



Produksi Biodiesel dari Ampas Kelapa Secara Transesterifikasi In Situ Menggunakan Bantuan *Microwave*

Biodiesel Production from Coconut Waste by In Situ Transesterification and Microwave-Assisted

Lancy Maurina^{1,2}, Marwan¹, M. Dani Supardan^{1*}

¹ Program Magister Teknik Kimia, Universitas Syiah Kuala, Jl. Tgk. Syech Abdurrauf 7, Darussalam, Banda Aceh

² Balai Riset dan Standardisasi Industri Banda Aceh, Jl. Cut Nyak Dhien No. 377 Lamteumen Timur Banda Aceh

*E-mail: m.dani.supardan@che.unsyiah.ac.id

Terima draft : 31 Agustus 2017; Terima draft revisi: 30 September 2017; Disetujui : 01 Desember 2017

Abstrak

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif pengganti minyak diesel berbasis fosil. Upaya mendapatkan bahan baku yang murah dan ekonomis untuk memproduksi biodiesel perlu terus dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari proses produksi biodiesel dari limbah ampas kelapa menggunakan proses transesterifikasi in situ dengan bantuan *microwave* (gelombang mikro). Proses transesterifikasi in situ dilakukan pada daya *microwave* 450, 600 dan 800 watt, waktu reaksi 3-6 menit, rasio berat pelarut metanol terhadap bahan baku 10:1 hingga 25:1 dan jumlah katalis KOH 2-5% berat terhadap minyak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, rendemen biodiesel tertinggi adalah sebesar 98,23% pada kondisi daya *microwave* 800 watt, waktu reaksi 5 menit, rasio berat pelarut metanol terhadap bahan baku 20:1 dan konsentrasi katalis KOH 4%. Hasil pengujian mutu biodiesel dari hasil penelitian ini adalah viskositas kinematik 2,7 mm²/s, densitas 850 kg/m³ dan angka asam 0,4 mg-KOH/g. Komposisi asam lemak biodiesel dari ampas kelapa adalah *methyl laurate* (29,41%), *methyl oleate* (21,05%), *methyl myristate* (20,21%), *methyl palmitate* (14,18%), *methyl caprate* (6,94%), *methyl linoleate* (5,47%) dan *methyl octanoate* (2,25%).

Kata kunci: ampas kelapa, biodiesel, transesterifikasi in situ, *microwave*

Abstract

Biodiesel is an alternative fuel to substitute diesel oil based on fossil fuel. A sustain effort to obtain more cheaper and economical raw material for biodiesel production must be conducted. In this study, coconut waste is used to synthesis of biodiesel through in situ transesterification process with the help of microwave. The in situ transesterification process were carried out at microwave power 450, 600 and 800 watt, reaction times 3-6 minutes, methanol to coconut waste weight ratio 10:1 to 25:1 and KOH catalyst loading 2-5%-weight of oil. The result showed that, highest biodiesel yield was 98,23% under condition of microwave power 800 watt, reaction time 5 minutes, methanol to coconut waste weight ratio 20:1 and KOH catalyst concentration 4%. Biodiesel quality test from this study was kinematic viscosity of 2,7 mm²/s, density of 850 kg/m³ and acid value of 0,4 mg-KOH/g. The fatty acid composition of biodiesel from coconut waste was *methyl laurate* (29,41%), *methyl oleate* (21,05%), *methyl myristate* (20,21%), *methyl palmitate* (14,18%), *methyl caprate* (6,94%), *methyl linoleate* (5,47%) and *methyl octanoate* (2,25%).

