

Efek Penggunaan Biodiesel 100 % Terhadap Pengenceran Minyak Pelumas dan Deposit pada Sistem Saluran Bahan Bakar

Muhamad As'adi¹⁾, Rizqon Fajar²⁾, dan Prawoto^{1,2)}

1) Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Pancasila
Jl. Srengseng Sawah-Jagakarsa, Jakarta Selatan 12640

E-mail : adi_shiddiq@yahoo.com

2) Balai Termodinamika Motor dan Propulsi
Kawasan Puspitek Gd.230 Cisauk, Tangerang

Abstrak

Minyak Goreng bekas merupakan limbah yang nilai ekonomisnya sudah tidak diperhitungkan lagi karena akan merusak cita rasa olahan, minyak goreng bekas dapat dijadikan bahan bakar biodiesel yang setara dengan solar. Biodiesel (methyl ester) merupakan bahan bakar ramah lingkungan yang memiliki titik didih dan viskositas yang lebih tinggi dari minyak solar. Hal ini menyebabkan biodiesel cenderung menempel pada dinding silinder, piston dan kemudian akan ikut terbawa oleh gerakan ring piston masuk ke dalam bak minyak pelumas.

Kelarutan biodiesel kedalam minyak pelumas mesin akan mempengaruhi daya pelumasannya. Penelitian ini akan mengkaji seberapa besar pengaruh penggunaan biodiesel dari minyak jelantah terhadap pengenceran pelumas dan pembentukan deposit pada sistem saluran bahan bakar mesin diesel bila dibandingkan dengan solar, yang dioperasikan selama 100 jam.

Hasil percobaan menunjukkan bahwa penggunaan biodiesel dari minyak goreng bekas akan menurunkan viskositas minyak pelumas sebesar 5.4 % sedangkan solar akan mengalami kenaikan viskositas sebesar 9 %. Pembentukan deposit pada sistem saluran bahan bakar akan lebih kecil dibanding dengan solar, dan opasitasnya juga lebih rendah.

Kata kunci : Biodiesel, minyak goreng bekas, minyak pelumas, deposit.

1. Pendahuluan

Pada tahun 1970-an di Eropa minyak nabati sudah digunakan sebagai bahan bakar motor diesel untuk menggantikan solar, tetapi nilai ekonomisnya masih mahal. Untuk mengatasi hal tersebut terutama di Jerman dan Austria minyak nabati sudah diolah menjadi biodiesel, namun secara ekonomi belum mampu bersaing dengan solar. Sejak saat itu mulailah dikembangkan biodiesel dari minyak goreng bekas (jelantah) dan dari sisa lemak hewani. Perkembangan biodiesel dari minyak jelantah semakin pesat dengan dilarangnya pemakaian minyak jelantah untuk campuran pakan ternak, karena bersifat karsinogenik. Sampai saat ini biodiesel dari minyak jelantah sudah di produksi di mana-mana baik di Eropa, Amerika dan Jepang. Biodiesel dari minyak jelantah di Austria dikenal dengan nama AME (*Altfett Methyl Ester*), sedang di Jerman selain dikenal dengan AME juga mendapat nama *Frittendiesel* atau *Ecodiesel*, sedang di Jepang dikenal dengan *e-oil*. Sementara itu di Indonesia, pemanfaatan minyak jelantah masih sangat kontroversi. Sampai saat ini sebagian besar minyak jelantah dari perusahaan besar banyak yang dijual ke pedagang untuk didaur ulang dan ada yang dipakai untuk menggoreng dagangan makanan. Bila ditinjau dari komposisi kimianya, minyak jelantah mengandung senyawa-senyawa karsinogenik, yang terjadi selama proses penggorengan. Jadi jelas bahwa pemakaian minyak jelantah untuk dikonsumsi secara berkelanjutan dapat merugikan kesehatan manusia dan sebagai akibatnya dapat mengurangi kecerdasan otak,¹⁾ serta dapat sebagai pemicu munculnya penyakit kanker. Untuk menghindari hal tersebut dan meningkatkan nilai tambahnya maka minyak jelantah dapat diolah menjadi biodiesel melalui proses transesterifikasi. Kelebihan biodiesel bila dibanding dengan solar, selain ramah lingkungan adalah menghasilkan emisi gas buang yang lebih redah (CO, hidrokarbon, partikel dan opasitas), pembakaran

yang lebih efisien, sifat pelumasan lebih baik, dan meningkatkan ketidaktergantungan suplai bahan bakar karena dapat diproduksi secara lokal.²⁾

