

Uji Ketahanan Biodiesel Selama 60 Jam pada Mesin Diesel Stasioner Injeksi Langsung

Oleh:

Pallawagau La Puppung

S A R I

Minyak nabati dapat digunakan sebagai bahan bakar diesel baik sebagai minyak nabati yang murni atau sebagai metil ester asam lemak dari minyak nabati. Metil ester asam lemak dari minyak nabati adalah suatu hasil dari transesterifikasi minyak nabati, yang disebut biodiesel. Dan 100% biodiesel disebut B100, 100% minyak solar disebut B00 dan campuran B100 dengan B00 disebut Bxx (di mana xx adalah persentase B100 dalam campuran). Pada pengujian ini digunakan B30.

Secara umum, uji coba minyak nabati sebagai bahan bakar diesel telah dilaksanakan dengan menggunakan mesin diesel injeksi tidak langsung sesuai dengan populasi mesin diesel untuk otomotif pada waktu itu. Sedangkan pada saat ini penggunaan mesin diesel untuk otomotif telah berkembang ke arah pemakaian mesin diesel injeksi langsung. Mesin diesel injeksi tidak langsung dapat dioperasikan dengan menggunakan bahan bakar bermutu lebih rendah dibandingkan dengan mesin diesel injeksi langsung. Ini memerlukan perhatian sebab biodiesel bermutu lebih rendah dari minyak solar.

Hasil-hasil uji kinerja dan ketahanan B30 dibandingkan dengan B00 pada mesin diesel injeksi langsung menunjukkan torsi dan daya mesin lebih rendah, sedangkan konsumsi bahan bakar spesifik lebih tinggi. Emisi CO, HC dan opasitas gas buang lebih rendah, tetapi emisi NO_x lebih tinggi. Deposit injektor, piston, katup-katup dan kepala silinder lebih tinggi.

Kata kunci: minyak nabati, biodiesel, uji ketahanan, mesin diesel injeksi langsung, metil ester asam lemak.

ABSTRACT

Vegetable oils can be used as diesel fuel either as pure vegetable oils or as fatty acid methyl ester (FAME) of vegetable oils. Fatty acid methyl ester is a result of trans-esterification of vegetable oils. Fatty acid methyl ester is called biodiesel and 100% of biodiesel is named B100 and 100% gasoil is named B00 and the blending of B100 and B00 is named Bxx (where xx is the percentage of B100 in the mixture). At this testing is used B30.

In general, the testing of vegetable oils as diesel fuel which have been done using indirect injection diesel engines in line with the population of diesel engine for automotive at that time. While at the moment the use of diesel engine for automotive has expanded up to the usage of direct injection diesel engine. Indirect injection diesel engine can be operated by using lower-grade fuel compare to direct injection engine. This requires attention because biodiesel quality is lower than gasoil.

Results of performance and endurance test of B30 compare to B00 in direct injection diesel engine shows torque and power are lower, but specific fuel consumption is higher. Emission of CO, HC and opacity is lower, but emission of NO_x is higher. The deposit of injectors, pistons, valves and cylinder head is also higher.

Keywords: Vegetable oils, biodiesel, fatty acid methyl ester, endurance test, direct injection diesel engine.

I. PENDAHULUAN

Penelitian-penelitian yang telah dilakukan terhadap pemakaian biodiesel sebagai bahan bakar diesel umumnya dilaksanakan dengan menggunakan mesin diesel injeksi tidak langsung (*indirect injection diesel engines*, IDI) sesuai dengan populasi mesin diesel yang banyak digunakan untuk kendaraan bermotor pada waktu itu. Sedangkan pada saat ini pemakaian motor diesel untuk kendaraan bermotor telah berkembang ke arah penggunaan sistem injeksi langsung (*direct injection diesel engines*, DI). Motor diesel dengan sistem injeksi tidak langsung dapat menggunakan bahan bakar yang bermutu lebih rendah (*low grade fuel*) dibandingkan dengan mesin diesel injeksi langsung, sedangkan biodiesel bermutu lebih rendah dari minyak solar. Dengan alasan ini dilakukan pengujian dengan memakai motor diesel injeksi langsung, untuk mengamati pengaruh penggunaan biodiesel pada motor diesel injeksi langsung.

Dari hasil pengujian ini terlihat pemakaian biodiesel baik pada motor diesel injeksi tidak langsung maupun pada motor diesel injeksi langsung tetap konsisten dengan hasil-hasil; torsi dan daya lebih rendah, konsumsi bahan bakar lebih boros, emisi gas buang lebih bersih dan deposit pada bagian-bagian motor lebih banyak.

II. MAKSUD DAN TUJUAN

Maksud dan tujuan uji ketahanan ini adalah untuk mengamati efek pemakaian biodiesel pada motor, seperti torsi, daya, konsumsi bahan bakar, emisi gas buang dan pengaruhnya terhadap komponen-komponen motor dengan menggunakan motor diesel injeksi langsung.

III. METODOLOGI

Pada pengujian ini digunakan dua jenis bahan bakar, yaitu: Minyak solar (B00), digunakan sebagai bahan bakar pembanding dan metil ester sawit (B100), digunakan sebagai bahan pencampur dengan B00 untuk mendapatkan Bxx. Di mana Bxx adalah campuran B100 dengan B00, di mana xx adalah persentase B100 dalam campuran. Pada pengujian ini digunakan B30 berarti 30% B100 ditambah 70% B00).

Analisis sifat-sifat fisika kimia dilaksanakan dengan menggunakan metode uji baku ASTM yang digunakan untuk analisis minyak bumi dan produknya

serta metode standar yang digunakan untuk analisis minyak nabati. Pengujian kinerja dilakukan pada motor diesel statis injeksi langsung dengan variasi tiga kategori beban, yaitu: beban $\frac{1}{2}$ maksimum, beban $\frac{3}{4}$ maksimum dan beban maksimum. Pengukuran torsi, daya, konsumsi bahan bakar spesifik dan emisi gas buang dilakukan pada putaran tetap pada ketiga kategori beban tersebut di atas. Uji ketahanan dilakukan dengan menggunakan siklus uji tertentu (LEMIGAS *inhouse test method*).

Evaluasi hasil-hasil uji dilakukan dengan cara membandingkan hasil-hasil uji fisika kimia dan uji kinerja serta ketahanan B30 dengan B00.

IV. PELAKSANAAN

A. Motor Diesel dan Bahan Bakar yang Digunakan

1. Motor Diesel

Pengujian kinerja campuran metil ester sawit dan minyak solar dilakukan pada motor diesel putaran tinggi untuk otomotif, empat langkah, bersilinder empat, volume langkah 2.499 cc dengan perbandingan kompresi 18,4:1. Motor diesel ini mempunyai ruang bakar terbuka, injeksi langsung (*direct injection*, DI) dengan pemasukan udara secara alamiah (*naturally aspirated*). Pada pelaksanaan pengujian tidak dilakukan penyetelan khusus, sehingga kondisi operasi motor diesel pada saat pengujian sama seperti motor diesel yang dioperasikan sehari-hari. Perbedaan motor diesel injeksi tidak langsung dan motor diesel injeksi langsung, dikemukakan pada uraian berikut ini.

