

DOI: <https://doi.org/10.21009/JRSKT.091.03>

Optimasi Konsentrasi Katalis CaO dari Cangkang Kerang Hijau (*Perna viridis*) dalam Reaksi Transesterifikasi Minyak Biji Karet (*Hevea brasiliensis*) pada Pembuatan Biodiesel

Eni Yunita, Zulmanelis Darwis, Yusmaniar*

Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta, Gedung KH. Asj'arie, Jl. Rawamangun Muka, 13220, Jakarta, Indonesia

*Email: yusmaniar@unj.ac.id

Informasi Artikel

Diterima: 17/09/2022

Direvisi: 06/01/2023

Online: 30/06/2023

Edisi: 30/06/2023

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan konsentrasi optimum katalis CaO pada karakteristik metil ester yang dihasilkan, yaitu densitas (40 °C), viskositas kinematik (40 °C), dan bilangan asam. Katalis CaO diperoleh dari kalsinasi cangkang kerang hijau selama 4 jam pada suhu 1000 °C dan dikarakterisasi dengan XRD. Ekstraksi minyak biji karet dilakukan dengan metode sokletasi menggunakan pelarut n-heksana selama 7,5 jam yang dilanjutkan dengan proses degumming menggunakan 2,5% (b/b sampel) H₃PO₄ pekat. Pra-esterifikasi dengan perbandingan massa minyak:metanol 1:3 menggunakan 0,5% (b/b sampel) H₂SO₄ pekat pada suhu 65 °C. Transesterifikasi dengan perbandingan massa minyak:metanol 1:4 menggunakan katalis CaO dengan konsentrasi 2,5; 5,0; 7,5; 10,0; dan 12,5 % (b/b sampel) pada suhu 65 °C. Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi optimum katalis CaO adalah 5,0% dengan karakteristik metil ester yaitu nilai densitas (40 °C) 0,8832 g/mL, viskositas kinematik (40 °C) 5,22 mm²/s, dan bilangan asam 1,42 mg KOH/g sampel. Analisa GC-MS pada kondisi optimum menunjukkan komposisi terbesar metil ester yang dihasilkan adalah metil oktadekenoat, metil heksadekanoat, dan metil stearat

Kata kunci: cangkang kerang hijau, katalis CaO, metil ester, minyak biji karet, transesterifikasi

Abstract

Research on optimizing the concentration of CaO catalyst from green mussel shell (*Perna viridis*) in the transesterification reaction of oil (*Hevea brasiliensis*) has been conducted. This research aims to obtain the optimum concentration of CaO catalyst on the characteristics of methyl esters produced, which

are density (40 °C), kinematic viscosity (40 °C), and acid numbers. CaO catalysts were obtained from calcination of green mussel shells for 4 hours at 1000 °C and characterized by XRD. Rubber seed oil extraction was carried out using the soxhlet method using *n*-hexane solvent for 7.5 hours followed by a degumming process using 2.5% (w/w sample) of concentrated H_3PO_4 . Pre-esterification with 1:3 oil:methanol mass ratio using 0.5% (w/w sample) concentrated H_2SO_4 at 65 °C. Transesterification with 1:4 oil:methanol mass ratio using CaO catalyst with concentration of 2.5; 5.0; 7.5; 10.0; and 12.5% (w/w sample) at 65 °C. The results showed that the optimum concentration of CaO catalyst was 5.0% with the characteristics of methyl ester namely density value (40 °C) 0.8832 g/mL, kinematic viscosity (40 °C) 5.22 mm²/s, and acid number 1,42 mg KOH/g sample. GC-MS analysis at optimum conditions shows the largest composition of methyl esters produced is methyl octadecanoate, methyl hexadecanoate, and methyl stearate

Keywords: green mussel shell, CaO catalyst, methyl ester, rubber seed oil, transesterification

Pendahuluan

Persediaan minyak bumi saat ini semakin terbatas karena minyak bumi merupakan sumber daya alam yang tak terbarukan. Salah satu jenis minyak bumi yang sering digunakan adalah solar (bahan bakar mesin diesel). Oleh karena itu, perlu dikembangkan energi alternatif pengganti solar. Salah satu energi alternatif yang banyak dikembangkan saat ini adalah biodiesel. Biodiesel terdiri dari metil ester dari campuran asam lemak rantai panjang atau *fatty acid methyl esters* (FAMES). Biodiesel memiliki keunggulan dibandingkan solar, karena berasal dari bahan baku *biodegradable*, hampir tidak mengandung sulfur, serta toksisitasnya rendah.

