

**KARAKTERISTIK PERFORMA MOTOR BENSIN PGMFI
(PROGAMMED FUEL INJECTION) SILINDER TUNGGAL 110CC
DENGAN VARIASI MAPPING PENGAPIAN TERHADAP EMISI GAS
BUANG**

**Rizal Hakim Khaufanulloh¹, Kosjoko, ST., M.T², Andik Irawan, ST., M.Eng³.
Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Jember
Email : Afan.Khaufanulloh@gmail.com**

Abstrak

Mapping derajat pengapian pada sistem injeksi merupakan pengapian 3 dimensi dimana fungsi dari bukaan gas (TPS) dan putaran mesin (RPM) digunakan untuk menentukan derajat pengapian untuk proses pembakaran didalam silinder. Sistem pengapian 3 dimensi menghasilkan performa motor bensin yang signifikan, baik pada putaran rendah, putaran menengah maupun putaran tinggi. Sistem pengapian 3 dimensi juga menghasilkan kadar emisi gas buang yang sangat rendah dengan nilai lambda mendekati 1. Hasil pengujian maupun pembahasan performa dan emisi gas buang motor bensin 4 langkah PGMFI silinder tunggal 110 cc dengan 5 variasi *mapping* derajat pengapian (*ecu* variasi 1, *ecu* variasi 2, *ecu* variasi 3, *ecu* variasi 4 dan *ecu* variasi 5) yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa nilai lambda emisi gas buang yang optimal terdapat pada *ecu* variasi 1 sebesar 1,003 dengan daya rata-rata sebesar 3,669 HP, torsi rata-rata sebesar 7,738 N.m, tekanan efektif rata-rata mencapai 900,395 kPa, *sfc* terendahnya mencapai 0,032 kg/HP.jam, kadar emisi gas buang pada putaran mesin stasioner yaitu O₂ 15,54 g/Km, CO₂ 4,4 g/Km, CO 0,16 g/Km, NO_x 0,027 g/Km dan HC 0,065 g/Km, pada putaran mesin menengah yaitu O₂ 14,2 g/Km, CO₂ 12,5 g/Km, CO 1,64 g/Km, NO_x 0,037 g/Km dan HC 0,388 g/Km, pada putaran tinggi yaitu O₂ 15,1 g/Km, CO₂ 12,2 g/Km, CO 0,88 g/Km, NO_x 0,037 g/Km dan HC 0,239 g/Km.

Kata kunci : *Mapping* pengapian, kurva pengapian, *ECU*, derajat pengapian injeksi, emisi gas buang, lambda, torsi, daya, tekanan efektif rata-rata, *sfc*.

Keterangan :

1. Penyusun Tugas Akhir
2. Dosen Pembimbing I
3. Dosen Pembimbing II

PERFORMANCE CHARACTERISTICS GASOLINE ENGINE PGMFI (PROGRAMMED FUEL INJECTION) SINGLE CYLINDER 110cc WITH VARIATION OF IGNITION MAPPING TO EXHAUST EMISSIONS

Abstract

Mapping degrees ignition at the fuel injection system is a 3D (three dimensions) ignition where the function of the throttle (TPS) and engine rotation (RPM) is used to determine the degree of ignition for the combustion process, in cylinder. 3-dimensional ignition systems generate significant performance of gasoline engine, both at low speed , medium speed and high speed. 3-dimensional ignition systems also produce exhaust emissions levels are very low with a lambda value close to 1. The test results and the discussion of the performance and exhaust emissions of motor gasoline 4 stroke PGMFI single cylinder 110 cc engine with 5 variations of mapping the degree of ignition (ecu variation 1 , ecu variation 2 , ecu variation 3 , ecu variations 4 and ecu variations 5) , it can be concluded that the lambda value of the exhaust emissions are at best 1 ecu variation of 1.003 with an average power of 3,669 HP , the average torque of 7.738 Nm , mean effective pressure reaches 900.395 kPa , sfc lows reached 0,032 kg / HP.jam , the levels of exhaust emissions in stationary engines rotation is 15.54 g/Km O₂, CO₂ 4.4 g/Km, 0.16 g/Km CO, NO_x 0,027 g/Km and HC 0,065 g/Km, at medium engine rotation namely O₂ 14,2 g/Km, CO₂ 12.5 g/Km , 1.64 g/Km CO, NO_x 0,037 g/Km and HC 0,388 g/Km, at high speed, namely 15,1 g/Km O₂ , CO₂ 12.2 g/Km , 0.88 g/Km CO, NO_x 0,037 g/Km and HC 0,239 g/Km.

Keywords : Mapping ignition , ignition curve , ECU , degrees ignition injection , emissions , lambda , torque , power , mean effective pressure, sfc .

I. Pendahuluan

Banyaknya kendaraan bermotor sekarang ini menimbulkan masalah polusi udara yang disebabkan oleh emisi gas buang dari kendaraan bermotor yang mengandung racun. Emisi gas buang kendaraan bermotor yang mengandung racun disebabkan oleh pembakaran yang tidak sempurna dari proses pembakaran didalam ruang pembakaran motor bensin. Berbagai cara dikembangkan untuk meminimalkan bahkan menghilangkan kandungan racun dalam gas buang kendaraan motor. Seperti penggunaan katalis dalam saluran pembuangan motor bensin. Dan yang paling modern yaitu dengan penggunaan sistem elektronik injeksi bahan bakar. Menurut penelitian aplikasi teknologi injeksi bahan bakar elektronik (*efi*) untuk mengurangi emisi gas buang sepeda motor (nugraha, 2007:hal 12) menunjukkan bahwa pada putaran stasioner, penggunaan sistem

injeksi bahan bakar elektronik menurunkan kadar emisi karbon monoksida (co) sampai 20% dibandingkan dengan sepeda motor yang menggunakan sistem bahan bakar karburator. Pada putaran stasioner, penggunaan sistem injeksi bahan bakar elektronik menurunkan kadar emisi hidrokarbon (hc) sampai 55% dibandingkan dengan sepeda motor yang menggunakan sistem bahan bakar karburator (nugraha, 2007:hal 13).

Dalam penelitian perancangan dan unjuk kerja *engine control unit (ecu)* iqueteche pada motor yamaha vixion (fahmi dan yuniarto, 2013:hal 1) pengujian mesin yamaha vixion dengan menggunakan *ecu* iqueteche meningkatkan efisiensi sebesar 11,9%, peningkatan torsi 0,22 n.m, peningkatan daya 0,2 hp, peningkatan bmep 18,3 kpa, dan penurunan sfc 0,025 kg/hp.jam jika dibandingkan pada saat menggunakan *ecu* standar. Dari pengujian ini dapat disimpulkan dengan proses *mapping/remapping* yang tepat akan meningkatkan efisiensi lebih besar jika dibandingkan dengan menggunakan *ecu* standar.