Keywords: coconut waste, biodiesel, in situ transesterification, microwave

1. Pendahuluan

Ampas kelapa merupakan salah satu limbah padat yang dihasilkan dari sisa pengolahan kelapa yang telah diambil santanya dengan cara di ekstrak baik menggunakan tangan maupun menggunakan mesin pres. Umumnya limbah ampas kelapa tersebut sebagian besar ditumpuk dan dibuang ke lingkungan sekitarnya dan hanya sebagian kecil diolah kembali menjadi produk lainnya

yang bermanfaat seperti untuk bahan baku pembuatan pakan ternak, namun proses pengolahan tersebut masih menyisakan limbah ampas kelapa dalam jumlah yang besar. Dalam jangka panjang, limbah ampas kelapa tersebut dapat mencemari lingkungan di sekitarnya seperti tercemarnya sumber air tanah dan menimbulkan pencemaran udara dari bau busuk yang ditimbulkannya. Untuk mengatasi kendala tersebut, limbah ampas

kelapa perlu di proses di manfaatkan lebih lanjut. Salah satunya adalah untuk bahan baku pembuatan biodiesel karena kandungan minyak dalam ampas kelapa masih tinggi, yaitu berkisar 15 – 24 % (Sulaiman dkk., 2013). Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif pengganti solar yang diproduksi dari trigliserida berbagai jenis tumbuhan dan lemak hewani dan limbah-limbah yang mengandung lemak (Demirbas, 2009).

Pemanfaatan limbah ampas kelapa untuk bahan baku pembuatan biodiesel telah dilakukan oleh beberapa peneliti diantaranya Sulaiman dkk. (2013) dan Novita dkk. (2014) menggunakan sistem pemanasan konvensional. Penggunaan biodiesel sebagai bahan bakar alternatif pengganti solar akan memberikan beberapa keuntungan diantaranya dapat diperbaharui, dapat terdegradasi, menghasilkan emisi CO₂, SO₂, jelaga dan hidrokarbon yang lebih rendah. Lebih lanjut, biodiesel tidak mengandung sulfur dan *benzene*, memiliki kandungan bilangan *cetane* yang lebih tinggi, sehingga kinerja mesin lebih sempurna. Penggunaan biodiesel dapat memecahkan dua krisis yang dihadapi dunia yaitu krisis bahan bakar dan krisis terhadap polusi lingkungan (Refaat, 2010; Prateepchaikul dkk., 2009).

Proses transesterifikasi konvensional maupun transesterifikasi in situ umumnya masih menggunakan sistem pemanasan konvensional untuk mengkonversi bahan baku menjadi biodiesel (Shuit dkk., 2010; Zeng dkk., 2009). Penggunaan pemanasan konvensional ini dihadapkan pada beberapa permasalahan diantaranya proses produksi yang relatif lama (dalam hitungan jam) dan menghasilkan rendemen biodiesel yang rendah. Untuk itu perlu dicarikan solusi lainnya diantaranya adalah dengan menggunakan gelombang mikro atau yang lebih dikenal dengan sebutan *microwave*.

Microwave didefinisikan sebagai sebuah gelombang radio yang masuk dalam golongan gelombang sangat pendek (*ultra short*) dengan panjang gelombang berkisar antara 1 – 30 cm (Leadbeater, 2008). Berbeda dengan pemanasan konvensional yang memanaskan bahan (padat dan cair) secara konduksi dan konveksi secara perlahan-lahan melalui permukaan bahan, gelombang mikro bekerja dengan cara mengirimkan radiasi gelombang mikro secara langsung kedalam molekul reaktan tanpa kontak langsung dengan dinding bahan dan panas dibangkitkan secara internal akibat getaran molekul-molekul bahan

sehingga proses perpindahan panas lebih efektif, laju reaksi semakin cepat sehingga proses pemasakan atau pemanasan dapat dilakukan dengan sangat cepat (Manco dkk., 2012., Motasemi dan Ani, 2012). Penggunaan gelombang mikro (*microwave*) untuk memproduksi biodiesel pertama sekali dilaporkan oleh Breccia dkk pada tahun 1999 (Da Ros dkk., 2012). Mereka meneliti pembuatan biodiesel dari biji-bijian dan memperoleh rendemen tertinggi >98% kurang dari 2 menit. Selanjutnya penelitian penggunaan gelombang mikro pada proses produksi biodiesel semakin insentif dilakukan oleh banyak peneliti. Quitain dkk. (2011) menggunakan katalis homogen dan dapat menghasilkan rendemen biodiesel diatas 95% dengan waktu reaksi hanya 1 menit.

