

ANALISIS PROSES PEMBAKARAN SISTEM INJECTION PADA SEPEDA MOTOR DENGAN MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR PREMIUM DAN PERTAMAX

Rosid^{1,*}

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang
Jl. HS.Ronggo Waluyo, Telukjambe Timur, Karawang, Jawa Barat 41361

*Email: irosid.bks@gmail.com

Diterima: 30 Maret 2015

Direvisi: 12 Mei 2015

Disetujui: 29 Juni 2015

ABSTRAK

Kinerja motor sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk jenis bahan bakar yang digunakan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh angka oktan bahan bakar yang berbeda dari bensin pada kinerja torsi, daya dan konsumsi bahan bakar spesifik pada grafik torsi, daya dan konsumsi bahan bakar spesifik motor 4tak dihasilkan. Dalam percobaan ini diuji kinerja torsi mesin, listrik dan konsumsi bahan bakar spesifik yang digunakan dalam produksi bensin, Pertamina, termasuk bensin, dan pertamax. Setiap jenis bensin diuji pada SOHC tipe injeksi bahan bakar Yamaha Vixion Ketik 2013 dengan alat dynotest terhubung ke komputer. Komputer akan mencatat perubahan grafik untuk peningkatan daya dan torsi dari mesin rev sampai 11.041 rpm 4990. Sementara konsumsi bahan bakar spesifik dihitung dari penggunaan bahan bakar dibagi output daya. Hasil penelitian menunjukkan torsi maksimum dicapai pada pertamax bensin dari 11.91 Nm pada 7.933 rpm, diikuti oleh bensin 11.89 Nm pada 7.885 rpm. Sedangkan daya maksimum pada bensin pertamax dari 14.42 hp pada 9.253 rpm, diikuti oleh 14.36 Hp premium bensin di 9330 rpm. Untuk konsumsi bahan bakar spesifik minimum 0.103 kg pertamax dimiliki / kW.h pada 10 871 rpm, diikuti oleh bensin di 0.104 kg / kW.h di 10.837 rpm.

Kata kunci: kinerja, bensin premium, angka oktan

ABSTRACT

The performance of the motor is heavily influenced by several factors, including the type of fuel used. The purpose of this study was to determine the effect of different fuel octane number of gasoline on the performance of torque, power and specific fuel consumption on a graph of torque, power and specific fuel consumption of motor 4tak generated. In this experiment tested the performance of the engine torque, power and specific fuel consumption which is used in the production of gasoline, Pertamina, including gasoline, and pertamax. Each type of gasoline is tested on the Yamaha Vixion Type SOHC-type fuel injection in 2013 with dynotest tool connected to the computer. The computer will record the graph changes to the increase in power and torque of the engine rev up to 11041 rpm 4990. While the specific fuel consumption calculated from fuel usage divided output power. The results showed maximum torque is achieved at the petrol pertamax of 11.91 Nm at 7933 rpm, followed by gasoline 11.89 Nm at 7885 rpm. While the maximum power on petrol pertamax of 14.42 hp at 9253 rpm, followed by 14.36 Hp premium gasoline at 9330 rpm. For a minimum specific fuel consumption of 0.103 kg pertamax owned / kW.h at 10 871 rpm, followed by gasoline at 0.104 kg / kW.h at 10837 rpm.

Keywords: performance, premium gasoline, the octane number

PENDAHULUAN

Sepeda motor merupakan alat transportasi yang digerakkan oleh mesin berbahan bakar bensin. Pemakaian sepeda motor tak lepas dari jenis bahan bakar yang digunakan. Selama ini kita mengenal bensin premium, pertamax dan pertamax plus. Bensin atau petroleum (biasa disebut gasoline di Amerika Serikat dan Kanada) adalah cairan campuran yang berasal dari minyak bumi dan sebagian besar tersusun dari hidrokarbon serta digunakan sebagai bahan bakar dalam mesin pembakaran dalam. Di Indonesia saat ini terdapat beberapa pilihan jenis bensin Pertamina untuk motor bensin yaitu: Premium. Dan Pertamina. Masing-masing jenis bahan bakar tersebut memiliki angka oktan yang berbeda. Angka oktan adalah angka yang menunjukkan berapa besar tekanan maksimum yang dapat diberikan di dalam mesin sebelum bensin terbakar secara spontan. Pada tekanan tertentu bahan bakar akan menyala seiring adanya tekanan pada piston yang menaikkan temperatur di dalam silinder. Penyalaan yang diakibatkan tekanan ini tidak dikehendaki karena dapat menyebabkan detonasi. Penyalaan yang baik disebabkan dari pengapian busi. Pada penelitian ini akan dilakukan penelitian tentang penggunaan bahan bakar bensin premium, pertamax, dan pertamax plus untuk meneliti daya dan torsi yang dihasilkan, serta konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) yang diperlukan pada motor. Sehingga dari penelitian akan diketahui bagaimana pengaruh penggunaan bahan bakar premium dan pertamax terhadap unjuk kerja motor bensin.

