

OPTIMASI PRODUKSI BIODIESEL DARI BIJI JARAK PAGAR MELALUI TRANSESTERIFIKASI *IN SITU* MENGGUNAKAN METODE RESPON PERMUKAAN

OPTIMIZATION OF BIODIESEL PRODUCTION FROM JATROPHA SEEDS BY *IN SITU* TRANSESTERIFICATION USING RESPONSE SURFACE METHOD

Ika Amalia Kartika dan Yuyun Pujiastuti

Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor,
Kampus IPB Darmaga, Kotak Pos 220, Bogor 16680, Indonesia.
Email: ikatkat@yahoo.com

ABSTRACT

Energy consumption increases when human activity increases. Today, the energy supply is mainly focused on fossil fuel which its availability is limited and the price increases continually. There is thus a need to develop the alternative energy such as biodiesel. The objective of this study is to determine the optimum process conditions to produce biodiesel from jatropha seeds by in situ transesterification using respon surface method (RSM). The variable of process conditions used was reaction time (A) (45, 50 and 55°C) and hexane to total solvent ratio (B) (1/6, 2/6 and 3/6), while the respon (y) observed included biodiesel yield, acid value, saponification value, viscosity and ash content. Reaction time, stirring speed and KOH concentration were respectively fixed at 3 h, 500 rpm and 0,075 mol/L methanol. Regression analysis showed that first order polynomial equation, $y = 74,98 + 1,20 A - 2,71 B$ ($R^2 = 89,87\%$) was significant to optimize the influence of reaction temperature and hexane to solvent ratio on biodiesel yield. The influence of hexane to solvent ratio on biodiesel yield was more significant than that reaction temperature. Biodiesel yield increased as hexane to solvent ratio decreased. The influence of variable A and B on biodiesel quality, especially saponification value and viscosity, was significant. Highest biodiesel yield (78,60%) was obtained under process conditions of 55°C reaction temperature and 1/6 hexane to solvent ratio. Biodiesel quality under such process conditions was acid value of 0,66 mg KOH/g, saponification value of 195 mg KOH/g, ash content of 0,0% and viscosity of 3,70 cSt.

Keyword: biodiesel, transesterification in situ, jatropha, response surface method

ABSTRAK

Semakin tingginya aktivitas manusia mengakibatkan kebutuhan akan energi terus mengalami peningkatan. Suplai energi utama terfokus pada bahan bakar fosil, dimana bahan bakar fosil tersebut terus mengalami kelangkaan dan harganya terus meningkat. Oleh karena itu, perlu dikembangkan sumber energi alternatif, salah satunya adalah biodiesel. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh kondisi proses yang optimum dalam memproduksi biodiesel dari biji jarak pagar melalui transesterifikasi *in situ* menggunakan metode respon permukaan. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari suhu reaksi (A) (45, 50 dan 55°C) dan rasio heksan/total pelarut (B) (1/6, 2/6 dan 3/6), sedangkan respon (y) yang diamati meliputi rendemen biodiesel, bilangan asam, bilangan penyabunan, viskositas, dan kadar abu. Waktu reaksi, kecepatan pengadukan dan konsentrasi KOH ditetapkan masing-masing pada 3 jam, 500 rpm dan 0,075 mol/L metanol. Berdasarkan analisis regresi menunjukkan bahwa persamaan polinomial orde 1, $y = 74,98 + 1,20 A - 2,71 B$ ($R^2 = 89,87\%$), signifikan untuk mengoptimasi pengaruh suhu reaksi dan rasio heksan/total pelarut terhadap rendemen biodiesel. Variabel rasio heksan/total pelarut berpengaruh lebih signifikan terhadap rendemen biodiesel. Semakin rendah rasio heksan/total pelarut, rendemen biodiesel semakin meningkat. Pengaruh variabel A dan B terhadap kualitas biodiesel, khususnya bilangan penyabunan dan viskositas adalah signifikan. Rendemen biodiesel tertinggi (78,60%) dihasilkan dari kondisi operasi pada suhu reaksi 55°C dan rasio heksan/total pelarut 1/6. Pada kondisi operasi tersebut, mutu biodiesel yang dihasilkan mempunyai bilangan asam 0,66 mg KOH/g, bilangan penyabunan 195 mg KOH/g, kadar abu 0,0%, dan viskositas 3,70 cSt.

Kata kunci: biodiesel, transesterifikasi *in situ*, jarak pagar, metode respon permukaan

PENDAHULUAN

Saat ini kebutuhan akan energi terus mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan aktivitas manusia, baik dalam kegiatan industri maupun rumah tangga. Suplai energi utama saat ini hanya terfokus pada sumber energi fosil, dimana sumber energi ini tingkat ketersediaannya terus mengalami penurunan. Tingkat

konsumsi energi dunia meningkat sebesar 70% dari tahun 2000 sampai 2030, sedangkan cadangan sumber energi fosil dunia terus mengalami penurunan, 40 tahun untuk minyak bumi, 60 tahun untuk gas alam, dan 200 tahun untuk batu bara. Sumber energi yang berasal dari fosil saat ini hanya mampu menyumbang 87,7% dari kebutuhan energi total (Qian *et. al.*, 2008).

