

BIODIESEL DARI MINYAK BIJI KAPUK (*CEIBA PENTANDRA*) TEROZONASI MELALUI PROSES DENGAN BANTUAN ULTRASONIK

Haryono*, Solihudin, Evy Ernawati, Ferry Arifiadi

Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran,
Jl. Raya Bandung-Sumedang Km. 21 Jatinangor, Sumedang 45363 Jawa Barat

*E-mail: haryono@unpad.ac.id

Abstrak

Minyak biji kapuk sebagai minyak non pangan merupakan bahan baku potensial untuk sintesis biodiesel. Metode alternatif sintesis biodiesel dari minyak biji kapuk telah diterapkan pada penelitian ini. Minyak biji kapuk diozonasi sebelum mengalami tahap esterifikasi, selanjutnya dilakukan tahap trans-esterifikasi dengan katalis KOH. Kedua tahap sintesis biodiesel tersebut diselenggarakan dengan bantuan gelombang ultrasonik. Tujuan penelitian ini adalah mempelajari pengaruh lama reaksi trans-esterifikasi dengan katalis KOH dibantuan gelombang ultrasonik pada sintesis biodiesel dari minyak biji kapuk terozonasi. Lama reaksi trans-esterifikasi dipelajari pada variasi waktu 30, 60, dan 90 menit dengan bantuan gelombang ultrasonik pada frekuensi 35 kHz. Hasil penelitian menunjukkan bahwa reaksi trans-esterifikasi selama 60 menit memberikan biodiesel dengan kualitas terbaik, yaitu bilangan asam 0,75mg KOH/g, bilangan iod 80,56mg I₂/g, densitas 877kg/m³, viskositas 4,7mm²/s, angka cetana 68,7, dan titik nyala 135°C, pada kondisi tersebut diperoleh biodiesel dengan rendemen 86,75%.

Kata kunci : biodiesel, minyak biji kapuk, ozonasi, ultrasonik.

BIODIESEL FROM THE OZONATED KAPOK OIL (*CEIBA PENTANDRA*) VIA ULTRASONIC-ASSISTED PROCESS

Abstract

Kapok seed oil as non-food oil is a potential raw material for biodiesel synthesis. An alternative method of biodiesel synthesis from kapok seed oil has been applied in this study. The kapok seed oil is ozonated before undergoing the esterification stage, and then the trans-esterification step is carried out with KOH catalyst. The two stages of biodiesel synthesis are carried out with the help of ultrasonic waves. The purpose of this study was to study the effect of the duration of the trans-esterification reaction with KOH catalyst assisted by ultrasonic waves in the synthesis of biodiesel from ozonated kapok seed oil. The duration of the trans-esterification reaction was studied in variations of time 30, 60, and 90 minutes with the help of ultrasonic waves at a frequency of 35 kHz. The results showed that the 60-minute trans-esterification reaction gave the best quality biodiesel, i.e. the acid number of 0.75mg KOH/g, the iodine number of 80.56mg I₂/g, the density of 877kg/m³, the viscosity of 4.7mm²/s, the cetane number of 68.7, and the flash point of 135°C, in this condition biodiesel is obtained with a yield of 86.75%.

Key words : biodiesel, kapok seed oil, ozonation, ultrasonic.

PENDAHULUAN

Konsumsi energi jenis BBM (bensin, minyak solar, minyak diesel, minyak tanah, minyak bakar,

avtur dan avgas) di Indonesia dari tahun 2010-2015 menunjukkan jumlah dominasi, yaitu sebesar mencapai 25% dari total konsumsi energi nasional, dengan peningkatan konsumsi sekitar 4,7% per

tahun (BPPT, 2017). Di samping itu, efek rumah kaca dan perubahan iklim global sebagai dampak pemakaian BBN merupakan isu kontroversial dan kritis yang berdampak terhadap industri energi, pembuat kebijakan publik, dan masyarakat. Oleh karena itu, sektor energi, transportasi, dan industri sudah seharusnya memanfaatkan bahan bakar bersifat terbarukan dan berkelanjutan, yaitu bahan bakar dari sumber-sumber energi dengan kadar energi tinggi dengan emisi gas-gas rumah kaca minimal, dan bersifat terbarukan. Biomassa merupakan salah satu sumber energi paling penting yang bersifat terbarukan dan berkelanjutan tersebut (Chung, 2013). Pemrosesan terhadap biomassa tersebut akan menghasilkan salah satu jenis bahan bakar terbarukan, yaitu biodiesel. Pemanfaatan biodiesel akan mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan mengurangi emisi polutan udara dari operasional mesin diesel (Hayyan *et al.*, 2010).

