

## VALIDASI SPESIFIKASI CAMPURAN BIODIESEL-SOLAR HASIL PENGUKURAN DENGAN METODA PERHITUNGAN SEDERHANA

*(Validation of Measured Blend Biodiesel–Mineral Diesel Specification by Using a Simple Calculation Method)*

Soni S.Wirawan<sup>1</sup>, Armansyah H. Tambunan<sup>2</sup>, Martin Djamin<sup>3</sup>, Hiroshi Nabetani<sup>4</sup>

### ABSTRACT

*Biodiesel is a fuel derived from vegetable oil or animal fats that can be used as an additive to or entirely replace conventional petroleum diesel fuel. In most cases, biodiesel is mixed with conventional diesel because of the higher cost of biodiesel, product availability and engine compatibility issues. In Indonesia, the decree No. 3675K/24/DJM/2006 regarding the quality and specification of diesel oil type Solar 48 and Solar 51 has been issued, this decree regulates the use of FAME (fatty acid methyl ester) up to the maximum of 10 percent of the volume of automotive diesel fuel with which it is to be blended. The cost to measure the properties of fuel is expensive and time consuming, therefore it is important to develop a simple method to predict those blending properties. This paper presents the development of a simple calculation method for the validation of blend palm biodiesel-mineral diesel specification (density, viscosity, cetane number and lubricity) which has been measured in the author's previous study. The result shows that the lubricity and viscosity shows a higher average error value (difference value between calculation and measurement result) of 1.66% and 1.35%, whereas density and cetane number shows lower average error values of 0.06 and 0.6%. The average error value less than 2% is still acceptable.*

**Keywords:** Biodiesel, blend, fuel properties, density, cetane, viscosity, lubricity

*Diterima: 20 Agustus 2007; Disetujui: 31 Agustus 2007*

### PENDAHULUAN

Penggunaan biodiesel untuk kendaraan bermotor (transportasi) di Indonesia sudah mencapai taraf komersial meskipun skalanya masih kecil.

Hal ini karena ketersediaan bahan baku biodiesel (minyak sawit sebagai bahan pangan dan jarak pagar) masih terbatas jumlahnya. Selain itu biodiesel di Indonesia masih dikategorikan sebagai bahan bakar lain yang belum memperoleh

<sup>1</sup> Mahasiswa Program Doktor, Ilmu Keteknikan Pertanian, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. BRDST-BPPT, Gd. BPPT 1 Lt. 6, Jl. M.H. Thamrin No. 8, Jakarta 10340. Email: soni@webmail.bppt.go.id

<sup>2</sup> Guru Besar Departemen Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Email: ahtambun@ipb.ac.id

<sup>3</sup> Staf ahli Menteri di Kementerian Negara Riset dan Teknologi (KNRT)

<sup>4</sup> Professor, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, the University of Tokyo, Japan

fasilitas insentif berupa keringanan pajak maupun subsidi seperti yang dilakukan negara-negara lain. Hal tersebut diasiasi melalui penggunaan biodiesel dalam bentuk campuran dengan minyak diesel mineral (solar). Dalam aplikasi pada motor bakar, pencampuran biodiesel dengan solar merupakan cara yang praktis, murah, berdampak positif terhadap mesin (awet) dan emisi gas buang (lebih bersih).

Namun demikian sifat-sifat kimia fisika bahan bakar campuran tersebut harus terkontrol kualitasnya atau harus memenuhi ketentuan yang telah ditetapkan oleh pembuat mesin kendaraan ataupun institusi yang berwenang (Ditjend Migas, 2006).

Penggunaan biodiesel di Indonesia juga sudah merambah ke industri dimana pihak berwenang tidak terlibat karena biodiesel diproduksi untuk kebutuhannya sendiri. Dalam hal ini kontrol tetap harus dilakukan, setidaknya mengukur beberapa parameter yang penting dengan metode pengujian/perhitungan yang sederhana maupun melalui konsultasi dengan para ahli biodiesel.

Indonesia sangat kaya akan bahan baku biodiesel. Selain sawit, sedikitnya ada 40 jenis tumbuhan lain yang berpotensi dapat menghasilkan minyak nabati, baik yang telah dikedarkan oleh rakyat maupun yang sudah terabaikan di antaranya seperti minyak kelapa, jarak pagar, kapok, kemiri, kelor, nyamplung, saga utan dan kasumba (Soerawidjaya dan Tahar (2003). Dari bahan baku yang tersedia tersebut, alternatif bahan baku yang dinilai paling potensial saat ini selain minyak sawit adalah minyak jarak pagar. Hal ini karena minyak jarak pagar merupakan minyak yang tidak dapat dimakan (beracun) serta tanamannya dapat tumbuh di lahan kritis. Dari bahan baku yang berlainan tersebut akan menghasilkan sifat biodiesel yang bervariasi. Sedangkan sifat campuran biodiesel-solar juga ditentukan pula oleh sifat/kualitas solar yang digunakan.

Tulisan ini menguraikan tentang metode sederhana untuk menghitung sifat campuran biodiesel-solar berdasarkan data sifat (*properties*) biodiesel dan solar murni. Dengan menggunakan perhitungan regresi linear, data hasil perhitungan tersebut selanjutnya digunakan untuk memvalidasi data hasil pengukuran yang telah didapatkan pada studi sebelumnya (Wirawan et al., 2007).

Selanjutnya, model hasil regresi linier tersebut juga dapat dimanfaatkan untuk menghitung sifat campuran biodiesel-solar pada berbagai komposisi. Dengan demikian, dapat dievaluasi dengan cepat apakah sifat-sifat campuran biodiesel-solar telah memenuhi spesifikasi untuk transportasi. Dengan demikian, biaya tinggi yang diperlukan untuk pengukuran sifat campuran juga dapat dikurangi. Sifat-sifat campuran yang akan dihitung dan divalidasi pada paper ini adalah densitas, viskositas, bilangan setana dan lubrisitas (tingkat keausan).

