

Pemanfaatan Abu Sekam Padi pada Ozonisasi Minyak Goreng Bekas untuk Menghasilkan Biodiesel

Lieke Riadi^{1,2,*}, Lanny Sapei¹, Yosephine Kristiani¹, Octovania Sugianto¹

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Surabaya

²Pusat Studi Lingkungan, Universitas Surabaya
Jalan Raya Kalirungkut, Surabaya, 60239

Abstract

Biodiesel is one of the alternatives for the shortage of fossil fuel. In this experiment biodiesel from waste cooking oil which is made using an ozonation process was studied. The process is energy extensive and environmentally friendly because of the use waste cooking oil as a raw material and the experiment was carried out at low reaction temperature which is room temperature. Waste cooking oil was reacted with methanol, KOH as the base catalyst, and ozone that was continually flowed into a stirred reactor at 30°C and atmospheric pressure. The effect of rice hulk ash addition as the supporting catalyst on methyl esters concentrations was observed in this experiment. Two different types of ashes were used, namely black (heating at 350°C) and white (heating at 750°C) with the concentrations of 0.5; 1; 1.5% (w/w). Methyl esters products were characterized using GC apparatus for Short Chain Methyl Ester (SCME) and Long Chain Methyl Ester (LCME) concentrations. They were also analyzed in terms of density and viscosity. The ashes were characterized by XRD and BET. The highest amount of SCME was achieved at the white ash concentration of 1.5%. However, the ash additions seemed not significant on the LCME production. Thus, the white ash was more useful as a supporting catalyst than the black one.

Keywords: biodiesel, used cooking oil, rice hulk ash, ozonation process, short chain methyl ester, long chain methyl ester

Abstrak

Penggunaan abu sekam padi sebagai katalis pendukung pada ozonasi minyak goreng bekas untuk menghasilkan biodiesel dipelajari pada penelitian ini. Ozonasi minyak goreng bekas termasuk proses yang hemat energi dan ramah lingkungan karena menggunakan minyak goreng bekas sebagai bahan baku biodiesel serta suhu reaksi yang relatif rendah yaitu pada suhu kamar. Proses pembuatan biodiesel dilakukan dengan mereaksikan minyak goreng bekas dan metanol dengan bantuan katalis KOH pada sebuah reaktor. Gas ozon dialirkan secara kontinu dalam reaktor berpendinguk pada suhu 30°C dan tekanan atmosfer. Pengaruh penggunaan abu sekam padi sebagai *supporting catalyst* terhadap konsentrasi metil ester yang dihasilkan dikaji dalam percobaan ini. Abu yang digunakan adalah abu hitam (pemanasan pada 350°C) dan putih (pemanasan pada 750°C) dengan konsentrasi masing-masing sebesar 0,5 ; 1 ; 1,5% (b/b). Produk metil ester dikarakterisasi menggunakan Gas Chromatography untuk mengetahui jumlah metil ester rantai pendek (SCME) maupun metil ester rantai panjang (LCME). Di samping itu, dilakukan juga uji densitas dan viskositas, abu yang digunakan diuji dengan analisa XRD dan BET. Konsentrasi SCME paling tinggi dihasilkan pada variasi abu putih dengan konsentrasi 1,5%. Namun, penambahan abu tidak berpengaruh secara signifikan terhadap pembentukan LCME. Dengan demikian, abu putih lebih berperan sebagai *supporting catalyst* dibandingkan abu hitam.

Kata kunci: biodiesel, minyak goreng bekas, abu sekam padi, proses ozonasi, metil ester rantai pendek, metil ester rantai panjang

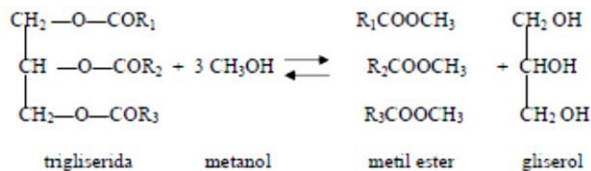
Pendahuluan

Upaya untuk mendapatkan energi alternatif sudah banyak dilakukan, salah satu upaya untuk menghasilkan energi alternatif adalah dengan mengubah minyak nabati menjadi biodiesel. Mengingat minyak nabati banyak dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan minyak goreng, maka upaya mendapatkan energi alternatif dari

bahan yang tidak bersaing dengan kebutuhan pangan perlu dipertimbangkan. Salah satu upaya untuk menghasilkan energi alternatif adalah dengan mengolah minyak goreng bekas menjadi biodiesel. Bahan bakar yang dihasilkan dari limbah minyak goreng bekas dikenal sebagai *third generation of energy*. Limbah minyak goreng bekas mempunyai 47,10% b/b asam lemak tak jenuh, 48,8% b/b asam lemak jenuh dan 4,10% b/b komponen lainnya (Riadi dkk., 2013). Ada 48,8% b/b asam lemak jenuh yang

