

Studi Perbandingan Daya Mesin Motor Bakar Torak 4 Langkah Tipe KD250AT Menggunakan Bahan Bakar Bensin dan Setelah Dimodifikasi Menjadi Berbahan Bakar Gas (LPG)

Joko Sarsetiyanto, Denny ME Soedjono, Heru Mirmanto, Dedy Z Noor

Departemen Teknik Mesin Industri - Fakultas Vokasi - Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim - Surabaya 60111 Indonesia
email : joko_sar@yahoo.co.id

Abstrak. Semakin menipisnya cadangan minyak dunia maka kebutuhan akan pengganti bahan bakar minyak pada motor bakar juga semakin meningkat. Satu dari solusi alternatif ialah menggunakan bahan bakar gas (LPG:Liquified Petroleum Gas). Agar dapat menggunakan bahan bakar LPG, motor berbahan bakar bensin harus dilakukan modifikasi. Bagian utama yang harus dimodifikasi adalah sistim bahan bakarnya. Pada sistim bahan bakar tersebut yang harus diubah adalah diameter saluran bahan bakar (*nozzle*) dan penempatan serta cara memasukkannya ke dalam silinder. Diameter *nozzle* harus dapat menginjeksikan massa bahan bakar yang sesuai dengan beban mesin. Penempatannya harus bisa menghasilkan pencampuran udara-bahan bakar yang homogen. Rancangan penempatan *nozzle* diperoleh dengan simulasi numeric dengan software CFD Fluent 6.2. Modifikasi telah dilakukan terhadap mesin 4 langkah 1 silinder KD250AT yang digunakan sebagai penggerak suatu mobil off road produksi lokal. Mesin tersebut berbahan bakar bensin, lalu diubah menjadi sistim injeksi LPG. Dari hasil perhitungan teoritis, saat menggunakan LPG, pada putaran mesin 5800 rpm diperoleh daya keluaran sebesar 13,38 hp. Sedangkan pada saat diuji coba dengan dynamometer daya yang dihasilkan pada putaran 5800 sebesar 12,5 hp. Hasil uji coba dengan bahan bakar bensin pada putaran 5800 rpm adalah sebesar 14 hp.

Kata kunci : bahan bakar gas, modifikasi sistim bahan bakar dan *nozzle*

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Bahan Bakar Minyak (BBM) merupakan salah satu sumber homoge yang sangat populer digunakan sebagai bahan bakar pada motor bakar torak. Tetapi bahan bakar ini juga membawa dampak buruk bagi lingkungan. Selain itu cadangan minyak dunia juga terus menipis. Oleh karena itu saat ini banyak dilakukan usaha untuk mencari penggantinya, terutama yang lebih ramah lingkungan. Salah satu bahan bakar pengganti yang sangat potensial ialah LPG (Liquified Petroleum Gas). LPG yang dicoba untuk digunakan adalah jenis *mixed* LPG, yang merupakan campuran dari homogen 70- 80% vol. dan homoge 20-30% vol. dan diberi *odorant* (*Mercaptant*). LPG ini umumnya digunakan untuk bahan bakar rumah tangga. Selain sebagai bahan bakar alat dapur, LPG juga cukup banyak digunakan sebagai bahan bakar kendaraan bermotor (mesin harus dimodifikasi terlebih dahulu).^[1] Secara umum LPG (*Liquified Petroleum Gases*) dapat digunakan sebagai:

1. Bahan Bakar dalam rumah tangga dan Industri
2. Bahan Bakar Mesin motor bakar (*Internal Combustion Engine*), karena zat *Propana* mempunyai angka oktan (*octane number*) yang tinggi (97), maka untuk dapat memperoleh keekonomian bahan bakar, harus digunakan mesin dengan perbandingan komposisi tinggi (10:1).
3. Sebagai bahan baku kilang Petrokimia.

