

ENGINE COMBUSTION EFFICIENCY AND PERFORMANCE OF EXHAUST PIPE FUEL PREHEATING SYSTEM

Azamataufiq Budiprasojo^{1*}, Irawan, Andik²

¹Jurusan Teknik POLITEKNIK NEGERI JEMBER Jln. Mastrip PoBOX 164 Jember 68141 INDONESIA

Email: azamataufiq@polije.ac.id

ABSTRACT

Exhaust Pipe Preheated Fuel System (EP2FS) adalah sistem pemanas bahan bakar yang memanfaatkan panas terbuang dari knalpot. Pemanasan bahan bakar bertujuan meningkatkan homogenitas campuran bahan bakar dan udara untuk menyempurnakan proses pembakaran di mesin. Pembuatan EP2FS memerlukan desain dan perhitungan yang cermat karena temperatur bahan bakar tidak boleh melebihi 60 °C agar tidak menguap. Desain dan perhitungan menggunakan teori perpindahan panas alat penukar kalor tipe helical (Helical Heat Exchanger). Sistem yang telah siap akan diaplikasikan di kendaraan bermotor untuk kemudian diuji efisiensi pembakaran serta performanya.

Keywords: Fuel Preheating, Engine Performance, Helical Heat Exchanger

PENDAHULUAN

Dalam bidang rekayasa *engine*, *engine* dengan performa tinggi namun irit, bisa diciptakan dengan menyempurnakan proses pembakaran bahan bakar di ruang bakar. Pembakaran di ruang bakar dikatakan sempurna apabila seluruh bahan bakar yang masuk ke ruang bakar terbakar seluruhnya.

Penelitian terkait usaha perbaikan kualitas pembakaran telah dilakukan oleh beberapa peneliti, salah satunya adalah Sudirman (2006) yang menyimpulkan bahwa penghematan bahan bakar dapat dilakukan, dengan beberapa metode yang meliputi metode magnet, metode pemanasan awal (*preheating*), metode gabungan (variasi pemanasan dan elektromagnetik), metode *cyclone*, metode menaikkan kadar oktan bahan bakar, metode penambahan pasokan udara, dan metode kondisi mesin.

Metode pemanasan awal sebagai usaha perbaikan kualitas pembakaran pernah dilakukan dengan Upaya pemberian panas awal pada bahan bakar (*fuel preheating*). Sugiarto (2011) yang meneliti pengaruh pemanasan bahan bakar bensin melalui media pipa tembaga di dalam upper tank radiator terhadap emisi gas buang CO pada mesin Daihatsu Taruna tahun 2000. Hasil analisa statistik menunjukkan pengaruh yang signifikan pada taraf signifikansi 1% yaitu pada pemanasan bahan bakar bensin dengan media pipa tembaga di dalam upper tank radiator.

Pembakaran dengan menggunakan bahan bakar yang telah terlebih dahulu dipanaskan dapat lebih baik karena bahan bakar dalam fase cair jenuh lebih mudah terbakar bila dibandingkan dalam fase cairnya. Pemanasan bahan bakar bertujuan meningkatkan homogenitas campuran

bahan bakar dan udara untuk menyempurnakan proses pembakaran di mesin.

Penggunaan radiator sebagai sumber pemanas awal bagi sistem pemanas bahan bakar merupakan ide yang amat baik, karena memanfaatkan rugi panas dari mesin yang tidak terpakai menjadi suatu sumber energi yang terpakai. Suatu siklus pemakaian ulang energi (*recycling of energy*) terjadi pada sistem ini. Energi yang terbuang dapat diubah menjadi energi yang bermanfaat.

Sayangnya tidak semua kendaraan menggunakan radiator, sehingga perlu dipikirkan suatu alternatif sistem pemanasan awal bahan bakar yang dapat diaplikasikan pada kendaraan yang lebih umum. Berangkat dari ini maka dibuatlah penelitian yang berisi perancangan *exhaust pipe preheating fuel system (EP2FS)* berbasis alat penukar kalor tipe pipa dingin sebagai upaya peningkatan efisiensi pembakaran *engine*.

