

PEMANFAATAN *COCODIESEL* BERBAHAN BAKU KELAPA SEBAGAI BAHAN BAKAR MESIN *DIESEL* STATIONER

Emmy Ratnawati dan Arief Riyanto

Balai Besar Kimia dan Kemasan-Kementerian Perindustrian

Jl. Balai Kimia 1, Pekayon, Pasar Rebo, Jakarta Timur

e-mail : emmyratna.hs@gmail.com

Diterima: 14 Juni 2012

Diperbaiki: 2 Oktober 2012

Disetujui: 22 November 2012

ABSTRAK

PEMANFAATAN *COCODIESEL* BERBAHAN BAKU KELAPA SEBAGAI BAHAN BAKAR MESIN *DIESEL* STATIONER. Bahan baku minyak nabati penghasil *biodiesel* sangat potensial dan melimpah di Indonesia dalam segi jumlah maupun jenisnya, salah satunya adalah kelapa. Minyak nabati saat ini sedang menjadi pusat perhatian pemerintah dan masyarakat karena mempunyai kandungan minyak yang tinggi dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif mesin *diesel* yang ramah lingkungan. Dalam pemanfaatannya agar layak digunakan sebagai bahan bakar mesin *diesel*, minyak nabati harus diubah menjadi senyawa ester. karena senyawa ester tersebut memiliki kemiripan sifat fisika dengan minyak disel mineral (seperti solar). Pada tulisan ini akan diuraikan uji ketahanan mesin menggunakan senyawa ester yang berasal dari minyak kelapa (*cocodiesel* atau *coco methyl ester*) yang berlangsung selama 100 jam. Mesin *diesel* yang digunakan adalah Mitsubishi silinder tunggal dengan daya 27 HP. Mesin dihubungkan dengan generator listrik yang dibebani dengan pemanas (*heater*). Variabel waktu operasi adalah 0 jam, 50 jam dan 100 jam, dengan parameter yang diuji meliputi konsumsi bahan bakar, output daya generator, opasitas, suhu gas buang dan kondisi pelumas dipantau selama pengujian. Setelah mencapai 100 jam, mesin dibongkar untuk diperiksa keausan/kerusakan komponen mesin dan deposit menggunakan metode *metrology-rating*. Konsumsi bahan bakar *cocodiesel* spesifik terendah dicapai pada waktu mesin beroperasi 100 jam dan pada beban 10kW (0,417 kg/kw.jam) dan tertinggi dicapai ketika mesin beroperasi 0 jam (awal) dengan beban 3 kW (1,029 kg/kW.jam). Opasitas (kepekatan asap) yang tertinggi adalah 13,2 % (0 jam pada beban 10 kW) dan terendah adalah 1,3 % (100 jam pada beban 3 kW). Kondisi pelumas mesin menunjukkan bahwa pada saat 50 jam operasi kekentalan pelumas telah menurun tajam dan mencapai batas minimalnya (12 cSt), kemudian kekentalan mencapai kestabilan hingga mesin beroperasi pada 100 jam. Penurunan ini disebabkan oleh kelarutan *cocodiesel* sebanyak 3,5 % pada 50 jam dan 6 % pada 100 jam operasi. Deposit dan *sludge* yang terbentuk pada ruang bakar dan *valve* relatif sedikit setelah mesin beroperasi 100 jam. Keausan komponen piston, *ring liner* dan *valve* yang terlihat secara visual hampir tidak ada. Fungsi nosel dalam penyemprotan bahan bakar juga masih relatif normal (tidak ada kebocoran, kualitas atomisasi masih bagus dan deposit sedikit).

Kata kunci: *Cocodiesel*, Uji ketahanan, Konsumsi bahan bakar spesifik, Opasitas, Viskositas