Salah satu karakteristik biodiesel berbahan baku minyak jelantah terutama adalah mempunyai viskositas yang lebih tinggi dari minyak solar. Hal ini mengakibatkan biodiesel cenderung menempel pada dinding silinder dan piston yang akhirnya akan terbawa oleh gerakan piston masuk kedalam pelumas mesin. Kelarutan biodiesel kedalam minyak pelumas akan mempengaruhi sifat fisik kimia pelumas, terutama kekentalannya atau viskositas. Disamping itu biodiesel juga mempunyai sifat melarutkan, sehingga dapat mengurangi terjadinya pembentukan deposit pada sistem saluran bahan bakar mesin diesel. Penelitian ini akan mengkaji seberapa besar pengaruh penggunaan biodiesel dari minyak jelantah terhadap pengenceran pelumas dan pembentukan deposit pada sistem saluran bahan bakar mesin diesel bila dibandingkan dengan solar.

Penelitian Lely Yuli M³⁾, menunjukkan penggunaan biodiesel sebagai bahan bakar dapat menimbulkan perubahan sifat-sifat minyak pelumas, dapat meningkatkan sifat pelumasan, dan secara umum kinerjanya mesin akan lebih bagus dibanding dengan bahan bakar solar.

Ananta Andy A S¹⁾, mengemukakan bahwa dalam rangka mencari energi alternatif yang ekologis, ternyata minyak jelantah dapat diandalkan. Pemanfaatan minyak jelantah sebagai bahan bakar motor diesel merupakan suatu cara penanganan minyak jelantah yang menghasilkan nilai ekonomis serta menciptakan bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar solar yang bersifat etis, ekonomis, dan sekaligus ekologis.

Supranto dkk⁴⁾, mengemukakan bahwa kelebihan biodiesel adalah reaksi pembentukan energi yang dihasilkan akan lebih sempurna dibanding solar, sehingga tidak mengeluarkan asap hitam yang berupa karbon atau CO₂. Kelemahannya adalah dapat menyebabkan motor diesel mengalami kelengketan pada komponen yang terbuat dari karet.

Rizqon Fajar dan Ikhwan Haryono⁵⁾ dalam papernya Efek Kelarutan Biodiesel Terhadap Pelumas Mesin mengemukakan bahwa degradasi pelumas mesin dapat dipengaruhi adanya kontaminasi dari biodiesel. Biodiesel mengandung senyawa ester yang sebagian terdiri dari asam lemak tak jenuh. Asam lemak tak jenuh dikenal rentan terhadap reaksi oksidasi dan polimerisasi. Semakin tinggi kandungan ikatan tak jenuh/ikatan rangkap dalam asam lemak, semakin tinggi bilangan iodine dan semakin rentan terhadap reaksi oksidasi. Reaksi oksidasi yang diikuti dengan reaksi polimerisasi akan menghasilkan molekul lebih besar yang dapat menggumpal dan hal ini meningkatkan kekentalan pelumas mesin.

2. Metode Analisa Kerusakan Minyak Pelumas

a. Viskositas

Viskositas adalah salah satu sifat penting dari sekian banyak sifat minyak pelumas. Viskositas adalah ukuran ketahanan mengalirnya minyak pelumas pada temperatur tertentu dalam hubungannya dengan waktu. Temperatur yang digunakan untuk mengukur viskositas tersebut adalah 40° C dan 100° C. Viskositas biasanya diukur dalam centistokes (cSt), Saybolt Universal Second (SUS) atau equivalent dari kelompok viscositas SAE. Viskositas dapat ditentukan dengan cara kinematik yang menggunakan bola yang dijatuhkan melewati sample pelumas, dengan dialirkan melalui suatu pipa capiler, atau dengan alat-alat pemeriksaan viskositas kinematik yang lain. Perubahan dalam viskositas dapat menunjukkan banyaknya kontaminasi oleh produk-produk yang terbentuk akibat oksidasi/polimerisasi minyak pelumas, atau dipengaruhi juga oleh kehadiran partikel sisa pembakaran (soot). Metode standar yang digunakan untuk mengukur viskositas adalah ASTM D445.

b. Soot (jelaga)