Biodiesel secara umum adalah metil ester dari asam lemak rantai panjang. Biodiesel dapat dibuat dari minyak nabati, lemak hewan, atau sumber-sumber lainnya seperti limbah minyak goreng (Hayyan *et al.*, 2010; Gerpen *et al.*, 2004). Salah satu sumber energi hayati potensial di Indonesia adalah minyak biji kapuk (*Ceiba pentandra*). Minyak biji kapuk ini mengandung asam lemak tidak jenuh sekitar 63,27%, dengan kadar asam lemak bebas sekitar 8,6% (Haryono & Marliani, 2014). Hal ini menyebabkan minyak biji kapuk mudah tengik, sehingga kurang baik untuk dikembangkan sebagai minyak pangan. Pemanfaatan minyak non pangan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel merupakan alternatif terbaik untuk menghindari persaingan sektor energi dan sektor pangan.

Secara konvensional, biodiesel diproduksi melalui proses trans-esterifikasi menggunakan katalis basa homogen, seperti NaOH atau KOH. Katalis basa kuat tersebut memiliki aktivitas tinggi (menghasilkan konversi hampir 100% dalam waktu 1jam), dan membutuhkan kondisi reaksi yang relatif ringan (65°C dan 1atm). Namun jika kadar asam lemak bebas (ALB) lebih dari 1,0% atau sekitar 2mg KOH/g minyak, produksi biodiesel dengan katalis homogen harus dilakukan melalui 2 tahap proses: esterifikasi dengan katalis asam dilanjutkan trans-esterifikasi dengan katalis basa (Gerpen *et al.*, 2004; Yan *et al.*, 2010). Proses produksi biodiesel secara konvensional tersebut dapat diperbaiki efisiensi dan produktivitasnya dengan mereduksi waktu reaksi atau menurunkan suhu reaksi melalui beberapa inovasi teknologi, Salah satunya adalah dengan bantuan gelombang ultrasonik (Badday *et al.*, 2012). Ultrasonik adalah bagian gelombang suara yang frekuensinya di atas kemampuan pendengaran manusia, biasanya di atas 20 kHz. Penggunaan

gelombang ultrasonik pada pembuatan biodiesel dapat mempersingkat waktu dari 1-6jam menjadi kurang dari 30-60menit, dan mempersingkat waktu pemisahan yang sebelumnya 5-8jam menjadi kurang dari 60menit (Bulent, 2008).

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan biodiesel yang memenuhi standar kualitas biodiesel menurut SNI 7182-2015 (BSN, 2015) dari minyak biji kapuk melalui proses esterifikasi dan trans-esterifikasi dengan katalis asam dan basa homogen, dengan memanfaatkan bantuan gelombang ultrasonik.

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan-bahan utama yang digunakan pada penelitian ini adalah minyak biji kapuk (diperoleh dari Semarang, Jawa Tengah), H₃PO₄ 85% (Merck), H₂SO₄ 98% (Merck), dan KOH 90% (Merck).

Alat

Alat-alat utama yang digunakan pada penelitian ini adalah *ozone generator* (Ozone S2Q-OZ/2, Canada), reaktor labu leher tiga, *hot plate magnetic stirred* dan oven (Thermoline scientific, Australia), pendingin balik, corong pisah, viskometer Brookfield (Brookfield AMETEK), alat uji titik nyala (Pensky-Martens *closed cup flash point tester* K16225, Koehler Instrument Co, Inc., Jerman), dan instrumen GC/MS (Shimadzu QP 2010 ULTRA, Jepang).

Pelaksanaan Penelitian

Degumming: Sejumlah tertentu minyak biji kapuk dipanaskan pada suhu 70°C dan diaduk selama 15 menit, kemudian ditambahkan 0,1% larutan asam fosfat 85% dan diaduk selama 5menit. Selanjutnya akuades sebanyak 20% dari berat minyak ditambahkan dan diaduk selama 5menit. Campuran hasil *degumming* didinginkan sampai suhu ruang. Campuran selanjutnya disentrifugasi pada kecepatan 3500 rpm selama 25 menit, lalu disaring untuk memisahkan *gum* dari minyak.

