

PENGUKURAN EFISIENSI VOLUMETRIK DENGAN MENGUNAKAN BANGKU UJI MESIN MOTOR BENSIN BERBASIS *FUEL INJECTION*

Septio Trifosa Persisco, Makdin Sinaga, Filian Arbiyani, Christiand, Arka Dwinanda
Soewono*

¹ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya

*Email: arka.soewono@atmajaya.ac.id

ABSTRAK

Hampir semua kendaraan baru pada saat ini menggunakan sistem distribusi bahan bakar berbasis sistem *fuel injection*. Keunggulan utama dari *fuel injection* adalah kemampuan untuk menyempatkan jumlah bahan bakar yang dibutuhkan secara akurat ke dalam ruang bakar dengan bantuan *Electronic Control Unit* (ECU) untuk mengatur sistem tersebut. Oleh sebab itu, mesin dengan menggunakan *fuel injection system* secara teori mengalami peningkatan efisiensi. Di penelitian ini, sebuah alat bangku uji (*test bench*) berbasis mesin motor empat-langkah dengan system bahan bakar injeksi telah sukses dirancang dan dibangun. Studi eksperimental dengan alat bangku uji dilaksanakan untuk mengukur untuk efisiensi volumetrik dan engine power loss dalam kondisi tanpa beban. Berdasarkan hasil pengamatan, diketahui bahwa efisiensi volumetrik dari mesin sebesar 61,7% pada saat *throttle* sepenuhnya dibuka. Selain itu, putaran mesin juga merupakan faktor yang mempengaruhi efisiensi volumetrik dari mesin di mana peningkatan putaran mesin akan menghasilkan penurunan efisiensi volumetric. Lebih jauh lagi, *Engine Power Losses* (EPL) semakin meningkat seiring dengan peningkatan putaran mesin dengan nilai *power loss* tertinggi yang dihasilkan mesin sebesar 3,4 J/s pada putaran mesin 8000 RPM yang disebabkan oleh gabungan *friction loss* dan *pumping loss*.

Kata Kunci: Bangku uji, efisiensi volumetrik, *fuel injection*, *engine power loss*.

ABSTRACT

Almost all modern vehicles nowadays are equipped with fuel injection system. The main advantage of fuel injection is its ability to inject the precise amount of fuel into the cylinder of the combustion chamber with the help of Electronic Control Unit (ECU) to manage the system. Hence, engine with fuel injection system theoretically has higher efficiency. In this study, an engine test bench is fitted with a four-stroke motorcycle engine equipped with fuel injection was successfully designed and build. In order to measure engine volumetric efficiency and engine power loss, experimental studies were conducted using the test bench under no load condition. It was found that the highest volumetric efficiency of the engine is 61.7% which was achieved when the throttle was fully-opened. Moreover, the engine volumetric efficiency is shown to be highly affected by engine RPM: volumetric efficiency dropped as engine RPM increased. Furthermore, increasing engine RPM also resulted in increases in engine power loss with maximum loss of 3.4 J/s was recorded at 8000 RPM, which can be attributed due to higher friction and pumping loss.

Keywords: Engine test bench, volumetric efficiency, *fuel injection*, *engine power loss*.

1. PENDAHULUAN

Hampir seluruh kendaraan modern menggunakan sistem fuel injeksi (*fuel injection*) sebagai sistem distribusi bahan bakar ke dalam ruang bakar pada mesin. *Fuel injection* digunakan sebagai pengganti karburator, sebab sistem fuel injection dianggap lebih akurat dan konsisten, serta

mudah diterapkan dan dikontrol [1]. Kelebihan tersebut diharapkan dapat meningkatkan efisiensi mesin dan mengurangi hasil gas buang. Salah satu kelemahan utama dari sistem *fuel injection* yaitu prosedur perawatan yang lebih rumit dari karburator dikarenakan sistem fuel injection terdiri dari banyak komponen elektronik agar dapat bekerja, sedangkan sistem karburator tidak perlu