Pada motor diesel injeksi tidak langsung (*indirect injection*, IDI) ruang bakar terbagi menjadi dua bagian, sebagian di dalam kepala silinder dan sebagian lagi (ruang bakar utama) berada pada ruangan antara kepala silinder, dinding silinder dan puncak piston. Bagian pertama dapat memakai ruang bakar muka (*pre-combustion chamber*) atau ruang bakar pusaran (*swirl combustion chamber*). Bahan bakar tidak langsung diinjeksikan ke dalam ruang bakar utama, tetapi bahan bakar diinjeksikan ke dalam ruang bakar muka atau ruang bakar pusaran dengan kecepatan tinggi dan berpusar, sehingga disebut injeksi tidak langsung. Dari ruang pusaran ini gas pembakaran mengalir ke dalam ruang bakar utama, membakar campuran bahan bakar udara dalam waktu yang singkat. Motor diesel injeksi tidak langsung dapat

menggunakan bahan bakar bermutu lebih rendah (*low-grade fuel*) dibandingkan dengan motor diesel injeksi langsung.

Pada motor diesel injeksi langsung (*direct injection*, DI) ruang bakar tidak terbagi-bagi seperti pada motor diesel injeksi tidak langsung, ruang bakar ini berada pada ruangan antara kepala silinder, dinding silinder dan puncak piston. Bahan bakar langsung diinjeksikan ke dalam ruang bakar utama, sehingga disebut injeksi langsung. Ruang bakar pada motor diesel injeksi langsung juga disebut ruang bakar terbuka. Pada motor diesel jenis ini puncak piston dibuat berongga untuk mendapatkan pusaran udara. Pada Gambar 1 dapat dilihat tata letak ruang bakar pusaran pada suatu motor diesel injeksi tidak langsung dan tata letak ruang bakar pada suatu motor diesel injeksi langsung.

2. Bahan Bakar Diesel

Bahan bakar diesel dapat terbuat dari minyak bumi (fossil) atau dari minyak nabati yang dapat terbarukan.

a. Bahan Bakar Diesel dari Minyak Bumi

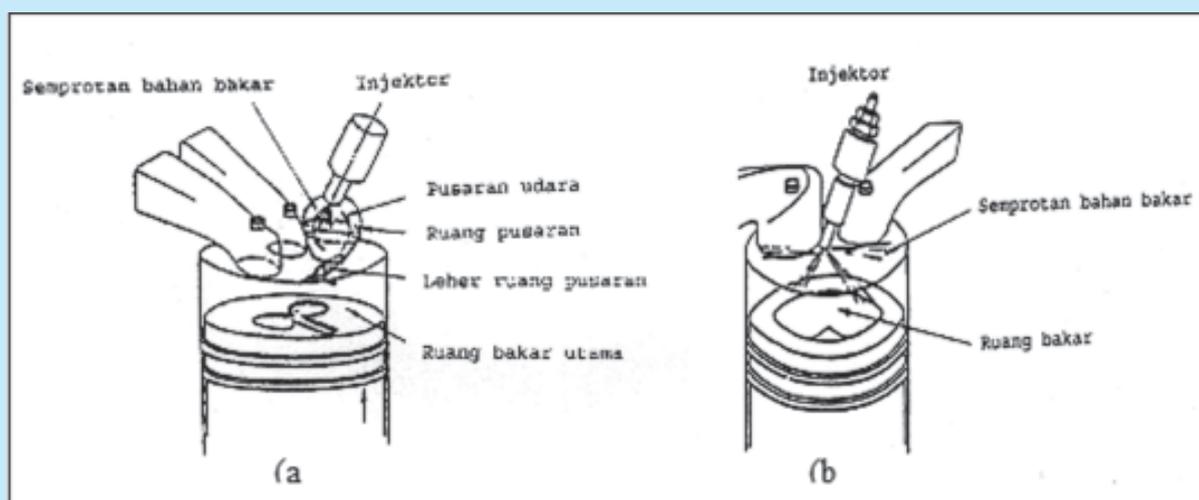
Pembagian motor diesel yang sangat erat hubungannya dengan pemilihan bahan bakar adalah pembagian menurut kecepatannya. Karena kecepatan motor menentukan waktu yang diperlukan oleh bahan bakar mulai dari penyemprotan bahan bakar ke dalam

motor, atomisasi dan pencampuran dengan udara yang dilanjutkan dengan penyalaan dan waktu ini akan sangat tergantung pada mutu bahan bakar. Motor-motor putaran tinggi waktu yang diperlukan untuk proses tersebut di atas adalah sangat singkat sehingga diperlukan mutu bahan bakar yang tinggi. Bahan bakar konvensional untuk motor diesel putaran tinggi adalah Minyak Solar, bahan bakar ini mempunyai angka setana minimum 48 dengan viskositas 2 – 5 cSt dan kandungan sulfur yang rendah maksimum 350 ppm. Menurut spesifikasi Minyak Solar yang ada diperbolehkan untuk menambahkan 10% volume FAME ke dalam Minyak Solar.

b. Bahan Bakar Diesel dari Minyak Nabati

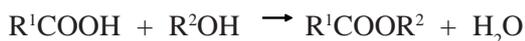
Minyak nabati mempunyai sifat-sifat yang mirip dengan bahan bakar diesel, sehingga minyak nabati merupakan salah satu sumber alternatif untuk bahan bakar diesel. Adanya perbedaan sifat-sifat fisika kimia antara minyak nabati dengan bahan bakar diesel konvensional, terutama viskositasnya yang jauh lebih tinggi dari minyak solar. Melalui proses sederhana transesterifikasi komposisi kimia minyak nabati diubah menjadi *fatty acid methyl ester* (FAME) yang disebut biodiesel atau B100.

Pembuatan metil ester dilakukan dengan mengkombinasikan minyak nabati dengan metanol untuk menghasilkan bahan bakar yang mempunyai viskositas yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan



Gambar 1
(a) Tata letak ruang bakar motor diesel injeksi tidak langsung dan
(b) Tata letak ruang bakar motor diesel injeksi langsung

minyak nabati dasarnya. Karakteristik ini diyakini mempunyai suatu hasil yang langsung mencapai penurunan viskositas dan sifat aliran dari minyak nabati, sehingga dapat mengatasi masalah-masalah aliran yang berhubungan dengan pemakaian minyak nabati sebagai bahan bakar. Ikatan dari suatu alkohol dan suatu asam organik dengan mengeleminasi air menghasilkan ester. Reaksi ini digambarkan sebagai berikut:



di mana R representasi suatu grup C_nH_x .

Dalam studi ini digunakan minyak kelapa sawit yang diubah komposisi kimianya melalui proses transesterifikasi dengan menggunakan metanol untuk menghasilkan metil ester minyak kelapa sawit atau disingkat menjadi metil ester sawit (B100). Metil ester sawit mempunyai beberapa sifat fisika dan kimia yang berbeda dengan minyak solar. Untuk mengamati pengaruh perbedaan sifat-sifat fisika kimia metil ester sawit ini terhadap kinerja motor diesel, maka studi dikonsentrasikan pada campuran metil ester sawit dengan minyak solar. Oleh karena itu obyek utama studi ini adalah melakukan pengujian-pengujian sifat-sifat fisika kimia dan kinerja campuran antara metil ester sawit dengan minyak solar. Standar mutu bahan bakar biodiesel (B100) ditetapkan oleh Badan Standarisasi Nasional (BSN) No. SNI 04-7182-2006.

