

TRANSESTERIFIKASI *IN SITU* BIJI JARAK PAGAR: PENGARUH JENIS PEREAKSI, KECEPATAN PENGADUKAN DAN SUHU REAKSI TERHADAP RENDEMEN DAN KUALITAS BODIESEL

***IN SITU* TRANSESTERIFICATION OF JATROPHA SEEDS: EFFECT OF REACTANT TYPE, STIRRING SPEED AND REACTION TEMPERATURE ON YIELD AND QUALITY OF BODIESEL**

Ika Amalia Kartika^{1)*}, Mohamad Yani¹⁾, Dede Hermawan²⁾

¹⁾Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Darmaga P.O. Box 220, Bogor 16002
Email: ikatk@yahoo.com

²⁾Departemen Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor

ABSTRACT

The objective of this study was to investigate in situ transesterification process which allows direct production of biodiesel from jatropha seeds. The reactant type (methanol and ethanol), the stirring speed (700, 800 and 900 rpm) and the reaction temperature (40, 50 and 60°C) were examined to determine the best performance of the biodiesel production yield and its quality. Generally, the stirring speed and the reaction temperature affected biodiesel production yield. An increase of biodiesel yield was observed as stirring speed and reaction temperature were increased. The reactant type did not affected biodiesel production yield. The highest biodiesel yield for the reactant of methanol (82.2%) and the reactant of ethanol (82.5) were obtained respectively under the stirring speed of 800 and 900 rpm, and the reaction temperature of 50°C. The effects of the reactant type, stirring speed and reaction temperature on biodiesel quality were less important. In all experiments tested, the biodiesel quality was very good. The acid value was below 0.5 mg KOH/g of biodiesel, water and sediment contents were very poor (< 0.05%), viscosity was low (< 3.6 cSt), saponification and ester values were high (> 180 mg KOH/g of biodiesel). In addition, the quality of biodiesel produced under optimum process condition was in accordance with Indonesian Biodiesel Standard.

Keywords: transesterification, in situ, jatropha, biodiesel

ABSTRAK

Kegiatan penelitian ini bertujuan untuk mempelajari proses produksi biodiesel secara langsung dari biji jarak pagar melalui proses transesterifikasi *in situ*. Variabel kondisi proses yang dipelajari adalah jenis pereaksi (metanol dan etanol), kecepatan pengadukan (700, 800 dan 900 rpm) dan suhu reaksi (40, 50 dan 60°C), dan diamati pengaruhnya terhadap parameter rendemen biodiesel dan kualitasnya. Kecepatan pengadukan dan suhu reaksi berpengaruh nyata terhadap rendemen biodiesel. Semakin tinggi kecepatan pengadukan dan suhu reaksi, rendemen biodiesel dan efektifitas proses transesterifikasi *in situ* biji jarak pagar semakin meningkat. Jenis pereaksi tidak berpengaruh nyata terhadap rendemen biodiesel. Rendemen biodiesel tertinggi untuk pereaksi metanol (82,2%) dan etanol (82,5%) masing-masing diperoleh dari perlakuan kecepatan pengadukan 800 dan 900 rpm, dan suhu reaksi 50°C. Biodiesel yang dihasilkan dari proses transesterifikasi *in situ* biji jarak pagar mempunyai bilangan asam, viskositas, kadar air dan sedimen yang relatif rendah, yaitu < 0,5 mg KOH/g biodiesel, < 3,6 cSt dan < 0,05%, serta memenuhi Standar Biodiesel Indonesia. Biodiesel yang dihasilkan dari proses transesterifikasi *in situ* biji jarak pagar juga mempunyai bilangan penyabunan dan ester yang cukup tinggi, yaitu > 180 mg KOH/g biodiesel. Jenis pereaksi dan suhu reaksi berpengaruh nyata terhadap kualitas biodiesel yang dihasilkan, sedangkan kecepatan pengadukan tidak menunjukkan pengaruh yang nyata.

Kata kunci: transesterifikasi, *in situ* jarak pagar, biodiesel

PENDAHULUAN

Biodiesel adalah bahan bakar yang diproduksi dari minyak nabati seperti minyak sawit, minyak bunga matahari, minyak kedelai, minyak jarak, dan lain-lain atau minyak hewani melalui proses transesterifikasi dengan pereaksi metanol atau etanol dan katalisator basa atau asam. Biodiesel dari minyak nabati pada umumnya mempunyai karakteristik yang mendekati bahan bakar yang berasal dari minyak bumi, sehingga dapat dijadikan sebagai energi alternatif bagi bahan bakar minyak bumi yang ketersediaannya semakin menipis (Ma dan Hanna, 1999). Saat ini, pengembangan biodiesel dari minyak nabati melonjak pesat sejalan dengan krisis energi yang melanda dunia tahun-tahun terakhir ini dan penurunan kualitas lingkungan hidup akibat polusi. Selain itu, biodiesel dari minyak nabati bersifat dapat diperbaharui (*renewable*) sehingga ketersediaannya lebih terjamin dan produksinya dapat terus ditingkatkan.

Di Indonesia, pengembangan biodiesel dari bahan-bahan nabati, khususnya biji jarak pagar, telah mendapat perhatian banyak pihak. Pengembangan pesat biodiesel berbahan baku jarak pagar ini tidak terlepas dari keunggulan-keunggulan yang dimilikinya dibandingkan dengan biodiesel dari bahan nabati lainnya seperti sifat fisikokimianya yang lebih baik. Selain itu, tanaman jarak pagar dapat dibudidayakan dengan mudah, tidak memerlukan lahan yang subur dan biaya yang mahal (Openshaw, 2000; Achten *et al.*, 2008; Kumar dan Sharma, 2008).

Proses produksi biodiesel dari biji jarak pagar umumnya dilakukan melalui dua tahap yaitu tahap ekstraksi minyak dari biji jarak dan tahap transesterifikasi minyak jarak menjadi biodiesel. Ekstraksi minyak nabati umumnya dilakukan secara mekanik menggunakan *expeller* atau *hydraulic press* yang kemudian diikuti oleh ekstraksi dengan heksan (Campbell, 1983). Adapun transesterifikasi minyak nabati menjadi biodiesel umumnya dilakukan melalui proses transformasi kimia dengan menggunakan pereaksi metanol atau etanol dan katalisator asam atau basa (Foidl *et al.*, 1996). Kedua tahapan tersebut dilakukan secara terpisah dan diskontinyu, sehingga proses produksi biodiesel menjadi kurang efisien dan mengkonsumsi banyak energi. Selain itu, proses produksi minyak dari biji membebani 70% dari total biaya proses produksi biodiesel (Harrington dan D'Arcy-Evans, 1985; Haas *et al.*, 2004).