Penelitian kali ini ingin mendesain suatu sistem pemanas awal bahan bakar menggunakan panas terbuang mesin yang dibuang melalui knalpot sebagai sumber panasnya. Penelitian ini diharapkan mampu membuat suatu sistem pemanas awal bahan bakar yang dapat diaplikasikan pada kendaraan secara lebih umum (tidak hanya pada kendaraan dengan radiator).

Perhitungan untuk mendesain EP2FS menggunakan persamaan-persamaan dalam ilmu heat transfer khususnya tentang heat exchanger. Sumber panas yang digunakan dalam kasus ini adalah panas dari flue gas yang mengalir dalam suatu pipa dengan temperature tinggi. Panas dari flue gas akan dimanfaatkan untuk memanaskan bahan bakar sebagai fluida kerja. Temperatur dari fluida kerja adalah rendah dan fluida kerja ini

mengalir dalam pipa yang memiliki temperature rendah pula.

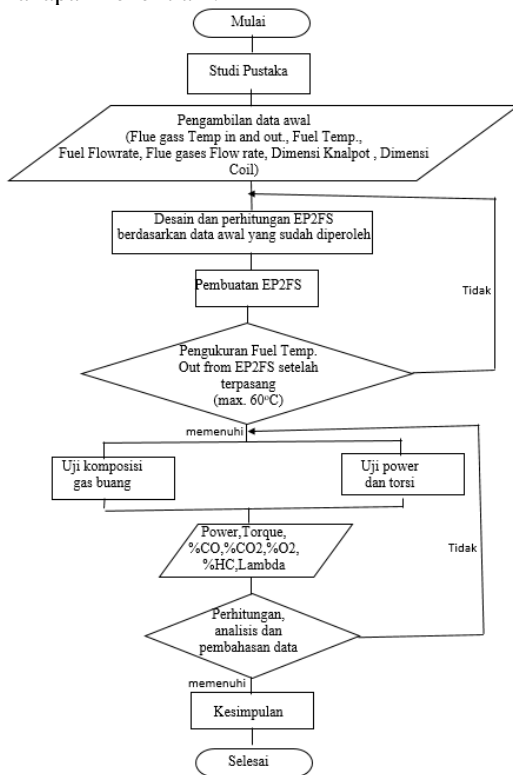
Pembuatan EP2FS memerlukan desain dan perhitungan yang cermat karena temperatur bahan bakar tidak boleh melebihi 60 °C agar tidak menguap. Desain dan perhitungan menggunakan teori perpindahan panas alat penukar kalor tipe helical (Helical Heat Exchanger).

Setelah didapatkan suatu EP2FS yang adalah sistem pemanas awal bahan bakar dengan panas knalpot, maka akan diteliti juga seberapa besar pengaruh dari pengaplikasian sistem ini pada *engine* dilihat dari kadar emisi, performa *engine*, serta efisiensi pembakarannya.

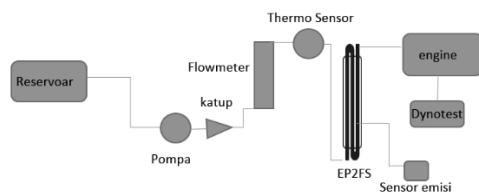
METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen (Research Method). Pengumpulan data dilakukan dengan mengadakan penelitian secara langsung pada obyek penelitian.

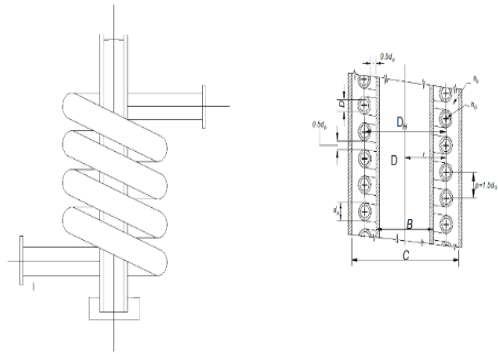
Tahapan Penelitian :



Model Instalasi Penelitian yang Digunakan



Gambar 1 Instalasi Penelitian



Gambar 2 Rencana Desain EP2FS

Perhitungan :

Perhitungan EP2FS menggunakan perhitungan heat exchanger tipe helical yang disesuaikan dengan kondisi pada instalasi.

