

**Perhitungan Komposisi Campuran Optimum Biodiesel Sawit-Jathropa-Castor:  
Optimasi terhadap properties kunci untuk unjuk kerja pembakaran (viskositas, bilangan  
setanan, stabilitas oksidasi, lubrisitas & titik pengkabutan)**

**Rizqon Fajar<sup>1</sup>, Bambang Sugiarto<sup>1</sup>, Prawoto<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Departemen Teknik Mesin, Universitas Indonesia

<sup>2</sup>Balai Termodinamika Motor & Propulsi, BPP Teknologi

**Abstrak**

*Pencampuran biodiesel jarak pagar, castor dan sawit akan menjadi pilihan yang optimal dipandang dari sudut kualitas bahan bakar, ekonomi dan sosial masyarakat. Jarak pagar dan castor merupakan tanaman non pangan yang tumbuh pada lahan kritis sehingga pemanfaatan sebagai bahan bakar akan berdampak besar bagi pertumbuhan ekonomi dan sosial pada daerah-daerah tersebut. Biodiesel sawit yang saat ini menjadi biodiesel utama di Indonesia, bila dicampur dengan biodiesel jarak pagar dan castor diprediksi akan memiliki bilangan setana, stabilitas oksidasi, lubrisitas yang tinggi dengan harga yang ekonomis. Paper ini akan menguraikan proses dan hasil perhitungan properties biodiesel campuran jarak pagar, sawit dan castor berdasarkan komposisi asam lemak dan properties-nya (viskositas, bilangan setana, kandungan kalori, densitas, lubrisitas). Data yang digunakan dalam perhitungan berasal dari literatur dan pengukuran. Dari profil properties dan teknik optimasi sederhana, diperoleh daerah campuran biodiesel yang memiliki karakteristik yang diinginkan untuk berbagai aplikasi. Daerah campuran optimal akan ditentukan oleh spesifikasi minyak diesel yang berlaku, rekomendasi manufaktur mesin dan unjuk kerja mesin yang diinginkan.*

## 1. PENDAHULUAN

Dengan berlakunya Peraturan Pemerintah No. 32/2008 dimana industri manufaktur diwajibkan memanfaatkan bahan bakar nabati (biofuel) secara bertahap. Kewajiban pemakaian biodiesel ditetapkan sebesar 1% pada sektor transportasi dan sektor industri komersial dan pembangkit listrik masing 2,5% dan 0,25%. Meskipun demikian industri biodiesel masih khawatir akan ketidakstabilan harga bahan baku biodiesel Indonesia yaitu minyak sawit. Industri biodiesel perlu mencari alternatif bahan baku yaitu minyak nabati non pangan sehingga ketersediaannya terjamin demikian pula harganya diharapkan akan stabil. Mengingat ketersediaan minyak nabati non pangan jarak pagar (Jatropha) juga masih terbatas maka untuk bahan baku biodiesel diusulkan berasal dari campuran minyak sawit dan jarak pagar. Disamping akan menstabilkan, pencampuran jatropha kedalam sawit juga dapat memperbaiki sifat aliran pada suhu rendah (cold flow properties). Karena tanaman jatropha curcas mudah hidup pada lahan kritis dan kering maka perkebunan jatropha di daerah tersebut dapat meningkatkan potensi ekonomi di daerah tersebut.

Indonesia juga kaya akan tanaman non pangan lain yang potensial untuk bahan baku biodiesel yaitu jarak castor. Biodiesel castor memiliki kelebihan yaitu memiliki sifat aliran suhu rendah yang sangat bagus dan lubrisitas yang tinggi, sehingga dapat digunakan sebagai campuran biodiesel. Campuran Biodiesel castor memiliki viskositas yang sangat tinggi sehingga bila ditambahkan kedalam campuran biodiesel sawit-jatropha dalam jumlah yang sangat terbatas. Tujuan utama yang hendak dicapai dengan pencampuran biodiesel jatropha dan castor kedalam biodiesel sawit adalah agar dihasilkan produk bahan bakar yang berkualitas yaitu memiliki bilangan setana dan stabilitas oksidasi yang tinggi serta memiliki lubrisitas dan sifat aliran pada suhu rendah yang baik. Selain itu kualitas campuran biodiesel tersebut harus memenuhi standarnasional (SNI 04-7182-2006)

Campuran biodiesel yang berkualitas diperoleh dengan melakukan proses optimasi, yaitu menentukan daerah komposisi campuran dimana memiliki persyaratan berikut ini:

- memenuhi spesifikasi SNI 04-7182-2006
- memiliki stabilitas penyimpanan/oksidasi yang memenuhi standar
- memiliki bilangan setana, sifat lubrisitas, dan sifat aliran pada suhu rendah yang layak sehingga sesuai dengan jenis aplikasi mesin disel.