Di lain pihak, penelitian-penelitian tentang proses produksi biodiesel melalui transesterifikasi *in situ* berbasis bahan-bahan nabati telah memberikan hasil yang memuaskan dengan faktor konversi lebih tinggi dibandingkan proses transesterifikasi konvensional (Harrington dan D'Arcy-Evans 1985;

Siler-Marinkovic dan Tomasevic, 1998; Ozgul-Yucel dan Turkey, 2003; Haas *et al.*, 2004; Georgogianni *et al.*, 2008; Qian *et al.*, 2008). Proses transesterifikasi *in situ* biji bunga matahari pada perbandingan molar metanol/trigliserida yang terkandung dalam bahan/H₂SO₄ sebesar 560:1:12 menghasilkan rendemen ester lebih tinggi 20% dibandingkan dengan rendemen ester yang dihasilkan dari transesterifikasi minyak bunga matahari. Kadar air dan ukuran partikel bahan merupakan faktor yang sangat mempengaruhi efektifitas proses transesterifikasi *in situ* biji bunga matahari, selain perbandingan molar bahan dengan metanol dan katalis (Harrington dan D'Arcy-Evans, 1985).

Ozgul-Yucel dan Turkey (2003) pada penelitiannya tentang transesterifikasi *in situ rice bran* dengan katalis asam (H₂SO₄) menunjukkan bahwa pereaksi metanol memberikan rendemen ester yang lebih tinggi dibandingkan dengan etanol, propanol dan butanol. Pada kasus transesterifikasi *in situ* biji kedelai dengan katalis basa (NaOH), Haas *et al.* (2004) menunjukkan bahwa rendemen ester tertinggi dapat diperoleh pada suhu reaksi 60°C dengan perbandingan molar metanol/trigliserida/NaOH sebesar 226:1:1.6 dan waktu reaksi 8 jam. Transesterifikasi *in situ* biji bunga matahari dengan katalis NaOH 2% pada suhu 60°C dan kecepatan pengadukan 600 rpm memberikan rendemen metil ester sebesar 95%. Rendemen tersebut dapat dicapai pada waktu reaksi 20 menit dan perbandingan massa bahan/metanol sebesar 1:10 (Georgogianni *et al.*, 2008). Pada kasus transesterifikasi *in situ* biji kapas, konversi minyak menjadi metil ester dapat mencapai 98% pada kondisi proses kadar air biji < 2%, ukuran partikel bahan 0,3-0,335 mm, konsentrasi NaOH 0,1 mol/L, perbandingan molar metanol/minyak 135:1, serta suhu dan waktu reaksi masing-masing 40°C dan 3 jam (Qian *et al.*, 2008).

Penelitian ini mempunyai tujuan umum untuk mempelajari proses produksi biodiesel secara langsung dari biji jarak pagar melalui proses transesterifikasi *in situ*, sehingga proses produksi biodiesel menjadi lebih sederhana, efisien dan hemat energi, serta penerapannya di dunia industri pun tidak memerlukan biaya yang mahal dan dapat menghasilkan biodiesel berkualitas tinggi. Adapun tujuan khususnya adalah untuk mempelajari proses transesterifikasi *in situ* biji jarak pagar pada berbagai kondisi proses. Variabel proses yang dipelajari adalah jenis pereaksi (metanol dan etanol), kecepatan pengadukan (700, 800 dan 900 rpm) dan suhu reaksi (40, 50 dan 60°C) yang diamati pengaruhnya terhadap parameter rendemen biodiesel dan kualitasnya.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah buah jarak pagar (*Jatropha curcas* varietas IP2), yang diperoleh dari Kebun Induk Jarak Pagar Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Aneka Tanaman Industri, Pakuwon-Sukabumi. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah labu leher tiga yang dilengkapi dengan pendingin tegak dan termometer, pengaduk magnetik, *hot plate stirrer*, pompa dan penyaring vakum, serta alat-alat gelas lainnya. Pelarut dan bahan-bahan kimia yang digunakan adalah teknis dan *analytical grade*, yang diperoleh dari Sigma-Aldrich, AppliChem dan J.T. Baker, Indonesia.

Metode

Persiapan Bahan Baku

Persiapan bahan baku bertujuan untuk mempersiapkan dan mengkarakterisasi bahan sebelum digunakan dalam penelitian. Bahan baku dipersiapkan dengan pengupasan buah jarak pagar dan pengeringan biji jarak pagar pada suhu 50°C selama 48 jam. Biji jarak pagar kering kemudian dikarakterisasi dengan menganalisis kadar air (AOAC 950.46-1995), minyak (SNI 01-2891-1992), abu (AOAC 923.03-1995), protein (AOAC 991.20-1995), serat kasar (SNI 01-2891-1992) dan karbohidrat (*by difference*). Selain itu, komposisi asam lemak minyak jarak pagar dianalisis menggunakan kromatografi gas (*FAME Method*).

Pengaruh Kondisi Proses Terhadap Rendemen dan Kualitas Biodiesel

Proses transesterifikasi *in situ* dilakukan untuk mengkonversi secara langsung trigliserida yang terkandung dalam biji jarak pagar menjadi biodiesel (metil atau etil ester). Kondisi proses ditentukan berdasarkan kecepatan pengadukan 700, 800 dan 900 rpm, suhu reaksi 40, 50 dan 60°C, serta jenis pereaksi metanol dan etanol, dengan rasio pereaksi terhadap bahan, kadar air dan ukuran partikel bahan ditetapkan masing-masing pada 6:1 (v/b), ≤ 1% dan 35 *mesh*. Untuk mendapatkan biji jarak pagar dengan kadar air dan ukuran partikel tersebut, biji jarak pagar hasil dari tahapan persiapan bahan baku dikeringkan kembali pada suhu 70-90°C selama 24-48 jam, kemudian digiling dan disaring menggunakan saringan dengan ukuran 35 *mesh*.