ABSTRACT

USING OF *COCODIESEL* AS A FUEL FOR *DIESEL* STATIONARY MACHINE. One of the most potential and abundant vegetable oil raw material in Indonesia for biodiesel purposes is from coconut. Government pay attention on vegetable oil because of it high content of oil and can be used as an alternative fuel for diesel machine with environmental friendly. To be visible as machine diesel fuel, vegetable oil should be converted to ester since it content physical characteristic similar to mineral diesel oil (solar). This paper describes the machine endurance by using ester from coconut oil (*cocodiesel* or *coco methyl ester*) within 100 hours. Operational testing use Mitsubishi diesel machine with single cylinder, power 27 HP. The machine connected to electric generator and machine loaded with heater. Time operational variable 0 hours, 50 hours and 100 hours with testing parameters including fuel consumption, output generator power, opacity, exhaust gas temperature, and lubrication conditions during testing. After reaching 100 hours the machine was checked for deterioration test for machine and its deposite by using metrology rating methode. The specific fuel consumption of *cocodiesel*, the lowest reach at the machine operation time 100 hours at machine load 10 kW (0.417kg/ kW/hour) and the highest reach at the machine operation 0 hours at machine load 3 kW (1.029 kg/kW/hour). The highest opacity 13.2 % (0 hours at machine load 10 kW) and the lowest 1.3 % (100 hours at machine load 3 kW). The condition of machine lubrication showed that at 50 hours operation, the viscosity decrease until reach minimum limit (12 cSt), then viscosity reach the stability untill 100 hours

operations. This decreasing is mostly because of solubility of cocodiesel at amount 3.5 % at 50 hours and 6 % at 100 hours operation. There were less deposite and sludge in heating chamber and valve after 100 hours operation. Deterioration of piston compound, ring liner and valve visually none. The nozzle function for spreading fuel still normal and no leaking, atomization quality remain good and less deposite.

Keywords: Cocodiesel, Endurance test, Specific fuel consumption, Opacity, Viscosity

PENDAHULUAN

Pemanfaatan *biodiesel* sebagai bahan bakar alternatif untuk mesin *diesel* sudah menjadi program pemerintah dalam pengembangan bahan baku nabati sesuai dengan Instruksi Presiden No. 1 Tahun 2006 tentang penyediaan dan pemanfaatan bahan bakar nabati (*biofuel*) sebagai bahan bakar lain. *Biodiesel* dapat dibuat dari bahan nabati seperti kelapa, kelapa sawit dan jarak pagar melalui proses transesterifikasi, esterifikasi atau proses esterifikasi transesterifikasi [1-3]. *Biodiesel* digunakan sebagai bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar minyak untuk motor *diesel* dan dapat diaplikasikan dalam bentuk 100 persen atau B 100 atau dicampur dengan minyak solar pada konsentrasi tertentu [4-6].

Di daerah-daerah terpencil di Indonesia (*remote area*), harga bahan bakar minyak dapat mencapai Rp. 10.000,00. Hal ini sangat memberatkan ekonomi rakyat dan industri di daerah tersebut. Sementara itu Indonesia memiliki daerah pantai yang sangat panjang dimana pohon kelapa tumbuh dan memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai bahan bakar alternatif mesin *diesel* sebagai *cocodiesel*. Penggunaan *cocodiesel* di daerah *remote area* diharapkan dapat membantu pemerintah untuk meningkatkan ekonomi masyarakat.

Unjuk kerja *cocodiesel* (*coco* metil ester) pada mesin belum banyak diketahui dibandingkan *biodiesel* dari minyak sawit. Secara umum unjuk kerjanya tidak akan berbeda dibandingkan *biodiesel* sawit. Kandungan emisi gas buang CO, HC dan partikulat akan lebih rendah dibanding minyak *diesel* mineral (solar) sedangkan kandungan emisi NO_x bisa lebih tinggi atau sama dengan solar tergantung dari tipe/penyetelan mesin *diesel* [4]. Jumlah rantai rangkap dalam minyak kelapa lebih rendah dibanding minyak sawit (Bilangan iodin minyak kelapa sebesar 8 hingga 10 dan minyak sawit sebesar 44 hingga 58) maka emisi NO_x *cocodiesel* bisa lebih rendah dibanding *biodiesel* sawit [1]. Bilangan setana *cocodiesel* dilaporkan sebesar 63 hingga 70 sedangkan *biodiesel* sawit adalah 50 hingga 70 [6]. Kandungan kalori *cocodiesel* (35,3 MJ/Kg) sedikit lebih rendah dibandingkan *biodiesel* kerja (*power* dan torsi) dan emisi dari kedua jenis *biodiesel* tersebut tidak akan berbeda.

