

Kalsium Oksida Berbasis Limbah sebagai Katalis Heterogen pada Sintesis Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas

Haryono, Juliandri, Rustaman

Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran

Jl. Raya Bandung-Sumedang Km. 21, Jatinangor, Sumedang, Jawa Barat

Korespondensi: haryono@unpad.ac.id

ABSTRAK

Biodiesel merupakan metil ester dari asam lemak telah dipertimbangkan sebagai bahan bakar terbarukan yang ramah lingkungan karena mampu mendukung keberlangsungan siklus karbon dioksida. Biodiesel secara konvensional disintesis dari minyak atau lemak dengan katalis basa homogen, seperti kalium hidroksida atau sodium hidroksida. Namun pemakaian katalis homogen tersebut memiliki beberapa kekurangan, seperti: mensyaratkan kadar asam lemak bebas yang ketat, rentan terjadi reaksi penyabunan minyak, relatif sulit dalam pemisahannya, dan tidak dapat diregenasi. Oleh karena itu, katalis heterogen dalam sintesis biodiesel dipertimbangkan sebagai pengganti katalis homogen. Kalsium oksida merupakan katalis heterogen padat yang telah terbukti efektif dalam membantu reaksi transesterifikasi minyak menjadi biodiesel. Kalsium oksida dapat disintesis dari kalsium karbonat yang keberadaannya banyak terdapat di dalam limbah, seperti cangkang kerang darah dan telur. Penelitian ini bertujuan mensintesis dan mengkarakterisasi kalsium oksida dari cangkang telur dan kepiting sebagai katalis pada sintesis biodiesel dari minyak goreng bekas. Kalsium oksida diperoleh dengan mengkalsinasi cangkang kerang darah dan telur pada suhu 800 °C selama 8 jam. Hasil kalsinasi selanjutnya dikarakterisasi dengan metode difaksi sinar-x dan adsorpsi-desorpsi isothermal BET (Brunauer-Emmet-Teller) untuk menentukan jenis fase oksida yang terbentuk dan karakterisasi permukaan. Sintesis biodiesel dilakukan pada lama reaksi 2 jam, suhu 60 °C, rasio molar minyak terhadap metanol 1:12, dan kadar katalis 10%. Hasil penelitian menunjukkan kalsium oksida berhasil disintesis dari limbah cangkang telur dan kerang darah dengan karakteristik berbeda. Kalsium oksida dari kedua limbah tersebut mampu mengkatalisis reaksi transesterifikasi minyak goreng bekas menjadi biodiesel, dan dihasilkan biodiesel sesuai dengan SNI 7182-2015 tentang standar kualitas biodiesel.

Kata kunci: biodiesel, kalsium oksida, kerang darah, telur, transesterifikasi

ABSTRACT

Biodiesel, which is a methyl ester of fatty acids, has been considered as a renewable fuel that is environmentally friendly because it is able to support the sustainability of the carbon dioxide cycle. Biodiesel is conventionally synthesized from oil or fat with a homogeneous base catalyst, such as potassium hydroxide or sodium hydroxide. However, the use of homogeneous catalysts has several drawbacks, such as: it requires a tight free fatty acid content, is prone to oil saponification reactions, is relatively difficult to separate, and cannot be regenerated. Therefore, heterogeneous catalysts in biodiesel synthesis are considered as a substitute for homogeneous catalysts. Calcium oxide is a solid heterogeneous catalyst that has been proven effective in assisting the transesterification reaction of oil into biodiesel. Calcium oxide can be synthesized from calcium carbonate, which is widely found in waste, such as blood clam and egg shells. This study aims to synthesize and characterize calcium oxide from egg and crab shells as a catalyst in the synthesis of biodiesel from used cooking oil. Calcium oxide was obtained by calcination to blood clam and egg shells at 800 °C for 8 hours. The calcination results were further characterized by the method of x-ray diffraction and BET (Brunauer-Emmet-Teller) isotherm adsorption-desorption to determine the type of oxide phase formed and the surface characterization. The synthesis of biodiesel was carried out at a reaction time of 2 hours, a temperature of 60 °C, a molar ratio of oil to methanol 1:12, and a catalyst content of 10%. The results showed that calcium oxide was successfully synthesized from blood clam and egg shells waste with different characteristics. Calcium oxide from the two wastes is able to catalyze the transesterification reaction of used cooking oil into biodiesel, and biodiesel is produced according to SNI 7182-2015 concerning biodiesel quality standards.