Batasan-batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Motor yang digunakan sebagai alat uji adalah merk Yamaha Vixion mesin 4 langkah, volume silinder 125 cc, dengan tahun pembuatan 2010.
- b. Variasi pengujian yang dilakukan berupa jenis bahan bakar bensin : Premium dan Pertamina
- c. Data yang diamati dalam pengujian adalah daya mesin, torsi, dan konsumsi bahan bakar pada perubahan putaran.

Permasalahan yang akan diselesaikan melalui penelitian ini adalah:

a. Bagaimana mengetahui unjuk kerja motor tentang daya mesin, torsi, dan konsumsi bahan bakar

b. Sejauhmana perbandingan penggunaan jenis bahan bakar premium dan pertamax terhadap performance motor yamaha vixion mesin 4 langkah, volume silinder 125 cc.

Tujuan penelitian tentang unjuk kerja motor bensin ini adalah :

- a. Mengetahui torsi maksimum dari penggunaan bahan bakar jenis premium Dan pertamax
- b. Mengetahui daya maksimum yang dihasilkan oleh motor dengan jenis bahan bakar premium dan pertamax.
- c. Mengetahui konsumsi bahan bakar spesifik minimum bensin premium dan pertamax
- d. Mengetahui pengaruh bensin premium dan pertamax terhadap unjuk kerja motor Yamaha Vixion 125cc.

TINJAUAN PUSTAKA

Aji (2010), meneliti tentang pengaruh katup membran racing pada unjuk kerja motor 2 tak 1350 cc dengan variasi bahan bakar bensin premium dan pertamax. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya, torsi dan BMEP motor yang dihasilkan rata-rata lebih tinggi pada motor dengan menggunakan membran racing V-Force daripada membran standar untuk putaran yang sama, karena lidah katup dapat menutup lebih cepat. Konsumsi bahan bakar motor dengan menggunakan membran standar lebih besar daripada motor dengan membran V-Force untuk jenis bahan bakar dan putaran mesin yang sama. Sehingga penggunaan membran racing V-Force dapat menghemat bahan bakar. Pada putaran rendah (<8500 rpm) penggunaan membran V-Force – bensin pertamax lebih efisien, karena konsumsi bahan bakar spesifik paling rendah. Sedangkan pemakaian bahan bakar dengan dengan oktan yang lebih tinggi akan maksimal pada motor yang memiliki rasio kompresi yang tinggi, karena dapat mengurangi detonasi.

Salah satu penggerak mula yang banyak dipakai adalah mesin kalor, yaitu mesin yang menggunakan energi termal untuk melakukan kerja mekanik atau yang mengubah energi termal menjadi energi mekanik. Energi itu sendiri dapat diperoleh dengan proses pembakaran. Pada proses pembakaran ini terjadi panas dan timbul nyala api. Proses

pembakaran pada motor bensin dapat terjadi apabila campuran bahan bakar dan udara dalam ruang bakar menyala oleh percikan bunga api listrik dari busi. Pembakaran yang demikian ini akan menghasilkan kenaikan tekanan yang teratur dan halus. Bahan bakar bensin adalah hasil dari pemurnian nephta, yang komposisinya dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk motor bakar. Yang dimaksud nephta adalah semua jenis minyak ringan (light oil) yang memiliki sifat antara bensin (gasoline) dan kerosin. Bensin sangat mudah menguap pada 40°C sebanyak 30-60%, dan pada 100°C sebanyak 80-90%. Masa jenis bensin berkisar antara 715-780 kg/m³. Sifat mudah menguap itu antara lain mengakibatkan bensin setelah dikabutkan menjadi tetesan-tetesan halus, sehingga dapat disalurkan ke dalam silinder oleh aliran udara. Setelah dimurnikan bensin yang dijual diberi beberapa bahan tambahan atau aditif untuk memperbaiki sifat-sifatnya agar tidak menggumpal bila disimpan lama. Bensin Pertamina yang dipasarkan antara lain premium, pertamax dan pertamax plus.