## TINJAUAN PUSTAKA

### Estimasi Sifat Campuran Biodiesel (BXX)

Biodiesel dapat dimanfaatkan secara murni (*neat*) ataupun dalam bentuk campuran (*blend*) dengan minyak solar tanpa mengharuskan adanya modifikasi signifikan pada mesin kendaraan. Campuran XX % v/v biodiesel dengan (100 - XX) % v/v minyak solar lazim disebut biodiesel BXX. Sebagai contoh, B10 adalah campuran 10 % v/v biodiesel dan 90 % v/v minyak solar.

Sifat kimia fisika campuran biodiesel-solar perlu diidentifikasi untuk dapat mengetahui pengaruhnya terhadap operasional mesin. Beberapa sifat penting yang menjadikan biodiesel unggul dari solar adalah densitas, viskositas, bilangan setana dan lubrisitas

### Densitas (kerapatan)

Densitas sebuah campuran yang terdiri dari senyawa hidrokarbon (biodiesel dan solar) dapat diestimasi menggunakan sebuah formula yang sederhana. Formula tersebut terdiri atas komposisi dari komponen campuran dan densitas senyawa penyusun. Formula sederhana yang dimaksud biasanya bersifat linier seperti berikut ini:

$$\rho_{mix} \propto \sum x_i \cdot \rho_i \quad (1)$$

Dimana densitas campuran,  $\rho_{mix}$  ( $\text{kg/m}^3$ ) berbanding lurus dengan jumlah perkalian antara densitas suatu senyawa ( $\rho_i$ ) dan komposisi bahan penyusun campuran ( $x_i$ ), dimana  $i$  adalah jumlah komponen penyusun,  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ . Oleh karena itu densitas tergantung jumlah atau komposisi biodiesel dalam campuran tersebut. Untuk mendapatkan model densitas campuran dapat digunakan teknik regresi linier dimana data pengukuran densitas campuran dicocokkan (*fitting*) dengan data densitas dan komposisi bahan penyusun. Proses regresi linier akan menghasilkan persamaan yang berbentuk:

$$\rho_{mix} = m_1 x_1 \cdot \rho_1 + m_2 x_2 \cdot \rho_2 + b \quad (2)$$

Karena dalam penelitian ini biodiesel yang digunakan berbahan baku dari kelapa sawit (POME, *palm oil methyl ester*), maka  $x_1$ : komposisi POME dan  $x_2$ : komposisi solar. Kemudian  $\rho_1$ : densitas POME dan  $\rho_2$ : densitas solar. Sedangkan  $m_1$ ,  $m_2$  dan  $b$  adalah konstanta hasil regresi linier.

### Viskositas

Estimasi viskositas campuran merupakan masalah dalam estimasi sifat fisika kimia, karena pada umumnya menghasilkan kesalahan yang besar. Hal ini karena hubungan antara viskositas campuran dan komposisi senyawa penyusun bersifat tidak linier dan

cenderung bersifat logaritmik. Studi sebelumnya tentang viskositas campuran minyak disel dan biodiesel dari kedelai, kanola dan lemak binatang (Kinast, 2003) menunjukkan hubungan yang tidak linier akan tetapi cenderung bersifat logaritmik dengan komposisi biodiesel maupun minyak disel. Model yang biasanya digunakan untuk menggambarkan hubungan antara viskositas campuran dan komposisi penyusunnya adalah sebagai berikut (Davis, 1996):

$$\ln(\eta_{mix}) \propto \sum x_i \cdot f(\eta_i) \quad (3)$$

Dimana viskositas campuran  $\eta_{mix}$  ( $\text{mm}^2/\text{det. (cSt)}$ ) bersifat logaritmik pada rentang temperatur 0 hingga  $100^\circ\text{C}$ ) dan  $\eta_i$ : viskositas komponen penyusun.  $f(\eta_i)$  merupakan fungsi dari viskositas yang dipilih secara *trial-error*. Dalam studi campuran biodiesel dan solar dipilih bahwa  $f(\eta_i) = \ln(\eta_i)$ . Proses regresi linier dari data viskositas dan komposisi bahan penyusun terhadap data pengukuran viskositas campuran akan menghasilkan persamaan berikut, dimana  $m_1$ ,  $m_2$  dan  $b$  adalah konstanta.

$$\ln(\eta_{mix}) = m_1 x_1 \cdot \ln(\eta_1) + m_2 x_2 \cdot \ln(\eta_2) + b \quad (4)$$

dan  $x_1$ : komposisi POME,  $x_2$ : komposisi solar. Sedangkan  $\eta_1$ : viskositas POME dan  $\eta_2$ : viskositas solar.

### Bilangan Setana

Bilangan setana adalah ukuran kualitas penyalan sebuah bahan bakar disel dalam keadaan terkompresi. Bilangan setana dari minyak mineral seperti solar dipengaruhi oleh struktur molekul hidrokarbon penyusun. Normal parafin dengan rantai panjang yang lurus mempunyai bilangan setana lebih besar dari pada cyclo parafin, iso parafin, olefin dan aromatik. Bilangan setana biodiesel (*methyl ester*) juga bervariasi dipengaruhi oleh komposisi asam lemak. Methyl ester dari asam lemak jenuh seperti palmitat

dan stearat mempunyai bilangan setana yang tinggi hingga 75, sedangkan bilangan setana methyl ester terbuat dari asam lemak tak jenuh seperti linoleat hanya mencapai 33. Studi sebelumnya (Gerpen, 1996) menunjukkan bahwa bilangan setana campuran biodiesel dalam minyak disel mineral berbanding lurus (linier) dengan kandungan ester dalam campuran. Pada laporan ini bilangan setana campuran akan dikorelasikan dengan komposisi penyusun yaitu fraksi volume methyl ester dan solar secara linier sebagai berikut:

$$CN_{mix} \propto \sum x_i \cdot CN_i \quad (5)$$

Dimana  $CN_{mix}$  : bilangan setana campuran dan  $CN_i$  adalah bilangan setana komponen penyusun yaitu biodiesel dan solar. Jika teknik regresi linier diterapkan seperti pada persamaan (2), maka diperoleh persamaan linier berikut dimana  $m_1$ ,  $m_2$  dan  $b$  merupakan konstanta dan  $x_1$ : komposisi POME,  $x_2$ : komposisi solar. Sedangkan  $CN_1$ : bilangan setana POME dan  $CN_2$ : bilangan setana solar.