Banyaknya jelaga dalam minyak pelumas adalah ukuran terbaik untuk mengetahui efisiensi pembakaran mesin. Kenaikan kadar jelaga dalam minyak pelumas disebabkan pemasukan udara yang tersumbat atau kekurangan dalam sistem saluran bahan bakarnya (*fuel sistem*). Jelaga biasanya dilaporkan dalam bilangan dan merupakan ukuran absorpsi atau % transmisi cahaya.

c. Fuel Dilution

Fuel dilution adalah penyebab utama dari penurunan viskositas (pengenceran) dalam minyak pelumas mesin. Keausan mesin yang disebabkan pengenceran minyak pelumas oleh *fuel dilution* kedalam bahan bakar dapat memperpendek umur mesin dan merusak komposisi aditif pelumas. *Fuel dilution* kedalam minyak pelumas diukur dengan metode FTIR atau dengan pengukuran titik nyala (*flash point*) dan dinyatakan dalam % volume.

d. Pentane dan Toluene Insoluble

Insoluble adalah sesuatu yang tidak dapat larut walaupun dibersihkan atau dicuci dengan *solvent* tertentu, menurut jenis *solvent* pencucinya dibedakan menjadi *pentane* dan *toluene-insoluble*. *Pentane insoluble* terdiri dari partikel *soot*/jelaga hasil pembakaran, oksidasi pelumas, partikel debu, dan adanya keausan komponen mesin yang terjadi. Sedangkan *Toluene insoluble* adalah sama dengan *pentane insoluble* tetapi tidak disertai dengan *insoluble* (padatan) hasil oksidasi.⁶⁾ Secara umum perbedaan keduanya merupakan *insoluble soot* hasil pembakaran, debu, dan keausan komponen yang tidak boleh melebihi 0.5 %.⁵⁾ Jika perbedaan tersebut lebih dari 0.5 % menunjukkan pada minyak pelumas sudah terjadinya proses oksidasi yang berlebihan.

e. Total Base Number (TBN)

Total Base Number adalah bilangan yang menunjukkan (menggambarkan) kemampuan dari minyak pelumas untuk menyerap (menetralkan) asam korosif seperti asam mineral yang terbentuk dari sulfur, chlorine, dan bromine. TBN juga dapat digunakan sebagai indikasi jumlah aditif deterjen yang tersisa dalam pelumas. Kehadiran biodiesel dalam pelumas diprediksi akan mempercepat reaksi oksidasi yang menghasilkan produk asam organik. Kandungan aditif deterjen akan lebih cepat menurun jika pelumas terkontaminasi dengan biodiesel. Deterjen juga berfungsi untuk mencegah menempelnya deposit hasil oksidasi pada permukaan komponen mesin. Oleh karena itu TBN tidak boleh turun terlalu rendah selama operasi mesin karena penurunan yang cukup rendah akan berakibat pada kemampuan pelumasan dari minyak pelumas turun (karena telah digunakan untuk menetralkan/mengikat kontaminan supaya dapat tersaring oleh filter), yang pada akhirnya akan mengakibatkan keausan korosif atau pembentukan *varnish*, *lump* dan endapan. Metode yang digunakan untuk menentukan TBN adalah ASTM D 4739 atau D 2896.

f. Analisa Spektrum FTIR

Spektrum FTIR sering juga digunakan untuk memonitor kondisi minyak pelumas. Minyak pelumas itu tersusun atas minyak pelumas dasar (*base oil*) dan aditif. Molekul minyak pelumas dasar dan aditif mempunyai gugus-gugus fungsi yang khas dan dapat dideteksi oleh spektrum *Fourier Transformasi Infra Red* (FTIR). Setiap minyak pelumas memiliki spektrum FTIR yang khas dan spektrum tersebut dapat dijadikan sebagai sidik jari atau identitas keasliannya. Parameter yang relevan dimonitor berhubungan dengan penggunaan biodiesel adalah kelarutan biodiesel/methyl ester, tingkat oksidasi dan kandungan aditif. Biodiesel akan terabsorpsi pada bilangan gelombang 1745 cm^{-1} .