Penelitian ini bertujuan untuk memproduksi biodiesel dari limbah ampas kelapa secara transesterifikasi in situ dengan bantuan gelombang mikro (*microwave*). Pengamatan dilakukan terhadap rendemen dan mutu biodiesel yang dihasilkan. Dilakukan juga pengujian komponen biodiesel menggunakan peralatan *Gas Chromatography-Massa* (GC-MS).

2. Metodologi Penelitian

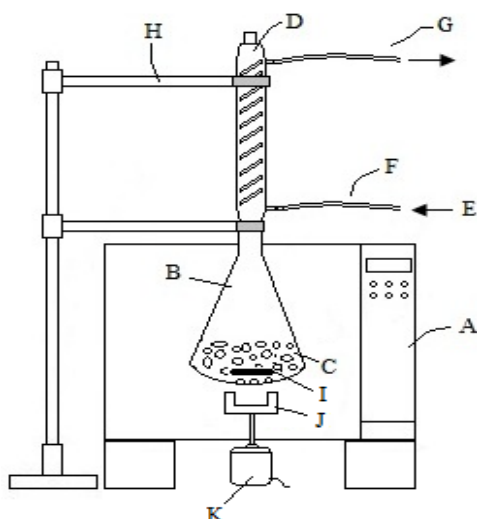
2.1. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari ampas kelapa yang diperoleh dari pasar Setui Banda Aceh, metanol teknis, chloroform pa (Merck) dan katalis KOH pa (Merck). Peralatan yang digunakan terdiri dari: oven *microwave* (Samsung ME731K), rotary evaporator (Laborota 4003), oven pengering (Mettler), labu pemisah 250 ml (Pyrex), Condensor (Pyrex) dan Erlenmeyer 500 ml (Pyrex). Gambar rangkaian peralatan *microwave* disajikan pada Gambar 1.

2.2. Metodologi

Ampas kelapa dikumpulkan dan dikeringkan di dalam oven pengering pada temperatur 60 °C selama 12 jam. Selanjutnya 20 gram ampas kelapa yang telah dikeringkan dihaluskan menggunakan blender hingga mencapai ukuran ± 30 mesh. Metanol, chloroform dan katalis KOH dicampur di dalam labu reaksi sesuai dengan variabel yang telah ditentukan. Selanjutnya ampas kelapa dimasukkan ke dalam campuran tersebut dan dilakukan proses transesterifikasi in situ menggunakan oven *microwave* sesuai dengan variabel yang telah ditentukan dan didiamkan selama 24 jam. Ampas kelapa dan cairan dipisahkan dengan

cara menyaring. Cairan berupa campuran biodiesel mentah (*crude biodiesel*), metanol dan chloroform dan larutan katalis dipisahkan menggunakan *rotary evaporator* pada temperatur proses 70 °C. Hasil dari ekstrak evaporator dipisahkan dalam labu pemisah. Bagian bawah berupa gliserol dibuang, sedangkan produk biodiesel di cuci menggunakan air hangat sebanyak 2 – 3 kali dan di sisa air diuapkan menggunakan pemanas pada temperatur 110 °C. Selanjutnya produk biodiesel dihitung rendemennya dan diuji sesuai dengan standar SNI.



Keterangan:

A	Oven <i>microwave</i>	G	Air Keluar
B	Labu reaksi	H	Penyangga
C	Reaktan	I	Magnet bar
D	Kondensor	J	Besi U
E	Dari pompa air	K	Pengaduk
F	Air masuk		

Gambar 1. Rangkaian peralatan *microwave*

2.3. Analisa Bahan Baku dan Produk Biodiesel

Bahan baku ampas kelapa yang akan digunakan untuk memproduksi biodiesel terlebih dahulu di uji karakteristiknya meliputi uji kadar lemak dan kadar air, sedangkan minyak ampas kelapa diuji karakteristiknya meliputi angka asam, densitas dan viskositas kinematik. (Minyak ampas kelapa diperoleh dari hasil ekstraksi dengan alat Soxhlet menggunakan pelarut n-Hexane yang digunakan sebagai pembanding saja). Produk biodiesel yang diperoleh dari penelitian ini diambil dan dilakukan pengujian sesuai dengan standar SNI 7182-2012.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Karakteristik Ampas dan Minyak Ampas Kelapa

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari ampas dan minyak ampas kelapa yang akan digunakan untuk pembuatan biodiesel. Pengujian yang dilakukan terdiri dari pengujian ampas kelapa (kadar lemak dan kadar air) dan pengujian minyak ampas kelapa (angka asam, densitas dan viskositas). Hasil pengujian ampas kelapa disajikan pada Tabel 1 sedangkan hasil pengujian minyak ampas kelapa disajikan pada Tabel 2.

