

Sintesis Biodiesel dari Minyak Biji Ketapang (*Terminalia Catappa* Linn.) yang berasal dari Tumbuhan di Kampus UI Depok

Wahyudi Priyono Suwarso*, Iza Yulia Gani dan Kusyanto
Laboratorium Kimia Organik-Departemen Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam-Universitas Indonesia
Depok 16424, Indonesia
e-mail: wps@ui.edu

Abstrak

Telah dilakukan sintesis Biodiesel dengan bahan dasar minyak biji Ketapang (*Terminalia catappa* Linn.), dengan tujuan utama adalah untuk menurunkan viskositas atau kekentalan minyak nabati. Biodiesel tersebut berupa metil ester asam lemak penyusun trigliserida minyak biji ketapang, yang dibuat dengan mereaksikan minyak biji ketapang dengan larutan KOH-alkoholis dan metanol, dengan perbandingan mol antara minyak biji ketapang : larutan KOH-alkoholis : metanol = 1,0 : 0,21 : 12,0, pada suhu 65°C dengan waktu reaksi 2 jam dan dengan pengadukan menggunakan pengaduk magnit. Dari reaksi trans-esterifikasi tersebut, akan dihasilkan metil ester asam lemak sebanyak 74,52% dihitung dari jumlah mol rata-rata (M_r) minyak biji ketapang yang direaksikan. Hasil uji karakteristik terhadap biodiesel yang dihasilkan menunjukkan, bahwa biodiesel dari minyak biji ketapang mendekati karakteristik minyak diesel no. 2-D, yang biasa digunakan pada mesin-mesin industri dan kendaraan berat.

Kata kunci : Biodiesel, minyak biji ketapang, metanol, reaksi trans-esterifikasi

Abstract

It has been synthesized biodiesel by using ketapang seed oil (*Terminalia catappa* L.) as starting material, with the aim to decrease the viscosity of vegetable oil. This biodiesel is actually a methyl ester of fatty acid formed triglyceride of ketapang seed oil. This biodiesel is made by reaction between ketapang kernel oil, KOH-alcoholic solution and methanol with mole fraction of ketapang kernel oil : KOH-alcoholic solution : methanol = 1.0 : 0.21 : 12, at the reaction temperature of 65°C for 2 hours by stirring with magnetic stirrer. From this trans-esterification reaction can be yielded methyl ester of fatty acid in 74.52% from the average mole (M_r) of the reacted ketapang seed oil. The characteristic test for biodiesel from ketapang seed oil showed that the synthesized biodiesel closed to the characteristic of diesel oil no. 2-D, that normally used for industrial machinery and heavy vehicle.

Key words : Biodiesel, ketapang seed oil, methanol, trans-esterification reaction

1. PENDAHULUAN

Dewasa ini, minyak bumi masih berperan sebagai sumber daya energi dan bahan bakar utama dalam negeri. Seiring dengan pertumbuhan penduduk di Indonesia, konsumsi bahan bakar yang berasal dari minyak bumi, makin terus meningkat dari tahun ke tahun. Sementara itu, cadangan minyak bumi Indonesia makin menipis, sehingga substitusi bahan bakar yang berasal dari minyak bumi perlu dicari. Oleh karena itu, pemanfaatan energi alternatif lainnya, seperti tenaga air, gas alam, batu bara, tenaga panas bumi, tenaga

surya, tenaga angin, tenaga gelombang air laut, dan biomassa perlu digiatkan.

Kebutuhan akan bahan bakar dengan mutu yang baik, merupakan konsekuensi dari kesadaran masyarakat, yang mulai peduli akan efisiensi dan kesehatan lingkungan. Bahan bakar yang baik, selain dapat meningkatkan kinerja sistem mesin, juga diharapkan mampu meningkatkan efisiensi dan dapat mengurangi efek-efek negatif yang ditimbulkan oleh penggunaan bahan bakar tersebut.

Dalam beberapa tahun terakhir, telah banyak dilakukan penelitian, yang tujuannya untuk mencari bahan bakar yang dapat diperbarui (renewable energy resources).