3. Metodologi Pengujian

Pengujian untuk mengambil data dan sampel minyak pelumas dilakukan di Balai Termodinamika, Motor dan Propulsi-BPPT Serpong, dengan menggunakan 2 (dua) buah mesin diesel genset identik, merk Dong Feng silinder tunggal, horizontal, dan pendingin air, daya keluaran 4.4 kW/2600 rpm yang masing-

masing menggunakan bahan bakar biodiesel 100 % dan solar yang ada dipasaran, sedangkan minyak pelumasnya menggunakan minyak pelumas yang sama yaitu Mesran B SAE-40. Pengujian ini dilakukan selama 100 jam, parameter dan waktu pengambilan data seperti ditunjukkan dalam Tabel dibawah,

Tabel I. Parameter dan waktu pengambilan data

Parameter	Watu Pengambilan Data
Suhu air pendingin, gas buang dan minyak pelumas	Setiap jam
Konsumsi bahan bakar, putaran dan opasitas	Setiap 10 jam
Sampel minyak pelumas	Setiap 10 jam
Pengukuran deposit (nozel)	Setelah 100 jam

4. Hasil dan Pembahasan

a) Kerusakan minyak pelumas

Minyak pelumas yang digunakan adalah Mesran B SAE 40, perubahan yang terjadi pada sifat fisik kimia minyak pelumas yang telah digunakan merupakan parameter dari kerusakan minyak pelumas, kerusakan ini disebabkan oleh proses oksidasi dan kontaminasi partikel lainnya. Sifat-sifat fisik kimia tersebut dapat dijadikan parameter atau indikasi umur pakai dari minyak pelumas, dan disamping itu juga dapat digunakan untuk mendeteksi awal kondisi komponen mesin.

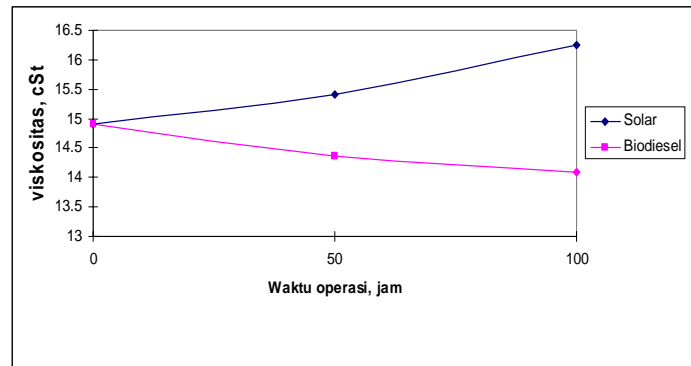
Hasil analisa minyak pelumas terhadap sifat-sifat fisik kimia minyak pelumas yang baru dan yang sudah digunakan selama 100 jam, dimana data yang 50 jam sebelumnya merupakan data yang diambil oleh peneliti terdahulu seperti ditunjukkan dalam Tabel II dibawah ini.

Tabel II. Perubahan sifat fisik kimia minyak pelumas

Parameter	Satuan	New Oil	Solar		Biodiesel		Nilai Batas
			50 jam	100 jam	50 jam	100 jam	
Viskositas 100 ° C	cSt	14.9	15.04	16.24	14.37	14.09	± 20 %
Soot	Abs/cm	0	22	136	10	28	
Oxidation	Abs/cm	0	0		0	0	
Nitration	Abs/cm	-	-	-	-	-	
Fuel Dilution	% vol	0	<1	<1	0.7	5	
TBN	mg KOH/gr	11.1	10.37	11.01	10.24	10.98	Min 2
Pentane Insoluble	% W			0.41		0.57	
Toluene Insoluble	% W			0.19		0.05	

1) Viskositas

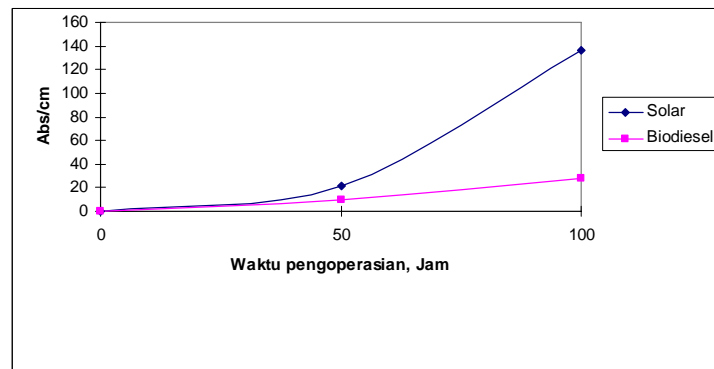
Pada pengoperasian selama 50 jam viskositas minyak pelumas untuk mesin diesel yang berbahan bakar solar mengalami kenaikan sebesar 0.94 %, sedangkan untuk biodiesel mengalami penurunan viskositas sebesar 3.56 %. Pada pengoperasian 100 jam viskositas mesin yang berbahan bakar solar mengalami kenaikan sebesar 9 %, sedangkan untuk biodiesel mengalami penurunan sebesar 5,4 %, sedangkan batas yang diijinkan untuk kenaikan dan penurunan viskositas adalah sebesar ± 20 %. Jadi pengoperasian mesin selama 100 jam menggunakan solar dan biodiesel menyebabkan perubahan viskositas pelumas dimana perubahannya masih dalam batas yang diijinkan. Kecenderungan naik dan turunnya viskositas minyak pelumas ditunjukkan pada Gambar 1. dibawah ini.