## 4. METODOLOGI

## 2.1 Properties dan Spesifikasi Biodiesel

Properties atau sifat kimia fisika biodiesel sangat menentukan unjuk kerja dari mesin diesel. Properties yang dominan dalam unjuk kerja mesin baik dalam jangka pendek (power/torsi, konsumsi bahan bakar, emisi) maupun jangka panjang (ketahanan mesin) adalah viskositas, bilangan setana dan stabilitas oksidasi. Sifat aliran fluida pada suhu rendah (coldflow properties: titik pengkabutan, titik tuang dan CFPP.) juga properties yang penting karena menentukan operasional mesin. Sedangkan properties yang bersifat pendukung kualitas adalah lubrisitas. Berikut adalah properties dari methyl ester sawit (MES), jatropha dan castor sebagai komponen biodiesel campuran

Tabel 1 Properties biodiesel, komponen penyusun campuran dan standar kualitas SNI

Property	SNI 2006	MES-Sawit	MES-Jatropha	MES-Castor
Viskositas 40°C, cSt	2,3-6,0	4,50	4,40	13,75
Bilangan Setana	Min 51	59-70	57	42,3
Stabilitas Oksidasi, hrs	Min 6	13,37	3,3	0,67 (risinoleat)
Titik Pengkabutan, °C	Max. 18	16	4	-11,3
HFFR Lubrisitas 60°C, µm	-	217	-	-
Asam Lemak Tak Jenuh, %	-	56,6	80%	>95%

Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa secara alamiah properties kunci dari biodiesel sawit telah memenuhi kualitas yang ditetapkan oleh SNI 2006, hanya titik pengkabutannya masih terlalu tinggi sehingga tidak dapat digunakan di daerah dingin (gunung dan subtropik). Selain itu biodiesel sawit memiliki dua keunggulan dibandingkan biodiesel lain yaitu memiliki bilangan setana dan stabilitas oksidasi yang tinggi. Hal ini disebabkan oleh tingginya kandungan rantai jenuh pada biodiesel sawit. Kandungan asam lemak jenuh dalam minyak sawit bervariasi antara 43-52% sedangkan dalam minyak jatropha sekitar 21% [2] & [4]. Kandungan asam lemak jenuh dalam minyak castor adalah sangat sedikit yaitu kurang dari 2% sehingga dapat diprediksi memiliki bilangan setana dan stabilitas oksidasi yang lebih rendah dari sawit dan jatropha. Kelebihan biodiesel castor dibanding sawit dan jatropha adalah memiliki titik pengkabutan yang sangat rendah dan lubrisitas yang tinggi. Dari uraian properties ketiga jenis biodiesel tersebut dapat dibuat campuran biodiesel yang ideal yang memiliki bilangan setana, stabilitas oksidasi dan lubrisitas yang tinggi yang tinggi serta memiliki titik pengkabutan yang rendah. Dan yang paling penting campuran ketiganya harus memiliki viskositas yang memenuhi spesifikasi SNI 2006 (2,3-6 cSt).

Untuk dapat memperoleh biodiesel campuran dengan kualitas yang diharapkan maka harus diketahui terlebih dahulu properties campuran yang diinginkan atau yang menjadi target. Berikut ini akan diuraikan tentang formulasi untuk menghitung properties campuran biodiesel tersebut.