B. Pelaksanaan Pengujian

1. Percontoh yang Digunakan

Percontoh B00 diperoleh dari Stasiun Pengisian Bahan Bakar untuk Umum (SPBU) Pertamina. Jadi tidak dibuat khusus, bahan bakar ini dijual untuk keperluan bahan bakar transportasi umum. Dengan cara seperti ini para pemakai biodiesel tidak perlu mencari minyak solar khusus, tetapi dapat menggunakan minyak solar yang dijual untuk umum. Percontoh B100 diperoleh dari salah satu instansi pembuat biodiesel di Jakarta. Biodiesel ini dibuat dari CPO (*crude palm oil*) melalui proses transesterifikasi. Minyak solar ini di samping digunakan untuk membuat campuran Bxx, juga digunakan sebagai bahan bakar referensi. Untuk mengamati kecenderungan perubahan sifat-sifat campuran B00 dengan B100, telah disiapkan beberapa percontoh, yaitu B00, B20, B30, B50 dan B100.

a. Analisis Sifat-sifat Fisika Kimia Bahan Bakar

Untuk mengamati karakteristik metil ester sawit dan campurannya dengan minyak solar, maka

dilakukan analisis sifat-sifat fisika kimia percontoh B00, B20, B30, B50 dan B100. Karakteristik yang diamati antara lain densitas, angka setana, viskositas, korosi bilah tembaga dan lain-lain.

b. Uji Ketahanan

Pengujian ini dilaksanakan dengan menggunakan dua jenis bahan bakar, yaitu B30 dan B00. Pengujian kedua bahan bakar tersebut dilakukan secara bergantian pada sebuah motor diesel stasioner putaran tinggi injeksi langsung.

Pada uji ketahanan ini dilakukan penggantian bagian-bagian mesin yang berhubungan dengan evaluasi hasil-hasil uji ketahanan, seperti piston, injektor, katup isap, katup buang, saringan bahan bakar, saringan udara dan lain-lain. Setiap bahan bakar uji menggunakan satu set suku cadang baru seperti tersebut di atas. Pergantian dan penyetelan bagian-bagian mesin dilakukan sesuai dengan buku petunjuk pemeliharaan mesin.

Sehubungan dengan adanya pergantian beberapa suku cadang baru, maka perlu dilakukan *run in* mesin sebelum uji ketahanan dilaksanakan. *Run in* dilakukan selama tujuh jam. Dalam *run in* ini dilakukan pengamatan terhadap kondisi operasi mesin, seperti temperatur air pendingin, temperatur dan tekanan minyak pelumas, temperatur gas buang dan lain-lain.

Selama pengujian kinerja digunakan tiga kategori beban, yaitu beban $\frac{1}{2}$ maksimum, beban $\frac{3}{4}$ maksimum dan beban maksimum. Pada ketiga kategori beban tersebut dilakukan pengamatan terhadap torsi, daya, konsumsi bahan bakar spesifik dan emisi gas buang. Pemilihan ketiga kategori beban ini dimaksudkan untuk mengikuti operasi kendaraan di jalan raya. Seperti diketahui pada saat kendaraan dipacu di jalan raya, beban yang digunakan adalah berubah-ubah dari beban rendah ke beban tinggi (maksimum), tergantung pada kondisi jalan dan lalu lintas.

Uji ketahanan dilakukan dengan menggunakan *Lemigas Inhouse Test Method*, metode ini merupakan suatu siklus uji yang dibuat sesuai dengan kemampuan operasi mesin uji. Pada uji ketahanan dilakukan pengamatan terhadap kondisi operasi mesin dan pengaruh pemakaian biodiesel terhadap kebersihan bagian-bagian mesin.

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Sifat-sifat Fisika dan Kimia

Hasil-hasil analisis dan pengujian minyak solar digunakan sebagai pembandingan hasil-hasil analisis dan

pengujian campuran antara metil ester sawit dengan minyak solar. Hasil-hasil analisis sifat-sifat fisika dan kimia minyak solar yang digunakan disajikan dalam Tabel 1.

Hasil-hasil analisis minyak solar yang digunakan dalam pengujian ini memenuhi spesifikasi Minyak Solar 48 yang ditetapkan oleh pemerintah sesuai dengan peraturan Dirjen Migas No. 3675 K/24/DJM/2006 tanggal 17 Maret 2006 dan FAME sawit yang digunakan memenuhi spesifikasi biodiesel metil alkil (B100) seperti yang ditetapkan oleh Badan Standarisasi Nasional (BSN) No. SNI 04-7182-2006.

Dari hasil-hasil analisis sifat-sifat fisika dan kimia B100 dan minyak solar terlihat beberapa karakter B100 yang tidak memenuhi spesifikasi minyak solar, seperti densitas, viskositas, distilasi, titik nyala, dan warna.

Untuk mendapatkan sifat-sifat fisika dan kimia yang mendekati minyak solar telah dilakukan

pencampuran FAME sawit dengan minyak solar, dari hasil-hasil analisis sifat-sifat fisika dan kimia didapatkan campuran FAME sawit dan minyak solar yang mendekati spesifikasi minyak solar adalah campuran B30 seperti disajikan dalam Tabel 1. Ada lima karakteristik yang penting dicatat dari metil ester sawit dan campurannya dengan minyak solar yang dapat berpengaruh terhadap kinerja motor diesel, seperti dikemukakan pada bahasan di bawah ini.

1. Angka Setana

Angka setana B100 cukup tinggi, yaitu 62,2 dibandingkan dengan B00 yang mempunyai angka setana 48. Angka setana campurannya B30 adalah 51,2, angka setana ini lebih tinggi dari pada angka setana B00. Makin tinggi konsentrasi B100 dalam campuran makin tinggi angka setananya. Hasil-hasil pengukuran angka setana memberikan gambaran bahwa proses esterifikasi dapat menaikkan angka setana minyak nabati.