* Alamat korespondensi : lieke@ubaya.ac.id

berpotensi untuk dapat diolah dengan proses ozonasi untuk menghasilkan metil ester rantai pendek. Asam lemak tak jenuh yang terdapat pada limbah minyak goreng tersebut adalah asam oleat dan asam linoleat. Asam lemak jenuh yang terdapat pada minyak goreng bekas adalah asam laurat, asam miristat, asam palmitat dan asam stearat (Riadi dkk., 2013). Proses ozonasi untuk sintesa biodiesel dengan menggunakan katalis asam atau basa sudah dilakukan (Riadi dkk., 2013). Upaya untuk menggunakan katalis dari limbah pertanian yang dapat berfungsi sebagai katalis pendukung dilakukan pada penelitian ini. Apabila katalis abu sekam padi ini dapat digunakan dan berfungsi dengan baik, maka penggunaan katalis asam ataupun basa dapat dikurangi. Dengan demikian proses pembuatan biodiesel akan memberikan dampak ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk 1) mempelajari proses pembuatan biodiesel dengan metode ozonasi yang menggunakan katalis basa dan abu sekam padi sebagai “*supporting catalyst*”, 2) mempelajari reaksi terbentuknya metil ester rantai pendek pada proses ozonasi dengan katalis abu sekam padi, 3) mempelajari efek katalis abu sekam padi untuk menghasilkan metil ester rantai pendek dan metil ester rantai panjang dalam pembuatan biodiesel.



Gambar 1. Reaksi transesterifikasi

Ada dua reaksi simultan yang terjadi pada proses ozonasi, yaitu reaksi transesterifikasi dan ozonolisis. Reaksi transesterifikasi (Gambar 1) akan mengubah asam lemak menjadi metil ester rantai panjang, sedangkan reaksi ozonolisis (Gambar 2) akan memutus ikatan rangkap untuk membentuk metil ester rantai pendek. Dalam proses transesterifikasi diperlukan bantuan katalis untuk mempercepat reaksi. Reaksi transesterifikasi ini sering disebut reaksi alkoholisis yang merupakan reaksi antara minyak nabati dengan alkohol untuk membentuk ester dan gliserol. Dua reaksi yang terjadi secara simultan ini merupakan proses yang baru pada sintesa biodiesel. Oleh sebab itu, penelitian ini dilakukan untuk mengobservasi lebih jauh reaksi simultan yang terjadi pada pembuatan biodiesel ini.

Metode Penelitian

Pembuatan katalis dari abu sekam padi

Proses pembuatan katalis abu sekam padi ini dimulai dengan mencuci sekam padi hingga bersih kemudian dikeringkan menggunakan oven pada 110°C selama 3 jam. Abu sekam padi dibedakan menjadi abu putih dan abu hitam, sekam padi dibakar dalam furnace pada 750°C selama 5 jam untuk menghasilkan abu putih dan dibakar pada 350°C selama 2 jam untuk menghasilkan abu hitam.

Percobaan

Minyak goreng bekas dan metanol dengan perbandingan mol ekuivalen 1 : 5 (v/v) dimasukkan ke dalam reaktor. Larutan KOH 1,5% berat (Evera dkk., 2009) dan abu sekam padi dengan berbagai konsentrasi ditambahkan ke dalam 2 liter reaktor *stainless steel* (Gambar 3). Reaktor dilengkapi dengan sistem pendingin, pengaduk, sparger serta termokopel. Ozon yang dihasilkan dari gas oksigen yang dialirkan ke *ozone generator* VIRESCO (Singapore), dialirkan dengan laju alir 3 liter/menit untuk menghasilkan 5,8 mol % Ozon. Bagian *outlet* reaktor dihubungkan ke tabung yang berisi Kalium Iodida untuk menangkap ozon yang berlebih. Percobaan dijalankan selama 3 jam, pada 30°C, 450 rpm. Sampel diambil tiap 30 menit. Setelah reaksi berjalan selama 3 jam, aliran gas ozon dihentikan, reaktor dialiri gas oksigen selama 10 menit untuk memastikan semua ozon keluar. Setiap sampel yang diambil, dimasukkan ke dalam corong pemisah untuk memisahkan fase organik/biodiesel dengan fase terlarut air. Produk biodiesel dicuci dan dinetralkan. Air yang masih terdapat pada biodiesel dikeringkan dengan menggunakan MgSO₄ anhidrat. Percobaan kontrol juga dilakukan dengan menggunakan katalis KOH 1,5% b/b dan tanpa menggunakan abu.