Tabel 2 Komposisi asam lemak minyak sawit, jatropha dan castor

Asam lemak	Kelapa sawit	Jarak pagar	Jarak castor
	% berat		
Miristat C14:0	2	0,25	-
Palmitat C16:0	42	14,5	1-2
Stearat C18:0	5	5,5	1-2
Oleat C18:1	41	50	3-4
Linoleat C18:2	10	29,6	5-6
Linolenat C18:3	-	-	0,5
Ricinoleat C18:1	-	-	87-88
Arakhidat C20:1	-	0,15	0,5

## 2.2 Formulasi Campuran Biodiesel

Formulasi untuk menghitung properties campuran biodiesel sawit, jatropha dan castor dapat menggunakan model sederhana yang biasa digunakan untuk menghitung properties biodiesel dari komposisi dan properties asam lemak penyusun. Namun demikian jika properties dari biodiesel sawit, jatropha dan castor masing-masing telah diketahui maka properties campuran biodiesel tersebut lebih mudah dihitung berdasarkan fraksi volume masing-masing biodiesel.

#### a. Viskositas Campuran

Viskositas campuran diketahui bersifat non linier terhadap viskositas penyusunnya. Model yang sederhana untuk mengestimasi viskositas campuran biodiesel sawit, jatropha dan castor adalah sebagai berikut:

$$\ln(\eta_{\text{mix}}) = x_1 \cdot \ln(\eta_1) + x_2 \cdot \ln(\eta_2) + x_3 \cdot \ln(\eta_3) \quad (1)$$

Dimana  $\eta_{\text{mix}}$  merupakan viskositas campuran biodiesel sawit-jatropha-castor dan  $\eta_1, \eta_2, \eta_3$  berturut-turut adalah viskositas biodiesel sawit, jatropha dan castor.

#### b. Bilangan Setana

Hubungan antara bilangan setana suatu campuran dengan komponen penyusunnya diketahui bersifat linier dan sederhana. Estimasi untuk bilangan setana campuran biodiesel sawit, jatropha dan castor adalah dalam bentuk sebagai berikut

$$CN_{\text{mix}} = x_1 \cdot CN_1 + x_2 \cdot CN_2 + x_3 \cdot CN_3 \quad (2)$$

Dimana  $CN_{\text{mix}}$  merupakan bilangan setana campuran biodiesel sawit-jatropha-castor dan  $CN_1, CN_2, CN_3$  berturut-turut adalah bilangan setana biodiesel sawit, jatropha dan castor.

#### c. Titik Pengkabutan (*Cloud Point*)

Salah satu formulasi yang dapat digunakan untuk mengestimasi titik pengkabutan dari campuran biodiesel sebagai berikut

$$\ln(T_{\text{cp,mix}} + 10) = 2,2 - 1,57 \cdot \ln(x_{\text{unsat1}} + x_{\text{unsat2}}) \quad (3)$$

Dimana  $T_{\text{cp,mix}}$  merupakan titik pengkabutan dari campuran biodiesel sawit-jatropha-castor. Dan  $x_{\text{unsat1}}, x_{\text{unsat2}}, x_{\text{unsat2}}$  berturut-turut adalah fraksi asam lemak tak jenuh yang terkandung dalam biodiesel sawit, jatropha dan castor.

#### d. Lubrisitas

Efek penambahan biodiesel terhadap kenaikan lubrisitas campuran dengan minyak diesel bersifat non linier. Penambahan yang signifikan untuk biodiesel dari kedelai dan rapeseed terjadi pada penambahan sekitar 20%. Lubrisitas campuran biodiesel lebih besar dari 20% kedalam minyak diesel sudah mendekati atau hampir sama dengan lubrisitas biodiesel 100% (B-100). Biodiesel castor diketahui terdiri lebih dari 90% ester dari risinoleat yang unik (memiliki gugus OH dan rantai rangkap). Ester risinoleat telah diketahui memiliki nilai lubrisitas yang paling tinggi diantar ester-ester yang lain. Untuk menentukan nilai lubrisitas campuran biodiesel sawit, jatropha dan castor dapat menggunakan data empiris (pengukuran) dari berbagai sumber [1]