Ozonasi minyak biji kapuk: Minyak biji kapuk hasil *degumming* dimasukkan ke dalam tangki oksidasi yang dilengkapi pengaduk. Saluran pengaliran ozon dihubungkan dari *ozone generator* ke bagian lapisan bawah minyak biji kapuk. Oksidasi terhadap minyak dilakukan dengan mengoperasikan *ozone generator* yang mampu mengubah oksigen dalam udara menjadi ozon dengan kapasitas laju alir 7,56L/menit. Proses ozonasi dilakukan selama 90 menit dengan dibantu pengaduk magnet.

Esterifikasi dan trans-esterifikasi: Minyak biji kapuk dari proses ozonasi yang telah dianalisis beberapa parameter kimia fisiknya kemudian

disintesis menjadi biodiesel melalui 2 tahap proses: esterifikasi dan trans-esterifikasi. Minyak biji kapuk dan metanol dengan rasio mol 1:6 dimasukkan ke dalam reaktor yang telah dilengkapi *ultrasonic generator*. Kemudian ditambahkan katalis H₂SO₄ 98% sebanyak 3%-v. Campuran reaktan dan katalis direaksikan pada suhu 60°C selama 2jam dengan bantuan ultrasonik pada frekuensi 35kHz. Hasil reaksi esterifikasi (fase organik) kemudian dimurnikan. Fase organik hasil esterifikasi selanjutnya direaksikan kembali dengan metanol pada rasio mol minyak terhadap metanol 1:6 pada tahap trans-esterifikasi dengan bantuan katalis KOH sebanyak 1%-b. Reaksi trans-esterifikasi dilakukan selama 30, 60, dan 90menit dengan bantuan gelombang ultrasonik pada frekuensi 35kHz. Hasil reaksi berupa biodiesel kasar dan gliserol lalu dimurnikan, kemudian dilakukan perhitungan rendemen, serta dianalisis beberapa parameter kualitasnya. Rendemen biodiesel dihitung dengan persamaan (1).

$$\text{Rendemen Biodiesel} = \frac{\text{Massa Biodiesel Aktual}}{\text{Massa Biodiesel Stokimetri}} \cdot 100\% \quad (1)$$

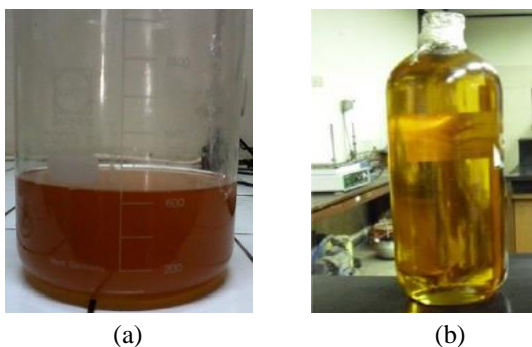
Analisis kualitas dan komposisi minyak dan biodiesel: Analisis sifat-sifat kimia fisik dan komposisi dilakukan terhadap minyak nyamplung sebelum dan setelah ozonisasi, setelah esterifikasi, dan biodiesel murni hasil trans-esterifikasi. Sifat kimia fisik dan kimia yang dianalisis adalah densitas, viskositas, bilangan asam, bilangan iod, bilangan penyabunan, titik nyala, bilangan cetana, dan komposisi kimia asam lemak/metil ester. Bilangan cetana dihitung berdasarkan persamaan (2) (Azam *et al.*, 2005).

$$\text{Bilangan Cetana} = 46,3 + \frac{5458}{\text{Bilangan Penyabunan}} - 0,225 \cdot \text{Bilangan iod} \quad (2)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Minyak biji kapuk hasil *degumming* dan ozonasi

Minyak biji kapuk secara penampilan fisik (ditampilkan pada Gambar 1).