Bahan baku biodiesel biasanya berasal dari minyak nabati. Minyak nabati dapat berupa minyak pangan (*edible oil*) maupun minyak non pangan (*non edible oil*). Penggunaan minyak pangan sebagai bahan baku biodiesel dapat menimbulkan persaingan dengan kebutuhan pangan sehingga harga produksi biodiesel akan mahal. Oleh karena itu, sumber minyak nabati untuk produksi biodiesel yang disarankan adalah minyak non pangan. Salah satu minyak non pangan yang memiliki potensi sebagai bahan baku pembuatan biodiesel adalah minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) (Onoji et al. 2016).

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil karet dengan luas perkebunan 3,4 hektar. Saat ini, pemanfaatan tanaman karet masih diutamakan pada getah pohonnya untuk industri lateks, sementara biji karet masih belum dimanfaatkan dan terbuang sebagai limbah. Biji karet mengandung hampir 40-50% minyak nabati (Onoji et al. 2016). Adapun penggunaan minyak biji karet sebagai bahan baku industri non-pangan, antara lain pelumas dalam industri genteng, cat, vernis, dan industri baja sebagai pelapis agar tahan karat. Minyak biji karet juga telah diteliti sebagai bahan baku pembuatan biodiesel (Ramadhas et al. 2005; Yuliani et al. 2008).

Produksi biodiesel dari minyak nabati melibatkan reaksi transesterifikasi trigliserida dengan produk samping berupa gliserol. Reaksi transesterifikasi dalam produksi biodiesel dapat berlangsung dalam suasana asam maupun basa dengan bantuan katalis. Namun, katalis basa lebih sering digunakan karena reaksinya lebih cepat dan *irreversible*. Berdasarkan fasanya, katalis dapat bersifat homogen dan heterogen. Penggunaan katalis heterogen lebih disarankan karena lebih mudah dipisahkan dengan produk reaksi. Katalis heterogen yang biasa digunakan dalam produksi biodiesel adalah CaO (Boey et al. 2011).

CaO dapat diperoleh dari bahan baku yang mengandung $CaCO_3$ seperti seperti cangkang telur, cangkang moluska, dan tulang. Salah satu cangkang moluska yang dapat digunakan yaitu cangkang

kerang hijau (*Perna viridis*). Kerang hijau (*Perna viridis*) saat ini mulai banyak dibudidayakan akibat peminatan pasar yang semakin meningkat. Berdasarkan data statistik Kementerian Kelautan dan Perikanan tahun 2012, produksi kerang di Indonesia – untuk jenis kerang darah, kerang hijau, tiram, kerang simping, kerang mutiara, abalon mencapai 50.460 ton. Saat ini, limbah padat kerang hijau berupa cangkang hanya dimanfaatkan sebagai bahan kerajinan tangan dan campuran pakan ternak, pemanfaatan limbah ini belum memiliki nilai guna yang besar. Salah satu pemanfaatan limbah cangkang kerang hijau (*Perna viridis*) yang bernilai guna adalah sebagai bahan baku sintesis katalis dalam reaksi transesterifikasi minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) dengan metanol dalam produksi biodiesel.

Produksi biodiesel dengan katalis CaO dapat berlangsung dengan kondisi operasi reaksi transesterifikasi pada suhu 65 °C selama 4 jam dengan jumlah metanol berlebih (Lengyel et al. 2009). Faktor lain yang dapat mempengaruhi produksi biodiesel adalah konsentrasi katalis.