Metoda Analisa

- *N₂ sorption*-BET (Brunauer–Emmett–Teller): abu sekam padi sebanyak 0,035 gram dipanaskan hingga 300°C menggunakan instrumen BET NOVA. Gas nitrogen digunakan pada percobaan sorption ini. Luas permukaan spesifik partikel dihitung menggunakan model BET dengan rentang tekanan relatif (p/p_0) antara 0,01 – 0,5.
- *X-Ray Diffraction*: *X-Ray Diffraction* digunakan untuk mempelajari kristalinitas abu sekam padi. Sampel dihaluskan dengan mortar

lalu sampel diratakan di atas tempat sampel dan dimasukkan ke difraktometer tipe xPert MPD (Philips, Jepang). Tabung anoda yang digunakan adalah Cu dan pengukuran dilakukan pada rentang dari $2\theta \approx 5^\circ$ hingga $2\theta \approx 50^\circ$.

- *Gas Chromatography* (GC) : Biodiesel dianalisa menggunakan GC untuk mengetahui jenis produk metil ester yang diperoleh dari proses ozonasi. Kolom yang digunakan pada HP GC *instrument* adalah kolom Carbowax (panjang 30 m, diameter dalam 250 μm , dan tebal 0,25 μm) dengan *flame ionization detector*. Gas Helium sebagai gas pembawa dialirkan dengan laju 0,6 ml/menit. Mula-mula suhu dijaga 60°C selama 2 menit, kemudian dinaikkan hingga 200°C dengan laju $10^\circ\text{C}/\text{menit}$, dan ditahan selama 4 menit. Suhu dinaikkan hingga 240°C dengan laju $5^\circ\text{C}/\text{menit}$ dan dijaga selama 7 menit. Suhu injektor dan detektor adalah 275°C dan 200°C . Sampel yang digunakan sebesar 1 μL .

Hasil dan Pembahasan

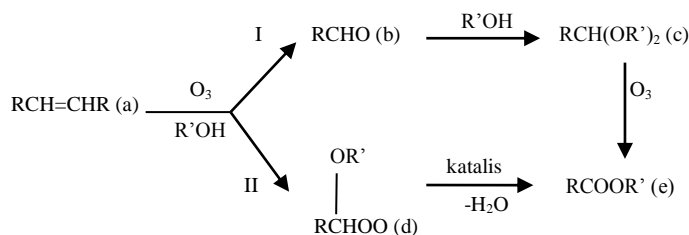
Karakteristik dan peran abu putih dan abu hitam pada sintesa biodiesel

Abu sekam padi mengandung senyawa SiO_2 , K_2O , CaO dan MgO yang dapat dilihat pada Tabel 1 (Haryanto, 2002). Karakterisasi abu hitam dan abu putih dilakukan dengan menggunakan BET dan *X-Ray diffraction*. Dari hasil *X-Ray diffraction*, dapat dilihat bahwa struktur abu hitam berbentuk amorf sedangkan struktur abu putih berbentuk kristal (Gambar 4a dan Gambar 4b). Hal ini dapat dilihat dari bentuk peak yang tajam pada abu putih. Dengan struktur kristal, abu putih kurang mempunyai kemampuan untuk mengadsorbi air dibandingkan dengan abu hitam. Dari hasil analisa BET diperoleh data luas permukaan abu hitam dan putih berturut-turut $58,458 \text{ m}^2/\text{g}$ dan $12,215 \text{ m}^2/\text{g}$. Dari Gambar 2, dapat dijelaskan bahwa pemutusan ikatan rangkap pada asam lemak tak jenuh oleh gas

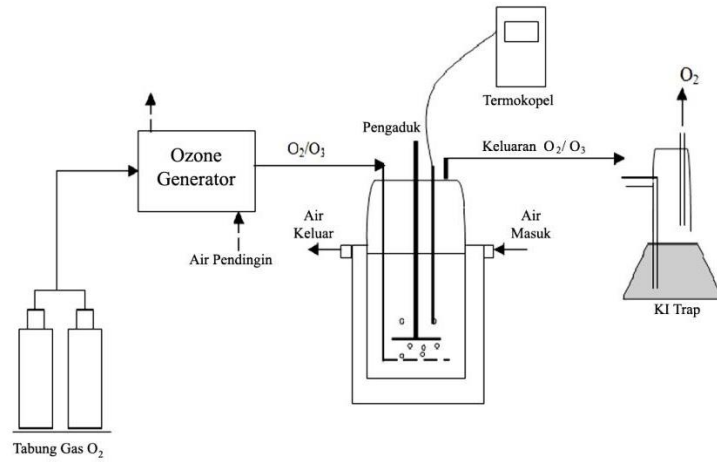
ozon menghasilkan dua produk intermediet berupa aldehid (b) dan alkoksi peroksida (d). Produk intermediet alkoksi hidroperoksida (d) dapat secara langsung menghasilkan ester dengan bantuan katalis yang akan melepaskan air sebagai produk samping. Sebaliknya, produk intermediet aldehid (b) tidak dapat secara langsung menghasilkan ester. Aldehid (b) harus bereaksi terlebih dahulu dengan alkohol untuk menghasilkan asetaldehid (c) yang selanjutnya akan membentuk ester dengan bantuan gas ozon. Dengan mekanisme reaksi seperti ini, maka abu hitam dapat berperan pada jalur kedua dengan memiliki kemampuan lebih dalam proses adsorpsi air pada reaksi terbentuknya metil ester rantai pendek (e) dari alkosi hidroperoksida (d) seperti pada Gambar 2. Dengan pemanasan pada suhu 600°C - 900°C , abu sekam padi akan mempunyai banyak kandungan metal oksida (Boro dkk., 2011). Pada reaksi transesterifikasi, metal oksida (MO) yang terdapat pada abu sekam padi akan terdisosiasi menjadi M^{2+} dan O^{2-} , O^{2-} bersama dengan metanol akan membentuk OH^- (ion hidroksida) dan CH_3O^- (anion metoksida). Metanol dan ion hidroksida bereaksi membentuk air (H_2O) dan anion metoksida (CH_3O^-). Anion metoksida akan bereaksi dengan *carbon carbonyl* untuk membentuk metil ester seperti pada reaksi pada Gambar 5 (Boro dkk., 2012). Dengan demikian, abu putih yang dihasilkan dengan pemanasan pada 750°C akan lebih berperan sebagai *supporting catalyst* pada reaksi transesterifikasi dalam sintesis biodiesel ini.