Agar dapat menggunakan bahan bakar LPG, motor berbahan bakar bensin harus dilakukan modifikasi. Bagian utama yang harus dimodifikasi adalah sistim bahan bakarnya. Pada sistim bahan bakar tersebut yang harus diubah adalah diameter saluran bahan bakar (*nozzle*) dan penempatannya. Diameter *nozzle* harus dapat menginjeksikan massa bahan bakar yang cukup untuk kebutuhan mesin, sesuai dengan bebannya. Penempatannya harus homo menghasilkan aliran *vortex* agar terjadi pencampuran udara-bahan bakar yang homogen.

1.2 Perumusan Masalah

Pada penelitian ini masalah yang diangkat adalah:

1. Bagaimana mengubah sistim bahan bakar bensin (cair) menjadi sistim bahan bakar gas (mixed LPG) agar kinerja mesin dapat dioperasikan dengan mudah semudah seperti menggunakan bahan bakar bensin.
2. Bagaimana perbandingan kinerja mesin, terutama daya yang dihasilkan ketika menggunakan bahan bakar bensin dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar LPG. Hasil modifikasi mesin diharapkan dapat mendekati kinerja mesin dengan bahan bakar bensin atau bahkan lebih baik.

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan masalah dapat fokus pada hal-hal yang peting maka pembahasan dibatasi pada:

1. Perhitungan *air fuel ratio* didasarkan pada *mixed LPG* dengan komposisi 70-80 % vol. propana dengan 20-30 % vol. butana.
2. Perhitungan diameter *nozzle* didasarkan pada aliran fluida *viscous incompressible* yang memenuhi kategori fluida Newtonian.
3. Penempatan *nozzle* didasarkan pada hasil *postprocessing* simulasi numerik menggunakan *software* Fluent 6.2
4. Pengujian mesin menggunakan bahan bakar *mixed LPG* dengan komposisi 70-80 % vol. propana dengan 20-30 % vol. butana dan bahan bakar cairnya menggunakan pertalite.

1.4 Tujuan

Dalam penelitian ini dilakukan modifikasi terhadap sistim bahan bakar motor bensin 1 silinder 4 langkah, volume langkah = 250 cc, dan perbandingan kompresi 8,5 : 1, tipe KD250AT sehingga dapat dioperasikan menggunakan bahan bakar LPG. Selanjutnya akan dilakukan perbandingan daya teoritis dengan daya hasil pengujian pada dinamometer (menggunakan bahan bakar LPG) dan juga daya mesin saat menggunakan bahan bakar bensin.

1.5 Metodologi Penelitian

Langkah-langkah yang ditempuh dalam menyelesaikan masalah yang diangkat adalah sebagai berikut:

1. Melakukan perhitungan teoritis AFR pada putaran 5800 rpm (daya maksimum pada 5800 rpm), menggunakan data *mixed LPG* dengan komposisi 70 % propana dan 30 % butana. Mixed LPG dioksidasi dengan udara lebihan 10 %.
2. Melakukan perhitungan teoritis diameter *nozzle* bahan bakar dengan kaidah aliran fluida *viscous incompressible* dan memenuhi kategori fluida Newtonian.
3. Mendapatkan penempatan *nozzle* yang tepat dengan simulasi aliran fluida menggunakan *software* Fluent 6.2
4. Melakukan perhitungan daya teoritis dengan bahan bakar *mixed LPG*.
5. Melakukan pengukuran daya mesin dengan bahan bakar pertalite dengan metode uji *variable speed* menggunakan *chasis dynamometer*.
6. Memodifikasi sistim bahan bakar cair menjadi gas dengan injeksi kontinyu pada *intake manifold*. Serta *setting* ulang mesin dengan metode *setting* mengacu pada referensi [4].
7. Melakukan pengukuran daya mesin setelah modifikasi dengan metode uji *variable speed* menggunakan *chasis dynamometer*.
8. Membandingkan hasil perhitungan teoritis dengan hasil pengukuran.