Gambar 1. Minyak biji kapuk (a) sebelum dan (b) setelah *degumming*

Sebelum *degumming* berwarna orange kecoklatan dan keruh. Setelah tahap *degumming*, minyak biji kapuk berwarna kuning cerah. Hal tersebut menunjukkan bahwa pengotor berupa fosfatida dan fosfolipid telah berhasil dipisahkan dari minyak biji kapuk. Minyak biji kapuk hasil *degumming* selanjutnya diozonasi, dan dianalisis sifat kimia fisiknya. Perbandingan sifat kimia fisik minyak biji kapuk antara sebelum dan setelah ozonasi ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat kimia fisik minyak biji kapuk sebelum dan setelah ozonasi

Parameter Uji	Nilai	
	Sebelum	Setelah
Bilangan asam (mg KOH/g)	17,65	22,89
Kadar ALB (%)	8,83	11,45
Bilangan penyabunan (mg KOH/g)	110,46	127,19
Bilangan iod (mg I ₂ /g)	89,38	88,39
Viskositas kinematik (mm ² /s)	38,6	37,6
Densitas (kg/m ³)	906	904

Sedangkan jenis dan komposisi asam lemak penyusun minyak biji kapuk dari tahap *degumming* ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Jenis dan komposisi asam lemak minyak biji kapuk

Asam lemak	Waktu retensi/ menit	Singkatan Umum	Berat Molekul/ g mol ⁻¹	Luas Puncak/ %
Asam palmitat	19,082	C16:0	256,43	19,10
Asam palmitoleat	19,983	C16:1	254,41	4,38
Asam linoleat	21,139	C18:2	280,45	27,69
Asam oleat	21,192	C18:1	282,47	17,89
Asam stearat	21,439	C18:0	284,48	5,95
Asam arakidat	23,609	C20:0	312,54	2,96
Asam lemak variatif lain*	variatif	variatif	variatif	0,4-4,09

Minyak biji kapuk berdasarkan parameter kadar ALB termasuk minyak berkadar asam lemak bebas tinggi. Minyak sebagai bahan baku pembuatan

biodiesel dinyatakan berkadar ALB rendah sehingga langsung dapat ditrans-esterifikasi jika kadar ALB maksimal 0,5-2,0% (Atadashi *et al.*, 2010). Seperti ditampilkan pada Tabel 1, minyak biji kapuk memiliki kadar ALB sebesar 8,83% (sebelum ozonasi) dan 11,45% (setelah ozonasi).* asam lemak tak jenuh rantai bercabang dan asam lemak tak jenuh teroksigenasi (okso).

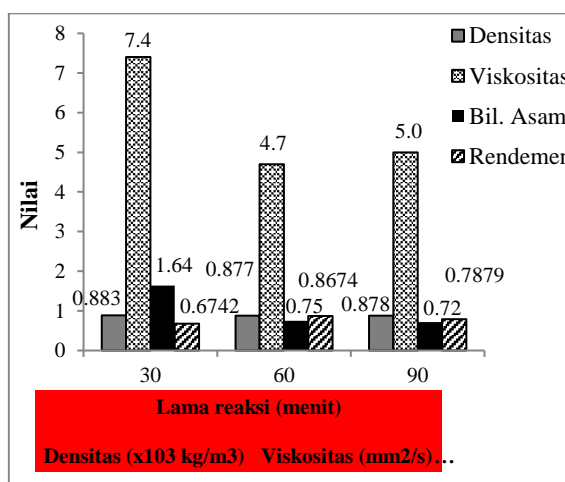
Tahap ozonasi dimaksudkan untuk memperpendek rantai karbon dari asam-asam lemak penyusun minyak biji kapuk. Selain memperpendek struktur molekul trigliserida dari minyak biji kapuk, ozonasi juga mengakibatkan terbentuknya ALB baru, sehingga minyak mengalami peningkatan bilangan asam (Sadowska *et al.*, 2008). Semakin sederhana struktur molekul minyak sebagai dampak ozonisasi, viskositas minyak semakin kecil dan bilangan penyabunan semakin tinggi. Pemutusan ikatan rangkap pada struktur molekul minyak selama tahap ozonasi terpantau dari semakin menurunnya bilangan iod minyak sebagai konsekuensi semakin berkurangnya ikatan rangkap. Perubahan sifat-sifat kimia fisik dari minyak biji kapuk sebagai akibat proses ozonasi tersebut sesuai dengan hasil penelitian seperti yang ditampilkan pada Tabel 1. Sesuai hasil analisis, bilangan iod dari minyak biji kapuk sebelum ozonasi sebesar 89,38mgI₂/g (Tabel 1). Nilai bilangan iod minyak biji kapuk tersebut sedikit lebih rendah jika dibandingkan dengan hasil penelitian Nkouam *et al.*, 2017, yaitu sekitar 90,03-94,06mgI₂/g. Viskositas dan densitas minyak biji kapuk relatif tinggi, masing-masing 38,6mm²/s dan 906kg/m³. Relatif tingginya viskositas dan densitas minyak biji kapuk tersebut merupakan indikator bahwa struktur molekul trigliserida dari minyak biji kapuk tersusun dari asam-asam lemak relatif panjang dan terdapat ikatan bercabang pada rantai karbonnya. Hal tersebut terkonfirmasi oleh hasil analisis jenis dan komposisi asam lemak dari minyak biji kapuk yang ditampilkan pada Tabel 2. Peneliti lain melaporkan bahwa viskositas dan densitas minyak biji kapuk berturut-turut sebesar 31,2 mm²/s dan 923,2 kg/m³ (Vedharaj *et al.*, 2013). Nilai-nilai tersebut relatif dekat dengan hasil penelitian ini.