Sistem elektronik injeksi bahan bakar bekerja secara elektronik dengan dukungan berbagai sensor untuk meminimalkan bahkan menghilangkan racun dalam emisi gas buang. Sistem injeksi bahan bakar mempunyai banyak kelebihan, namun juga masih memiliki kekurangan. Dalam penelitian optimasi efisiensi motor bakar sistem injeksi menggunakan metode simulasi *artificial neural network* (paridawati, 2014:hal 3) menunjukkan bahwa pelatihan *back propagation* cukup memadai dalam memprediksi torsi mesin, konsumsi bahan bakar berdasarkan kecepatan mesin dan ignition timing, dimana dari hasil simulasi didapatkan r^2 sebesar 0,98082 untuk konsumsi bahan bakar dan torsi. Dalam penelitian tersebut dihasilkan nilai efisiensi mesin pada titik penyalaan maju 20% dari standar dimana terjadi pengurangan konsumsi bahan bakar sebesar 12%. Berdasarkan pemikiran diatas, maka penulis menganggap penting untuk mengadakan penelitian tentang *remapping* derajat pengapian pada *ecu programmable* dengan judul “Karakteristik Performa Motor Bensin Pgmfi (*Programmed Fuel Injection*) Silinder Tunggal 110cc Dengan Variasi *Mapping* Pengapian Terhadap Emisi Gas Buang”.

Perumusan Masalah

Dalam hal ini untuk mempermudah dalam pemahaman maka penulis membaginya kedalam beberapa pertanyaan seperti berikut:

1. Bagaimanakah *mapping* derajat pengapian yang berpengaruh terhadap karakteristik performa motor bensin PGMFI?

2. Bagaimanakah *mapping* derajat pengapian yang berpengaruh terhadap emisi gas buang motor bensin PGMFI?

Tujuan Penelitian

Dalam penelitian ini penulis mempunyai beberapa tujuan yaitu :

1. Untuk mengetahui karakteristik performa motor bensin PGMFI setelah dilakukan variasi *mapping* derajat pengapian.
2. Untuk mengetahui emisi gas buang motor bensin PGMFI setelah dilakukan variasi *mapping* derajat pengapian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Motor Bensin

Motor bensin atau mesin Otto dari Nikolaus Otto adalah sebuah tipe mesin pembakaran dalam yang menggunakan nyala busi untuk proses pembakaran (*Spark Ignition*) dirancang untuk menggunakan bahan bakar bensin. Mesin bensin berbeda dengan mesin diesel dalam metode pencampuran bahan bakar dengan udara. Pada mesin bensin umumnya udara dan bahan bakar dicampur sebelum masuk ke ruang bakar.

Pencampuran udara dan bahan bakar dilakukan oleh karburator atau sistem injeksi. Bahan bakar yang bercampur udara mengalir kedalam ruang bakar dan dikompresikan dalam ruang bakar, kemudian dipercikan bunga api listrik yang berasal dari busi. Karena itu motor bensin disebut juga sebagai *spark ignition engine*. Ledakan yang terjadi dalam ruang bakar mendorong torak, kemudian mengerakan poros engkol untuk didistribusikan ke roda.

Sistem Elektronik Injeksi Bahan Bakar (*EFI/Electronic Fuel Injection*)

Sistem elektronik injeksi bahan bakar adalah motor bensin dengan penyemprotan bahan bakar bensin langsung ke ruang bakar atau ke *manifold*. Penyemprotan bahan bakar langsung ke dalam ruang bakar mengurangi kerugian pompa dan panas, sedangkan perbandingan panas spesifik dari fluida kerja lebih tinggi (Arismunandar, 2005:Hal 150). Proses penyemprotan bahan bakar di kontrol oleh *ECU (Engine Control Unit)*. *ECU* berfungsi untuk menentukan ketepatan jumlah penginjeksian bahan bakar sesuai sinyal yang diterima dari sensor. Sensor ini untuk mengukur jumlah bahan bakar yang di hisap, beban

mesin, temperatur air pendingin, temperatur udara. *ECU* mengukur jumlah yang tepat dan ideal agar menghasilkan tenaga yang maksimal.

Tujuan *EFI (Electronic Fuel Injection)* dibuat adalah untuk menutupi kelemahan sistem bahan bakar konvensional dengan menggunakan karburator. Dimana pada karburator terjadi ketidak konsistenan *AFR (Air Fuel Ratio)*/perbandingan bahan bakar dengan udara) yang dihasilkan. Angka *AFR* yg ideal adalah 14,7 (*stoichiometri*) pada setiap tingkatan putaran mesin (RPM). Pada karburator biasanya terjadi saat rpm rendah *AFR* cenderung kaya (*rich*) sedangkan pada rpm tinggi malah terjadi campuran miskin (*lean*) atau bisa juga terjadi hal hal sebaliknya.

Kelemahan lain pada karburator adalah proses jalannya hasil pengkabutan bahan bakar dan udara dari karburator menuju ruang bakar mengalami kesulitan, karena harus melalui lekukan dan sudut sudut yg tajam pada saluran masuk (*intake manifold*), dan hasil pengkabutan bahan bakar tersebut adalah tidak merata pada setiap silindernya bagi mesin yg menganut multi silinder, tetapi bagi yg menganut satu silinder tentu hal tersebut tidak menjadi masalah. Karena keterbatasan peran karburator tersebut maka para ilmuwan menciptakan sistem bahan bakar pada sebuah mesin dengan menggunakan bantuan perangkat elektronik agar hasilnya lebih efisien terutama adalah menutupi kelemahan-kelemahan pada karburator.

ECU (Engine Control Unit)

ECU adalah sebuah singkatan untuk *Engine Control Unit* atau unit kontrol elektronik yang berfungsi untuk melakukan optimasi kerja mesin kendaraan, kadang-kadang disebut juga sebagai Unit Kontrol Mesin. *ECU* bekerja dengan cara memonitoring sinyal-sinyal yang dihasilkan oleh sensor-sensor yang tersebar di mesin. Melalui sinyal-sinyal yang diterima oleh *ECU* dari sensor, *Engine Control Unit* akan melakukan perhitungan dan menggunakan peta kinerja multidimensi (*look-up table*) untuk menemukan kombinasi air, udara dan bahan bakar yang harus digunakan untuk mencapai kinerja mesin yang diminta. Pendek kata, *ECU* akan mencari resep/kombinasi dari *database* sesuai dengan *input* sensor untuk menghasilkan kinerja mesin yang maksimal dengan penggunaan bahan bakar, udara dan air seminim mungkin.

ECU sendiri merupakan *embedded* sistem yang terdiri dari mikrokontroler dan rangkaian elektronis lainnya, yang didalamnya terdapat program dan memori mengenai perlakuan terhadap mesin pada kondisi-kondisi yang berbeda-beda.