Keyword: biodiesel, calcium oxide, blood clam, egg, transesterification

1. PENDAHULUAN

Konsumsi energi di Indonesia saat ini masih tergantung pada jenis energi dari minyak dan gas bumi. Konsumsi energi final masyarakat Indonesia sebesar 989,9 juta SBM (Setara Barel Minyak), dimana

sekitar 42% dipenuhi dari energi jenis BBM (bahan bakar minyak), 17% dari batubara, dan 10% dari gas, dengan laju pertumbuhan rata-rata kebutuhan BBM sebesar 2,8% per tahun [1]. Peristiwa efek rumah kaca dan perubahan iklim global sebagai dampak pembakaran BBM merupakan isu kritis yang berdampak terhadap industri energi, pembuat kebijakan publik, dan masyarakat. Peningkatan pemanasan global dan dampak bahaya lingkungan lainnya telah mendorong hampir semua negara untuk mengurangi ketergantungan terhadap BBM [2]. Penghematan BBM perbaikan lingkungan dapat dicapai dengan mengembangkan sumber energi terbarukan seperti biodiesel, yaitu bahan bakar yang berasal dari minyak nabati [3].

Pemrosesan terhadap biomassa tersebut akan menghasilkan salah satu jenis bahan bakar terbarukan, yaitu biodiesel. Biodiesel secara umum adalah metil ester dari asam lemak rantai panjang sehingga sering dikenal sebagai FAME atau *Fatty Acid Methyl Ester*. FAME dapat dibuat dari minyak nabati, lemak hewan, atau sumber-sumber lainnya seperti limbah minyak goreng [4, 5].

Sintesis biodiesel secara konvensional umumnya dilakukan dengan bantuan katalis basa homogen, seperti NaOH dan KOH. Penggunaan katalis basa homogen akan membantu reaksi pembentukan biodiesel secara efektif jika minyak nabati yang digunakan memiliki kadar asam lemak bebas kurang dari 1% dan kadar air kurang dari 0,5%. Jika kadar asam lemak bebas dan kadar air melebihi batas maksimal tersebut, penggunaan katalis basa homogen cenderung tidak menguntungkan. Permasalahan utama yang timbul adalah terjadinya reaksi penyabunan antara basa dengan asam lemak bebas yang telah terdapat di dalam minyak dan/ yang terbentuk akibat reaksi hidrolisis [6]. Untuk mengatasi permasalahan dari kekurangan-kekurangan katalis basa homogen tersebut adalah dengan penggunaan katalis basa heterogen. Penggunaan katalis padat pada sintesis biodiesel memiliki cukup banyak keuntungan, seperti: dapat dipakai berulang untuk masa pemakaian yang relatif lama, cenderung tidak korosif, tidak rentan terhadap kadar asam lemak bebas dan air yang tinggi, katalis padat bekas lebih mudah ditangani sehingga cenderung tidak menimbulkan efek negatif terhadap lingkungan, dan pada beberapa jenis katalis padat dapat bekerja efektif pada suhu reaksi relatif rendah [7]. Salah satu material potensial sebagai katalis basa heterogen dalam sintesis biodiesel adalah kalsium oksida, CaO. CaO dapat disintesis dari CaCO₃ yang terdapat dalam beragam jenis bahan baku, seperti batu kapur dan biolimbah [8, 9, 10]. Kalsium oksida sebagai katalis basa telah diteliti mempunyai banyak keunggulan, seperti: aktivitasnya yang tinggi, kondisi reaksi yang rendah, masa katalis yang lama, serta biaya katalis yang rendah [11].

Penelitian ini bertujuan mensintesis dan mengkarakterisasi kalsium oksida dari kalsinasi terhadap cangkang kerang darah dan telur, sebagai katalis pada sintesis biodiesel dari minyak goreng bekas. Kinerja katalis diukur berdasarkan *yield* dan kualitas biodiesel yang dihasilkan, serta perbandingannya dengan pemakaian katalis kalsium oksida komersial.

2. METODE PENELITIAN

Bahan. Bahan utama pada penelitian ini adalah minyak goreng bekas (limbah penggorengan dari dapur rumah tangga) dan metanol (Sigma-Aldrich). Untuk keperluan analisis minyak goreng bekas dan biodiesel digunakan kalium hidroksida, etanol, kloroform, kalium iodida 15%, natrium tiosulfat, dan amilum.