Tabel 1
Hasil-hasil analisis percontoh minyak solar, FAME dan campurannya

Karakteristik	Campuran B00 dan B100					Spesifikasi B00		Spesifikasi B100		Metode uji
	B00	B20	B30	B50	B100	Min	Maks	Min	Maks	ASTM
Densitas @ 15 °C, kg/m ³	846	851	855	860	874	815	870	850	890	D 1298
Angka setana	48	49	51,2	54,5	62,2	48		51		D 613
Indeks setana	50,8	51,7	52,1	*)	*)	45				D4737
Viskositas @ 40 °C, cSt	4,1	4,3	4,3	4,7	5,3	2	5	2,3	6	D 445
Distilasi:										
T90, °C	351	346,5	340	330	**)			360		D 86
T95, °C	365,5	351,5	341,5	330						
Titik didih akhir, °C	377,5	355,5	345,5	330	**)					
Kandungan sulfur, %wt	0,288	0,232	0,203	0,141	0,001		0,35		0,001	D 2622
Titik nyala, °C	65	72	72	77	>110	60		100		D 93
Titik tuang, °C	14	14	12	12	10		18			D 97
Kandungan air, %vol	Nil	Nil	Nil	Nil	Nil		0,05		0,05	D 1744
Korosi bilah tembaga, No.	1a	1a	1a	1a	1a		NO.1		NO. 1	D 130
Netralisasi:										
Asam kuat, mgKOH/g	Nil	Nil	Nil	Nil	Nil		Nil			D 664
Asam total, mgKOH/l	0,099	0,134	0,154	0,201	0,26		0,6			
Warna, ASTM No.	L 2,5	3	3	3,5	3,5		3			D 1500
Lubrisitas, mikron	277	235	204	162	130	460 M. Solar 51				D 6079
LHV, Mj/kg	44,03	42,43	41,36	41,35	37,31					D 240

Catatan: *) Tidak bisa dihitung karena T90 tidak diperoleh pada distilasi

***) Tidak bisa didistilasi

Angka setana bahan bakar diesel menunjukkan kualitas penyalaan bahan bakar tersebut. Angka setana bahan bakar yang lebih tinggi memerlukan titik penyalaan sendiri (*autoignition point*) yang lebih rendah atau suhu yang diperlukan untuk penyalaan rendah, periode penundaan penyalaan lebih pendek sehingga lonjakan tekanan pembakaran rendah. Dengan demikian bahan bakar diesel yang mempunyai angka setana yang tinggi, tendensi akan terjadinya detonasi (*detonation*) di dalam motor akan berkurang.

2. Viskositas

Viskositas B100 dan campurannya dengan B00 lebih tinggi dari pada B00 yang digunakan, tetapi sudah masuk dalam kisaran spesifikasi minyak solar. Untuk menurunkan viskositas B100 dilakukan pencampuran antara B100 dengan B00. Viskositas B30 pada 40°C adalah 4,3 cSt, viskositas ini lebih tinggi dari pada viskositas B00 yang digunakan, tetapi sudah memenuhi spesifikasi minyak solar.

3. Distilasi

Seperti terlihat pada hasil-hasil distilasi campuran B100 dengan B00 menunjukkan titik didih B100 yang lebih tinggi dari minyak solar. Temperatur titik didih awal (IBP) sampai 80% volume distilat lebih tinggi dari pada minyak solar. Hasil distilasi ini menunjukkan bahwa B100 memiliki volatilitas yang rendah. Volatilitas B100 yang rendah ini, menyebabkan evaporasi bahan bakar lebih sulit dan pada kondisi operasi tertentu menghasilkan pembakaran tidak normal. Sebagian bahan bakar yang tinggal tidak terbakar dapat menyebabkan pengenceran minyak pelumas yang tinggi, terutama akan terjadi pada motor diesel injeksi langsung (*direct injection*, DI). Titik-titik bahan bakar (*fuel droplets*) dapat terbawa ke luar sebagai hidrokarbon yang tidak terbakar bersama-sama dengan produk-produk pembakaran lainnya melalui pipa gas buang atau jika terjadi dekomposisi secara termal akan kelihatan sebagai partikel asap dan dapat membentuk deposit pada bagian-bagian mesin. Dilihat dari distilasinya, maka campuran tertinggi yang dapat didistilasi hingga *end point* dengan metode ASTM D 86 adalah B30. Campuran yang lebih tinggi dari B30 hanya bisa didistilasi hingga 80% evaporasi dan pada suhu ini biodiesel akan mengalami dekomposisi, sehingga harus digunakan metode ASTM D 1160, metode uji dengan menurunkan tekanan di bawah tekanan atmosfer.

4. Nilai Kalor

Nilai kalor (*lower heating value*, LHV) B100 dan campurannya dengan B00 adalah lebih rendah dari nilai kalor B00 yang digunakan, makin tinggi konsentrasi B100 dalam campuran makin rendah nilai kalornya. Nilai kalori B30 adalah 41,355 MJ/kg dibandingkan dengan minyak solar yang mempunyai nilai kalor sebesar 44,025 MJ/kg. Kinerja motor adalah berhubungan langsung dengan jumlah kalor yang diberikan oleh bahan bakar selama pembakaran, yaitu nilai kalor dari pembakaran bahan bakar. Nilai kalor yang lebih rendah menyebabkan konsumsi bahan bakar yang akan lebih tinggi dari pada bahan bakar yang memiliki nilai kalor yang tinggi.

5. Lubrisitas

Minyak nabati (B100) mempunyai lubrisitas lebih baik dari B00. Lubrisitas yang baik ini sangat diperlukan untuk mencegah kerusakan pompa injeksi yang disebabkan oleh daya lumas bahan bakar yang dipompakan kurang baik. Seperti disajikan dalam Tabel 1, lubrisitas B00 menunjukkan *wear scar diameter* 277 mikron dan B100 menunjukkan *wear scar diameter* 130 mikron. Makin tinggi konsentrasi B100 dalam campuran dengan B00 makin rendah *wear scar diameter*-nya. Hasil-hasil ini menunjukkan bahwa B100 memiliki sifat lubrisitas yang baik dan cocok ditambahkan ke dalam minyak solar untuk meningkatkan lubrisitas minyak solar.

Dari hasil-hasil analisis fisika dan kimia tersebut di atas terlihat bahwa percontoh yang mendekati sifat-sifat fisika dan kimia bahan bakar diesel konvensional adalah B30, yaitu campuran 30% biodiesel dengan 70% volume minyak solar. Berdasarkan hasil-hasil analisis ini, maka percontoh yang digunakan dalam uji ketahanan adalah B30.

Banyak pernyataan tentang pemakaian biodiesel dari pembuat mesin/kendaraan termasuk diantaranya mengenai garansi. Pembuat mesin dan kendaraan memberikan garansi terhadap produknya. Beberapa garansi tidak mencakup kerusakan yang disebabkan oleh kondisi eksternal. Jadi, jika suatu mesin menggunakan biodiesel mengalami kerusakan yang disebabkan oleh penggunaan biodiesel (kondisi eksternal lain, seperti bahan bakar diesel yang jelek), maka kerusakan tidak akan dicakup oleh garansi OEM (*original equipment manufacturer*)⁴⁾.