$$CN_{mix} = m_1 x_1 \cdot CN_1 + m_2 x_2 \cdot CN_2 + b \quad (6)$$

### Lubrisitas

Lubrisitas bahan bakar khususnya untuk mesin disel merupakan parameter yang sangat penting, karena menunjukkan tingkat keausan (*wear*) suatu logam jika menggunakan bahan bakar tertentu. Bahan bakar disel yang digunakan pada sistem injeksi modern harus memiliki tingkat lubrisitas tertentu (nilai maksimum) untuk menghindari keausan yang berlebihan. Keausan yang dimaksud biasanya berkaitan dengan komponen pompa bahan bakar dan injektor. Biodiesel dikenal sebagai bahan bakar yang memiliki lubrisitas lebih baik dibandingkan minyak disel mineral. Efek penambahan biodiesel kedalam solar terhadap lubrisitas ternyata tidak bersifat linier, hal ini terbukti dari hasil penelitian

terhadap biodiesel yang berasal dari rapeseed (Frame, 2000). Hubungan antar lubrisitas campuran,  $L_{mix}$  (*micron*) dengan komposisi  $x_i$  dan lubrisitas penyusunnya  $L_i$  dapat dinyatakan dengan model linier berikut:

$$L_{mix} \propto \sum x_i \cdot \ln(L_i) \quad (7)$$

Jika data komposisi dan lubrisitas senyawa penyusun (biodiesel dan solar) dicocokkan dengan data pengukuran lubrisitas campuran menggunakan teknik regresi linier multi variabel, maka diperoleh persamaan berikut dimana  $m_1$ ,  $m_2$  dan  $b$  merupakan konstanta:

$$\ln(L_{mix}) = m_1 x_1 \cdot \ln(L_1) + m_2 x_2 \cdot \ln(L_2) + b \quad (8)$$

$x_1$ : komposisi POME,  $x_2$ : komposisi solar. Sedangkan  $L_1$ : lubrisitas POME dan  $L_2$  lubrisitas solar.

### Persyaratan Kualitas Campuran Biodiesel-Solar

Hasil pencampuran biodiesel-solar harus memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan oleh pihak berwenang. Campuran biodiesel-solar telah disetujui oleh pihak yang berwenang untuk aplikasi pada kendaraan bermotor (sektor transportasi), maka spesifikasi Minyak disel (solar) yang harus dirujuk adalah Keputusan Direktur Jenderal Migas no 3675 K/24/DJM/2006 (Ditjen Migas, 2006 dan World Wide Fuel Charter 2006) seperti ditunjukkan pada tabel 1. Parameter kunci yang menentukan unjuk kerja mesin seperti viskositas, densitas, bilangan setana dan lubrisitas harus memenuhi spesifikasi. Parameter lain merupakan pendukung karena berkaitan dengan faktor penyimpanan dan keamanan. Meskipun demikian perlu dicek pula untuk menjamin kualitas secara keseluruhan.

Densitas bahan bakar tidak berpengaruh pada operasional mesin. Perbedaan dalam densitas hanya akan

Tabel 1. Spesifikasi Bahan Bakar Minyak Jenis Solar 48

No.	Parameter	Metode Uji	Nilai Spesifikasi
1	Density 15°C, kg/m <sup>3</sup>	ASTM D-1298	815 – 870
2	Bilangan Setana	ASTM D-613	Min. 48
3	Viskositas Kinematik 40°C, cSt	ASTM D-445	2 – 5
4	Titik Tuang, °C	ASTM D-97	Maks 18
5	Kandungan Sulfur, % m/m	ASTM D-2622	Maks 0,35
6	Copper Strip 3 jam pada 212°C	ASTM D-130	Maks No. 1
7	Carbon Residue, % m/m	ASTM D-4530	Maks. 0,10
8	Kandungan Air, mg/kg	ASTM D-1744	Maks. 500
9	Sedimen, % m/m	ASTM D-473	Maks 0,01
10	Kandungan Abu, % m/m	ASTM D-482	Maks. 0,01
11	Kandungan FAME, % v/v	Gas Chromatograph	Maks. 10
12	Titik Nyala, °C	ASTM D-93	Min. 60
13	Kandungan Asam Total, mg KOH/g	ASTM D-86	Min. 40

Sumber: Ditjen Migas, 2006

mempengaruhi kandungan kalori dan konsumsi bahan bakar (Mittelbach dan Remschmidt, 2004). Hal ini karena jumlah bahan bakar yang masuk ke ruang bakar ditentukan secara volumetrik. Meskipun kandungan kalori biodiesel dan campurannya lebih rendah dibandingkan solar namun densitasnya secara umum lebih tinggi sehingga power dan torsi yang dihasilkan oleh mesin tidak menunjukkan perbedaan yang berarti. Batas densitas yang dinyatakan dalam spesifikasi adalah **815-870 kg/m<sup>3</sup>**. Biodiesel murni biasanya memiliki densitas yang lebih tinggi yaitu **850-890 kg/m<sup>3</sup>**.

Spesifikasi terpenting dari bahan bakar disel adalah viskositas (kekentalan). Viskositas campuran biodiesel-solar tidak boleh terlalu tinggi dan terlalu rendah. Viskositas terlalu tinggi akan membahayakan mesin karena bahan bakar yang terlalu kental menghasilkan pengkabutan (atomisasi) yang buruk dan pembakaran yang tidak sempurna sehingga mengakibatkan terbentuknya deposit pada injektor (Knothe et. al., 2004). Pada akhirnya mesin akan kehilangan tenaga dan rusak.

Visositas yang terlalu rendah (encer)

juga berbahaya karena akan memperburuk pelumasan pada komponen pompa sehingga keausan akan semakin tinggi. Batas viskositas campuran biodiesel-solar adalah **1,6-5,8 mm<sup>2</sup>/det. (cSt)**.