Keunggulan dari *cocodiesel* adalah bilangan iodin yang lebih rendah dibandingkan *biodiesel* sawit. Rendahnya bilangan iodin menunjukkan rendahnya kandungan ikatan rangkap/tak jenuh dalam *cocodiesel*. Hal ini akan mengurangi resiko terjadinya serangan oksigen dari udara yang dapat menyebabkan reaksi

oksidasi selanjutnya polimerisasi membentuk deposit [6]. Padatan tersebut akan terbentuk pada saluran dan sistem injeksi bahan bakar. Kondisi ruang bakar yang lebih ekstrim (suhu tinggi) akan meningkatkan terbentuknya deposit dan dapat merusak mesin dengan cepat. Keuntungan lain dari rendahnya kandungan rantai tak jenuh adalah mengurangi risiko kerusakan (oksidasi dan polimerisasi) pelumas mesin, sehingga umur pelumas akan lebih panjang [7-9].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengukur uji ketahanan mesin menggunakan senyawa ester yang berasal dari minyak kelapa (*cocodiesel/coco* metil ester). Selanjutnya dilakukan pengujian *cocodiesel* pada mesin dan dilakukan evaluasi terhadap mesin tersebut Kualitas *cocodiesel* diupayakan telah memenuhi standar kualitas *biodiesel* yang telah dikeluarkan oleh BSN (Maret 2006) [10,11]. Beberapa parameter kualitas *biodiesel* akan diukur dan digunakan untuk mengevaluasi unjuk kerja mesin, kondisi mesin dan pelumas setelah dilakukan pengujian selama 100 jam.

METODE PERCOBAAN

Bahan

Cocodiesel dibuat di Balai Besar Kimia dan Kemasan dan diuji karakteristiknya meliputi viskositas, densitas dan titik nyala. Pengujian dilakukan menggunakan standar *ASTM*. Hasil pengujian karakteristik dapat dilihat pada Tabel 1 yang dibandingkan dengan standar *biodiesel* nasional. Bahan bakar yang digunakan selama uji ketahanan 100 jam adalah *cocodiesel* murni (B-100). Pelumas mesin yang digunakan selama pengujian adalah pelumas Pertamina Meditrans S-40 dan tidak dilakukan penggantian selama pengujian 100 jam.

Mesin *diesel* stationer Mitsubishi Model D2700 digunakan dalam pengujian. Mesin *diesel* menggunakan sistem injeksi langsung dan memiliki sebuah silinder dengan daya maksimum 27 HP. Mesin *diesel* dihubungkan dengan generator listrik dan generator selanjutnya diberi beban berupa pemanas yang memiliki daya yang bisa divariasikan (3 kW, 5 kW dan 10 kW).

Opasitas Meter (kepekatan asap gas buang) *AVL* digunakan dalam pengujian yang dihubungkan dengan pipa *exhaust* dari mesin. Gas buang dipompakan kedalam opasitas meter yang telah dilengkapi dengan kertas filter. Jelaga hitam dalam gas buang selanjutnya ditangkap

Tabel 1. Hasil pengukuran beberapa parameter cocodiesel.

Parameter	Cocodiesel	Biodiesel SNI
Densitas pd 40°C, kg/m ³	874-883	850-890
Viskositas pd 40°C, cSt	2,858	2,3-6,0
Bilangan Setana	>60	Min. 51
Titik Nyala, °C	110-115	Min. 100
Titik Kabut, °C	-	Maks. 18
Korosi Tembaga	-	Maks. No.3
Residu Karbon, % massa:		
- dalam contoh asli	0,05	Maks. 0,05
- dalam 10% sisa destilasi.	-	Maks. 0,3
Kadar Air, % vol	0,02	Maks. 0,05

kertas filter kemudian diukur opasitasnya dengan membandingkannya dengan kertas filter standar. Opasitas meter AVL memiliki kisaran bacaan antara 0,00 % sampai dengan 100,00 % dengan resolusi 0,1 %.

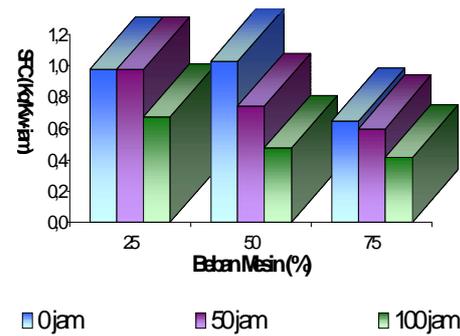
Tachometer Krisbow digunakan untuk mengukur kecepatan mesin. Tachometer memiliki kisaran antara 100 rpm hingga 1.000 rpm dengan resolusi 1 rpm.