Premium Bensin premium adalah bensin yang telah diberi TEL (tetra ethyl lead) dan bernilai oktan 88. Premium adalah bahan bakar minyak jenis distilat berwarna kekuningan yang jernih. Bensin premium mempunyai sifat anti ketukan yang baik dan dapat dipakai pada mesin dengan batas kompresi hingga 9,0 : 1 pada semua jenis kondisi, namun tidak baik jika digunakan pada 1. motor bensin dengan kompresi tinggi karena dapat menyebabkan knocking. Knocking dapat dikurangi dengan menambahkan zat additive, seperti TEL (tetra ethyl lead, Pb(C₂H₅)₄), MTBE (methyl tertiary butyl ether, C₅H₁₁O), atau etanol dalam bahan bakar tersebut. Bensin premium produk Pertamina memiliki kandungan maksimum sulfur (S) 0,05%, timbal (Pb) 0,013% (jenis tanpa timbal) dan Pb 0,3% (jenis dengan timbal), oksigen (O) 2,72%, pewarna 0,13 gr/100 L, tekanan uap 62 kPa, titik didih 215 °C, serta massa jenis (suhu 15°C) 715 ÷ 780 kg/m³.

2. Pertamax merupakan jenis bahan bakar dengan angka oktan 92. Bensin pertamax dianjurkan digunakan untuk kendaraan bahan bakar bensin yang mempunyai perbandingan kompresi tinggi (9,1 : 1 sampai 10,0 : 1). Pada bahan bakar

pertamax ditambahkan aditif sehingga mampu membersihkan mesin dari timbunan deposit pada fuel injector dan ruang pembakaran. Bahan bakar pertamax sudah tidak menggunakan campuran timbal sehingga dapat mengurangi racun gas buang kendaraan bermotor seperti nitrogen oksida dan karbon monoksida. Bensin pertamax berwarna kebiruan dan memiliki kandungan maksimum sulfur (S) 0,1%, timbal (Pb) 0,013% (jenis tanpa timbal) dan Pb 0,3% (jenis dengan timbal), oksigen (O) 2,72%, pewarna 0,13 gr/100 L, tekanan uap 45 ÷ 60 kPa, titik didih 205 °C, serta massa jenis (suhu 15°C) 715 ÷ 780 kg/m³.

Torsi adalah ukuran kemampuan mesin untuk melakukan kerja, jadi torsi adalah suatu energi. Besaran torsi adalah besaran turunan yang biasa digunakan untuk menghitung energi yang dihasilkan dari benda yang berputar pada porosnya. Adapun perumusan dari torsi adalah sebagai berikut. Apabila suatu benda berputar dan mempunyai besar gaya sentrifugal sebesar F, benda berputar pada porosnya dengan jari-jari sebesar b, dengan data tersebut torsinya adalah:

$$T = F \times b$$

(N.m).....(1)

dimana:

- T = Torsi benda berputar (N.m)
- F = adalah gaya sentrifugal dari benda yang berputar (N)
- b = adalah jarak benda ke pusat rotasi (m)

Untuk mengukur torsi mesin pada poros mesin diberi rem yang disambungkan dengan w pengereman atau pembebanan. Pembebanan diteruskan sampai poros mesin hampir berhenti berputar. Beban maksimum yang terbaca adalah gaya pengereman yang besarnya sama dengan gaya putar poros mesin F. Dari definisi disebutkan bahwa perkalian antara gaya dengan jaraknya adalah sebuah torsi, dengan definisi tersebut Tosi pada poros dapat diketahui dengan rumus:

$$T = w \times b \text{ (Nm)}.....(2)$$

dengan

- T = adalah torsi mesin (Nm)
- w = adalah beban (N)

b = adalah jarak pembebanan dengan pusat perputaran (m)

Sedangkan power yang dihitung dengan satuan Kw (Kilo watts) atau Horse Power (HP) mempunyai hubungan erat dengan torque. Power dirumuskan sbb :

Power = torque x angular speed.

