

## SISTEM INJEKSI BAHAN BAKAR SEPEDA MOTOR SATU SILINDER EMPAT LANGKAH

Bambang Sugiarto

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia

E-mail: [bangsugi@eng.ui.ac.id](mailto:bangsugi@eng.ui.ac.id)

---

### Abstrak

Sistem injeksi bahan bakar telah dikembangkan sejak lama. Namun umumnya sistem injeksi bahan bakar tersebut digunakan pada mesin mobil. Penggunaan sistem ini pada mesin sepeda motor dengan silinder tunggal masih belum luas. Dengan penggunaan sistem injeksi bahan bakar, debit bahan bakar dapat dikontrol sesuai dengan parameter mesin seperti putaran mesin, debit udara yang masuk, serta volume bahan bakar untuk setiap siklus, pada semua kondisi mesin. Penelitian sistem injeksi bahan bakar ini dilakukan untuk mengetahui efisiensi volumetris sistem intake manifold, kebutuhan bahan bakar untuk setiap siklus mesin, dan karakteristik mesin pada setiap kondisi yang diujikan. Penelitian sistem injeksi bahan bakar untuk mesin satu silinder dengan siklus Otto empat langkah, dilakukan pada mesin Honda CB100 dan dilaksanakan di Laboratorium Termodinamika Departemen Teknik Mesin FTUI. Dari uji eksperimen dalam penelitian ini menunjukkan karakteristik lama buka injector yang sesuai dengan fungsi putaran mesin, dan tekanan intake pada mesin satu silinder. Sedangkan dari hasil penelitian ini menunjukkan nilai efisiensi volumetris yang baik dengan desain intake manifold menggunakan hasil simulasi CFD (Computational Fluid Dynamic).

### Abstract

**Fuel Injection System for One Cylinder Motor Cycle Engine.** Fuel injection has been developed for many years. But its common application is limited on car's engine. With many reason fuel injection systems in motorcycle one cylinder engine has not been widely used yet. Fuel Injection System allows the amount of fuel, injected to be controlled appropriate to engine parameters such as engine speed, amount of air inducted to cylinder, temperature, for each cycle, over the entire engine operating conditions. This fuel injection research is done to find out the Volumetric Efficiency of the intake manifold system, the amount of fuel need to be injected for each engine cycle, and the engine characteristics over variation of test conditions. This research based on Honda CB100 engine, at applied thermodynamic Laboratory of Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering University of Indonesia. Experiment data from this research shows the characteristics of injector duration as functions of engine speed, intake pressure, on one cylinder engine and the results of this research shows a good Volumetric Efficiency of the intake manifold designed using CFD (Computational Fluid Dynamic).

*Keywords: fuel injection system for motor cycle, intake manifold, computational fluid dynamic*

---

### 1. Pendahuluan

Pada mesin dengan karburator, terjadi *head loss* pada venturi. *Head loss* ini berupa penurunan tekanan pada saluran masuk (*intake manifold*) yang akan berbanding lurus dengan penurunan debit udara yang masuk ke dalam silinder. Sehingga besarnya *head loss* pada karburator akan mempengaruhi efisiensi volumetrik secara langsung.

Sedangkan pada mesin dengan sistem injeksi bahan bakar, dimana bahan bakar diinjeksikan dekat dengan

katup hisap, maka *intake manifold* dapat didesain untuk lebih memaksimalkan aliran udara yang masuk tanpa adanya kerugian tekanan pada sistem pemasukan.

Proses pengkabutan bahan bakar di karburator merupakan fungsi dari aliran udara sebagai variabel bebas. Pada *venturi* kecepatan aliran udara akan meningkat dan tekanan udara akan turun, sehingga bahan bakar akan mengalir melalui *nozzle* akibat adanya beda tekanan antara tekanan di *venturi* dengan tekanan bahan bakar di ruang pelampung. Pengontrolan debit bahan bakar yang masuk ke silinder dilakukan dengan prinsip beda tekanan tersebut [1].