Nomenclature

- A Area untuk transfer panas, m^2
- Dc_{in} Diameter dalam dari coil, m
- Dc_{out} Diameter luar dari coil, m
- De_{in} Diameter dalam dari knalpot, m
- De_{out} Diameter luar dari knalpot, m
- h_f Koefisien perpindahan panas konveksi dari Bahan bakar
- h_{fg} Koefisien perpindahan panas konveksi dari Flue gas
- K_c Koefisien perpindahan panas konduksi dari coil
- K_e Koefisien perpindahan panas konduksi dari exhaust pipa
- k_{coil} Konduktivitas panas dari coil, $kcal/(h)(m^2)(^{\circ}C)$
- $k_{ex\ pipe}$ Konduktivitas panas dari exhaust pipe, $kcal/(h)(m^2)(^{\circ}C)$
- L Panjang coil helical yang diperlukan untuk membentuk putaran N , m
- M Laju aliran cairan, kg/h
- N Angka teoritis dari putaran helical coil
- n Angka riil dari putaran coil yang dibutuhkan untuk tugas proses panas yang diberikan (N dibulatkan ke integer tertinggi selanjutnya)
- N_{Re} Angka Reynolds, Dup/μ atau DG/μ , dimensionless
- Q Beban panas, $kcal/h$
- R_a Faktor fouling shell-side, $(h)(m^2)(^{\circ}C)/kcal$
- R_t Faktor fouling tube-side, $(h)(m^2)(^{\circ}C)/kcal$
- Re_f Angka Reynolds bahan bakar, dimensionless
- Re_{fg} Angka Reynolds flue gas, dimensionless

- μ Viskositas cairan pada rata-rata suhu bulk-fluid, kg/(m)(h)
- $1/U$ Hambatan thermal total, (h)(m²)(°C)/kcal
- u Kecepatan cairan, m/h
- U Koefisien perpindahan panas total, kcal/(h)(m²)(°C)
- ρ Densitas cairan, kg/m³
- ρ_f Densitas bahan bakar, kg/m³
- ρ_{fg} Densitas flue gas, kg/m³
- ΔX_c Tebal pipa tembaga, m
- ΔX_e Tebal pipa knalpot, m

- a. Koefisien perpindahan panas konveksi dari Flue gas (h_{fg})
Diasumsikan aliran dalam pipa adalah fully development flow.

$$Re_{fg} = \frac{D_{in\,sp} \cdot u_{gas} \cdot 3600 \cdot \rho_{gas}}{\mu_{gas}}$$

Perhitungan perpindahan panas konveksinya menggunakan persamaan :
 $h_{fg} = 0,6 \cdot Re_{fg}^{0,5} \cdot Pr_{fg}^{0,31}$

- b. Koefisien perpindahan panas konveksi dari Bahan bakar (h_f)
Diasumsikan aliran dalam pipa adalah fully development flow.

$$Re_f = \frac{D_{in\,coil} \cdot u_{fuel} \cdot 3600 \cdot \rho_{fuel}}{\mu_{fuel}}$$

Perhitungan perpindahan panas konveksinya menggunakan persamaan :
 $h_f = 0,6 \cdot Re_f^{0,5} \cdot Pr_f^{0,31}$

- c. Koefisien perpindahan panas konduksi pipa tembaga setebal ΔX_c (Kc)

Tebal pipa tembaga ΔX_c :
 $\Delta X_c = D_c\,out - D_c\,in$
Koefisien perpindahan panas :
 $kc = \frac{K_{coil}}{\Delta X_c}$

- d. Koefisien perpindahan panas konduksi pipa knalpot setebal ΔX_e (Ke)

Tebal pipa knalpot D_{xc} :
 $\Delta X_e = D_e\,out - D_e\,in$
Koefisien perpindahan panas :
 $ke = \frac{K_{ex\,pipe}}{\Delta X_e}$

- e. Hambatan thermal total (1/U)

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{fg}} + \frac{1}{h_f} + \frac{\Delta X_c}{K_{coil}} + \frac{\Delta X_e}{K_{ex\,pipe}} + Ra + Rt$$

Faktor fouling, R_t dan R_a , merupakan suatu konstanta tergantung dari sifat alami fluida, campuran dalam fluida, temperatur operasi fluida serta kecepatan dari fluida.

