

Pemanfaatan Panas Ruang Bakar Untuk Menurunkan Viskositas Minyak Nabati Pengganti Bahan Bakar Fossil Motor Diesel

Nana Surjana

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung
Jln. Gegerkalong Hilir, Ds. Ciwaruga, Bandung
INDONESIA

E-mail: dwinasurya@yahoo.co.id

Abstrak

Penelitian ini berkaitan dengan Motor Diesel sebagai pembangkit tenaga yang kita ketahui sangat luas penggunaannya dan sejak awal dirancang menggunakan bahan bakar fosil (minyak solar). Sekarang muncul berbagai isu bahwa pemakaian bahan bakar fosil dapat mencemari udara, selain itu langka dan mahal, maka harus ada inovasi energi alternatif pengganti yang bersifat terbarukan serta ramah lingkungan. Beberapa minyak nabati berpotensi bisa menjadi pengganti solar, diantaranya; Jarak pagar, Kopra dan Kelapa sawit. Pure Plant Oil (PPO) adalah ekstraksi minyak tumbuhan yang telah diproses degumming dan dinetralisir. Kekurangan PPO, viskositasnya lebih tinggi dibandingkan dengan solar, inilah yang menjadi penghambat operasi pada motor diesel. Maka sebelum digunakan viskositasnya harus diturunkan, diantaranya dengan cara dipanaskan. Berbagai sumber panas pada motor diesel bisa digunakan untuk memanaskan PPO, diantaranya dari gas buang, air pendingin atau komponen motor. Dalam penelitian ini, sumber panas berasal dari ruang bakar motor melalui Change Over Valve (COV) sebagai komponen bawaan dari motor diesel tipe Listeroid yang dimodifikasi menjadi pemanas PPO. Dari hasil eksperimental diketahui bahwa motor diesel uji mampu hidup/beroperasi dengan menggunakan ke tiga bahan bakar diatas (Jarak, Kopra, Sawit). Pada beban rendah karakteristik ketiga PPO tersebut menyamai minyak solar, ini bisa diamati melalui pengujian BSFC, BTE, emisi HC dan CO.

Kata Kunci; Fossil, Diesel, PPO, COV.

1. PENDAHULUAN

1.1 Pemanasan Global dan Pencemaran Udara

Secara umum pemanasan global didefinisikan sebagai meningkatnya suhu permukaan bumi oleh gas rumah kaca akibat aktivitas manusia. Menurut *Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC), efek gas rumah kaca sebagian besar dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil. Pencemaran udara adalah penurunan kualitas lingkungan, berasal dari emisi kendaraan bermotor, industri, perkapalan, atau proses alami makhluk hidup. Bahan bakar fosil sebagai bahan bakar yang tidak terbarukan saat ini merupakan sumber energi utama bagi kehidupan manusia didunia. Table 1, menggambarkan perbandingan level emisi polutan Gas alam, Bahan bakar cair, dan Batu bara.

1.2 Bahan Bakar Fossil

Saat ini kebutuhan energi dunia yang berasal dari bahan bakar fosil semakin meningkat. Sedangkan cadangan minyak bumi diberbagai belahan bumi dari waktu ke waktu makin berkurang, konsekuensinya cepat atau lambat sumber energi tidak terbarukan tersebut akan habis.

Berbagai upaya dilakukan untuk mengantisipasi terjadinya kelangkaan sumber energi bahan bakar tersebut, melalui himbauan penghematan atau mengelola energi lain menggantikan energi fosil. Berbagai pemikiran muncul, bagaimana bila memanfaatkan minyak yang berasal dari tumbuhan?. Konsep penggunaan bahan bakar dari minyak nabati sudah dimulai sejak tahun 1895 oleh Dr. Rudolf Christian Karl Diesel (Jerman, 1858-1913) [Gerhard Knothe dkk, 2005].