Katalis KOH 0,075 mol/L digunakan dalam bentuk campuran dengan metanol atau etanol. Campuran metanol atau etanol-KOH diaduk selama sekitar 10 menit, dan dituangkan secara perlahan-lahan ke dalam bahan sambil diaduk secara kontinyu. Pelarut n-heksan (100% basis bahan) ditambahkan ke dalam campuran untuk meningkatkan kelarutan minyak dalam pereaksi. Campuran terus diaduk selama 5 jam pada kecepatan pengadukan dan suhu reaksi tertentu sesuai dengan perlakuan yang sedang diuji. Setelah waktu reaksi

tercapai, campuran dibiarkan sampai dingin (suhu ruang), kemudian filtrat dipisahkan dari ampas. Filtrat yang terpisah, selanjutnya dievaporasi dan didekantasi untuk memisahkan gliserol dari biodiesel. Lapisan gliserol berada dibagian bawah dan berwujud semi padat. Biodiesel kemudian dicuci dengan aquades hingga pHnya netral. Rendemen biodiesel yang diperoleh dihitung dengan rumus sebagai berikut :

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

Parameter yang diukur untuk mengkarakterisasi biodiesel yang dihasilkan meliputi viskositas, bilangan asam, bilangan penyabunan, bilangan ester, serta kadar air dan sedimen (SNI 04-7182-2006). Biodiesel yang dihasilkan dari perlakuan terbaik berdasarkan parameter-parameter tersebut selanjutnya dikarakterisasi kualitasnya sesuai dengan Standar Biodiesel Indonesia.

Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan yang digunakan pada penelitian ini adalah rancangan acak lengkap faktorial dengan 3 faktor, yaitu jenis pereaksi (A), kecepatan pengadukan (B) dan suhu reaksi (C). Percobaan dilakukan dengan 2 kali ulangan untuk seluruh perlakuan. Faktor A terdiri dari 2 taraf, sedangkan faktor B dan C terdiri dari 3 taraf. Model rancangan percobaan yang digunakan adalah sebagai berikut (Montgomery, 2001):

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + C_k + (AB)_{ij} + (AC)_{ik} + (BC)_{jk} + (ABC)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Keterangan:

- Y_{ijkl} : hasil pengamatan karena pengaruh faktor A taraf ke-i, faktor B taraf ke-j, faktor C taraf ke-k, dan ulangan ke-l.
- μ : pengaruh rata-rata sebenarnya/rata-rata umum
- A_i : pengaruh dari faktor A taraf ke-i (i = 1, 2)
- B_j : pengaruh dari faktor B taraf ke-j (j = 1, 2, 3)
- C_k : pengaruh dari faktor C taraf ke-k (k = 1, 2, 3)
- $(AB)_{ij}$: pengaruh interaksi antar faktor A taraf ke-i dan faktor B taraf ke-j
- $(AC)_{ik}$: pengaruh interaksi antar faktor A taraf ke-i dan faktor C taraf ke-k
- $(BC)_{jk}$: pengaruh interaksi antar faktor B taraf ke-j, dan faktor C taraf ke-k
- $(ABC)_{ijk}$: pengaruh interaksi antar faktor A taraf ke-i, faktor B taraf ke-j, dan faktor C taraf ke-k

ε_{ijkl} : pengaruh galat dari faktor A taraf ke-i, faktor B taraf ke-j, faktor C taraf ke-k, dan ulangan ke-l.

Untuk mengetahui pengaruh faktor-faktor tersebut terhadap rendemen dan kualitasnya (viskositas, bilangan asam, penyabunan dan ester), data-data hasil penelitian selanjutnya dianalisis ragamnya (ANOVA) menggunakan $\alpha = 0,05$, dan dilanjutkan dengan uji lanjut Duncan ($\alpha = 0,05$). Pengolahan data dan analisisnya dilakukan dengan menggunakan *Software* statistik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Persiapan Bahan Baku

Dari tahap persiapan bahan baku diketahui bahwa buah jarak pagar yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari 23% biji dan 77% kulit buah, sedangkan biji jarak terdiri dari 37% cangkang dan 63% daging biji. Tabel 1 menunjukkan karakteristik dan sifat fisikokimia biji jarak pagar yang digunakan dalam penelitian ini. Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa biji jarak yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai kadar minyak yang cukup tinggi (37% basis basah) dan komposisi asam lemaknya didominasi oleh asam lemak oleat (47%) dan linoleat (44%). Dibandingkan dengan hasil penelitian-penelitian sebelumnya (50-60%) (Foidl *et al.*, 1996; Gubiz *et al.*, 1999; Achten *et al.*, 2008), kadar minyak biji jarak pagar yang digunakan dalam penelitian ini relatif lebih kecil. Perbedaan tersebut tentunya akibat perbedaan varietas, umur panen dan kondisi tempat tumbuh tanaman jarak tersebut.

Tabel 1. Karakteristik dan sifat fisikokimia biji jarak pagar

Parameter	Nilai (basis basah)
Kadar air (%)	6,29
Kadar minyak (%)	36,91
Kadar abu (%)	19,43
Kadar protein (%)	4,20
Kadar serat (%)	8,63
Kadar karbohidrat (%)	25,54
Komposisi asam lemak (%):	
- Asam laurat	1,02
- Asam palmitat	7,01
- Asam stearat	1,49
- Asam oleat	46,84
- Asam linoleat	43,64

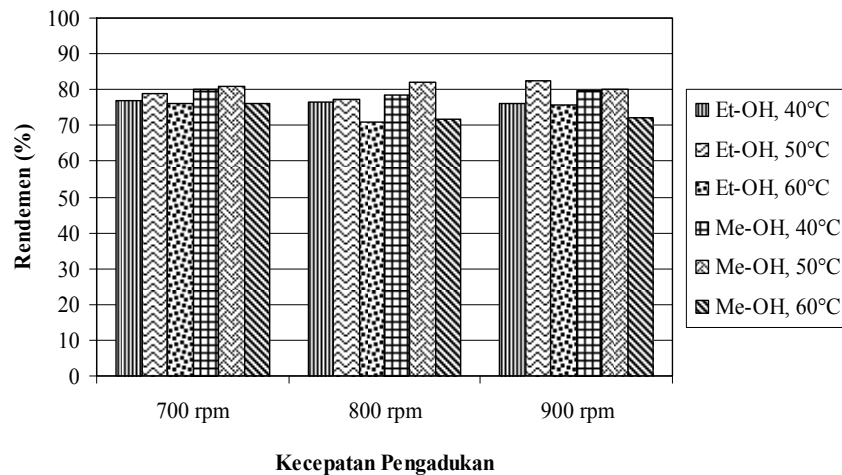
Pengaruh Kondisi Proses Terhadap Rendemen Biodiesel