Tabel 1. Kandungan senyawa kimia dalam abu sekam padi

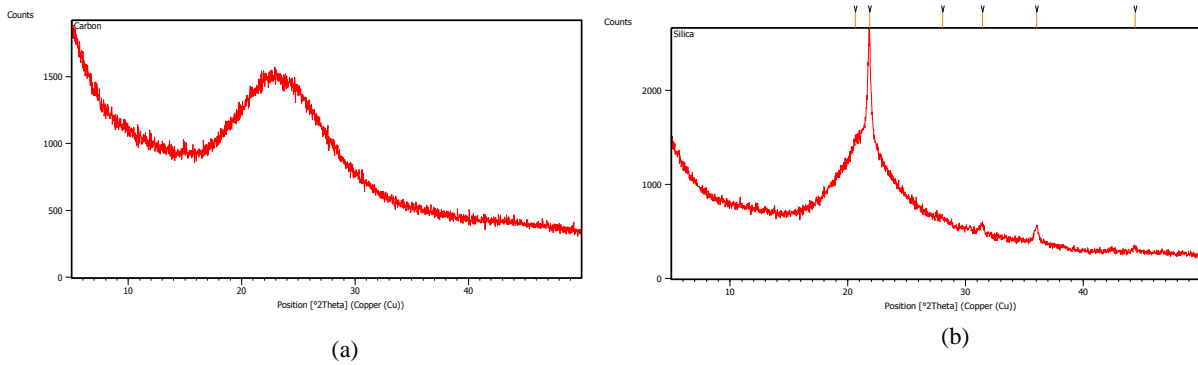
Senyawa Kimia	Kadar (%)
SiO_2	91,16
K_2O dan Na_2O	4,75
CaO	0,65
MgO	0,99
Fe_2O_3	0,21
SO_3	0,10



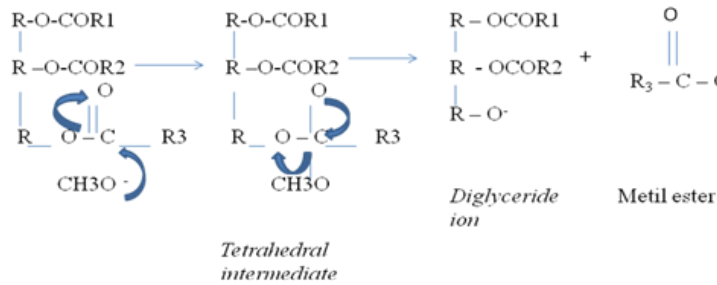
Gambar 2. Reaksi ozonolisis



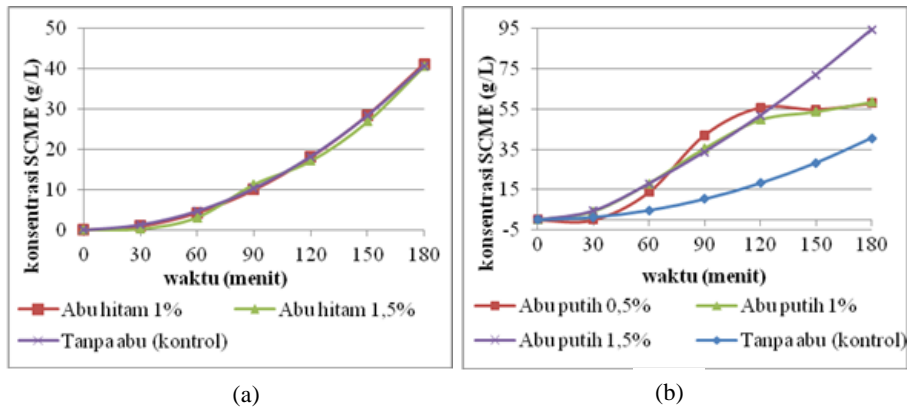
Gambar 3. Rangkaian peralatan yang digunakan untuk proses ozonasi