Tabel 1 Hasil pengujian karakteristik ampas kelapa

No.	Parameter	Satuan	Hasil Uji
1	Kadar lemak	%	15,13
2	Kadar Air	%	8,1

Berdasarkan data pada Tabel 1 dapat diketahui bahwa ampas kelapa yang diuji mengandung kadar lemak yang masih tinggi yaitu mencapai 15,13%. Hal ini menunjukkan bahwa ampas kelapa berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel menggantikan bahan bakar berbasis fosil. Data dari Tabel 1 juga menunjukkan bahwa nilai kadar air ampas kelapa mencapai 8,1%. Dengan demikian, ampas kelapa harus dikeringkan terlebih dahulu hingga kadar air kurang dari 1% agar dapat digunakan untuk memproduksi biodiesel.

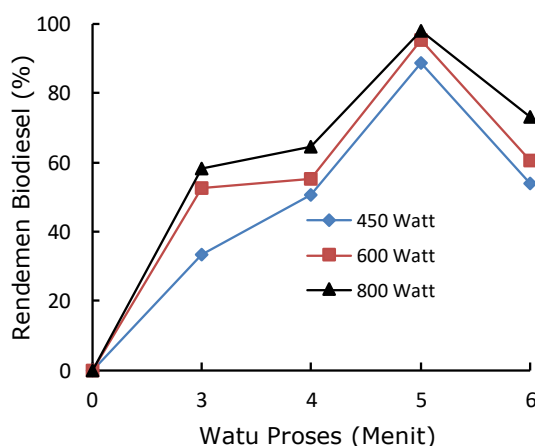
Tabel 2. Hasil pengujian karakteristik minyak ampas kelapa

No.	Parameter	Satuan	Hasil Uji
1	Angka asam	mg-KOH/g	0,83
2	Densitas	kg/m ³	916
3	Viskositas	mm ² /s	6,6

Data dari Tabel 2 menunjukkan bahwa angka asam dari minyak ampas kelapa mencapai 0,83 mg-KOH/g, sedangkan nilai densitas mencapai 916 kg/m³ dan nilai viskositas kinematik mencapai 6,6 mm²/s (cSt). Ketiga parameter uji tersebut memiliki nilai yang lebih tinggi dari persyaratan SNI No. 7182-2012 sehingga minyak dari ampas kelapa tersebut tidak dapat digunakan langsung untuk menggantikan bahan bakar solar. Minyak ampas kelapa harus diolah terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai bahan bakar, misalnya melalui proses transesterifikasi, untuk dijadikan biodiesel.

3.2. Pengaruh variabel proses

Salah satu faktor yang diperhitungkan dan menentukan kelayakan suatu proses industri pengolahan biodiesel adalah rendemen yang dihasilkan. Rendemen yang semakin tinggi mengindikasikan proses yang semakin menguntungkan. Pada proses produksi biodiesel secara transesterifikasi in situ banyaknya rendemen yang diperoleh ditentukan oleh beberapa faktor diantaranya perbandingan rasio bahan baku terhadap pelarut, jumlah katalis dan waktu proses. Jika menggunakan peralatan *microwave* maka daya *microwave* juga berpengaruh terhadap rendemen biodiesel. Pengaruh variabel proses terhadap rendemen biodiesel menggunakan peralatan *microwave* disajikan pada Gambar 2, 3 dan 4.