Penelitian ini difokuskan pada penentuan konsentrasi optimum katalis CaO dari cangkang kerang hijau (*Perna viridis*) dalam reaksi transesterifikasi minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) untuk memperoleh kualitas metil ester (densitas (40 °C), viskositas (40 °C), dan bilangan asam) yang mendekati standar mutu biodiesel (SNI 04-7182-2006).

Metode

Isolasi CaO dan Karakterisasi dengan XRD

Limbah cangkang kerang hijau dari pasar ikan Kramat Jati (DKI Jakarta) dicuci menggunakan akuades dan dikeringkan selama 12 jam pada suhu 100 °C, sampel kemudian dikalsinasi dalam *furnace* pada suhu 1000 °C selama 4 jam (Buasri et al. 2013; Wei et al. 2009). Sampel dikarakterisasi menggunakan XRD (Shimadzu XD-610, P3IB-BATAN-Serpong) untuk mengetahui fasa kristal dari hasil kalsinasi cangkang kerang hijau.

Ekstraksi dan degumming minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*)

Biji karet dari perkebunan karet Cikidang (Sukabumi-Jawa Barat) ditumbuk halus kemudian dikering-anginkan. Bahan halus kemudian dibungkus dengan kertas saring hingga berbentuk silinder dengan kedua ujungnya ditutup kapas kemudian diikat dengan benang. Bahan yang telah dibungkus diletakkan ke dalam labu tengah pada set alat soklet, sementara pelarut *n*-heksana dimasukkan ke dalam labu alas bulat hingga 2/3 volume labu. Ekstraksi dilakukan sampai ekstrak yang turun ke labu erlenmeyer jernih. Ekstrak kemudian didestilasi untuk menguapkan pelarut (Novia et al. 2009).

Hasil kasar ditambahkan asam fosfat 85% sebanyak 2,5% (b/b sampel) dan air sebanyak 3% (b/b sampel) untuk proses *degumming*, kemudian dipanaskan pada suhu 70 °C sambil diaduk selama 30 menit untuk proses penggumpalan getah (*gum*). Campuran kemudian dicuci dengan akuades hingga pH air cucian 6-7 untuk memastikan tidak ada asam fosfat sisa yang terlarut dalam minyak. Selanjutnya ekstrak minyak disentrifugasi selama 30 menit pada kecepatan 3000 rpm untuk pemisahan getah (*gum*). Minyak dipisahkan dari untuk proses selanjutnya.

Pra-sterifikasi minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*)

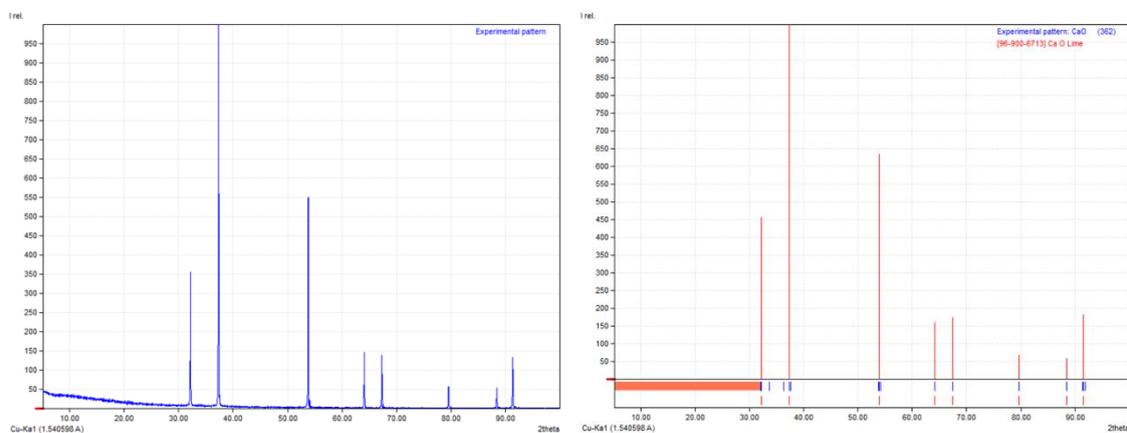
Minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) hasil ekstraksi ditempatkan dalam labu alas bulat leher tiga dilengkapi dengan kondensor refluks, kemudian ditambahkan metanol (perbandingan massa minyak:metanol 1:3) sambil terus diaduk. Setelah itu, ditambahkan 0,5% (b/b sampel) gram asam sulfat pekat ke dalam campuran. Campuran direfluks selama 120 menit pada suhu 65 °C sambil terus diaduk.

