

Evaluasi Kondisi Komponen Mesin Diesel Berbahan Bakar Biodiesel Minyak Jelantah

(Rating komponen dan evaluasi pelumas habis pakai
pada pengujian 100 jam diesel silinder tunggal pembebanan genset)

Ihwan Haryono, Prawoto dan Siti Yubaidah

Balai Termodinamika, Motor dan Propulsi
Kawasan Puspiptek Gd. 230 Cisauk, Tangerang 15314
Telp. (021) 7560539 Fax. (021) 7560538
E-mail : aida_sudrajat@yahoo.com

Abstract

Tests for evaluating the effect of used frying methyl ester (UFOME) bio-diesel on engine components have been done on a diesel engine. The test was compared with conventional diesel fuel on another identical diesel engine for 100 hours operation. Aspects to be investigated were piston ring sticking, carbon deposit on inlet valve tulip, lacquer/varnish on the piston, sludge on the rocker cover, and others detrimental found. Rating component condition, visual inspection and measurement of the used oils were used to determine the condition level of each component. The results have shown some different grade of deposit accumulation and component condition (rating) between two engines. The differences were due to fuel dilution to engine lubricant and affect on deposit formation on the components. Using bio-diesel from used frying methyl ester indicates positive effect on the deposit formation, component condition and wears comparing with conventional fuel (solar).

Key words: bio-diesel, used frying methyl ester, engine component, rating, deposit.

Abstrak

Pengujian untuk mengevaluasi efek penggunaan biodiesel minyak jelantah pada komponen sudah dilakukan pada mesin diesel. Hasil pengujian dibandingkan dengan hasil pengujian lain menggunakan mesin diesel identik berbahan bakar diesel konvensional (solar) setelah dioperasikan selama 100 jam. Aspek-aspek yang dievaluasi diantaranya kemacetan ring, deposit karbon pada tulip katup pemasukan, lumpur pada tutup pelatuk, dan kerusakan lain yang dijumpai. Rating kondisi komponen, pengamatan visual dan pengukuran pelumas habis pakai dilakukan untuk menentukan tingkat kondisi masing-masing komponen. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ada beberapa perbedaan tingkat akumulasi deposit maupun kondisi komponen diantara dua mesin tersebut. Perbedaan kondisi komponen disebabkan oleh dilusi bahan bakar ke pelumas mesin dan mempengaruhi efek pembentukan deposit pada komponen. Penggunaan bahan bakar biodiesel minyak jelantah mengindikasikan efek yang positif dalam pembentukan deposit, kondisi komponen ataupun keausan komponen dibandingkan dengan minyak konvensional solar.

Kata kunci: bio-diesel, metil ester minyak jelantah, komponen mesin, rating, deposit.

Pendahuluan

Berbagai usaha untuk mencari berbagai sumber energi alternatif minyak nabati sedang marak dilakukan di Indonesia. Energi alternatif berupa biodiesel dihasilkan dari proses transesterifikasi minyak nabati seperti minyak sawit, jarak, kelapa (*coconut*), kedelai dan lain lain. Bahan bakar biodiesel mempunyai sifat fisik dan kimia yang berbeda dengan minyak diesel mineral, dan akan menghasilkan efek yang berbeda pula pada mesin baik itu unjuk kerja seperti daya/torsi yang dihasilkan, konsumsi bahan bakar, emisi gas buang maupun kondisi komponennya.

Penelitian untuk melihat unjuk kerja (torsi/daya dan emisi) menunjukkan bahwa perbedaan torsi/daya mesin berbahan bakar biodiesel dan minyak diesel mineral adalah tidak signifikan. Sedangkan pemakaian biodiesel menghasilkan emisi gas buang yang lebih rendah. Rizqon dkk. (2001) melaporkan bahwa dengan penggunaan biodiesel metil ester sawit (MES) 20% atau B20 pada mesin diesel silinder tunggal Hydra menghasilkan penurunan torsi 2% dan peningkatan konsumsi bahan bakar spesifik (BSFC) 2-3%. Hal tersebut sangat wajar karena kandungan kalor (LHV) biodiesel MES 10% lebih rendah dari minyak solar. Sedangkan emisi gas buang (*smoke*) dari biodiesel MES 30% sebesar 3,32 BSU dan solar 4,11 BSU dimana perbedaannya sekitar 20% (Fajar dan Taufik 2002).