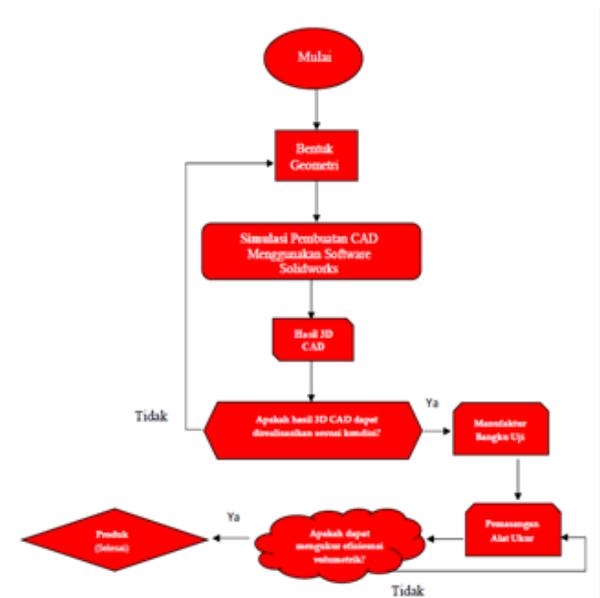
adanya bantuan komponen elektronik tertentu untuk dapat bekerja.

Sistem *fuel injection* bekerja dengan cara mengubah bahan bakar cair menjadi kabut (*mist*) yang dilakukan dengan memompa bahan bakar melalui nosel yang berukuran sangat kecil pada kondisi tekanan tinggi. Kabut bahan bakar tersebut pada umumnya masuk ke dalam *intake manifold* dan dicampur dengan udara. Campuran tersebut kemudian masuk ke dalam ruang bakar melalui *intake valve* di mana proses pembakaran terjadi. Tekanan piston di ruang bakar juga membantu menghisap campuran udara dan bahan bakar. Oleh sebab itu, sistem injeksi bahan bakar pada umumnya menggunakan sistem kontrol elektronik sebagai teknologi kunci untuk mengukur dan mengatur bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar secara tepat [2]. Beberapa faktor utama yang dapat mempengaruhi efektivitas penggunaan sistem *fuel injection* termasuk pola penyemprotan [3], dan tekanan pompa bahan bakar [4, 5]. Penggunaan sistem kontrol elektronik dikombinasikan dengan suplai bahan bakar dalam bentuk kabut menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna. Sebagai imbasnya, mesin mengalami peningkatan efisiensi penggunaan bahan bakar, pengurangan emisi gas buang, durabilitas dan reliabilitas yang tinggi, serta pengoperasian yang lebih halus.

Salah satu kendala utama yang dihadapi oleh mesin berbasis sistem injeksi adalah adanya penggunaan pompa bahan bakar yang menyebabkan kerugian *engine power loss*. Dua hal utama yang berkontribusi pada *power loss* yaitu *pumping loss* dan *friction loss* pada jalur suplai bahan bakar. Akan tetapi, penelitian terkait pengaruh *engine power loss* terhadap kinerja mesin masih terbatas dan perlu dipelajari lebih lanjut. Oleh sebab itu, tujuan dari penelitian ini adalah melakukan kaji eksperimental dengan menggunakan bangku uji mesin motor bensin berbasis *Fuel Injection* (FI) untuk mengukur efisiensi volumetrik (*volumetric efficiency*) dan *engine power loss*. Mesin yang digunakan pada bangku uji adalah mesin sepeda motor Honda Scoopy FI. Pengukuran *volumetric efficiency* dan *engine power loss* dilakukan pada kondisi RPM mesin yang bervariasi.