Tabel 1: Fossil Fuel Emission Levels, Pounds per Billion Btu of Energy Input

Pollutant	Nat. Gas	Oil	Coal
Carbon Dioxide	117,000	164,00 0	208,00 0
Carbon Monoxide	40	33	208
Nitrogen Oxides	92	448	457
Sulfur Dioxide	1	1,122	2,591
Particulates	7	84	2,744
Mercury	0.000	0.007	0.016

Source: EIA - Natural Gas Issues and Trends 1998

1.3 Pure Plant Oil (PPO)

Ekstraksi adalah cara untuk mengeluarkan minyak nabati dari bagian tertentu pada tumbuhan, minyak yang dihasilkan disebut *crude oil*. Minyak nabati murni (*Pure Plant Oil /PPO*) adalah merupakan *crude oil* minyak tumbuhan yang sudah melalui proses penghilangan getah (*degumming*) dan netralisasi (deasidifikasi) penghilangan asam lemak bebas. PPO yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari tumbuhan; (1) Jarak pagar (*Pure Jatropha Curcas Oil*), (2) Kopra (*Pure Coconut Oil*), (3) Kelapa Sawit (*Pure Palm Oil*) [Iman K. Reksowardojo dkk, 2009]. PPO dapat digunakan sebagai bahan bakar bilamana viskositasnya terlebih dahulu diturunkan sebelum diinjeksikan kedalam ruang bakar (salahsatunya dengan cara dipanaskan) [Soni Solistia Wirawan, 2009]. Dari hasil pengujian diketahui bahwa minyak Solar mempunyai viskositas kinematik 3.555 cSt pada temperatur 40°C. Pada temperatur yang sama viskositas minyak jarak pagar adalah 37.296 cSt, minyak kelapa sawit 37.74 cSt, dan minyak kelapa 27.972 cSt. Jadi viskositas kinematik PPO lebih tinggi dibandingkan dengan minyak solar. Penggunaan PPO tanpa pemanasan, akan menimbulkan gangguan pada motor, antara lain; tidak mampu mengabut dari injektor pada tekanan kerja, PPO sifatnya dapat membeku. Selain itu juga mengotori komponen ruang bakar atau sistem pelayanan bahan bakar. Alasan inilah yang menyebabkan PPO tidak dapat langsung

digunakan sebagai bahan bakar diesel.

1.4 Sifat, Kandungan dan Jenis Pengujian untuk Bahan Bakar Motor Diesel

Bahan bakar diesel (*Light Oil*) sering disebut juga minyak solar. Diperoleh dari penyulingan minyak mentah pada temperatur 200°C–340°C.

Sebagian dari sifat, kandungan dan pengujian bahan bakar diesel menurut ASTM D975 adalah sebagai berikut:

Pour Point; mampu alir dari suatu produk bahan bakar, ketika diuji pada temperatur paling rendah pada kondisi baku tertentu (ASTM D97).

Flash Point; pada temperatur yang paling rendah tertentu, uap bahan bakar akan terbakar oleh nyala api biasa (ASTM D93).

Volatility; karakteristik penguapan suatu bahan bakar, sesuai dengan contoh pendestilasian, melalui kendali temperatur pemanasan bertahap (ASTM D86).

Cetane Number; ukuran mutu pengapian bahan bakar diesel, yang didasarkan pada kesiap-siagaan untuk membakar secara spontan dibawah kondisi temperatur dan tekanan kompresi tertentu dalam ruang bakar (ASTM D613).

Sulfur; kadar belerang (ppm) dalam bahan bakar (ASTM D2622 dan ASTM D4294).

Viscosity; merupakan tahanan alir dari suatu bahan bakar yang dinyatakan dalam ukuran waktu (ASTM D445).

Density; adalah massa dari suatu zat per-unit volume. (ASTM D287 atau ASTM D1298).

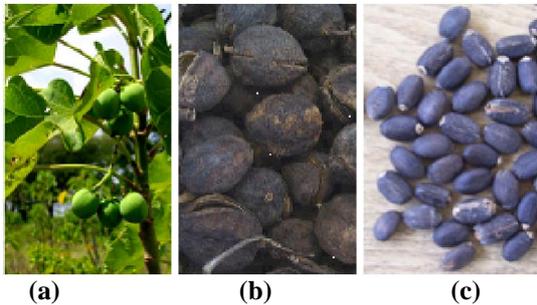
Heating Value; Ukuran energi yang tersedia dari suatu bahan bakar ketika dibakar (ASTM D240).