Rumus diatas adalah rumus dasarnya, pada engine maka rumusnya menjadi :

Power = torque x 2 phi x rotational speed (RPM).

Untuk mengukur Power (KW) adalah sbb :

Power (kW) = torque (Nm) x 2 phi x rotational speed (RPM) / 6000

6000 dapat diartikan adalah 1 menit = 60 detik, dan untuk mendapatkan kw = 1000 watt.

Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)

$$sfc = \frac{Gf}{Ne} \left(\frac{kg}{kWh} \right) \dots (\text{Wiranto A, 1994 : 29})$$

Dimana :

Gf = kecepatan aliran bahan bakar (kg/h)

Ne = daya (kW)

Perhitungan Penggunaan Bahan Bakar (Gf)

$$Gf = \frac{Ne.632}{\eta.Qc} \left(\frac{kg}{h} \right) \dots (\text{Khovakh, 1976 : 73})$$

Dimana :

Ne = daya (kW)

Qc = Nilai Kalor Bahan Bakar, Menurut (SP. Sein, 1980 : 168)

Sebesar 10580 kkal/kg

Gf = Pemakaian bahan bakar, (kg/jam)

η_{th} = Efisiensi thermis

r = Perbandingan kompresi (10,4 : 1)

$$\eta_{th} = 1 - \left(\frac{1}{10,4} \right)^{0,3023} = 0,507 \dots \text{Wiranto}$$

Arismunandar, 1988 : 28)

METODE PENELITIAN

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi:

- Motor merk Yamaha, tipe Vixion 125 cc.
- Bahan bakar bensin : premium dan pertamax.
- Alat dynamometer, yang terdiri dari dynotest, kabel sensor, monitor, computer dan exhaust.
- Alat bantu : stop watch, buret, termometer dan higrometer.

Dalam pengujian ini digunakan tiga variasi bahan bakar produk Pertamina,yaitu:

a. Premium, dengan angka oktan 88

b. pertamax, dengan angka oktan 92 .

Instrumen Alat Ukur Dynamometer

Persiapan Pengujian

Persiapan Motor

Sebelum dilakukan pengujian sepeda motor perlu di-setting untuk memudahkan pengujian, antara lain:

- Melepaskan bagian head lamp dan sayap samping kanan dan kiri untuk memudahkan penguncian bagian stang dengan tali pengunci untuk mencegah motor bergeser.
- Menaikkan motor di atas alat dynotest, dan posisikan roda belakang menempel tepat di atas roller. Kencangkan tiedown sehingga motor dalam posisi tegak.
- Memasang alat tachometer pada kabel busi.
- Mengganti selang bensin dengan selang yang dihubungkan dengan buret.
- Memasang inlet fan blower pembuangan gas sisa pembakaran dari knalpot.
- Memeriksa instrumen-instrumen pengukur pada monitor seperti speedometer dan tachometer.

Langkah-langkah percobaan pengambilan data Torsi dan Daya Langkah-langkah pengujian adalah sebagai berikut :

- Pastikan jenis bensin (premium / pertamax / pertamax plus) yang akan digunakan sesuai dan cukup untuk sekali proses pengujian.
- Mesin motor dinyalakan.
- Setelah mesin motor dinyalakan pada monitor komputer akan menampilkan Gauges Windows / Dyno Run yang mengukur perubahan putaran (rpm) dan kecepatan roda motor (km/jam).
- Atur putaran mesin sampai kondisi stasioner, kemudian biarkan beberapa saat untuk pemanasan.
- Gigi persneling dimasukkan pada gigi 3 secara normal.
- Atur putaran mesin menjadi 4000 rpm dengan menaikkan throttle gas perlahan.

Perubahan putaran mesin dilihat pada tachometer yang terdapat pada monitor di depannya.