Cara Kerja

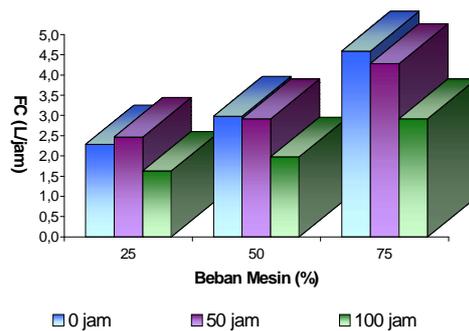
Sebelum mesin diesel Mitsubishi digunakan, kondisinya dicek dengan menyalakan mesinnya menggunakan bahan bakar solar. Setelah itu diberi beban pemanas untuk melihat stabilitas mesin dan keseluruhan sistem (kelistrikan). Pengujian awal ini (*running-in*) dilakukan sekitar 3 jam hingga 5 jam. Setelah itu dilakukan pengujian ketahanan dengan mengisi cocodiesel 100% dalam tangki bahan bakar. Pada awal mesin menyala, dilakukan beberapa pengukuran termasuk rpm, suhu gas buang, konsumsi bahan bakar dan opasitas. Mesin dijalankan dengan beban pemanas dengan daya tetap sebesar 10 kW. Setelah mesin beroperasi 50 jam dilakukan pengecekan kembali terhadap parameter-parameter seperti pada awal pengujian. Pada jam ke-50, dilakukan *sampling* pelumas mesin untuk melihat kondisi dan kelarutan cocodiesel. Setelah mencapai 100 jam, dilakukan pengecekan parameter yang disebutkan di atas kemudian mesin dihentikan dan dibongkar. Pembongkaran mesin dilakukan untuk melihat secara visual kondisi kerusakan komponen ring, piston, liner, valve dan injector. Deposit yang terbentuk pada permukaan komponen mesin juga dievaluasi dengan metode rating.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil percobaan dapat dibagi menjadi dua bagian. Bagian pertama meliputi hasil pengukuran parameter pada awal, pada jam ke 50 dan pada jam ke 100. Parameter-parameter tersebut meliputi konsumsi spesifik



Gambar 1. Konsumsi cocodiesel spesifik (kg/kWh) pada berbagai beban dan jam operasi.



Gambar 2. Konsumsi cocodiesel (liter/jam) pada berbagai beban dan jam operasi.

cocodiesel, opasitas, suhu gas buang dan kondisi pelumas. Bagian kedua meliputi seluruh hasil pemeriksaan visual dan rating dari komponen mesin setelah pengujian mencapai 100 jam.

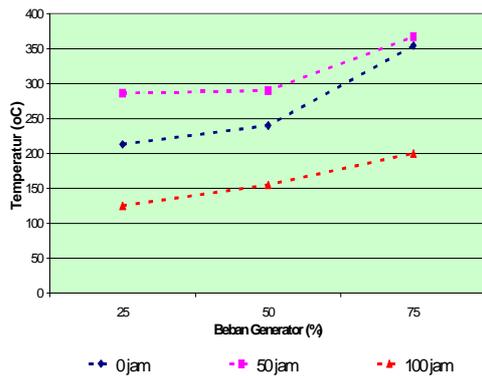
Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

Konsumsi cocodiesel spesifik pada berbagai beban dan jam operasi ditampilkan pada Gambar 1. Konsumsi bahan bakar spesifik dinyatakan dalam kg cocodiesel yang diperlukan per energi yang dihasilkan (KW.jam).

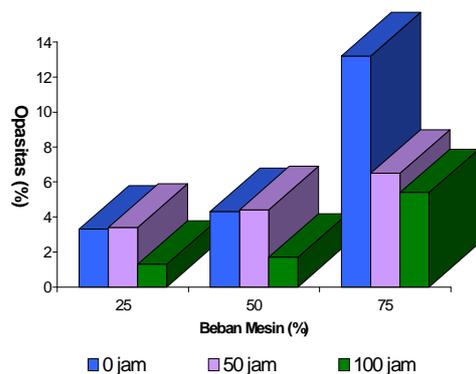
Dari Gambar 1 terlihat bahwa konsumsi bahan bakar spesifik terendah dicapai pada beban 75 % dan pada saat operasi mesin mencapai 100 jam. Hal ini mengindikasikan bahwa pembakaran cocodiesel mencapai efisiensi tertinggi atau pembakaran mesin optimal pada jam operasi ke - 100

Dari Gambar 1 menunjukkan konsumsi cocodiesel spesifik (kg/kWh) pada berbagai beban dan jam operasi dan beban 75%. Pada awalnya (0 jam hingga 50 jam) pembakaran cocodiesel belum optimal. Pembakaran juga cenderung tidak optimal jika beban yang diberikan terlalu rendah. Beban mesin dinyatakan dalam persen terhadap output maksimum generator. Beban 25%, 50% dan 75% menunjukkan daya sekitar 3 kW, 5 kW dan 10 kW.