Pembuatan biodiesel

Produk pra-esterifikasi dimasukkan ke dalam labu alas bulat dilengkapi kondensor refluks. Selanjutnya ditambahkan metanol (perbandingan massa minyak:metanol 1:4) dan 2,5% (b/b sampel) katalis CaO. Campuran direfluks selama 4 jam pada suhu 65 °C sambil terus diaduk. Perlakuan diulangi untuk konsentrasi katalis 5,0; 7,5; 10,0; dan 12,5 % (b/b sampel)

Hasil dan Pembahasan

Isolasi CaO dan Karakterisasi dengan XRD



Gambar 1. Difraktogram XRD CaO dari cangkang kerang hijau (a), dan Difraktogram XRD CaO standar (b)

Katalis CaO yang diperoleh dari hasil kalsinasi cangkang kerang hijau selama 4 jam pada suhu 1000 °C memiliki rendemen sebesar 52,56%. CaO yang dihasilkan selanjutnya dikarakterisasi dengan XRD. Teknik XRD mengidentifikasi difraktogram-difraktogram yang muncul kemudian dikorelasikan dengan difraktogram CaO standar. Karakterisasi katalis dilakukan untuk menentukan kesesuaian struktur katalis CaO hasil kalsinasi terhadap struktur CaO standar. Pola XRD katalis CaO hasil kalsinasi cangkang kerang hijau dapat dilihat pada Gambar 1.

Pola XRD CaO dari cangkang kerang hijau memiliki kesesuaian dengan pola XRD CaO standar. Pola XRD CaO dari cangkang kerang hijau dapat dilihat pada Gambar 1. Difraktogram yang dihasilkan pada ini 2θ : 32,18°; 37,33°; 64,12°; 67,34°; 79,62°; 88,48° dan 91,42° yang menunjukkan hasil kalsinasi cangkang kerang hijau telah seluruhnya berfasa CaO (*lime*). CaO yang dihasilkan memiliki struktur kristal kubik dengan parameter kisi $a = 4,8120 \text{ \AA}$

Ekstraksi dan degumming minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*)

Kadar kernel biji karet yang telah dihaluskan diperoleh sebesar 68,5% (w/w sampel). Perlakuan awal dalam ekstraksi minyak biji karet melalui sokletasi dengan menghitung jumlah sirkulasi yang optimum untuk memperoleh jumlah minyak yang lebih besar. Berdasarkan hasil penelitian ini, diperoleh jumlah sirkulasi maksimum sebanyak 15 sirkulasi dalam waktu 7,5 jam.

Minyak biji karet yang telah larut dalam n-heksana selanjutnya diuapkan dengan cara destilasi. Minyak yang terpisah dari pelarut kemudian dikeringkan dengan oven pada suhu 105°C untuk menghilangkan pelarut serta kemungkinan air yang masih terikat. Pengeringan dengan oven dilakukan hingga massa minyak tetap. Rendemen minyak biji karet hasil ekstraksi diperoleh sebesar 43,3% (w/w sampel).

Sebelum digunakan untuk proses berikutnya, minyak biji karet mengalami degumming terlebih dahulu untuk menghilangkan sifat emulsifier dari zat-zat terlarut seperti gum, protein, dan fosfatida sebelum digunakan untuk memproduksi biodiesel. Pada penelitian ini, degumming dilakukan pada

suhu 70°C. Koagulasi gum lebih cepat terjadi pada suhu 70°C karena penggumpalan protein terjadi pada suhu ini sehingga fungsi emulsifiernya hilang sehingga dapat menurunkan viskositas minyak.

