

# ESTERIFIKASI-TRANSESTERIFIKASI DAN KARAKTERISASI MUTU BIODIESEL DARI BIJI JARAK PAGAR (*Jatropha curcas* Linn)

(ESTERIFICATION - TRANSESTERIFICATION AND CHARACTERIZATION OF BIODIESEL QUALITY FROM *Jatropha curcas* Linn)

Rizal Alamsyah, Eddy Hawani Lubis dan Nobel Christian Siregar

Balai Besar Industri Agro (BBIA), Kementerian Perindustrian  
Jl. Ir. H. Juanda No.11 Bogor

E-mail : [rizalams@yahoo.com](mailto:rizalams@yahoo.com)

Received 25 Maret 2011; revised 31 Maret 2011; accepted 11 April 2011

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengolah minyak jarak pagar yang diperoleh dari biji jarak pagar (*Jatropha curcas* Linn) menjadi biodiesel, mempelajari pengaruh penambahan antioksidan *Butylated Hidroxy Toluene (BHT)* pada tahap pemurnian terhadap mutu biodiesel yang dihasilkan dan menentukan kondisi optimum proses pembuatan biodiesel dari biji jarak pagar skala laboratorium. Minyak jarak pagar diekstraksi dengan cara pengempaan *jackpress* 50 ton pada kondisi suhu 60°C selama 1 jam. Konversi trigliserida (TG) menjadi metil ester dari asam lemak jarak pagar dilakukan dengan esterifikasi dan transesterifikasi pada suhu 60°C, menggunakan metanol 98% katalis NaOH 0,5%. *Butylated Hidroxy Toluene (BHT)* ditambahkan untuk mempertahankan keasaman minyak jarak dengan konsentrasi sebesar 0,3%. Hasil percobaan menunjukkan hasil pengepresan minyak biji jarak mencapai 35,47%. Sintesa TG menjadi asam lemak metil ester (biodiesel) mencapai 96%. Nilai bilangan asam, bilangan iod, bilangan penyabunan masing-masing sebesar 0,404 mg KOH/g; 95,36 mg I/100 g ; 180,397 mg KOH/g, sementara viskositas kinematik biodiesel jarak pagar masih tinggi, yaitu 11,245 cSt pada suhu 40°C. Indeks setana dan titik nyala adalah 44 dan 147°C. Nilai parameter tersebut masih sesuai dengan standar SNI 04-7182-2006, kecuali viskositas yang masih diatas ambang batas yang diijinkan (2,3-6,0 cSt) dan angka setana yang belum memenuhi persyaratan minimal yang ditetapkan (minimal 51).

Kata kunci : *Jatropha curcas*, Biodiesel, Esterifikasi, Transesterifikasi, *Butylated Hidroxy Toluene (BHT)*

## ABSTRACT

The research was aimed to process physical nut (*Jatropha curcas* Linn) seed into biodiesel. Investigation on the effect of addition an antioxidant of *Butylated Hydroxy Toluene (BHT)* on purification step toward biodiesel quality and obtaining the optimum condition to biodiesel process from physical nut seed at laboratory scale. *Jatropha curcas* oil was extracted with 50 ton pressure of jack press at 60°C. Conversion of triglyceride (TG) into fatty acid methyl ester (FAME/biodiesel) with esterification and transesterification process oil was conducted through esterification and transesterification process at 60°C by reacting *jatropha* oil with methanol 98 %, and NaOH 0.1 % as catalyst. *Butylated Hydroxy Toluene (BHT)* was used to maintain acidity of *jatropha* oil with concentration of 0,3 %. The results indicated that mechanical extraction of *jatropha* oil using jack press gave maximum yield of 35,47%, meanwhile conversion TG into fatty acid methyl ester or biodiesel was 96.5 %. The experiment results also showed that biodiesel produced has characteristics as follow: acid number was 0,404 mg KOH/g, iodine value was 95,36 mg I/100 g, saponification number was 180,397 mg KOH/g, whereas kinematic viscosity of biodiesel was still high i.e 11.245 cSt at 40°C. Cetane index and flash point were 44 and 147°C. The biodiesel parameter is still in accordance with Indonesian Standard SNI 04-7182-2006 except viscosity and cetane number.