Bahan bakar fosil selain mengalami permasalahan dengan tingkat ketersediaannya, hasil pembakaran dari bahan bakar seperti NO_x, SO_x, hidrokarbon, dan komponen karsinogenik lainnya dapat meningkatkan efek rumah kaca dan berdampak pada *global warming* (National Biodiesel Board, 2010). Oleh karena itu, perlu dikembangkan sumber energi alternatif yang alami, dapat diperbaharui, ramah lingkungan, dan mudah dibudidayakan.

Saat ini banyak penelitian yang mengembangkan sumber energi terbarukan atau yang sering disebut dengan biofuel, salah satunya yang sering digaungkan adalah biodiesel (Nurcholis, 2007). Banyak tanaman yang dapat dikembangkan sebagai bahan baku untuk biodiesel, diantaranya kelapa sawit (Kalam, 2002), biji kedelai (Haas *et al.*, 2004), biji bunga matahari (Georgogianni *et al.*, 2008), *rice bran* (Ozgul-Yucel dan Turky, 2003), biji kapas (Qian *et al.*, 2008) dan jarak pagar (Achten *et al.*, 2008).

Tanaman jarak pagar (*Jatropha curcas L.*) memiliki potensi yang besar untuk dikembangkan sebagai bahan baku untuk biodiesel karena tanaman ini mudah dibudidayakan, tidak memerlukan lahan yang subur, dan biaya yang mahal (Achten *et al.*, 2008). Minyak yang terkandung dalam biji jarak pagar tidak dapat dikonsumsi karena mengandung racun forbol ester (Gubitz *et al.*, 1999). Pemakaian jarak pagar sebagai bahan baku biodiesel akan menghindarkan terjadinya konflik antara pemanfaatannya sebagai bahan pangan dan biodiesel.

Terdapat banyak metode atau pilihan proses yang dapat diterapkan untuk memproduksi biodiesel dari minyak nabati. Menurut Haas *et al.* (2004), proses produksi minyak secara konvensional membebani 70% dari total biaya proses produksi biodiesel. Namun, hal tersebut dapat diatasi dengan menerapkan transesterifikasi *in situ*.

Transesterifikasi *in situ* menjadi pilihan proses yang tepat dalam pembuatan biodiesel karena mampu menurunkan biaya produksi dengan mengeliminasi tahapan ekstraksi dan pemurnian minyak. Mekanisme transesterifikasi *in situ* yaitu terjadi kontak langsung antara bahan baku sumber minyak dengan pelarut dan katalis (Georgogianni *et al.*, 2008). Transesterifikasi *in situ* ini memanfaatkan trigliserida yang berasal dari bahan baku sumber minyak tanpa perlu mengekstrak dan memurnikannya terlebih dahulu (Qian *et al.*, 2008).

Penelitian tentang transesterifikasi *in situ* biji jarak pagar telah banyak dikembangkan (Shuit *et al.*, 2010; Utami, 2010; Yulianingtyas, 2011; Fajarani, 2011; Amalia Kartika *et al.*, 2011 a,b). Penelitian-penelitian tersebut telah memberikan hasil yang memuaskan. Penambahan *co-solvent* heksan telah meningkatkan performa proses transesterifikasi *in situ* biji jarak pagar. Demikian halnya dengan kondisi proses suhu reaksi, berpengaruh secara signifikan terhadap peningkatan kinerja proses transesterifikasi *in situ* biji jarak pagar. Oleh karena itu perlu dilakukan optimasi terhadap kedua parameter tersebut untuk mendapatkan kondisi optimum dari kedua parameter tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh kondisi proses yang optimum dalam memproduksi biodiesel dari biji jarak pagar melalui transesterifikasi *in*

situ menggunakan metode respon permukaan (RSM). Variabel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari suhu reaksi (A) (45, 50 dan 55°C) dan rasio heksan/total pelarut (B) (1/6, 2/6 dan 3/6), sedangkan respon yang diamati meliputi rendemen biodiesel, bilangan asam, bilangan penyabunan, viskositas, dan kadar abu.

METODOLOGI PENELITIAN

Bahan dan Alat

Pada penelitian ini, bahan utama yang digunakan adalah buah jarak pagar yang diperoleh dari PT. Jedo, Tangerang. Bahan kimia yang digunakan adalah metanol, heksan, etanol, indikator phenolphthalein, indikator mensesel, KOH, HCl, NaOH, H₂SO₄, CuSO₄, dan Na₂SO₄. Alat yang digunakan adalah reaktor dengan kapasitas 10 liter yang dilengkapi dengan pemanas, pengaduk, kondensor dan termometer, blender, pendingin tegak, *rotary evaporator*, penyaring, labu pemisah, viskosimeter Ostwald, cawan porselen, oven, buret, desikator, labu Kjeldhal, *Soxhlet apparatus*, timbangan, cawan aluminium, cawan porselen, autoklaf, tanur, dan peralatan gelas.