Beberapa contoh di antaranya adalah penggunaan minyak nabati dalam bentuk metil esternya, misal dari minyak kelapa sawit, sebagai pencampur minyak diesel (Masjuki & Zaki, 1995). Metil ester dari minyak biji *Putarnjiva roxburghii* (Euphorbiaceae) juga telah diteliti penggunaannya sebagai campuran minyak diesel (Nag *et al.*, 1995), dan beberapa penelitian penggunaan minyak nabati lainnya sebagai biodiesel, karena mempunyai *indeks setana* (cetane index) yang cukup tinggi (Kalayasiri, 1996).

Minyak nabati dan bentuk metil esternya, merupakan alternatif sebagai bahan bakar diesel, yang lebih dikenal sebagai biodiesel, artinya bahan bakar diesel yang bukan berasal dari minyak bumi tetapi berasal dari bahan hayati dan dapat terbaru (tumbuhan dan hewan). Biodiesel untuk pertama kalinya digunakan oleh Rudolf Diesel pada tahun 1900 (Noureddini *et al.*, 1998), yang digunakan untuk mengoperasikan mesin bakar dengan menggunakan bahan bakar minyak kacang (earthnut oil). Biodiesel merupakan bahan bakar yang ramah lingkungan, tidak mengandung belerang, sehingga dapat mengurangi kerusakan lingkungan yang diakibatkan oleh hujan asam (*rain acid*). Penelitian yang lain juga menyebutkan, bahwa biodiesel yang mempunyai *indeks setana* cukup tinggi, dapat menurunkan emisi Nitrogen Oksida (NO_x) (Knote *et al.*, 1998).

T. catappa Linn. (ketapang) merupakan pohon pantai dengan daerah penyebarannya cukup luas. Berasal dari daerah tropis di India, kemudian menyebar ke Asia Tenggara, Australia Utara dan Polynesia di Samudra Pasifik. Pohon ini merontokkan daunnya dua kali dalam satu tahun, yaitu pada bulan Januari-Februari-Maret dan pada bulan Juli-Agustus-September. Selain tumbuh secara liar di pantai, pohon ini sering ditanam sebagai pohon peneduh di dataran rendah. Oleh karena itu, pohon ketapang juga ditanam sebagai pohon hias di kota-kota. Pohon ketapang ini juga merupakan salah satu jenis pohon peneduh, baik di kampus UI Salemba maupun di sepanjang jalan lingkar Kampus UI Depok.

Di Indonesia pohon ketapang dikenal dengan beberapa nama: ketapang (Indonesia & Jawa), geutapang (Aceh), hatapang (Batak), katapieng (Sumatra Barat), katapang (Bali), Salrise (Sulawesi) dan kalis (Irian Jaya).

Bagian dari tanaman ini hampir seluruhnya dapat dimanfaatkan untuk kepentingan manusia. Air rebusan akarnya dapat digunakan untuk mengobati besar (sering kencing) dan radang selaput lender usus. Kulit kayu dan daunnya dapat digunakan untuk menyamak kulit, sebagai bahan pencelup kain dan untuk membuat tinta serta dapat digunakan sebagai obat sariawan, karena kandungan taninnya tinggi. Di Papua Nugini air perasan daun bunga ketapang yang dicampur dengan air minum, digunakan sebagai sterilisasi pada wanita. Inti biji buah ketapang dapat dimakan mentah, rasanya gurih seperti buah kenari. Inti biji buah ketapang ini digunakan sebagai obat penggiat fungsi kelenjar susu (mempercepat produksi air susu) dan memperlancar buang air besar.



Gambar 1. Tumbuhan ketapang (*Terminalia catappa* L.), ranting, daun dan buah.

Di dalam dunia tumbuhan, *T. catappa* Linn., diklasifikasikan sebagai berikut (Tjitrosoepomo, 1989): Divisio: Spermatophyta; Subdivisio: Angiospermae; Kelas: Dicotyledonae; Ordo: Myrtales; Family: Combretaceae; Genus: Terminalia; Spesies: *Terminalia catappa* L.