Bilangan setana menunjukkan kualitas penyalaaan bahan bakar mesin disel. Biodiesel pada umumnya memiliki bilangan setana yang lebih tinggi dibanding minyak disel mineral seperti solar, tingginya bilangan setana dapat menurunkan emisi NO<sub>x</sub> secara signifikan (Sharp (1996) in Peterson et. al., 2000). Oleh karena itu pencampuran biodiesel-solar membuka peluang untuk meningkatkan kualitas minyak disel mineral yang memiliki bilangan setana yang rendah (tidak memenuhi spesifikasi). Biodiesel biasanya memiliki bilangan setana lebih tinggi dari **51**. Bilangan setana dari campuran biodiesel-solar diharapkan dapat mencapai lebih dari **45**.

Seperti pada bilangan setana, salah satu keunggulan biodiesel dibandingkan dengan solar adalah sifat pelumasannya (lubrisitas) yang lebih baik. Meskipun lubrisitas tidak termasuk dalam spesifikasi bahan bakar disel yang dikeluarkan Ditjen

MIGAS namun pada spesifikasi internasional untuk bahan bakar diesel yang terdapat pada World Wide Fuel Charter, 2006, lubrisitas ditetapkan sebesar **max. 400 mikron** setelah mengalami uji tertentu (ASTM 6079). Minyak disel mineral sebelum ditambah dengan aditif memiliki lubrisitas yang tinggi **>500 mikron** sementara itu biodiesel dari berbagai bahan baku memiliki lubrisitas yang lebih rendah, sekitar **200 mikron** (Knothe and Steidley, 2005). Oleh karena itu campuran biodiesel-solar berdampak positif bagi mesin dan menambah umur komponen mesin.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisa Hasil Regresi Linier

Hasil pengukuran densitas, viskositas, bilangan setana dan lubrisitas dari biodiesel (B-100), solar (B-0) dan campurannya (B-5 s/d B-50) ditampilkan pada Tabel 2 (Wirawan et. al., 2007). Selanjutnya data pengukuran tersebut yaitu densitas, viskositas, bilangan setana dan lubrisitas untuk biodiesel (B-100) dan solar (B-0) dimasukkan berturut-turut kedalam persamaan (2), (4), (6) dan (8) beserta komposisi campurannya ( $x_1$  dan  $x_2$ ).

Hasil perhitungan menggunakan persamaan (4) untuk viskositas dapat dilihat pada Tabel 3. Setelah dilakukan pencocokan data perhitungan (kolom ke 2 dan 3 pada tabel 3) terhadap data hasil pengukuran (kolom ke 4) menggunakan teknik regresi linier maka diperoleh konstanta  $m_1$ ,  $m_2$  dan  $b$ , seperti yang telah dinyatakan pada persamaan (4). Persamaan linier yang terbentuk tersebut merupakan prediksi dari model viskositas campuran pada kondisi tertentu (hanya berlaku untuk biodiesel dan solar yang digunakan). Teknik regresi linier juga menghasilkan koefisien korelasi R, jika  $R=1$  maka relasi antara data perhitungan

dan data pengukuran benar-benar linier atau semua titik pada grafik 1 berada pada garis lurus.

Prosedur regresi linier untuk persamaan viskositas tersebut diatas, dapat dilakukan pula terhadap densitas, bilangan setana dan lubrisitas menggunakan persamaan yang telah dijelaskan sebelumnya. Tabel 4 menampilkan hasil regresi linier *multi variable* untuk densitas, viskositas, bilangan setana dan lubrisitas dari campuran biodiesel. Konstanta  $m_1$  merupakan koefisien atau kemiringan dari komposisi biodiesel dalam campuran ( $x_1$ ),  $m_2$  adalah koefisien dari komposisi solar dalam campuran ( $x_2$ ) dan  $b$  merupakan konstanta atau *intercept* dari setiap persamaan linier hasil regresi. Jika  $x_1$  dan  $x_2$  sama dengan 0 maka nilai densitas, viskositas, bilangan setana dan lubrisitas sama dengan  $b$ . Nilai  $x_1$  dan  $x_2$  sama dengan 0 dapat diartikan tidak ada solar maupun biodiesel sehingga berlaku  $\rho_{mix} = \eta_{mix} = CN_{mix} = L_{mix} = b = 0$ .

Koefisien korelasi R hasil regresi data densitas dan bilangan setana adalah sangat baik karena mendekati 1 ( $R\rho = 0,9953$  dan  $R_{CN} = 0,9915$ ), hal ini menunjukkan korelasi yang nyata antara faktor densitas campuran  $\rho_{mix}$  dengan komposisinya  $x_1$  dan  $x_2$  dan korelasinya bersifat linier. Demikian pula dengan korelasi antara bilangan setana campuran  $CN_{mix}$  dengan fraksi volume biodiesel  $x_1$  dan fraksi volume solar  $x_2$ . Meskipun koefisien korelasi R hasil regresi data viskositas dan lubrisitas cukup baik, namun masih lebih rendah dari data densitas dan bilangan setana. Hal ini karena relasi antara komposisi campuran terhadap viskositas dan lubrisitas campuran biodiesel-solar cukup kompleks (non linier) sehingga memerlukan proses optimasi agar diperoleh model atau persamaan yang lebih baik.