Gambar 4. Karakteristik abu sekam padi, abu hitam (a), abu putih (b), dengan X-Ray diffraction



Gambar 5. Reaksi anion metoksida dengan carbon carbonyl trigliserida pada transesterifikasi



Gambar 6. Profil konsentrasi SCME pada percobaan dengan abu hitam(a) dan abu putih (b)

Efek Konsentrasi abu pada terbentuknya metil ester rantai pendek

Metil ester rantai pendek (SCME) terbentuk sebagai hasil dari pemutusan ikatan rangkap yang terdapat pada asam linoleat dan asam oleat. Metil ester rantai pendek yang terbentuk adalah metil heksanoat, metil oktanoat dan metil nonanoat. Efek konsentrasi abu putih maupun hitam dapat dijelaskan secara kuantitatif dari jumlah metil ester yang dihasilkan. Peran abu akan dibahas dari jumlah metil ester rantai pendek yang dihasilkan dari reaksi ozonolisis serta jumlah metil ester rantai panjang yang dihasilkan dari reaksi transesterifikasi. Jumlah SCME yang dihasilkan untuk berbagai konsentrasi abu putih maupun hitam dan juga pada percobaan kontrol meningkat dengan bertambahnya waktu percobaan. Dari Gambar 6a, dapat dilihat bahwa jumlah metil ester yang dihasilkan pada berbagai konsentrasi abu hitam tidak berbeda dengan percobaan kontrol, hal ini menunjukkan bahwa abu hitam tidak mempunyai fungsi sebagai *supporting catalyst* pada proses ozonasi, karena bentuknya yang amorf dan luas permukaannya lebih luas dibandingkan dengan luas permukaan abu putih. Abu hitam mungkin mempunyai fungsi sebagai adsorben air pada jalur II mekanisme reaksi ozonasi (Gambar 2). Disamping itu, pemakaian abu putih pada berbagai konsentrasi untuk menghasilkan metil ester rantai pendek memberikan hasil yang berbeda antara tiap-tiap konsentrasi abu yang digunakan terhadap percobaan kontrol (Gambar 6b). Abu putih dengan konsentrasi 1,5% sebagai *supporting catalyst* memberikan metil ester rantai pendek yang terbaik dibandingkan pemakaian 0,5% dan 1%. Oleh sebab itu, abu putih dapat dipertimbangkan sebagai *supporting catalyst* pada reaksi ozonasi baik pada jalur I dan II dari mekanisme reaksi yang terdapat pada Gambar 2.

Efek konsentrasi abu pada terbentuknya metil ester rantai panjang

Efek konsentrasi abu hitam dan abu putih tidak terlalu berpengaruh pada terbentuknya metil ester rantai panjang (LCME). Metil ester rantai panjang terbentuk semakin banyak pada periode waktu tertentu, dan kemudian menurun (Gambar 7a dan 7b). Fenomena ini disebabkan karena proses transesterifikasi untuk asam lemak jenuh dan asam lemak tidak jenuh terjadi bersamaan dengan ozonolisis, selanjutnya diikuti dengan pemecahan ikatan rangkap pada metil ester rantai panjang hasil transesterifikasi asam lemak tidak

jenuh. Fenomena lain yang memungkinkan untuk menjelaskan menurunnya metil ester rantai panjang setelah periode waktu tertentu adalah adanya reaksi balik dari metil ester yang terbentuk (pada reaksi transesterifikasi), sehingga menyebabkan hilangnya metil ester yang terbentuk (Eevera dkk., 2008). Jika ditinjau dari hasil percobaan pada Gambar 7a dan 7b, jumlah metil ester rantai panjang yang terbentuk dengan menggunakan variasi abu hitam pada konsentrasi 1,5% dan abu putih dengan ketiga variasi konsentrasi tidak terlihat perbedaan yang signifikan jika dibandingkan dengan kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa dengan jumlah katalis KOH 1,5% telah cukup untuk mencapai kesetimbangan pada reaksi transesterifikasi yang membentuk metil ester rantai panjang. Sebaliknya, suhu 30°C tidak menyebabkan pergeseran kesetimbangan karena pada reaksi eksotermis kesetimbangan akan bergeser ke arah reaktan apabila suhu tinggi. Jumlah metil ester rantai panjang (LCME) yang dihasilkan pada percobaan dengan menggunakan abu putih dan abu hitam masing masing 1%, dengan waktu reaksi 90 menit adalah (a) 426 mg/L dan 536,162 mg/L. Jumlah LCME yang lebih besar dihasilkan pada percobaan dengan menggunakan katalis abu putih. Hal ini disebabkan abu putih banyak mengandung metal oksida yang mendukung reaksi transesterifikasi seperti pada Gambar 5.