- f. Koefisien perpindahan panas total (U)
 $U = 1 / (1/U)$

- g. Log Mean Temperature Difference (LMTD)
 $LMTD = \frac{(T_{in\,Flue\,gas} - T_{in\,Fuel}) - (T_{out\,Flue\,gas} - T_{out\,Fuel})}{Ln((T_{in\,Flue\,gas} - T_{in\,Fuel}) / (T_{out\,Flue\,gas} - T_{out\,Fuel}))}$

- h. Kalor yang di alirkan (Q)
 $Q = (U) \times A \times (T_{out\,Fuel} - T_{in\,Fuel})$

- i. Area yang dibutuhkan untuk menghasilkan Q (A)

$$A = \frac{Q}{U \times LMTD}$$

Area ini adalah area dengan asumsi seluruh bagian coil tembaga bersentugan dengan pipa suber panas. Pada kasus ini area yang bersentuhan hanya 1/3 saja. Sehingga area nyata yang bersentuhan untuk mengamoadir 1/3 contact = 3 x A

- j. Panjang teoritis Coil yang dibutuhkan

$$L = N \sqrt{(2\pi r)^2 + p^2}$$

- k. Angka teoritis dari putaran helical coil (N)

$$N = \frac{A}{Q \times LMTD}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain EP2FS memerlukan beberapa properties. Nilai dari properties diambil dari pengukuran langsung dan dari literatur. Properties yang akan digunakan untu perhitungan disajikan dalam tabel 1

No	Physical Properties	Unit	Fuel	Flue Gass	Exhaust Pipe	Copper Coil
1	Debit	m ³ /s	1,6667E-05	0,003	0	0
2	Mass flow rate	kg/h	45	6,6636	0	0
3	Inlet Temp	°C	25	300	0	0
4	Outlet Temp	°C	Max. 60	250	0	0
5	Heat capacity (Cp)	Kcal/kg °C	0,53	0,254	0	0
6	Thermal Conductivity (k)	Kcal/h·m ² ·°C	0,1375	0,123	331,2	39,6
7	Viscosity	kg/m·h	0,23	0,1008	0	0
8	Density	kg/m ³	750	0,617	0	0
9	Velocity	m/s	0,3081	10,9286	0	0
10	Cross section Area	m ²	0	0	5,407E-05	0,000274507
11	Diameter In	m	0,0083	0,0187	0,0083	0,0187
12	Diameter Out	m	0,0095	0,0218	0,0095	0,0218
13	Prandtl		0,8861	0,74	0	0
14	Radius liitan	m	0	0	0	0,2156
15	Perimeter liitan = 1,5 Dia. Out coil	m	0	0	0	0,0142

Tabel 1 Physical Properties Table

Dari tabel 1 dilakukan perhitungan menggunakan persamaan persamaan yang pada metode penelitian. Untuk memudahkan proses perhitungan digunakan aplikasi pengolah data. Hasil dari perhitungan didapatkan bahwa untuk membuat EP2FS sebagai pemanas bahan bakar bensin agar mencapai temperatur 60 °C diperlukan pipa tembaga dengan diameter luar 9.5mm serta diameter dalam 8.3mm dan panjang 40 cm. Pipa tembaga dengan dimensi ini diproduksi oleh industri dengan ukuran 5/8 inch.

Bensin mulai berubah menjadi uap pada temperature 60 °C. Pada penelitian ini suhu 60 °C dijadikan suhu maksimal dari bahan bakar saat keluar EP2FS. Untuk menjamin suhu yang keluar EP2FS adalah maksimal 60 °C maka perlu diuji

temperature bahan bakar keluar EP2FS. Pengujian ini dilakukan setelah EP2FS dipasang di sepeda motor kemudian dinyalakan dengan variasi RPM. Berikut adalah hasil pengujiannya.