Keyword : *Jatropha curcas*, Biodiesel, Esterification, Transesterification, *Butylated Hidroxy Toluene (BHT)*

## PENDAHULUAN

Biodiesel adalah sumber alternatif pengganti bahan bakar diesel yang berasal dari minyak nabati, lemak hewan dan minyak jelantah. Secara kimia, biodiesel adalah mono alkil ester yang diproses dengan metode transesterifikasi antara trigleserida yang berasal dari minyak nabati atau lemak hewani dengan alkohol rantai pendek terutama metanol (Krawczyk 1996; Tapasvi *et al.*, 2005; Ma dan Hanna 1999) atau kombinasi esterifikasi-transesterifikasi (Goebitz 1999) untuk digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel. Biodiesel dapat digunakan dalam bentuk murni, atau dalam bentuk campuran dengan minyak solar untuk mesin diesel. Penggunaan biodiesel sebagai bahan bakar untuk mesin diesel mempunyai beberapa keuntungan antara lain bisa mengurangi ketergantungan terhadap pasar minyak dunia, menjadikan substitusi bahan bakar solar (biosolar) dan bisa mengurangi emisi gas buang kendaraan (Wirawan *et al.* 2008; Carraretto *et. al.* 2004)

Jarak pagar (*Jatropha Curcas* Linn) merupakan tanaman yang tumbuh di daerah tropis dan subtropis. Tanaman ini dapat bertahan di daerah kering dan memiliki kandungan minyak *non-edible* sekitar 35% (Goebitz 1999). Dibandingkan dengan tanaman yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan biodiesel seperti biji bunga matahari, jarak kepyar, dan kacang tanah, maka tanaman jarak pagar ini tidak dapat dimakan atau beracun sehingga nilai ekonomi dari tanaman ini mutlak diperoleh dari pemanfaatannya sebagai biodiesel (Mittelbach and Remschmidt 2004; Knothe 2005).

Proses pembuatan biodiesel dengan menggunakan katalis yang umum dilakukan adalah menggunakan katalis basa dengan cara mereaksikan minyak jarak dengan metanol dan NaOH sebagai katalis. Reaksi minyak nabati dengan metanol dapat memutuskan trigliserida dari rantai karbon panjang yang terdapat pada minyak nabati dan ini menyebabkan viskositasnya bisa berkurang. Proses pemindahan alkohol dari ester oleh alkohol lain merupakan tahapan tiga reaksi reversibel. Tahap pertama merupakan konversi trigliserida menjadi digliserida kemudian konversi kedua digliserida menjadi monogliserida, selanjutnya mono-gliserida menjadi gliserin, proses ini disebut transesterifikasi (Kusdiana dan Saka 2000; Joelianingsih 2008).

Proses transesterifikasi mensyaratkan kadar keasaman minyak sebelum diproses harus rendah ( $< 1$ ). Kriteria tersebut sulit dipenuhi minyak jarak pagar (*Jatropha curcas* Linn), karena keasamannya tinggi (Goebitz, 1999). Dalam penelitian ini digunakan antioksidan *Butylated Hidroxy Toluene (BHT)* untuk mempertahankan kadar keasaman minyak sampai menjadi biodiesel (Sudrajat 2006). Penambahan antioksidan dilakukan pada tahap pemurnian. Selama ini masyarakat menganggap minyak jarak yang dihasilkan dari pengepresan biji jarak pagar dapat digunakan langsung sebagai pengganti bahan bakar fosil (solar). Tingginya kandungan asam lemak bebas dalam biji jarak pagar dapat menyebabkan kerusakan pada mesin (Sudrajat 2006).