2. LANDASAN TEORI DAN METODE PENELITIAN

Penelitian ini terdiri dari dua tahap yaitu tahap rancang bangun bangku uji dan tahap pengujian efisiensi volumetrik. Proses perancangan bangku uji diawali dengan melakukan desain prototipe secara 3D menggunakan *software SolidWorks*. Setelah itu, analisis berdasarkan perhitungan teori dan simulasi dilakukan untuk mengetahui lokasi penempatan engine yang tepat beserta *damper* untuk menahan getaran yang disebabkan oleh mesin, beserta komponen-komponen lain sesuai dengan diagram alir pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Tabel 1 meringkas daftar kehendak dalam proses rancang bangun bangku uji untuk memilih material, ukuran atau dimensi, serta komponen dan alat ukur yang digunakan pada pembuatan bangku uji. Material yang dipilih untuk rangka rangka adalah baja karbon, roda menggunakan roda *polyurethane* dengan sistem pengunci (*brake*). Untuk mempermudah pengumpulan data, semua alat ukur yang dipilih menggunakan tampilan digital. Untuk meredam getaran mesin maka digunakan sistem *damper engine mounting* (karet mesin) di bangku uji.

Tabel 1. Daftar Kehendak Bangku Uji

Karakteristik	Persyaratan
	Tahan terhadap korosi.
Material	Memiliki sifat yang kuat untuk mengangkat beban lebih dari 50 kg Mudah dalam proses manufaktur
Geometri	Memiliki Sifat mampu las yang baik Ukuran luas <i>plane</i> dasar lebih dari 450 mm x 650 mm Mampu diberikan peredam
Manufaktur	Proses manufaktur yang mudah dilakukan Mampu mengangkat beban lebih dari 65kg
Roda	Dapat dikunci atau direm Dapat bergerak ke segala arah Tidak licin atau selip Mendeteksi aliran udara pada filter <i>intake</i> Mendeteksi RPM mesin
Alat Ukur	Mendeteksi suhu udara bagian <i>intake</i> Mendeteksi <i>Fuel Consumption</i> Dengan <i>output</i> digital yang mudah dibaca

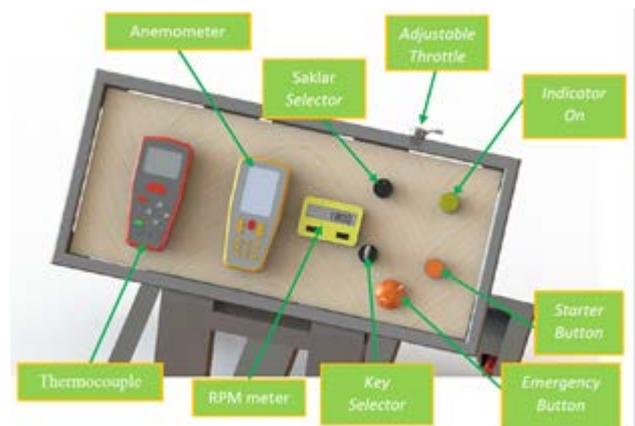
Mesin yang dipasang di alat bangku uji menggunakan mesin motor standar pabrikan dengan teknologi *Fuel Injection* yang dikombinasikan dengan beberapa alat ukur yang telah dimodifikasi, agar dapat bekerja menjadi satu sistem. Mesin yang digunakan adalah mesin motor matic 4-tak dengan kapasitas mesin 110 cc dan teknologi PGM-FI [6]. Mesin menggunakan *Electronic Control Unit* bawaan sehingga mesin akan bekerja sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan dan tidak ada modifikasi performa yang dilakukan pada mesin yang digunakan. Spesifikasi dari mesin yang digunakan dalam melakukan percobaan dapat dilihat di Tabel 2

Tabel 2. Spesifikasi Mesin

Tipe Mesin	4 Langkah, SOHC
Diameter x Langkah	50 mm x 55 mm
Volume	108 cc
Rasio Kompresi	9,2 : 1
Daya Maksimum	6,27 kW @ 8000 RPM
Torsi Maksimum	8,68 N.m) @6500 RPM

Tipe Kopling	Otomatis, Sentrifugal, Tipe kering
Tipe Transmisi	Otomatis, V-Matic
Tipe Battery	MF battery, 12 V – 3 Ah
Busi	NGK CPR9EA-9 Denso U27EPR9