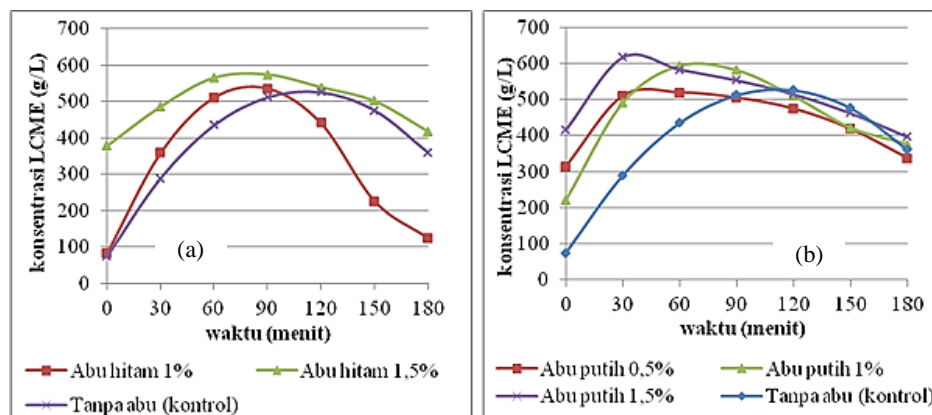
Reaksi yang dominan pada Proses Ozonasi

Dengan membandingkan konsentrasi SCME dan LCME terhadap TME (Total Metil Ester yang terdiri atas rantai panjang maupun pendek.), dapat diketahui reaksi yang lebih dominan dalam proses ozonasi. Dari Gambar 8 tampak bahwa grafik LCME lebih mendekati grafik TME daripada grafik SCME, sehingga dapat dikatakan bahwa pada proses ozonasi tersebut reaksi transesterifikasi lebih dominan dalam sintesa biodiesel ini. Hasil optimum dari reaksi transesterifikasi ini terjadi pada 60 menit pertama untuk variasi 1,5% abu putih, tetapi jumlah SCME belum mengalami peningkatan.

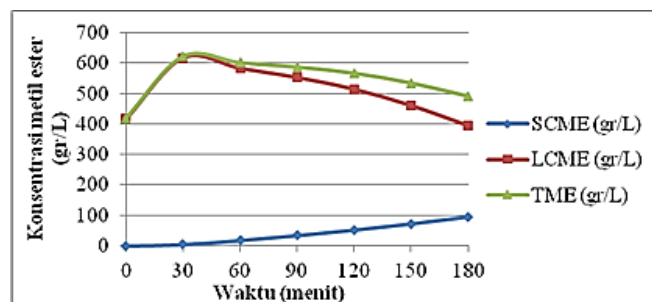
Peningkatan LCME maupun SCME pada 30 menit pertama ini menunjukkan adanya reaksi transesterifikasi maupun ozonolisis yang berlangsung secara simultan. Reaksi transesterifikasi yang mengkonversi trigliserida menjadi LCME bersifat *reversible*. Reaksi ozonolisis yang berperan untuk memutus ikatan rangkap pada LCME maupun asam lemak tidak jenuh akan menghasilkan SCME. Pemotongan

ikatan rangkap terjadi pada metil ester tidak jenuh seperti metil oleat, linoleat, maupun linolenat yang akan menghasilkan metil ester dengan rantai yang lebih pendek. Oleh karena terjadi dua reaksi yang berlangsung simultan dengan sifat reversibel dan irreversibel, maka jumlah produk LCME dapat mengalami kenaikan hingga waktu tertentu selanjutnya menurun hingga akhir reaksi. Sebaliknya, produk akhir berupa SCME akan terus mengalami kenaikan (Levenspiel, 1999). SCME yang terbentuk adalah metil heksanoat, metil oktanoat dan metil nonanoat. Metil heksanoat diperoleh dari pemutusan ikatan rangkap asam linoleat, sedangkan metil nonanoat diperoleh dari pemutusan ikatan rangkap pada asam linoleat dan asam oleat. Oleh sebab itu, metil nonanoat lebih tinggi dibandingkan metil heksanoat pada percobaan dengan abu putih, hitam dan tanpa abu

(Gambar 9,10,11). Asam linolenat mengalami transesterifikasi menjadi metil linolenat dan akan terpecah menjadi metil oktanoat dengan radikal oksigen dan bantuan katalis (Frankel dkk., 1984). Sifat fisis biodiesel yang meliputi densitas dan viskositas dibandingkan dengan harga densitas dan viskositas biodiesel menurut standar ASTM D6751, yang masih memenuhi kisaran standar (Tabel 2) untuk viskositas. Secara umum, terlihat bahwa dengan penggunaan katalis abu sekam padi dapat meningkatkan viskositas, hal ini dapat disebabkan karena terjadi penyerapan air oleh abu pada jalur reaksi dua pada Gambar 2. Sebaliknya, densitas yang terukur sedikit lebih tinggi dibandingkan standar (Tabel 3). Penyimpangan nilai densitas dapat disebabkan karena pemisahan produk biodiesel yang belum sempurna dengan komponen lain seperti gliserol yang memiliki densitas sebesar $1,215 \text{ g/cm}^3$.