Misalnya kondisi dihidupkan dalam keadaan mesin dingin, kondisi massa udara yang tinggi, kondisi kecepatan rpm tinggi dan lainnya. Pabrikan tentu saja telah memberikan setingan awal yang sesuai dengan kebutuhan konsumen pada umumnya (standar). Jika mau merubah setingan pabrikan tersebut tentu saja dengan resiko yang bermacam-macam, misalnya pemakaian bensin menjadi boros, kemudian temperatur mesin lebih panas, dan lainnya. Jadi jika hanya digunakan untuk jalan sehari-hari dengan pemakaian normal, maka tidak perlu mengutak-atik *ECU*. Dalam Pengembangannya misal pada sepeda motor atau mobil premium bahkan balap dalam *ECU* bisa mengatur traksi kontrol, *setting* model berkendara, bahkan bisa berfungsi layaknya kotak hitam seperti di pesawat.

Derajat Pengapian

Derajat pengapian pada motor pembakaran dalam (*Internal Combustion Engine*) adalah proses pengaturan sudut relatif posisi piston dan sudut kecepatan (*angular velocity*) poros engkol untuk memicu pembakaran yang terjadi didalam ruang bakar sebelum akhir langkah kompresi. Derajat pengapian dibutuhkan karena campuran udara dan bahan bakar yang dimampatkan tidak sekaligus terbakar secara keseluruhan oleh percikan bunga api dari busi, gas pembakaran membutuhkan periode waktu tertentu untuk mampu terbakar sempurna didalam ruang bakar, dan kecepatan rotasi sudut atau mesin berpengaruh langsung dalam memperpendek atau memperpanjang waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proses pembakaran dan ekspansi (langkah kerja) yang terjadi. Selanjutnya sudut waktu pengapian yang ditempatkan lebih maju sebelum titik mati atas disebut sebagai *STMA* (Sebelum Titik Mati Atas) atau sering disebut pula *BTDC* (*Before Top Dead Center*). Memajukan derajat pengapian pada posisi *STMA* berarti percikan diberikan sebelum titik dimana ruang pembakaran mencapai ukuran minimum, karena tujuan langkah kerja pada mesin pembakaran dalam adalah memaksa torak turun ke bawah atau untuk memperluas ruang pembakaran. Percikan api yang terjadi setelah titik mati atas atau *ATDC* (*After Top Dead Center*) biasanya kontra-produktif (menghasilkan percikan terbuang, ledakan ulang atau detonasi, ketukan mesin dan lain-lain) kecuali percikan tersebut dibutuhkan sebagai percikan tambahan atau sebagai pembakaran lanjutan sebelum langkah buang.

Mapping Derajat Pengapian

Derajat pengapian pada sistem injeksi adalah pengapian 3 dimensi yang merupakan fungsi dari bukaan gas (TPS) dan putaran mesin (RPM). Sistem

pengapian 3 dimensi akan menghasilkan performa motor yang merata pada setiap kondisi, baik putaran rendah maupun putaran tinggi. *Mapping* adalah istilah untuk menentukan besaran nilai pada *base map* sesuai dengan yang diinginkan agar performa dan efisiensi motor menjadi lebih baik. *Mapping* derajat pengapian dapat dilakukan dengan menggunakan komputer maupun *remote* yang sudah terkoneksi dengan *ECU*.

Karakteristik Emisi Gas Buang

Emisi gas buang adalah sisa pembakaran bahan bakar di dalam motor bakar yang dikeluarkan melalui sistem pembuangan mesin. Komposisi sisa hasil pembakaran berupa air (H₂O), gas CO atau disebut juga karbon monoksida yang beracun, CO₂ atau disebut juga karbon dioksida yang merupakan gas rumah kaca, NO_x senyawa nitrogen oksida, HC berupa senyawa hidrokarbon sebagai akibat ketidak sempurnaan proses pembakaran serta partikel lepas. Sedangkan lambda adalah nilai perbandingan campuran udara dengan bahan bakar dan dinyatakan tanpa satuan. Angka ideal dari lambda yaitu 1. Ambang batas kadar emisi gas buang pada kendaraan bermotor sudah ditetapkan oleh Kementerian Negara Lingkungan Hidup dalam Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 4 tahun 2009. Ambang batas kadar emisi gas buang dijelaskan dalam tabel dibawah ini :

Tabel 1.1. Ambang Batas Emisi Gas Buang

Sumber : (Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No 4 Tahun 2009)

NO	KATEGORI	PARAMETER	NILAI AMBANG BATAS Gram/km	METODA UJI
1	a. L1	CO	1,0	ECE R 47
		HC + NO _x	1,2	
	b. L2	CO	3,5	ECE R 47
		HC + NO _x	1,2	
	c. L3 < 150 cm ³	CO	5,5	ECE R 40
		HC	1,2	
		NO _x	0,3	
	d. L3 ≥ 150 cm ³	CO	5,5	ECE R 40
		HC	1,0	
		NO _x	0,3	

e. L4 dan L5 motor bakar cetus api	CO HC NO _x	7,0 1,5 0,4	ECE R 40
f. L4 dan L5 motor bakar penyalaan kompresi	CO HC NO _x	2,0 1,0 0,65	ECE R 40

Catatan :

- L1 : Kendaraan bermotor beroda 2 dengan kapasitas silinder mesin tidak lebih dari 50 cm³ dengan desain kecepatan maksimum tidak lebih dari 50 km/jam apapun jenis tenaga penggerakannya.
- L2 : Kendaraan bermotor beroda 3 dengan dengan susunan roda sembarang dengan kapasitas silinder mesin tidak lebih dari 50 cm³ dan dengan desain kecepatan maksimum tidak lebih dari 50 km/jam apapun jenis tenaga penggerakannya.
- L3 : Kendaraan bermotor beroda 2 dengan kapasitas silinder mesin lebih dari 50 cm³ dengan desain kecepatan maksimum lebih dari 50 km/jam apapun jenis tenaga penggerakannya.
- L4 : kendaraan bermotor beroda 3 dengan susunan roda asimetris dengan kapasitas silinder mesin lebih dari 50 cm³ atau dengan desain kecepatan maksimum lebih dari 50 km/jam apapun jenis tenaga penggerakannya (sepeda motor dengan kereta).
- L5 : Kendaraan bermotor beroda 3 dengan susunan roda simetris dengan kapasitas silinder mesin lebih dari 50 cm³ atau dengan desain kecepatan maksimum lebih dari 50 km/jam apapun jenis tenaga penggerakannya.

III. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Metode eksperimental adalah metode yang digunakan untuk menguji pengaruh dari suatu perlakuan atau desain baru dengan cara membandingkan desain tersebut dengan desain tanpa perlakuan sebagai kontrol atau pembanding. Metode eksperimental dapat juga berarti membandingkan pengujian beberapa variasi perlakuan dengan pengujian tanpa pembanding.

