, 8, 141–148
- M.A. Ceviz, F. Yuksel, 2005, *Cyclic variations on LPG and gasoline-fuelled lean burn SI engine*, Renewable Energy 31 (2006) 1950–1960
- Mieczysław Dziubiński et.al, 2007, *Testing Of An Ignition System In A Car Run On Various Fuels*, TEKA Kom. Mot. Energ. Roln. - OL PAN, 2007, 7, 97–104
- Osch, H. V, 2013, *Technique-LPG-Instalatie*. Retrieved April 10, 2013, from <http://www.chaosboyz.nl/>
- R.R. Saraf, S.S.Thipse and P.K.Saxena, 2009, *Comparative Emission Analysis of Gasoline/LPG Automotive Bifuel Engine*, International Journal of Civil and Environmental Engineering 1:4 2009.
- R K Mandloi and A Rehman, 2010, *Long Term Continuous Use Of Auto- LPG Causes Thermal Pitting In Automotive S.I. Engine Parts*, International Journal of Engineering Science and Technology Vol. 2(10), 2010, 5907-5911
- Saulius Mockus et.al, 2006, *Analysis Of Exhaust Gas Composition Of Internal Combustion Engines Using Liquefied Petroleum Gas*, Journal Of Environmental Engineering And Landscape Management 2006, Vol XIV, No 1, 16–22
- Shankar K. S and Mohanan P, 2011, *MPFI Gasoline Engine Combustion, Performance And Emission Characteristics With LPG Injection*, International Journal Of Energy And Environment Volume 2, Issue 4, 2011 pp.761-770
- Tri Agung Rohmat, 2003, *Pengaruh Waktu Penyalaan Terhadap Kinerja Spark-Ignition Engine Berbahan Bakar LPG*, Media Teknik No.3 Tahun XXV edisi Agustus 2003ISSN 0216-3012.
- WLPGA. (2012). *Autogas Incentive Policies*.