Pada mesin dengan sistem injeksi bahan bakar, pengontrolan debit bahan bakar dilakukan berdasarkan parameter beban dan kecepatan mesin untuk setiap siklus. Sehingga sistem injeksi bahan bakar memungkinkan pencampuran udara-bahan bakar dapat lebih tepat dan homogen. Disamping itu dengan penginjeksian bahan bakar di dekat katup masuk *losses* pada aliran bahan bakar akibat berat jenis dan sifat termodinamik bahan bakar dapat diminimalkan [2].

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik mesin satu silinder empat langkah yang menggunakan sistem injeksi bahan bakar, meliputi tekanan *intake manifold*, debit udara yang masuk, debit bahan bakar yang dibutuhkan, dan efisiensi volumetris pada saluran masuk (*intake manifold*).

## 2. Metode Penelitian

Pada tahap desain, dilakukan proses desain penempatan injektor, dengan menggunakan alat bantu program CFD (*Computational Fluid Dynamic*) Phoenics untuk mensimulasikan bentuk laluan *intake manifold* sebagai variabel yang konstan. Untuk itu, pada tahap desain ini, parameter yang dinilai dalam simulasi CFD adalah letak injektor yang mampu memberikan pencampuran udara-bahan bakar yang homogen di dalam *intake manifold*. Parameter yang kedua mensyaratkan pencampuran udara-bahan bakar yang homogen harus terjadi pada berbagai kondisi putaran mesin.

Eksperimental ini dilakukan pada Mesin CB 100 di Laboratorium Termodinamika Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, dengan berbagai variasi putaran mesin tanpa beban dan data pengukurannya dikirim ke komputer melalui *data acquisition system*.

Spesifikasi Mesin uji ( Honda CB 100):

- *Bore x stroke, mm* : 50,5 x 49,5
- *Compression ratio/press, psi* : 9,0 / 156 - 213
- *Valve timing/lift, degree/mm*  
*Intake open/close* : 5°BTDC/35°ABCD  
*Exhaust open/close* : 30°BBDC/5°ATDC
- *Ignition timing, mm or* : 10°(F)/1300 to  
*BTDC/ speed, rpm* : 36°-40°/3700-4000
- *Spark plug grade/gap, mm* : NGK DR8ES/0,6-0,7

Spesifikasi Sistem Electronic Fuel Injection:

- Jenis : Haltech F9
- Kebutuhan listrik : 8,6 – 16 Volt DC
- Konsumsi Listrik  
 ECU : 270 mA pada 12 Volt
- Input sensor
  1. *Manifold Absolute Pressure (MAP) Sensor*  
 1 Bar : -100 kPa sampai 0 kPa (*Naturally aspirated*)

2. Temperatur Sensor (Udara dan Mesin)

➤ Tipe NTC *temperature dependent resistor*

➤ Jangkauan operasi

Kontinyu -40° sampai 100°C

*Intermittent* sampai 125°C

3. *Throttle Position Sensor*

4. *Engine Speed Pickup*

• *ECU output*

1. *Injector Driver*

4 x 4/1 A *peak and hold injector*

2. *Fuel Pump Control*

• *Adjustable features Base Fuel Map*

- 22 *Fuel ranges*, setiap 500 RPM sampai dengan 10.500 RPM, atau

- 17 *Fuel ranges*, setiap 1.000 RPM sampai dengan 16.000 RPM

• *Datalogging* 5 titik kondisi setiap detik

• Koneksi ke komputer dengan menggunakan kabel serial *RS232C port 9 pin D connector*

Sistem Bahan Bakar:

1. Pompa Bahan Bakar

Jenis : *In-tank*

Merk : Aisan

Tekanan Maksimal : 3,5 bar

2. *Fuel pressure regulator*

Merk : Denso 1262

Tekanan Maksimal : 2,5 bar

3. *Fuel injector*

Jenis : *Pintle* bertahanan tinggi

Debit massa : 200 gr/menit

Diameter dalam : 5 mm

Pengambilan data pada pengujian ini dilakukan dengan variasi sebagai berikut :