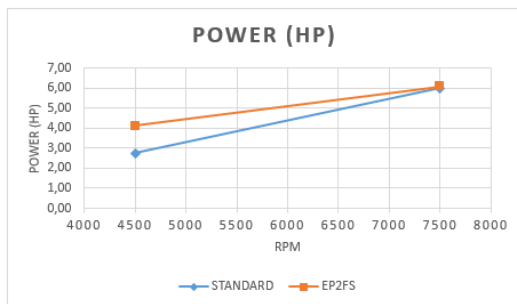
Temperatur (°C)	RPM								
	1200			4500			7500		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
25	25.2	25.4	40	40.2	40.4	55	55.2	55.4	
25.3	25.5	25.7	40.3	40.5	40.7	55.3	55.5	55.7	
26.1	26.3	26.5	41.1	41.3	41.5	56.1	56.3	56.5	
26.6	26.8	27	41.6	41.8	42	56.6	56.8	57	
27.5	27.7	27.9	42.5	42.7	42.9	57.5	57.7	57.9	
29.5	29.7	29.9	44.5	44.7	44.9	59.5	59.7	59.9	
30.7	30.9	31.1	45.7	45.9	46.1	60.7	60.9	61.1	
32.1	32.3	32.5	47.1	47.3	47.5	62.1	62.3	62.5	
33.7	33.9	34.1	48.7	48.9	49.1	63.7	63.9	64.1	
Average = 28.7			Average = 43.7			Average = 59.7			

Tabel 2 Temperatur bahan bakar keluar EP2FS

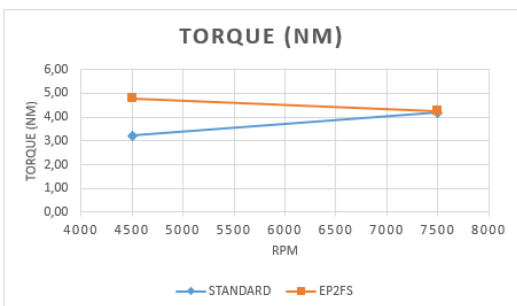
Dari tabel terlihat bahwa, dengan menggunakan EP2FS temperatur maksimal bahan bakar keluar EP2FS adalah 59.7 °C dibawah 60 °C.

Setelah diyakinkah bahwa EP2FS mampu memanaskan bensin dengan suhu maksimal dibawah 60 °C, maka kemudian EP2FS dipasang pada kendaraan untuk diuji performa serta gas buang untuk menentukan berapa efisiensi pembakarannya.

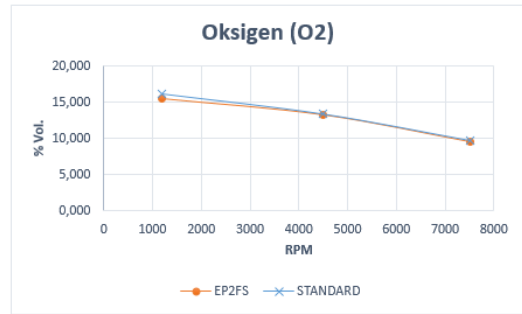
Hasil dari pengujian ini disajikan dalam grafik grafik berikut.