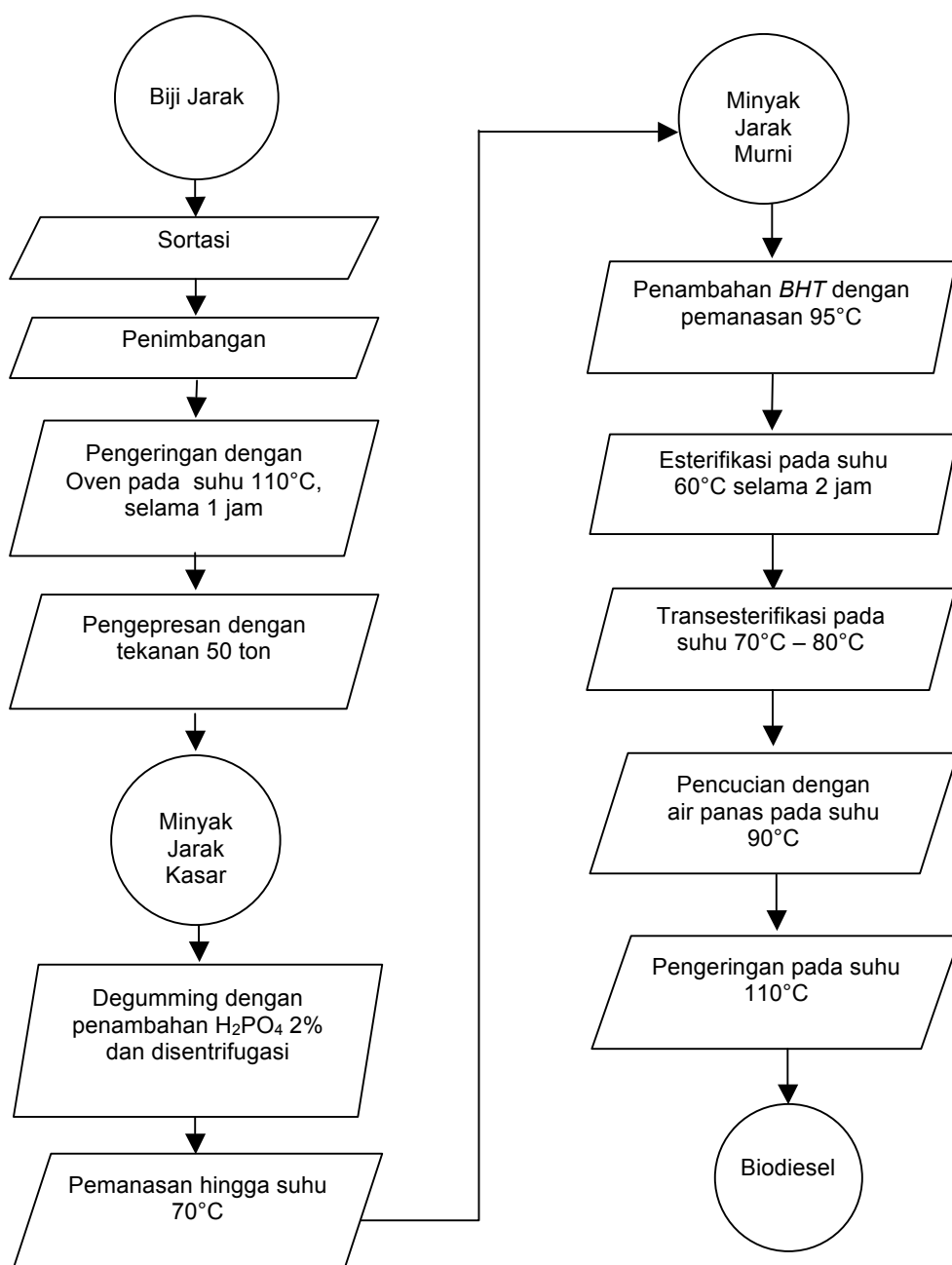
Tujuan penelitian ini adalah untuk mengolah minyak jarak pagar yang diperoleh dari biji jarak pagar (*Jatropha curcas* Linn) menjadi biodiesel, mempelajari pengaruh penambahan antioksidan *Butylated Hidroxy Toluene (BHT)* pada tahap pemurnian terhadap mutu biodiesel yang dihasilkan; dan mendapatkan kondisi optimum untuk proses pembuatan biodiesel dari biji jarak pagar skala laboratorium.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan

Bahan baku yang dipergunakan dalam pembuatan biodiesel adalah minyak jarak yang diekstrak dari bahan baku jarak pagar yang berasal dari daerah Nusa Tenggara Barat (NTB). Bahan kimia yang digunakan dalam penelitian ini adalah metanol, NaOH, KOH-alkohol, *BHT*, HCl, NaHCO<sub>3</sub>, indikator fenolfalein, indikator metil merah, aquades dan bahan-bahan pereaksi untuk analisa di laboratorium.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya, *jack press* yang dilengkapi dongkrak dengan kapasitas 50 ton, erlenmeyer 5L (pyrex), gelas piala 5L (pyrex), gelas ukur 1L (pyrex), buret 50mL (pyrex), eksikator, oven *Memmert*, alat vakum, corong pemisah 1000 mL (pyrex), termometer, piknometer, *viscosimeter Brookfield* dengan model RV, pipet tetes, pipet volumetrik, labu *estrans* 2L (Pyrex) dan perangkat gelas lainnya yang biasa digunakan di laboratorium.



Gambar 1. Proses pengolahan biji jarak pagar menjadi minyak jarak pagar

## Metode

### Ekstraksi Minyak Jarak *Jatropha curcas*

Buah jarak pagar dikeringkan di dalam oven pada suhu 110°C selama 1 jam. Buah yang telah dikeringkan kemudian dikupas untuk memisahkan biji dari kulit buah. Selanjutnya kulit biji dipisahkan dari daging biji, dihaluskan dengan menggunakan mesin giling dan diayak dengan ukuran partikel berdiameter 1-2 mm. Ekstraksi minyak jarak pagar dilakukan dengan

menimbang 3 kilogram biji jarak halus dikeringkan di dalam oven selama 1 jam pada suhu 60°C selanjutnya ditekan dengan menggunakan *jack press*. Minyak jarak kasar yang diperoleh dimurnikan dengan proses *degumming* diikuti penambahan antioksidan *Butylated Hidroxy Toluene (BHT)* masing-masing 0,3% (b/b) dan 0,1% (b/b) kedalam 2 gelas piala 500 ml yang masing-masing telah diisi dengan 250 g minyak jarak hasil pemurnian dan dipanaskan diatas pemanas air pada suhu 95°C.

Proses esterifikasi dilakukan dengan pencampuran metanol 20% dan HCl 1% masing-masing dari bobot minyak kemudian dicampur dan dimasukkan dalam labu *estrans* dan dipanaskan sampai mencapai suhu 60°C lalu yang telah dilengkapi dengan kondensor, pengaduk magnetik, dan termometer. Minyak dimasukkan ke dalam labu *estrans* yang berisi campuran metanol dengan HCl lalu dipanaskan sampai 60°C selama 2 jam sambil dilakukan pengadukan. Esterifikasi-transesterifikasi (*Estrans*) dan transesterifikasi langsung (*trans*) dilakukan dengan dua kali ulangan (*duplo*).

Pada tahap transesterifikasi, katalis NaOH sebanyak 0,5% (dari bobot minyak) dicampur dengan metanol 20% (dari bobot minyak), lalu dipanaskan sampai mencapai 60°C. Pada labu *estrans* dimasukkan ± 100 ml minyak jarak pagar dan dipanaskan sampai suhu 60°C. Pada tahap ini diperoleh metil ester yang masih bercampur dengan sisa katalis dan gliserol. Kemudian pencucian dilakukan setelah tahap transesterifikasi dengan menggunakan corong pemisah. Biodiesel yang dihasilkan dicuci dengan air panas dan setelah itu diuapkan kadar airnya dengan pompa vakum. Diagram alir proses pengolahan biji minyak jarak pagar menjadi biodiesel ditunjukkan pada Gambar 1.