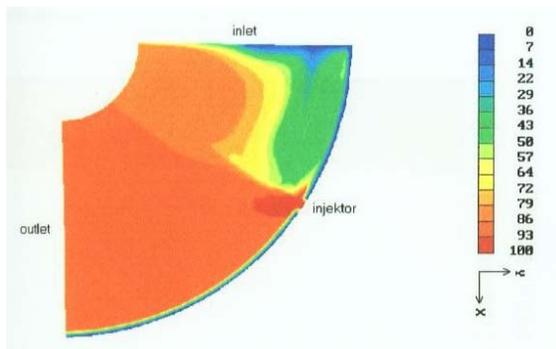
1. Pengambilan data melalui pengujian pada kondisi putaran mesin yang tetap mulai dari kecepatan putar mesin 2000 – 8500 rpm pada setiap kenaikan 500 rpm, akselerasi, dan deselerasi. Hasil dari pengambilan data ini adalah: putaran mesin, tekanan *intake*, lambda dan waktu buka injektor.
2. Pengolahan dan pengambilan data dimulai pada saat kondisi mesin dalam keadaan steady untuk setiap kecepatan putar mesin.
3. Menentukan lama buka injektor teoritis campuran udara-bahan bakar stokiometri ( $\Lambda = 1$ ) berdasarkan pengambilan data awal berupa tekanan *intake manifold*, temperatur udara masuk, dan efisiensi volumetris hasil perhitungan langkah kedua. Debit injektor telah diketahui dengan rumus teoritis yang ada.
4. Pengujian dimulai dari campuran yang *rich*, dan diarahkan ke kondisi *lean*, dan hasil eksperimen ini akan dibandingkan dengan durasi buka injektor teoritis ( $\Lambda = 1$ ) dan dilihat kecenderungan nilai Lambda pada berbagai kondisi mesin.

### 3. Hasil dan Pembahasan

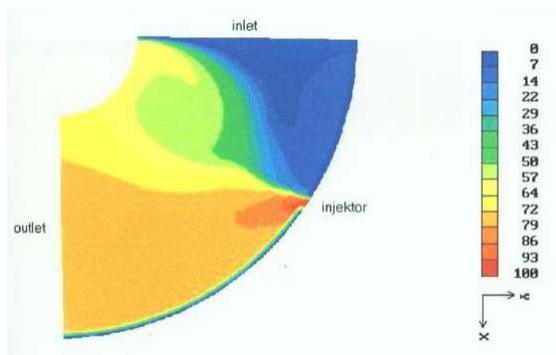
Analisis Desain Penempatan Injektor hasil simulasi CFD. Simulasi CFD ini menyatakan proses penginjeksian bahan bakar sesaat, dimana hasil simulasi menunjukkan distribusi aliran bahan bakar yang diinjeksikan secara terputus-putus (*intermittent*).

Pada Gambar 1 dan 2, adalah hasil simulasi CFD yang dilakukan pada *elbow* dari *intake manifold* dimana terjadi proses pencampuran udara dengan bahan bakar yang diinjeksikan. *Elbow* memiliki diameter dalam 10 mm, dan diameter luar 40 mm. Diameter *intake* 30 mm. Tekanan *intake manifold* dianggap konstan antara *inlet* dan *outlet* dan beda tekanan injektor dengan *intake* selalu 2,5 bar. Pada tahap ini, simulasi dilakukan dua kali, pada tekanan *intake* -54 kPa dan 0 kPa. Dari hasil simulasi CFD ini diketahui bahwa desain yang dibuat mampu menghasilkan campuran udara-bahan bakar yang cukup homogen (merah-oranye). Ini membuktikan bahwa desain *intake manifold* bantuan CFD tersebut cukup baik dari segi pencampuran udara-bahan bakar.