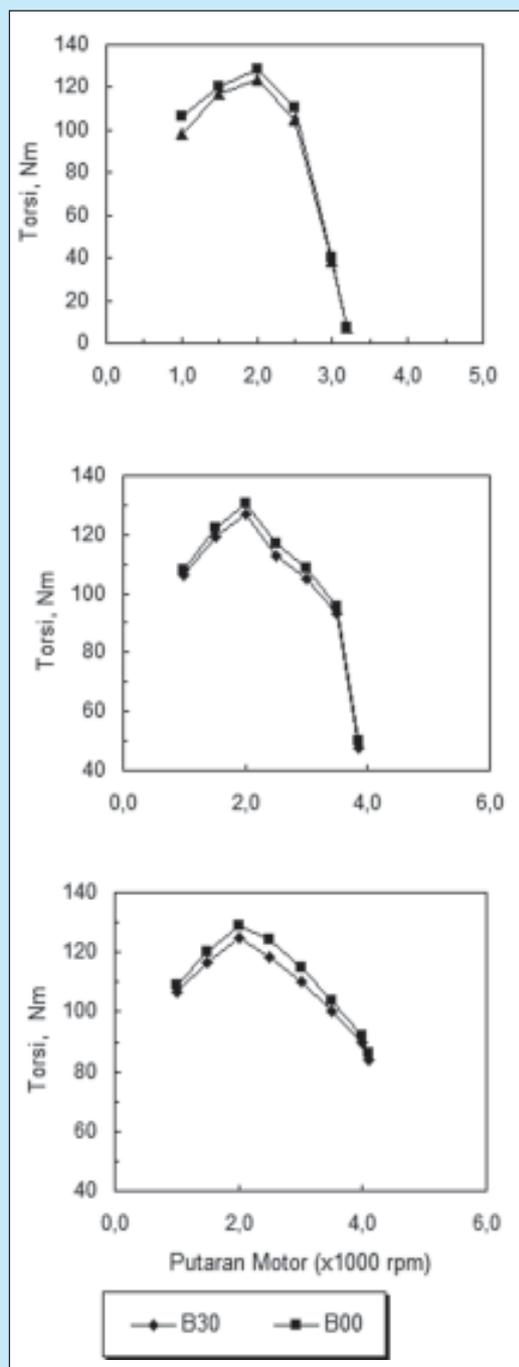
B. Uji Ketahanan pada Motor Diesel

Uji ketahanan pada motor diesel dibagi atas dua jenis pengujian, yaitu uji kinerja dan uji ketahanan selama 60 jam seperti diuraikan di bawah ini. Selama

uji ketahanan tidak terlihat adanya perbedaan kondisi operasi mesin ketika memakai B30 dan B00. Motor mudah distart pada waktu dingin, begitu juga pada waktu panas mesin mudah distart ulang.

Tabel 2
Hasil pengukuran torsi B30 dan B00

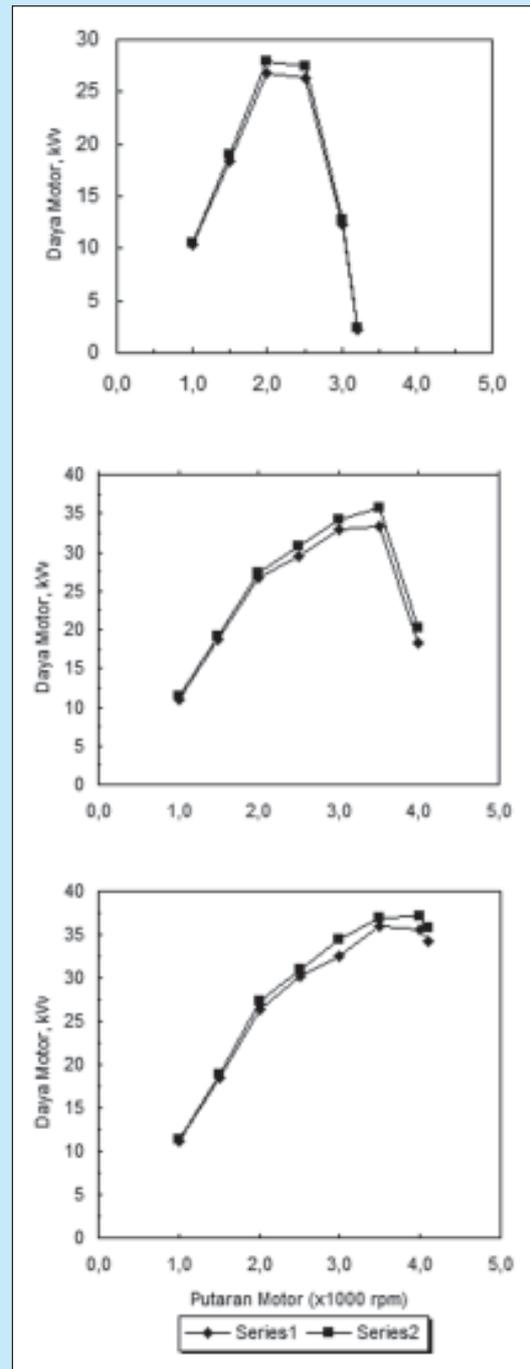
Beban 1/2 Maksimum		
RPM	B30, Nm	B00, Nm
1,0	98,2	106,5
1,5	116,8	120,7
2,0	123,8	128,8
2,5	105,2	110,2
3,0	38,2	40,3
3,2	7,0	7,4
Torsi B30 < 5.01% B00		
Beban 3/4 maksimum		
RPM	B30, Nm	B00, Nm
1,0	106,3	108,3
1,5	119,3	122,2
2,0	127,1	130,7
2,5	112,6	117,0
3,0	104,9	108,5
3,5	93,5	95,5
3,9	47,8	50,3
Torsi B30 < 3.30% B00		
Beban Maksimum		
RPM	B30, Nm	B00, Nm
1,0	106,9	108,8
1,5	116,8	120,2
2,0	124,7	128,7
2,5	118,1	124,1
3,0	109,9	114,9
3,5	100,0	103,8
4,0	89,5	92,3
4,1	83,7	86,2
Torsi B30 < 3.27% B00		
Rata-rata Torsi B30 < 3.86% B00		



Gambar 2
Hasil pengukuran torsi B30 dan B00

Tabel 3
Hasil pengukuran daya B30 dan B00

Beban 1/2 Maksimum		
RPM	B30, kW	B00, kW
1,0	10,3	10,6
1,5	18,3	19,0
2,0	26,8	27,9
2,5	26,4	27,5
3,0	12,3	12,8
3,2	2,3	2,4
Daya B30 < 3.75% B00		
Beban 3/4 Maksimum		
RPM	B30, kW	B00, kW
1,0	11,0	11,3
1,5	18,7	19,2
2,0	26,7	27,4
2,5	29,4	30,8
3,0	32,8	34,2
3,5	33,3	35,8
4,0	18,2	20,2
Daya B30 < 3.66% B00		
Beban Maksimum		
RPM	B30, kW	B00, kW
1,0	11,2	11,4
1,5	18,4	18,9
2,0	26,4	27,4
2,5	30,2	30,9
3,0	32,5	34,4
3,5	35,9	37,0
4,0	35,6	37,2
4,1	34,2	35,7
Daya B30 < 3.41% B00		
Rata-rata daya B30 < 3.86% B00		