Dari penelitian Kusyanto (1998) dan Priyono Suwarso *et al.* (1999) telah berhasil diekstraksi minyak biji ketapang (warna: kuning pucat, sebelum dimurnikan, dan menjadi kuning bening setelah dimurnikan) dari buah biji ketapang yang tumbuh di kampus UI Depok dengan rendemen sekitar 55% dari berat biji keringnya. Komposisi asam lemak penyusun trigliseridanya, terdiri dari asam: palmitat (27,9%), palmitoleat (8,6%), stearat (4,3%), oleat (38,0%) dan linoleat (21,0%), dan selain itu terdapat 2 asam lemak baru yang strukturnya belum dapat dipastikan (0,2%).

Syarat utama yang harus dimiliki oleh bahan bakar diesel adalah harus segera menyala dan terbakar dengan baik, sesuai dengan kondisi yang terdapat di dalam ruang bakar. Sifat pembakaran bahan bakar diesel berbeda menurut kecepatan putaran dan beban mesin diesel, dimana bahan bakar diesel tersebut dipergunakan. Sesuai dengan tipe mesin, terdapat beberapa tingkatan/jenis bahan bakar diesel (Allinson, 1973; Subardjo, 1980), yaitu

1. No.1-D, merupakan bahan bakar diesel yang digunakan untuk mesin diesel dengan kecepatan tinggi.
2. No.2-D, merupakan bahan bakar diesel yang digunakan untuk mesin industri dan kendaraan berat
3. No.4-D, merupakan bahan bakar diesel yang digunakan untuk mesin kecepatan rendah dan menengah dengan kecepatan tetap

Bahan bakar diesel yang baik, harus memenuhi beberapa karakteristik (Allinson, 1973), antara lain:

a. Angka setana (*Cetane number*)

Adalah angka pengujian mesin dari suatu bahan bakar diesel, yang menggambarkan sifat kelambatan pembakaran (*ignation delay*). Angka setana yang tinggi menandakan makin pendek kelambatan pembakaran, dan berarti makin sedikit jumlah bahan bakar diesel yang terdapat di dalam ruang bakar saat terjadi pembakaran. Angka setana diperoleh dengan jalan membandingkan kesamaan sifat pembakaran suatu bahan bakar motor diesel pada motor uji dengan sifat pembakaran campuran setana (*n*-heksadekana) yang mempunyai angka setana = 100, dengan α -metilnaftalena, yang mempunyai angka setana = 0.

b. Indeks setana

Angka setana dapat juga dihitung dengan suatu rumus tertentu, yang hasilnya dikenal sebagai indeks setana. Indeks setana dapat ditentukan dengan ASTM D-976 melalui berat jenis dan suhu ketika 50% bahan bakar diesel menguap (*mid-boiling point*) atau melalui angka penyabunan dan angka jod dari bahan bakar diesel, yaitu metode AOCS (Krisnangkura, 1986).

c. Kekentalan (Viskositas)

Adalah penentuan tahanan cairan untuk mengalir pada suhu tertentu yang ditetapkan. Kekentalan ini perlu diketahui, karena berpengaruh terhadap kemudahan mengalir dan sistem injeksi. Penentuan viskositas dilakukan dengan metoda ASTM D-445 (1990)

d. Panas Pembakaran (Nilai Kalor), ASTM D-1551 (1966)

Adalah jumlah panas/kalor yang dihasilkan, bila bahan bakar diesel terbakar sempurna, dan dinyatakan dalam satuan kalori atau Joule per kilogram (kal/kg atau J/kg)

b. Berat Jenis

Berat jenis bukan merupakan suatu indikasi terhadap mutu, tetapi dapat memberikan suatu gambaran mengenai mutu, jika dihubungkan dengan pengujian lain. *API Gravity* adalah merupakan fungsi berat jenis yang lazim digunakan di USA.

$$API\ Gravity = \frac{141,5}{\text{Berat jenis } 60/60^{\circ}F} - 131,5$$

c. Distilasi (Sifat Penguapan), ASTM D-86 (1996)