Alat. Labu leher tig sebagai reaktor, pendingin refluks, *hot plate* berpengaduk magnet, termometer, corong pisah, kertas saring, buret, corong Buchner, piknometer, viskometer Ostwald, dan peralatan gelas lainnya. Untuk keperluan karakterisasi katalis digunakan instrumen XRD (*x-ray diffraction*) dan adsorpsi BET (Brunauer-Emmet-Teller). Komposisi asam lemak pada minyak goreng bekas dan biodiesel dianalisis dengan instrumen GC-MS (*gas chromatography-mass spectrometry*)

Tahapan penelitian. Penelitian ini dilaksanakan dengan tahapan: pemurnian minyak goreng bekas, analisis sifat kimia fisik minyak goreng bekas, penyiapan cangkang kerang darah dan telur (pengkincuran dan pengayakan), kalsinasi kulit telur pada suhu 800 °C selama 8 jam, karakterisasi CaO (kalsium oksida) hasil kalsinasi (jenis fase oksida dan karakteristik permukaan), sintesis biodiesel menggunakan katalis CaO (pada suhu 60 °C, selama 2 jam, rasio molar minyak terhadap metanol 1:12, dan kadar katalis 10%), pemurnian biodiesel, dan perhitungan *yield* serta analisis kualitas biodiesel. Kinerja katalitik dari kedua katalis CaO dengan sumber biomassa berbeda selanjutnya dibandingkan dengan kinerja katalitik dari CaO komersial dalam reaksi transesterifikasi.

3. HASIL DAN ANALISIS

3.1. Karakteristik Katalis Kalsium Oksida dari Cangkang Kerang Darah dan Telur

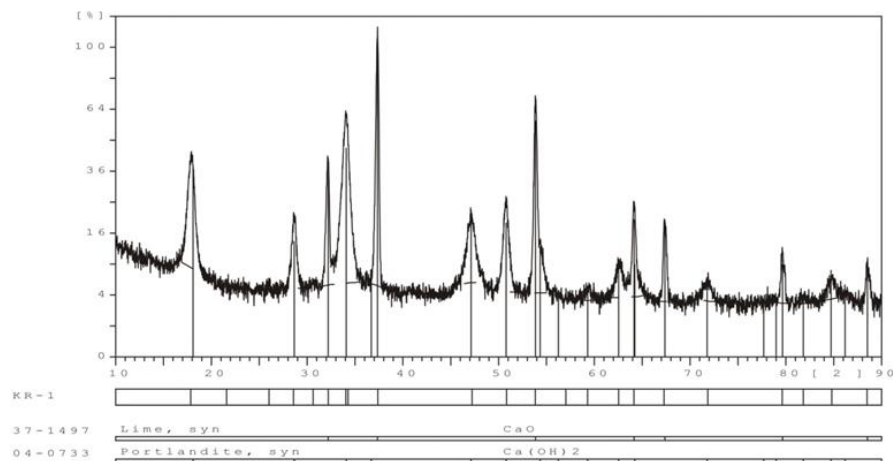
Kalsium oksida (CaO) sebagai bahan aktif katalis terbentuk selama kalsinasi kalsium karbonat (CaCO₃) dari cangkang kerang darah dan telur menurut Persamaan (1).



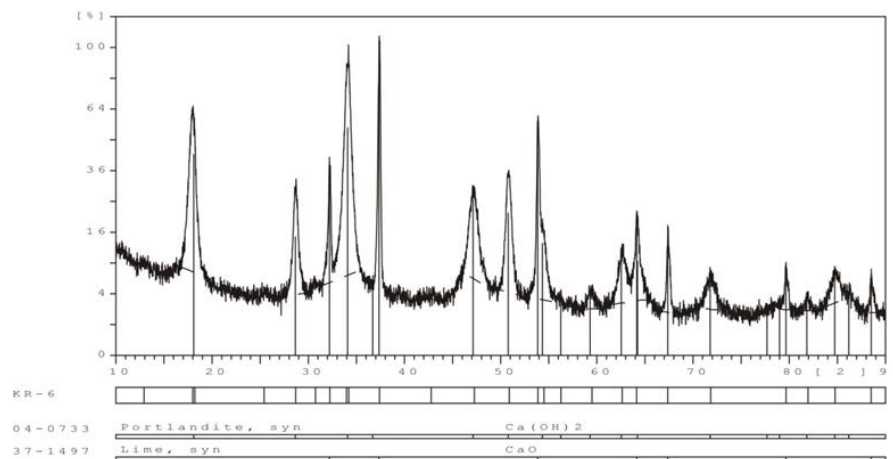
Pembentukan CaO ditandai dengan peristiwa *mass loss* sebagai dampak dari lepasnya sejumlah gas karbon dioksida (CO₂) dari reaktor kalsinasi sebagai produk samping. Pada kalsinasi terhadap

