

TRANSESTERIFIKASI *IN SITU* BIJI JARAK: PENGARUH KADAR AIR DAN UKURAN PARTIKEL BAHAN TERHADAP RENDEMEN DAN KUALITAS BODIESEL

In Situ Transesterification of Jatropha Seeds: Effect of Moisture Content and Particle Size on Yield and Quality of Biodiesel

Ika Amalia Kartika¹, Sri Yuliani², Danu Ariono³, Sugiarto¹

¹Departemen Teknologi Industri Pertanian, FATETA-IPB, Kampus Darmaga P.O. Box 220, Bogor 16002; ²Balai Besar Litbang Pascapanen Pertanian; Jl. Tentara Pelajar 12; ³Departemen Teknik Kimia, FTI-ITB, Jl. Ganesha 10, Bandung 40132
Email: ikatk@yahoo.com

ABSTRAK

Kegiatan penelitian ini bertujuan untuk mempelajari proses produksi biodiesel secara langsung dari biji jarak melalui proses transesterifikasi *in situ*. Parameter kondisi proses yang dipelajari adalah pengaruh kadar air (0,5, 2, 3 dan 4 %) dan ukuran partikel bahan (10, 20 dan 35 mesh) terhadap rendemen biodiesel dan kualitasnya. Kadar air dan ukuran partikel bahan berpengaruh nyata terhadap rendemen biodiesel. Semakin kecil kadar air dan ukuran partikel bahan, rendemen biodiesel dan efektifitas proses transesterifikasi *in situ* biji jarak semakin meningkat. Rendemen biodiesel tertinggi (71 %) dihasilkan dari perlakuan kadar air dan ukuran partikel bahan 0,5 % dan 35 mesh. Biodiesel yang dihasilkan dari proses transesterifikasi *in situ* biji jarak mempunyai bilangan asam, viskositas, air dan sedimen yang relatif rendah, yaitu 0,27 mg KOH/g biodiesel, < 3,5 cSt dan < 0,05 %, serta memenuhi Standar Biodiesel Indonesia. Pengaruh kadar air dan ukuran partikel bahan terhadap air dan sedimen, bilangan asam dan viskositas biodiesel tidak signifikan untuk seluruh perlakuan yang diuji pada penelitian ini. Biodiesel yang dihasilkan dari proses transesterifikasi *in situ* biji jarak juga mempunyai bilangan penyabunan dan ester yang cukup tinggi, yaitu > 210 mg KOH/g biodiesel. Ukuran partikel bahan tidak berpengaruh nyata terhadap bilangan penyabunan dan ester biodiesel, sedangkan kadar air bahan menunjukkan pengaruh yang nyata.

Kata kunci: Transesterifikasi, *in situ*, biji jarak, biodiesel

ABSTRACT

The objective of this study was to investigate in situ transesterification process allowing to realize directly biodiesel production from jatropha seeds. The influence of moisture content (0.5, 2, 3 and 4 %) and particle size (10, 20 and 35 mesh) of jatropha seeds was examined to determine the best performance of the biodiesel production yield and its quality. Generally, the moisture content and particle size of jatropha seeds affected biodiesel production yield. An increase of biodiesel production yield was observed as moisture content and particle size of jatropha seeds were decreased. Highest biodiesel production yield (71 %) was obtained under seed moisture content of 0.5 % and particle size of 35 mesh. Effect of the moisture content and particle size of jatropha seeds on biodiesel quality was less important. In all experiments tested, the biodiesel quality was very good. The acid value was below 0.3 mg KOH/g of biodiesel, water and sediment content was very poor (< 0.05 %), viscosity was low (< 3.5 cSt), soap and ester values were high (> 210 mg KOH/g of biodiesel). In addition, quality of biodiesel produced under optimum process condition was in accord with Indonesian Biodiesel Standard.