Gambar 2. menunjukkan panel kendali dari bangku uji, dimana terdapat *airflow meter*, saklar *selector*, *adjustable throttle*, *indicator on*, *starter button*, *emergency stop button*, *key selector*, *RPM meter*, dan *thermocouple reader*. Termokopel (*thermocouple*) tipe J digunakan untuk mengukur suhu ruangan dan suhu pada *exhaust* mesin. *Hot-wire airflow meter* digunakan untuk mengukur debit aliran dan suhu udara yang masuk ke dalam ruang bakar. Sebagai pelengkap *tachometer* bawaan pabrik, RPM meter secara spesifik digunakan untuk mengukur putaran *crankshaft* (RPM) agar lebih akurat. *Starter button* berguna untuk mengaktifkan mesin, *emergency button* digunakan apabila dalam situasi tertentu mesin harus dimatikan dengan segera. Pengaturan putaran mesin dilakukan dengan menggunakan *adjustable throttle*. Pada kerangka bangku uji juga terdapat pemasangan komponen lain seperti aki, tangki bahan bakar, dan pipa gas buang agar mesin dapat secara optimal.

**Gambar 2.** Panel Kendali Bangku Uji

Pengujian efisiensi volumetric mesin dibagi menjadi dua tahap yaitu tahap persiapan yang diawali dengan kalibrasi alat ukur serta menghidupkan mesin hingga mencapai kondisi kerja (*hot start*). Tahap kedua adalah tahap pengambilan dan pencatatan dalam bentuk Microsoft Excel file. Adapun langkah-langkah percobaan dan pengumpulan data adalah sebagai berikut:

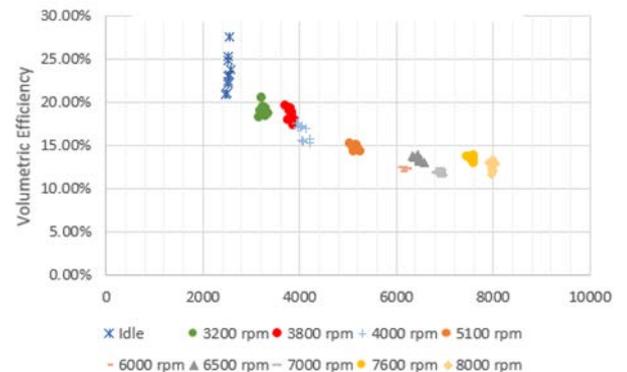
1. Ketika mesin diaktifkan, perhatikan rem (lock) pada roda sudah terkunci. Kemudian baru mesin diaktifkan.
2. Mesin dibiarkan aktif hingga mencapai kondisi *hot start*.
3. Untuk mengukur efisiensi volumetrik yang valid (mengurangi risiko kondisi vakum pada saat proses kompresi), maka parameter bukaan throttle dibuka penuh (100%).
4. Proses pengambilan sampel dilakukan selama 60 detik, dimana setiap 5 detik pengambilan data dilakukan dengan cara mengamati alat ukur.
5. Data yang didapatkan kemudian disimpan dan dicatat menggunakan Microsoft Excel untuk perhitungan dan analisis lebih lanjut.
6. Pengukuran dilakukan menggunakan variabel putaran mesin dengan menggunakan bukaan throttle yang berbeda-beda, dimana bukaannya akan semakin meningkat yakni pada kondisi 2400 RPM (kondisi *Idle*) , 3200 RPM, 3800 RPM, 4000 RPM, 5100 RPM, 6100 RPM, 6500 RPM, 7000 RPM, 7600 RPM, dan 8000 RPM. Pendinginan mesin menggunakan fan untuk mengurangi resiko *overheat*.
7. Pengambilan data pada 2000 RPM hingga 7000 RPM dilakukan selama 1 menit sekali, sebanyak 10 kali dengan total 10 menit, untuk putaran mesin diatas 7000 RPM pengambilan data dilakukan selama 30 detik sekali, sebanyak 10 kali dengan total 5 menit.
8. Setiap pergantian RPM diselingi dengan proses idling agar suhu mesin tetap terjaga ketika proses pengambilan data.