Adalah kemudahan suatu cairan berubah menjadi gas. Faktor ini memegang peranan penting dalam nilai campuran udara dan bahan bakar diesel pada saat terjadi penyalaan di ruang bakar motor diesel

g. Kadar Belerang

Senyawaan belerang adalah senyawaan yang tidak diinginkan terkandung di dalam bahan bakar diesel. Baik belerang bebas maupun senyawaan belerang, jika terbakar akan membentuk gas belerang dioksida (SO₂), yang selanjutnya akan bereaksi dengan air yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar diesel membentuk asam sulfit, yang dengan mudah teroksidasi menjadi asam sulfat. Baik asam sulfit maupun asam sulfat bersifat korosiv terhadap logam.

Tabel 1. Spesifikasi Bahan Bakar Diesel Berdasarkan ASTM D-975 (1990)

No.	Karakteristik	Jenis Bahan Bakar Diesel			Metode Pengujian
		No. 1-D	No. 2-D	No. 4-D	
01.	Angka Setana*, min.	45	40	30	ASTM D-613
02.	Berat Jenis pada 60/60°F, min.	0,82	0,84	-	ASTM D-1298
	maks.	0,87	0,92	-	
03.	Suhu Distilasi (°C) pada 90% volume distilat, min.	-	282	-	ASTM D-38
	maks.	288	338	-	
04.	Viskositas kinematik pada 100°F (cSt.) min.	1,3	1,9	5,5	ASTM D-445
	maks.	2,4	4,1	24,0	
05.	Titik Nyala (°C) min.	38	52	55	ASTM D-56
06.	Titik Tuang (°C) min.	18,3	18,3	-	ASTM D-97
07.	Panas Pembakaran (MJ/kg), min.	45,30	42,70	-	ASTM D-240
08.	Kandungan:				
	a. Air (% vol.) maks.	0,05	0,25	0,75	ASTM D-95
	b. Sedimen (% berat) maks.	0,01	0,02	0,15	ASTM D-473
	c. Belerang (%berat) maks.	0,5	0,5	2,0	ASTM D-1551
	d. Residu karbon pada 10% residu (%berat) maks.	0,15	0,35	-	ASTM D-189
	e. Abu (%berat) maks.	0,01	0,01	0,01	ASTM D-482

Jika penentuan angka setana dengan ASTM D-613 tidak dapat dilakukan, maka digunakan penentuan indeks setana (ASTM D-976, 1990)

2. METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian adalah biji ketapang yang tumbuh di sekitar kampus UI Depok. Pelarut *n*-heksan untuk mengekstrak minyak biji ketapang. Na_2SO_4 anhidrat untuk mengeringkan, NaOH dan metanol untuk sintesis biodiesel, HCl untuk menetralkan lapisan ester.

Peralatan yang digunakan terdiri dari satu set alat Soxhlet, oven, labu leher tiga, pendingin Leibigh, corong pisah, rotary evaporator dan peralatan untuk uji karakteristik biodiesel.

Ekstraksi Minyak Biji Ketapang (Yulia Gani, 2000)

Biji ketapang dikeluarkan dari tempurung bijinya, dan kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari selama 4 hari serta dipanaskan di dalam oven pada suhu 40°C selama 6 jam, sampai dicapai berat yang konstan. Selanjutnya biji ketapang tersebut

digiling sampai halus dalam bentuk serbuk, dan diekstraksi secara sinambung dengan Soxhlet, menggunakan *n*-heksana sebagai pelarut pengeskraksi, pada suhu 80°C selama 24 jam. Ekstrak kasar yang berisi minyak biji ketapang dikeringkan dengan Na_2SO_4 anhidrat, disaring, dan pelarutnya diuapkan pada vakum evaporator. Rendemen minyak biji ketapang yang diperoleh, ditentukan secara penimbangan.