### Analisis

Analisis biodiesel yang dilakukan untuk mengetahui kualitas biodiesel yang dihasilkan pada penelitian ini ditujukan untuk parameter utama yang terdiri dari : massa jenis biodiesel (ASTM 2005), viskositas (ASTM 2010), angka setana (ASTM 2002), titik nyala (ASTM 2002), angka asam (AOCS 1995), dan bilangan iodium (AOCS 1995). Disamping itu dianalisis juga parameter lain yang terdiri dari asam lemak bebas, kadar air, dan bilangan penyabunan. Analisis minyak jarak pagar kasar terdiri atas analisis kadar air (ASTM 2006), massa jenis (ASTM 2005), viskositas (ASTM 2010), asam lemak bebas (AOAC 1984) bilangan asam, bilangan penyabunan, bilangan ester dan bilangan iodium (AOCS 1995).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Ekstraksi dan Analisis Minyak

Pada ekstrak minyak jarak kasar (*crude oil*) dilakukan analisis pendahuluan, dan didapatkan bahwa kadar air (0,59%), asam lemak bebas atau FFA (1,59%), bobot jenis (0,901), bilangan penyabunan (203,9), bilangan iodium (83,451 g l/100g), bilangan asam (2,34) dan

viskositas kinematik (34,5 cSt). Dapat dilihat bahwa hasil analisis minyak jarak pagar kasar (*crude oil*) ini sebagian memenuhi standar yang dipersyaratkan SNI Biodiesel (BSN 2006). Minyak jarak pagar yang dihasilkan mempunyai keasaman yang tinggi. Hal ini kemungkinan disebabkan adanya perlakuan awal terhadap biji jarak pagar selama penyimpanan, penanganannya kurang baik, antara lain adanya pemanasan dan kontak dengan udara luar. Kondisi awal yang kurang terjaga menyebabkan enzim hidrolase dalam biji jarak pagar menjadi aktif dan menjadi asam-asam lemak.

Tingginya asam lemak bebas (FFA) pada minyak jarak pagar kasar (*crude oil*) menyebabkan perlu dilakukan pemurnian. Pada penelitian ini tahap pemurnian yang dilakukan adalah dengan cara *degumming*. Pada proses ini semua senyawa lain dalam minyak akan mengendap. Tahap berikutnya adalah penambahan *BHT* dengan konsentrasi 0,2% - 0,3%. Penambahan antioksidan *BHT* ini dimaksudkan untuk mempertahankan keasaman minyak antara < 0,6 mg-KOH/g agar tidak merusak mesin (Sudradjat 2005).

Minyak jarak pagar mempunyai viskositas lebih tinggi dibandingkan dengan minyak nabati lainnya (Soerawidjaya 2002). Viskositas minyak jarak pagar kasar (*crude oil*) adalah 34,5 cSt, hal ini disebabkan kandungan trigleserida yang terdapat dalam biji jarak pagar. Nilai ini jauh melebihi standar yang diinginkan untuk bahan bakar yakni 2,3 cSt sampai 6,0 cSt (SNI 04-7182-2006 Biodiesel). Kadar air pada minyak jarak pagar kasar adalah 0,59%, nilai ini relatif tinggi, nilai standar biodiesel untuk kadar air maksimal 0,05%. Kandungan air dalam minyak dapat menghidrolisis minyak menjadi gliserol dan asam lemak. Reaksi ini akan dipercepat dengan adanya asam, basa, dan enzim-enzim. Hidrolisis minyak meningkatkan kandungan asam lemak bebas dalam minyak. Bilangan iodium pada minyak jarak pagar kasar adalah 83,451 g<sub>l</sub>/100g. Nilai bilangan iodium merupakan parameter yang penting karena digunakan untuk menyatakan derajat ketidakjenuhan suatu minyak. Bilangan penyabunan pada minyak jarak pagar kasar adalah 20,9 mg KOH/g.

### Esterifikasi – Transesterifikasi (*Estrans*) dan Transesterifikasi langsung (*Trans*)

Proses esterifikasi - transesterifikasi (*estrans*) merupakan proses pembuatan biodiesel (metil ester). Minyak jarak pagar yang telah dimurnikan dengan penambahan asam fosfat mempunyai nilai keasaman yang cukup

tinggi, sehingga perlu diturunkan dengan cara esterifikasi yang mana asam lemak bebas bereaksi dengan alkohol membentuk ester (Swern 1964).