Proses degumming tidak hanya menurunkan viskositas sampel minyak biji karet, tetapi juga menyebabkan tingkat kejernihan yang berbeda. Minyak biji karet yang telah mengalami degumming tampak lebih jernih secara visual dibandingkan minyak biji karet hasil ekstraksi. Hal ini disebabkan oleh kandungan gum pada minyak telah terpisah melalui proses degumming.

Setelah dilakukan proses degumming minyak biji karet, maka selanjutnya minyak dianalisis sifat fisiko-kimianya untuk mengetahui karakteristik awal minyak sebelum diolah lebih lanjut. Hasil karakterisasi minyak biji karet setelah dilakukan proses degumming dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik metil ester dari minyak biji karet

Konsentrasi katalis CaO (%b/b sampel)	Parameter		
	Densitas (40 °C) (g/mL)	Viskositas kinematik (40°C) (mm ² /s)	Bilangan asam (mg KOH/gram sampel)
2,5	0,9121	8,68	2,38
	0,8984	7,51	2,38
5,0	0,9010	6,00	2,14
	0,8832	5,22	1,42
7,5	0,9117	9,18	3,25
	0,8896	8,51	2,58
10,0	0,9228	9,55	3,62
	0,8919	9,31	2,38
12,5	0,9321	11,26	3,07
	0,9280	9,97	2,88
Minyak biji karet hasil ekstraksi	0,9251	21,05	53,17
Minyak biji karet setelah <i>degumming</i>	0,9124	17,93	45,44
Produk pra- esterifikasi	0,9094	11,78	3,75
SNI	0,85-0,89	2,3-6,0	maksimal 0,5

Pra-esterifikasi minyak biji karet

Pra-esterifikasi minyak biji karet merupakan proses pendahuluan dengan tujuan menurunkan bilangan asam minyak biji karet. Pra-esterifikasi dilakukan pada suhu 65 °C selama 2 jam dengan konsentrasi asam sulfat 0,5% (b/b sampel minyak) (Yuliani et al. 2008).

Minyak biji karet hasil pra-esterifikasi dipisahkan dengan ekstraksi pelarut menggunakan air. Ekstraksi dengan air bertujuan untuk memisahkan asam lemak bebas rantai pendek yang cenderung bersifat polar, sedangkan asam lemak bebas berantai panjang tidak akan ikut terekstraksi dan diharapkan dapat digunakan untuk proses selanjutnya.

Bilangan asam produk reaksi pra-esterifikasi adalah 3,76 mg KOH/g sampel. Hal ini menunjukkan bahwa produk hasil reaksi pra-esterifikasi telah memenuhi syarat untuk proses transesterifikasi dengan katalis basa (Van Gerpen, 2005).

Pre-treatment dengan esterifikasi tidak hanya menurunkan bilangan asam, tetapi juga menurunkan viskositas minyak biji karet dan menyebabkan warna minyak yang semula cokelat gelap menjadi cokelat terang. Hal ini disebabkan ikut terekstraknya komponen-komponen sekunder hasil pemanasan pada minyak biji karet.

Pra-esterifikasi minyak biji karet

Pembuatan biodiesel dilakukan dengan reaksi transesterifikasi minyak biji karet dengan metanol menggunakan katalis CaO. Pada proses ini, konsentrasi katalis dipilih 2,5; 5,0; 7,5; 10,0; dan 12,5 % (b/b sampel) untuk menentukan konsentrasi optimum katalis CaO yang digunakan dalam reaksi transesterifikasi minyak biji karet. Adapun kondisi reaksi yang dipilih yaitu pada suhu 65 °C, waktu reaksi 4 jam, dan perbandingan massa minyak:metanol 1:4 (Lengyel et al. 2009; Sulaiman et al. 2017). Kualitas metil ester sebagai biodiesel dapat dilihat pada beberapa konsentrasi katalis CaO dapat dilihat pada Tabel 1.