Gambar 1. Grafik perubahan viskositas minyak pelumas vs waktu untuk dua bahan bakar berbeda.

2) Soot (jelaga)

Pada pengoperasian mesin selama 100 jam, minyak pelumas dari mesin yang memakai bahan bakar solar nilai *soot* nya sangat tinggi yaitu 136 Abs/cm. Hal ini menunjukkan bahwa proses pembakarannya kurang sempurna sehingga menghasilkan sisa hidrokarbon yang tinggi. Indikasi kandungan *soot* juga dapat dilihat dari opasitas gas buang mesin yang memakai solar lebih besar dibanding dengan mesin yang memakai biodiesel. Sementara itu minyak pelumas mesin yang memakai biodiesel nilai *soot* nya cukup kecil yaitu 28 Abs/cm. Hal ini merupakan efek dari pembakaran biodiesel yang lebih efisien atau lebih sempurna yang menghasilkan opasitas dan emisi lebih rendah. Pada pengoperasian 50 jam perbandingan *soot* nya tidak terlalu signifikan, tetapi pada pengoperasian 100 jam perbandingannya sangat signifikan yaitu 457 %.



Gambar 2. Grafik perbandingan *soot* (jelaga) yang terjadi pada minyak pelumas yang berbahan bakar solar dan biodiesel.

3) *Fuel dilution*

Fuel dilution yang terjadi pada pada mesin yang memakai bahan bakar biodiesel adalah 5 % sedangkan mesin yang memakai bahan bakar solar < 1 %, hal ini disebabkan biodiesel mempunyai viskositas yang lebih tinggi sehingga cenderung menempel pada dinding silinder dan akan terbawa oleh gerakan piston kedalam bak minyak pelumas. *Fuel dilution* akan mengakibatkan pengenceran minyak pelumas. Namun demikian untuk pengoperasian selama 100 jam pengenceran yang terjadi masih dalam batas yang diijinkan.

4) *Pentane Insoluble dan Toluene Insoluble*

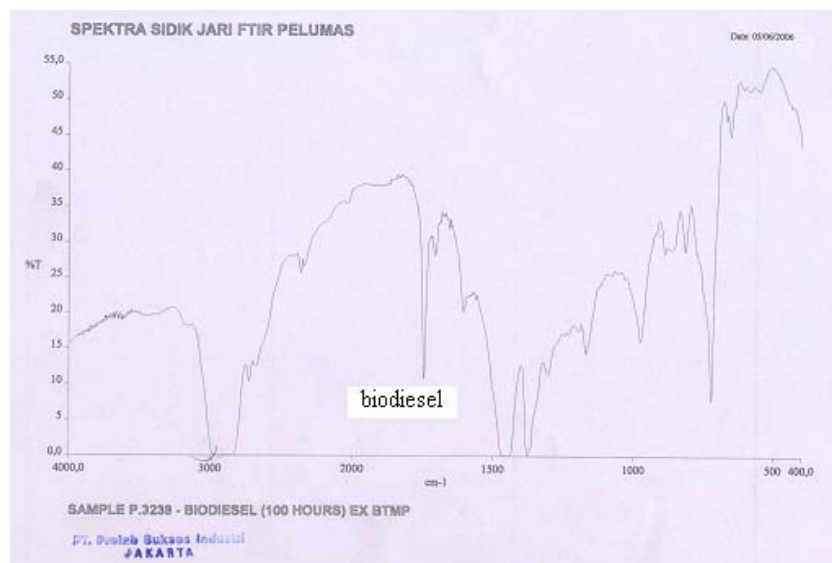
Perbedaan nilai yang terjadi antara *toluene* dan *pentane Insoluble* untuk minyak pelumas yang berbahan bakar solar kurang dari 0.5 %, sementara minyak pelumas yang berbahan bakar biodiesel melebihi 0.5 %. Hal ini menunjukkan kondisi minyak pelumas dengan bahan bakar biodiesel telah mengalami proses oksidasi yang melebihi batas yang diijinkan.