Interaksi asam lemak dengan metanol bersifat reversibel dan lambat. Setelah diesterifikasi, dilanjutkan proses transesterifikasi yaitu reaksi ester untuk menghasilkan ester baru yang mengalami penukaran posisi asam lemak dengan mengkonversi trigleserida menjadi metil ester dengan cara mereaksikannya dengan katalis basa (NaOH). Transesterifikasi menghasilkan sedikit metil ester dan gliserol dalam jumlah besar. Hal ini kemungkinan disebabkan kecepatan pengadukan. Semakin tinggi kecepatan pengadukan akan meningkatkan pergerakan molekul dan menyebabkan terjadinya tumbukan dengan frekuensi yang lebih sering.

Pada awal terjadinya reaksi, pengadukan akan menyebabkan terjadinya difusi antara minyak sampai terbentuk metil ester, dengan semakin banyak metil ester yang terbentuk menyebabkan pengadukan semakin kecil, sehingga terbentuk kesetimbangan. Proses transesterifikasi dapat menurunkan viskositas minyak jarak pagar yang sangat tinggi. Dalam penelitian ini dilakukan dua kali transesterifikasi sebagai perbandingan, yaitu transesterifikasi pertama yang merupakan kelanjutan dari proses esterifikasi dan kedua adalah transesterifikasi langsung tanpa proses esterifikasi terlebih dahulu. Karakteristik biodiesel yang hasil percobaan menunjukkan bahwa metil ester yang diperoleh dari proses estrans dan transesterifikasi langsung (trans) tidak berbeda jauh.

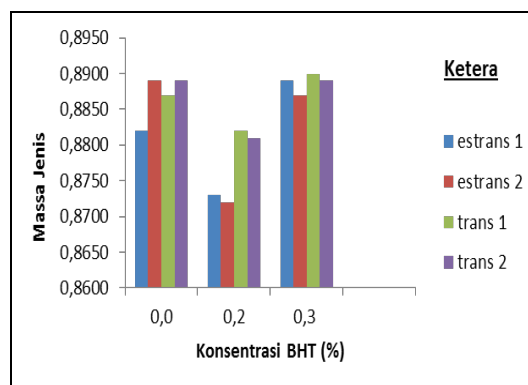
### Karakteristik Biodiesel

Karakteristik biodiesel utama yang diamati dan dianalisa terdiri dari masa jenis, viskositas,

bilangan asam, bilangan iod, titik nyala, FFA, bilangan penyabunan, dan kadar air. Secara garis besar hasil pengujian tersebut disajikan dalam Tabel 1.

Menurut standar biodiesel nilai massa jenis biodiesel jarak pagar adalah maksimal 0,90 mg/ml. Pada penelitian ini nilai densitas untuk proses estrans dan transesterifikasi langsung dengan konsentrasi BHT 0%, 0,2%, 0,3% di bawah standar yang ditetapkan yaitu 0,872 – 0,891 mg/ml. Penggunaan konsentrasi BHT yang berbeda-beda dimaksudkan untuk mengetahui hubungan berbagai konsentrasi BHT dengan parameter biodiesel. Hubungan massa jenis dengan konsentrasi BHT ditunjukkan pada Gambar 2.

Pada penelitian ini viskositas yang dihasilkan untuk proses estrans konsentrasi BHT 0,2% adalah 5,719 cSt untuk konsentrasi BHT 0,3% adalah 11,245 cSt, BHT 0% adalah 6,323 cSt. Pada proses transesterifikasi langsung konsentrasi BHT 0,2% adalah 8,179 cSt, konsentrasi BHT 0,3% adalah 11,245 cSt, BHT 0% adalah 9,634 cSt.



Gambar 2. Hubungan konsentrasi dengan massa jenis

Tabel 1. Hasil analisis metil ester jarak pagar hasil penelitian dan SNI biodiesel (SNI 04-7182-2006).