Dalam hal ini penulis akan membandingkan hasil pengujian karakteristik performa dan emisi gas buang dari masing-masing variasi yang sudah diprogram dengan *Remote ECU Programmable* merk I-MAX buatan Bintang Racing Team dan disimpan dalam memori penyimpanan *ECU* BRT Juken 2. Pembuatan data-data *mapping* derajat pengapian variasi menggunakan *software* Microsoft Excel. Proses *input* data-data *mapping* derajat pengapian variasi pada *ECU programmable* dilakukan dengan menggunakan *remote ECU programmable*.

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Otomotif Mesin Politeknik Negeri Jember dan di UPT PKB DINAS PERHUBUNGAN JEMBER. Waktu penelitian berlangsung selama 3 bulan yaitu dimulai dari bulan Oktober 2015 sampai dengan bulan Desember 2015.

Alat

Peralatan yang digunakan dalam pengujian adalah sebagai berikut:

1. Motor bensin 4 langkah PGMFI
2. Dynamometer motor roda dua
3. *ECU programmable*
4. *Remote ECU Programmable* merk I-MAX buatan Bintang Racing Team
5. Seperangkat computer
6. *Exhaust Gas Analyzer*
7. Tachometer
8. Gelas Ukur

Bahan

Bahan yang digunakan dalam pengujian ini Pertalite *RON* 90.

Variasi perlakuan

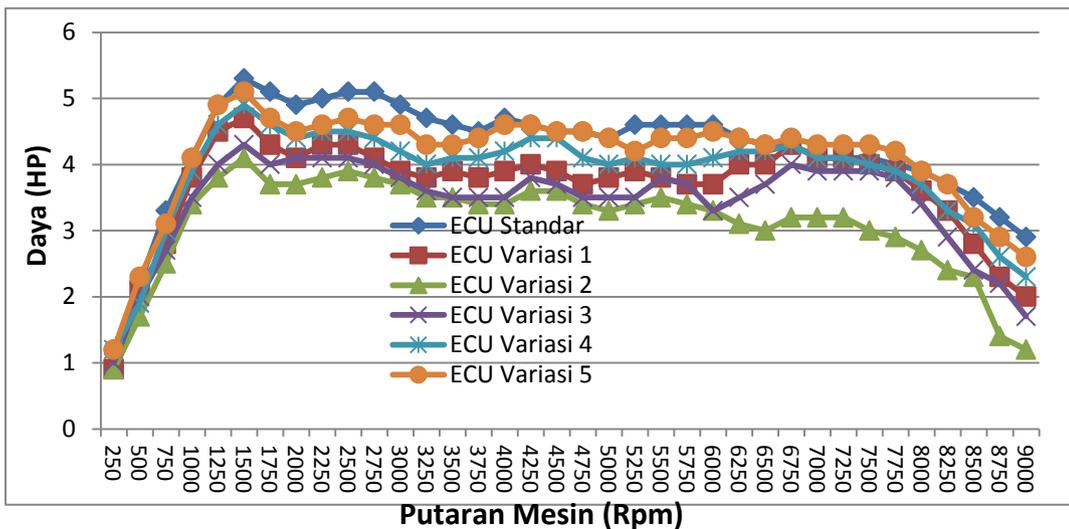
Variasi perlakuan yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu:

1. Variasi *mapping* derajat pengapian 1 disebut *ecu* variasi 1 sebagai variasi acuan.
2. Variasi *mapping* derajat pengapian 2 disebut *ecu* variasi 2 sebagai *retard*/mundur, rata-rata *database mapping* derajat pengapian mundur 4° dari *database mapping* derajat pengapian acuan.

3. Variasi *mapping* derajat pengapian 3 disebut *ecu* variasi 3 sebagai *retard*/mundur, rata-rata *database mapping* derajat pengapian mundur 2° dari *database mapping* derajat pengapian acuan.
4. Variasi *mapping* derajat pengapian 4 disebut *ecu* variasi 4 sebagai *advance*/maju, rata-rata *database mapping* derajat pengapian maju 2° dari *database mapping* derajat pengapian acuan.
5. Variasi *mapping* derajat pengapian 5 disebut *ecu* variasi 5 sebagai *advance*/maju, rata-rata *database mapping* derajat pengapian maju 4° dari *database mapping* derajat pengapian acuan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hubungan Daya Terhadap Putaran Mesin



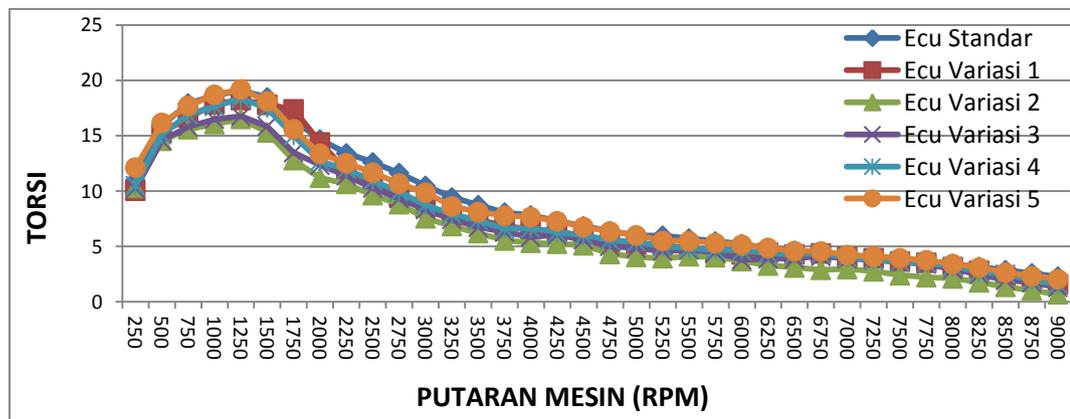
Gambar 1.1. Grafik Hubungan Daya Terhadap Putaran Mesin

Remapping derajat pengapian dari *ecu* standar dan *ecu* variasi didapat daya maksimum dan minimum. Daya maksimum pada *ecu* standar yaitu sebesar 5,3 HP pada putaran 1500 rpm, dan daya minimumnya sebesar 2,9 HP pada putaran 9000 rpm. Sedangkan pada *ecu* variasi 1 sampai *ecu* variasi 5 juga didapatkan daya maksimum dan minimum serta didapatkan hasil yang diharapkan. Daya maksimum terdapat pada *ecu* variasi 5 sebesar 5,1 HP pada putaran 1500 rpm dan daya minimumnya pada *ecu* variasi 2 dengan daya 1,2 HP pada putaran 9000 rpm.