Rendemen biodiesel yang dihasilkan dari proses transesterifikasi *in situ* biji jarak pagar dengan pereaksi metanol berkisar antara 72-83%, sedangkan dengan pereaksi etanol berkisar antara

70-83%. Hasil analisis ragam (ANOVA) dengan tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$) menunjukkan bahwa kecepatan pengadukan dan suhu reaksi berpengaruh nyata terhadap rendemen biodiesel, sedangkan jenis pereaksi dan interaksi-interaksi antara ketiga faktor tersebut tidak menunjukkan pengaruh yang nyata. Hasil uji lanjut Duncan dengan tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$) terhadap kecepatan pengadukan menunjukkan bahwa faktor kecepatan pengadukan 900 rpm tidak berbeda nyata dengan faktor kecepatan pengadukan 700 dan 800 rpm. Hasil uji lanjut Duncan terhadap suhu reaksi menunjukkan bahwa faktor suhu reaksi 50°C berbeda nyata dengan faktor suhu reaksi 40 dan 60°C, dan merupakan taraf faktor yang menghasilkan rendemen biodiesel tertinggi.

Rendemen biodiesel tertinggi untuk pereaksi metanol (82,16%) dan etanol (82,45%) masing-masing diperoleh pada kecepatan pengadukan 800 dan 900 rpm, dan suhu reaksi 50°C. Dibandingkan dengan metanol, rendemen biodiesel yang diperoleh dari proses transesterifikasi *in situ* biji jarak pagar dengan pereaksi etanol umumnya relatif lebih rendah nilainya (Gambar 1). Fenomena yang sama juga teramati oleh Ozgul-Yucel dan Turkay (2003), yang melakukan transesterifikasi *in situ rice bran* dimana pereaksi metanol memberikan rendemen ester yang lebih tinggi dibandingkan dengan etanol, propanol dan butanol. Seperti halnya pada perlakuan dengan pereaksi metanol, kondisi operasi terbaik untuk proses transesterifikasi *in situ* biji jarak pagar dengan pereaksi etanol dicapai pada suhu 50°C. Pada kondisi tersebut rendemen biodiesel yang diperoleh lebih tinggi daripada suhu 40 dan 60°C untuk seluruh kecepatan pengadukan yang diuji.

Jika dibandingkan dengan hasil penelitian-penelitian sebelumnya (Georgogianni *et al.*, 2008; Qian *et al.*, 2008), rendemen yang diperoleh dari penelitian ini lebih rendah, tetapi jumlah pereaksi dan katalis yang digunakan pada penelitian ini juga lebih rendah. Georgogianni *et al.* (2008) melakukan transesterifikasi *in situ* pada biji bunga matahari menggunakan katalis NaOH 2%, pada suhu 60°C, dan kecepatan pengadukan 600 rpm. Rendemen biodiesel yang diperoleh sebesar 95% dengan perbandingan massa antara bahan dengan pereaksi (metanol) sebesar 1 : 10. Di lain pihak, Qian *et al.* (2008) melakukan transesterifikasi *in situ* biji kapas dan mendapatkan rendemen biodiesel sebesar 98% dengan konsentrasi NaOH 0,1 mol/L, perbandingan molar pereaksi (metanol)/minyak 135:1, serta suhu dan waktu reaksi masing-masing 40°C dan 3 jam. Pada penelitian ini digunakan perbandingan pereaksi/bahan (v/b) 6:1, setara dengan perbandingan molar pereaksi (metanol)/minyak 104:1, dan konsentrasi KOH 0,075 mol/L pereaksi.



Gambar 1. Pengaruh jenis pereaksi terhadap rendemen biodiesel pada berbagai kecepatan pengadukan dan suhu reaksi

Pengaruh Kondisi Proses Terhadap Kualitas Biodiesel

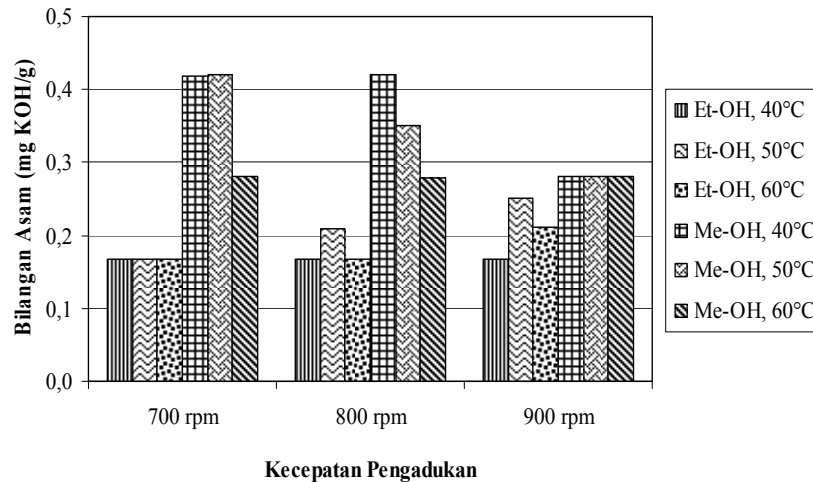
Kualitas biodiesel ditentukan oleh kemurnian senyawa metil atau etil ester di dalam biodiesel. Senyawa selain metil atau etil ester (kontaminan) yang terdapat di dalam biodiesel dapat menyebabkan permasalahan ketika penggunaan biodiesel pada mesin. Kontaminan dapat menyebabkan timbulnya kerak pada mesin dan penyumbatan pada saluran injeksi. Kontaminan yang terdapat pada biodiesel dapat berupa asam lemak bebas, gliserol, air dan mono-, di- dan trigliserida yang masih terdapat pada biodiesel (Knothe, 2006). Gliserol, mono-, di- dan trigliserida dapat menyebabkan terjadinya penyumbatan pada alat injeksi mesin. Sedangkan asam lemak bebas, terutama asam lemak bebas tak jenuh dan air dapat menyebabkan timbulnya kerak pada tangki bahan bakar dan saluran pembakaran. Selain itu, air dapat menyebabkan pertumbuhan mikroba dan pembentukan emulsi, sedangkan asam dapat meningkatkan korosi mesin yang pada akhirnya dapat menyebabkan kerusakan mesin.