Metode

Karakterisasi bahan baku

Persiapan bahan baku dilakukan dengan cara mengupas buah jarak pagar kering untuk memisahkan biji dari cangkangnya. Biji jarak pagar dikarakterisasi kadar air (AOAC 1995, 950.46), kadar lemak (SNI 01-2891-1992), kadar serat (SNI 01-2891-1992), kadar abu (AOAC 1995, 923.03), dan kadar protein (AOAC 1995, 991.20) serta kadar karbohidratnya (*by difference*).

Optimasi produksi biodiesel melalui transesterifikasi *in situ*

Biji jarak pagar yang telah dikarakterisasi, selanjutnya dikeringkan pada suhu 60-70°C selama 24-48 jam untuk mendapatkan kadar air biji jarak < 2%. Proses transesterifikasi *in situ* biji jarak dilakukan dengan menggunakan reaktor berukuran 10 L yang dilengkapi dengan pemanas, kondensor, pengaduk, dan termometer. Kondisi operasi divariasikan pada suhu reaksi 45, 50 dan 55°C dan rasio heksan/total pelarut 1/6, 2/6 dan 3/6. Biji jarak pagar (kadar air < 2%) diperkecil ukurannya dengan menggunakan blender untuk mendapatkan ukuran partikel ± 20 mesh. KOH-metanolik dengan konsentrasi KOH 0,075 mol/L metanol dibuat dengan melarutkan KOH dalam metanol sampai KOH terlarut seluruhnya. Biji jarak kering yang telah dihaluskan dimasukkan ke dalam larutan reaktan dengan rasio heksan/total pelarut sesuai perlakuan. Kondisi proses suhu reaksi divariasikan sesuai perlakuan, sedangkan kecepatan pengadukan dan waktu reaksi ditetapkan pada 500 rpm dan 3 jam. Setelah waktu reaksi tercapai campuran dibiarkan semalam untuk menurunkan suhu dan mengendapkan padatan. Campuran selanjutnya disaring untuk memisahkan filtrat dari padatan. Filtrat dievaporasi menggunakan evaporator untuk menguapkan heksan dan metanol. Filtrat kemudian ditempatkan dalam labu pemisah dan

didiamkan selama beberapa jam untuk memisahkan biodiesel dan gliserol. Gliserol berada di bagian bawah dan berwujud semi padat, sedangkan biodiesel berada di bagian atas. Biodiesel kemudian dicuci dengan akuades sampai pHnya netral dan dipanaskan pada suhu 105°C selama 1 jam untuk menguapkan air sisa pencucian. Biodiesel selanjutnya didinginkan dan ditimbang untuk mengetahui bobotnya. Rendemen biodiesel dihitung berdasarkan persamaan:

$$\text{Rendemen (\%)} = \frac{\text{Bobot biodiesel setelah pencucian}}{\text{Bobot minyak dalam biji jarak pagar}} \times 100\%$$

Biodiesel yang dihasilkan kemudian dianalisis mutunya yang meliputi bilangan asam (SNI 04-7182-2006), bilangan penyabunan (SNI 04-7182-2006), viskositas (SNI 04-7182-2006), dan kadar abu (AOAC 1995, 950.46).

Rancangan Percobaan

Penelitian ini dirancang menggunakan “*Least Squares Design*”. Data-data yang dihasilkan digunakan untuk memodelkan pengaruh variabel-variabel kondisi proses suhu reaksi (A) dan rasio heksan/total pelarut (B) terhadap respon (y) yang meliputi rendemen biodiesel, bilangan asam, bilangan penyabunan, viskositas dan kadar abu. Jumlah level sebanyak 3 dan faktor sebanyak 2 digunakan untuk menentukan kondisi proses optimum. Level “*coded*” dan “*uncoded*” dari variabel-variabel kondisi proses tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Variabel dan level yang digunakan untuk “*Least Square Design*” dalam proses transesterifikasi *in situ* biji jarak pagar

Variabel	Simbol	Level		
		-1	0	+1
Suhu Reaksi	A	45	50	55
Rasio Heksan/Total Pelarut	B	1/6	2/6	3/6

Untuk level -1 dan +1, penelitian ini dilakukan sebanyak 2 ulangan, sedangkan untuk level *central* (0) penelitian dilakukan sebanyak 5 ulangan. Data-data yang dihasilkan selanjutnya dianalisis regresi respon permukaannya menggunakan persamaan polinomial orde satu sebagai berikut: $y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2$ dimana y adalah respon (rendemen biodiesel, bilangan asam, bilangan penyabunan, viskositas dan kadar abu); x_1 dan x_2 adalah variabel “*uncoded*”; dan β_0 , β_1 dan β_2 masing-masing adalah konstanta titik potong dan koefisien linier untuk x_1 dan x_2 . Analisis regresi dan analisis keragaman (ANOVA $\alpha = 0,05$) dilakukan menggunakan *Design Expert software*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Bahan Baku