Sedangkan hasil yang bisa ditarik dari data maupun grafik diatas adalah *mapping* derajat pengapian *advance* maupun *retard* dapat mempengaruhi daya yang dihasilkan. Hal ini dibuktikan dari nilai-nilai *database mapping* pada *ecu* variasi 1, *ecu* variasi 2, *ecu* variasi 3, *ecu* variasi 4 dan *ecu* variasi 5 serta daya

yang dihasilkan oleh kelima variasi *mapping* derajat pengapian tersebut. Pada *ecu* variasi 1 dengan nilai *mapping* derajat pengapian rata-rata lebih tinggi 2° dan 4° dari *ecu* variasi 2 dan *ecu* variasi 3, daya rata-rata yang dihasilkan juga turun dari 3,669 HP pada *ecu* variasi 1 ke 3,108 HP pada *ecu* variasi 2 dan 3,439 HP pada *ecu* variasi 3. Begitu juga pada *ecu* variasi 4 dan *ecu* variasi 5 dimana nilai *database mapping* derajat pengapian rata-rata lebih tinggi 2° dan 4° daripada nilai *database mapping* *ecu* variasi 1. Daya rata-rata yang dihasilkan pada *ecu* variasi 4 dan *ecu* variasi 5 sebesar 3,872 HP dan 4,112 HP, hal ini berarti lebih besar daripada *ecu* variasi 1 dengan daya rata-rata sebesar 3,669 HP.

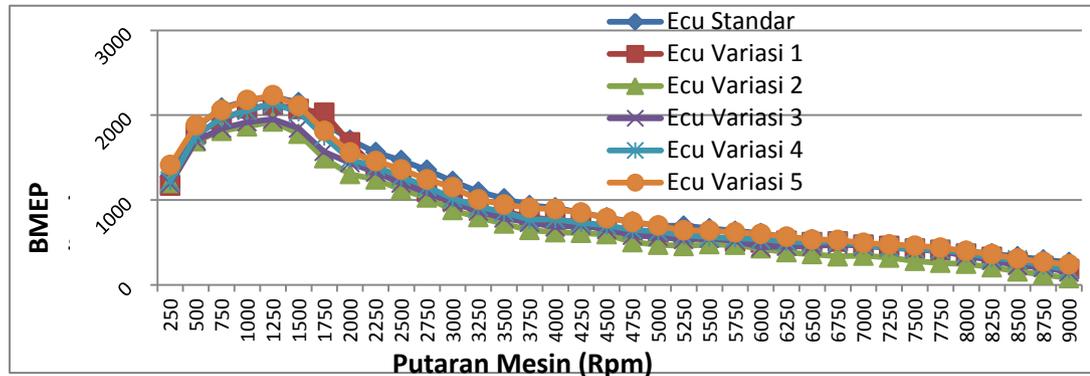
Hubungan Torsi Terhadap Putaran Mesin



Gambar 1.2. Grafik Hubungan Torsi Terhadap Putaran Mesin

Pengaruh *remapping* derajat pengapian pada *ecu* variasi 1, *ecu* variasi 2, *ecu* variasi 3, *ecu* variasi 4 dan *ecu* variasi 5 dapat mempengaruhi torsi yang yang diperoleh dari *dynotest*. Hal ini dapat dilihat dari torsi maksimum dan minimum semua variasi serta torsi rata-rata dari semua variasi *mapping* derajat pengapian. Torsi rata-rata dari *ecu* variasi 1 dengan torsi rata-rata 7,738 N.m, *ecu* variasi 2 dengan torsi rata-rata 6,505 N.m, *ecu* variasi 3 dengan torsi rata-rata 7,149 N.m, *ecu* variasi 4 dengan torsi rata-rata 7,678 N.m dan *ecu* variasi 5 dengan torsi rata-rata 8,323 N.m.

Hubungan Tekanan Efektif Rata-rata Terhadap Putaran Mesin



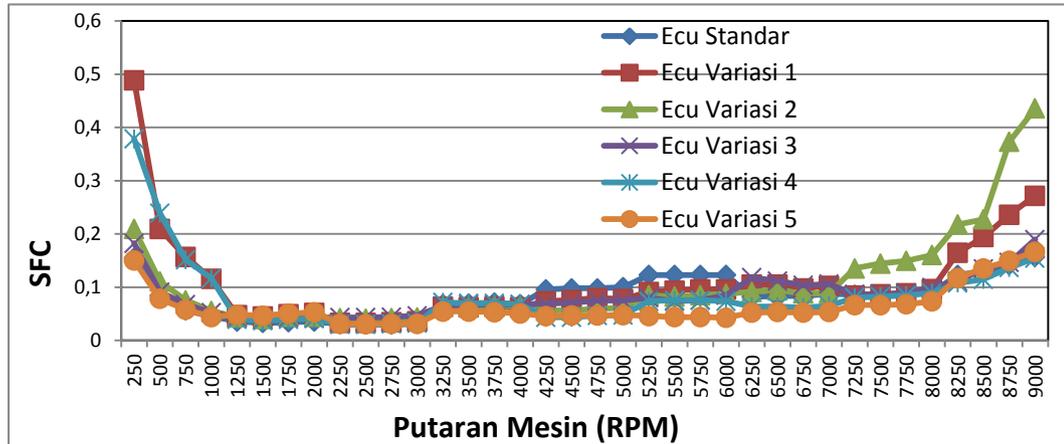
Gambar 1.3. Grafik Hasil Penghitungan Hubungan Tekanan Efektif Rata-rata Terhadap Putaran Mesin

Pada *ecu* variasi 1 grafik data tekanan efektif rata-rata menunjukkan bentuk yang sama yaitu naik dari putaran 250 rpm dengan tekanan 1169,36 kPa dan mencapai titik maksimumnya dengan tekanan 2123,45 kPa pada putaran 1250 rpm. Tekanan minimumnya terdapat pada putaran 9000 rpm dimana tekanan hanya sebesar 185,004 kPa. Begitu juga dengan *ecu* variasi 2 dimana bentuk grafik tidak jauh berbeda dengan *ecu* variasi 1, dengan tekanan maksimum 1922,18 kPa pada putaran 1250 rpm dan tekanan efektif rata-rata minimumnya hanya 79,12 kPa pada putaran 9000 rpm.

Grafik *ecu* variasi 3 menunjukkan hubungan tekanan efektif rata-rata mengalami kenaikan mulai putaran 250 rpm dengan tekanan 1192,64 kPa naik sampai tekanan 1951,27 kPa pada putaran 1250 rpm. Selanjutnya tekanan efektif rata-rata *ecu* variasi 3 turun sampai 681,84 kPa pada putaran 4000 rpm dan naik lagi namun dengan nilai tekanan yang kecil yaitu 702,78 kPa pada putaran 4250 rpm sebelum turun drastis sampai putaran tinggi. Tekanan efektif rata-rata *ecu* variasi 3 mencapai titik minimumnya pada putaran 9000 rpm dengan tekanan 150,09 kPa.