Gambar 3
Hasil pengukuran daya B30 dan B00

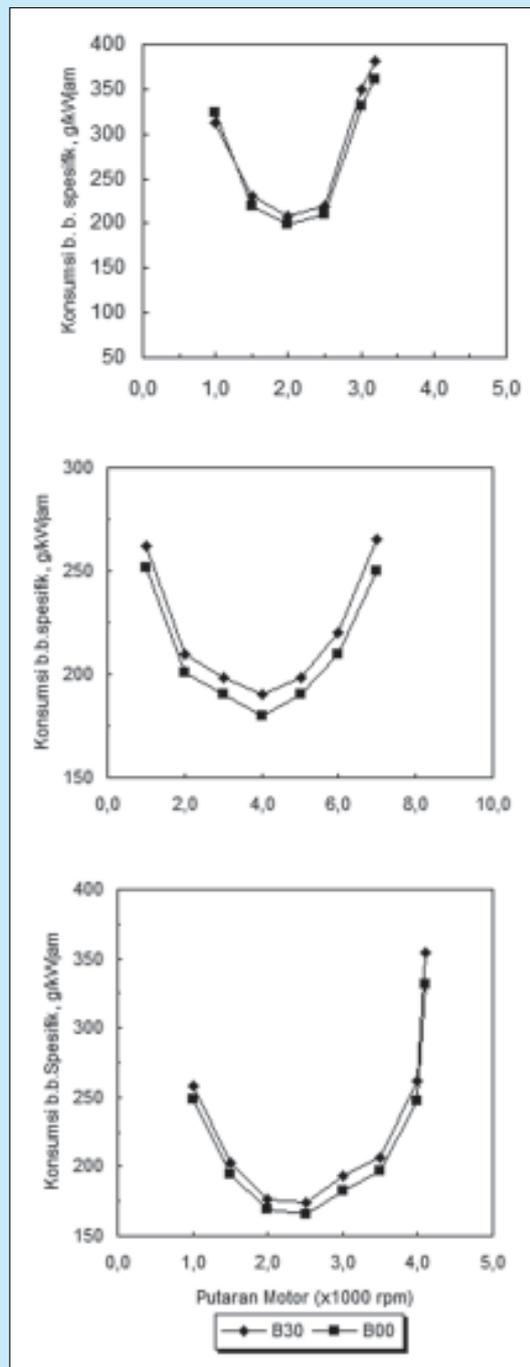
1. Uji Kinerja

Beberapa sifat fisika dan kimia bahan bakar diesel yang berpengaruh terhadap kinerja motor diesel antara lain adalah: viskositas, angka setana atau

indeks setana kalkulasi, distilasi dan nilai kalornya. Parameter-parameter kinerja yang dipengaruhi seperti: torsi, daya, konsumsi bahan bakar spesifik dan emisi gas buang yang merupakan akibat dari

Tabel 4
Hasil pengukuran konsumsi B. bakar spesifik B30 dan B00

Beban 1/2 Maksimum		
RPM	B30, g/kWj	B00, g/kWj
1,0	313	323
1,5	230	220
2,0	208	199
2,5	220	210
3,0	350	332
3,2	382	361
KBS B30 > 4,73% B00		
Beban 3/4 Maksimum		
RPM	B30, g/kWj	B00, g/kWj
1,0	262	252
1,5	210	201
2,0	198	190
2,5	190	180
3,0	198	190
3,5	220	210
4,0	265	250
KBS B30 > 4,74% B00		
Beban Maksimum		
RPM	B30, g/kWj	B00, g/kWj
1,0	258	249
1,5	203	195
2,0	176	169
2,5	174	166
3,0	193	183
3,5	207	197
4,0	262	247
4,1	354	332
KBS B30 > 4,99% B00		
Rata-rata KBS B30 > 5,37% B00		



Gambar 4
Hasil pengukuran konsumsi bahan bakar spesifik B30 dan B00

konversi energi panas yang terdapat dalam bahan bakar menjadi energi mekanis yang keluar pada poros motor diesel.

a. Torsi Motor

Hasil-hasil uji torsi motor campuran metil ester sawit dengan minyak solar dan minyak solar disajikan dalam Tabel 2 dan Gambar 2. Dari tabel dan gambar

tersebut terlihat torsi campuran metil ester sawit dengan minyak solar rata-rata lebih rendah 3,86% dari pada torsi minyak solar untuk semua kategori beban. Penurunan torsi ini terutama disebabkan oleh nilai kalor campuran metil ester sawit dengan minyak solar yang lebih rendah dari pada minyak solar dan sifat-sifat fisika dan kimia yang berbeda seperti viskositas dan distilasi.

b. Daya Motor

Hasil-hasil uji daya motor campuran metil ester sawit dengan minyak solar dan minyak solar disajikan dalam Tabel 3 dan pada Gambar 3. Dari tabel dan gambar tersebut terlihat daya campuran metil ester sawit dengan minyak solar rata-rata lebih rendah 3,86% dari pada daya minyak solar untuk semua kategori beban. Penurunan daya ini terutama disebabkan oleh nilai kalor campuran minyak solar dengan minyak solar yang lebih rendah dari pada minyak solar dan sifat-sifat fisika dan kimia yang berbeda seperti, viskositas dan distilasi.

c. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

Hasil-hasil pengukuran konsumsi bahan bakar spesifik campuran metil ester sawit dengan minyak solar dan minyak solar sebagai fungsi dari kecepatan putar motor disajikan dalam Tabel 4 dan Gambar 4.

Dari gambar dan tabel tersebut terlihat konsumsi bahan bakar spesifik mengalami kenaikan rata-rata sebesar 5,37% ketika memakai campuran metil ester sawit dengan minyak solar dibandingkan dengan ketika memakai minyak solar.

Melihat nilai kalor campuran metil ester sawit dengan minyak solar dan minyak solar, maka salah satu penyebab kenaikan konsumsi bahan bakar spesifik adalah ketika memakai campuran metil ester sawit dengan minyak solar nilai kalornya lebih rendah.

d. Emisi Gas Buang

Seperti diketahui pembakaran bahan bakar di dalam ruang bakar motor diesel akan dihasilkan

Tabel 5
Hasil pengukuran emisi gas buang

Komponen	B30	B00	Perbedaan (%)
CO, %	0.45	0.52	13.46
HC, ppm	23.5	29.92	21.46
NOx, ppm	557.67	544	-2.51
Opasitas, %	22.43	27.36	18.02

Tabel 6
Hasil pengukuran kebersihan nosel injektor

Pengangkatan jarum (mm)	B30			B00			Perbedaan perubahan aliran, %
	Rata-rata bersih	Rata-rata kotor	Perubahan aliran, %	Rata-rata bersih	Rata-rata kotor	Perubahan aliran, %	
0.05	0.670	0.536	20.00	0.664	0.562	15.36	
0.10	0.888	0.778	12.39	0.831	0.755	9.15	
0.15	1.178	1.075	8.74	1.052	1.000	4.94	
0.20	1.261	1.205	4.44	1.192	1.149	3.61	
0.25	1.325	1.283	3.17	1.219	1.192	2.21	
0.30	1.349	1.302	3.48	1.272	1.243	2.28	
0.35	1.374	1.325	3.57	1.286	1.259	2.10	
0.40	1.399	1.347	3.72	1.302	1.276	2.00	
0.45	1.430	1.374	3.92	1.316	1.288	2.13	
0.50	1.449	1.394	3.80	1.330	1.312	1.35	
			6.72			4.51	2.21

beberapa komponen dari asap gas buang. Pengukuran emisi gas buang mencakup pengukuran komponen-komponen CO, NO_x, HC dan kepekatan (opasitas) gas buang. Hasil-hasil pengukuran komponen-komponen dan kepekatan gas buang disajikan dalam Tabel 5. Dari hasil-hasil pengukuran tersebut terlihat emisi gas buang campuran metil ester sawit lebih rendah dari pada emisi gas buang minyak solar. Emisi gas buang campuran metil ester sawit dengan minyak solar dibandingkan dengan emisi gas buang minyak solar adalah sebagai berikut: CO lebih rendah 13,46%, HC lebih rendah 21,46%, NO_x lebih tinggi 2,51% dan opasitas lebih rendah 18,02%.