Keyword: Transesterification, in situ, jatropha seed, 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, telah mendapat perhatian banyak pihak, dan komersialisasinya pun telah menunjukkan prospek yang cerah. Pengembangan pesat biodiesel berbahan baku jarak 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 dapat dibudidayakan dengan mudah, tidak memerlukan lahan yang subur dan biaya yang mahal (Openshaw, 2000; Achten dkk., 2008; Kumar dan Sharma, 2008).

Proses produksi biodiesel dari biji jarak umumnya dilakukan melalui 2 tahap yaitu tahap ekstraksi minyak dari biji jarak dan tahap transesterifikasi minyak jarak menjadi biodiesel. Ekstraksi minyak jarak umumnya dilakukan secara mekanik menggunakan *expeller* atau *hydraulic press* yang kemudian diikuti oleh ekstraksi dengan heksan (Campbell, 1983). Adapun transesterifikasi minyak jarak menjadi biodiesel umumnya dilakukan melalui proses transformasi kimia dengan menggunakan pereaksi metanol atau etanol dan katalisator asam atau basa (Foidl dkk., 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 dkk., 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 Turkay, 2003; Haas dkk., 2004; Georgogianni dkk., 2008; Qian dkk., 2008). Proses transesterifikasi *in situ* biji bunga matahari pada perbandingan molar metanol/trigliserida yang terkandung dalam bahan/ H_2SO_4 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 Turkay (2003) pada penelitiannya tentang transesterifikasi *in situ rice bran* dengan katalis asam (H_2SO_4) 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 dkk. (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 dkk., 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 dkk., 2008).

Penelitian ini mempunyai tujuan umum untuk mempelajari proses produksi biodiesel secara langsung dari biji jarak 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 dan produk samping yang bernilai tambah tinggi. Adapun tujuan khususnya adalah untuk mempelajari proses transesterifikasi *in situ* biji jarak pada berbagai kondisi proses. Parameter kondisi proses yang dipelajari adalah pengaruh kadar air (0.5, 2, 3 dan 4 %) dan ukuran partikel bahan (10, 20 dan 35 mesh) terhadap rendemen dan kualitas biodiesel yang dihasilkan.

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah buah jarak, yang diperoleh dari Kebun Induk Jarak Balitri-Deptan, Pakuwon-Sukabumi. Pelarut dan bahan-bahan kimia yang digunakan adalah teknis dan *analytical grade*. Metanol dan KOH teknis masing-masing diperoleh dari AppliChem dan Sigma-Aldrich (Indonesia), sedangkan pelarut (heksan, etanol absolut) dan bahan-bahan kimia (HCl, KOH, H₂SO₄, KI, NaOH, Na₂S₂O₃, CuSO₄, Na₂SO₄, larutan Wijs, indikator PP dan mensesel) untuk analisis masing-masing diperoleh dari J.T. Baker dan Sigma-Aldrich (Indonesia).

Metode

1. Persiapan bahan baku

Persiapan bahan baku bertujuan untuk mempersiapkan dan mengkarakterisasi bahan sebelum digunakan dalam penelitian. Bahan baku dipersiapkan dengan pengupasan buah jarak dan pengeringan biji jarak pada suhu 50°C selama 48 jam. Biji jarak kering kemudian dikarakterisasi dengan menganalisis keasaman (SNI 04-7182-2006), kadar air (AOAC 950.46-1995), minyak (SNI 01-2891-1992), abu (AOAC 923.03-1995), protein (AOAC 991.20-1995 dan karbohidrat (*by difference*). Selain itu, komposisi asam lemak minyak jarak dianalisis menggunakan kromatografi gas (*FAME Method*).

2. Pengaruh kadar air dan ukuran partikel bahan terhadap rendemen dan kualitas

Proses transesterifikasi *in situ* dilakukan untuk mengkonversi secara langsung trigliserida yang terkandung dalam biji jarak menjadi metil ester. Kondisi proses ditentukan berdasarkan kadar air bahan (0,5, 2, 3, 4%) dan ukuran partikel bahan (10, 20 dan 35 mesh), dengan kondisi operasi ditetapkan pada suhu 60°C, waktu 240 menit dan kecepatan pengadukan 700 rpm. Untuk mendapatkan biji jarak dengan kadar air dan ukuran partikel tertentu, biji jarak hasil dari tahapan persiapan bahan baku dikeringkan kembali pada suhu 50 - 90°C selama waktu tertentu (2 - 4 hari) tergantung pada kadar air yang ingin dicapai, kemudian digiling dan disaring menggunakan saringan dengan ukuran tertentu (10 - 35 mesh).