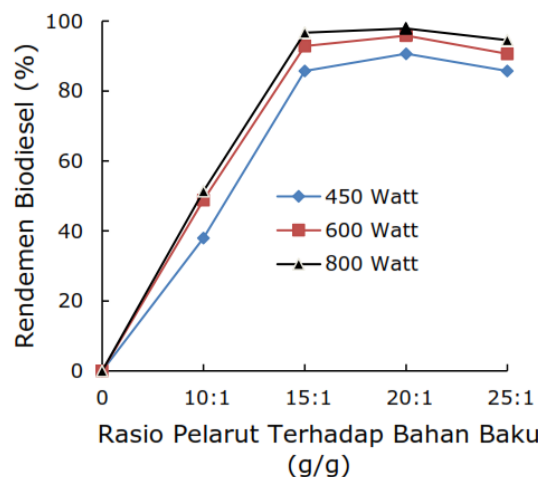


Gambar 2. Pengaruh waktu proses terhadap rendemen biodiesel pada daya *microwave* 450, 600 dan 800 watt (rasio berat pelarut terhadap bahan 1:20, jumlah katalis 4%)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa reaksi transesterifikasi in situ menggunakan *microwave* mampu mempercepat reaksi dan dapat mengkonversi ampas kelapa menjadi biodiesel dalam waktu yang relatif cepat. Rendemen biodiesel meningkat pada waktu proses hingga 5 menit (Gambar 2). Rendemen tertinggi sebesar 98,23 % diperoleh pada waktu proses 5 menit dan daya *microwave* sebesar 800 watt. Sementara itu, penggunaan waktu proses lebih dari 5 menit menyebabkan rendemen biodiesel menurun tajam menjadi 73,22 % pada daya *microwave* 800 watt. Kecenderungan yang sama terjadi juga pada daya *microwave* 600 dan 450 watt dimana terjadi penurunan rendemen biodiesel pada waktu diatas 5 menit. Penggunaan waktu proses yang berlebihan menyebabkan turunnya rendemen biodiesel. Hal ini

disebabkan terjadinya reaksi balik (*backward reaction*) dimana ketika kondisi proses sudah mencapai kesetimbangan maka bertambahnya waktu proses akan menyebabkan reaksi bergeser kembali ke arah reaktan. Akibatnya, rendemen biodiesel yang diperoleh akan berkurang (Ramachandran dkk., 2013).

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa pada waktu proses yang sama, rendemen biodiesel cenderung meningkat dengan semakin tingginya daya *microwave* yang digunakan. Untuk kisaran daya *microwave* yang dipelajari, rendemen biodiesel tertinggi diperoleh pada penggunaan daya *microwave* 800 watt. Hal ini menunjukkan proses transesterifikasi akan semakin efektif dengan semakin tingginya daya *microwave*. Tingginya efektivitas proses transesterifikasi menggunakan *microwave* disebabkan oleh adanya penyerapan radiasi secara langsung terhadap OH grup dari reaktan. Hal ini menyebabkan temperatur lokal dari OH grup menjadi lebih tinggi dari temperatur lingkungan disekitarnya yang mengakibatkan proses pemanasan berlangsung lebih cepat sehingga akan meningkatkan laju reaksi (Lin dkk., 2012; Lertsathapornasuk dkk., 2008).



Gambar 3. Pengaruh rasio berat pelarut terhadap bahan baku pada daya *microwave* 450, 600 dan 800 watt (waktu proses 5 menit, jumlah katalis 4%)

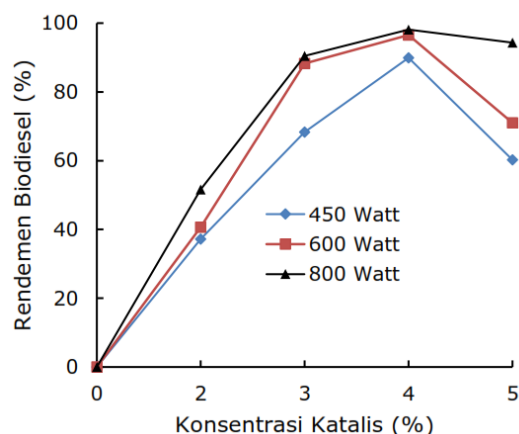
Pengaruh rasio berat pelarut terhadap bahan baku ampas kelapa terhadap rendemen biodiesel yang dapat diperoleh pada daya *microwave* 450, 600 dan 800 watt disajikan pada Gambar 3. Pada penelitian ini, rasio berat pelarut terhadap bahan baku yang digunakan berkisar antara 10:1 hingga 25:1. Jumlah pelarut metanol yang digunakan pada proses transesterifikasi in situ lebih besar dari pada proses transesterifikasi