Koefisien  $m_1$  dapat diinterpretasikan sebagai tingkat respon perubahan densitas, viskositas, bilangan setana dan

Tabel 2 Hasil pengukuran sifat biodiesel (B-100), solar (B-0) dan campurannya

Parameter	Komposisi Campuran Biodiesel-Solar							
	B0	B-5	B-10	B-15	B-20	B-30	B-50	B-100
Densitas 15°C kg/m <sup>3</sup>	854,7	855,4	856,3	857,3	857,4	859,4	863,9	875,9
Viskositas 40°C, cSt	5,081	5,071	5,056	4,794	4,749	4,689	4,582	4,448
Bil. Setana	54,5	@	54,5	@	@	@	57,3	61,8
Lubrisitas 60°C, mikron	341	@	263	@	@	@	227	217

@: tidak diukur

Tabel 3 Hasil pengukuran viskositas campuran  $\eta_{mbx}$  perhitungan dengan pers. (4)

$x_1$	$x_1 \cdot \ln(\eta_1)$	$x_2 \cdot \ln(\eta_2)$	$\ln(\eta_{mbx})$
0	0	1,6255	1,6255
0,05	0,0746	1,5442	1,6235
0,10	0,1493	1,4630	1,6206
0,15	0,2239	1,3817	1,5674
0,20	0,2985	1,3004	1,5579
0,30	0,4478	1,1379	1,5452
0,50	0,7463	0,8128	1,5221
1,00	1,4925	0	1,4925

$\eta_1$  : viskositas biodiesel

$\eta_2$  : viskositas solar

$x_1$  : komposisi biodiesel (volume)

$x_2$  : (1-  $x_1$ ): komposisi solar

lubrisitas sebagai akibat perubahan komposisi biodiesel dalam campuran. Sedangkan  $m_2$  merupakan sebaliknya yaitu tingkat respon akibat perubahan komposisi solar dalam campuran. Jika  $m_1$  dari bilangan setana lebih besar dibandingkan  $m_2$  berarti kenaikan bilangan setana campuran lebih didominasi oleh kenaikan komposisi biodiesel dalam campuran. Tidak ada perbedaan yang signifikan dari  $m_1$  dan  $m_2$  untuk semua parameter. Hal ini menunjukkan bahwa densitas, viskositas, bilangan setana maupun lubrisitas memiliki tingkat respon yang hampir sama terhadap perubahan komposisi baik biodiesel maupun solar. Dari  $m_1$  dan  $m_2$  untuk lubrisitas dapat dilihat bahwa  $m_1$  sedikit lebih besar dari  $m_2$ , hal tersebut mengindikasikan bahwa kenaikan

lubrisitas lebih dikarenakan karena kenaikan komposisi biodiesel dalam campuran.

Tabel 5 menampilkan kesalahan relatif (%) dari densitas, viskositas, bilangan setana dan lubrisitas hasil prediksi (regresi) terhadap hasil pengukuran untuk berbagai komposisi campuran biodiesel. Kesalahan relatif terkecil dicapai oleh prediksi densitas campuran yang berkisar antara 0,0224 % hingga 0,0922 %. Hal ini berkaitan dengan angka korelasi tertinggi dari densitas yaitu 0,9953 dari hasil regresi (lihat tabel 4). Angka negatif menunjukkan bahwa densitas pengukuran lebih rendah dibandingkan densitas dari hasil prediksi (regresi) dan sebaliknya untuk angka positif. Kesalahan relatif densitas rata-rata hasil prediksi adalah 0,068 %. Gambar 1 menampilkan perbandingan antara hasil prediksi dan hasil pengukuran dari densitas campuran biodiesel solar.

Kesalahan relative terkecil berikutnya adalah bilangan setana. Nilai korelasi hasil dari teknik regresi bilangan setana adalah 0,9915. Kesalahan relative yang terjadi dari hasil prediksi terhadap hasil pengukuran adalah berkisar antara 0,4293 % dan 0,8834 %. Sedangkan kesalahan relative rata-rata adalah 0,6601 %. Perbandingan dari kesalahan relative hasil prediksi bilangan setana terhadap hasil pengukuran terlihat pada gambar 2.

Kesalahan relatif viskositas hasil prediksi terhadap hasil pengukuran adalah lebih dari 1 % dimana rata-ratanya adalah sekitar 1,35 %. Telah diketahui

Tabel 4 Konstanta hasil regresi linier &amp; koefisien korelasi

Konstanta	Densitas	Viskositas	Bilangan Setana	Lubrisitas
$m_1$	0.9992	0.9866	0.9957	0.9899
$m_2$	0.9991	0.9895	0.9912	0.9779
$b$	0	0	0	0
$R$	0,9953	0,8902	0,9915	0,8421

Tabel 5 Kesalahan relatif (%) dari nilai prediksi terhadap pengukuran

Komposisi Campuran	Densitas ( $\rho$ )	Viskositas ( $\ln \eta$ )	Bilangan Setana (CN)	Lubrisitas (In L)
B-0	0,0922	1,0513	0,8834	2,2071
B-5	0,0494	1,3480	@	@
B-10	0,0300	1,5907	-0,4957	-1,6740
B-15	0,0224	-1,3159	@	@
B-20	-0,0902	-1,4975	@	@
B-30	-0,1052	-1,4522	@	@
B-50	-0,0770	-1,2060	-0,8318	-1,6504
B-100	0,0779	1,3399	0,4293	1,0055
<b>Rata-rata</b>	<b>0,0680</b>	<b>1,35002</b>	<b>0,6601</b>	<b>1,6616</b>

@ : Tidak dilakukan pengukuran

bahwa korelasi antara viskositas dengan komposisi komponen penyusun (biodiesel dan solar) lebih kompleks (tidak linier). Oleh karena itu model atau persamaan untuk viskositas dapat ditingkatkan lagi korelasinya dengan melakukan modifikasi lanjut. Perbedaan antara hasil prediksi dan pengukuran dari viskositas campuran ditampilkan pada Gambar 3.

Proses regresi linier dari lubrisitas campuran biodiesel solar menghasilkan nilai korelasi terendah meskipun cukup bagus yaitu 0,8421. Konsekuensinya adalah kesalahan relatif dari lubrisitas hasil prediksi terhadap hasil pengukuran juga paling tinggi yaitu dengan nilai rata-rata sekitar 1,66%. Jumlah titik pengukuran yang sedikit yaitu empat titik juga menjadi salah satu penyebab dari hal tersebut. Meskipun telah diketahui dari sebelumnya bahwa korelasi antara lubrisitas dan komposisi biodiesel kompleks (tidak linier). Penambahan biodiesel hingga 5% kedalam minyak disel memberi efek penurunan tingkat

keausan yang besar, sementara itu penambahan selanjutnya kurang memberi efek yang signifikan. Oleh karena itu model atau persamaan yang dapat menggambarkan hubungan keduanya juga kompleks. Perbedaan antara hasil prediksi dan pengukuran dari lubrisitas campuran ditampilkan pada gambar 4.