Konsumsi cocodiesel dalam liter/jam ditampilkan pada Gambar 2. Meskipun pada beban 75% mesin memerlukan cocodiesel lebih banyak (dalam liter/jam) namun mesin menghasilkan energi yang lebih besar sehingga efisiensi pembakarannya lebih tinggi dibanding



Gambar 3. Profil suhu gas buang pada berbagai beban dan jam operasi.



Gambar 4. Opasitas gas buang pada berbagai beban dan jam operasi.

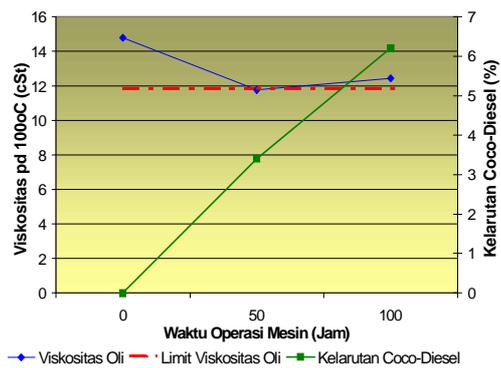
pada beban 25 % dan 50 % seperti diperlihatkan pada Gambar 1.

Suhu Gas Buang

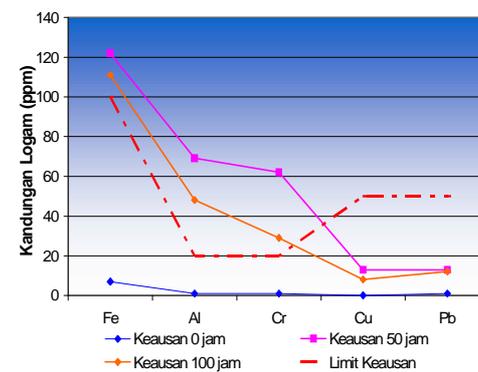
Profil suhu gas buang dari pembakaran *cocodiesel* pada berbagai beban dan jam operasi ditampilkan pada Gambar 3. Suhu gas buang pada jam operasi ke 0 dan ke 50 lebih tinggi dibanding jam ke 100. Hal ini karena pembakaran *cocodiesel* pada jam ke 0 dan ke 50 berjalan tidak sempurna (efisiensi pembakaran lebih rendah). Hal ini karena sejumlah *cocodiesel* yang tidak terbakar sempurna akan mengalir masuk ke dalam *exhaust manifold* kemudian terjadi pembakaran pada *exhaust manifold* tersebut sehingga yang menyebabkan kenaikan suhu. Semakin tinggi beban (semakin besar liter/jam *cocodiesel*), semakin banyak porsi *cocodiesel* yang terbakar pada *exhaust manifold* sehingga suhu semakin tinggi [3].

Opasitas (Kepekatan Asap Gas Buang)

Dari Gambar 4 menghasilkan opasitas tertinggi dicapai pada beban tertinggi. Hal ini karena pada beban 75 % aliran bahan bakar ke mesin terbanyak sehingga menghasilkan emisi asap yang tinggi sebagai hasil dari pembakaran tak sempurna (*unburned hydrocarbon*).



Gambar 5. Viskositas pelumas dan kelarutan cocodiesel selama pengujian



Gambar 6. Keausan beberapa logam penyusun komponen mesin.

Analisis Pelumas Mesin dan Keausan Logam

Gambar 5 memperlihatkan penurunan kekentalan pelumas karena terlarutnya *cocodiesel* ke dalam pelumas mesin. Viskositas pelumas menurun drastis hingga mencapai batas minimalnya pada jam ke-50 setelah itu hingga jam ke-100 viskositas mengalami stabilisasi karena pengenceran dari *cocodiesel* telah diimbangi oleh oksidasi yang menyebabkan pengentalan. Namun demikian kondisi ini cukup kritis hal ini mungkin dapat menyebabkan keausan yang tinggi dari beberapa logam seperti diperlihatkan pada Gambar 5.