Bilangan asam biodiesel yang dihasilkan dari proses transesterifikasi *in situ* biji jarak pagar berkisar antara 0,1-0,5 mg KOH/g sampel. Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa jenis pereaksi dan suhu reaksi mempengaruhi secara signifikan bilangan asam biodiesel, sedangkan kecepatan pengadukan dan interaksi-interaksinya tidak berpengaruh nyata terhadap bilangan asam biodiesel. Hasil uji lanjut Duncan terhadap jenis pereaksi menunjukkan bahwa bilangan asam biodiesel yang dihasilkan dari perlakuan transesterifikasi *in situ* biji jarak pagar dengan pereaksi metanol berbeda nyata dari perlakuan dengan pereaksi etanol. Hasil uji lanjut Duncan terhadap suhu reaksi menunjukkan bahwa faktor suhu reaksi 50°C berbeda nyata dengan faktor suhu reaksi 40 dan 60°C, tetapi

bilangan asam biodiesel hasil perlakuan faktor suhu reaksi 40°C tidak berbeda nyata dengan faktor suhu reaksi 60°C. Perlakuan suhu reaksi 60°C merupakan taraf faktor yang menghasilkan biodiesel dengan bilangan asam terendah (< 0,25 mg KOH/g sampel).

Dibandingkan dengan metanol, bilangan asam biodiesel yang diperoleh dari proses transesterifikasi *in situ* biji jarak pagar dengan pereaksi etanol lebih rendah nilainya pada seluruh faktor yang diuji, dan perbedaannya cukup signifikan pada kecepatan pengadukan 700 dan 800 rpm (Gambar 2). Hal ini berarti kualitas biodiesel yang dihasilkannya lebih baik daripada dengan pereaksi metanol. Bilangan asam biodiesel yang dihasilkan dari faktor suhu reaksi 50°C teramat lebih tinggi daripada suhu reaksi 40 dan 60°C. Hal ini teramat terutama pada faktor kecepatan pengadukan 800 dan 900 rpm. Namun demikian, bilangan asam biodiesel dari seluruh faktor perlakuan tersebut nilainya cukup rendah (< 0,5 mg KOH/g sampel) dan memenuhi Standar Biodiesel Indonesia (maksimum 0,8 mg KOH/g sampel).

Bilangan penyabunan biodiesel yang dihasilkan dari proses transesterifikasi *in situ* biji jarak pagar dengan pereaksi metanol berkisar antara 195-206 mg KOH/g sampel, sedangkan dengan pereaksi etanol berkisar antara 181-195 mg KOH/g sampel. Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa jenis pereaksi dan suhu reaksi mempengaruhi secara signifikan bilangan penyabunan biodiesel, sedangkan kecepatan pengadukan dan interaksi-interaksinya tidak berpengaruh nyata terhadap bilangan penyabunan biodiesel. Hasil uji lanjut Duncan terhadap jenis pereaksi menunjukkan bahwa bilangan penyabunan biodiesel yang dihasilkan dari perlakuan transesterifikasi *in situ* biji jarak pagar dengan pereaksi metanol berbeda nyata dari perlakuan dengan pereaksi etanol.



Gambar 2. Pengaruh jenis pereaksi terhadap bilangan asam biodiesel pada berbagai kecepatan pengadukan dan suhu reaksi

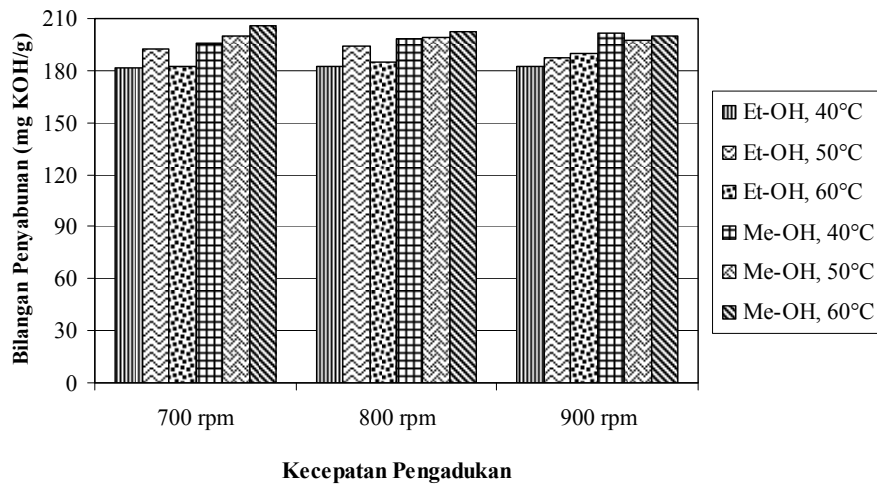
Hasil uji lanjut Duncan terhadap suhu reaksi menunjukkan bahwa faktor suhu reaksi 40°C berbeda nyata dengan faktor suhu reaksi 50 dan 60°C, tetapi bilangan penyabunan biodiesel hasil perlakuan faktor suhu reaksi 50°C tidak berbeda nyata dengan faktor suhu reaksi 60°C. Perlakuan suhu reaksi 50°C merupakan taraf faktor yang menghasilkan biodiesel dengan bilangan penyabunan tertinggi (> 195 mg KOH/g sampel).

Bilangan penyabunan tertinggi dengan pereaksi metanol diperoleh dari perlakuan kecepatan pengadukan 700 rpm dan suhu reaksi 60°C (205,81 mg KOH/g sampel), sedangkan bilangan penyabunan terendah diperoleh dari perlakuan suhu reaksi 40°C (195,84 mg KOH/g sampel). Bilangan penyabunan tertinggi dengan pereaksi etanol diperoleh dari perlakuan kecepatan pengadukan 800 rpm dan suhu reaksi 50°C (194,13 mg KOH/g sampel), sedangkan bilangan penyabunan terendah diperoleh dari perlakuan kecepatan pengadukan 700 rpm dan suhu reaksi 40°C (181,45 mg KOH/g sampel). Dibandingkan dengan metanol, bilangan penyabunan biodiesel yang diperoleh dari proses transesterifikasi *in situ* biji jarak pagar dengan pereaksi etanol lebih rendah nilainya pada seluruh perlakuan yang diuji (Gambar 3). Bilangan penyabunan biodiesel yang dihasilkan dari perlakuan suhu reaksi 50°C teramati lebih tinggi daripada suhu reaksi 40 dan 60°C. Hal ini teramati terutama pada perlakuan kecepatan pengadukan 700 dan 800 rpm.