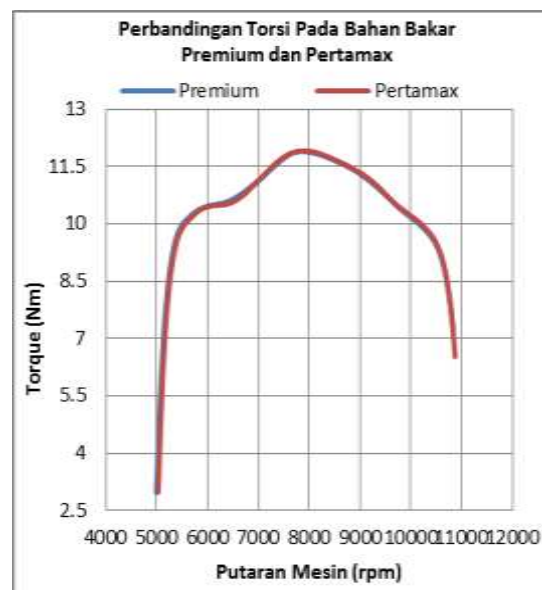
7. Pada komputer masukkan data suhu dan kelembaban ruangan pada tiap pengambilan data.
8. Setelah putaran mesin konstan pada 4000 rpm, putaran mesin dinaikkan dengan memutar throttle secara spontan (cepat) sampai putaran mesin maksimal ($\pm 9500 \div 9750$ rpm). Pada rentang putaran tersebut perubahan data dapat di-record dari komputer. Data yang dapat diperoleh berupa tabel dan grafik perubahan daya (HP) dan torsi (N.m) pada tiap putaran tertentu.
9. Lakukan percobaan / pengambilan data seperti di atas masing-masing tiga kali untuk tiap bahan bakar yang sama, sehingga nantinya dapat diambil data yang terbaik.
10. Untuk mengakhiri percobaan ini putaran mesin diturunkan secara perlahan, lalu turunkan persneling gigi hingga posisi normal, kemudian matikan mesin.
11. Bahan bakar yang digunakan diganti, kemudian lakukan langkah-langkah percobaan dan pengambilan data seperti di atas.

Langkah-langkah Percobaan Pengambilan Data Konsumsi Bahan Bakar

1. Isi buret dengan bensin secukupnya.
2. Setelah mesin motor dinyalakan, masukkan persneling pada gigi 3, lalu atur putaran mesin sampai 4000 rpm hingga putaran stabil.
3. Pada putaran mesin 4000 rpm gas ditahan, dan waktu perubahan volume bensin pada skala buret tiap 5ml dicatat dengan stopwatch.
4. Untuk mengakhiri percobaan ini putaran mesin diturunkan secara perlahan dan secara bersamaan turunkan gigi hingga posisi normal.
5. Selanjutnya pada jenis bensin yang sama diuji pada putaran 4250, 4500, 4750 (penambahan 250 rpm) dan seterusnya hingga 9500 rpm.
6. Setelah selesai satu jenis bahan bakar, dapat dilanjutkan untuk bahan bakar yang lain (pertamax)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Torsi yang dihasilkan kedua jenis bensin dapat dibandingkan dalam bentuk grafik di bawah ini :



Gambar 4.1. Grafik perbandingan torsi yang dihasilkan pada variasi bahan bakar

Pada saat awal motor digas torsi meningkat tajam dari putaran 4990 rpm hingga sekitar 6819 rpm karena ada peningkatan konsumsi bahan bakar ke dalam silinder. Setelah 9330 rpm torsi mulai menurun yang disebabkan menurunnya tekanan efektif rata-rata (bmep) akibat frekuensi kecepatan piston yang tinggi tidak diimbangi oleh lamanya katup terbuka, sehingga terjadi penurunan tekanan pembakaran bensin di dalam silinder.

Pada grafik torsi tidak ada perbedaan torsi yang signifikan pada tiap jenis bensin, meskipun torsi maksimum yang dihasilkan bensin pertamax sedikit lebih tinggi dibanding jenis bensin premium, yaitu sebesar 11,91 pada putaran 7933 rpm. Sedangkan premium 11,81 pada putaran 7885 rpm. Hal ini disebabkan pada mesin motor tidak ada variasi yang diubah, sehingga perbandingan kompresi, dan waktu penyalaan masih sama. Sedangkan nilai kalor bahan bakar pada tiap jenis bensin tidak jauh berbeda. Oleh karena itu karakteristik grafik torsi yang dihasilkan hampir sama.