Berdasarkan Tabel 1, dapat dilihat bahwa karakteristik minyak biji karet mengalami perubahan sebelum dan sesudah reaksi transesterifikasi. Hal ini ditunjukkan dengan penurunan densitas, viskositas, dan bilangan asam metil ester jika dibandingkan dengan minyak biji karet hasil ekstraksi, minyak biji karet setelah *degumming*, dan produk pra-esterifikasi. Hal ini menunjukkan kemampuan katalitik dari katalis CaO untuk mengubah senyawa trigliserida dari minyak biji karet. Minyak biji karet hasil ekstraksi sebelumnya memiliki densitas dan viskositas yang tinggi yaitu 0,9251 g/mL dan 21,05 mm²/s, hal ini disebabkan kandungan utama minyak merupakan trigliserida. Minyak yang telah ditransesterifikasi sebagian atau seluruhnya memiliki densitas dan viskositas kinematik yang rendah, karena kandungan trigliseridanya rendah. Semakin tinggi kandungan metil ester maka semakin rendah densitas dan viskositas kinematisnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa densitas dan viskositas metil ester hasil transesterifikasi berkisar 0,8322-0,9326 g/mL dan 5,22-11,26 mm²/s. Densitas dan viskositas terendah berada pada hasil transesterifikasi minyak biji karet dengan konsentrasi katalis CaO 5,0% (b/b sampel).

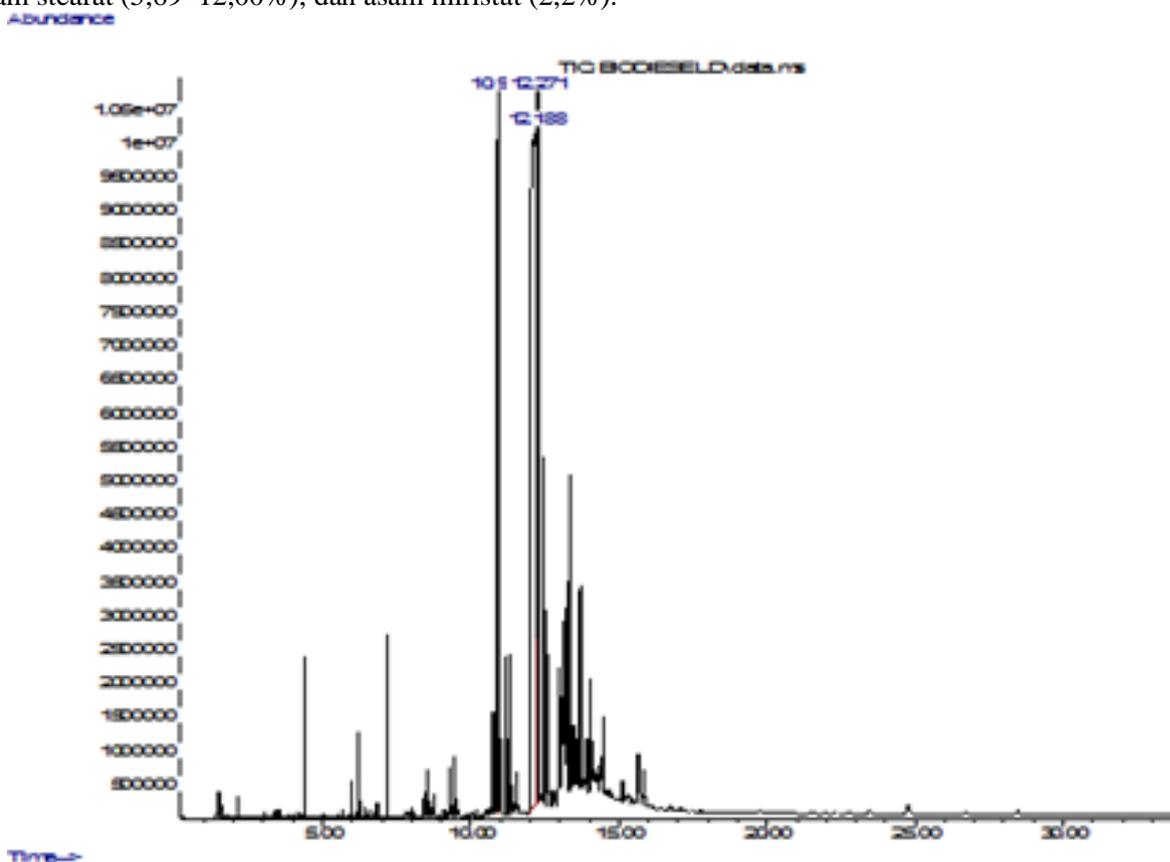
Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa reaksi transesterifikasi dapat menurunkan bilangan asam. Penurunan bilangan asam pada produk reaksi transesterifikasi 1,42-3,25 mg KOH/gram sampel. Hal ini menunjukkan bilangan asam metil ester dari produk transesterifikasi minyak biji karet tidak memenuhi standar SNI. Hal ini disebabkan masih adanya kandungan asam lemak yang belum terkonversi menjadi metil ester secara tuntas pada proses pra-esterifikasi sebelumnya. Bilangan asam paling rendah diperoleh dari produk reaksi transesterifikasi dengan konsentrasi katalis CaO 5,0% (b/b sampel).