5) *Total Base Number (TBN)*

Kelarutan biodiesel ke dalam minyak pelumas akan mempercepat reaksi oksidasi yang menghasilkan asam organik, yang pada gilirannya akan menurunkan kandungan aditif deterjen minyak pelumas. Kandungan aditif deterjen berfungsi untuk mengikat/menetralkan kontaminan-kontaminan hasil dari proses oksidasi berbentuk deposit yang menempel pada permukaan komponen mesin. Menunjuk Tabel II pada pengujian ini nilai TBN mengalami penurunan sebesar 11.01 mg KOH/gr untuk solar dan 10.98 mg KOH/gr untuk biodiesel. Penurunannya relatif kecil dan masih dalam batas yang diijinkan yaitu nilai TBN min. 2 mg KOH/gr.

6) FTIR

Gambar 3. menunjukkan spektra FTIR minyak pelumas berbahan bakar biodiesel, terlihat bahwa kontaminasi biodiesel terdeteksi cukup signifikan pada bilangan gelombang kira-kira 1745 cm^{-1} . Kelarutan biodiesel dalam minyak pelumas dapat ditentukan dan hasilnya adalah sebesar 5 % untuk waktu operasi 100 jam. Meskipun kelarutan biodiesel telah melampaui batas maksimum yang diperbolehkan namun penurunan viskositas masih dalam batas yang diperbolehkan. Hal ini karena pengenceran pelumas telah diimbangi dengan pengentalan oleh masuknya produk pembakaran (*soot*) dan oksidasi pelumas.



Gambar 3. Spektra sidik jari FTIR minyak pelumas berbahan bakar biodiesel.

b) Deposit

Deposit pada sistem saluran bahan bakar yang dimaksud adalah deposit yang terjadi pada injektor (nozel) dan saringan bahan bakar. Parameter untuk mengetahui deposit yang terjadi pada nozel adalah beda tekanan injeksi bahan bakar antara nozel mesin diesel yang sudah uji *durability* selama 100 jam dibanding dengan tekanan injeksi nozel sesuai dengan spesifikasi awal mesin. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa tekanan kedua nozel mengalami penurunan, untuk mesin yang menggunakan bahan bakar solar penurunan tekanan nozel sangat signifikan yaitu 40 bar (70%), sedangkan spesifikasi tekanan injeksi nozel yaitu 14.2 Mpa (142 bar). Untuk mesin yang memakai bahan bakar biodiesel tekanan nozel 120 bar (30%). Hal ini menunjukkan bahwa deposit yang terjadi lebih besar pada nozel yang memakai bahan bakar solar dibanding biodiesel. Jadi biodiesel mempunyai sifat melarutkan atau mencegah penumpukan deposit lebih baik dibandingkan solar. Secara visual kondisi kedua nozel seperti ditunjukkan pada gambar dibawah ini,



Gambar 4a. Nozel mesin berbahan bakar biodiesel



Gambar 4.b. Nozel mesin berbahan bakar solar

Untuk saringan bahan bakar hanya ditinjau dari segi visualnya saja, karena kesulitan dalam pengukuran awal terhadap saringan bahan bakar tersebut, disamping itu dimensi fisik setiap produk juga berbeda. Dalam kasus ini saringan bahan bakar biodiesel mempunyai dimensi lebih panjang dibandingkan saringan bahan bakar solar.