Karakterisasi bahan baku bertujuan untuk mengetahui kualitas bahan baku yang akan digunakan untuk proses produksi biodiesel. Hasil karakterisasi bahan baku (Tabel 2) menunjukkan bahwa bahan baku yang digunakan pada penelitian ini memiliki kadar air yang lebih tinggi ($\pm 2\%$) dan kadar lemak yang lebih rendah ($\pm 6\%$) dibandingkan dengan hasil penelitian-penelitian sebelumnya (Utami, 2010; Fajarani, 2011; Yulianingtyas, 2011), sedangkan kadar serat bahan yang digunakan pada penelitian ini lebih rendah daripada penelitian Fajarani (2011) dan Yulianingtyas (2011), tetapi lebih tinggi dari penelitian Utami (2010). Perbedaan ini dipengaruhi oleh varietas, umur panen, kondisi lingkungan pertumbuhan tanaman jarak pagar dan penanganan pasca panennya (Achten *et al.*, 2008).

Tabel 2. Karakteristik biji jarak pagar

No	Parameter	Nilai (% b/b)
1	Kadar Air	8,04
2	Kadar Lemak	30,39
3	Kadar Serat	29,94
4	Kadar Abu	4,85
5	Kadar Protein	17,77
6	Kadar Karbohidrat	9,01

Kadar air bahan sangat dipengaruhi oleh daerah asal dan penanganan pasca panennya. Daerah dengan kelembaban tinggi cenderung menghasilkan jarak pagar dengan kadar air yang tinggi pula. Selain itu, kondisi lingkungan pada saat penyimpanan sangat mempengaruhi terjadinya perubahan kadar air bahan. Peningkatan RH penyimpanan di atas RH ruangan menyebabkan peningkatan kadar air bahan dibandingkan kadar air awalnya, sebaliknya penyimpanan di bawah RH ruangan akan menurunkan kadar air bahan (Warsiki *et al.*, 2007). Bahan dengan kadar air tinggi perlu dikeringkan untuk mengurangi kandungan airnya karena air dapat menghambat reaksi transesterifikasi *in situ*. Penurunan kadar air akan meningkatkan rendemen biodiesel yang dihasilkan dan menurunkan jumlah katalis yang dipakai selama proses (Qian *et al.*, 2008). Kadar air yang tinggi dapat menurunkan keefektifan katalis dan menghidrolisis trigliserida menjadi asam-asam lemak bebas sehingga proses konversi trigliserida menjadi biodiesel semakin rendah. Menurut Goff *et al.* (2004), minyak dengan kadar air kurang dari 0,1% dapat menghasilkan metil ester lebih dari 90%. Penurunan kadar air dalam bahan baku dari 8,7% menjadi 1,9% dapat meningkatkan kelarutan minyak dalam metanol dari 92,2% menjadi 99,7% dan meningkatkan konversi transesterifikasi dari 80% menjadi 98% pada proses transesterifikasi *in situ* biji kapas dengan metanol dan katalis NaOH.

Kadar lemak merupakan salah satu parameter penting yang mempengaruhi rendemen. Pemberian nutrisi dan kondisi lahan pada masa tanam jarak pagar dan waktu pemanenan sangat mempengaruhi kualitas biji yang dihasilkan. Cara penanaman dan kondisi lahan

yang baik serta waktu pemanenan yang tepat akan menghasilkan biji dengan kualitas yang baik. Semakin tinggi kadar lemak pada bahan maka rendemen biodiesel yang dihasilkan semakin tinggi karena semakin banyak minyak yang dapat dikonversi menjadi metil ester (Achten *et al.*, 2008).

Kadar serat merupakan komponen selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang terkandung dalam biji jarak pagar. Kadar serat dipengaruhi oleh komposisi kulit biji dan kernel biji yang ada dalam biji jarak pagar (Ketaren, 2008). Bahan yang memiliki kadar serat tinggi memiliki daging buah yang kecil. Secara tidak langsung, kadar serat pada suatu bahan akan mempengaruhi besar atau kecilnya kadar lemak.