Pada *ecu* variasi 4 dan *ecu* variasi 5 bentuk grafik hubungan tekanan efektif rata-rata sama dengan bentuk grafik dari *ecu* variasi 1 dan *ecu* variasi 2, namun dengan tekanan yang berbeda. Pada *ecu* variasi 4 tekanan maksimumnya pada putaran 1250 rpm dengan tekanan sebesar 2137,44 kPa dan tekanan minimumnya yaitu 183,84 kPa. Sedangkan pada *ecu* variasi 5 tekanan efektif rata-rata maksimum mencapai 2234,01 kPa pada putaran 1250 rpm. Dan tekanan efektif rata-rata minimum terjadi pada putaran 9000 rpm dengan tekanan 239,69 kPa.

Hubungan Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Terhadap Putaran Mesin



Gambar 1.4. Grafik Hubungan Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Terhadap Putaran Mesin

Grafik meningkat pada putaran atas,hal ini karena semakin tinggi putaran mesin semakin banyak pula bahan bakar yang dipakai. Nilai minimum dan maksimum konsumsi bahan bakar spesifik *ecu* variasi 5 yaitu 0,031 kg/Hp.jam pada putaran 3000 rpm dan 0,166 kg/Hp.jam pada putaran 9000 rpm.

Hubungan Emisi Gas Buang Terhadap Putaran Mesin

Tabel 1.2. Data Pengujian Emisi Gas Buang Putaran Stasioner

Putaran Mesin Stasioner (1700 Rpm)					
ECU	Emisi Gas Buang (g/Km)			Emisi Gas Buang (g/Km)	
	O ₂	CO ₂	CO	NO _x	HC
Ecu Standar	14,56	4,5	0,16	0,023	0,089
Ecu Variasi 1	15,54	4,4	0,16	0,027	0,065
Ecu Variasi 2	14,42	4,1	0,17	0,021	0,073
Ecu Variasi 3	16,7	3,9	0,22	0,024	0,062
Ecu Variasi 4	10,3	7,9	0,19	0,021	0,054
Ecu Variasi 5	14,33	7,6	0,19	0,022	0,051

Tabel 1.3. Data Pengujian Emisi Gas Buang Putaran Menengah

Putaran Mesin Menengah (4000 Rpm)					
ECU	Emisi Gas Buang (g/Km)			Emisi Gas Buang (g/Km)	
	O ₂	CO ₂	CO	NO _x	HC
Ecu Standar	13,9	13,2	1,4	0,042	0,259
Ecu Variasi 1	14,2	12,5	1,64	0,037	0,388
Ecu Variasi 2	14,1	16,7	1,33	0,026	0,302
Ecu Variasi 3	13,7	10,2	1,23	0,027	0,273
Ecu Variasi 4	14,9	12,3	1,56	0,039	0,275
Ecu Variasi 5	15,2	12,7	1,79	0,028	0,291

Tabel 1.4. Data Pengujian Emisi Gas Buang Putaran Tinggi

Putaran Mesin Tinggi (8000 Rpm)					
ECU	Emisi Gas Buang (g/Km)			Emisi Gas Buang (g/Km)	
	O ₂	CO ₂	CO	NO _x	HC
Ecu Standar	14,1	13	0,7	0,038	0,243
Ecu Variasi 1	15,1	12,2	0,88	0,037	0,239
Ecu Variasi 2	13,8	13,4	1,44	0,043	0,234
Ecu Variasi 3	13,2	13,7	1,51	0,041	0,208
Ecu Variasi 4	14,7	12,8	0,97	0,045	0,267
Ecu Variasi 5	14,3	12,9	0,87	0,039	0,258

Nilai minimum dan maksimum kadar emisi gas buang pada putaran stasioner 1700 rpm dari semua *ecu* variasi. Nilai minimum kadar gas oksigen (O₂) terdapat pada *ecu* variasi 4 dengan nilai 10,3 g/Km, dan nilai maksimumnya pada *ecu* variasi 3 yaitu 16,7 g/Km. Nilai minimum kadar gas karbon dioksida (CO₂) dengan nilai 3,9 g/Km pada *ecu* variasi 3, dan nilai maksimumnya yaitu 7,9 g/Km pada *ecu* variasi 4. Nilai minimum kadar gas karbon monoksida (CO) pada *ecu* variasi 1 dengan kadar gas CO hanya 0,16 g/Km dan nilai maksimumnya pada *ecu* variasi 3 dengan kadar gas CO mencapai 0,22 g/Km. Selanjutnya nilai minimum gas NO_x terdapat pada *ecu* variasi 2 dan *ecu* variasi 4 dengan nilai masing-masing 0,021 g/Km, dan nilai maksimumnya pada *ecu* variasi 1 dengan kadar gas NO_x mencapai 0,027 g/Km pada putaran stasioner 1700 rpm. Untuk nilai minimum kadar HC terdapat pada *ecu* variasi 5 dengan kadar HC 0,051 g/Km, sedangkan nilai maksimumnya pada *ecu* variasi 2 dengan kadar HC mencapai 0,073 g/Km pada putaran stasioner 1700 rpm.

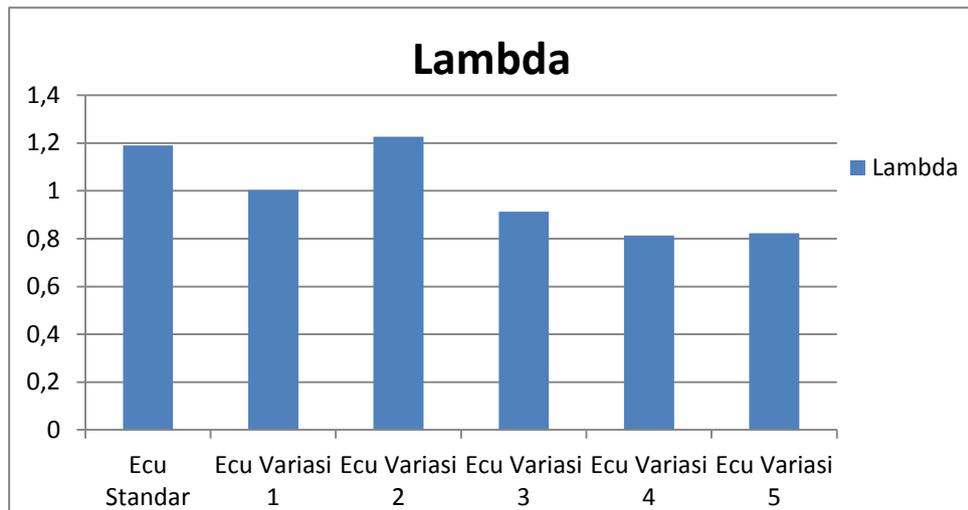
Nilai minimum dan maksimum kadar emisi gas buang pada putaran menengah 4000 rpm dari semua *ecu* variasi. Nilai minimum kadar gas oksigen (O₂) terdapat pada *ecu* variasi 3 dengan nilai 13,7 g/Km, dan nilai maksimumnya pada *ecu* variasi 5 yaitu 15,2 g/Km. Nilai minimum kadar gas karbon dioksida (CO₂) dengan nilai 10,2 g/Km pada *ecu* variasi 3, dan nilai maksimumnya yaitu 16,7 g/Km pada *ecu* variasi 2. Nilai minimum kadar gas karbon monoksida (CO) pada *ecu* variasi 3 dengan kadar gas CO hanya 1,23 g/Km dan nilai maksimumnya pada *ecu* variasi 5 dengan kadar gas CO mencapai 1,79 g/Km. Selanjutnya nilai minimum gas NO_x terdapat pada *ecu* variasi 2 dengan nilai 0,026 g/Km, dan nilai maksimumnya pada *ecu* variasi 4 dengan kadar gas NO_x mencapai 0,039 g/Km pada putaran menengah 4000 rpm. Untuk nilai minimum kadar HC terdapat pada *ecu* variasi 3 dengan kadar HC 0,273 g/Km, sedangkan nilai maksimumnya pada *ecu* variasi 1 dengan kadar HC mencapai 0,388 g/Km pada putaran menengah 4000 rpm.