Katalis KOH 0.1 mol/L digunakan dalam bentuk campuran dengan metanol. Campuran metanol-KOH diaduk selama sekitar 10 menit, dan dituangkan secara perlahan-lahan ke dalam labu leher tiga yang telah diisi bahan pada ukuran dan kadar air tertentu sambil diaduk secara kontinyu. Campuran terus diaduk selama waktu 240 menit pada suhu

60°C menggunakan *hot plate stirrer* yang dilengkapi dengan pengaduk magnetik. Campuran dibiarkan sampai dingin, kemudian filtrat dipisahkan dari ampas. Filtrat yang terpisah, selanjutnya dievaporasi dan didekantasi untuk memisahkan gliserol dari metil ester. Lapisan gliserol berada dibawah dan berwujud semi padat. Metil ester 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).

3. Rancangan percobaan

Rancangan percobaan yang digunakan pada penelitian ini adalah rancangan acak lengkap faktorial dengan dua faktor, yaitu kadar air bahan (A) dan ukuran partikel bahan (B). Percobaan dilakukan dengan 2 kali ulangan untuk seluruh perlakuan. Faktor A terdiri dari 4 taraf, sedang faktor B terdiri dari 3 taraf. Model rancangan percobaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Keterangan:

- Y_{ijk} : Hasil pengamatan pengaruh faktor A taraf ke-i, faktor B taraf ke-j, dan ulangan ke-k
- μ : Pengaruh rata-rata sebenarnya/rata-rata umum
- A_i : Pengaruh faktor A pada taraf ke-i (i = 1, 2, 3, 4)
- B_j : Pengaruh faktor B pada taraf ke-j (j = 1, 2, 3)
- $(AB)_{ij}$: Pengaruh interaksi faktor A taraf ke-i dengan faktor B taraf ke-j
- ϵ_{ijk} : Pengaruh galat dari faktor A taraf ke-i, faktor B taraf ke-j dan ulangan ke-k

Untuk mengetahui pengaruh faktor-faktor tersebut, data-data hasil penelitian selanjutnya dianalisis sidik ragamnya (ANOVA) menggunakan $\alpha = 0.05$, dan dilanjutkan dengan uji lanjut Duncan ($\alpha = 0.05$).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Persiapan Bahan Baku

Dari tahap persiapan bahan baku diketahui bahwa buah jarak yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari 23 % biji dan 77 % cangkang, sedangkan biji jarak terdiri dari 37 % cangkang dan 63 % daging biji. Tabel 1 menunjukkan karakteristik dan sifat fisikokimia biji jarak yang digunakan

dalam penelitian ini. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa keasaman biji jarak tersebut relatif rendah, ± 3.5 mg KOH/g sampel ($\cong 1.75$ %), sehingga cocok untuk proses transesterifikasi satu tahap dimana proses tersebut dapat berjalan secara efisien apabila keasaman bahan baku yang digunakan < 3 % (Canakci dan Gerpen, 2001). Selain keasamannya yang relatif rendah, biji jarak yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai kadar minyak yang cukup tinggi (38 %) dan komposisi asam lemaknya didominasi oleh asam lemak oleat dan linoleat. Dibandingkan dengan hasil penelitian-penelitian sebelumnya (Foidl dkk., 1996; Gubiz dkk., 1999) kadar minyak biji jarak yang digunakan dalam penelitian ini relatif lebih kecil. Perbedaan tersebut tentunya akibat perbedaan varietas, umur panen dan kondisi tempat tumbuh tanaman jarak tersebut.