1.6 Landasan Teori

1.6.1 Perhitungan Teoritis AFR (putaran 5800 rpm)

Reaksi oksidasi bahan bakar *mixed LPG* 70 % vol. propana dan 30 % vol. butana dengan udara lebih 10 % adalah sebagai berikut:



$$AFR = \frac{X_{udara} \bar{M}_{udara}}{X_{fuel} \bar{M}_{fuel}} = 17,11$$

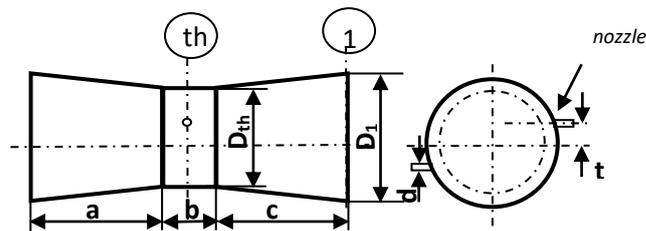
Laju massa udara yang masuk silinder pada putaran 5800 rpm dengan massa jenis udara = 1,2 kg/m³ adalah:

$$m_{udara}^* = V_{silinder} \frac{n}{60} \rho_{udara} = 0,00025 m^3 \times \frac{5800 rpm}{60 sc} \times \frac{1}{2} \times 1,2 \frac{kg}{m^3} = 0,0145 \frac{kg}{sc}$$

Pada saat beban penuh dan akselerasi campuran harus lebih $\pm 70\%$ dari kondisi ideal,^[2] maka:

$$m_{fuel}^* = \frac{m_{udara}^*}{AFR} = \frac{1}{17,11 \times 0,7} \times 0,0145 = 0,00403 \frac{kg}{sc} = 4,36 \frac{kg}{jam}$$

1.6.2 Perhitungan Diameter Leher Ventury dan Nozzle



Gambar 1: Ventury dan Penempatan

Nozzle

Laju massa udara yang mengalir melalui leher *ventury* dapat dihitung dengan persamaan^[3]:

$$m_a^* = K_a A_a \sqrt{2g\rho_a(P_{th} - P_1)} \quad 1)$$

Keterangan:

K_a : koefisien kerugian aliran pada *ventury*

A_a : luas penampang upstream *ventury*

ρ_a : massa jenis udara

P_{th} : tekanan pada leher *ventury*

P_1 : tekanan atmosfer (101,325 kPa)

Dengan data laju massa udara yang telah dihitung, maka dapat dihitung tekanan pada leher *ventury*, dan selanjutnya dapat dihitung juga diameter leher *ventury* (D_{th}) = 16 mm.

Sedangkan laju massa bahan bakar dihitung dengan persamaan^[3]:

$$m_f^* = K_f A_f \sqrt{2g\rho_f (P_{th} - P_{bb})} \quad 2)$$

Keterangan:

K_f : koefisien kerugian aliran pada *nozzle*

A_f : luas penampang *upstream nozzle*

ρ_f : massa jenis bahan bakar

P_{th} : tekanan pada leher *ventury*

P_{bb} : tekanan pada rail bahan bakar

Dengan data:

Tekanan pada *rail* bahan bakar (P_{bb}) = 4,5 bar

Tekanan leher *ventury* (P_{th}) = 0,127 bar (*vacuum*)

Massa jenis gas LPG (ρ_{LPG}) = 2,47 kg/m³

Kecepatan aliran selang bahan bakar (V_i) = 2,48 m/sc

Diameter selang bahan bakar (D_{bb}) = 8 mm

Maka diameter *nozzle* (d) = 0,85 mm (2 buah lubang)

1.6.3 Penempatan Nozzle

Penempatan *nozzle* diperoleh melalui simulasi aliran fluida pada *ventury*. Penempatan *nozzle* harus dapat menghasilkan pencampuran udara dan bahan bakar LPG. Oleh karena itu lubang *nozzle* dirancang dua buah dan ditempatkan *pada* jarak 5 mm dari sumbu *ventury*, sehingga menghasilkan aliran tangensial terhadap penampang *ventury*.