Gambar 7a dan b. Profil konsentrasi LCME pada percobaan dengan abu hitam(a) dan abu putih(b)



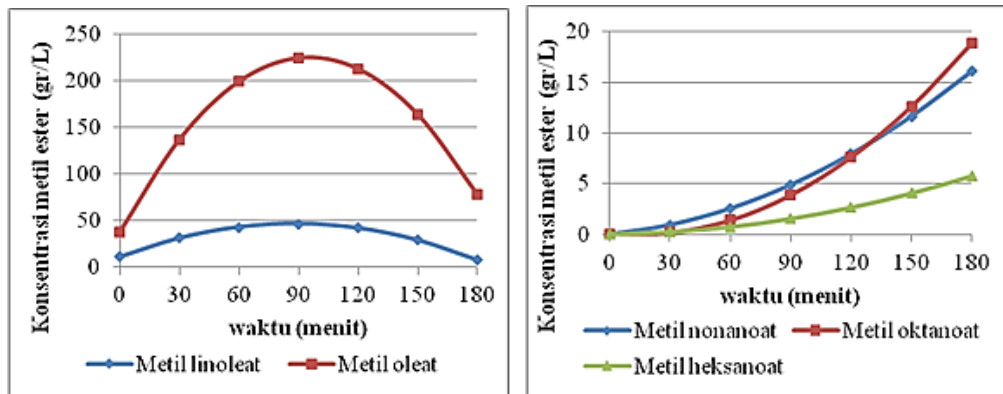
Gambar 8. Konsentrasi Total Metil Ester, SCME dan LCME pada pemakaian abu putih 1.5 %

Tabel 2. Perbandingan viskositas metil ester dari percobaan dengan viskositas menurut ASTM pada suhu 40°C

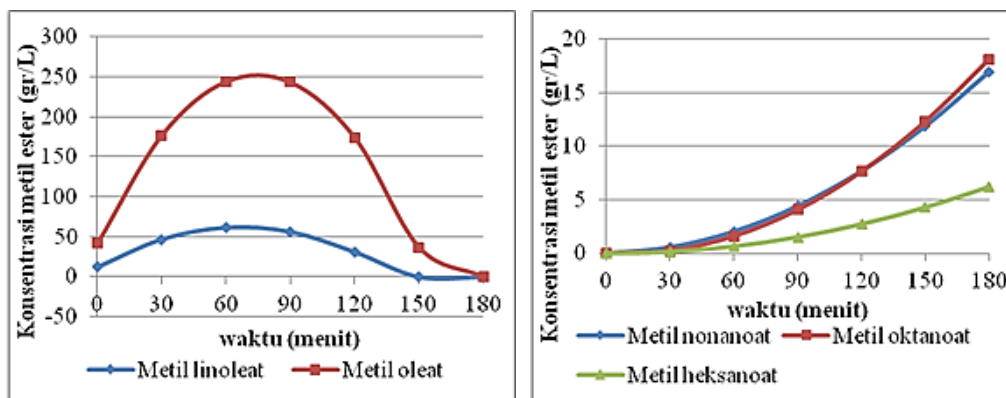
Jenis abu	Konsentrasi Katalis KOH	Konsentrasi katalis abu	Viskositas kinematik (mm ² /s)	ASTM D6751	Standar Nasional Indonesia (SNI)
Tanpa abu sekam padi		0	2,5665		
		0,5%	3,5801		
Abu sekam padi warna putih	1,5%	1%	3,4482	1,9 – 6 mm ² /s	1,9 – 6 mm ² /s
		1,5%	3,3684		
		1%	4,0079		
Abu sekam padi warna hitam		1,5%	4,0039		

Tabel 3. Perbandingan densitas metil ester dari percobaan dengan densitas menurut standar Amerika (ASTM) pada suhu 40°C