Data simulasi CFD adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Kontur Konsentrasi Bahan Bakar pada tekanan *intake manifold elbow* -54 kPa

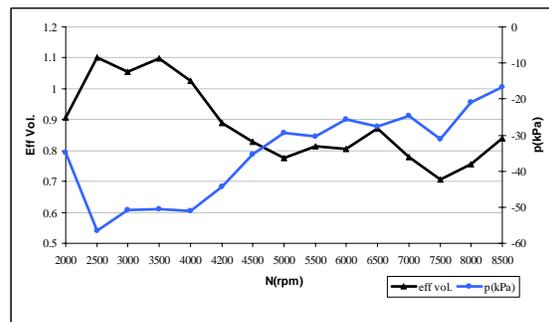


Gambar 2. Kontur Konsentrasi Bahan Bakar pada tekanan *intake manifold elbow* 0 kPa

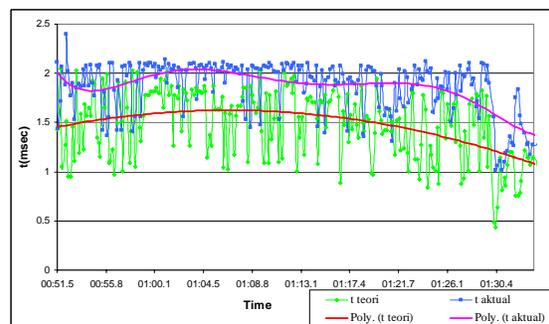
Analisis Efisiensi Volumetris, data-data diambil pada kondisi kecepatan putaran mesin yang tetap untuk setiap titik data.

Dari Gambar 3, dapat diketahui bahwa kecepatan rendah tekanan *intake* berkisar -56 kPa. Dan pada kondisi putaran tertinggi tekanan *intake* -16 kPa. Namun demikian kenaikan tekanan *intake manifold* tidak menunjukkan kenaikan yang kontinyu. Kenaikan tekanan *intake* berfluktuasi, hal ini disebabkan oleh karena kondisi mesin belum pada keadaan *steady*. Efisiensi volumetris maksimal yang dapat tercapai 1,100 pada kecepatan 2500 rpm dan 3500 rpm, dan efisiensi volumetris minimal 0,755 pada kecepatan 8000 rpm. Setelah mencapai nilai maksimal di kecepatan 3500 rpm, efisiensi volumetris turun secara kontinyu dan berkisar pada nilai 0,800. Penurunan efisiensi volumetris ini dapat disebabkan oleh gesekan yang makin besar.

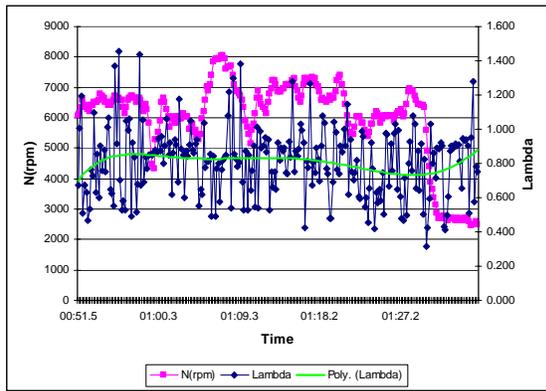
Analisis Campuran Udara-Bahan Bakar, berdasarkan data hasil perhitungan teoritis dan hasil pengujian eksperimental, durasi bukaan injektor ditampilkan pada Gambar 4.



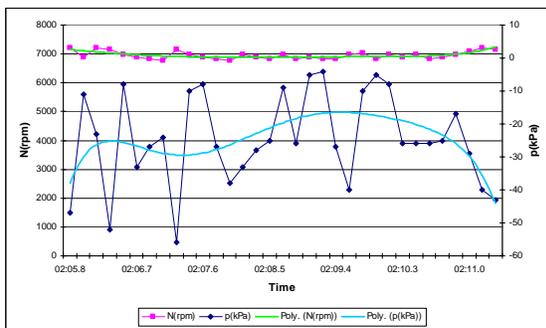
Gambar 3. Karakteristik Efisiensi Volumetris dan tekanan *Intake Manifold*