Berbagai sifat fisik dan kimia dari bahan bakar biodiesel, diantaranya angka setana (CN), viskositas, lubrisitas, stabilitas termal, kotoran (*impurities*) dan lain-lain telah banyak diteliti. Angka setana adalah nilai tanpa satuan yang menggambarkan kualitas bahan bakar dan berkaitan dengan sifat mudah menguap bahan bakar untuk atomisasi dan terbakar dengan sendirinya untuk menghasilkan proses pembakaran yang lebih baik. Berbagai pengalaman menunjukkan bahwa angka setana biodiesel lebih tinggi dibandingkan dengan minyak diesel mineral. Penambahan biodiesel ke dalam solar akan meningkatkan bilangan setana dan menurunkan tenggat waktu penyalaan (Prawoto dkk. 2004). Viskositas diperlukan untuk melumasi komponen-komponen sistem injeksi bahan bakar sehingga terhindar dari keausan yang dapat menyebabkan berbagai persoalan baik itu unjuk kerja maupun emisinya. Viskositas yang terlalu tinggi dapat menyebabkan sulitnya terjadi atomisasi dengan baik dan berakibat terhadap pembakaran yang tidak sempurna. Sehingga kinerja yang dihasilkan tidak optimal, emisi gas buang (asap) yang berlebihan maupun pembentukan kotoran (deposit) pada komponennya. Biodiesel mempunyai sifat *solvency* dan antioksidan yang tinggi. Anti oksidan biodiesel meningkatkan stabilitas oksidasinya (Prankl 2004).

Berbagai permasalahan mesin juga terjadi akibat adanya pembentukan deposit pada komponen-komponen kritis terutama di sekitar ruang bakar. Pembentukan deposit pada komponen dipengaruhi oleh bahan bakar dan pelumas yang digunakan, kondisi operasi maupun desain mesin itu sendiri. Pengotoran di ruang bakar terutama disebabkan oleh bahan bakar yang digunakan. Pembentukan deposit di bagian lain dari ruang bakar terutama dipengaruhi kondisi pelumasannya. Temperatur yang tinggi merupakan faktor utama yang menyebabkan terjadinya oksidasi membentuk deposit. Ring piston bagian atas dengan mudah mencapai temperatur 250 °C sehingga terjadi oksidasi dan deposisi mengakibatkan ring macet (*sticking*) dan lolosnya gas-gas (*blow-by*) yang berlebihan (Heywood 1988). Kemacetan ring piston merupakan tahap awal terjadinya kegagalan mesin akibat pelumasan yang tidak baik. Terjadinya oksidasi dan pembentukan deposit pada komponen yang dilumasi dapat dikontrol oleh aditif anti oksidan dan deterjen/dispersan pada pelumas. Anti oksidan membantu menurunkan pembentukan deposit sedangkan deterjen/dispersan menjaga material tidak larut (*insoluble*) hasil oksidasi tetap terjaga di dalam pelumas sehingga terhindar dari pembentukan *varnish* dan *lacquer* yang berlebihan. Keausan komponen dapat disebabkan oleh faktor tunggal atau kombinasi keausan baik itu korosif, abrasif maupun adhesif. Keausan korosif akibat serangan produk-produk asam, keausan abrasif disebabkan adanya material asing dan keausan adhesif merupakan keausan akibat terjadinya kontak antar permukaan logam yang dapat disebabkan oleh viskositas pelumas yang terlalu rendah.

Dari beberapa pengalaman BTMP dalam menguji mesin dengan menggunakan bahan bakar biodiesel ditemukan adanya kontaminasi bahan bakar dalam minyak pelumas (*fuel diluent*). Pada pengujian jalan raya menggunakan kendaraan Izusu Panther berbahan bakar biodiesel metil ester sawit, B30, setelah dijalankan 20.000 km terjadi dilusi bahan bakar dalam minyak pelumas sebesar 7% (Fajar 2005). Pada pengujian menggunakan biodiesel minyak kelapa pada genset 27 HP silinder tunggal, setelah dioperasikan selama 100 jam terjadi dilusi bahan bakar 6,2% (Haryono 2006).