#### e. Stabilitas Oksidasi

Stabilitas oksidasi merupakan parameter terpenting karena sangat berpengaruh terhadap operasional mesin jangka pendek & jangka panjang. Dalam standar kualitas biodiesel India dan Jepang telah mencantumkan limit untuk stabilitas oksidasi (minimal 6 jam) biodiesel yang diuji menggunakan EN 14112. Untuk menentukan stabilitas oksidasi campuran dapat digunakan data pengukuran yang ada. Besarnya stabilitas oksidasi menjadi penentu komposisi campuran biodiesel sawit, jatropha dan castor. Pada tabel 1 disajikan data stabilitas oksidasi biodiesel sawit, jatropha dan castor. Biodiesel dengan kandungan asam lemak tak jenuh paling sedikit (sawit) memiliki stabilitas oksidasi paling tinggi. Dengan demikian biodiesel sawit akan menjadi komponen yang paling dominan dalam campuran sawit, jatropha dan castor.

## 5. STRATEGI PENENTUAN KOMPOSI CAMPURAN

### 3.1 Persyaratan Kualitas Campuran

Dari data mengenai stabilitas oksidasi, biodiesel sawit menunjukkan sifat yang paling superior., diikuti jatropha dan terakhir castor. Diketahui pula bahwa ketersediaan minyak sawit sangat melimpah di Indonesia sehingga dapat disepakati bahwa biodiesel sawit menjadi komponen utama dalam campuran biodiesel sawit, jatropha dan castor. Untuk menentukan komposisi campuran properties selain stabilitas oksidasi adalah: viskositas, bilangan setana dan titik kabut (cloud point) akan menjadi syarat agar kualitasnya memenuhi SNI. Setelah persyaratan SNI dipenuhi, lubrisitas campuran menjadi faktor pendukung. Data pada Tabel 2 digunakan untuk penentuan komposisi campuran

Biodiesel sawit menjadi komponen utama campuran tidak hanya stabilitas oksidasi yang tinggi tetapi juga memenuhi kualitas SNI untuk parameter viskositas, bilangan setana dan cloud point (meski agak tinggi). Biodiesel juga memenuhi semua persyaratan kecuali dalam stabilitas oksidasi, tetapi memiliki cloud point yang lebih rendah dibanding biodiesel sawit. Sedangkan biodiesel castor memiliki viskositas yang sangat tinggi (tidak memenuhi dan stabilitas oksidasi yang rendah (keduanya tidak memenuhi spesifikasi SNI). Kelebihan biodiesel castor adalah memiliki titik kabut yang sangat rendah dan lubrisitas oksidasi sangat tinggi.

Atas pertimbangan tersebut dapat ditetapkan bahwa campuran biodiesel sawit-jatropha sebagai **base fuel** dengan persyaratan harus memenuhi standar kualitas untuk:

1. stabilitas oksidasi (min. 6 jam)
2. viskositas (2,3-6 cSt)
3. titik kabut (maks 18°C)
4. bilangan setana (min 51)

Setelah terbentuk komposisi campuran biodiesel sawit-jatropha yang memenuhi keempat syarat tersebut, penambahan biodiesel castor dapat dilakukan dengan tujuan untuk menurunkan titik kabut sekaligus untuk meningkatkan lubrisitas campuran, tetapi **harus** memenuhi spesifikasi atau kualitas standar (stabilitas oksidasi, viskositas dan bilangan setana)

### 3.2 Simulasi Komposisi Campuran Biodiesel Sawit, Jatropha dan Castor

Hasil pengukuran terhadap beberapa campuran biodiesel sawit dan jatropha telah dilakukan oleh Sarin dengan hasil sebagai berikut [2]: untuk memenuhi stabilitas oksidasi selama minimal 6 jam (metode EN 14112), kandungan biodiesel sawit dalam campuran dengan biodiesel jatropha adalah minimal 60%. Dengan demikian dapat ditentukan dengan mudah komposisi campuran biodiesel sawit dan jatropha yang memenuhi keempat persyaratan, yaitu seperti tertuang dalam Tabel 3.

Tabel 3 Komposisi campuran biodiesel sawit & jatropha

Kode campuran	Fraksi Komponen Biodiesel %	
	Sawit	Jatropha
A	60	40
B	70	30
C	80	20
D	90	10
E	100	0

Dari setiap komposisi yang diperoleh pada Tabel 3 dapat dihitung atau diprediksi properties viskositas, titik kabut dan bilangan setana. Hasil perhitungan dapat diperoleh menggunakan persamaan (1), (2) dan (3). Jika ketiga diperoleh data pengukuran dari ketiga properties tersebut maka

dapat diterapkan teknik regresi untuk mendapatkan model properties campuran biodiesel sawit-jatropha dengan komposisi sawit 60% hingga 100%.