Table 2. Karakteristik Minyak Solar dibandingkan dengan Minyak Nabati (dalam bentuk PPO) [Beer Bahadur Kashyap, 2009]

Sifat Bahan Bakar	Jenis Bahan Bakar/Minyak			
	Solar	Jarak pagar	Kelapa sawit	Kopra
Specific Energy (MJ/kg)	45.343	39.071	38	35.8
Density (kg/m ³)	838.268 - 841.732	918	0.91	915
Cetane Number	40-55	23	38 - 40	60 - 70
Kinematic Viscosity (cSt, 40°C)	2.17 - 2.71	34.68 - 37.27	32	27
Flash Point (°C)	68 - 74	225-233	219	200 - 285

1.5 Jarak Pagar (*Jatropha Curcas*)

Jarak pagar (Gambar 1) bukanlah tanaman bahan pangan, memiliki sedikit fungsi dan pemakaiannya terbatas, sehingga persaingan penggunaannya tidak banyak. Pohon ini mampu tumbuh pada lahan kritis, memiliki usia produktif relatif panjang. Kandungan minyak biji jarak pagar berkisar antara 30% - 50% [M. Syauqi S. A., 2011].



Gambar 1. Pohon jarak pagar, (b) Buah kering, (c) Biji jarak [Peter Beerens, 2007].

1.6 Kopra (Coconut)

Buah kelapa dimanfaatkan untuk keperluan pangan. Daging buah kelapa merupakan bagian



Gambar 2. Gambar dan spesifikasi motor diesel untuk eksperimental [M/S. Power Engineering Corporation].

yang memiliki kandungan minyak tertinggi, 60% - 70% [M. Syauqi S. A., 2011]. Ketersediaannya melimpah, tumbuh hampir diberbagai tempat diseluruh wilayah Indonesia.

1.7 Kelapa Sawit (Palm)

Buah kelapa sawit mengandung minyak sekitar 46% - 54% [M. Syauqi S. A., 2011]. Minyak kelapa sawit (*Palm Oil*) sangat memungkinkan digunakan sebagai bahan bakar. Keunggulan *Palm Oil* sebagai bahan bakar motor diesel adalah kandungan asam lemak jenuhnya tinggi sehingga menghasilkan angka setana yang tinggi pula.

2. INSTALASI DAN PROSEDUR

2.1 Motor Diesel untuk Eksperimental

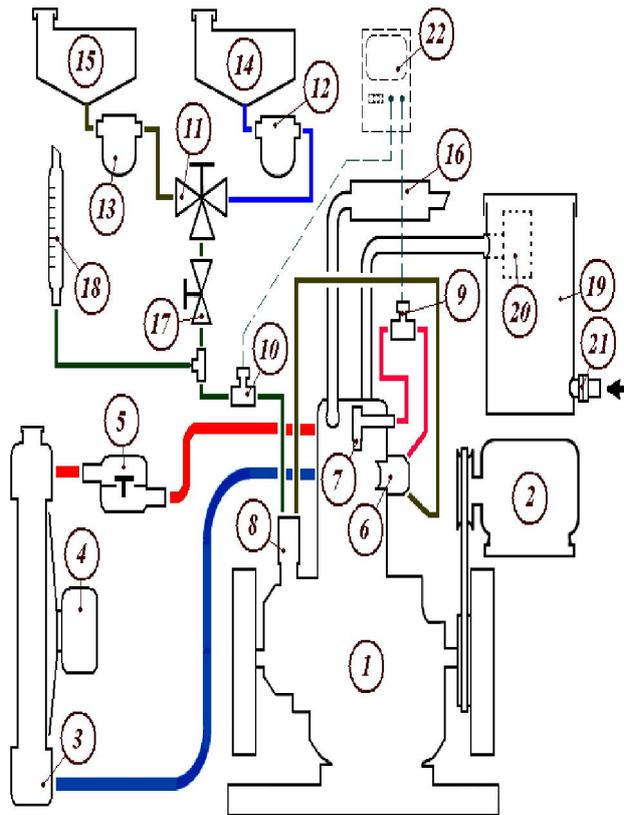
Motor diesel yang digunakan dalam pengujian ini adalah jenis serbaguna, tipe *Listeroid* (Gambar 2). dipakai untuk berbagai kegunaan; pengairan, penggilingan padi, pembangkit tenaga listrik, dan lainnya. Spesifikasi motor dapat dilihat pada gambar dibawah ini:

Spesifikasi Motor Diesel Tipe Listeroid	
Daya maksimum	: 6/4.4 hp/kW
Torsi maksimum	: 64.67 Nm
Putaran maksimum	: 650 rpm
Volume motor	: 1.432 liter
Dia. Silinder x Langkah	: 114.3 x 139.7 mm
Jumlah silinder/Langkah	: 1/4
Perbandingan kompresi	: 1:18
Model pembakaran	: IDI
Sistem pendingin	: Air bertekanan
Lapangan penggunaan	: Industri/Pertanian

2.2 Instalasi Pengujian

Ada bagian-bagian pada motor diesel dan kelengkapan instalasi uji (Gambar 3) yang perlu ditambahi atau dimodifikasi, diantaranya:

- Menambah radiator dan termostat.
- Memodifikasi COV (*Change Over Valve*).
- Melengkapi tanki dan saringan bahan bakar masing-masing menjadi dua buah.
- Melengkapi katup tiga arah untuk pemindah bahan bakar.
- Melengkapi termokopel dan pengukur temperatur.
- Memodifikasi saluran gas buang.
- Menambah *Plenum Chamber*.



Nama Bagian:

- | | |
|-----------------------|--------------------|
| 1. Motor | 12. Saringan solar |
| 2. Generator | 13. Saringan PPO |
| 3. Radiator | 14. Tanki solar |
| 4. Kipas pendingin | 15. Tanki PPO |
| 5. Termostat | 16. Peredam |
| 6. Pemanas (COV) | 17. Katup sumbat |
| 7. Injektor | 18. Gelas ukur |
| 8. Pompa injeksi | 19. Ruang plenum |
| 9. Termokopel panas | 20. Saringan udara |
| 10. Termokopel dingin | 21. Pelat orifis |
| 11. Katup tiga arah | 22. Pengukur suhu |

Gambar 3. Skema instalasi pengujian.

2.3 Modifikasi COV (Change Over Valve)

Banyak literatur memberi gagasan yang berkaitan dengan pemilihan sistem pemanas bahan bakar motor diesel. Pada Tabel 3, ada tiga alternatif sumber panas yang bisa digunakan untuk memanaskan PPO:

Table 3. Sumber Panas

Alternatif	Temperatur	
	Temp. Rata-rata Sumber	Kemampuan Memanaskan PPO hingga
1. Air Pendingin	100°C	<75°C)*
2. Gas Buang	600°C	<70°C)**
3. Ruang Bakar	900°C	>85°C)***

)* [Warabut Rapipan, 2004].

)** [C. Permana dkk., 2008].

)*** [Penelitian di ITB, 2011].

Dalam penelitian ini, sumber panas yang digunakan adalah sumber panas yang berasal dari panas pembakaran dalam ruang bakar.

Artinya pada motor diesel ini kita memanfaatkan COV (*Change Over Valve*) untuk dimodifikasi menjadi *Heater Plug*, dimana panasnya diekspose dari ruang bakar motor (Gambar 4).

Motor diesel tipe *Listeroid* umumnya dilengkapi dengan COV (Gambar 5a) suatu alat yang berfungsi untuk menyetel nisbah kompresi agar lebih mudah di *Start-up* ketika udara dingin.

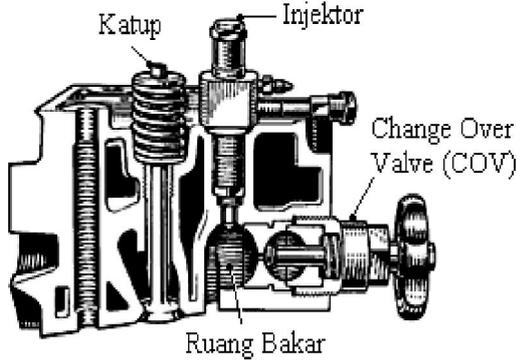
Alasan memodifikasi COV (bawaan motor diesel jenis *Listeroid*) ini menjadi *Heater Plug* (Gambar 5b) adalah:

§ Temperatur sumber sangat tinggi, berasal dari hasil proses pembakaran. Mampu memanaskan PPO hingga mencapai >85°C. Merupakan yang tertinggi diantara dua alternatif lainnya (Air Pendingin atau Gas Buang).