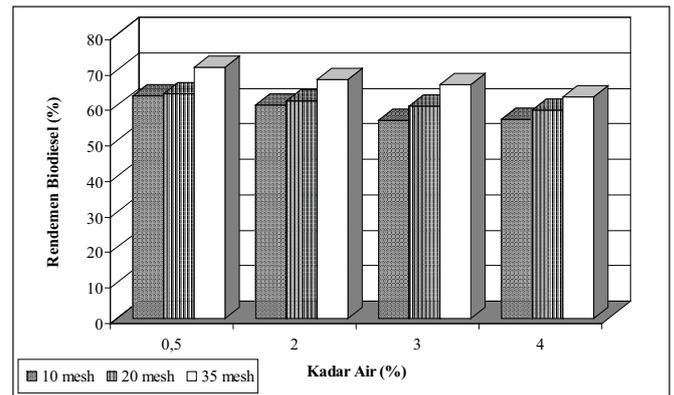
Tabel 1. Karakteristik dan sifat fisikokimia biji jarak

Parameter	Nilai
Kadar air (%)	4.14
Kadar minyak (%)	37.51
Kadar abu (%)	3.67
Kadar protein (%)	21.05
Kadar karbohidrat (%)	33.63
Kadar asam (mg KOH/g)	3.47
Komposisi asam lemak (%):	
- Asam laurat	1.02
- Asam palmitat	7.01
- Asam stearat	1.49
- Asam oleat	46.84
- Asam linoleat	43.64

Pengaruh Kadar Air dan Ukuran Partikel Bahan Terhadap Rendemen Biodiesel

Gambar 1 menunjukkan pengaruh kadar air dan ukuran partikel bahan terhadap rendemen biodiesel yang dihasilkan. Dari Gambar 1 dapat diamati bahwa penurunan kadar air dan ukuran partikel bahan meningkatkan rendemen biodiesel masing-masing sebesar 4 – 9 % dan 7 – 10 %. Rendemen biodiesel tertinggi (71 %) dihasilkan dari perlakuan kadar air dan ukuran partikel bahan 0.5 % dan 35 mesh. Phenomena yang sama juga teramati pada kasus transesterifikasi *in situ* biji kapas dimana konversi minyak menjadi metil ester dapat mencapai 98 % pada kondisi proses kadar air biji < 2 % dan ukuran partikel bahan 0.3 - 0.335 mm (Qian dkk., 2008). Ekstraksi minyak nabati dengan menggunakan pelarut, efisiensinya secara signifikansi dipengaruhi oleh kadar air dan ukuran partikel bahan (Swern, 1982). Semakin kecil kadar air bahan kelarutan minyak dalam bahan akan semakin tinggi, sehingga tingkat ekstraksi minyak pun akan semakin tinggi. Demikian halnya dengan ukuran partikel bahan, semakin kecil ukuran partikel bahan luas permukaan kontak antara

bahan dengan pelarut akan semakin tinggi sehingga tingkat ekstraksi minyak pun akan semakin tinggi. Selain pengaruhnya terhadap efektifitas ekstraksi minyak, keberadaan air pada bahan akan menyebabkan saponifikasi ester sehingga akan mempengaruhi efisiensi proses transesterifikasi. Dengan demikian semakin kecil kadar air bahan efisiensi proses transesterifikasi dan rendemen biodiesel yang dihasilkan akan semakin meningkat.



Gambar 1. Pengaruh kadar air dan ukuran partikel bahan terhadap rendemen biodiesel

Analisis sidik ragam dengan tingkat kepercayaan 95 % menunjukkan bahwa kadar air dan ukuran partikel bahan berpengaruh nyata terhadap rendemen biodiesel, tetapi interaksi antara kedua perlakuan tersebut tidak menunjukkan pengaruh yang nyata. Penurunan kadar air dan ukuran partikel bahan mampu meningkatkan efektifitas proses transesterifikasi dan rendemen biodiesel yang dihasilkan.