Penelitian yang lebih mutakhir tentang biodiesel adalah evaluasi pemakaian biodiesel terhadap komponen mesin dilakukan Majuni (2006) untuk melihat pengaruh kelarutan biodiesel minyak jelantah 100% terhadap keausan komponen mesin dibandingkan menggunakan solar pada genset silinder tunggal setelah dijalankan selama 50 jam. Hasilnya menunjukkan bahwa keausan komponen mesin berbahan bakar biodiesel lebih rendah. Beberapa literatur menyebutkan bahwa metil ester dikenal memiliki daya antifriksi dan antiaus. Schumacher (2004) mengungkapkan dengan

penambahan biodiesel (1– 2%) pada bahan bakar diesel memberikan efek pelumasan yang cukup pada sistem injeksi bahan bakar mesin diesel.

Paper ini mempresentasikan hasil penelitian lanjutan dari yang telah dilakukan Majuni untuk meninjau kondisi komponen (*rating*) sehubungan dengan adanya dilusi bahan bakar biodiesel dari minyak jelantah (UFOME) setelah mesin dijalankan selama 100 jam. Kondisi komponen yang dievaluasi meliputi kemacetan ring (*sticking*), deposit karbon pada katup/*valve* dan piston, *lacquer* pada piston, lumpur/*sludge* pada penutup noken (*rocker*) dan analisa pelumas habis pakai. Tinjauan dari sisi terjadinya deposit pada filter bahan bakar dan keausan komponen-komponen lain dilaporkan dalam makalah yang lain.

Metodologi

1. Pengujian

Dua mesin genset yang identik dengan spesifikasi sebagaimana pada Tabel I, masing-masing dikopel dengan generator AC kapasitas 5 kW, 230 Volt, 32,6 Amp, 50Hz efisiensi 80%. Satu mesin menggunakan bahan bakar solar dan mesin yang lain menggunakan bahan bakar biodiesel minyak jelantah 100%. Kedua mesin genset diberi beban listrik rata-rata sebesar 60% dari elemen pemanas. Kedua dijalankan selama 100 jam dengan putaran rata-rata 1800 rpm. Investigasi komponen mesin (*rating*, visual dan pengukuran) dilakukan dengan membongkar kedua mesin setelah selesai pengujian 100 jam. Kedua mesin diesel menggunakan pelumas produksi PT. Pertamina merk Mesran SAE 40 klasifikasi CD/SF. Bahan bakar yang digunakan mempunyai spesifikasi sebagaimana ditunjukkan dalam Table II.

Tabel I. Spesifikasi mesin uji

Merk	Dong Feng
Model	R 175 AN
Tipe	IDI, Silinder tunggal, horizontal, 4-langkah
Diameter silinder	75 mm
Panjang langkah	80 mm
Volume langkah	0,353 liter
Rasio kompresi	21 : 1
Nozzle	ZS 451 pintle type
Pendingin	Air
Konsumsi bahan bakar spesifik	270,6 g/kWh

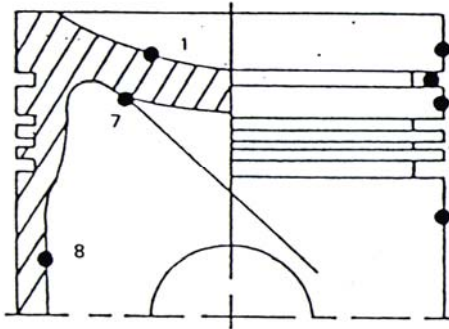
Tabel II. Spesifikasi bahan bakar

Parameter	Biodiesel jelantah	Solar
Densitas pada suhu 15°C (g/cm ³)	0,88	0,87
Viskositas kinematik suhu 40°C (cSt)	4,5	3,82
Nilai kalor/LHV (MJ/kg)	41	44
TAN (mg KOH/g)	0,45	-
Titik nyala (°C)	185	66
Air (% vol)	0,05	
Kandungan sediment (% W)	0,05	
Gliserol total (% mass)	0,2623	
Gliserol bebas (% mass)	0,0142	
Kandungan ester (% mass)	99,69	

2. Rating Komponen

Rating merupakan peringkat dengan skala dari nilai terkecil sampai dengan terbesar. Nilai rating berbasis merit berkisar antara 10 (mempresentasikan komponen masih baru) sampai dengan 0 (komponen rusak berat).