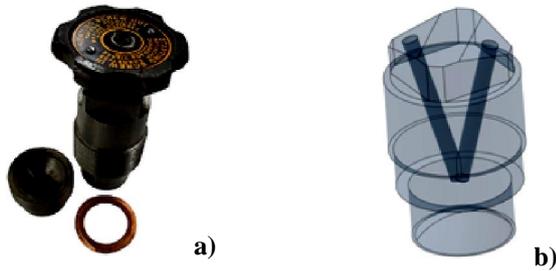
§ *Heater Plug* bisa dibuat dibengkel pemesinan sederhana dan murah.

§ Tidak memerlukan baja kualifikasi khusus, cukup baja untuk konstruksi umum.

Kini motor diesel tipe *Listeroid* cenderung diproduksi untuk dioperasikan di wilayah beriklim hangat. Alat COV ini walaupun fungsinya sekarang menjadi berkurang, namun pabrikan memilih tetap mempertahankannya.



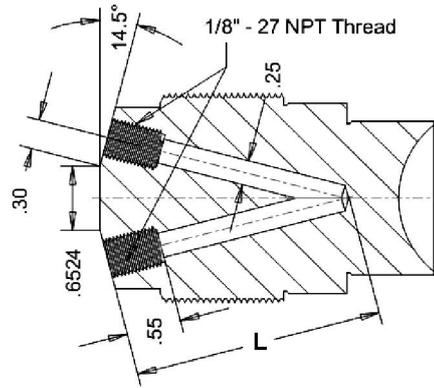
Gambar 4. COV pada kepala silinder motor [M. Basinger dkk, 2010]



Gambar 5. (a) COV, (b) Heater plug.

2.4 Bentuk Saluran Pemanas Heater Plug

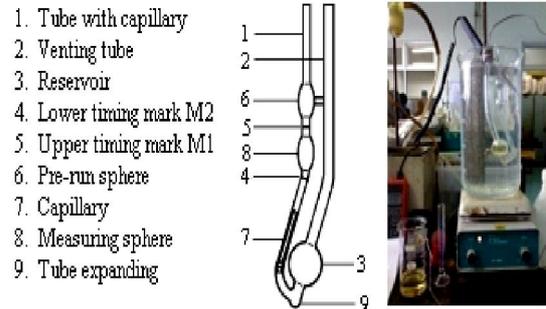
Gambar 6 adalah merupakan penampang potongan dari *Heater plug* Gambar 5b, dimana "L" adalah panjang sisi saluran yang dilewati PPO. Dari hasil perhitungan, panjang total saluran yang membentuk "V" adalah 0.116 m (166 mm). Sedangkan panjang satu sisinya (L) adalah 58 mm (2.281"). Untuk menentukan panjang saluran pemanas dianalisis dengan acuan buku *Fundamentals Of Heat And Mass Transfer 3rd Edition*, Incropera, DeWitt.



Gambar 6. Profil saluran pemanas heater plug.

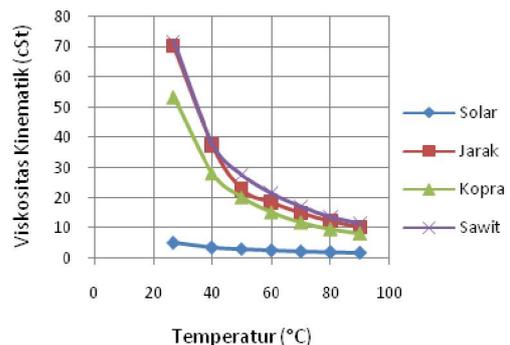
2.5 Pengujian PPO dan Minyak Solar

PPO yang menjadi bahan penelitian adalah; (1) Minyak Solar, (2) Minyak Jarak Pagar, (3) Minyak Kelapa Sawit dan (4) Minyak Kopra.



Gambar 7. Menguji viskositas kinematik.