#### Penggunaan Model Densitas, Viskositas, Bilangan Setana dan Lubrisitas

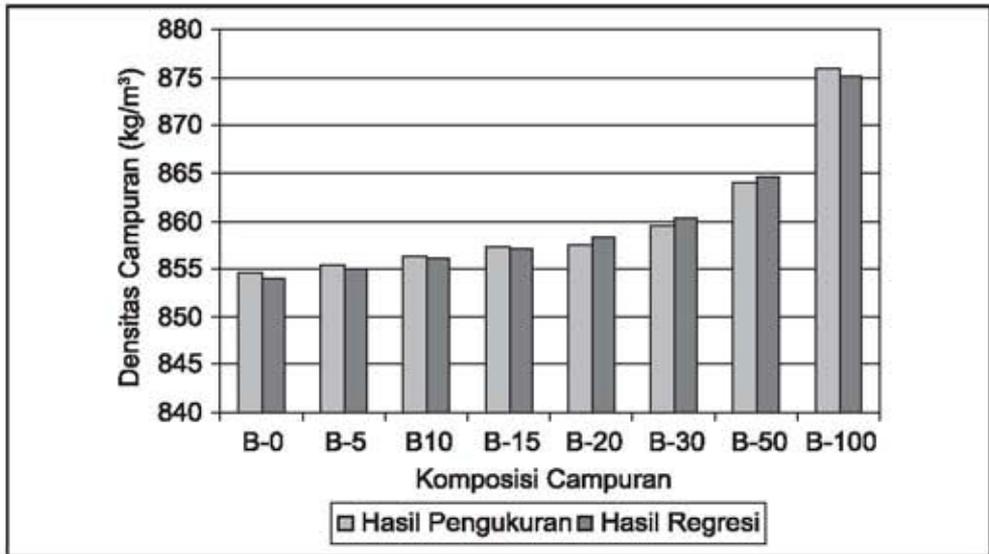
Hasil regresi linier multivariabel pada tabel 4 untuk densitas, viskositas, bilangan setana dan lubrisitas dapat diterapkan hanya dengan syarat tertentu.

Pertama hanya berlaku jika biodiesel dan solar yang digunakan sama spesifikasinya dengan yang digunakan disini. Selain itu untuk lebih spesifik dari densitas, viskositas, bilangan setana dan lubrisitas, komposisi asam lemak juga harus sama. Hal ini karena ke empat sifat kimia tersebut terutama bilangan setana

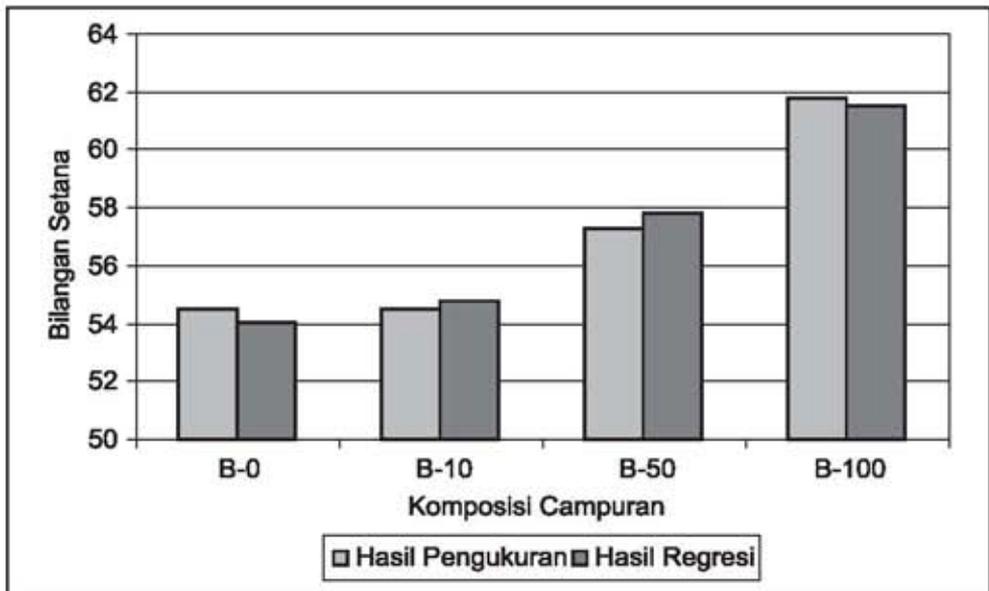
dan lubrisitas sangat tergantung pada komposisi asam lemak.

Kedua adalah standar uji yang digunakan harus sama, seperti yang terdapat pada tabel 1. Oleh karena itu model pada tabel 4 hanya berlaku untuk

biodiesel dari kelapa sawit (POME). Penggunaan hasil regresi adalah untuk melakukan prediksi densitas, viskositas, bilangan setana dan lubrisitas terhadap campuran biodiesel-solar. Oleh karena itu pengukuran yang memerlukan biaya



Gambar 1 Perbandingan antara densitas campuran biodiesel-solar hasil pengukuran dengan densitas hasil prediksi (regresi)