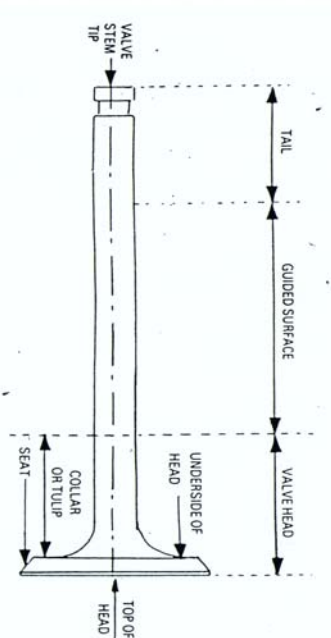
Metode rating mengacu pada standar CEC M-02-A-78. Rating komponen meliputi tingkat fungsional *ring sticking* dan akumulasi deposit (karbon dan *varnish/lacquer*) pada bagian-bagian piston dan katup pemasukan serta lumpur/*sludge* pada tutup *rocker*. Bagian-bagian piston dan katup dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1a. Bagian-bagian dari piston.

Keterangan:

1. Puncak (*crown*)
2. Top land
3. Alur ring (*groove 1st*)
4. Land atas (*1st*)
5. Alur dan land kedua dan ketiga
6. Piston skirt
7. *Undercrown*



Gambar 1b. Bagian bagian dari katup.

Untuk tingkat kemacetan ring (*ring sticking*) berbagai kondisi yang mungkin terjadi adalah: *free ring* : (nilai rating 10), *tight ring* (9,5), *pinched* (9,0), *cold stuck* (4,5 – 9,0), *hot stuck* (0 – 4,5). Kondisi deposit karbon dan lumpur ditinjau dari ketebalan/volumenya dan untuk kondisi lacquer dilihat dari intensitas warnanya. Rating dilakukan dengan menilai komponen yang telah dibagi menjadi berbagai titik/area pengamatan. Data/nilai pengamatan berupa data ordinal yang menunjukkan tingkatan keadaan komponen. Nilai rating merupakan rata-rata dari data pengamatan yang disusun berdasarkan distribusi frekuensi.

Hasil dan Pembahasan

Hasil inspeksi visual dapat dilihat pada Tabel III, rating komponen pada Tabel IV dan analisa pelumas habis pakai (*used oil analysis*) pada Tabel V. Dari ketiga tabel tersebut dapat ditarik beberapa hubungan sebagai berikut.

Pengujian dapat diselesaikan 100 jam baik itu pada mesin diesel berbahan bakar solar ataupun berbahan bakar biodiesel. Komponen mesin (ring piston) dapat berfungsi baik kecuali ring piston atas pada mesin solar. Hal ini terlihat dari inspeksi visual maupun nilai rating (3,5). Kemacetan ring piston atas mesin berbahan bakar solar terjadi karena *soot* solar yang tinggi dan adanya deposit *lacquer/varnish* pada alur atas tempat ring tersebut. Kemacetan ring mengakibatkan gesekan ring-dinding liner, sehingga meningkatkan nilai keausan logam Fe pada dinding silinder.

Tabel III. Inspeksi visual

No	Bahan bakar solar	Bahan bakar biodiesel
1	- Ring atas macet (lihat nilai rating)	- Ruang bakar berwarna coklat-kemerahan
2	- Ruang bakar berwarna hitam	- Kerak menempel lebih keras/kuat
3	- Deposit soot tinggi. Jika disentuh jari tangan jejak terlihat jelas	- Jika disentuh jari tangan jejak tidak kelihatan

Deposit/kerak pada ruang bakar berbentuk jelaga (*soot*) hitam pada diesel solar dan kerak coklat kemerahan pada mesin diesel biodiesel (Gambar 2). Warna kerak coklat kemerahan berasal dari zat karoten yang ada pada biodiesel. Jelaga berasal dari hasil pembakaran bahan bakar solar yang masuk ke bak pelumas sebagai gas *blow by* yang selanjutnya terdilusi ke pelumas mesin.

Deposit karbon dan *lacquer/varnish* diesel berbahan bakar biodiesel lebih baik (lebih rendah) dibandingkan dengan solar. Kerak yang berada pada katup masuk yang sebagian besar ditimbulkan dari hasil pembakaran di ruang bakar menunjukkan bahwa proses pembakaran biodiesel lebih baik/bersih dibandingkan dengan solar. Hasil rating menunjukkan nilai deposit karbon pada katup hisap solar adalah 7,09 sedangkan biodiesel adalah 9,015. Demikian juga deposit *lacquer/varnish* pada *land* dan alur piston menunjukkan bahwa untuk semua titik penilaian, biodiesel menghasilkan efek pembentukan *lacquer/varnish* yang lebih baik dibandingkan solar. Kondisi ini ada kaitannya dengan adanya sejumlah bahan bakar biodiesel pada pelumas (*fuel diluent*). *Fuel diluent* pada mesin berbahan bakar biodiesel adalah 5% sementara untuk solar kurang dari 1%. Pembentukan deposit *lacquer/varnish* lebih disebabkan fungsi aditif deterjen/dispersan pada pelumas yang tidak sempurna (Rizvi 1996). Hal ini menunjukkan bahwa sejumlah bahan bakar biodiesel pada pelumas membantu membersihkan kotoran sehingga mengurangi deposit *lacquer/varnish*.