Berdasarkan analisis lanjut Duncan dengan tingkat kepercayaan 95 % terhadap perlakuan kadar air bahan menunjukkan bahwa kadar air bahan 0.5 dan 2 % memberikan perbedaan yang signifikan terhadap rendemen biodiesel yang dihasilkan dibandingkan perlakuan-perlakuan lainnya (3 dan 4 %). Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan bahan baku dengan kadar air rendah (0.5 %) pada proses transesterifikasi *in situ* biji jarak dapat menghasilkan biodiesel dengan rendemen optimum.

Analisis lanjut Duncan terhadap perlakuan ukuran partikel bahan menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan pada seluruh perlakuan ukuran partikel bahan terhadap rendemen biodiesel yang dihasilkan. Namun demikian, rendemen biodiesel tertinggi dihasilkan dari perlakuan ukuran partikel bahan sebesar 35 mesh.

Pengaruh Kadar Air dan Ukuran Partikel Bahan Terhadap Kualitas Biodiesel

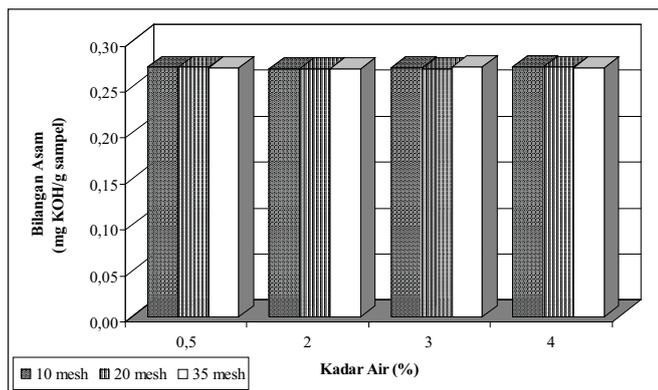
Pengaruh kadar air bahan terhadap kualitas biodiesel yang dihasilkan pada berbagai ukuran partikel bahan

ditunjukkan pada Gambar 2, 3, 4 dan 5. Kualitas biodiesel ditentukan oleh kemurnian senyawa metil ester di dalam biodiesel. Senyawa selain metil 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.

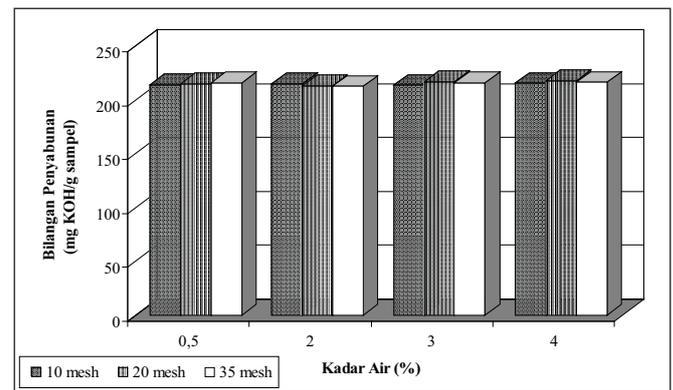
Dari Gambar 2 dapat diamati bahwa bilangan asam biodiesel yang dihasilkan dari seluruh perlakuan sangat rendah (< 0.3 mg KOH/g biodiesel) dan memenuhi Standar Biodiesel Indonesia (maksimum 0.8 mg KOH/g biodiesel). Kadar air

biji jarak yang digunakan untuk proses transesterifikasi *in situ* pada rentang yang dipelajari dalam penelitian ini (0.5 – 4 %) tidak mempengaruhi bilangan asam biodiesel yang dihasilkan. Demikian halnya dengan ukuran partikel bahan. Kualitas bahan baku (biji jarak) yang baik, terutama bilangan asamnya yang dipertahankan < 6 mg KOH/g biodiesel, mampu menghasilkan biodiesel dengan bilangan asam yang rendah. Jadi penanganan pasca panen bahan baku yang baik sangat diperlukan untuk menjaga kualitasnya, dan kualitas biodiesel yang akan diproduksi. Analisis sidik ragam dengan tingkat kepercayaan 95 % menunjukkan bahwa kadar air dan ukuran partikel bahan tidak berpengaruh nyata terhadap bilangan asam biodiesel yang dihasilkan. Demikian halnya dengan interaksi antara kedua perlakuan tersebut.