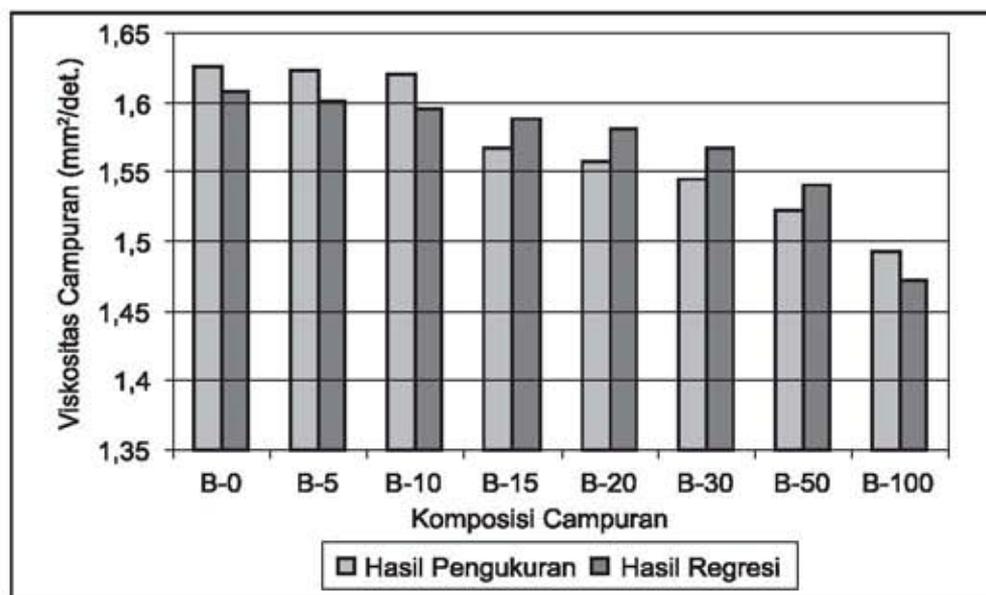


Gambar 2 Perbandingan antara bilangan setana campuran biodiesel-solar hasil pengukuran dengan bilangan setana hasil prediksi (regresi)

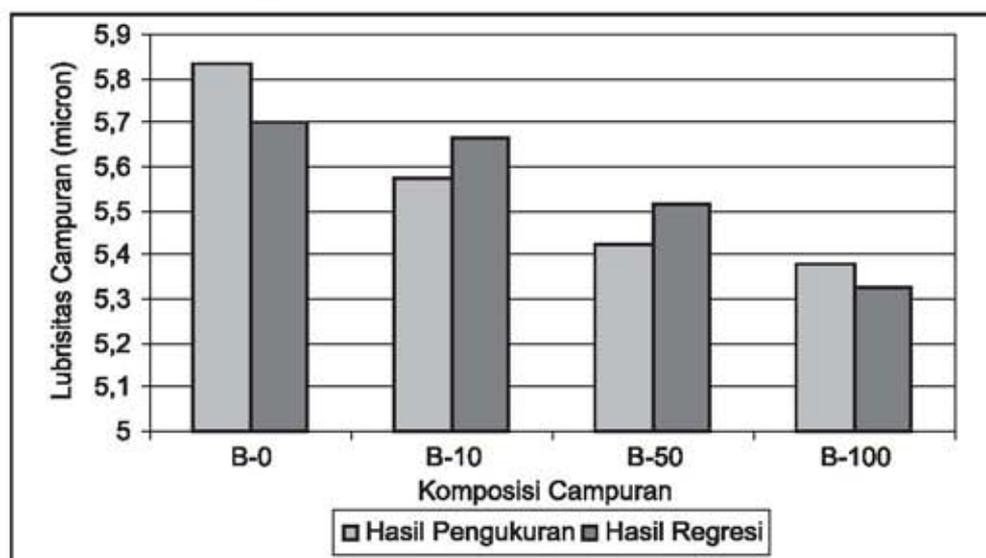
dan waktu banyak bisa dihindari. Prediksi terhadap ke-empat sifat fisika kimia tersebut merupakan keharusan sebelum melakukan pencampuran atau blending antara biodiesel sawit dengan solar, karena produk akhir hasil pencampuran

harus memenuhi spesifikasi pada tabel 1. Spesifikasi untuk lubrisitas harus memenuhi standar yang ada pada dokumen World Wide Fuel Charter 2006.

Keunggulan biodiesel dari minyak disel mineral adalah rendahnya emisi gas



Gambar 3. Perbandingan antara viskositas (logaritmis) campuran biodiesel-solar hasil pengukuran dengan viskositas hasil prediksi (regresi)



Gambar 4. Perbandingan antara lubrisitas (logaritmis) campuran biodiesel-solar hasil pengukuran dengan lubrisitas hasil prediksi (regresi)

buang (terutama partikulat, hidrokarbon dan CO). Hasil studi sebelumnya (Wirawan et. al., 2007) membuktikan adanya korelasi antara densitas, viskositas dan bilangan setana dari biodiesel dengan emisi gas buang, maka prediksi sifat-sifat tersebut juga dapat berguna untuk mengevaluasi pengaruh komposisi biodiesel dalam campuran terhadap perubahan/pengurangan kandungan emisi gas buang.

Seperti dikemukakan sebelumnya bahwa semakin tinggi bilangan setana pembakaran dalam mesin kompresi akan semakin mudah atau sempurna sehingga dapat menurunkan emisi gas CO, hidrokarbon, partikulat dan NO<sub>x</sub>. Karena biodiesel memiliki bilangan setana lebih tinggi dari minyak disel mineral maka emisi gas buang dari campuran biodiesel-solar akan menurun juga. Viskositas yang terlalu tinggi dari campuran biodiesel-solar diasosiasikan dengan memburuknya pengkabutan bahan bakar pada injektor sehingga hal ini akan meningkatkan emisi gas buang partikel, hidrokarbon dan gas CO.

Campuran biodiesel-solar (B-0 s/d B-100) telah diuji pada kendaraan disel dimana emisi gas buang (partikel, NO<sub>x</sub>, hidrokarbon & CO) telah diukur menggunakan prosedur Euro 2 (Fajar dan Nugroho, 2007). Hasilnya menunjukkan bahwa emisi gas buang partikel, NO<sub>x</sub>, hidrokarbon & CO semuanya menurun dengan meningkatnya komposisi biodiesel dalam solar. Pada penelitian ini telah dilaporkan adanya korelasi yang nyata antara komposisi biodiesel dan solar dengan densitas, viskositas dan bilangan setana (tabel 4). Dengan menggabungkan hasil penelitian sebelumnya seperti telah dijelaskan di atas dengan hasil penelitian pada laporan ini diharapkan akan membuktikan apakah ada korelasi yang nyata antara densitas, viskositas dan bilangan setana dengan emisi gas buang partikel, NO<sub>x</sub>, hidrokarbon & CO.