Untuk pengujian selama 100 jam deposit *sludge* belum terlihat perbedaan antara mesin diesel berbahan bakar solar dan mesin diesel berbahan bakar biodiesel minyak jelantah. Hasil rating pada tutup *rocker arm* (pelatuk) untuk 50 jam operasi mesin (jam ke 51 s/d jam ke 100) mempunyai nilai yang sama (9,0).

Tabel IV. Hasil rating komponen

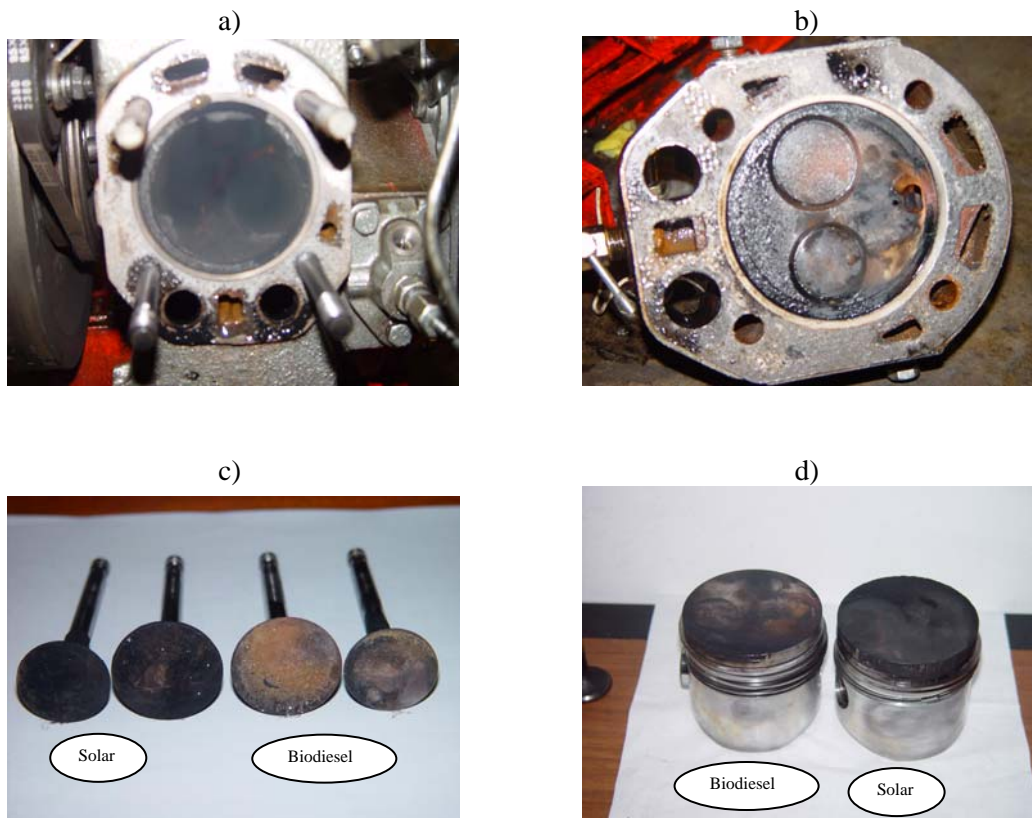
No	Komponen yang dinilai	Nilai rating	
		Bahan bakar solar	Bahan bakar biodiesel
Kemacetan ring (<i>sticking</i>)			
1	Ring piston atas	3,5	9,5
2	Ring piston tengah	9,5	9,5
3	Ring piston bawah	9,5	9,0
Deposit carbon			
1	Tulip katup hisap (<i>inlet</i>)	7,09	9,015
Deposit lacquer/varnish			
1	Land atas	8,125	9,375
2	Land tengah	9,125	9,75
3	Land bawah	10	10
4	Alur atas	2,925	9,875
5	Alur tengah	8,75	10
6	Alur bawah	7,925	10
Lumpur (<i>sludge</i>)			
1	Tutup <i>rocker arm</i> (pelatuk) *)	9,0	9,0