Berdasarkan hasil penelitian ini, maka dipilih konsentrasi katalis yang optimum untuk reaksi transesterifikasi minyak biji karet yaitu 5,0%. Hal ini juga menunjukkan bahwa konsentrasi katalis berpengaruh dalam kualitas produk hasil reaksi transesterifikasi minyak biji karet. Konsentrasi katalis yang terlalu rendah memperkecil ketersediaan permukaan katalis untuk mengadsorpsi metanol sehingga metil ester yang terbentuk semakin kecil. Adapun jumlah katalis yang terlalu besar dapat menghalangi tumbukan molekul yang terjadi dalam reaksi atau memungkinkan adanya tumbukan molekul yang sejenis.

Metil ester yang terbentuk pada kondisi optimum selanjutnya dikarakterisasi menggunakan GC-MS. Hasil analisis dengan GC-MS ditunjukkan dengan kromatogram yang dapat dilihat pada Gambar 2. Gambar 2 menunjukkan 3 puncak tertinggi pada waktu retensi 10,931; 12,188; dan 12,271 menit. Hasil analisis menunjukkan pada masing-masing waktu retensi terjadi pemisahan metil heksadekanoat, metil oktadekanoat, dan metil stearat yang masing-masing memiliki bobot molekul 270,0; 296,0; dan 298,0 dengan komposisi metil heksadekanoat (20,85%); metil oktadekanoat (61,99%); dan metil stearat (17,16%). Hal ini menunjukkan bahwa komposisi metil ester yang paling dominan adalah metil oktadekanoat. Puncak-puncak rendah pada kromatogram mengindikasikan adanya pengotor pada metil ester. Pengotor ini disebabkan reaksi yang belum tuntas secara sempurna serta masih tertinggalnya pelarut yang belum terpisah secara sempurna.

Komposisi ini sesuai dengan referensi bahwa metil ester yang dihasilkan sesuai dengan kandungan terbesar asam lemak pada minyak biji karet di antaranya C₁₉H₃₆O₂ dengan struktur yang mungkin adalah metil oleat (metil 9-oktadekanoat), metil vaksenat (metil 11-oktadekanoat), dan metil *cis*-13-

oktadekenoat; $C_{17}H_{34}O_2$ sebagai metil heksadekenoat atau metil palmitat, dan metil stearat ($C_{19}H_{38}O_2$), Onoji dkk. (2016) menyebutkan bahwa kandungan tertinggi asam lemak dalam minyak biji karet di antaranya adalah asam linoleat (39,6-52,85%); asam oleat (12,7-42,08%); asam palmitat (0,23-10,6%); asam stearat (5,69-12,00%); dan asam miristat (2,2%).