Tabel 2 menampilkan jenis dan komposisi asam lemak penyusun minyak biji kapuk. Asam palmitat, oleat, dan linoleat merupakan 3 jenis asam lemak dominan penyusun minyak biji kapuk. Kadar asam lemak tak jenuh (asam oleat dan linoleat) lebih banyak dibandingkan asam lemak jenuh (asam palmitat, stearat, dan arakidat). Hasil ini sesuai dengan peneliti lain (Putri *et al.*, 2012) yang melaporkan bahwa minyak biji kapuk tersusun dari asam palmitat (22,3%), asam stearat (3,36%), dan asam linoleat (70,71%).

Tahap esterifikasi dan trans-esterifikasi

Tahap esterifikasi pada pembuatan biodiesel dilakukan untuk menurunkan kadar ALB dari minyak sebelum mengalami tahap trans-esterifikasi dengan katalis basa homogen, dengan cara mengkonversi ALB menjadi alkil(metil) ester atau biodiesel. Hal tersebut harus dilakukan untuk mencegah terbentuknya sabun pada tahap trans-esterifikasi yang akan berdampak pada kurang efektifnya peran katalis dan semakin sulitnya tahap pemurnian biodiesel (Mat *et al.*, 2012). Tahap esterifikasi pada penelitian ini telah berhasil menurunkan bilangan asam minyak biji kapuk terozonasi dari 22,89mgKOH/g (atau kadar ALB sekitar 11,45%) menjadi 2,33mgKOH/g (atau kadar ALB sekitar 1,16%). Kadar ALB minyak biji kapuk setelah tahap esterifikasi tersebut sudah memenuhi syarat untuk pemrosesan lanjut di tahap trans-esterifikasi (Atadashi *et al.*, 2010).

Tahap trans-esterifikasi, trigliserida dari minyak dikonversi menjadi biodiesel, pada penelitian ini, reaksi trans-esterifikasi dilakukan dengan bantuan gelombang ultrasonik berfrekuensi 35 kHz pada suhu 60°C. Reaksi dikatalisasi KOH sebanyak 1% dengan rasio mol minyak/metanol sebesar 1:6 dan lama reaksi dipelajari untuk ditentukan waktu reaksi optimumnya. Pengaruh lama reaksi terhadap densitas, viskositas, bilangan asam, dan rendemen biodiesel disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan lama reaksi trans-esterifikasi dengan densitas, viskositas, bilangan asam, dan rendemen biodiesel

Gambar 2. menunjukkan kecenderungan bahwa jika waktu reaksi diperlama, terjadi penurunan nilai dari sifat-sifat kimia fisik dan terjadi kenaikan rendemen. Namun kemudian terjadi hal yang sebaliknya jika waktu reaksi lebih diperlama (nilai sifat-sifat kimia fisik biodiesel meningkat, sedangkan rendemen biodiesel turun). Penurunan

densitas, viskositas, dan bilangan asam dari biodiesel seiring dengan semakin lamanya waktu reaksi menunjukkan reaksi trans-esterifikasi berlangsung lebih sempurna dalam mengkonversi trigliserida menjadi biodiesel. Peningkatan viskositas dan densitas, serta terjadinya penurunan rendemen biodiesel pada lama reaksi 90 menit diduga sebagai indikasi telah terjadi perubahan struktur molekul dari sebagian tertentu biodiesel ke arah pembentukan struktur molekul lain yang lebih kompleks.