konvensional. Pada proses transesterifikasi in situ, pelarut metanol memiliki fungsi ganda yaitu sebagai pelarut pada proses ekstraksi minyak dari bahan baku dan sebagai reaktan pada proses transesterifikasi untuk menghasilkan biodiesel (Shuit dkk., 2010). Hal ini berbeda dengan proses transesterifikasi konvensional dimana pelarut seperti metanol hanya berfungsi untuk mengkonversi minyak menjadi biodiesel.

Berdasarkan data dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa semakin besar jumlah pelarut yang digunakan maka rendemen biodiesel yang diperoleh cenderung semakin tinggi. Namun, rendemen biodiesel tidak mengalami kenaikan pada penggunaan rasio berat pelarut terhadap bahan baku lebih besar dari 15:1. Hal ini disebabkan jumlah minyak dalam ampas kelapa yang dapat diekstrak menggunakan pelarut metanol sudah maksimal pada penggunaan rasio berat pelarut terhadap bahan baku 15:1 sehingga penambahan jumlah metanol tidak dapat meningkatkan jumlah minyak yang diekstrak dan menaikkan rendemen biodiesel. Selain itu, bertambahnya jumlah metanol yang digunakan akan menyebabkan terganggunya proses pemisahan produk biodiesel dan gliserol karena metanol yang berlebih akan menyebabkan meningkatnya kelarutan gliserol dalam reaktan. Proses pemisahan yang tidak sempurna ini merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi rendemen biodiesel yang dihasilkan (Komintarachat dan Chuepeng, 2010; Miao dan Wu, 2006). Rendemen biodiesel tertinggi sebesar 98,23% diperoleh pada rasio pelarut terhadap bahan baku 20:1 pada daya *microwave* 800 watt.

Gambar 3 juga menunjukkan bahwa daya *microwave* juga berpengaruh terhadap rendemen biodiesel. Dimana rendemen tertinggi diperoleh pada daya *microwave* 800 watt sedangkan rendemen terendah diperoleh pada daya *microwave* 450 watt. Hal ini disebabkan radiasi yang dihasilkan *microwave* dengan daya yang rendah belum mampu mendorong reaksi ke arah kanan untuk membentuk biodiesel secara maksimal sehingga rendemen biodiesel yang dihasilkan rendah (Haryanto dkk., 2015). Patil dkk. (2012) juga telah melaporkan penggunaan daya maksimal 800 watt menghasilkan rendemen biodiesel tertinggi dengan menggunakan transesterifikasi konvensional.

Pengaruh jumlah katalis KOH terhadap rendemen biodiesel yang dihasilkan pada daya *microwave* 450, 600 dan 800 watt disajikan pada Gambar 4. Seperti halnya proses transesterifikasi konvensional, proses transesterifikasi in situ memerlukan katalis dalam jumlah tertentu untuk mempercepat reaksi dan menurunkan energi aktivasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rendemen biodiesel yang meningkat dengan bertambahnya jumlah katalis yang digunakan. Namun, jika katalis yang digunakan berlebihan rendemen biodiesel menjadi menurun. Katalis yang berlebihan akan menyebabkan terjadinya reaksi penyabunan dan membentuk emulsi yang dapat mengurangi perolehan biodiesel (Liu dan Wang, 2013). Hasil penelitian menunjukkan kecenderungan yang sama untuk semua daya *microwave* yang digunakan dimana penggunaan katalis sebanyak 5% menyebabkan rendemen menjadi berkurang. Proses transesterifikasi in situ biji pandan laut juga menghasilkan kecenderungan yang sama (Mahlinda dkk., 2016). Daya *microwave* juga berpengaruh terhadap perolehan rendemen biodiesel dimana rendemen tertinggi diperoleh pada daya 800 watt dan rendemen terendah pada daya 450 watt. Rendemen biodiesel tertinggi (98,23%) diperoleh pada pemakaian jumlah katalis 4% dan daya *microwave* 800 watt.