No	Parameter	Satuan	Metil Ester Jarak Pagar	Standar SNI 04-7182-2006
1	Massa jenis pada 40 °C	kg/m <sup>3</sup>	887	850 – 890
2	Viskositas kinematik pd 40 °C	mm <sup>2</sup> /s (cSt)	11,3	2,3 – 6,0
3	Angka setana	-	44	min. 51
4	Titik nyala (mangkok tertutup)	°C	147	min. 100
5	Bilangan asam	mg-KOH/g	0,404	maks.0,8
6	Bilangan iodium	%-massa (g-I <sub>2</sub> /100 g)	94,3	maks. 115
7	Kadar air	%	0,05	Maks. 0,05

Catatan dapat diuji terpisah dengan ketentuan kandungan sedimen maksimum 0.01 %-vol

Hanya proses estrans konsentrasi *BHT* 0,2% yang memenuhi standar SNI yang berada pada kisaran 2,3 cSt sampai 6,0 cSt, kemungkinan untuk proses yang lainnya kurang sempurna dalam penguapan air sehingga kemungkinan masih banyak air yang tinggal dalam minyak jarak.

Standar SNI 04-7182-2006 mengharuskan bilangan asam biodiesel tidak lebih dari 0,80 mg KOH/g. Pada penelitian ini nilai bilangan asam tidak melebihi standar, tetapi pada proses estrans dengan konsentrasi *BHT* 0,2% nilai bilangan asamnya lebih dari 1%. Bilangan iod pada proses estrans memenuhi standar yakni untuk konsentrasi *BHT* 0,2% dan *BHT* 0,3% masing-masing adalah 88,1012 dan 95,3601. Sedangkan bilangan iod untuk proses transesterifikasi dengan konsentrasi *BHT* 0,2% dan *BHT* 0,3% adalah 86,1705 dan 88,1081. Bilangan iod standard untuk biodiesel adalah maksimal 115 (BSN 2006).

Biodiesel jarak pagar memiliki titik nyala (flash point) sebesar 147°C untuk contoh minyak dengan proses transesterifikasi langsung pada konsentrasi anti oksidan 0,2%. Biodiesel dengan titik nyala minimal 100°C (BSN 2006) memenuhi standar biodiesel. Dibandingkan titik nyala petrodiesel (72°C) titik nyala biodiesel jarak pagar lebih tinggi, sehingga penggunaannya relatif lebih aman dan lebih mudah.

Berdasarkan analisis FFA pada konsentrasi *BHT* 0%, 0,2% dan 0,3% menunjukkan kandungan asam lemak bebas tidak melebihi standar untuk minyak estrans dan transesterifikasi langsung pada konsentrasi *BHT* 0,3% yang bernilai 0,151 tetapi pada konsentrasi 0,2% pada proses estrans lebih dari 1% dan pada transesterifikasi langsung masih dibawah standar. Konsentrasi *BHT* 0,2% kurang efektif untuk proses estrans.

Bilangan penyabunan yang dihasilkan adalah 180 mg KOH/g minyak. Bilangan penyabunan ini berkaitan dengan besarnya massa molekul rata-rata minyak, semakin besar molekul minyak maka nilai bilangan penyabunan semakin kecil. Melalui kombinasi dengan analisa bilangan asam dan kandungan gliserol total, maka bilangan penyabunan yang diperoleh dapat dipergunakan untuk menentukan kadar ester di dalam biodiesel. Kadar air untuk biodiesel maksimal 0,05%, tetapi pada penelitian ini kandungan air biodiesel telah memenuhi syarat yang ditentukan yaitu sebesar 0,07%.