Penentuan kondisi (lama) reaksi optimum pada tahap trans-esterifikasi ini dilakukan dengan mengkomparasikan nilai sifat-sifat kimia fisik (densitas, viskositas, dan bilangan asam) biodiesel tersebut dengan standar kualitas biodiesel Indonesia (SNI 7182-2015). Menurut SNI biodiesel, syarat nilai densitas, viskositas, dan bilangan asam berturut-turut 850-890kg/m³, 2,3-6,0 mm²/s, dan maks. 0,5 mg KOH/g. Oleh karena itu, dengan pertimbangan perbandingan sifat-sifat kimia fisik biodiesel hasil penelitian dengan SNI biodiesel serta nilai rendemen, maka kondisi optimum reaksi trans-esterifikasi dicapai pada lama reaksi 60 menit. Pemanfaatan gelombang ultrasonik pada tahap trans-esterifikasi relatif membantu kinerja reaksi, yaitu dalam hal mereduksi kebutuhan metanol, kadar katalis KOH, dan lama reaksi jika reaksi dilakukan pada suhu yang sama, pada reaksi trans-esterifikasi pembentukan biodiesel dari minyak jarak pagar tanpa bantuan gelombang ultrasonik pada suhu 60°C, kondisi optimum dicapai ketika reaksi diselenggarakan pada rasio mol minyak terhadap metanol, kadar katalis, dan lama reaksi berturut-turut sebesar 1:9, 2%, dan 2 jam (Patil *et al.*, 2009).

Terhadap biodiesel pada kondisi optimum tersebut selanjutnya dilakukan analisis kualitas secara lebih lengkap. Hasil analisis biodiesel dan perbandingannya dengan SNI biodiesel ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Standar kualitas biodiesel menurut SNI 7182-2015 dan perbandingannya dengan kualitas biodiesel pada kondisi optimum

Parameter Kualitas	SNI	Hasil Penelitian
Densitas, 40°C (kg/m ³)	850-890	877
Viskositas, 40°C (mm ² /s)	2,3-6,0	4,7
Bilangan asam (mg KOH/g)	maks. 0,5	0,75
Bilangan iod (mg I ₂ /g)	min. 115	80,50
Titik nyala (°C)	min. 120	135
Bilangan setana	min. 51	68,7

Data pada Tabel 3. menunjukkan bahwa kualitas biodiesel dari kondisi reaksi optimum telah memenuhi ketentuan SNI biodiesel, kecuali untuk parameter bilangan asam belum memenuhi ketentuan. Belum dipenuhinya ketentuan dari nilai bilangan asam lebih disebabkan oleh belum sempurnanya pelaksanaan proses pada tahap esterifikasi.

SIMPULAN

Komposisi minyak biji kapuk didominasi oleh asam lemak tak jenuh sehingga berpotensi sebagai bahan baku untuk pembuatan biodiesel karena cenderung dikelompokkan sebagai minyak non pangan. Tahap ozonasi berdampak terhadap perubahan kimia fisik minyak biji kapuk, berupa penurunan viskositas, densitas, dan bilangan iod, serta peningkatan bilangan asam. Tahap esterifikasi dengan bantuan gelombang ultrasonik relatif membantu dalam proses penurunan kadar asam lemak bebas yang terdapat dalam minyak biji kapuk. Sedangkan pada tahap transesterifikasi dengan bantuan gelombang ultrasonik, kondisi optimum dicapai pada penyelenggaraan reaksi selama 60 menit. Pemanfaatan gelombang ultrasonik baik pada tahap transesterifikasi mampu mempersingkat waktu reaksi serta mengurangi kebutuhan metanol dan katalis KOH. Biodiesel yang dihasilkan dari kondisi optimum, relatif telah memenuhi SNI biodiesel.