Bilangan penyabunan biodiesel yang dihasilkan dari seluruh perlakuan menunjukkan nilai yang cukup tinggi (> 180 mg KOH/g sampel) dan relatif stabil dengan meningkatnya kecepatan pengadukan. Biodiesel yang mempunyai bilangan penyabunan tinggi menunjukkan kandungan senyawa intermediet (mono- dan digliserida) dan senyawa trigliserida yang tidak bereaksinya rendah.

Pengukuran bilangan ester menunjukkan banyaknya kandungan ester teoritis di dalam campuran. Bilangan ester dapat dihitung dari pengurangan bilangan penyabunan dengan bilangan asam (Swern, 1982). Pada proses transesterifikasi, senyawa ester terbentuk dari hasil reaksi antara trigliserida dengan metanol atau etanol. Semakin tinggi bilangan ester menunjukkan semakin banyaknya jumlah senyawa ester di dalam campuran dan tingginya tingkat efektifitas proses transesterifikasi.

Pada penelitian ini bilangan ester biodiesel yang dihasilkan dari proses transesterifikasi *in situ* biji jarak pagar dengan pereaksi metanol berkisar antara berkisar antara 195-206 mg KOH/g sampel, sedangkan dengan pereaksi etanol berkisar antara 181-194 mg KOH/g sampel. Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa jenis pereaksi dan suhu reaksi mempengaruhi secara signifikan bilangan ester biodiesel, sedangkan kecepatan pengadukan dan interaksi-interaksinya tidak berpengaruh nyata terhadap bilangan ester biodiesel. Hasil uji lanjut Duncan terhadap jenis pereaksi menunjukkan bahwa bilangan ester biodiesel yang dihasilkan dari perlakuan transesterifikasi *in situ* biji jarak pagar dengan pereaksi metanol berbeda nyata dari perlakuan dengan pereaksi etanol. Hasil uji lanjut Duncan terhadap suhu reaksi menunjukkan bahwa faktor suhu reaksi 40°C berbeda nyata dengan faktor suhu reaksi 50 dan 60°C, tetapi bilangan ester biodiesel hasil perlakuan faktor suhu reaksi 50°C tidak berbeda nyata dengan faktor suhu reaksi 60°C. Perlakuan suhu reaksi 50°C merupakan taraf faktor yang menghasilkan biodiesel dengan bilangan ester tertinggi (> 195 mg KOH/g sampel).



Gambar 3. Pengaruh jenis pereaksi terhadap bilangan penyabunan biodiesel pada berbagai kecepatan pengadukan dan suhu reaksi

Bilangan ester tertinggi dengan pereaksi metanol diperoleh dari perlakuan kecepatan pengadukan 700 rpm dan suhu reaksi 60°C (205,53 mg KOH/g sampel), sedangkan bilangan ester terendah diperoleh dari perlakuan suhu reaksi 40°C (195,42 mg KOH/g sampel). Bilangan ester tertinggi dengan pereaksi etanol diperoleh dari perlakuan kecepatan pengadukan 800 rpm dan suhu reaksi 50°C (193,92 mg KOH/g sampel), sedangkan bilangan ester terendah diperoleh dari perlakuan kecepatan pengadukan 700 rpm dan suhu reaksi 40°C (181,29 mg KOH/g sampel). Dibandingkan dengan metanol, bilangan ester biodiesel yang diperoleh dari proses transesterifikasi *in situ* biji jarak pagar dengan pereaksi etanol lebih rendah nilainya pada seluruh perlakuan yang diuji (Gambar 4). Bilangan ester biodiesel yang dihasilkan dari perlakuan suhu reaksi 50°C teramati lebih tinggi daripada suhu reaksi 40 dan 60°C. Hal ini teramati terutama pada perlakuan kecepatan pengadukan 700 dan 800 rpm.

Bilangan ester biodiesel yang dihasilkan dari seluruh perlakuan menunjukkan nilai yang cukup tinggi (> 180 mg KOH/g sampel) dan relatif stabil dengan meningkatnya kecepatan pengadukan. Biodiesel yang mempunyai bilangan ester tinggi menunjukkan kandungan senyawa intermediet (mono- dan digliserida) dan senyawa trigliserida yang tidak bereaksinya rendah.

Parameter lainnya yang menentukan kualitas biodiesel adalah viskositas. Viskositas yang tinggi merupakan alasan utama mengapa minyak nabati tidak dapat digunakan secara langsung sebagai bahan bakar mesin diesel. Viskositas yang tinggi dapat menyebabkan terganggunya alat injeksi mesin kendaraan dan cenderung menghasilkan deposit pada tangki pembakaran (Knothe, 2004).

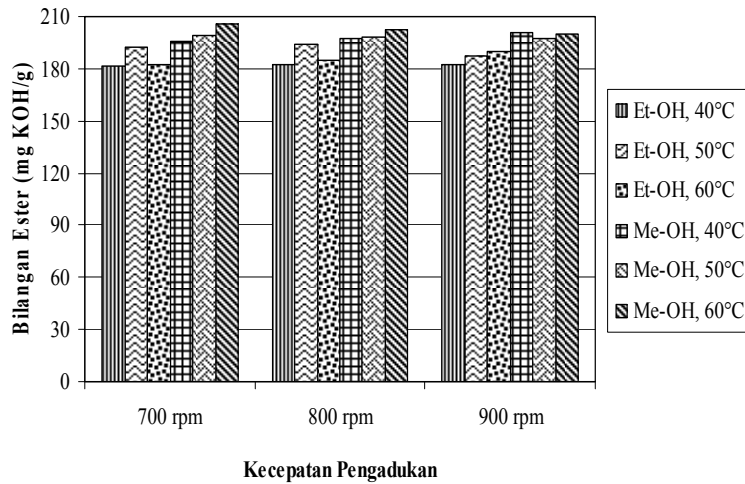
Faktor-faktor yang mempengaruhi viskositas kinematik biodiesel adalah panjang rantai asam

lemak, ketidakjenuhan asam lemak, alkohol yang digunakan, dan kandungan senyawa intermediet yang terdapat di dalam biodiesel. Semakin panjang rantai asam lemak penyusun metil atau etil ester, maka akan meningkatkan viskositas dari biodiesel. Sedangkan semakin banyak jumlah ikatan rangkap pada asam lemak akan menurunkan viskositas biodiesel. Ketidaksempurnaan proses transesterifikasi untuk mengkonversi trigliserida menjadi metil atau etil ester menghasilkan senyawa intermediet seperti mono- dan digliserida yang akan meningkatkan viskositas biodiesel.