*) Jam ke 50 diganti dengan yang baru

Tabel V. Pengujian pelumas habis pakai

No	Parameter	Hasil pengukuran	
		Bahan bakar solar	Bahan bakar biodiesel
1	Viskositas 100°C (cSt) ^{*)}	16,24	14,09
2	Flash point (°C)	-	-
3	TBN (mg KOH/g)	11,01	10,96
4	Soot (abs/cm)	136	28
5	Pentane insoluble/PI (%W)	0,41	0,57
6	Toluene insoluble/TI (%W)	0,19	0,05
7	Oxidation (Abs/cm)	0	0
8	Fuel diluent (%W)	<1	5
9	Aluminium (ppm)	60	22
	Chromium (ppm)	27	32
	Copper (ppm)	13	8
	Iron (ppm)	426	283
	Lead (ppm)	5	2
	Silikon (ppm)	54	31
	Sodium (ppm)	37	46

*) Viskositas pelumas baru: 14,90 cSt



Gambar 2. a) Ruang bakar solar, b) ruang bakar biodiesel,
 c) katup solar & biodiesel d) piston solar & biodiesel



Gambar 3. a) Deposit pada katup tulip, b) Deposit pada *land* piston

Dari hasil pengujian pelumas habis pakai (*used oil analysis*) yang ditunjukkan pada Tabel V, beberapa hal yang patut diperhatikan adalah viskositas, perbedaan kandungan *soot*, *fuel diluent* dan keausan logam (Fe dan Al) yang besar.

Viskositas dari pelumas habis pakai memperlihatkan hasil yang berlainan dimana pelumas mesin diesel berbahan bakar solar mengalami kenaikan 8,9% (16,24 cSt), sedangkan pada mesin berbahan bakar biodiesel mengalami penurunan 5,4% (14,09 cSt). Kenaikan viskositas pelumas mesin berbahan bakar solar disebabkan kontaminasi *soot* yang tinggi pada pelumas. Penurunan viskositas pelumas mesin berbahan bakar biodiesel disebabkan dilusi bahan bakar (*fuel diluent*) yang cukup tinggi (5%), dimana nilai tersebut merupakan ambang batas *fuel diluent* mesin berbahan bakar solar. Namun dilusi bahan bakar yang tinggi pada bahan bakar biodiesel justru memberi efek positif pada pelumasan. Hal ini sejalan dengan terbentuknya *lacquer/varnish* dan keausan sebagian besar komponen logam yang lebih rendah.

Tingginya *soot* pelumas berbahan bakar solar sejalan dengan hasil pengamatan visual maupun rating komponen. *Soot* pelumas berasal dari produk pembakaran. *Soot* masuk ke pelumas sebagai gas *blow-by*. Interval penggantian pelumas yang terlalu lama atau proses pembakaran kurang sempurna mengakibatkan bahaya pada pelumas dan mesin, diantaranya berkurangnya daya pembersih pelumas (*dispersancy loss*), berkurangnya daya anti aus serta peningkatan viskositas. (Troyer and Fitch 2001). Efek berkurangnya daya pembersih terlihat dari kandungan *lacquer/varnish* yang lebih banyak pada mesin solar dibandingkan mesin biodiesel. Berkurangnya daya anti aus terlihat dari kandungan keausan logam Fe dan Al yang tinggi. Sebagaimana disinggung pada paragraph di atas kenaikan viskositas juga terjadi pada pelumas mesin diesel berbahan bakar solar.

Pentane insolubles (PI) mengindikasikan jumlah total dari *insolubles* dalam pelumas sedangkan *toluene insolubles* mengindikasikan jumlah anorganik (Smolenski and Schwartz 1994). Kandungan *pentane insolubles* pada pelumas mesin berbahan bakar biodiesel jelantah akibat adanya dilusi biodiesel ke dalam pelumas. Karena biodiesel mempunyai sifat pembersih (*solvency*) maka mampu membersihkan kotoran-kotoran yang menempel pada permukaan logam. Kotoran-kotoran tersebut dikenal sebagai *pentane insolubles*.