Kadaan aliran udara di dalam *ventury* dijelaskan dengan hukum kekekalan masa, dan momentum. Hukum tersebut dapat dituliskan secara matematis sebagai berikut:

□ Persamaan kekekalan massa^[3]:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad 3)$$

□ Persamaan momentum ke arah sumbu x^[3]:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad 4)$$

□ Persamaan momentum ke arah sumbu y^[3]:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) - g[1 - \beta(T - T_o)] \quad 5)$$

□ Persamaan momentum ke arah sumbu z^[3]:

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad 6)$$

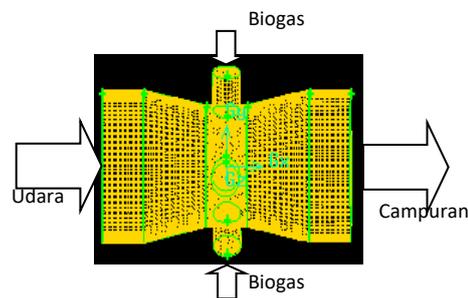
Pada persamaan 3–6 aliran fluida dianggap sebagai aliran fluida *incompressible*. Penyelesaian persamaan-persamaan tersebut didapat dengan menerapkan model volume hingga pada domain aliran menurut format Fluent 6.2, dengan beberapa idealisasi sebagai berikut :

- Aliran fluida adalah aliran *incompressible*
- Kecepatan fluida pada dinding-dinding *ventury* sama dengan nol.

Syarat batas yang dipergunakan adalah:

- Dinding dalam model adalah dinding halus.
- Kecepatan aliran fluida pada dinding sama dengan nol.
- Distribusi kecepatan aliran fluida masuk *ventury* dianggap seragam.

Langkah-langkah pemodelan dapat dilihat pada diagram alir dibawah ini.



Gambar 2: Mesh Generation

Data Simulasi:

- $\rho_{\text{udara}} = 1.2 \text{ kg/m}^3$
- $\rho_{\text{LPG}} = 2,47 \text{ kg/m}^3$
- $t_{\text{udara}} = 30^\circ \text{ C}$
- $t_{\text{LPG}} = 30^\circ \text{ C}$
- Laju massa udara masuk = $0,0145 \text{ kg/s} = 52,2 \text{ kg/jam}$
- Tekanan leher *ventury* $P_{\text{th}} = 0,127 \text{ bar (vacuum)}$
- Tekanan sisi masuk bahan bakar = 101325 Pa

2 Hasil dan Pembahasan

2.1 Hasil Perhitungan daya teoritis

Daya yang dihasilkan oleh sebuah mesin dapat dihitung dengan persamaan^[2]:

$$N = P_{\text{rerata}} \cdot V_1 \cdot z \cdot n \cdot a \cdot \frac{2\pi}{60000} \text{ kW} \tag{7)}$$

Keterangan:

- N : daya motor (kW)
- z : jumlah silinder
- V_1 : volume langkah (m^3)
- n : putaran poros engkol (rpm)
- P_{rerata} : tekanan efektif rata-rata (N/m^2).
- a : jumlah siklus per putaran (a= 1 untuk 2 langkah atau a = 1/2 untuk 4 langkah)

Tekanan efektif rata rata^[2]:

$$P_{\text{rerata}} = \frac{\eta m^* LHV}{V_1 n 2\pi a z} \text{ (Pa)} \quad 8)$$

Data:

Effisiensi teoritis (η_t) = 25% ^[2]

Lower Heating Value LPG = 47000 kJ/kg

Jumlah silinder (z) = 1

Air Fuel Ratio = 17,11 : 1

Faktor siklus (a) = 1/2

Volume silinder (V_1) = 0,00025 m³

Laju massa

bahan bakar = 4,31 kg/jam

Dengan data diatas selanjutnya dilakukan perhitungan pada putaran 5800 rpm, maka diperoleh:

Tekanan efektif rata-rata (Bmep) = 131534,3162 Pa

Data teoritis yang dihasilkan mesin (N_{teoritis}) = 9,98 kW = 13,38 HP

Efisiensi actual mesin^[2]:

$$\eta = \frac{N}{m^* \times LHV} \times 100\% \quad 9)$$

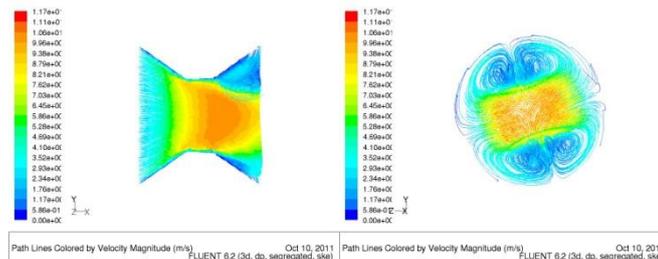
Keterangan:

m^* : konsumsi bahan bakar (kg/s)

LHV : lower heating value (kJ/kg)

2.2 Hasil Simulasi

Dari hasil simulasi diperoleh *path line* yang dibentuk oleh interaksi antar aliran udara pada *ventury* dan injeksi LPG, dapat dilihat pada gambar berikut:

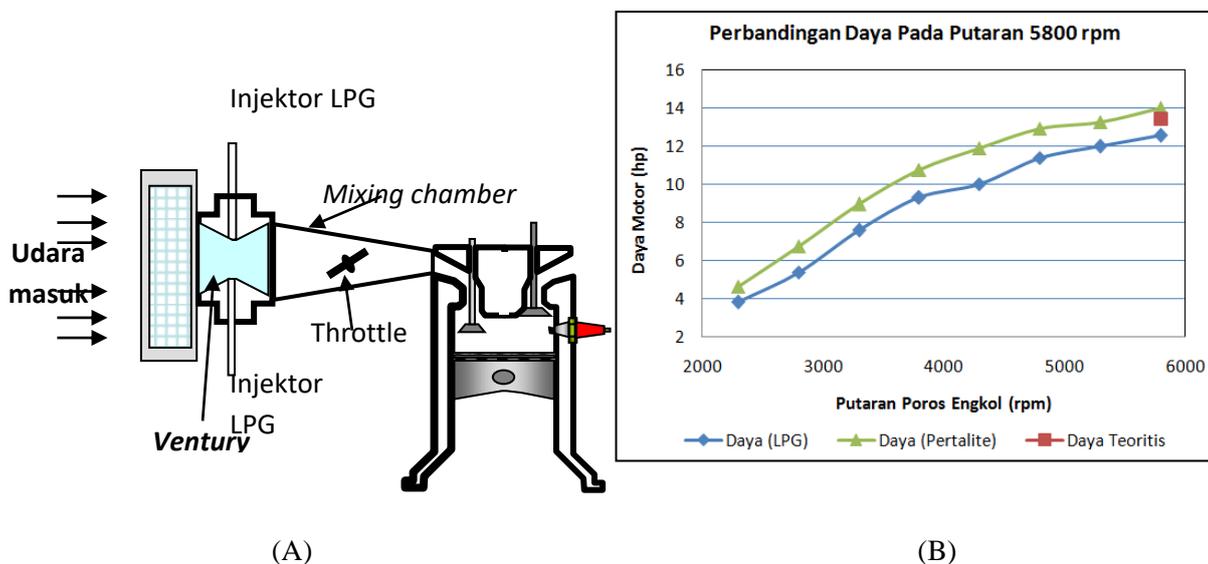


Gambar 3: *Path line* Hasil Simulasi CFD

Pola aliran yang dihasilkan adalah *quad vortex* yang kuat. Dengan demikian dapat diharapkan terjadi pencampuran LPG dengan udara yang merata sebelum masuk ke ruang bakar mesin. Salah satu syarat terjadinya pembakaran sempurna adalah bertemunya setiap molekul bahan bakar dengan oksigen. *Quad vortex* yang dihasilkan tersebut dapat menjamin terjadinya pertemuan molekul bahan bakar dengan oksigen sehingga menghasilkan pembakaran yang sempurna.