Optimasi Proses Produksi Biodiesel melalui Transesterifikasi *In situ*

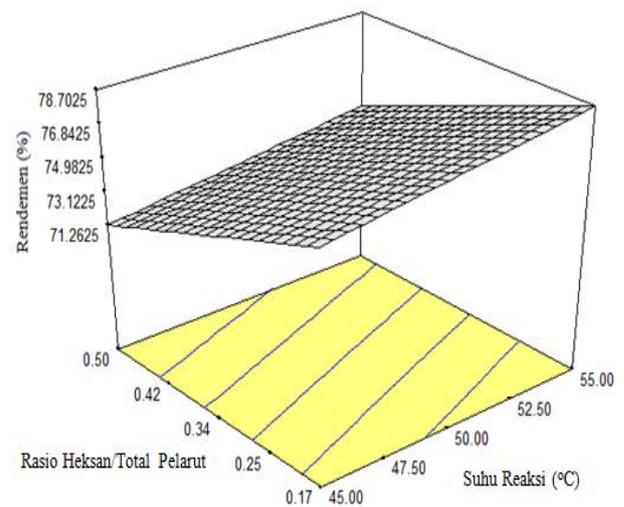
Pada penelitian ini, rendemen biodiesel yang dihasilkan berkisar antara 71-79%. Hasil analisis keragaman (ANOVA $\alpha = 0,05$) dan analisis regresi menggunakan metode respon permukaan (Tabel 3) menunjukkan bahwa persamaan polinomial orde pertama, $y = 74,98 + 1,20 A - 2,71 B$ ($R^2 = 89,87\%$), signifikan untuk mengoptimasi pengaruh variabel-variabel suhu reaksi (A) dan rasio heksan/total pelarut (B) terhadap rendemen biodiesel (y). Pengaruh variabel rasio heksan/total pelarut terhadap rendemen biodiesel lebih signifikan ($P < 0,05$) dibandingkan variabel suhu reaksi. Hasil uji *lack of fit* dan *curvature* menunjukkan bahwa interaksi dan kuadrat variabel-variabel tersebut (A^2 dan B^2) tidak berpengaruh secara signifikan terhadap rendemen biodiesel. Hal ini memperjelas bahwa persamaan orde pertama cocok untuk memprediksi pengaruh variabel-variabel A dan B terhadap y.

Gambar 1 menunjukkan hubungan antara variabel-variabel suhu reaksi dan rasio heksan/total pelarut terhadap rendemen biodiesel. Semakin tinggi suhu reaksi dan semakin rendah rasio heksan/total pelarut yang digunakan untuk proses transesterifikasi *in situ* biji jarak, rendemen biodiesel yang dihasilkan pun semakin tinggi. Dengan demikian, rendemen biodiesel tertinggi (78,60%) diperoleh dari kondisi proses suhu reaksi 55°C dan rasio heksan/total pelarut 1/6.

Tabel 3. ANOVA untuk respon rendemen biodiesel

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F
Model	33,47	2	16,73	13,31	0,0322*
A	4,13	1	4,13	3,29	0,1675
B	29,33	1	29,33	23,33	0,0169*
Curvature	2,16	1	2,16	1,72	0,2813
Residual	3,77	3	1,26		
Lack of Fit	0,050	1	0,050	0,027	0,8847
Pure Error	3,72	2	1,86		
Cor Total	39,40	6			

* signifikan



Gambar 1. Respon permukaan pengaruh suhu reaksi dan rasio heksan/total pelarut terhadap rendemen biodiesel

Suhu diperlukan untuk mencapai kondisi reaksi. Suhu diyakini mampu menurunkan energi aktivasi, yaitu energi yang digunakan untuk memulai reaksi (Knothe *et al.*, 2006). Semakin tinggi suhu, semakin banyak energi yang dapat digunakan reaktan untuk mencapai energi aktivasi. Energi ini didapat dari tumbukan-tumbukan molekul reaktan yang semakin intensif. Energi kinetik dari molekul-molekul reaktan meningkat dan menyebabkan peningkatan kecepatan transfer massa antara reaktan dan katalis. Pemanasan menyebabkan molekul-molekul minyak terdispersi dan terdistribusi ke dalam molekul-molekul metanol dan bereaksi sehingga memutuskan ikatan gliserida membentuk metil ester (Noureddini dan Zhu, 1997).

Heksan merupakan pelarut non polar (Ketaren, 2008). Penggunaannya sebagai *co-solvent* dalam penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan jumlah minyak yang dapat diekstrak dari bahan. Dengan semakin banyaknya minyak yang dapat diekstrak diharapkan minyak yang dapat dikonversi menjadi metil ester pun meningkat. Namun demikian, pada penelitian ini rasio heksan/total pelarut memiliki pengaruh negatif terhadap rendemen biodiesel yang dihasilkan. Untuk waktu reaksi selama 3 jam, minyak yang diekstrak cukup tinggi, tetapi waktu reaksi tersebut belum cukup untuk mengkonversi seluruh minyak yang terekstrak menjadi metil ester (biodiesel).

Kualitas biodiesel yang dihasilkan dari penelitian ini disajikan pada Tabel 4. Biodiesel yang dihasilkan dari proses transesterifikasi *in situ* memiliki kualitas yang sesuai dengan standar (SNI 04-7182-2006) kecuali untuk viskositas biodiesel yang dihasilkan dari perlakuan kondisi proses rasio heksan/total pelarut 3/6.