Sebelumnya viskositas keempat minyak diatas tadi diuji pada temperatur bervariasi (Gambar 7), pada rentang pengujian 27°C hingga 90°C. Viskositas kinematik diukur menggunakan *Capillary Viscometer (Cannon-Fenske Routine Viscometer)*. Hasil pengujian PPO dan minyak solar nampak pada sajian grafik dibawah ini:

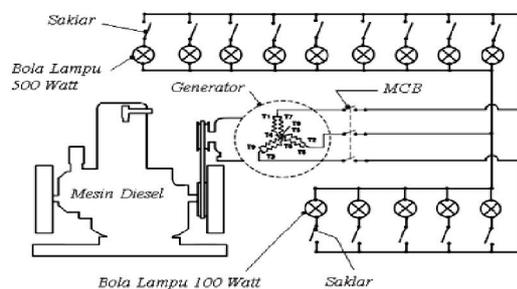


Gambar 8. Viskositas kinematik Solar dan PPO.

Grafik diatas (Gambar 8) mengilustrasikan pengaruh temperatur terhadap viskositas kinematik (ν) minyak solar dan PPO yang diuji. Dapat disimpulkan bahwa viskositas PPO dan minyak solar menurun seiring dengan meningkatnya temperatur. Pada temperatur antara 85°C hingga 120°C viskositas PPO telah mendekati viskositas minyak solar.

2.6 Persiapan Eksperimental

- a) Mengoptimumkan motor yang diuji; Penyetelan katup motor, derajat saat penyemprotan, dan menguji injektor.
- b) Melengkapi peralatan uji; Sistem pendingin, sistem bahan bakar, Pemasangan *Plenum chamber*, dan Pembuatan panel beban (Gambar 9).
- c) Pemasangan Generator; 5 kVA.



Gambar 9. Rangkaian listrik panel beban.

2.3 Prosedur Eksperimental

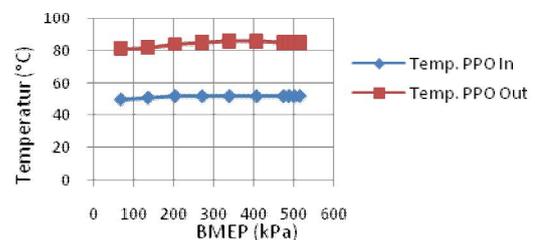
Motor diesel dihidupkan menggunakan bahan bakar minyak solar, diatur pada putaran *idle* 500 rpm. Motor dibiarkan hidup pada putaran tersebut selama ± 20 menit hingga temperatur kerja tercapai. Saat pengujian putaran motor diatur pada 650 rpm, konstan. Setelah tercapai, melalui katup tiga arah, pindahkan bahan bakar motor dari minyak solar ke PPO. Sebelum motor dimatikan, pindahkanlah katup tiga arah dari PPO ke minyak solar kembali. Hal ini perlu dilakukan setiap akan mematikan motor, agar sisa PPO akan dibilas dengan minyak solar sehingga saat menghidupkan kembali tidak akan menemui kesulitan. Selain itu pembilasan akan membersihkan sisa-sisa kotoran pada sistem injeksi dan pada saringan bahan bakar. Variabel pada pengujian ini adalah; temperatur masuk/keluaran minyak

solar, BSFC, BTE, HC, dan CO. Pengujian dilakukan beberapa kali.

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Pengujian Temperatur Minyak

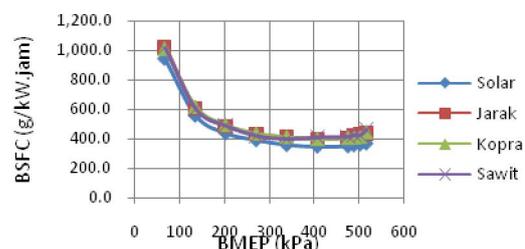
Dalam pengujian ini minyak yang digunakan adalah minyak kopra. Temperatur awal minyak yang masuk kedalam Alat pemanas *Heater Plug* $\pm 50^\circ\text{C}$ (lebih tinggi dari udara luar dan dipengaruhi oleh kondisi temperatur kerja motor). Setelah melewati *Heater plug* temperatur keluarannya lebih tinggi hingga mencapai $>85^\circ\text{C}$. Hal ini disebabkan oleh tingginya temperatur ruang bakar, yang kemudian ditransfer ke PPO ketika melewati saluran dalam *Heater plug*. Temperatur akan meningkat seiring dengan penambahan beban pada motor. Pada temperatur tersebut motor sudah bisa hidup dengan lancar.