Gambar 4. Pengaruh jumlah katalis terhadap berat bahan baku pada daya *microwave* 450, 600 dan 800 watt (waktu proses 5 menit, rasio berat pelarut terhadap bahan 20:1)

3.3. Mutu Biodiesel

Pengujian mutu biodiesel berpedoman pada standar mutu SNI 7182-2012 dengan parameter yang diuji antara lain viskositas, densitas, angka asam dan kadar metil esterl. Hasil pengujian mutu produk biodiesel dari ampas kelapa dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian mutu produk biodiesel dari ampas kelapa

Parameter Uji	Satuan	Standar SNI	Hasil Uji
Viskositas (40 °C)	mm ² /s	2,3 – 6,0	2,7
Densitas (40 °C)	kg/m ³	850 – 890	850
Angka Asam	mg-KOH/gr	Maks. 0,8	0,4

Data pada Tabel 3 menunjukkan hasil uji viskositas adalah sebesar 2,7 mm²/s dimana nilai viskositas ini masih masuk dalam rentang nilai SNI yaitu pada kisaran 2,3–6,0 mm²/s. Pengujian densitas produk biodiesel yang dihasilkan menunjukkan nilai sebesar 850 kg/m³. Nilai densitas ini juga masih masuk dalam rentang nilai SNI yaitu 850–890 kg/m³. Sementara itu, hasil pengujian angka asam dari produk biodiesel adalah sebesar 0,4 mg-KOH/g. Nilai angka asam ini juga masih masuk dalam nilai standar SNI yaitu maksimal 0,8 mg-KOH/g.

Pengujian kadar metil ester dilakukan dengan menganalisa sampel biodiesel menggunakan peralatan *Gas Chromatography-Massa* (GC-MS) dan menghitung persentase dari setiap puncaknya. Hasil pengujian menunjukkan komponen utama biodiesel terdiri dari *methyl laurate* (29,41%), *methyl oleate* (21,05%), *methyl myristate* (20,21%), *methyl palmitate* (14,18%), *methyl caprate* (6,94%), *methyl linoleate* (5,47%), *methyl octanoate* (2,25%) dan komponen lainnya dalam jumlah kecil. Hasil uji ini juga masih memenuhi standar SNI yaitu min. 96,5%.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil proses transesterifikasi in situ ampas kelapa menggunakan bantuan *microwave* yang telah dilaksanakan dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Pengujian karakteristik ampas kelapa menunjukkan potensi ampas kelapa untuk digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel.
2. Rendemen biodiesel tertinggi yang dapat diperoleh adalah sebesar 98,23% pada daya *microwave* 800 watt, waktu reaksi 5 menit, rasio berat metanol terhadap bahan baku 20:1, jumlah katalis KOH 4%.
3. Hasil pengujian mutu produk biodiesel yang dihasilkan meliputi uji viskositas, densitas, angka asam, air dalam sedimen dan kadar ester metil menunjukkan semua parameter yang diuji masih masuk dalam rentang SNI 04-7182-2006.

4. Hasil analisis GC-MS menunjukkan komponen utama biodiesel terdiri dari *methyl laurate*, *methyl oleate*, *methyl myristate*, *methyl palmitate*, *methyl caprate*, *methyl linoleate* dan *methyl octanoate*.

Daftar Pustaka

- Aptekin, E., Canacki, M. (2008). Determination of the density and the viscosities of biodiesel-diesel fuel blends. *Renewable Energy*, 33, 2623-2630.
- Breccia, A., Esposito, B., Fratadocchi, B., Fini, A. (1999). Reaction between methanol and commercial seed oils under microwave irradiation. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*. 344, 3 -8.
- Da Ros, P.C.M., Freitas, L., Perez, V.H., de Castro, H.F. (2012). Enzymatic sythesis of biodiesel from palm oil assisted by microwave irradiation. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 1-9.
- Demirbas, A. (2009). Progress and recent trends in biodiesel fuels. *Energy Conversion and Management*, 50, 14-34.
- Haryanto, A., Silviana, U., Triyono, S., Prabawa, S. (2015). Produksi biodiesel dari transesterifikasi minyak jelantah dengan bantuan gelombang mikro: Pengaruh intensitas daya dan waktu reaksi terhadap rendemen dan karakteristik biodiesel. *Jurnal Agritech*, 35 (2), 234-240.
- Komintarachat, C., Chuepeng, S. (2010). Metanol based transesterification optimization of waste used cooking oil over potassium hydroxide catalyst. *American Journal of Applied Science*, 7, 184 – 188.
- Leadbeater, E.N. (2008). Microwave for biodiesel production: Accelerating the