Setelah data dikumpulkan, perhitungan efisiensi volumetrik dilakukan dengan cara membandingkan data pengukuran debit aliran udara yang masuk ke ruang bakar dengan volume teoritis dari silinder.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

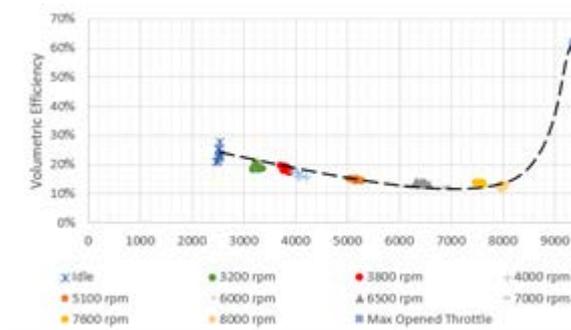
Hasil pengujian efisiensi volumetrik pada bangku uji pada kondisi RPM berbeda menunjukkan bahwa posisi *throttle* sangat mempengaruhi kemampuan motor bakar dalam menghisap udara masuk ke ruang bakar (Gambar 3). Kenaikan putaran mesin yang tidak sebanding dengan debit udara yang masuk, membuat efisiensi volumetrik menjadi rendah (cenderung menurun). Hal tersebut juga

disebabkan oleh hambatan yang terjadi di dalam sistem saluran udara sehingga jumlah udara yang masuk menjadi berkurang seiring dengan siklus pembakaran yang semakin cepat pada saat putaran mesin semakin meningkat [7].



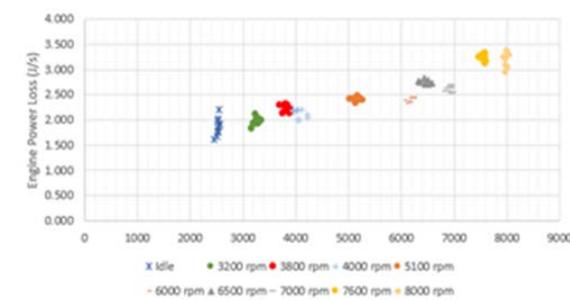
Gambar 3. Pengujian Efisiensi Volumetrik Pada Kondisi *Throttle* Dibuka Sebagian

Gambar 4 menunjukkan pengaruh bukaan *throttle* terhadap efisiensi volumetrik dengan menunjukkan efisiensi pada saat kondisi *fully opened throttle* (katup throttle dibuka penuh). Pada saat *fully opened throttle*, efisiensi volumetrik mencapai 61,7 % pada 9360 RPM. Bila dibandingkan dengan hasil pengukuran efisiensi volumetrik pada saat *throttle* hanya dibuka sebagian yang mencapai 27,5 % (paling besar) pada 2540 RPM, efisiensi volumetrik dari mesin meningkat secara signifikan seiring dengan bukaan *throttle*. Hal ini diduga karena bukaan *throttle* sebagian membuat *intake manifold* menjadi vakum sehingga menyebabkan udara yang masuk ke dalam silinder terhambat. Selain itu, katup *throttle* yang tidak terbuka sepenuhnya menghambat udara yang masuk dan membuat pola aliran udara menjadi lebih turbulen. Hambatan tersebut menyebabkan efisiensi volumetrik menjadi berkurang, sehingga perbedaan yang signifikan dapat terlihat antara bukaan *throttle* sebagian dengan *fully opened throttle*. Hal serupa diamati di penelitian sebelumnya [8].



Gambar 4. Pengujian Pada Kondisi *Fully Opened Throttle*

Dari hasil pengujian, didapatkan juga hasil perhitungan *engine power loss* yang diperlihatkan pada Gambar 5. Pada grafik terlihat *engine power loss* tertinggi terjadi pada putaran mesin 8000 RPM. Pengujian yang dilakukan pada mesin motor Honda Scoopy dilakukan tanpa pembebanan (mesin tidak terhubung dengan roda kendaraan), sehingga energi hasil pembakaran tidak mengalami *transmission loss*. *Energy losses* yang diukur merupakan energi yang hilang yang disebabkan oleh kerugian mekanik (gabungan *friction loss* dan *pumping loss*), dan kerugian termal (*thermal losses* karena panas yang terbangun ke lingkungan sekitar). Sesuai dengan perkiraan awal, *engine power loss* (EPL) semakin meningkat seiring dengan peningkatan putaran mesin (RPM) dikarenakan kenaikan putaran mesin mengurangi debit udara yang masuk ke dalam silinder sehingga pembakaran menjadi kurang sempurna. Selain itu, *mechanical loss* yang disebabkan oleh kerja dari piston yang semakin cepat pada RPM tinggi juga turut berkontribusi pada peningkatan *engine power loss*.