Selanjutnya dari setiap campuran dari A hingga E dapat ditambahkan biodiesel castor untuk meningkatkan kualitasnya. Jika dari setiap komposisi tersebut disusun lima campuran dengan biodiesel castor seperti Tabel 3 dan dilakukan prosedur yang sama untuk membuat model properties, maka akan diperoleh model/peta komposisi campuran biodiesel sawit, jatropha dan castor. Selanjutnya dapat diperoleh daerah komposisi yang diperlukan/diinginkan untuk aplikasi mesin diesel tertentu (otomotif, industri, dll) menggunakan teknik optimasi sederhana.

### 3.3 Komposisi Campuran vs Aplikasi Mesin Diesel

Komposisi campuran optimal akan ditentukan oleh berbagai faktor seperti jenis mesin diesel, kondisi operasional, kondisi lingkungan dan ketersediaan bahan baku. Untuk setiap kondisi tersebut senantiasa dituntut agar mesin memiliki kinerja optimal (performa tinggi dan/atau efisien dalam konsumsi bahan bakar). Untuk aplikasi mesin otomotif diperlukan campuran dengan bilangan setana yang tinggi dengan viskositas yang cukup rendah. Jika kandungan sulfur minyak diesel mineral rendah, maka biodiesel yang digunakan sebagai campuran sebaiknya memiliki lubrisitas yang tinggi (ditambah biodiesel castor), minyak diesel yang digunakan pada Sedangkan untuk mesin diesel pembangkit tidak diperlukan bilangan setana yang tinggi (rpm rendah) dengan lebih toleran terhadap viskositas yang tinggi. Untuk mesin pembangkit yang jarang digunakan (standby) sebaiknya menggunakan biodiesel dengan stabilitas oksidasi dan lubrisitas yang tinggi

## 6. KESIMPULAN

- a. Biodiesel campuran diperlukan (khususnya Indonesia) dalam rangka untuk menuju kompromi antara tuntutan kinerja mesin, ketersediaan bahan baku dan pemerataan kesejahteraan rakyat
- b. Campuran biodiesel sawit, jatropha dan castor merupakan salah satu contoh alternatif. Campuran alternatif lain juga dapat dikembangkan sesuai dengan kebutuhan pengguna. Biodiesel castor yang berfungsi sebagai suplemen dapat diganti dengan bahan baku yang bersifat lokal
- c. Campuran biodiesel yang optimum kebutuhan dapat ditentukan dengan teknik/metode yang sangat sederhana dimana stabilitas oksidasi, viskositas, titik kabut, bilangan setana dan lubrisitas menjadi faktor penentu kualitas
- d. Properties dari campuran biodiesel ditentukan oleh jenis aplikasi mesin diesel, kondisi operasional, kondisi lingkungan dan ketersediaan bahan baku

## 7. DAFTAR PUSTAKA

- Wolszczak J et al, The Impact of Bioesters on Lubricity of Diesel Fuels, *Journal of KONES Internal Combustion Engine*, 12 (2005), 391-398,
- Sarin R et al, Jatropha-Palm Biodiesel Blends: An Optimum mix for Asia, *Fuel*, 86 (2007) 1365-1371
- Chakrabart MH and Ahmad R, *Trans Esterification Studies on Castor Oil as A First Step Towards its use in Biodiesel Production*
- Bamgboye AI and Hansen AC, Prediction of Cetane Number of Biodiesel Fuel From Fatty Acid Methyl Ester Composition, *Int. Agrophysics*, 22 (2008), 21-29
- Kleinova et al, Cold Flow Properties of Fatty Esters, *Agric. Conspec. Sci.*, 72 (2007) No. 3 177-182

Gerhard Knothe, "Designer" Biodiesel: Optimizing Fatty Ester Composition to improve Fuel Properties, *Energy & Fuels*, 22 (2008), 1358-1364