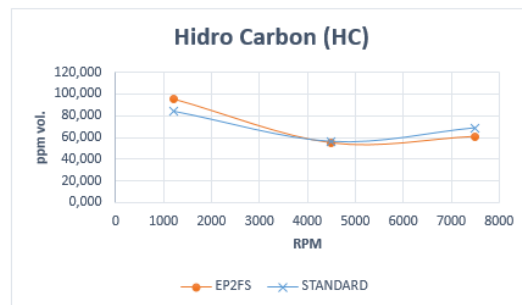
Gambar 3 Grafik Power vs rpm



Gambar 4 Grafik Torque vs rpm

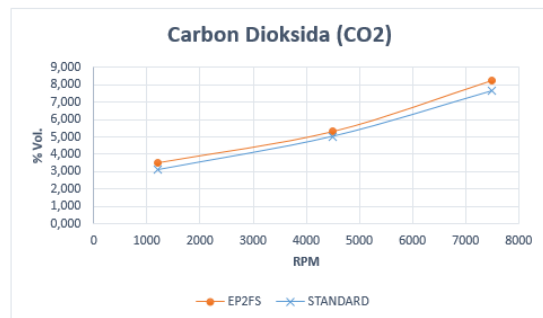


Gambar 5 Grafik volume gas buang Oksigen vs rpm

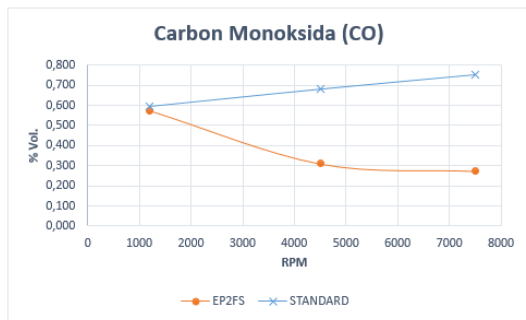


Gambar 6 Grafik volume gas buang Hidrocarbon vs rpm

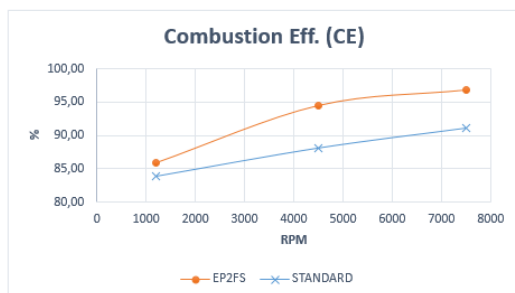
Effisiensi pembakaran adalah perbandingan antara volume gas CO₂ dibandingkan dengan jumlah volume CO₂ dan CO yang dinyatakan dalam prosen.



Gambar 7 Grafik volume gas buang karbondioksida vs rpm



Gambar 8 Grafik volume gas buang karbon monoksida vs rpm



Gambar 9 Grafik combustion efficiency vs rpm

Analisis Keuntungan

Mesin yang efisien adalah mesin yang mempunyai sistem penyalur bahan bakar yang mampu membuat campuran udara dan bahan bakar tercampur secara homogen diruang bakar. Homogen disini artinya adalah seragam yang diindikasikan dengan besar partikel bahan bakar (*droplet*) berukuran sangat kecil sehingga lebih mudah bercampur dengan partikel oksigen untuk dibakar. Teknologi injeksi merupakan teknologi yang dikembangkan untuk tujuan ini.

Droplet juga bisa berbentuk lebih kecil pada fluida dengan temperatur yang lebih tinggi, viskositas rendah dan tegangan permukaan rendah. Berlandas dari tujuan ini maka pemanasan bahan bakar dilakukan. Meningkatnya suhu pemanasan bahan bakar dapat membuat lapisan bahan bakar semakin mudah terlepas karena adanya proses memperkecil viskositas dan tegangan permukaan. Perubahan parameter ini dapat membuat partikel bahan bakar akan lebih aktif untuk bercampur dengan udara. Imbas dari hal ini adalah pembakaran yang terjadi semakin sempurna karena ada perbaikan dari pencampuran bahan bakar dan udara.

Pemanasan bahan bakar harus dilakukan dengan cermat karena sifat dari bahan bakar yang mudah menguap. Bahan bakar menguap pada temperatur 70°C. Oleh karenanya pemanas hanya boleh memanasi bahan bakar sampai mencapai temperatur maksimal 70°C.

Pada pra penelitian pernah dicoba memanaskan bahan bakar hingga mencapai suhu 90°C dengan memanfaatkan pemanas yang berasal dari listrik DC. Pemanas kemudian dipasang di kendaraan roda dua dan diuji. Hasilnya adalah bahan bakar berubah menjadi uap dan mesin susah untuk idle yang kemudian disusul dengan mesin mati. Selain itu sumber tegangan DC (Aki) lebih cepat berkurang tegangannya karena harus menyuplai peralatan tambahan pemanas.