2. Uji Ketahanan

Uji ketahanan B00 dan B30 dilakukan dengan menggunakan siklus *Lemigas Inhouse Test Method* selama 60 jam. Maksud uji ketahanan ini adalah untuk mengamati pengaruh pemakaian B30 terhadap komponen-komponen mesin. Untuk ini setelah uji ketahanan selesai dilakukan pembongkaran mesin untuk mengamati bagian-bagian tertentu mesin. Penilaian deposit bagian-bagian mesin berdasarkan metode Merit Rating CEC-M02-T70. Nilai merit rating adalah antara 0 sampai 10, di mana M=10 berarti bersih dan M=0 berarti kotor sekali.

a. Kebersihan Nosel Injektor dan Pola

Semprotannya

Pengukuran kebersihan nosel injektor dilakukan dengan menggunakan prosedur standar ISO 4010 dengan mengukur karakteristik aliran udara pada daerah operasi pengangkatan jarum nosel injektor yang rendah. Pengukuran sisa aliran udara pada nosel injektor dilakukan pada awal dan akhir pengujian setelah dilakukan uji ketahanan.

Hasil-hasil pengukuran debit aliran udara pada nosel injektor sebelum dan sesudah digunakan untuk pengujian disajikan dalam Tabel 6.

Dari hasil-hasil pengukuran debit aliran udara yang dilakukan pada beberapa posisi pengangkatan jarum nosel antara 0.05-0.50 mm, terlihat bahwa pada pengangkatan jarum nosel yang paling rendah 0.05 mm terjadi penurunan debit aliran udara yang paling tinggi dan pada pengangkatan jarum nosel yang paling tinggi 0.50 mm terjadi penurunan debit aliran udara yang paling rendah. Penurunan debit aliran udara ini menunjukkan penyumbatan yang terjadi pada nosel injektor yang disebabkan oleh terbentuknya deposit pada alur gerak jarum nosel.

Kalau diamati penyumbatan yang terjadi pada nosel injektor yang menggunakan B30 dan B00, terlihat bahwa penyumbatan rata-rata untuk keempat nosel injektor untuk B30 adalah 6,72% dan penyumbatan rata-rata keempat nosel injektor untuk B00 adalah 4,51%. Hasil-hasil ini menunjukkan bahwa penyumbatan nosel injektor untuk B30 lebih tinggi dari pada B00 sebesar 2,21%.

Disamping pengamatan penyumbatan nosel injektor dengan pengukuran debit aliran udara, juga dilakukan pengamatan deposit secara visual pada nosel dan jarum nosel. Hasil-hasil pengamatan visual adalah sebagai berikut: (1) Semua nosel tidak menunjukkan adanya tanda-tanda kebocoran gas buang, nosel dalam keadaan yang baik dan mempunyai perapat yang baik selama pengujian. (2) Pada permukaan nosel yang berada pada ruang bakar terdapat banyak deposit karbon untuk B30 dan lebih sedikit untuk B00. (3) Pada jarum nosel tidak terdapat keausan, korosi, atau goresan yang berbahaya. (4) Pada jarum nosel terdapat deposit untuk B30 lebih banyak dari pada untuk minyak solar B00.

Dari pengamatan visual pengaruh penyumbatan nosel injektor terhadap pola semprotan bahan bakar B30 dan B00, terlihat adanya perbedaan kualitas semprotan bahan bakar antara sebelum (bersih) dan sesudah (kotor) nosel injektor digunakan untuk pengujian. Pola semprotan bahan bakar sebelum digunakan untuk uji ketahanan kelihatan berbentuk kerucut, lurus, tidak terputir dan tidak terputus-putus. Butir-butir bahan bakar halus dan tidak terdapat tetesan-tetesan. Setelah digunakan untuk uji ketahanan terlihat pada semprotan terdapat tetesan-tetesan bahan bakar, arahnya ada yang tidak lurus. Perbedaan kualitas semprotan tersebut disebabkan oleh terjadinya penyumbatan pada nosel injektor seperti yang ditunjukkan oleh menurunnya debit aliran udara pada nosel injektor.

b. Kebersihan Piston

Seperti telah diketahui ruang bakar motor diesel terdiri dari ruangan antara kepala silinder, dinding silinder, puncak piston dan puncak katup-katup. Pada pembakaran bahan bakar dalam ruang bakar tersebut akan terbentuk deposit karbon pada permukaan ruang bakar. Deposit pada ruang bakar ini merupakan hasil pemakaian bahan bakar yang digunakan selama pengujian.

Pengamatan terhadap piston mencakup top piston, *crown cutting*, *land deposit*, celah cincin piston, cincin piston, *skirt condition*, dan sisi bawah piston. Hasil-hasil pengukuran kebersihan piston mesin uji disajikan dalam Tabel 7. Dari hasil-hasil tersebut terlihat deposit piston untuk B30 rata-rata lebih tinggi 2,36% dari piston B00.

c. Kebersihan Katup-Katup

Kebersihan katup mesin uji dilakukan dengan cara penilaian visual (*merit rating*)/penimbangan. Hasil-hasil pengamatan kebersihan katup isap dan katup buang disajikan dalam Tabel 8. Pengamatan dilakukan terhadap *top head* dan tulip katup. Dari pengamatan terhadap katup isap dan katup buang terlihat deposit katup isap untuk B30 rata-rata lebih tinggi 17,04% dari deposit katup isap B00 dan deposit katup buang B30 rata-rata lebih tinggi 16,01% dari deposit B00.

d. Kebersihan Kepala Silinder

Hasil rating/penimbangan deposit kepala silinder disajikan dalam Tabel 9. Dari hasil rating deposit kepala silinder untuk B30 terlihat deposit untuk B30 rata-rata lebih tinggi 2,88% dari *rating* deposit kepala silinder untuk B00. Dan untuk penimbangan deposit kepala silinder untuk B30 lebih berat 8,42%.

e. Saringan dan Sistem Saluran Bahan Bakar

Pengamatan sistem saluran bahan bakar dilakukan terhadap kertas saringan bahan bakar, selang bahan bakar dan pipa bahan bakar. Hasil-hasil pengamatan sistem saluran bahan bakar pada pemakaian B30 adalah sebagai berikut: (1) Kertas saringan bahan bakar kelihatan

sedikit melengkung, hal ini disebabkan oleh tersumbatnya permukaan saringan bahan bakar dengan deposit, sehingga tekanan isap pompa bahan bakar naik. (2) Tidak menunjukkan pengaruh negatif terhadap selang dan pipa saluran bahan bakar yang diamati.