Gambar 2. Kromatogram GC-MS metil ester dari minyak biji karet

Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa konsentrasi optimum katalis CaO dari cangkang kerang hijau dalam reaksi transesterifikasi minyak biji karet adalah 5% (b/b sampel). Hasil uji karakteristik metil ester dari minyak biji karet dengan konsentrasi optimum katalis CaO ini diperoleh densitas (40 °C) sebesar 1,42 g/mL; viskositas kinematik (40 °C) 5,22 mm²/s, dan bilangan asam sebesar 1,42 mg KOH/g sampel. Analisis dengan GC-MS menunjukkan kandungan utama metil ester berupa metil dekenoat. Nilai densitas dan viskositas kinematik metil ester dari minyak biji karet pada konsentrasi optimum CaO telah memenuhi syarat standar biodiesel.

Pada penelitian selanjutnya disarankan melakukan analisis fisiko kimia yang lain, seperti angka setana, bilangan iod, dan titik tuang untuk mengetahui kelayakan metil ester hasil penelitian sebagai metil ester (biodiesel) yang sesuai standar. Nilai bilangan asam metil ester dari minyak biji karet masih tinggi untuk memenuhi standar biodiesel. Oleh karena itu, perlu dilakukan optimasi pada pra-esterifikasi minyak biji karet untuk memperoleh bilangan asam yang lebih rendah.

Daftar Pustaka

Boey, PL, Maniam, GP, & Abd Hamid, S. 2011. 'Performance of Calcium Oxide as a Heterogeneous Catalyst in Biodiesel Production: a Review'. *Chemical engineering journal*, 168(1), 15-22.

- Buasri, A, Chaiyut, N, Loryuenyong, V, Worawanitchaphong, P, & Trongyong, S. 2013. 'Calcium Oxide Derived from Waste Shells of Mussel, Cockle, and Scallop as the Heterogeneous Catalyst for Biodiesel Production'. *The Scientific World Journal*, 2013.
- Lengyel, J, Cvengrošová, Z, & Cvengroš, J. 2009. 'Transesterification of Triacylglycerols over Calcium Oxide as Heterogeneous Catalyst'. *Petroleum & coal*, 51(3), 216-224.
- Novia, N, Yuliyati, H, & Yuliandhika, R. 2009. 'Pemanfaatan Biji Karet sebagai Semi Drying Oil dengan Metode Ekstraksi Menggunakan Pelarut N-Heksana'. *Jurnal Teknik Kimia*, 16(4).
- Onoji, SE, Iyuke, SE, & Igbafe, AI. 2016. 'Hevea brasiliensis (Rubber Seed) Oil: Extraction, Characterization, and Kinetics of Thermo-Oxidative Degradation Using Classical Chemical Methods'. *Energy & Fuels*, 30(12), 10555-10567.
- Ramadhas, AS, Jayaraj, S, & Muraleedharan, C. 2005. 'Biodiesel Production from High FFA Rubber Seed Oil'. *Fuel*, 84(4), 335-340.
- Sulaiman, S, Shah, B, & Jamal, P. 2017. 'Production of Biodiesel from Palm Oil Using Chemically Treated Fish Bone Catalyst'. *CHEMICAL ENGINEERING*, 56.
- Van Gerpen, J. 2005. 'Biodiesel Processing and Production'. *Fuel processing technology*, 86(10), 1097-1107.
- Wei, Z, Xu, C, & Li, B. 2009. 'Application of Waste Eggshell as Low-Cost Solid Catalyst for Biodiesel Production'. *Bioresourcetechnology*, 100(11), 2883-2885.
- Yuliani, F, Primasari, M, Rachmaniah, O, Rachimoellah, M, Biomassa, L, & Kimia, JT. 2013. 'Pengaruh Katalis Asam (H₂SO₄) dan Suhu Reaksi pada Reaksi Esterifikasi Minyak Biji Karet (*Hevea brasiliensis*) menjadi Biodiesel'. *Skripsi Sarjana, Fakultas Teknologi Industri ITS. Surabaya. Hal*, 1-2.