- biofuel revolution. *UCONN Sustainable Energy Symposium*, University of Connecticut.
- Lertsathapornasuk, V., Pairintra, R., Aryusuk, K., Krisnangkura, K. (2008). Microwave assisted in continous biodiesel production from waste frying palm oil and its performance in a 100 kW diesel generator. *Fuel Processing Technology*, 89, 1330-1336.
- Lin, C.Y., Lin, F.J., Hsiao, H.Y., Hsu, H.K. (2012). Soybean oil for biodiesel production assisted by a microwave system and sodium methoxide catalyst. *Sustainable Environment Research*, 22(4), 247-254.
- Liu, K., Wang, R. (2013). Biodiesel production by transesterification of duck oil with methanol in the presence of alkali catalyst. *Petroleum and Coal*, 55, 68 – 72.
- Mahlinda, Supardan, M.D., Husin, H., Riza, M. (2016). Transesterifikasi in situ biji pandan laut (*Pandanus tectorius*) menjadi biodiesel menggunakan gelombang ultrasonik. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 26(3), 294-300
- Manco, I., Giordani, L., Vaccari, V., Oddone M. (2012). Microwave technology for the biodiesel production: Anaytical assesments. *Fuel*, 95, 108-112.
- Miao, X., Wu, Q. (2006). Biodiesel production from heterotrophic microalga oil. *Bioresources Technology*, 97, 841 – 846.
- Motasemi, F., Ani, F.N. (2012). A review on microwave-assisted production of biodiesel. *Renewable and Sustainable Energy Review*, 16, 4719-4733.
- Novita, A.S., Djinis, E.M., Melly, S., Putri, K.S. (2014). Processing coconut fiber and shell to biodiesel. *Advance Science Engineering Information Technology*, 4, 84 – 86.
- Patil, P.D., Gude, V.G., Mannarswamy, A., Cooke, P., Nirmalakhandan, N., Lammers, P., Deng, S. (2012). Comparison of direct transesterification of algal biomass under supercritical methanol and microwave irradiation conditions, *Fuel*, 97, 822-831
- Prateepchaikul, G., Allen, M.L., Somnuk, K. (2009). Design and testing of continous acid-cataliyzed esterification reactor for high free fatty acid mixed crude palm oil. *Fuel Processing Technology*, 90, 784-789.
- Quitain, T.A., Katoh, S., Goto, M. (2011). *Microwave-assisted synthesis of biofuel*. Hand book of Biofuel Production-Recent Development and Prospect, 415 – 436.
- Ramachandran, K., Suganyan, T., Gandhi N., Renganathan S (2013). Recent developments for biodiesel production by ultrasonic assist transesterification using different heterogeneous catalyst: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 410-418.
- Refaat, A.A. (2010). Different techniques for the production of biodiesel from waste vegetable oil. *Environmental Science Technology*, 7:183-213.
- Sulaiman, S., Raman, A.A.A., Aroua, K.M. (2013). Optimization and modeling of extraction of solid coconut waste oil. *Journal of Food Engineering*, 114, 228-234.
- Shuit, S.H., Lee, K.T., Kamaruddin, A.H., Yusup, S. (2010). Reactive extraction and in situ esterification of *Jatropha curcas* L seed for the production of biodiesel. *Fuel*, 89, 527-530.
- Zeng, J.L., Wang, X.D, Zhao, B., Sun, J., Wang, Y.C. (2009). Rapid in situ transesterification of sunflower. *Industrial Engineering Chemical Research*, 48, 850-856.