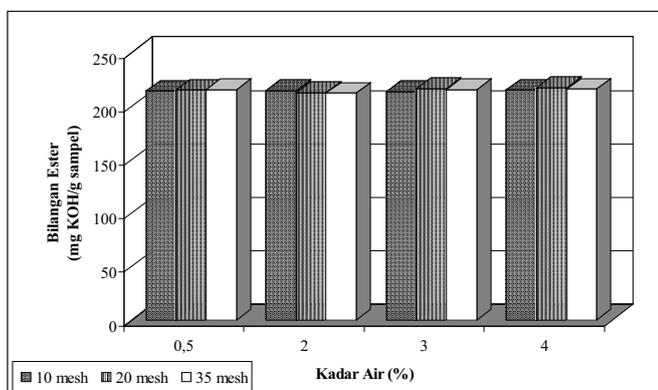
Bilangan penyabunan biodiesel yang dihasilkan dari seluruh perlakuan (Gambar 3) menunjukkan nilai yang cukup tinggi (> 210 mg KOH/g biodiesel) dan relatif stabil dengan meningkatnya kadar air dan ukuran partikel bahan. Biodiesel yang mempunyai bilangan penyabunan tinggi menunjukkan kandungan senyawa intermediet (mono- dan digliserida) dan senyawa trigliserida yang tidak bereaksinya rendah.



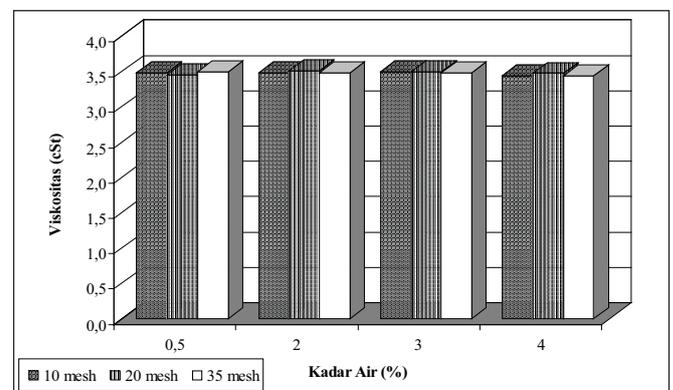
Gambar 2. Pengaruh kadar air dan ukuran partikel bahan terhadap bilangan asam biodiesel



Gambar 3. Pengaruh kadar air dan ukuran partikel bahan terhadap bilangan penyabunan biodiesel



Gambar 4. Pengaruh kadar air dan ukuran partikel bahan terhadap bilangan ester biodiesel



Gambar 5. Pengaruh kadar air dan ukuran partikel bahan terhadap viskositas biodiesel

Analisis sidik ragam dengan tingkat kepercayaan 95 % menunjukkan bahwa ukuran partikel bahan tidak berpengaruh nyata terhadap bilangan penyabunan biodiesel yang dihasilkan, sedangkan kadar air bahan dan interaksi antara kedua perlakuan tersebut menunjukkan pengaruh yang nyata. Analisis lanjut Duncan dengan tingkat kepercayaan 95 % terhadap perlakuan kadar air bahan menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan pada kadar air bahan 2 % terhadap bilangan penyabunan biodiesel yang dihasilkan. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan bahan baku dengan kadar air 2 % pada proses transesterifikasi *in situ* biji jarak dapat menghasilkan biodiesel dengan bilangan penyabunan rendah.