Untuk daya motor yang diuji dengan variasi bahan bakar bensin premium dan pertamax dapat dibandingkan dalam bentuk grafik berikut



Gambar 4.2. Grafik perbandingan daya yang dihasilkan pada variasi bahan bakar

Dari grafik daya di atas terlihat bahwa daya motor yang dihasilkan antara bensin premium dan pertamax tidak ada perbedaan yang signifikan seperti pada grafik torsi. Daya motor tertinggi dicapai pada bensin pertamax sebesar 14,42 Hp pada putaran 9258 rpm. Sedangkan premium 14,36 Hp pada putaran 9206 rpm. Daya motor dipengaruhi oleh nilai torsi dan putarannya. Penurunan daya yang lebih lambat dari penurunan torsi disebabkan kenaikan nilai putaran masih lebih tinggi dari penurunan nilai torsi, sehingga meskipun torsi sudah menurun, daya masih naik sebelum akhirnya turun mengikuti torsi.



Gambar 4.3. Grafik perbandingan konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) yang dihasilkan pada variasi bahan bakar

Perbandingan konsumsi bahan bakar spesifik juga tidak jauh berbeda pada putaran rendah hingga putaran menengah. Pada grafik SFC konsumsi bahan bakar spesifik awal tinggi karena pada awal motor dijalankan daya dan putaran mesin masih rendah, sehingga

diperlukan bahan bakar spesifik lebih banyak untuk melakukan kerja. Setelah putaran motor dinaikkan pada putaran 4990-6819 rpm daya yang diperlukan meningkat sehingga konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) menurun. Namun seiring dengan kenaikan putaran konsumsi bahan bakar (mf) juga terus meningkat, sehingga konsumsi bahan bakar spesifik juga cenderung meningkat. Peningkatan SFC akan semakin besar karena adanya penurunan daya pada putaran tinggi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari penelitian karakteristik unjuk kerja Yamaha Vixion 125 cc type mesin 4 langkah, 4 valve SOHC-Fuel Injection dengan variasi bahan bakar bensin premium dan pertamax dapat disimpulkan bahwa :

1. Torsi maksimum yang dihasilkan oleh motor berbahan bakar :
 - a. bensin premium sebesar 11,89 Nm pada 7885 rpm
 - b. bensin pertamax sebesar 11,91 Nm pada 7933 rpm
2. Daya motor yang dihasilkan oleh motor berbahan bakar :
 - a. bensin premium sebesar 14,36 Hp pada 9330 rpm
 - b. bensin pertamax sebesar 14,42 Hp pada 9258 rpm
3. Konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) minimal yang dimiliki motor berbahan bakar :
 - a. bensin premium sebesar 0,104 kg/kWh pada 10837 rpm
 - b. bensin pertamax sebesar 0,103 kg/kWh pada 10871 rpm
4. Penggunaan bensin premium dan pertamax tidak begitu signifikan pada torsi, daya yang dihasilkan dan konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) yang dimiliki motor Yamaha Vixion 125 cc, selama tidak ada perubahan perbandingan kompresi waktu penyalaan, dan nilai kalor bahan bakar.

Dari pengujian yang telah dilakukan penulis dapat memberikan saran-saran sebagai berikut :

1. Perlu ada penelitian khusus untuk menguji kalori HHV dan LHV yang dimiliki oleh bahan bakar bensin premium dan pertamax.

2. Perlu dilakukan penelitian tentang penggunaan bahan bakar dengan interval waktu dan rpm tertentu, sehingga didapat efisiensi pemakaian bahan bakar yang tepat setiap menitnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, HS., 2010, *Study Pengaruh Aplikasi Membran Racing Terhadap Unjuk Kerja Mesin Sepeda Motor Bensin 2 Langkah 135 cc Dengan Variasi Bahan Bakar Premium dan Pertamina*, Tugas Akhir, UMS, Surakarta.
- Arismunandar, W., 2002. *Motor Bakar Torak*, Edisi 5, ITB, Bandung.
- Heywood, John, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw Hill International New York
- Kepdirjen.migas, 2006. *Standard an Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar jenis Bensin Yang Dipasarkan di Dalam Negeri*, <http://prokum.esdm.co.id/kepdiren/kepdjm-3674-2006.pdf>. Diakses Tanggal 06 April 2014.
- Prabowo, Y., 2006, *Pengaruh Pemotongan Kepala Silinder terhadap Unjuk Kerja dan Konsumsi Bahan Bakar pada Mesin Sepeda Motor Honda Astrea*, Tugas Akhir, UMS, Surakarta.
- Wark Kenneth, Jr. 1992, *Thermodynamics*, McGraw Hill International New York