Sintesis Biodiesel

Ke dalam labu bulat leher tiga yang dilengkapi dengan termometer dan pendingin balik Liebig, dimasukkan NaOH dalam metanol dan minyak biji ketapang (mol minyak : mol CH_3OH : mol NaOH = 1 : 12 : 0,21). Campuran reaksi diaduk dengan pengaduk magnetik (magnetic stirrer) dan dipanaskan pada suhu 80°C selama 2 jam. Setelah reaksi selesai, campuran reaksi didinginkan pada suhu kamar, dan selanjutnya dituangkan ke dalam labu corong pisah, didiamkan untuk beberapa waktu agar terjadi pemisahan antara gliserol (lapisan bawah/fraksi air) dan ester (lapisan atas/fraksi

organik). Lapisan ester dipisahkan dari lapisan gliserol., dan berikutnya lapisan ester dinetralkan dengan larutan HCl encer serta dicuci dengan air. Metil ester yang terkumpul dikeringkan dengan Na₂SO₄ anhidrat, dan sisa metanol diuapkan pada rotatory evaporator.

Uji Karakteristik Biodiesel

Uji karakteristik biodiesel meliputi :

- Penentuan Berat Jenis pada 60/60°F dan *API Gravity* pada 60°F.
- Penentuan titik didih pertengahan (*mid-boiling point*)
- Penentuan Indeks Setana menggunakan metode ASTM-976:

$$\text{Indeks Setana} = 0,49083 + 1,06577 (x) - 0,0010552 (x)^2$$
 dimana: $x = 97,833 (\log B)^2 + 2,208 (\log B) + 0,0124 (G)^2 - 423,51 (\log B) - 4,7808 (G) + 419,59$
 B = titik didih pertengahan, °F; G = *API Gravity*
- Penentuan Indeks Setana dengan metode AOCS (*American Oil Chemist Society*) (Krisnangkura, 1986)

$$\text{Indeks Setana} = 46,3 + 5458/x - 0,225 y$$
 dimana: x = bilangan Penyabunan;
 y = bilangan Iod
- 4). Penentuan Viskositas Kinematik
- 5). Penentuan Panas/Kalor Pembakaran

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Minyak biji ketapang kasar yang dihasilkan dari ekstraksi serbuk biji ketapang

kering adalah sekitar 56% dan warnanya kuning tua. Selanjutnya terhadap minyak biji ketapang hasil ekstraksi dilakukan analisis fisiko-kimia, yang meliputi penentuan: Bilangan asam, Bilangan penyabunan, Bilangan Iod dan Komposisi asam lemak penyusun trigliserida minyak biji ketapang. Hasil analisis fisiko-kimia ditampilkan pada Tabel 2.