Nilai minimum dan maksimum kadar emisi gas buang pada putaran tinggi 8000 rpm dari semua *ecu* variasi. Nilai minimum kadar gas oksigen (O₂) terdapat pada *ecu* variasi 3 dengan nilai 13,2 g/Km, dan nilai maksimumnya pada *ecu* variasi 1 yaitu 15,1 g/Km. Nilai minimum kadar gas karbon dioksida (CO₂) dengan nilai 12,2 g/Km pada *ecu* variasi 1, dan nilai maksimumnya yaitu 13,7 g/Km pada *ecu* variasi 3. Nilai minimum kadar gas karbon monoksida (CO) pada *ecu* variasi 5 dengan kadar gas CO hanya 0,87 g/Km dan nilai maksimumnya pada *ecu* variasi 3 dengan kadar gas CO mencapai 1,51 g/Km. Selanjutnya nilai minimum gas NO_x terdapat pada *ecu* variasi 1 dengan nilai 0,037 g/Km, dan nilai maksimumnya pada *ecu* variasi 4 dengan kadar gas NO_x mencapai 0,045 g/Km pada putaran tinggi 8000 rpm. Untuk nilai minimum kadar HC terdapat pada *ecu* variasi 3 dengan kadar HC 0,208 g/Km, sedangkan nilai maksimumnya pada *ecu* variasi 4 dengan kadar HC mencapai 0,267 g/Km pada putaran mesin tinggi 8000 rpm.

Nilai Lambda Terhadap Performa dan Kadar Emisi Gas Buang

Tabel 1.5. Data Pengujian Lambda Emisi Gas Buang

ECU	Lambda (Tanpa Satuan)	Daya Rata-rata (Hp)	Torsi Rata-rata (Nm)	<i>Bmep</i> Rata-rata (kPa)	<i>Sfc</i> Terendah (Kg/hp.jam)	Emisi Gas Buang Terendah (g/Km)				
						O ₂	CO ₂	CO	NOx	HC
Standar	1,19	4,236	8,527	992,15	0,029	13,9	4,5	0,16	0,23	0,089
Variasi 1	1,00333	3,669	7,738	900,39	0,032	14,2	4,4	0,16	0,27	0,065
Variasi 2	1,22667	3,108	6,505	756,89	0,040	13,8	4,1	0,17	0,21	0,073
Variasi 3	0,91333	3,439	7,149	831,87	0,039	13,2	3,9	0,22	0,24	0,062
Variasi 4	0,81333	3,872	7,678	893,41	0,0301	10,3	7,9	0,19	0,21	0,054
Variasi 5	0,82333	4,112	8,323	968,43	0,0304	14,3	7,6	0,19	0,22	0,051



Gambar 1.5. Grafik Lambda Emisi Gas Buang

Lambda emisi gas buang yang dihasilkan oleh masing-masing *ecu* variasi sebagian besar masih memenuhi syarat dan jauh dari kata tidak layak jalan. Pada *ecu* standar nilai lambda sebesar 1,19 dengan daya rata-rata sebesar 4,236 HP, torsi rata-rata sebesar 8,527 N.m, tekanan efektif rata-rata mencapai 992,15 kPa dan *sfc* terendahnya mencapai 0,029 kg/HP.jam. Sedangkan kadar emisi gas buang pada putaran mesin stasioner yaitu O₂ 14,56 g/Km, CO₂ 4,5 g/Km, CO 0,16 g/Km, NOx 0,023 g/Km dan HC 0,089 g/Km. Pada putaran mesin menengah yaitu O₂ 13,9 g/Km, CO₂ 13,2 g/Km, CO 1,4 g/Km, NOx 0,042 g/Km dan HC 0,259 g/Km, pada putaran tinggi yaitu O₂ 14,1 g/Km, CO₂ 13 g/Km, CO 0,7 g/Km, NOx 0,038 g/Km dan HC 0,243 g/Km.

Nilai lambda *ecu* variasi 1 sebesar 1,003 dengan daya rata-rata sebesar 3,669 HP, torsi rata-rata sebesar 7,738 N.m, tekanan efektif rata-rata mencapai 900,395 kPa dan *sfc* terendahnya mencapai 0,032 kg/HP.jam. Sedangkan kadar emisi gas buang pada putaran mesin stasioner yaitu O₂ 15,54 g/Km, CO₂ 4,4 g/Km, CO 0,16 g/Km, NO_x 0,027 g/Km dan HC 0,065 g/Km. Pada putaran mesin menengah yaitu O₂ 14,2 g/Km, CO₂ 12,5 g/Km, CO 1,64 g/Km, NO_x 0,037 g/Km dan HC 0,388 g/Km, pada putaran tinggi yaitu O₂ 15,1 g/Km, CO₂ 12,2 g/Km, CO 0,88 g/Km, NO_x 0,037 g/Km dan HC 0,239 g/Km.

Pada *ecu* variasi 2 nilai lambda sebesar 1,226 dengan daya rata-rata sebesar 3,108 HP, torsi rata-rata sebesar 6,505 N.m, tekanan efektif rata-rata hanya 756,89 kPa dan *sfc* terendahnya mencapai 0,040 kg/HP.jam. Sedangkan kadar emisi gas buang pada putaran mesin stasioner yaitu O₂ 14,42 g/Km, CO₂ 4,1 g/Km, CO 0,17 g/Km, NO_x 0,021 g/Km dan HC 0,073 g/Km. Pada putaran mesin menengah yaitu O₂ 14,1 g/Km, CO₂ 16,7 g/Km, CO 1,33 g/Km, NO_x 0,026 g/Km dan HC 0,302 g/Km, pada putaran tinggi yaitu O₂ 13,8 g/Km, CO₂ 13,4 g/Km, CO 1,44 g/Km, NO_x 0,043 g/Km dan HC 0,234 g/Km.