Tabel 7
Hasil pengukuran kebersihan nosel injektor

Hasil pengukuran kebersihan piston, M/10			
Bagian piston	Rata-rata B30	Rata-rata B00	Perbedaan (%)
Top piston	8.38	8.43	0.60
Crown cutting	9.31	9.61	3.22
Land deposit	9.49	9.68	2.00
Celah cincin piston	9.05	9.35	3.31
Cincin piston	9.46	9.75	3.07
Kondisi skirt	9.73	9.90	1.75
Ring sticking	9.75	10.00	2.56
Perbedaan rata-rata			2.36

Tabel 8
Hasil pengukuran kebersihan katup-katup

Hasil pengukuran kebersihan katup, M/10			
Bagian katup	Rata-rata B30	Rata-rata B00	Perbedaan (%)
Katup isap:			
Top head	8.08	9.54	
Tulip	8.08	9.94	
Rata-rata	8.08	9.74	17.04
Katup buang:			
Top head	8.16	9.49	
Tulip	8.16	9.94	
Rata-rata	8.16	9.72	16.01

Tabel 9
Hasil pengukuran kebersihan kepala silinder

Hasil peng. kebersihan kepala silinder, M/10			
Rating deposit	Rata-rata B30	Rata-rata B00	Perbedaan (%)
Rating deposit, M/10	7.77	8.00	2.88
Berat deposit	1290.80	1409.50	8.42

Tabel 10
Hasil-hasil analisis kompatibilitas selang plastik dan karet perapat terhadap B100

Pengamatan setelah direndam selama 2 bulan terhadap		B100	B00
Selang plastik	Elastisitas	Kaku, lebih kaku dari B00	Kaku
	Diameter	Tidak berubah	Tidak berubah
Karet perapat kecil	Elastisitas	Lebih lunak dari B00	Tidak berubah
	Diameter karet	Tidak berubah	Tidak berubah
	Diameter lingkaran	Tidak berubah	Tidak berubah
Karet perapat besar	Elastisitas	Lebih lunak dari B00	Tidak berubah
	Diameter karet	Tidak berubah	Tidak berubah
	Diameter lingkaran	Tidak berubah	Tidak berubah

f. Kompatibilitas Selang Plastik dan Karet Perapat terhadap B100

Berbeda dengan B30, B100 berpengaruh terhadap kompatibilitas selang dan karet perapat. Pengamatan kompatibilitas selang plastik dan karet perapat dilakukan dengan cara merendam selang dan karet perapat tersebut ke dalam B100 dan B00. Pada Tabel 10 disajikan hasil-hasil analisis kompatibilitas selang plastik dan karet perapat terhadap B100.

Proses pembakaran yang terjadi di dalam ruang bakar motor merupakan sebuah proses yang sangat kompleks dan rumit. Proses pembakaran ini terjadi dalam waktu yang sangat singkat, dan hampir seluruh parameter yang mengikuti pembakaran ini seperti suhu, tekanan, volume silinder, keseimbangan termodinamika serta keseimbangan perpindahan panas selalu berubah setiap saat. Hal ini menyebabkan perbedaan sifat-sifat fisika dan kimia seperti nilai kalor tidak berbanding lurus dengan perubahan torsi, daya, konsumsi bahan bakar spesifik dan emisi gas buang motor.

VI. KESIMPULAN

Dari hasil-hasil analisis dan pengujian pada mesin yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Selama uji ketahanan pada motor diesel injeksi langsung dengan menggunakan B30 tidak dijumpai adanya gangguan-gangguan teknis yang berkaitan dengan perbedaan sifat-sifat fisika dan kimia

2. Pengaruh perbedaan beberapa sifat fisika dan kimia B30 dengan B00 memberikan penurunan torsi 3,86%, daya sebesar 3,86% dan kenaikan konsumsi bahan bakar spesifik sebesar 5,37% secara teknis masih menguntungkan dibandingkan dengan substitusi yang diberikan terhadap minyak solar sebesar 30%. Namun secara ekonomis karena harga minyak kelapa sawit masih lebih mahal dari pada minyak solar, maka masih perlu dikaji lebih lanjut. Terutama untuk produksi B100, dengan adanya hasil sampingan berupa *glycerine* yang mempunyai nilai ekonomi yang tinggi, apakah bisa didapatkan harga metil ester sawit yang dapat bersaing dengan minyak solar.
3. Pada pemakaian B30 terdapat penurunan emisi gas buang jika dibandingkan dengan pemakaian B00, kecuali emisi NO_x B30 lebih tinggi dari B00. Hasil-hasil pengukuran emisi gas buang adalah sebagai berikut: emisi CO lebih rendah 13,46%, HC lebih rendah 21,46%, NO_x lebih tinggi 2,21% dan opasitas lebih rendah 18,02%.
4. Pengamatan terhadap deposit bagian-bagian mesin: terjadi penurunan debit aliran udara nosel injektor lebih rendah 2,21%, deposit piston lebih tinggi 2,36%, deposit katup isap lebih tinggi 17,04%, deposit katup buang lebih tinggi 16,01%, *rating* deposit kepala silinder lebih tinggi 2,88% dan berat deposit lebih tinggi 8,42%.

5. Pengamatan kompatibilitas B100 terhadap selang plastik dan karet perapat menunjukkan selang plastik menjadi kaku dan karet perapat menjadi lebih lunak.

KEPUSTAKAAN

1. Rama Prihandana, Roy Hendroko dan Makmuri Nuramin, 2006, Menghasilkan Biodiesel Murah: Mengatasi Polusi & Kelangkaan BBM, PT. Agro Media Pustaka, Jakarta.
2. Prof. Dr. H. R. Sudradjat, M.Sc., 2006, Memproduksi Biodiesel Jarak Pagar, Penebar Swadaya, Jakarta.
3. Franz J. Kaltner, et al., 2005, Liquid Biofuel for Transportation in Brazil, Potential and Implications for Sustainable Agriculture and Energy in the 21st Century, Study Commissioned by the German Technical Cooperation (GTZ).
4. Biodiesel Handling and Use Guidelines, 2004, Energy Efficiency and Renewable Energy, U.S. Department of Energy.
5. World-Wide Fuel Charter, 2004, ACEA, Alliance, EMA and JAMA.
6. Douglas G. Tiffany, 2001, Biodiesel: A Policy Choice for Minnesota, Department of Applied Economics, College of Agricultural, Food, and Environmental Sciences, University of Minnesota.
7. Specification for Biodiesel (B100), 2001, National Biodiesel Board, US.
8. Tim Penulis PS, 1999, Kelapa Sawit, Usaha Budidaya, Pemanfaatan Hasil dan Aspek Pemasaran, Cetakan XI, PT. Penebar Swadaya, Bogor.
9. Keith Owen dan Steven Coley, 1995, Automotive Fuels Reference Book, Edisi Kedua, Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Amerika Serikat.
10. S. Kataren, 1986, Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan, Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta.
11. Paul F. Kusy, 1982, Transesterification of Vegetable Oils for Fuels, Vegetable Oil Fuels, Proceedings of the International Conference on Plant and Vegetable Oil as Fuels, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan, Amerika Serikat.
12. Vegetable Oil Fuels, 1982, Proceedings of International Conference on Plant Vegetable Oils as Fuels, American Society of Agricultural Engineers, Michigan, Amerika Serikat.
13. E. H. Pryde, 1981, vegetable Oil Vs Diesel Fuel, Chemistry and Availability of Vegetable Oils, Northern Agricultural Energy Center, Peoria, Illinois, Amerika Serikat.