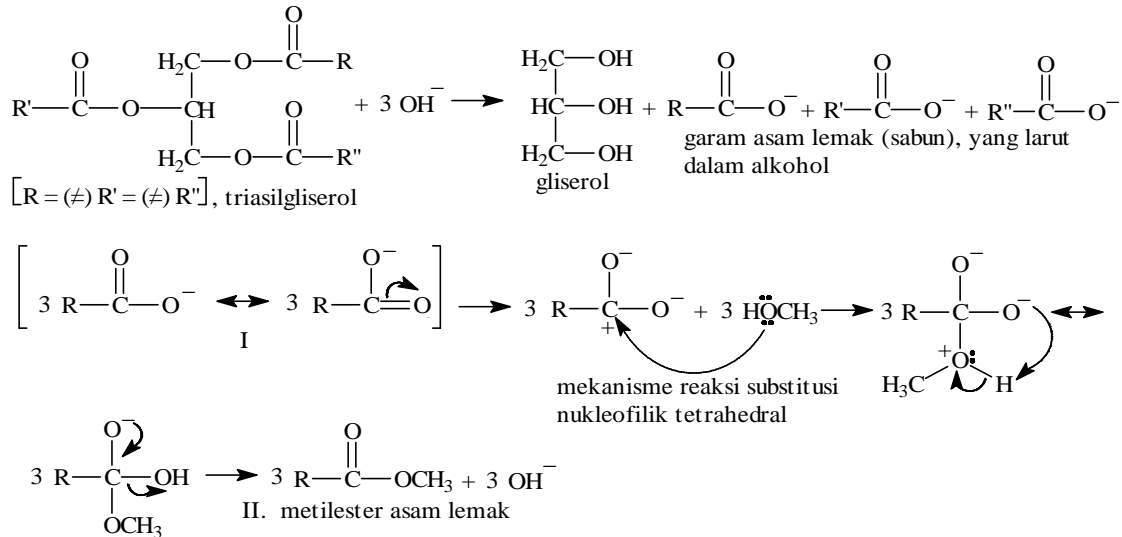
Penggunaan langsung minyak nabati untuk bahan bakar akan menimbulkan beberapa masalah. Masalah tersebut, terutama berhubungan dengan tingginya viskositas minyak nabati. Bahan bakar yang mempunyai viskositas terlalu tinggi, tidak akan mudah teratomisasi dalam ruang pembakaran mesin, oleh karena partikel-partikel bahan bakar tersebut terlalu besar. Akibatnya, pembakaran bahan bakar di dalam ruang pembakaran mesin menjadi tidak sempurna dan menyebabkan terjadinya asap (Karaosmanoglu *et al.*, 1996). Oleh karena itu, penurunan viskositas bahan bakar merupakan suatu langkah yang paling tepat dalam pemecahan masalah tersebut. Jalan yang paling tepat diambil, adalah mengubah bentuk trigliserida (triasilgliserol) menjadi bentuk metil esternya melalui reaksi *transesterifikasi* dengan metanol (CH₃OH) yang dipercepat oleh adanya katalis basa maupun asam. Beberapa faktor yang mempengaruhi reaksi *transesterifikasi* antara lain: waktu reaksi, suhu reaksi, jenis katalis, kecepatan pengadukan dan perbandingan mol zat awal dan katalis. Mekanisme reaksi *transesterifikasi* dengan penggunaan basa sebagai katalis, ditampilkan pada Gambar 2.

Tabel 2. Hasil Analisis Fisiko-Kimia Minyak Biji Ketapang (*T. catappa* Linn.)

No.	Jenis Analisis	Hasil Analisis
01.	Fisika	
	a. Berat jenis (g/mL)	0,923
	b. Indeks Bias (η)	1,4752
	c. Titik leleh (°C)	17
02.	Kimia	
	a. Bilangan Asam (mg KOH/g minyak)	6,00
	b. Bilangan Penyabunan (mg KOH/ g minyak)	207,61
	c. Bilangan Iod (g I ₂ /100 mg minyak)	45,21
	d. Bilangan Peroksida (meq O ₂ /kg minyak)	3,20
	d. Komposisi asam lemak penyusun trigliserida (% relatif komposisi)	As. Palmitat (C16:0): 35,26; As. Palmitoleat (C16:1): 0,38; As. Stearat (C18:0): 4,55; As. Oleat (C18:1): 38,72; As. Linoleat (C18:2): 20,57; As. Arakhidat (C20:0): 0,51 dan lain-lain: 0,01

Dari mekanisme reaksi *transesterifikasi* tersebut terlihat, bahwa 1 mol triasilgliserol (minyak) akan bereaksi dengan 3 mol basa (proses saponifikasi), menghasilkan 1 mol gliserol dan 3 mol garam asam lemak (sabun) yang larut dalam alkohol (metanol). Garam asam lemak yang terbentuk, dapat mengalami proses struktur resonansi (I), sehingga hal tersebut menyebabkan, mengapa reaksi *transesterifikasi* yang dikatalisis oleh

basa, bersifat reaksi satu arah, dan bukan suatu reaksi kesetimbangan (reversible). Selanjutnya, garam asam lemak akan bereaksi dengan 3 mol metanol, melalui mekanisme reaksi substitusi nukleofilik tetrahedral, membentuk 3 mol metil ester asam lemak dan 3 mol basa (March & Smith, 2001). Jelas disini kelihatan bahwa 3 mol basa pada awal reaksi memang ditambahkan pada reaksi, dan pada akhir reaksi tetap ada.