Nilai lambda pada *ecu* variasi 3 sebesar 0,913. Nilai lambda yang hampir mendekati sempurna tersebut diiringi dengan daya rata-rata sebesar 3,438 HP, torsi rata-rata sebesar 7,149 N.m, tekanan efektif rata-rata mencapai 831,87 kPa dan *sfc* terendahnya mencapai 0,039 kg/HP.jam. Selanjutnya kadar emisi gas buang pada putaran mesin stasioner yaitu O₂ 16,7 g/Km, CO₂ 3,9 g/Km, CO 0,22 g/Km, NO_x 0,024 g/Km dan HC 0,062 g/Km. Pada putaran mesin menengah yaitu O₂ 13,7 g/Km, CO₂ 10,2 g/Km, CO 1,23 g/Km, NO_x 0,027 g/Km dan HC 0,273 g/Km, pada putaran tinggi yaitu O₂ 13,2 g/Km, CO₂ 13,7 g/Km, CO 1,51 g/Km, NO_x 0,041 g/Km dan HC 0,208 g/Km.

Sedangkan pada *ecu* variasi 4 nilai lambda hanya 0,813 dengan daya rata-rata sebesar 3,872 HP, torsi rata-rata sebesar 7,678 N.m, tekanan efektif rata-rata mencapai 893,41 kPa dan *sfc* terendahnya mencapai 0,0301 kg/HP.jam. Sedangkan kadar emisi gas buang pada putaran mesin stasioner yaitu O₂ 10,3 g/Km, CO₂ 7,9 g/Km, CO 0,19 g/Km, NO_x 0,021 g/Km dan HC 0,054 g/Km. Pada putaran mesin menengah yaitu O₂ 14,9 g/Km, CO₂ 12,3 g/Km, CO 1,56 g/Km, NO_x 0,039 g/Km dan HC 0,275 g/Km, pada putaran tinggi yaitu O₂ 14,7 g/Km, CO₂ 12,8 g/Km, CO 0,97 g/Km, NO_x 0,045 g/Km dan HC 0,267 g/Km.

Ecu variasi 5 mempunyai nilai lambda sebesar 0,823. Nilai tersebut diiringi dengan performa motor bensin PGMFI 110 cc yang cukup signifikan, dengan daya rata-rata sebesar 4,112 HP, torsi rata-rata sebesar 8,323 N.m, tekanan efektif rata-rata mencapai 968,43 kPa dan *sfc* terendahnya mencapai 0,0304 kg/HP.jam. Sedangkan kadar emisi gas buang *ecu* variasi 5 pada putaran mesin stasioner yaitu O₂ 14,33 g/Km, CO₂ 7,6 g/Km, CO 0,19 g/Km, NO_x 0,022 g/Km dan HC 0,051 g/Km. Pada putaran mesin menengah yaitu O₂ 15,2 g/Km, CO₂ 12,7 g/Km, CO 1,79 g/Km, NO_x 0,028 g/Km dan HC 0,291 g/Km dan pada putaran tinggi yaitu O₂ 14,3 g/Km, CO₂ 12,9 g/Km, CO 0,87 g/Km, NO_x 0,039 g/Km dan HC 0,258 g/Km.

V. KESIMPULAN

Dari data hasil dan pembahasan performa dan emisi gas buang motor bensin 4 langkah PGMFI silinder tunggal 110 cc dengan 5 variasi *mapping* derajat pengapian (*ecu* variasi 1, *ecu* variasi 2, *ecu* variasi 3, *ecu* variasi 4 dan *ecu* variasi 5) yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa nilai lambda emisi gas buang yang optimal terdapat pada *ecu* variasi 1 sebesar 1,003 dengan daya rata-rata sebesar 3,669 HP, torsi rata-rata sebesar 7,738 N.m, tekanan efektif rata-rata mencapai 900,395 kPa, *sfc* terendahnya mencapai 0,032 kg/HP.jam, kadar emisi gas buang pada putaran mesin stasioner yaitu O₂ 15,54 g/Km, CO₂ 4,4 g/Km, CO 0,16 g/Km, NO_x 0,027 g/Km dan HC 0,065 g/Km, pada putaran mesin menengah yaitu O₂ 14,2 g/Km, CO₂ 12,5 g/Km, CO 1,64 g/Km, NO_x 0,037 g/Km dan HC 0,388 g/Km, pada putaran tinggi yaitu O₂ 15,1 g/Km, CO₂ 12,2 g/Km, CO 0,88 g/Km, NO_x 0,037 g/Km dan HC 0,239 g/Km.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, W. 2005. *Penggerak Mula Motor Bakar Torak*. Bandung : ITB.
- Pudjanarsa, A. Nursuhud, D. 2013. *Mesin Konversi Energi*. Yogyakarta : Andi.
- PT. Pertamina. 2012. *Premium*. www.pertamina.com. Diakses 3 April 2015.
- Fahmi, F. Yuniarto, Muhammad Nur. 2013. *Perancangan dan Unjuk Kerja Engine Control Unit (ECU) iquteche Pada Motor Yamaha Vixion*. Jurnal Teknik Pomits Volume 1 Nomor 1 Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

- Paridawati. 2014. Optimasi Efisiensi Motor Bakar Sistem Injeksi Menggunakan Metode Simulasi Artificial Neural Network. Prosiding SNATIF Ke-1 Universitas Diponegoro, Semarang.
- Nugraha, Beni Setya. 2007. *Aplikasi Teknologi Injeksi Bahan Bakar Elektronik (EFI) Untuk Mengurangi Emisi Gas Buang Sepeda Motor*. Profesional Jurnal Ilmiah Populer dan Teknologi Terapan Volume 5 Nomor 2 Universitas Negeri Semarang.
- Ismanto. 2014. *Pengajuan Saat Pengapian Secara Otomatis*. www.vedcmalang.com. Diakses tanggal 29 April 2015
- Anonim. 2013. *Kurva Pengapian Sistem EFI*. www.motogokil.com. Diakses tanggal 28 April 2015
- Menteri Negara Lingkungan Hidup. 2009. *Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 04 Tahun 2009 Tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru*. Jakarta : Kementerian Negara Lingkungan Hidup.
- Wikipedia. 2015. *Mean Effective Pressure*. En.Wikipedia.Org. Diakses Tanggal 2 Septeber 2015
- Honda. 2015. *Pgm-fi*. <http://world.honda.com>. Diakses 20 Oktober 2015
- Eka. 2012. *Kenapa Sepeda Motor Harus Injeksi*. <http://news.motorplus-online.com>. Diakses 20 Oktober 2015
- Dynapro. 2015. *Dynaometer Machine*. <http://www.dynapro.co.uk>. Diakses 20 Oktober 2015