Analisis lanjut Duncan terhadap interaksi perlakuan kadar air dan ukuran partikel bahan menunjukkan bahwa perlakuan kadar air 4 % dan ukuran partikel 20 mesh berbeda nyata dengan perlakuan kadar air 0.5, 2, 3, 4 % dan ukuran partikel bahan 10 mesh. Selain itu, perlakuan tersebut berbeda nyata dengan perlakuan kadar air 0.5, 2 % dan ukuran partikel bahan 20 mesh, serta perlakuan kadar air 2 % dan ukuran partikel bahan 35 mesh. 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. Semakin tinggi bilangan ester menunjukkan semakin banyaknya jumlah senyawa ester di dalam campuran dan tingginya tingkat efektifitas proses transesterifikasi. Dari Gambar 4 dapat diamati bahwa bilangan ester biodiesel yang dihasilkan dari seluruh perlakuan cukup tinggi (> 210 mg KOH/g biodiesel) dan relatif stabil dengan peningkatan kadar air dan ukuran partikel bahan.

Analisis sidik ragam dengan tingkat kepercayaan 95 % menunjukkan bahwa kadar air bahan berpengaruh nyata terhadap bilangan ester biodiesel yang dihasilkan, sedangkan ukuran partikel bahan dan interaksi antara kedua perlakuan tersebut pengaruhnya tidak nyata. Analisis lanjut Duncan dengan tingkat kepercayaan 95 % terhadap perlakuan kadar air bahan menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan pada kadar air bahan 2 % terhadap bilangan ester biodiesel yang dihasilkan. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan bahan baku dengan kadar air 2 % pada proses transesterifikasi *in situ* biji jarak dapat menghasilkan biodiesel dengan bilangan ester rendah. Walaupun rendemen biodiesel yang dihasilkannya cukup tinggi, namun bilangan esternya lebih kecil dari perlakuan kadar air bahan 3 dan 4 %.

Parameter lainnya yang menentukan kualitas biodiesel adalah viskositas. Viskositas yang tinggi merupakan alasan utama mengapa minyak nabati tidak dapat digunakan

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 ester, maka akan meningkatkan viskositas dari biodiesel. Sedangkan semakin banyak jumlah ikatan rangkap pada asam lemak akan menurunkan viskositas biodiesel. Ketidaktepatan proses transesterifikasi untuk mengkonversi trigliserida menjadi metil ester menghasilkan senyawa intermediet seperti mono- dan digliserida yang akan meningkatkan viskositas biodiesel.

Gambar 5 menunjukkan pengaruh kadar air dan ukuran partikel bahan terhadap viskositas biodiesel yang dihasilkan. Dari Gambar 5 dapat diamati bahwa viskositas biodiesel yang dihasilkan dari seluruh perlakuan sangat rendah (< 3.5 cSt) dan memenuhi Standar Biodiesel Indonesia (maksimum 6.0 cSt). Kadar air biji jarak yang digunakan untuk transesterifikasi *in situ* pada rentang yang dipelajari dalam penelitian ini (0.5 – 4%) tidak mempengaruhi viskositas biodiesel yang dihasilkan. Demikian halnya dengan ukuran partikel bahan.

Analisis sidik ragam dengan tingkat kepercayaan 95% menunjukkan bahwa kadar air dan ukuran partikel bahan tidak berpengaruh nyata terhadap viskositas biodiesel yang dihasilkan. Demikian halnya dengan interaksi antara kedua perlakuan tersebut.

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

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 kadar air dan ukuran partikel bahan terhadap kadar air dan sedimen.

Berdasarkan hasil-hasil tersebut diatas, perlakuan yang memberikan rendemen dan kualitas biodiesel terbaik adalah perlakuan dengan kadar air bahan 0.5 % dan ukuran partikel bahan 35 mesh. 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 proses optimum 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.

Tabel 2. Karakteristik biodiesel yang dihasilkan dari proses transesterifikasi *in situ* biji jarak pada kondisi proses optimum

Parameter uji	Unit	Nilai
Viskositas (40°C)	cSt	3.48
Densitas (40°C)	kg/L	0.885
Flash Point	°F	238
Smoke point	mm	10
Air dan sedimen	% volume	Trace
Bilangan asam	mg KOH/g	0.27
Bilangan penyabunan	mg KOH/g	215.42
Bilangan iod	g Iod/100 g	82.34
Angka setana	-	47
Nilai kalor	MJ/kg	39.257 (<i>Gross</i>) 38.270 (<i>Net</i>)

Angka setana seperti telah dijelaskan sebelumnya 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.