Gambar 2. Mekanisme reaksi *transesterifikasi* pembentukan metil ester asam lemak dari triasilgliserol yang dikatalisis oleh basa (KOH)

Hal tersebut adalah sesuai dengan definisi dari katalis, yang mengatakan bahwa katalis adalah zat yang ditambahkan dalam reaksi dalam jumlah kecil, yang akan mempercepat dan ikut dalam proses reaksi serta berfungsi terutama mempercepat tercapainya kesetimbangan reaksi, namun demikian, baik pada awal- maupun pada akhir reaksi tetap ada dalam lingkungan reaksi (Vollhardt & Schore, 1995). Dalam penelitian ini, jumlah metanol (alkohol) yang ditambahkan cukup banyak berlebih (12,0 equimolar). Hal ini dimaksudkan agar garam asam lemak yang terbentuk dan seharusnya berupa padatan (sabun) dalam fasa air, akan tetap larut di dalam alkohol (satu fasa/fasa homogen), sehingga reaksi *transesterifikasi* akan berlangsung dengan baik. Oleh karena itu, pada reaksi *transesterifikasi*, dari 1 mol triasilgliserol (trigliserida/minyak), akan dihasilkan 1 mol gliserol yang berada di fasa air, dan 3 mol metil ester asam lemak (biodiesel) yang berada di fasa organik, sehingga pemisahan kedua produk. reaksi

tersebut tidaklah terlalu sulit, cukup dengan dekantasi. Rendemen metil ester asam lemak (biodiesel) dari minyak biji ketapang yang diperoleh dari penelitian ini adalah 74,52%. Rendemen tersebut masih kurang begitu baik, jika dibandingkan dengan hasil yang diperoleh oleh Dianingtyas (2002), yang menggunakan minyak bekas dari restoran siap saji sebagai bahan dasarnya, dengan rendemen 95,0%.

Pengujian karakteristik untuk biodiesel dari minyak biji ketapang yang dilakukan, meliputi penentuan berat jenis, sifat penguapan, indeks setana, viskositas dan panas pembakaran, dan dilakukan pada Laboratorium Uji Bahan Bakar-P3TMGB-LEMIGAS, Cipulir, Jakarta Selatan. Sedangkan uji karakteristik yang lain tidak dilakukan, oleh karena uji karakteristik yang telah disebutkan, merupakan uji karakteristik utama dalam penentuan kualitas suatu bahan bakar diesel. Hasil uji karakteristik biodiesel dari minyak biji ketapang, ditampilkan pada Tabel 3. Dari hasil uji karakteristik yang telah dilakukan, bila

Hasil uji panas pembakaran biodiesel dari minyak biji ketapang Kampus UI-Depok, tidak memasukkan faktor koreksi untuk panas pembentukan H₂SO₄, karena secara umum kandungan belerang (S) pada bahan bakar diesel yang berasal dari minyak nabati pada umumnya sangat kecil sekali atau sama sekali tidak ada (Noureddini, 1998)

Secara umum dapat dikatakan, bahwa spesifikasi biodiesel minyak biji ketapang Kampus UI-Depok telah mendekati spesifikasi bahan bakar diesel no. 2-D. Memang dalam hal ini dapat diinformasikan, bahwa pengujian secara langsung biodiesel minyak biji ketapang pada mesin diesel belum dilakukan, oleh karena untuk uji langsung tersebut dibutuhkan jumlah biodiesel dari minyak biji ketapang yang cukup banyak.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Rendemen minyak biji ketapang (*T. catappa* Linn.) Kampus UI-Depok adalah 56% dari serbuk biji keringnya.
2. Rendemen metil ester asam lemak (biodiesel) minyak biji ketapang Kampus UI-Depok melalui reaksi *transesterifikasi* adalah 74,52%.
3. Spesifikasi biodiesel dari minyak biji ketapang Kampus UI-Depok, secara umum, mendekati spesifikasi bahan bakar diesel no. 2-D, yang biasa digunakan pada mesin-mesin dengan kecepatan putar sedang dan rendah (mesin untuk industri dan mesin kendaraan berat).