Pembuatan alat pemanas bahan bakar yang menggunakan sumber panas dari knalpot harus didesain dan dihitung secara cermat karena output temperatur bahan bakar dari alat pemanas tidak boleh melebihi 60°C (dibawah dari temperatur penguapan bahan bakar sebesar 70°C). Pada pengambilan data temperatur knalpot sebagai sumber panas, didapatkan bahwa temperatur maksimal knalpot dari kendaraan uji adalah 450 °C sangat jauh lebih tinggi dari temperatur bahan bakar yang ditargetkan.

Dari perhitungan didapatkan bahwa untuk membuat EP2FS sebagai pemanas bahan bakar bensin agar mencapai temperatur 60 °C diperlukan pipa tembaga dengan diameter luar 9.5mm serta diameter dalam 8.3mm dan panjang 40cm. EP2FS Berdesain lilitan berbentuk coil dengan penambahan insulator pada bagian sisi luar coil. Jumlah lilitan adalah 2,5 lilitan. Pipa tembaga dengan dimensi ini diproduksi oleh industri dengan ukuran 5/8 inch.

Untuk menjamin suhu yang keluar EP2FS adalah maksimal 60 °C maka perlu diuji temperature bahan bakar keluar EP2FS. Pengujian ini dilakukan setelah EP2FS dipasang di sepeda motor kemudian dinyalakan dengan variasi RPM. Dari tabel terlihat bahwa, dengan menggunakan EP2FS temperatur maksimal bahan bakar keluar EP2FS adalah 59.7 °C dan berada dibawah dari temperatur maksimal bahan bakar yang diijinkan yaitu 60 °C. Jadi dapat disimpulkan bahwa perhitungan dan desain EP2FS sudah sesuai target.

Dari pengujian Torsi dan daya didapatkan fakta bahwa pada kendaraan uji yang menggunakan EP2FS terdapat peningkatan torsi dan daya yang cukup signifikan pada putaran mesin rendah. Ini memiliki arti bahwa akselerasi dan kecepatan dari kendaraan meningkat. Pada putaran mesin yang tinggi didapatkan data bahwa torsi daya cenderung tidak memiliki perbedaan yang signifikan antara kendaraan yang menggunakan EP2FS dan kendaraan standar.

Kemungkinan penyebab dari tidak signifikannya perbedaan torsi dan daya dari kendaraan EP2FS dan standar adalah karena pada putaran mesin bahan bakar dari kendaraan standar sudah mendapatkan panas yang cukup untuk berubah menjadi droplet yang homogen dari panas mesin yang cukup tinggi akibat gesekan diruang bakar pada kecepatan pergerakan piston yang

cepat. Peningkatan power dan torsi pada mesin dengan menggunakan EP2FS adalah 40% pada putaran mesin rendah dan 1.5% pada putaran mesin tinggi.

Emisi H-C atau hidrokarbon erat kaitannya dengan berapa banyak bahan bakar yang tidak terbakar karena kurang baiknya pencampuran antara droplet bahan bakar dan molekul oksigen. Emisi CO atau karbon monoksida paling banyak menonjol perbedaannya dan paling berbahaya di antara emisi dari mesin lainnya. Jumlah CO yang tinggi dapat terjadi karena bahan bakar kekurangan oksigen dalam pembakaran hidrokarbon.

Untuk Nox tidak tercatat karena peran dari catalyic converter pada sisi silincer muffler knalpot. Efisiensi pembakaran yang didapatkan dari pemakaian EP2FS adalah meningkat 6% dari standar.

Analisis Kerugian

Dengan pemakaian sistem EP2FS ada beberapa kekhawatiran yang mungkin perlu diteliti lebih lanjut yaitu bahwa dengan pemanasan bahan bakar akan terjadi perubahan viskositas dari bahan bakar. Viskositas fluida bahan bakar berbanding terbalik dengan temperatur. Meskipun meningkatkan temperatur bahan bakar dapat menurunkan viskositasnya sehingga dapat memperkecil ukuran droplet dan meningkatkan homogenitas dari bahan bakar, namun itu akan mempengaruhi proses pelumasan.