## KESIMPULAN

Pada penelitian ini biji jarak pagar memiliki rendemen sebesar 35,47%, hasil ini diperoleh dengan mengekstrak secara mekanis menggunakan pompa hidraulik kapasitas tekan 50 ton pada suhu 60°C. Proses pembuatan biodiesel melalui tahap esterifikasi-transesterifikasi dengan konsentrasi *BHT* 0,3% mempunyai nilai yang memenuhi standar biodiesel kecuali pada parameter viskositas (11,245 cSt) yang melebihi nilai standar yang ditetapkan dan angka setana (44) yang lebih rendah dari nilai yang dipersyaratkan. Untuk konsentrasi *BHT* 0,2% mempunyai nilai viskositas 5,7 cSt, nilai keasamannya lebih besar dari standar biodiesel yaitu 1,06%. Pada proses transesterifikasi langsung secara umum memenuhi standar biodiesel kecuali pada parameter viskositas. Penambahan antioksidan *Butylated Hydroxy Toluene (BHT)* cukup efektif dalam mempertahankan minyak.

## DAFTAR PUSTAKA

- AOAC (Association of Official Analytical Chemist). 1984. *Official Methods of Analysis of The Association of Official Analytical Chemist*. Fourteenth edition. AOAC Virginia. USA.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemist). 1995. *Official Methods of Analysis of AOAC International 16th Edition*. AOAC. Washington, DC.
- AOCS (American Oil Chemists Society). 1995. *Official Method and Recommended Practices of the American Oil Chemists Society, 4<sup>th</sup> Ed.*, Am. Oil Chemists Society, Champaign, USA.
- ASTM (American Standard Technical Material). 2005. *Standard test method for density, relative density (specific gravity), or API gravity of crude petroleum and liquid petroleum products by hydrometer methods..* ASTM Philadelphia.
- ASTM (American Standard Technical Material). 2006. *Standard test method for water and sediment in middle distillate fuels by centrifuge*. ASTM Philadelphia.

- ASTM (American Standard Technical Material). 2010. *Standard test method for kinematic viscosity of transparent and opaque liquids (and calculation of dynamic viscosity)*. ASTM Philadelphia.
- BSN (Badan Standardisasi Nasional). 2006. *Indonesian National Standard on Biodiesel*, SNI No. 04-7182-2006.
- Goebitz GM, Mittelbach M, Tabri M. 1999. Exploitation of The Tropical Oil Seed Plant *Jatropha curcas* L, *Bioresource Technology* 67 : 73–82
- Joelianingsih. 2008. *Biodiesel Production From Palm Oil In A Bubble Column Reactor By Non-Catalytic Process*. Dissertation. Bogor Agricultural University. Bogor.
- Knothe G. 2005. *Introduction : What is biodiesel ?* The biodiesel handbook ed by . In Knothe G. Gerpen, J.V. , Krahl J. editors. Champaign Illinois: AOCS Press : 1-3.
- Krawczyk T. 1996. Biodiesel-alternative fuel makes inroads but hurdles remain. *INFORM* 7 (8): 800-815.
- Kusdiana and Saka S. 2001. Kinetics of transesterification in rapeseed oil to biodiesel fuel as treated in supercritical methanol. *Fuel* 2001;80:693–8.
- Ma F, and Hanna MA. 1999. *Biodiesel production*. A review. *Bioresource Technology* 1999;70:1-15.
- Mittelbach, M. and C. Remschmidt. (2004). *Biodiesel: The comprehensive handbook*. 1st Ed. Boersdruck Ges.m.b.H. Vienna.
- Soerawidjaja, T. 2005. *Membangun Industri Biodiesel di Indonesia*. Balai Besar Kimia dan Kemasan. Jakarta.
- Sudradjat, HR. 2006. *Keasaman Biodiesel Dari Minyak Jarak Pagar Dapat Merusak Seluruh Mesin Di Indonesia*. Pusat Litbang Hasil Hutan. Bogor.
- Swern. D. 1964. *Balleys Industrial Oils and Fat Product*. Vol. II. Interscience Publisher. Inc., New York.
- Tapasvi, D. , Wiesenborn, D, Gustafson, C. 2005. Process model for biodiesel production from various feedstocks. *Transaction of the ASAE* 48 (6): 2215 - 2221
- Wirawan, S.S., A.H. Tambunan, M. Djamin, and H. Nabetani. 2008. The Effect of Palm Biodiesel Fuel on the Performance and Emission of the Automotive Diesel Engine. *Agricultural Engineering International: the CIGR e-journal*. Manuscript EE 07 005. Vol. X. April.