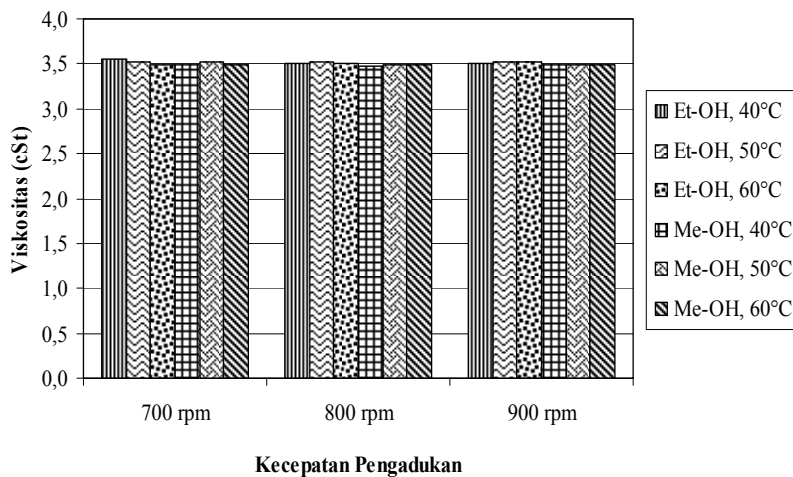
Viskositas biodiesel yang dihasilkan dari perlakuan dengan pereaksi metanol berkisar antara 3,48-3,58 cSt, sedangkan viskositas biodiesel yang dihasilkan dari perlakuan dengan pereaksi etanol berkisar antara 3,49-3,55 cSt. Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa jenis pereaksi, kecepatan pengadukan, suhu reaksi dan interaksi-interaksinya tidak berpengaruh nyata terhadap viskositas biodiesel. Hal ini menunjukkan bahwa viskositas biodiesel yang dihasilkan dari seluruh perlakuan tidak berbeda secara signifikan.

Viskositas biodiesel yang dihasilkan dari seluruh perlakuan relatif sangat rendah (< 3,6 cSt) dan memenuhi Standar Biodiesel Indonesia (maksimum 6,0 cSt). Dibandingkan dengan metanol, viskositas biodiesel yang diperoleh dari proses transesterifikasi *in situ* biji jarak pagar dengan pereaksi etanol relatif sama nilainya pada seluruh perlakuan yang diuji (Gambar 5).

Seperti telah dijelaskan diatas, biji jarak yang digunakan dalam penelitian ini didominasi oleh asam lemak tak jenuh oleat (47%) dan linoleat (44%). Kedua asam lemak tak jenuh tersebut mempunyai kontribusi yang besar terhadap rendahnya viskositas biodiesel yang dihasilkan, selain karena tingkat efektifitas proses transesterifikasi yang tinggi.



Gambar 4. Pengaruh jenis pereaksi terhadap bilangan ester biodiesel pada berbagai kecepatan pengadukan dan suhu reaksi



Gambar 5. Pengaruh jenis pereaksi terhadap viskositas biodiesel pada berbagai kecepatan pengadukan dan suhu reaksi

Selain parameter-parameter diatas, parameter kualitas biodiesel lainnya yang diamati dalam penelitian ini adalah kadar air dan sedimen. Hasil analisis terhadap parameter tersebut menunjukkan bahwa kadar air dan sedimen dari biodiesel yang dihasilkan dari penelitian ini sangat rendah (< 0,05%) untuk seluruh perlakuan yang diuji, dan tidak ada pengaruh kondisi operasi terhadap kadar air dan sedimen.

Berdasarkan hasil-hasil tersebut diatas, perlakuan yang memberikan rendemen dan kualitas biodiesel terbaik adalah perlakuan dengan jenis pereaksi metanol, kecepatan pengadukan 800 rpm dan suhu reaksi 50°C. Karakteristik biodiesel yang dihasilkan dari perlakuan tersebut selengkapnya diterangkan pada Tabel 2. Dari tabel tersebut dapat diamati bahwa biodiesel yang dihasilkan dari proses transesterifikasi *in situ* biji jarak pada kondisi operasi tersebut memenuhi Standar Biodiesel

Indonesia. Seluruh parameter yang diuji berada pada rentang yang ditetapkan oleh Standar Biodiesel Indonesia. Namun demikian, angka setana dan nilai kalornya rendah. Angka setana tidak memenuhi Standar Biodiesel Indonesia, tetapi memenuhi Standar ASTM yang mensyaratkan biodiesel harus memiliki bilangan setana tidak kurang dari 40. Demikian pula dengan nilai kalor, meskipun nilainya lebih rendah dari petrodiesel (45 kJ/g) tetapi biodiesel yang dihasilkan dari penelitian ini dapat diaplikasikan sebagai bahan bakar mesin diesel.

Angka setana menunjukkan kualitas pembakaran bahan bakar diesel dan menentukan tingkat kesempurnaan pembakaran biodiesel. Nilai angka setana yang rendah menyebabkan terjadinya keterlambatan proses pembakaran biodiesel pada ruang pembakaran.