Gambar 10. Grafik Hasil Pengujian Temperatur Minyak

3.2 Pengujian Brake Specific Fuel Consumption (BSFC)

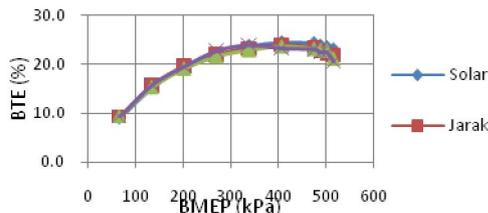
BSFC merupakan rasio antara konsumsi bahan bakar dan daya brake. BSFC yang rendah mengindikasikan performa motor baik. Ketika motor beroperasi pada beban rendah daya brake-nya kecil. Pada beban tinggi, daya brake yang dihasilkan lebih besar sehingga BSFC makin menurun. Kecenderungan penurunan BSFC yang nyata terjadi pada beban <1 kW hingga 2 kW dan setelah itu BSFC turun, lalu meningkat lagi.



Gambar 11. Grafik Hasil Pengujian BSFC

3.3 Pengujian Brake Thermal Efficiency (BTE)

BTE suatu motor adalah merupakan kemampuan memanfaatkan panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar menjadi kerja mekanis. Panas atau tenaga yang dibangkitkan dapat diukur melalui banyaknya konsumsi bahan bakar. Sedangkan besar kerja mekanis dapat diketahui dari daya mesin yang diukur. Dalam grafik nampak, seiring dengan peningkatan beban maka efisiensi juga meningkat, hingga akhirnya turun akibat pasokan udara yang tidak memenuhi untuk proses pembakaran yang sempurna.

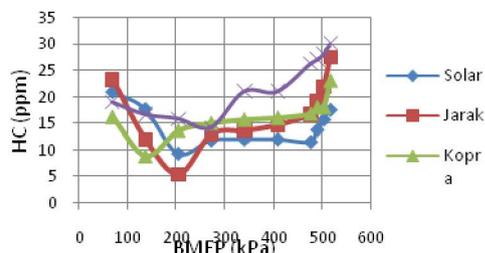


Gambar 12. Grafik Hasil Pengujian BTE.

3.4 Pengujian Hydro Carbon (HC)

Emisi HC dihasilkan dari; *flame quenching* pada dinding silinder, campuran kaya, dan atomisasi bahan bakar yang buruk (viskositas bahan bakar yang terlalu tinggi).

Pada beban $\pm 1,5$ kW HC Jarak pagar mampu lebih rendah dari solar, namun > 2 kW HC solar tetap yang paling rendah. Bila dibandingkan dengan PPO yang lainnya Jarak pagar tetap yang paling baik.

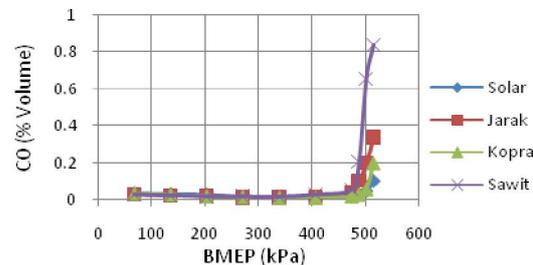


Gambar 13. Grafik Hasil Pengujian HC

3.1 Pengujian Carbon Monoxide (CO)

Pada beban ± 1 kW hingga $\pm 3,5$ kW persentase emisi CO untuk PPO dan Solar berimpit dan menurun sedikit kebawah. Hal ini disebabkan pada beban tersebut udara yang dimampatkan

perbandingannya masih cukup untuk menghasilkan pembakaran yang lengkap. Namun saat beban yang diberikan $> 3,5$ kW terjadi lonjakan CO, hal ini diakibatkan oleh terjadinya penurunan putaran, pasokan udara rendah sedangkan volume bahan bakar yang disemprotkan masih tetap.



Gambar 14. Grafik Hasil Pengujian CO

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

- Sebelum PPO digunakan, viskositasnya terlebih dahulu diturunkan melalui proses pemanasan.
- Sumber panas dalam penelitian ini diambil dari COV yang dimodifikasi menjadi sistem pemanas PPO (sebut; *Heater Plug*) pemanasannya hingga mencapai 85°C .
- Konstruksi *Heater Plug* sederhana, tidak memerlukan alat khusus, komponen bisa dibuat dibengkel pemesinan kecil, bahan tidak memerlukan baja kualifikasi khusus.
- Motor diesel dengan *Heater Plug* PPO ini dapat beroperasi normal, kinerjanya tidak berbeda dengan minyak solar.