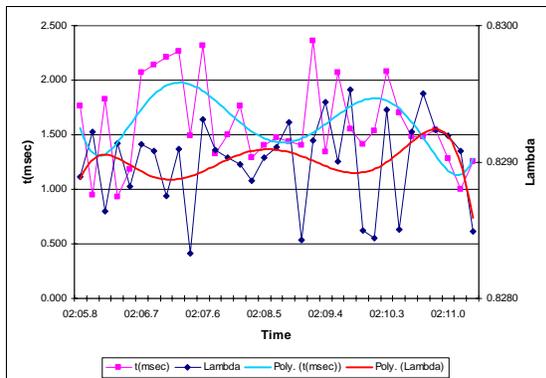
Gambar 4. Durasi Buka injektor Teori vs. Aktual



Gambar 5. Perubahan Nilai Lambda



Gambar 6. Karakteristik intake saat stasioner pada kecepatan tinggi

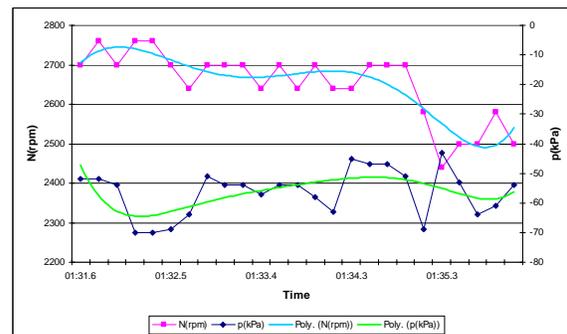


Gambar 7. Grafik durasi injektor dan lambda saat stasioner kecepatan tinggi

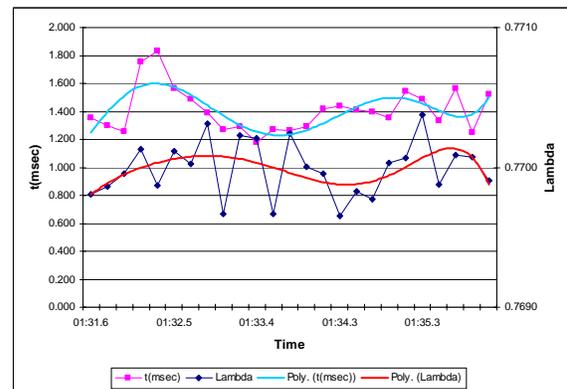
Dari Gambar 5, maka dapat diketahui bahwa nilai durasi buka injektor aktual didapat lebih besar dibandingkan nilai durasi buka injektor teoritis. Nilai durasi buka injektor aktual ini adalah nilai minimal yang dapat dicapai sebelum mesin cenderung untuk mati. Hal ini disebabkan untuk campuran yang lebih *lean*, proses pembakaran menjadi sangat lambat, *delay period*

meningkat dan terjadi pembakaran parsial, akibatnya variasi pembakaran didalam silinder semakin fluktuatif. Dari referensi yang ada [3], dijelaskan pada putaran rendah beda tekanan *intake manifold* dengan *exhaust manifold* adalah sangat besar. Sehingga gas sisa pembakaran akan mengalir dari silinder ke *intake manifold*, dan mengakibatkan presentase gas sisa pembakaran meningkat pada kondisi *idle*, yang akan mengencerkan (*diluted*) *fresh mixture* yang masuk ke silinder.

Dari Gambar 6 dan 7 pada 7000 rpm dapat dianalisis diketahui bahwa pada kecepatan putar yang tinggi, tekanan *intake manifold* berfluktuasi pada amplitudo yang tinggi. Fluktuasi ini dapat disebabkan aliran udara yang berkecepatan tinggi dan siklus buka-tutup katup masuk yang menyebabkan terjadinya inersia aliran udara yang tinggi dan menimbulkan gelombang tekanan yang berfluktuasi dan mempengaruhi tekanan *intake manifold*. Terlihat kecenderungan bukaan injektor sebanding dengan tekanan *intake manifold*. Garis persamaan polinomial durasi buka injektor dan tekanan *intake manifold* menunjukkan periode yang sama. Terjadi



Gambar 8. Karakteristik intake saat stasioner pada kecepatan rendah



Gambar 9. Grafik durasi injektor dan lambda saat stasioner kecepatan rendah

beberapa keterlambatan respons injektor terhadap tekanan *intake manifold* yang sangat berfluktuasi.