Gambar 4. *Engine Power Loss*

4. SIMPULAN

Dari hasil studi eksperimen dengan menggunakan bangku uji yang dilengkapi dengan mesin berbasis *fuel injection*, efisiensi volumetrik paling tinggi ditemukan sebesar 61,7% pada saat putaran mesin di 9360 RPM pada kondisi *fully opened throttle* (katup throttle dibuka penuh). Hasil pengujian juga menunjukan bahwa posisi bukaan *throttle* sangat berpengaruh terhadap efisiensi volumetrik. Pada saat kondisi katup *throttle* hanya terbuka sebagian, efisiensi volumetrik mengalami penurunan hingga lebih dari 50%. Faktor yang menyebabkan penurunan efisiensi volumetrik adalah karena tekanan pada intake manifold menjadi lebih rendah (vakum) ketika throttle tidak sepenuhnya terbuka sehingga menghambat udara yang masuk ke dalam ruang bakar. Selain itu, hasil perhitungan *engine power loss* (EPL) selama pengujian menemukan bahwa *power loss* meningkat seiring dengan peningkatan RPM mesin. EPL tertinggi sebesar 3,4 J/s diamati pada saat pada putaran mesin 8000 RPM. Kenaikan putaran mesin mengurangi debit aliran udara yang masuk ke ruang bakar dan meningkatkan *mechanical loss* yang turut berkontribusi pada peningkatan *engine power loss*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Bapak Isdryanto Iskandar yang turut memberikan bimbingan dan keahlian teknis dalam perancangan bangku uji serta Astra Honda Motor yang menyediakan mesin pembakaran dalam untuk bangku uji.

DAFTAR PUSTAKA (REFERENCES)

- [1] M. Mastanaiah, "Performance of Electronic Fuel Injection System Using Compressor and Controller," *Int. J. Adv. Eng. Res. Stud.*, vol. 2, no. 3, pp. 57–59, 2013.
- [2] C. Wei, M. Chen, and Y. Jiang, "Electronic Control Fuel Injection System Based on GT-POWER and MotoTron," *Procedia Eng.*, vol. 174, pp. 773–779, 2017.
- [3] S. Riyadi, A. Suyatno, and N. Fuhaid, "Uji Kerja Injektor Terhadap Putaran Dan Jenis Semprotan Menggunakan Alat Uji Injektor," *Widya Tek.*, vol. 23, no. 1, pp. 34–38, 2015.

- [4] P. Setyadi and H. G. Setyawan, "Pengaruh Kenaikan Tekanan Pompa Bahan Bakar Terhadap Performa Sepeda Motor Honda 125 CC Injeksi Menggunakan Pompa Bahan Bakar Pneumatik," in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Jakarta*, 2017, pp. 1–6.
- [5] T. Sun *et al.*, "Experimental Research on Pumping Combustion Performance in an Unthrottled Spark Ignition engine," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part A J. Power Energy*, vol. 232, no. 7, pp. 888–897, 2018, doi: 10.1177/0957650918754684.
- [6] Astra Honda Training Center, "Sistem PGM-FI," Jakarta, 2014.
- [7] R. B. Pešić, A. L. Davinić, S. D. Petković, D. S. Taranović, and D. M. Miloradović, "Aspects of Volumetric Efficiency Measurement for Recipocating Engines," *Therm. Sci.*, vol. 17, no. 1, pp. 35–48, 2013.
- [8] M. A. Mohite and S. B. Trimbake, "Analysis for Prediction of the Volumetric Efficiency with Continuous Variable Valve Lift Mechanism in Single Cylinder SI Engine," *Int. J. Innov. Sci. Res. Technol.*, vol. 2, no. 10, pp. 209–215, 2017.