## KESIMPULAN DAN SARAN

1. Parameter densitas, viskositas, bilangan setana dan lubrisitas baik hasil pengukuran maupun hasil perhitungan seluruhnya masih dalam batas nilai standar yang ditentukan. Kesalahan relatif dari hasil pengukuran densitas, viskositas, bilangan setana dan lubrisitas terhadap hasil prediksi dengan menggunakan metoda perhitungan sederhana adalah cukup kecil dan masih valid (< 2%). Kesalahan terkecil dicapai oleh nilai prediksi densitas dan bilangan setana. Sedangkan kesalahan nilai prediksi viskositas dan lubrisitas lebih besar, hal ini karena hubungan antara komposisi biodiesel dan solar dengan viskositas dan lubrisitas adalah tidak linier.
2. Korelasi antara komposisi biodiesel dan solar dengan densitas, viskositas, bilangan setana, lubrisitas adalah nyata adanya, seperti ditunjukkan oleh nilai-nilai R pada tabel 4. Oleh karena itu untuk selanjutnya model atau persamaan hasil regresi linier dapat digunakan untuk memprediksi sifat kimia fisika campuran biodiesel-solar, dengan syarat bahwa biodiesel dan solar yang digunakan dalam campuran harus memiliki spesifikasi yang sama dengan yang digunakan dalam penelitian ini.
3. Perlu dilakukan penelitian lanjut dimana teknik regresi linier dapat diterapkan terhadap campuran biodiesel-solar dimana digunakan biodiesel non sawit seperti minyak jarak pagar, minyak goreng bekas, minyak kelapa dll. Selain itu perlu diperiksa adanya korelasi antara densitas, viskositas dan bilangan setana terhadap emisi gas buang dengan menggabungkan hasil penelitian sebelumnya.
4. Hasil regresi dari data komposisi dengan viskositas dan lubrisitas masih

dapat diperbaiki dengan memodifikasi persamaan nomor 4 & 8. Selain itu jumlah data pengukuran viskositas dan lubrisitas diperbanyak. Dengan demikian nilai korelasi antara komposisi dengan viskositas dan lubrisitas dapat ditingkatkan. Kesalahan relatif dari hasil prediksi terhadap hasil pengukuran diharapkan akan menurun jika korelasi antara keduanya meningkat atau lebih baik.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Kementerian Negara Riset dan Teknologi (KNRT) dan Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) yang telah memberikan beasiswa. Dan kepada BTMP dan BRDST - BPPT atas bantuan dan dukungan fasilitas selama kegiatan penelitian dilakukan.

#### DAFTAR PUSTAKA

Davies, L.C., "Blending Rules for formulating Biodiesel Fuel", [www.biodiesel.org/resources/report\\_sdatabase/reports/gen/19960101\\_gen-277.pdf](http://www.biodiesel.org/resources/report_sdatabase/reports/gen/19960101_gen-277.pdf) Noname, 1996

Direktur Jenderal Migas, "Surat Keputusan No. 3675 K/24/DJM/2006 tanggal 17 Maret 2006 Tentang Standar dan Mutu Bahan Bakar Minyak Jenis Solar yang Dipasarkan di Dalam Negeri", 2006

Fajar R., dan Nugroho, B.A., "Efek Campuran Biodiesel Terhadap Emisi dan Unjuk Kerja Kendaraan", Laporan Internal BTMP BPPT, Januari 2007

Frame, E.A., "Biodiesel Samples as Fuel Lubricity Enhancer", [www.biodiesel.org/resources/reports\\_database/reports/gen/20000501\\_gen-308.pdf](http://www.biodiesel.org/resources/reports_database/reports/gen/20000501_gen-308.pdf), 2000

Gerpen, J.V., "Cetane Number Testing of Biodiesel", [www.biodiesel.org/resources/reportsdatabase/reports/gen/19960901\\_gen-187.pdf](http://www.biodiesel.org/resources/reportsdatabase/reports/gen/19960901_gen-187.pdf) Noname, 1996.

Kinast, J.A., "Production of Biodiesels From Multiple Feedstocks and Properties of Biodiesels and Biodiesel/Diesel Blends", Technical Report, National Renewable Energy Laboratory Colorado USA, Maret 2003

Knothe, G., J. V. Gerpen and J. Krahl. 2004. In *The Biodiesel Handbook*. AOCS Press, Illinois.

Knothe, G. and K.R. Steidley, "Lubricity of Components of Biodiesel and Petrodiesel: The origin of Biodiesel Lubricity", *Energy and Fuels* 2005, 19, 1192-1200

Mittelbach, M., and Remschmidt, C., "Biodiesel: The Comprehensive Handbook", Boersdruck Ges.m.b.H Vienna, 2004

Peterson, C. L., J. S. Taberski, J.C. Thompson and C.L. Chase. 2000. The Effect of Biodiesel Feedstock on Regulated Emission in Chassis Dynamometer Test of a Pickup Truck. In *Transaction of the ASAE* 43(6):1371-1381.

Sharp, C. 1996. Emission with ethyl and methyl esters of biodiesel. In *Commercialization of Bodies: Environmental and Health Benefits*. Moscow. Idaho: National Institute for Advanced Transp. Tech. University of Idaho.

Soerawidjaja, T. H. dan A. Tahar (2003) "Menggagas Kebijakan Pengembangan Biodiesel di Indonesia" Proseding Seminar Peluang Bisnis Industri Hilir Kelapa Sawit, Serpong, hal 1-16

Wirawan, S.S., Tambunan, A.H., Djamin, M., and Nabetani, H., "The Effect of Palm Biodiesel Fuel on the Performance and Emission of the Automotive Diesel Engine". Manuscript submitted to *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*, 2007.

"World Wide Fuel Charter 2006, September", Fourth Edition, ACEA-Alliance-EME\_JAMA