4.2 Saran

- Dengan memberi insulator *Glasswool* pada pipa saluran keluar heater plug akan mempercepat pemanasan awal dan mencegah kehilangan panas melalui saluran tersebut.
- Sebelum mematikan motor, pindahkan kembali aliran bahan bakar dari PPO ke minyak solar. Tujuannya untuk membersihkan kotoran-kotoran PPO yang masih tertinggal pada sistem injeksi.
- Penelitian ini belum dilengkapi dengan pemeriksaan visual terhadap komponen

motor; *Fuel filter, Nozzle, Piston, Intake dan Exhaust Valve, Combustion chamber.*

PENGAKUAN

Penelitian ini terlaksana berkat bimbingan dari yang terhormat bapak Dr. Iman K. Reksowardojo, Dr. Tirto P. Brodjonegoro, dan Prof. Wiranto Arismunandar. Serta atas kerjasama dengan saudara Doan K. Dinh mahasiswa S2 dari Vietnam di Jurusan Teknik Mesin ITB. Selain itu, fasilitas dan dana untuk eksperimental disediakan oleh Laboratorium Motor Bakar dan Sistem Propulsi, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara ITB.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. ASTM D975, *Diesel Fuel Specification Test*, Technical Information.
2. Beer Bahadur Kashyap, 2009, *Performance Evaluation of IDI Slow Speed Diesel Engine on Pre-Heated Jatropha Oil*, Dissertation, India, University of Delhi.
3. C. Permana, W. Hendradjit, FX Nugroho S, 2008, Jakarta, Evaluasi Rancangan Pemanas Minyak Jarak Memanfaatkan Kalor Buang Engine Diesel, Jakarta, Universitas Gunadarma, 125-131.
4. Frank P. Incropera, David P. Dewit, 1996, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer-4th Edition*, USA, John Wiley & Sons Inc.
5. Gerhard Knothe, Jon Van Gerpen, Jürgen Krahl, 2005, *The Biodiesel Handbook*, Champaign, Illinois, USA, AOCS Press.
6. Iman K. Reksowardojo, Y. Hartanto, T. P. Brodjonegoro, W. Arismunandar, 2009, Comparison of Diesel Engine Characteristic Using Pure Coconut Oil, Pure Palm Oil, and Pure Jatropha Oil as Fuel, Bandung, Jurnal Teknik Mesin, Vol.11 No.1, Faculty of Mechanical and Aerospace Engineering ITB, 34 - 40.
7. M. Basinger, T. Reding, C. Williams, K.S. Lackner, V. Modi, 2010, Compression Ignition Engine Modifications for Straight Plant Oil Fueling in Remote Contexts: Modification Design and Short-Run Testing, Article In Press, Elsevier, 1-13.
8. M. Syauqi S. A., 2010, Pengaruh Gas Campuran Stoikiometrik Hidrogen-Oksigen (HHO) Terhadap Kualitas Pembakaran Campuran 50% Minyak Nabati Murni-Solar pada Motor Diesel Injeksi Langsung, Tesis, Bandung, FTMD-ITB.
9. Peter Beerens, 2007, *Screw-Pressing of Jatropha Seeds for Fuelling Purposes in Less Developed Countries*, Netherland, Eindhoven University of Technology.
10. Soni Solistia Wirawan, 2009, Potential of *Jatropha curcas L.*, Tsukuba, Japan, Joint Task 40 /ERIA workshop, 1 - 35.
11. Tirto P. Brodjonegoro, *Proses Pengolahan dan Pemanfaatan Minyak Jarak Menjadi Biodiesel pada Berbagai Skala Industri*, Kelompok Studi Biodiesel, Departemen Teknik Kimia ITB.
12. Warabut Rapihan, 2004, Design Of A Vegetable Oil Fuel Warming System For Use In Diesel Engine, Theses, Thailand, Mahidol University.
13. Wiranto Arismunandar, 1977, *Penggerak Mula, Motor Bakar Torak*, Penerbit ITB, Bandung.