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

Bilangan iod biodiesel yang dihasilkan dari penelitian ini cukup rendah, dan memenuhi Standar Biodiesel Indonesia (maksimum 115 g Iod/100 g biodiesel). Seperti halnya viskositas, bilangan iod biodiesel sangat ditentukan oleh asam lemak penyusun metil esternya.

Titik awan digunakan untuk menentukan saat kristal muncul dan mulai mengendap. Dengan komposisi asam lemak yang didominasi oleh asam lemak tak jenuh, metil ester 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 pijar sebesar 238°F atau 114.5°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

Kondisi proses optimum untuk transesterifikasi *in situ* biji jarak diperoleh pada kadar air bahan 0.5 % dan ukuran partikel bahan 35 mesh. Pada kondisi proses optimum tersebut rendemen biodiesel yang dihasilkan sebesar 71% dengan kualitas yang sangat memuaskan. Kadar air dan ukuran partikel bahan berpengaruh sangat signifikan terhadap rendemen, tetapi kurang berpengaruh terhadap kualitas biodiesel yang dihasilkan.

Biodiesel yang dihasilkan dari proses transesterifikasi *in situ* biji jarak memenuhi Standar Biodiesel Indonesia sehingga secara teknis memenuhi syarat untuk digunakan sebagai bahan bakar otomotif.

Untuk meningkatkan rendemen biodiesel, perlu kajian tentang proses transesterifikasi *in situ* biji jarak pada berbagai kondisi operasi (ratio metanol/bahan (b/v), jenis dan konsentrasi katalis, suhu, kecepatan pengadukan dan waktu proses), sehingga proses tersebut dapat menjadi lebih efektif dan efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- Achten, W.M.J., Verchot, L., Franken, Y.J., Mathijs, E., Singh, V.P., 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*. Association of Official Analytical Chemist. Washington DC.
- Canakci, M. dan Gerpen, J.V. (2001). Biodiesel from oils and fats with high free fatty acids. *Trans. Am. Soc. Automotive Engine* 44:1429-1436.
- Campbell, E.J. (1983). Sunflower oil. *Journal of American Oil Chemists' Society* 60 387-392.
- Foidl, N., Foidle, G.G., Sanchez, M., Mittelbach, M. dan Hackel S. (1996). *Jatropha curcas* as a source for the production of biofuel in Nicaragua. *Bioresource Technology* 58: 77-82.

- Georgogianni, K.G., Kontominas, M.G., Pomonis, P.J., Avlonitis, D. dan Gergis, V. (2008). Conventional and in situ transesterification of sunflower seed oil for the production of biodiesel. *Fuel Processing Technology* 89:503-509.
- Gubiz, G.M., Mittelbach, M. dan Trabi, M. (1999). Exploitation of the tropical oil seed plant *Jatropha curcas* L. *Bioresource Technology* 67: 73-82.
- Haas, M.J., Scott, K.M., Marmer, W.N. dan Foglia, T.A. (2004). In situ alkaline transesterification: An effective method for the production of fatty acid esters from vegetable oils. *Journal of American Oil Chemists' Society* 81:83-89.
- Harrington, K.J. 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*. AOCS Press, Illinois.
- 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, M.A. (1999). Biodiesel Production: A review. *Bioresource Technology* 70: 1-15.
- Openshaw, K. (2000). A review of *Jatropha curcas*: An oil plant of unfulfilled promise. *Biomass and Bioenergy* 19:1-15.
- Ozgul-Yucel, S. dan Turkyay, S. (2003). FA monoalkylester from rice bran oil by in situ transesterification. *Journal of American Oil Chemists' Society* 81:81-84.
- Qian, J., Wang, F., Liu, S. dan 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*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- SNI (2006). *Biodiesel*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- Swern, D. (ed.). (1982). *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*, 4th edition. John Wiley and Sons, New York.