Gambar 5a. Saringan bahan bakar solar sebelum dilarutkan



Gambar 5b. Saringan bahan bakar biodiesel sebelum dilarutkan

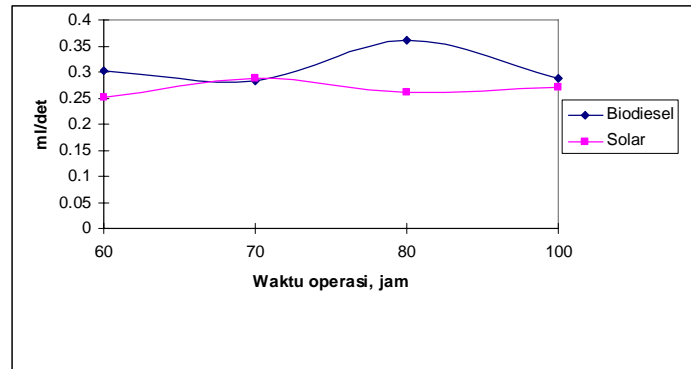


Gambar 5c. Saringan bahan bakar solar dan biodiesel setelah dilarutkan

Gambar 5. di atas menunjukkan bahwa saringan bahan bakar solar setelah dioperasikan selama 100 jam warnanya lebih pekat dibandingkan saringan bahan bakar biodiesel (sebelum dilarutkan), setelah dilarutkan dengan n-hexana PA, kedua saringan bahan bakar tersebut relatif hampir sama.

c) Konsumsi bahan bakar

Konsumsi bahan bakar yang ditunjukkan dalam gambar 6. merupakan konsumsi bahan bakar rata-rata mesin pada pembebanan 1 kW, 2 kW, dan 3 kW, yang diukur waktu mesin beroperasi pada jam ke 60, 70, 80 dan 100. Secara umum konsumsi bahan bakar biodiesel lebih besar yaitu sekitar 7 %, hal ini sangat normal karena biodiesel mempunyai nilai kalor yang lebih rendah dibandingkan dengan solar.



Gambar 6. Grafik perbandingan konsumsi bahan bakar mesin berbahan bakar solar dan biodiesel.

5. Kesimpulan

- 1) Biodiesel dari minyak jelantah B-100% dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif pengganti solar tanpa menimbulkan pengaruh yang signifikan.
- 2) Viskositas minyak pelumas untuk mesin berbahan bakar solar mengalami kenaikan, sedangkan viskositas minyak pelumas mesin berbahan bakar biodiesel mengalami penurunan. Untuk operasi 100 jam kenaikan dan penurunannya masih dalam batas yang diijinkan yaitu $\pm 20\%$.
- 3) Peningkatan soot selama operasi dari mesin yang berbahan bakar biodiesel relatif kecil, sedangkan mesin yang berbahan bakar solar kenaikan soot nya sangat signifikan, hal ini akan mengurangi daya lumas dari minyak pelumas.
- 4) *Fuel dilution* untuk mesin yang berbahan bakar biodiesel lebih besar dari mesin yang berbahan bakar solar, hal ini akan menyebabkan pengenceran minyak pelumas.
- 5) Deposit yang terjadi pada nozel mesin yang berbahan bakar solar lebih besar dari biodiesel, hal ini ditunjukkan oleh penurunan tekanan pada nozel. Secara visual saringan bahan bakar mesin berbahan bakar solar warnanya lebih pekat dibanding dengan biodiesel.
- 6) Opasitas mesin berbahan bakar solar lebih besar dibanding dengan biodiesel, hal ini mengindikasikan bahwa proses pembakaran biodiesel lebih baik dibandingkan dengan solar. Sedangkan konsumsi bahan bakar biodiesel lebih besar 7 % dari solar, karena nilai kalor biodiesel lebih rendah dari solar.

6. Daftar Pustaka

- 1) A S Ananta Andy, **Biodiesel Dari Minyak Jelantah**, <http://www.kompas.com>, diakses tanggal 14 September 2006.
- 2) Anonim, “**biodiesel**“ Engineering Center-BPPT., <http://ec.bppt.go.id>., diakses tanggal 28 April 2006.
- 3) M Lely Yuli, **Studi Biodiesel Dengan Bahan Dasar Minyak Jelantah Terhadap Pelumasan Pada Mesin Diesel**, Tesis Program Studi Teknik Mesin Universitas Indonesia, Juni 2006.
- 4) Supranto.dkk, **Minyak Jelantah untuk Energi Biodiesel**, <http://www.republika.co.id>, diakses tanggal 20 Mei 2006.
- 5) Fajar R, Ihwan H, **Efek Kelarutan Biodiesel Terhadap Pelumas Mesin**, Paper BTMP-BPPT 2005.
- 6) Agarwal A K, **Experimental Investigation of the effect of biodiesel utilization on lubricating oil tribology in diesel engines**, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers; Vol. 219, May 2005.