Tabel 4. Kualitas biodiesel pada berbagai kondisi proses

Kondisi Proses	BA	BP	Vis.	KA	
Rasio heksan /total pelarut	Suhu reaksi ($^{\circ}\text{C}$)	(mg KOH/g)	(mg KOH/g)	(cSt)	(%)
1/6	45	0,16	193	3,68	0
1/6	55	0,66	195	3,70	0
3/6	45	0,33	190	10,76	0
3/6	55	0,50	189	12,64	0
2/6	50	0,28	195	3,61	0

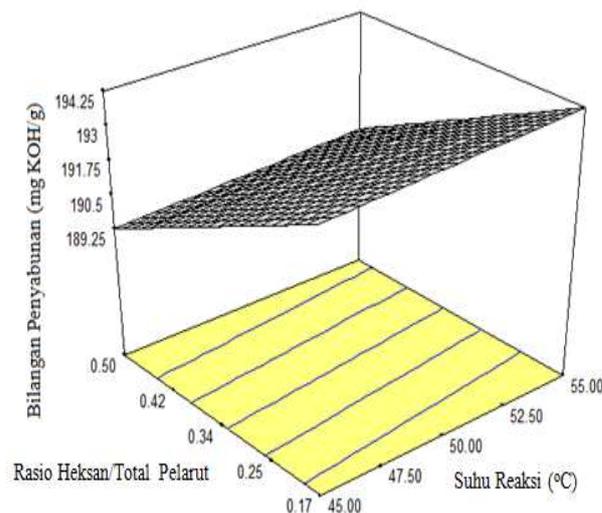
BA, Bilangan Asam; BP, Bilangan Penyabunan; Vis., Viskositas; KA, Kadar Abu.

Bilangan asam biodiesel pada penelitian ini berkisar antara 0,16-0,66 mg KOH/g. Hasil analisis keragaman (ANOVA $\alpha = 0,05$) dan analisis regresi menunjukkan bahwa persamaan polinomial orde pertama, $y = 0,41 + 0,17 A + 2,50 \times 10^{-3} B$ ($R^2 = 77,48\%$), tidak signifikan untuk mengoptimasi pengaruh variabel-variabel suhu reaksi (A) dan rasio heksan/total pelarut (B) terhadap bilangan asam (y).

Bilangan asam menunjukkan jumlah asam lemak bebas yang masih tersisa setelah proses transesterifikasi. Bilangan asam dapat digunakan untuk mengetahui tingkat korosifitas biodiesel yang dihasilkan (Knothe, 2006). Semakin kecil bilangan asam, biodiesel memiliki kualitas yang baik karena tingkat korosifitasnya juga akan semakin kecil. Bilangan asam maksimal untuk biodiesel adalah 0,8 mg KOH/g (SNI 04-7182-2006).

Pada penelitian ini, bilangan penyabunan biodiesel berkisar antara 189-195 mg KOH/g. Hasil analisis keragaman (ANOVA $\alpha = 0,05$) dan analisis regresi menunjukkan bahwa persamaan polinomial orde pertama, $y = 191,75 + 0,25 A - 2,25 B$ ($R^2 = 87,54\%$), signifikan untuk mengoptimasi pengaruh variabel-variabel suhu reaksi (A) dan rasio heksan/total pelarut (B) terhadap bilangan penyabunan (y). Pengaruh variabel rasio heksan/total pelarut terhadap bilangan penyabunan lebih signifikan ($P < 0,05$) dibandingkan variabel suhu reaksi.

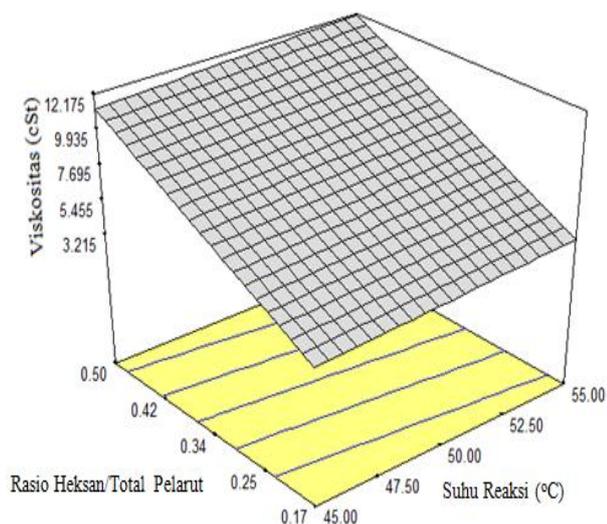
Gambar 2 menunjukkan hubungan antara variabel-variabel suhu reaksi dan rasio heksan/total pelarut terhadap bilangan penyabunan biodiesel. Semakin rendah rasio heksan/total pelarut yang digunakan untuk proses transesterifikasi *in situ* biji jarak, bilangan penyabunan semakin tinggi dan kualitas biodiesel pun semakin baik. Dengan demikian, Bilangan penyabunan tertinggi diperoleh dari kondisi proses suhu reaksi 55°C dan rasio heksan/total pelarut 1/6.

**Gambar 2.** Respon permukaan pengaruh suhu reaksi dan rasio heksan/total pelarut terhadap bilangan penyabunan

Bilangan penyabunan dapat digunakan untuk menunjukkan tingkat kemurnian biodiesel (Knothe, 2006). Semakin tinggi bobot molekul dari trigliserida yang diuji maka bilangan penyabunannya pun akan semakin rendah. Bilangan penyabunan yang rendah menunjukkan bahwa proses konversi dari trigliserida menjadi metil ester tidak berjalan dengan sempurna. Adanya tri-, di-, dan monogliserida sisa proses transesterifikasi yang tidak dapat dikonversi menyebabkan bobot molekul minyak menjadi tinggi (Freedman *et al.*, 1986).