DAFTAR PUSTAKA

1. ASTM D-1551, (1996), *Standard Method of Test for Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels by Bomb Calorimeter*, Annual Book of ASTM Standard, Section 5.
2. ASTM D-445, (1990), *Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent*, Annual Book of ASTM Standards, Section 5,
3. ASTM D-86, (1996), *Standard Test Method for Distillation of Petroleum Product*, Annual Book of ASTM Standards, Section 5.

4. ASTM D-975, *Standard Specification for Diesel Fuel Oils*, (1990), Annual Book of ASTM Standard, Section 5.
5. ASTM D-976, (1990), *Standard Method for Calculated Cetane Index of Distillate Fuels*, Annual Book of ASTM Standards, Section 5.
6. Dianingtyas, (2002), Skripsi Sarjana Kimia, Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam-Universitas Indonesia, Depok.
7. F. Karaosmanoglu, A. Akdag, K.B. Cigizolu, (1996), *Biodiesel from Rapeseed Oil of Turkish Origin as an Alternative Fuel*, App. Biochem. and Biotech., 61; 251-265.
8. G. Knothe, M.O. Bagby, T.W. Ryan, (1998), *A Possible Explanation for Differing Cetane Number*, J.A.O.C.S., 75(8) 1007-1013.
9. G. Tjitrosoepomo, (1998), *Taksonomi Tumbuhan Spermatophyta*, Cetakan kedua, UGM-Press, Yogyakarta.
10. H. Masjuki, A.M. Zaki, (1995), *Dynamometer Evaluation and Engine Wear Characteristic of Palm Oil Diesel Emulsion*, J.A.O.C.S., 72(8); 905-909.
11. H. Noureddini, D. Harkey, V. Medikonduru, (1998), *A Continuous Process for the Conversion of Vegetable Oils into Methyl Esters of Fatty Acids*, J.A.O.C.S. 75(12), 1775-1783.
12. J.P. Allison, (1973), *Criteria for Quality of Petroleum Products*, Applied Science Publisher Ltd., London.
13. K. Krisnangkura, (1986), *Simple Method for Estimation of Cetane Index of Vegetable Oil Methyl Esters*, J.A.O.C.S., 63(4); 552-553.
14. K.P.C. Vollhardt, (1995), N.E. Schore, *Organische Chemie*, Zweite Auflage, VCH-Verlagschemie, Weinheim, New York, Basel.
15. Kusyanto, (1998), Skripsi Sarjana Kimia, Jurusan Kimia-Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam-Universitas Indonesia, Depok.
16. March, M.B. Smith, (2001), *March's Advanced Organic Chemistry: Reactions, Mechanisms, and Structure*, 5th ed., A Wiley-Interscience Publication, New York, Weinheim, Singapore and Toronto.
17. Nag, S. Bhattacharya, K.B. De, (1995), *New Utilization of Vegetable oil for Use as*

- Diesel Fuels*, J.A.O.C.S., 72(12), 1591-1593.
18. P. Kalayasiri, N. Jeyashoke, K. Krisnangkura, (1996), *Survey of Seed Oils for Use as Diesel Fuels*, J.A.O.C.S., 73(4); 471-474
 19. P. Subardjo, (1980), *Penentuan Sifat-Sifat Minyak Bumi*, Pusat Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi, Lemigas, Jakarta.
 20. W. Priyono Suwarso, Kusyanto, I. Yulia Gani, (1998), *Ekstraksi Minyak Biji Ketapang (Terminallia catappa Linn.) yang Tumbuh di Kampus UI Salemba dan Depok*, Prosiding Seminar Nasional Kimia Bahan Alam UI-UNESCO, Depok, 482-488 (ISBN: 979-8768-02-7).
 21. Yulia Gani, (2000), Skripsi Sarjana Kimia, Jurusan Kimia-Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam-Universitas Indonesia, Depok.