Temperatur ruang bakar juga disinyalir akan semakin meningkat dengan semakin baiknya proses pembakaran sehingga perlu dipikirkan modifikasi pada sistem pendinginan untuk dapat mengatasi kenaikan temperatur ruang bakar. Durabilitas mesin erat kaitannya dengan suhu kerja mesin dan pendinginannya.

Pengaplikasian pada kendaraan yang menggunakan injeksi perlu diteliti lebih lanjut. Karena sistem injeksi bekerja dengan memakai peranti elektronik. Pemakaian EP2FS dikhawatirkan memiliki dampak pada peranti elektronik pada sistem injeksi.

KESIMPULAN

Ada beberapa hal yang dapat disimpulkan dari penelitian ini:

1. Dari perhitungan didapatkan bahwa untuk membuat EP2FS sebagai pemanas bahan bakar bensin agar mencapai temperatur 60 °C diperlukan pipa tembaga dengan diameter luar 9.5 mm serta diameter dalam 8.3 mm dan panjang 40 cm. EP2FS Berdesain lilitan berbentuk coil dengan penambahan insulator pada bagian sisi luar coil. Jumlah lilitan adalah 2,5 lilitan. Pipa tembaga dengan dimensi ini diproduksi oleh industri dengan ukuran 5/8 inch.
2. Temperatur EP2FS maksimal bahan bakar keluar EP2FS adalah 59.7 °C dan berada

dibawah dari temperatur maksimal bahan bakar yang diijinkan yaitu 60 °C.

3. Dari pengujian Torsi dan daya didapatkan fakta bahwa pada kendaraan uji yang menggunakan EP2FS terdapat peningkatan torsi dan daya yang cukup signifikan pada putaran mesin rendah. Ini memiliki arti bahwa akselerasi dan kecepatan dari kendaraan meningkat.
4. Peningkatan power dan torsi pada mesin dengan menggunakan EP2FS adalah 40% pada putaran mesin rendah dan 1.5% pada putaran mesin tinggi.
5. Efisiensi pembakaran yang didapatkan dari pemakaian EP2FS adalah meningkat 6% dari standar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Azwar, Saifuddin. 2004. *Metode Penelitian*. Yogyakarta : Pustaka Pelajar
- [2] Brenda Brevitt. 2002. *Alternative Vehicle Fuels, Science Environment Section*.
- [3] House of Commons Library, Research Paper 02/11
- [4] Coates, J. and Pressburg, B. S., *Heat transfer to moving fluids*, Chemical Engineering Journal 2009, page 67-72
- [5] Dimoplou, W. *Finding the length of helical coils*, Chemical Engineering Journal 2008
- [6] Edward, M. F., others, *Heat transfer and pressure drop characteristic of a plate exchanger using newtonian and non newtonian liquids*, Chemical Engineering Journal 2004, page 286-293
- [7] Fessenden. 1991. *Kimia Organik Jilid 1*. Jakarta : Erlangga
- [8] Kern, D. Q., *Process Heat Transfer*, McGraw-Hill, New York 2000
- [9] Patil, Ramachandra K., others, *Designing a helical-coil heat exchanger*, Chemical Engineering Journal, page 85-88 Desember 2009
- [10] R.R. Saraf, S.S.Thipse and P.K.Saxena. 2009. *Comparative Emission Analysis of Gasoline/LPG Automotive Bifuel Engine*. International Journal of Civil and Environmental Engineering 1:4 2009
- [11] Soenarta, Nakula. 2005. *Motor Serba Guna*. Jakarta : Paradnya Paramita
- [12] Sudirman, Urip. 2006. *Metode Tepat Menghemat Bahan Bakar (Bensin) Mobil*. Jakarta : Kawan pustaka
- [13] Suyanto, Wardan. 2009. *Teori Motor Bensin*. Jakarta: DEPDIKBUD.
- [14] Willard W. Pulkrabek. *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*. New Jersey.Hal. 229.