Viskositas biodiesel yang dihasilkan pada penelitian ini berkisar antara 3-13 cSt. Hasil analisis keragaman (ANOVA $\alpha = 0,05$) dan analisis regresi menunjukkan bahwa persamaan polinomial orde pertama, $y = 7,70 + 0,48 A - 4 B$ ($R^2 = 98,66\%$), signifikan untuk mengoptimasi pengaruh variabel-variabel suhu reaksi (A) dan rasio heksan/total pelarut (B) terhadap viskositas (y). Pengaruh variabel rasio heksan/total pelarut terhadap rendemen biodiesel lebih signifikan ($P < 0,05$) dibandingkan variabel suhu reaksi.

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara variabel-variabel suhu reaksi dan rasio heksan/total pelarut terhadap viskositas. Semakin rendah rasio heksan/total pelarut yang digunakan untuk proses transesterifikasi *in situ* biji jarak, viskositas biodiesel yang dihasilkan semakin rendah dan kualitas semakin baik. Dengan demikian, viskositas terendah diperoleh dari kondisi proses rasio heksan/total pelarut 1/6.



Gambar 3. Respon Permukaan Pengaruh Suhu Reaksi dan Rasio Heksan/Total Pelarut terhadap Viskositas

Viskositas berkaitan dengan aliran bahan bakar (biodiesel) ketika melewati pipa saluran dan injektor. Viskositas yang tinggi akan menyulitkan injeksi, atomisasi, dan penyebaran bahan bakar. Menurut SNI 04-7182-2006, viskositas yang memenuhi syarat adalah 2,3-6 cSt. Viskositas yang terlalu rendah dapat menyebabkan terjadinya kebocoran sehingga daya pembakarannya akan berkurang, jika viskositas terlalu tinggi dapat menyulitkan aliran bahan dan menyebabkan daya pembakaran menurun (Knothe, 2006).

Kadar abu digunakan untuk menunjukkan besar/kecilnya kandungan mineral anorganik pada bahan. Mineral tersebut meliputi garam organik (asam malat, oksalat, asetat, pektat, dll) dan garam anorganik (phospat, klorida, karbonat, sulfur nitrat, dan logam alkali) (Winarno, 1992). Pada biodiesel, kadar abu menunjukkan besarnya derajat buang hasil pembakaran. Semakin tingginya kadar abu maka kualitasnya semakin buruk karena akan menimbulkan kerak yang banyak pada mesin, sehingga mesin menjadi cepat rusak atau aus (Knothe, 2006). Kadar abu yang disarankan adalah kurang dari 0,05%. Pada penelitian ini, biodiesel yang dihasilkan memiliki kadar abu 0%.

Perlakuan rasio heksan/total pelarut sebesar 3/6 pada proses transesterifikasi *in situ* biji jarak pagar telah menghasilkan kualitas biodiesel yang lebih rendah dibandingkan perlakuan 2/6 dan 1/6. Penggunaan heksan dalam jumlah tinggi dapat meningkatkan jumlah minyak yang terekstrak tetapi pada waktu reaksi yang digunakan pada penelitian ini (3 jam), minyak belum terkonversi seluruhnya menjadi metil ester. Hal ini mengakibatkan viskositas biodiesel yang dihasilkan menjadi tinggi dan bilangan penyabunan rendah.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Penelitian transesterifikasi *in situ* biji jarak pagar menunjukkan bahwa persamaan orde pertama signifikan untuk mengoptimasi pengaruh variabel-variabel suhu reaksi dan rasio heksan/total pelarut terhadap rendemen

biodiesel, bilangan penyabunan dan viskositas biodiesel. Pengaruh variabel rasio heksan/total pelarut lebih signifikan dibandingkan variabel suhu reaksi. Semakin rendah rasio heksan/total pelarut, rendemen dan bilangan penyabunan biodiesel semakin tinggi, sedangkan viskositas semakin rendah. Dengan demikian, kondisi proses yang optimum untuk transesterifikasi *in situ* biji jarak pagar diperoleh dari perlakuan suhu reaksi 55°C dan rasio heksan/total pelarut 1/6 dengan rendemen biodiesel tertinggi 78,60%, bilangan asam 0,66 mg KOH/g, bilangan penyabunan 195 mg KOH/g, viskositas 3,70 cSt, dan kadar abu 0%.

Saran

Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan analisis menggunakan metode respon permukaan orde kedua dengan cara menambah jumlah taraf variabelnya ($\sqrt{2}$).