2.3 Hasil Pengukuran Daya Mesin dengan Dinamometer

Daya mesin ketika menggunakan bahan bakar pertalite pada putaran 5800 adalah 14,01hp. Hasil ini sedikit lebih tinggi dari pada daya teoritis yang dihitung menggunakan bahan bakar LPG yaitu 13,38 hp. Sedangkan daya hasil pengukuran yang dioperasikan dengan bahan bakar LPG adalah 12,53 hp. Selisih antara daya dengan bahan bakar pertalite dengan bahan bakar LPG hanya 1,7 hp atau sekitar 12 %. Perbedaan ini disebabkan nilai kalor yang berbeda. Nilai kalor bawah (LHV) untuk LPG adalah 47000 kJ/kg lebih rendah dari LHV pertalite 47300 kJ/kg. Perbedaan energi bahan bakar tersebut tentu saja menyebabkan terjadinya perbedaan daya luaran. Jika dilihat dari konsumsi bahan bakar, konsumsi LPG adalah 4,54 kg/jam sedikit lebih banyak dari pada konsumsi 4,31 kg/jam. Sehingga efisiensi mesin menggunakan LPG adalah 21,14 % dan dengan pertalite 24,74 %. Jadi jelas bahwa efisiensi mesin menggunakan LPG lebih rendah dari pada menggunakan pertalite. Efisiensi dalam menggunakan bahan bakar LPG masih dapat ditingkatkan lagi dengan memodifikasi ruang bakar sehingga rasio kompresinya menjadi 10:1 sementara itu mesin masih menggunakan rasio kompresi 8,5:1. Peningkatan rasio kompresi tersebut didukung oleh angka oktan LPG yang tinggi yaitu 97^[1].



Gambar 4:A). Skema konfigurasi mesin hasil modifikasi, B). Grafik Perbandingan Daya

3 Simpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan beberapa simpulan sebagai berikut ini :

1. Hasil perhitungan daya teoritis pada putaran 5800 rpm menggunakan bahan bakar LPG diperoleh *air fuel ratio* 17,11:1 dan daya teoritis 13,38 hp.
2. Dari hasil pengukuran pada putaran 5800 rpm dengan bahan bakar LPG diperoleh diperoleh daya 12,53 hp dan efisiensi 22,01 %, sedangkan menggunakan bahan bakar pertalite diperoleh daya 14,01 hp dengan efisiensi 24,74 %.
3. Dari data tersebut diambil kesimpulan bahwa modifikasi telah menunjukkan hasil yang positif, meskipun daya menggunakan LPG 12% lebih rendah dari menggunakan pertalite.
4. Tindak lanjut penelitian adalah peningkatan efisiensi penggunaan bahan bakar LPG dengan memodifikasi konstruksi ruang bakar agar diperoleh peningkatan rasio kompresi lebih tinggi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada segenap jajaran pimpinan ITS Surabaya yang telah mendanai kegiatan ini, sesuai surat perjanjian kerja nomor: 1014/PKS/ITS/2017. Terima kasih juga saya sampaikan kepada seluruh rekan dosen yang berpartisipasi.

Daftar Pustaka

- [1] Alif MH Shagir, 2017, Gas-LPG-Liquified-Petroleum-Gas-Pengertian-Sifat-Macam-dan-Jenis-Gas-LPG-serta-Penggunaannya, <http://www.alifmh-shagir.com/2017/02/.html>.
- [2] Arismunandar, Wiranto, 2002, Penggerak Mula Motor Bakar Torak, Institut Teknologi Bandung, Indonesia.
- [3] Fox, Robert W, McDonald Alan T, Pritchard, Philip J., 2011, Introduction to Fluid Mechanics, eighth edition, copy Right John Wiley & Sons, United State of America.
- [4] James D Halderman: "Automotive Technology Principles Diagnosis and Service", 4th edition, New Jersey, 2012