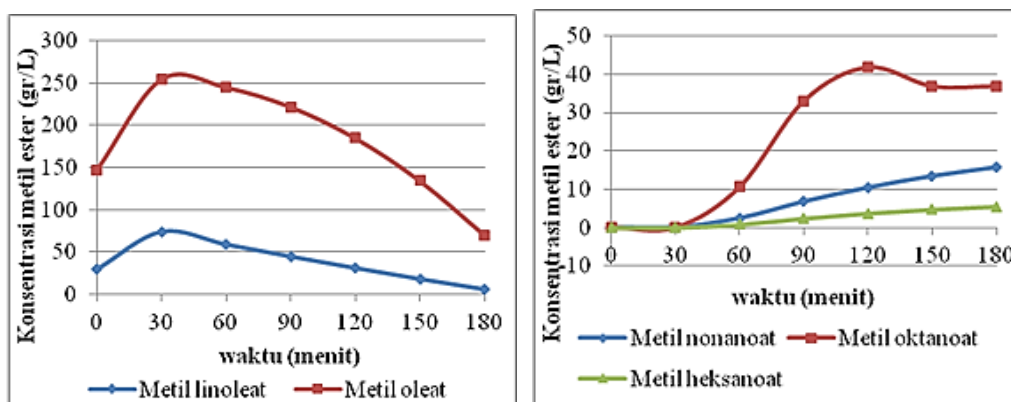
Jenis abu	Konsentrasi Katalis KOH	Konsentrasi katalis abu	Densitas (gr/cm ³)	ASTM D6751	Standar Nasional Indonesia (SNI)
Tanpa abu sekam padi		0	0,9074		
Abu sekam padi warna putih	1,5%	0,5%	0,9064	0,88 gr/cm ³	0,85-0,89 gr/cm ³
Abu sekam padi warna hitam		1%	0,9050		
		1,5%	0,9067		
		1%	0,9059		



Gambar 9. Hasil cracking pada percobaan tanpa abu



Gambar 10 . Hasil cracking pada percobaan dengan konsentras abu hitam 1%



Gambar 11. Hasil cracking pada percobaan abu putih dengan konsentras 1%

Kesimpulan

Dari hasil percobaan pembuatan biodiesel (metil ester) dari minyak goreng bekas dengan proses ozonasi, dapat disimpulkan bahwa biodiesel dapat dihasilkan dari proses ozonasi yang menggunakan reaktan minyak goreng bekas dan metanol dengan bantuan katalis abu sekam padi sebagai *supporting catalyst* dan KOH sebagai katalis basa. Konsentrasi metil ester rantai pendek yang meliputi metil heksanoat, metil nonanoat, dan metil oktanoat meningkat dengan semakin lamanya waktu reaksi pada proses ozonasi. Konsentrasi metil ester rantai panjang yang dihasilkan juga mengalami peningkatan, tetapi hingga waktu tertentu dan mengalami penurunan hingga akhir percobaan yang mungkin disebabkan karena terjadi pemotongan ikatan rangkap pada LCME tak jenuh atau reaksi balik pada transesterifikasi. Abu sekam padi putih lebih efektif berperan sebagai *supporting catalyst* untuk membantu proses ozonasi yang melibatkan dua reaksi simultan, reaksi ozonolisis dan transesterifikasi. Sebaliknya, abu sekam padi hitam tidak berperan sebagai *supporting catalyst*, tetapi diduga sebagai adsorben untuk membantu menyerap air pada reaksi ozonolisis. Total metil ester terbanyak (490818 mg/L) diperoleh dari percobaan dengan menggunakan abu putih 1,5%, dan waktu reaksi 3 jam. Total metil ester yang dihasilkan dari percobaan tanpa menggunakan abu untuk waktu reaksi yang sama adalah 400890 mg/L.

Daftar Pustaka

- Boro, J., Thakur, A., Deka, D., 2011. Solid oxide derived from waste shells of *Turbonilla striatula* as a renewable catalyst for biodiesel production. *Fuel Processing Technology*, 92, 2061-2067.
- Boro, J., Deka, D., Thakur, A. J., 2012. A review on solid oxide derived from waste shells as catalyst for biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 904-910.
- Eevera, T., Rajendran, K., Saradha, S., 2009. Biodiesel production process optimization and characterization to assess the suitability of the product for varied environmental conditions, Department of Biotechnology, Periyar Maniammai University, India.
- Frankel, E. N., Neft, W. E., Selke, E., Brooks, D. D., 1987. Thermal and Metal-Catalyzed Decomposition of Methyl Linolenate Hydroperoxides, *Lipids*, 22 no.5, 322-327.
- Haryanto, B., 2002, Bahan Bakar Alternatif biodiesel (Bagian I. Pengenalan), Fakultas Teknik Kimia, Universitas Sumatera Utara.
- Levenspiel, O., 1999. *Chemical Reaction Engineering*. 3rd ed., 182, John Wiley & Sons, New York.
- Riadi, L., Hwa, L., Purwanto, E., Widiyanto, A. Y., 2013. Pengaruh Suhu dan kecepatan pengaduk pada reaksi Ozonolisis dan Transesterifikasi Minyak Goreng Bekas, *Proceeding : Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri Ke-19*. Pusat Studi Ilmu Teknik UGM, Yogyakarta.
- Riadi, L., Purwanto, E., Kurniawan, H., Oktaviana, R., 2013. Effect of Bio-Based Catalyst in Biodiesel Synthesis, *Procedia Chemistry*, UNPAR.