UCAPAN TERIMAKASIH

Disampaikan terimakasih kepada PT Rajawali Nusantara Indonesia, khususnya PT PG Rajawali II Unit PG Subang yang telah membantu menyediakan data dan masukan untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Athen WMJ, Verchot L, Franken YJ, Mathijs E, Singh VP, Aerts R, Muys B. 2008. *Jatropha* biodiesel production and use. *Biomassa Bioenergi* 32: 1063-1084.
- Kartika I A, Yuliani S, Ariono D, Sugiarto. 2011a. Transesterifikasi *in situ* biji jarak pagar: pengaruh kadar air dan ukuran partikel bahan terhadap rendemen dan kualitas biodiesel. *Agritech* Vol. 31 (3); 242-249.
- Kartika I A, Yani M, Hermawan D. 2011b. Transesterifikasi *in situ* biji jarak pagar: pengaruh jenis pereaksi, kecepatan pengadukan, dan suhu reaksi terhadap rendemen dan kualitas biodiesel. *J. Tek. Ind. Pert.* 21 (1); 24-23.
- AOAC. 1995. *Official Method of Analysis of Analytical Chemistry*. Washington DC: Association of Official Analytical Chemist.
- Fajarani AN. 2011. *Transformasi Biji Jarak Pagar (Jatropha curcas L.) menjadi Biodiesel melalui Transesterifikasi In Situ* [Skripsi]. Bogor : Teknologi Industri Pertanian, FATETA-IPB.
- Freedman B, Butterfield RO, Pryde EH. 1986. Transesterification kinetics of soybean oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 63: 1375-1380.
- Georgogianni KG, Kontominas MG, Pomonis PJ, Avlonitis D, Gergis V. 2008. Conventional and *in situ* transesterification of sunflower seed oil for the production of biodiesel. *Fuel Processing Technology* 89: 503-509.
- Gubitz GM, Mittelbach M, Trabi M. 1999. Exploitation of the tropical oil seed plant *Jatropha curcas L.* *Bioresource Technology* 67: 73-82.
- Goff JR, McFadgen BG, Chague-Goff C. 2004. Sedimentary differences between the 2002 Easter

- storm and the 15th Century Okoropunga tsunami, southeastern North Island, New Zealand. *Mar. Geol.* 204; 235 – 250.
- Haas MJ, Karen MS, William NM, Thomas AF. 2004. In situ alkaline transesterification : An effective method for the production of fatty acid esters from vegetable oils. *J Am Oil Chem Soc* 81: 83-89.
- Kalam MA, Masjuki HH. 2002. Biodiesel from palm oil: An analysis of its properties and potential. *Biomass and Bioenergy* 23:471-479.
- Ketaren S. 2008. Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan. Jakarta : UI Press.
- Knothe, G. 2006. Analyzing biodiesel: standards and other methods. *J Am Oil Chem Soc* 83: 823-833.
- Montgomery DC. 2001. *Design Analysis of Experiments*. Fifth Edition. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- National Biodiesel Board. 2010. Biodiesel Emissions. Retrived from: http://www.biodiesel.org/pdf_files/fuelfactsheets/emissions.pdf. [15 Juni 2012].
- Nurcholis M, Sumarsih S. 2007. *Jarak Pagar dan Pembuatan Biodiesel*. Yogyakarta. Kanisius.
- Noureddini H, Zhu. 1997. Kinetics of transesterification of soybean oil. *J Am Oil Chem Soc* 74:1457-1463.
- Ozgul-Yucel S, Turkay S. 2003. FA monoalkylester from rice bran oil by in situ transesterification. *J Am Oil Chem Soc* 81: 81-84
- Qian J, Fei W, Sen L, Zhi Y. 2008. In situ alkaline transesterification of cotton seed oil for production of biodiesel and non toxic cotton seed meal. *Bioresource Technology* 99: 9009-9012.
- Shuit SH, Lee KT, Kamaruddin AH, Yusup S. 2010. Reactive extraction and in situ esterification of *Jatropha curcas L.* seeds for the production of biodiesel. *Fuel* 89: 527-30.
- [SNI] Standar Nasional Indonesia 01-2891-1992. 1992. Cara Uji Makanan dan Minuman. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- [SNI] Standar Nasional Indonesia 04-7182-2006. 2006. Biodiesel. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- Utami SW. 2010. *Kajian Proses Produksi Biodiesel Melalui Transesterifikasi In Situ Biji Jarak Pagar (Jatropha Curcas L.) pada Berbagai Kondisi Operasi* [Skripsi]. Bogor : Teknologi Industri Pertanian, FATETA-IPB.
- Warsiki E, Sumangat D, Rismawati W. 2007. Pengaruh Bahan dan Kondisi Pengemasan terhadap Mutu Biji Jarak Pagar (*Jatropha curcas Linn*). Dalam: Konferensi Jarak Pagar-Menuju Bisnis Jarak Pagar yang Feasible. Bogor, 19 Juni 2007, PP 231-238
- Winarno FG. 1992. *Kimia Pangan dan Gizi*. Gramedia: Jakarta
- Yulianingtyas P. 2011. *Kajian Proses Produksi Biodiesel melalui Transesterifikasi In Situ Biji Jarak Pagar (Jatropha curcas L.) pada Skala*
- Pilot [Skripsi]. Bogor : Teknologi Industri Pertanian, FATETA-IPB.