Kelarutan *cocodiesel* pada jam ke-50 baru mencapai 3,5 % namun telah menyebabkan penurunan viskositas yang drastis. Kelarutan pada jam ke 100 sudah mencapai 6 % dan hal ini cukup tinggi. Oleh karena itu jika pelumas ini digunakan mesin berbahan bakar *cocodiesel* maka usia pakai sebaiknya diperpendek. Hasil pengukuran viskositas juga menguatkan hipotesis bahwa rendahnya kandungan ikatan rangkap dalam *cocodiesel* tidak mengakibatkan reaksi oksidasi dan polimerisasi berlebihan hal ini dibuktikan bahwa pengenceran lebih dominan daripada pengentalan (dari jam ke 0 hingga ke 100).

Dari Gambar 6 terlihat bahwa keausan logam besi, aluminium dan krom telah melewati batas ambang yang terjadi pada mesin disel. Hal ini terjadi baik pada jam ke 50 dan jam ke 100. Lebih rendahnya konsentrasi logam

Tabel 2. Hasil pengamatan visual komponen mesin

Sebelum pengujian	Setelah pengujian
1. Semprotan <i>nozzle</i> baik	1. Semprotan <i>nozzle</i> baik
2. Tidak ada kebocoran <i>nozzle</i>	2. Ada sedikit kebocoran pada ujung (tip) <i>nozzle</i>
	3. Ada deposit karbon pada ujung <i>nozzle</i> kondisi sedang
	4. Deposit karbon pada ruang bakar relatif sedikit
	5. Tidak ada indikasi wear/keausan yang signifikan
	6. Kerusakan beberapa <i>seal</i> karena metanol dari <i>cocodiesel</i>

pada jam ke-100 dapat diakibatkan karena proses pengenceran oleh *cocodiesel* atau karena penambahan pelumas mesin. Tingginya kandungan keausan logam dapat dikarenakan menurunnya kekentalan pelumas secara drastis pada jam ke-50 sehingga menyebabkan film pembatas antara permukaan logam yang bergesekan menjadi tidak stabil (pecah). Oleh karena itu terjadi kontak/gesekan langsung antar logam. Namun demikian, tingginya keausan logam dapat disebabkan pula oleh penggunaan pelumas pada mesin baru yang dapat melarutkan serpihan-serpihan logam hasil proses *finishing* dari pabrik, kemudian terakumulasi di pelumas.

Pengamatan Visual Komponen Mesin

Hasil pengamatan secara visual terhadap beberapa komponen mesin (*nozzle*, piston, *seal* dan *valve*) ditunjukkan dalam Tabel 2.

Metrologi dan Rating

Hasil pengukuran metrologi dan *rating* komponen dapat dilihat pada Tabel 3. Penurunan tekanan *nozzle* adalah normal, dikarenakan terbentuknya deposit yang dapat menghambat jalannya arus bahan bakar.

Hasil *rating* deposit karbon pada *valve* sebesar 8,96 dan *sludge* sebesar 9,0. Hasil ini menunjukkan bahwa pembakaran *cocodiesel* relatif sangat bersih. Kandungan ikatan rangkap yang sangat sedikit kemungkinan mencegah terjadinya oksidasi dan polimerisasi sehingga padatan yang berlebihan tidak terjadi [4].

Kebocoran pelumas terjadi di seluruhnya tetapi tidak terlalu besar. Kerusakan *seal* kemungkinan disebabkan oleh sisa metanol yang masih terdapat dalam *cocodiesel* mengingat proses pembuatannya tidak mengalami pengeringan. Hal ini dikuatkan dengan hasil pengukuran titik nyala (*flash point*) yang terlalu rendah (110 °C hingga 115 °C). *Cocodiesel* dengan kandungan metanol yang kecil memiliki titik nyala cukup tinggi sebesar 150 °C hingga 160 °C.