Tabel 2. Karakteristik biodiesel yang dihasilkan dari proses transesterifikasi *in situ* biji jarak pagar pada kondisi proses optimum (jenis pereaksi: metanol, kecepatan pengadukan: 800 rpm, suhu reaksi: 50°C)

Parameter uji	Unit	Nilai	Standar Biodiesel Indonesia
Viskositas (40°C)	cSt	3,49	2,3 - 6,0
Densitas (40°C)	kg/L	0,885	0,850 - 0,890
Titik nyala	°C	107	Min 100
Titik kabut	°C	11	Maks 18
Titik tuang	°C	0	-
Air dan sedimen	% volume	Trace	Maks 0,05
Bilangan asam	mg KOH/g	0,35	Maks 0,8
Bilangan penyabunan	mg KOH/g	198,52	-
Bilangan iod	g Iod/100 g	82,34	Maks 115
Abu tersulfatkan	% berat	0	Maks 0,02
Angka setana	-	47	Min 48
Nilai kalor	MJ/kg	39,700	Min 40 (ASTM))

Densitas biodiesel lebih tinggi dari petrodiesel. Hal ini karena bobot molekul metil atau etil ester lebih tinggi dibandingkan dengan bobot molekul petrodiesel.

Bilangan iod biodiesel yang dihasilkan dari penelitian ini cukup rendah. Seperti halnya viskositas, bilangan iod biodiesel sangat ditentukan oleh asam lemak penyusun metil atau etil esternya.

Titik awan digunakan untuk menentukan saat kristal muncul dan mulai mengendap. Dengan komposisi asam lemak yang didominasi oleh asam lemak tak jenuh, biodiesel jarak pagar memiliki titik awan yang relatif rendah. ASTM tidak menentukan batas minimumnya, tetapi negara-negara tertentu sangat memperhatikan parameter ini berkaitan dengan kesulitan menghidupkan mesin pada musim dingin.

Biodiesel yang dihasilkan dari penelitian ini memiliki titik nyala sebesar 107°C. Biodiesel dengan titik nyala lebih dari 100°C masih memenuhi standar untuk dijadikan bahan bakar diesel. Titik nyala yang tinggi menunjukkan bahwa biodiesel yang dihasilkan dari penelitian ini lebih aman dan lebih mudah penanganannya.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Pada studi ini telah diperlihatkan bahwa proses produksi biodiesel dapat dilakukan secara langsung dari biji jarak pagar melalui proses transesterifikasi *in situ* baik dengan pereaksi metanol ataupun etanol. Kecepatan pengadukan dan suhu reaksi berpengaruh sangat signifikan terhadap rendemen biodiesel yang dihasilkan, sedangkan kualitas biodiesel dipengaruhi secara signifikan oleh jenis pereaksi yang digunakan dan suhu reaksi.

Kondisi proses terbaik untuk proses transesterifikasi *in situ* biji jarak pagar dengan pereaksi metanol dan etanol diperoleh masing-masing pada kecepatan pengadukan 800 dan 900 rpm, dan suhu reaksi 50°C. Pada kondisi proses tersebut rendemen biodiesel yang dihasilkan masing-masing sebesar 82,2% dan 82,5% dengan kualitas biodiesel yang sangat memuaskan. Biodiesel yang dihasilkan dari proses transesterifikasi *in situ* biji jarak pagar memenuhi Standar Biodiesel Indonesia sehingga secara teknis memenuhi syarat untuk digunakan sebagai bahan bakar otomotif.

Saran

Pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan kajian tentang proses transesterifikasi *in situ* biji jarak pagar pada berbagai kondisi proses pada skala pilot dan penambahan *co-solvent* untuk meningkatkan rendemen biodiesel dan mengoptimalkan kondisi proses.

DAFTAR PUSTAKA

- Achten WMJ, Verchot L, Franken YJ, Mathijs E, Singh VP, Aerts R, Muys B. 2008. Jatropha Biodiesel Production and Use. *Biomass and Bioenergy* 32:1063-1084.
- AOAC. 1995. Official Method of Analysis of Analytical Chemistry. Washington DC: Association of Official Analytical Chemist.
- Canakci M dan Gerpen JV. 2001. Biodiesel from Oils And Fats With High Free Fatty Acids. *Trans. Am. Soc. Automotive Engine* 44:1429-1436.
- Campbell EJ. 1983. Sunflower oil. *Journal of American Oil Chemists' Society* 60: 387-392.

- Foidl N, Foidle GG, Sanchez M, Mittelbach M, Hackel S. 1996. *Jatropha Curcas* as A Source for the Production of Biofuel In Nicaragua. *Bioresource Technology* 58:77-82.
- 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.
- Gubiz GM, Mittelbach M, Trabi M. 1999. Exploitation of The Tropical Oil Seed Plant *Jatropha curcas* L. *Bioresource Technology* 67:73-82.
- Haas MJ, Scott KM, Marmer WN, Foglia TA. 2004. In Situ Alkaline Transesterification: an Effective Method for The Production of Fatty Acid Esters from Vetable Oils. *Journal of American Oil Chemists' Society* 81: 83-89.
- Harrington KJ dan D'Arcy-Evans C. 1985. Transesterification In Situ of Sunflower Seed Oil. *Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev.* 24: 314-318.
- Knothe G. 2004. Viscosity of Biodiesel. Illinois: AOCS Press.
- Knothe G. 2006. Analyzing Biodiesel: Standards and Other Methods. *Journal of American Oil Chemists' Society* 83:823-833.
- Kumar A dan Sharma S. 2008. An Evaluation of Multipurpose Oil Seed Crop for Industrial Uses (*Jatropha curcas* L.): A review. *Industrial Crops and Products* 28: 1-10.
- Ma F dan Hanna MA. 1999. Biodiesel Production: A Review. *Bioresource Technology* 70: 1-15.
- Montgomery CD. 2001. Design and Analysis of Experiments. USA: John Wiley & Sons Inc.
- Openshaw K. 2000. A review of *Jatropha curcas*: An oil plant of unfulfilled promise. *Biomass and Bioenergy* 19: 1-15.
- Ozgul-Yucel S dan Turkay S. 2003. FA Monoalkylester from Rice Bran Oil by In Situ Transesterification. *Journal of American Oil Chemists' Society* 8: 81-84.
- Qian J, Wang F, Liu S, Yun Z. 2008. In situ Alkaline Transesterification of Cotton Seed Oil for Production of Biodiesel and Non Toxic Cotton Seed Meal. *Bioresource Technology* 99:9009-9012.
- Siler-Marinkovic S dan Tomasevic A. 1998. Transesterification of Sunflower Oil In Situ. *Fuel* 77:1389-1391.
- SNI. 1992. Cara Uji Makanan dan Minuman. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- SNI. 2006. Biodiesel. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- Swern D. 1982. Bailey's Industrial Oil and Fat Products, 4th ed. New York: John Wiley and Sons.