DAFTAR PUSTAKA

- Atadashi, I.M., Aroua, M.K., Abdul Aziz, A.R., Sulaiman, N.M.N. 2010. *The effects of catalysts in biodiesel production: A Review*. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 1-40.
- Azam, M.M., Waris, A., Nahar N.M. 2005. *Prospects and potential of fatty acid methyl esters of some non-traditional seed oils for use as biodiesel in India, Biomass and Bioenergy* (29) : 293-302.
- Badday, A.S., Abdullah, A.Z., Lee, K.T., Khayoon, M. 2012. *Intensification of biodiesel production via ultrasonic-assisted process: A critical review on fundamentals and recent development*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.16, pp. 4574-4587.
- BPPT, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi 2017. *Outlook Energi Indonesia 2017: Inisiatif Pengembangan Teknologi Energi Bersih*, Jakarta.
- BSN, Badan Standardisasi Nasional 2015. *Standar Nasional Indonesia Biodiesel SNI 7182:2015*. Jakarta.

- Bulent, A. 2008. *Ultrasonic Monitoring of Glycerol Settling during Transesterification of Soybean Oil*, Bioresource Technology (100) : 19-24.
- Chung, J.N. 2013. *Grand challenges in bioenergy and Biofuel Research: Engineering and Technology Development, Environmental, Impact, and Sustainability*, Energy Research-Frontiershin, University of Florida, USA.
- Gerpen, V.J., Shanks, B., Pruszkowski, R., Clements, D., Knothe, G. 2004. *Biodiesel Production Technology*, National Renewable Energy Laboratory, US Department of Energy, Colorado, USA.
- Haryono, Marliani, A. 2014. *Analisis Mutu Biosolar pada Variasi Formulasi Blending Biodiesel dari Minyak Biji Kapuk dengan Minyak Solar*, Eksergi (11)2 : 25-30.
- Hayyan, A., Alam, M.Z., Mirghani, M.E.S., Kabbashi, N.A., Hakimi, I.N.M., Siran, Y.M., Tahiruddin, S. 2010. *Production of Biodiesel from Sludge Palm Oil by Esterification Process*, Journal of Energy and Power Engineering, Vol.4, No.1, pp. 11-17.
- Mat, R., Samsudin, R.A., Mohamed, M., Johari, A. 2012. *Solid Catalysts and Their Application in Biodiesel Production*, Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis, Vol. 7 (2): 142-149.
- Nkouam, G.B., Adjoh, G.A., Tchankou Leudeu, C.B., Kouebou, C., Tchiegang, C., Kapseu, C. 2017. *Physico-chemical Properties of Fruits, Seed and Oil of Kapok (Ceiba pentandra Gaertn.) Tree of Different Provenances from the Northern Part of Cameroon*, International Journal of Agriculture Innovations and Research (6) Issue 2 : 275-278.
- Patil, P.D., Gude, V.G., Deng, S. 2009. *Biodiesel production from Jatropha curcas, waste cooking, and Camelina sativa*, Ind. Eng. Chem. Res. (48) : 10850-10856.
- Putri, E.M.M., Rachimoellah, M., Santoso, N., Pradana, F. 2012. *Biodiesel Production from Kapok Seed Oil (Ceiba Pentandra) Through the Transesterification Process by Using Cao as Catalyst*, Global Journal of Researches in Engineering (12) Issue 2 : 1-5.
- Sadowska, J., Johansson, B., Johannessen, E., Friman, R., Broniarz-Press, L., Rosenholm, J.B. 2008. *Characterization of ozonated vegetable oils by spectroscopic and chromatographic methods*, Chemistry and Physics of Lipids (151) : 85-91.
- Vedharaj, S., Vallinayagam, R., Yang, W.M., Chou, S.K., Chua, K.J.E., Lee, P.S. 2013. *Experimental investigation of kapok (Ceiba pentandra) oil biodiesel as an alternate fuel for diesel engine*, Energy Conversion and Management (75) : 773-779.
- Yan, S., Kim, M., Mohan, S., Salley, S.O., Simon, K.Y. 2010. *Effects of Preparative Parameters on the Structure and Performance of Ca-La Metal Oxide Catalysts for Oil Transesterification*, National Biofuels Energy Laboratory, Wayne State University, USA.