Tabel 3. Metrologi dan rating komponen

Sebelum pengujian	Setelah pengujian
1. Tekanan bukaan <i>nozzle</i> 215 bar	1. Tekanan bukaan <i>nozzle</i> 200 bar
2. Berat filter bahan bakar 18,81 gram	2. Berat filter bahan bakar 25,19 gram*)
3. Berat filter pelumas 515,9 gram	3. Berat filter pelumas 577,03 gram
	4. Deposit karbon pada <i>valve</i> pemasukan 8,96 (skala 0: kondisi deposit sangat berat s/d 10: kondisi bebas deposit)
	5. Deposit lumpur/ <i>sludge</i> 9,0
	6. Terjadi kebocoran pelumas karena <i>seal</i> rusak

*) Filter yang diukur adalah filter yang kedua, sedangkan filter pertama sudah rusak kurang lebih seperempat dari jalannya pengujian (data tepatnya tidak tercatat)

KESIMPULAN

Pembakaran *cocodiesel* paling efisien terjadi pada beban 75 %, hal ini berlaku untuk semua jam operasi yaitu : 0 jam, 50 jam dan 100 jam. Konsumsi *cocodiesel* spesifik paling rendah terjadi setelah mesin beroperasi selama 100 jam.

Konsumsi *cocodiesel* dalam liter/jam berkorelasi dengan suhu gas buang. Konsumsi *cocodiesel* dalam liter/jam dan suhu tertinggi gas buang dicapai pada beban 75 % dan jam operasi ke-0 dan ke-50.

Opasitas atau kepekatan asap berasal dari bahan bakar yang tidak terbakar sempurna dan memiliki korelasi dengan konsumsi bahan bakar dalam liter/jam. Opasitas tertinggi dicapai pada beban 75 % dan jam operasi ke-0.

Kelarutan *cocodiesel* dalam pelumas mesin meningkat seiring dengan waktu operasi dan menyebabkan penurunan viskositas secara drastis. Pada jam operasi ke-50 pengenceran pelumas sudah mencapai batas minimum Rendahnya kandungan ikatan rangkap dalam *cocodiesel* menyebabkan kelarutan *cocodiesel* dalam pelumas tidak mengakibatkan oksidasi yang berlebihan.

DAFTAR ACUAN

- [1]. BRODJONEGORO T. P., I. K. REKSOWARDJOJO dan T. H. SOERAWIDJAJA, Proses Pengolahan dan Pemanfaatan Minyak Jarak Menjadi *Biodiesel* pada Berbagai Skala Industri, *Seminar Nasional Pengembangan Jarak pagar Sebagai Minyak Bakar dan Biodiesel*, (2005)
- [2]. H. R. SUDRADJAT, *Keasaman Biodiesel Dari Minyak Jarak Pagar Dapat Merusak Seluruh Mesin Di Indonesia*, Pusat Litbang Hasil Hutan, Bogor, (2006)

- [3]. H. R. SUDRAJAT, *Memproduksi Biodiesel Jarak Pagar*, Jakarta, Penebar Swadaya, (2008) 1
- [4]. FAJAR, RIZQON, IKHWAN HARYONO dan MISBAKHUN, Efek Penggunaan Biodiesel Kualitas Standar Indonesia terhadap Unjuk Kerja Mesin Kendaraan Penumpang, *Laporan Uji jalan BRDST-BTMP BPPT*, (2005)
- [5]. FAJAR, RIZQON dan TAUFIK SURYANTO, *Jurnal Teknik Mesin*, (2005)
- [6]. MARTIN MITTELBAACH, CLAUDIA REMSCHMIDT, *Biodiesel, The Comprehensive Handbook*, Boersdruck Ges m.b.H, Vienna, (2004)
- [7]. T. H. SOERAWIDJAYA, Fondasi-Fondasi Ilmiah dan Keteknikan dari Teknologi Pembuatan Biodiesel, *Handout Seminar Nasional Biodiesel sebagai Energi Alternatif Masa Depan*, Yogyakarta, (2006)
- [8]. R. PRIHANDANA, HENDROKO R. dan NURAMIN M., *Menghasilkan Biodiesel Murah, Mengatasi Polusi dan Kelangkaan BBM*, Agromedia Pustaka, Jakarta, (2006)
- [9]. T. SOERAWIDJAJA, *Membangun Industri Biodiesel di Indonesia, Seminar Hasil Litbang, Balai Besar Kimia dan Kemasan*, Jakarta, (2006)
- [11]. R. PRIHANDANA dan R. HENDROKO, *Energi Hijau, Pilihan Bijak Menuju Negeri Mandiri Energi*, Penebar Swadaya, Jakarta, (2008)
- [10]. BSN (Badan Standardisasi Nasional), *Indonesian National Standard on Biodiesel, SNI No.04-7182-2006*, (2006)