Dari Gambar 8 dan 9 dapat diketahui bahwa pada kecepatan yang rendah kevacuuman yang tinggi terjadi didalam *intake manifold*. Hal ini menyebabkan aliran udara yang lebih kontinyu, sehingga mengakibatkan amplitudo pulsa tekanan akan lebih kecil dibandingkan dengan kondisi mesin pada kecepatan tinggi. Untuk kecepatan putar mesin yang rendah durasi buka injektor diatur cenderung lebih *rich*. Hal ini diperlukan untuk menjaga operasi mesin yang stabil.

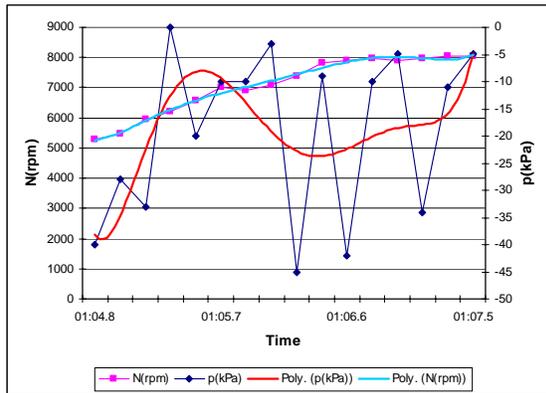
Pada saat mesin berakselerasi dari kecepatan putar 5280 rpm ke sekitar 8000 rpm, didapatkan data kecepatan putar, tekanan *intake manifold*, dan durasi buka injektor sehingga dapat dihitung nilai lambda saat akselerasi.

Dari Gambar 10 dan 11 dapat diketahui bahwa terjadi keterlambatan respons perubahan tekanan *intake manifold* terhadap perubahan putaran mesin. Hal ini disebabkan volume *intake manifold* yang terbatas sehingga tingkat tekanan didalam *manifold* bertambah dengan lebih lambat. Akibatnya perbedaan tekanan

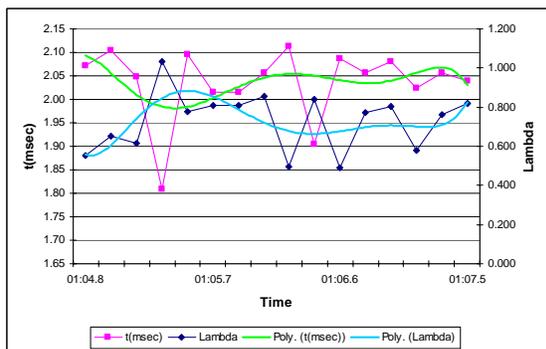
antara kondisi awal dan akhir pada perubahan *throttle* menjadi lebih besar. Durasi buka injektor menunjukkan kenaikan, tetapi tidak sebanding dengan kenaikan tekanan *intake manifold*, hal ini dikarenakan pengaturan campuran udara-bahan bakar yang lebih *lean* pada kondisi kecepatan putar mesin yang lebih tinggi dan juga tekanan *intake* yang lebih tinggi.

Berdasarkan hasil eksperimen pada saat mesin berdeselerasi dari 3960 rpm ke 2700 rpm, didapatkan data kecepatan putar, tekanan *intake manifold*, dan durasi buka injektor sehingga dapat dihitung nilai Lambda pada saat deselerasi.