Tingkat keausan logam Fe dan keausan aluminium yang tinggi pada mesin berbahan bakar solar dipicu oleh adanya kandungan *soot* yang tinggi pada pelumas. Keausan Fe berasal dari keausan dinding silinder akibat ring bagian atas yang macet. Sedangkan keausan aluminium berasal dari komponen piston. Perbedaan keausan logam yang lain antara mesin diesel bahan bakar solar dan berbahan bakar biodiesel jelantah tidak terlalu tinggi dibandingkan dengan kedua logam tersebut.

Penutup

- Dari keseluruhan uraian diatas dapat diringkas beberapa hal sebagai berikut:
- *Soot*/jelaga dari proses pembakaran solar menghasilkan kandungan *soot* yang lebih tinggi pada pelumas dibandingkan dengan penggunaan biodiesel.
 - Sejumlah *soot* pada mesin diesel berbahan bakar solar menyebabkan berkurangnya daya pembersih pelumas sehingga terbentuk *lacquer/varnish*, keausan logam dan kenaikan viskositas pelumas.
 - Kandungan *soot* yang tinggi pada mesin diesel berbahan bakar solar memicu terjadinya kemacetan ring piston bagian atas dan menimbulkan keausan logam Fe dari dinding silinder dan logam Al dari piston yang lebih tinggi dibandingkan mesin berbahan bakar biodiesel.
 - Pemakaian biodiesel minyak jelantah menghasilkan efek lebih baik dalam pembentukan deposit (*soot*, karbon, *lacquer/varnish*) pada komponen mesin.
 - Penggunaan biodiesel menghasilkan kontaminasi (*fuel diluent*) yang lebih tinggi dibandingkan dengan solar, yang sampai toleransi tertentu memberikan efek positif pada pelumasan komponen mesin.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim. *Internal Combustion Engine Rating Method*. CEC M-02-A-78. London. CEC Publication.
- [2] Fajar R., Shalahuddin L., Cahyo RN., Taufik M. S. 2001. Karakteristik Unjuk Kerja dan Emisi dari Campuran Methyl Ester Sawit-Solar pada Sebuah Mesin Diesel Silinder Tunggal. *Jurnal Termodinamika dan Fluida*. BTMP. Tangerang.
- [3] Fajar R dan Taufik M S. 2002. Efek Bahan Bakar Biodiesel pada Karakteristik Pembakaran Mesin Diesel Hydra. *Jurnal Termodinamika dan Fluida*. BTMP. Tangerang.
- [4] Fajar R., 2005. *Pengujian Biodiesel Kualitas Standar pada Kendaraan Komersial*. Laporan Teknis. BTMP-BPPT. Tangerang.
- [5] Haryono I. 2006. *Evaluasi Kondisi Komponen Mesin dan Kondisi Pelumas Habis Pakai (Used Oil analysis) pada Pengujian Biodiesel Coconut Menggunakan Mesin Diesel Genset*. Laporan Teknis. BTMP-BPPT. Tangerang.
- [6] Heywood John B. 1988. *Internal Combustion Engine Fundamentals*. McGraw Hill International Editions.
- [7] Majuni Lely Yuni. 2006. *Studi Biodiesel Dengan Bahan Dasar Minyak Jelantah Terhadap Pelumasan Pada Mesin Diesel*. Tesis S-2 Teknik Mesin, UI.
- [8] Frankl H. 2004. *Stability of Biodiesel*. *The Biodiesel Handbook*. AOCS Press. Champaign, Illinois. USA.
- [9] Prawoto, L. Shalahuddin dan R.C. Nugroho, 2004. *Kelambatan Waktu Penyalaan Campuran Solar dan Metil Ester Kelapa Sawit Pada Motor Diesel Injeksi Langsung*. *Jurnal Teknik Mesin ITB*.
- [10] Rizvi Syed Q. A. 1996. *Lubricant Additives*. *Jurnal Petroleum and Coal*, volume 38 (number3). The Lubrizol Corporation. Wickliffe, Ohio.
- [11] Smolenski Donald J. and Schwartz Shirley E. 1994. *Automotive Engine-Oil Condition Monitoring*. *Hand Book of Lubrications*. CRC Press, Inc.
- [12] Schumacher. 2004. *Biodiesel Lubricity*. University of Columbia, MO
- [13] Troyer D and Fitch Jim. 2001. *Oil Analysis Basics*. Noria Corporation. Tulsa, Oklahoma, USA