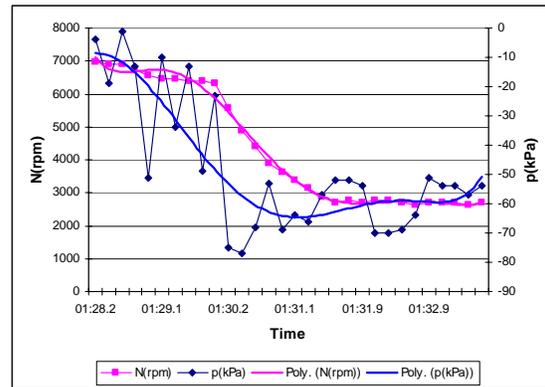
Dari Gambar 12 dan 13 dapat diketahui bahwa pada saat deselerasi tekanan *intake manifold* secara keseluruhan turun dengan drastis dan sebanding dengan turunnya kecepatan putar mesin. Fluktuasi tekanan *intake manifold* masih tetap terjadi. Pada akhir deselerasi tekanan *intake* akan mengalami kenaikan untuk menuju kondisi *steady* pada putaran rendah. Hal ini diikuti oleh durasi buka injektor, namun penurunan dan kenaikan



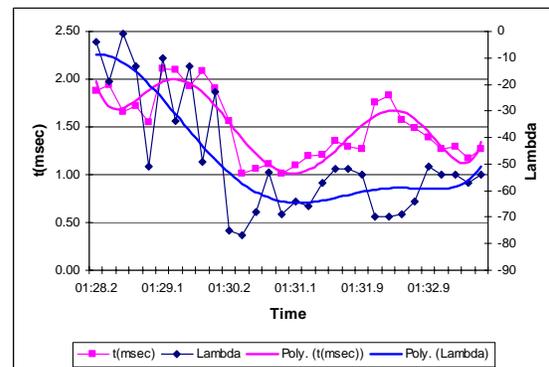
Gambar 10. Karakteristik *intake* saat akselerasi



Gambar 11. Grafik durasi injektor dan lambda saat akselerasi



Gambar 12. Karakteristik *Intake Manifold* saat Deselerasi



Gambar 13. Grafik durasi buka injektor dan lambda saat deselerasi

tekanan *intake* ini tidak sebanding dengan durasi buka injektor. Oleh karena durasi buka injektor diatur untuk menghasilkan campuran yang lebih *rich* pada kecepatan putar mesin yang rendah. Sehingga Lambda pada putaran rendah akan lebih rendah dibandingkan pada putaran tinggi.

#### 4. Kesimpulan

Dari pembahasan berdasarkan simulasi dan pengamatan data pengujian maka diketahui pengaruh desain *intake manifold* terhadap efisiensi volumetris dan karakteristik kerja mesin. Berdasarkan analisis tersebut dapat disimpulkan bahwa desain *intake manifold* model *elbow* dengan bantuan simulasi CFD mampu menghasilkan campuran udara-bahan bakar yang cukup homogen. Ini membuktikan bahwa desain *intake manifold* bantuan CFD tersebut sangat baik dari segi pencampuran udara-bahan bakar. Desain *intake manifold* dengan bantuan simulasi CFD ini, menghasilkan efisiensi volumetris yang cukup baik, khususnya pada kecepatan rendah. Pada mesin 4 langkah satu silinder ini terjadi fluktuasi tekanan masuk yang besar terutama pada kecepatan putar mesin yang tinggi. Fluktuasi ini dapat menyebabkan keterlambatan respons alat. Pada penelitian ini, yang menggunakan kondisi mesin tanpa

beban diperoleh nilai Lambda yang tidak dapat mencapai nilai stoikiometri. Nilai Lambda yang didapat adalah parameter batas operasi mesin yang stabil. Terjadi keterlambatan respons perubahan tekanan *intake manifold* terhadap perubahan kondisi mesin sehingga perlu dikembangkan bentuk geometri *manifold* dan perletakkan injektor yang lebih optimal.

#### Ucapan Terima Kasih

Kepada Bayu Priyantoro ST dan dilanjutkan oleh Indra Nugroho yang telah mengambil topik skripsi dalam riset ini atas seluruh kerja keras dan dedikasinya.

#### Daftar Acuan

- [1] J.B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw Hill Int. Ed., New York, 1988, p.151.
- [2] J.H. Weaving, Internal Combustion Engineering: Science and Technology, Elsevier Applied Science, London, 1990, p.223.
- [3] A.A. Quader, SAE Technical Papers No. 760760, Society of Automotive Engineer, 1976.