cangkang kerang darah dan telur di suhu 800 °C selama 8 jam tersebut terjadi *mass loss* secara berurutan sebesar 66 dan 91%. Persentase *mass loss* pada kalsinasi cangkang kerang darah lebih kecil daripada cangkang telur mengindikasikan bahwa pada cangkang kerang darah terdapat CaCO_3 lebih banyak dibandingkan pada cangkang telur, sehingga massa bahan yang tertinggal di reaktor lebih banyak.

Pembentukan CaO dari CaCO_3 yang terdapat pada cangkang kerang darah dan telur dikonfirmasi oleh hasil karakterisasi dengan XRD. Pola difraksi dari hasil kalsinasi cangkang kerang darah dan telur masing-masing ditampilkan pada Gambar 1 dan 2. Pada kedua pola difraksi XRD tersebut, CaO teridentifikasi pada puncak-puncak difraksi di sudut 2θ sebesar 32,2°; 37,4°; 53,9°; 64,2°; 67,4°; 79,7°; dan 88,6° yang merupakan puncak difraksi khas dari CaO . Namun demikian masih terdapat kalsium hidroksida atau Ca(OH)_2 pada hasil kalsinasi tersebut. Pembentukan Ca(OH)_2 umumnya relatif sulit dihindari karena CaO bersifat higroskopis, sehingga mudah mengikat uap air di udara (kelembapan udara), kemudian bereaksi membentuk kalsium hidroksida [12].



Gambar 1. Pola difraksi XRD dari hasil kalsinasi cangkang kerang darah pada suhu 800 °C selama 8 jam



Gambar 2. Pola difraksi XRD dari hasil kalsinasi cangkang telur pada suhu 800 °C selama 8 jam

Karakteristik permukaan dari hasil kalsinasi terhadap cangkang kerang darah dan telur yang ditentukan sebagai parameter luas permukaan, ukuran pori, dan volume total pori dengan metode adsorpsi-desorpsi isotherm BET (Brunauer, Emmet, and Teller) ditampilkan pada Tabel 1. Berdasarkan hasil karakterisasi permukaan, cangkang kerang darah terkalsinasi memiliki nilai yang lebih besar untuk semua jenis parameter karakteristik (luas permukaan, diameter pori rata-rata, dan volume total pori) dibandingkan dengan cangkang telur terkalsinasi. Hal tersebut diduga sebagai akibat dari perbedaan karakteristik alami dari kedua jenis limbah biomassa tersebut, terutama densitas dan tingkat kekerasan.

Tabel 1. Karakteristik permukaan cangkang kerang darah dan telur terkalsinasi pada suhu 800 °C selama 8 jam dengan metode adsorpsi-desorpsi BET

| Karakteristik Permukaan | Satuan | Nilai | |
|-------------------------|--------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| | | Cangkang Kerang Darah Terkalsinasi | Cangkang Telur Darah Terkalsinasi |
| Luas permukaan | m ² /g | 2,156 | 1,842 |
| Diameter pori rata-rata | nm | 28,45 | 11,83 |
| Volume total pori | cm ³ /g | 1,533 × 10 ⁻² | 5,448 × 10 ⁻³ |

3.2. Karakteristik Minyak Goreng Bekas sebagai Bahan Baku Sintesis Biodiesel

Minyak goreng bekas sebagai bahan baku sintesis biodiesel untuk keperluan penentuan kebutuhan metanol, setelah dimurnikan dari pengotor padatnya kemudian dianalisis sifat fisiko-kimianya meliputi: densitas, viskositas kinematik, bilangan asam, bilangan penyabunan, bilangan peroksida, dan bilangan iodin. Hasil analisis sifat fisiko-kimia tersebut ditampilkan pada Tabel 2, sedangkan Tabel 3 menyajikan hasil analisis komposisi asam lemak yang terdapat pada minyak goreng bekas.

Hasil analisis pada Tabel 2 menunjukkan bahwa minyak goreng, berdasarkan parameter bilangan asam, bilangan peroksida, dan kadar air, masih termasuk minyak dengan spesifikasi relatif baik sebagai bahan baku biodiesel. Bilangan asam menunjukkan kandungan asam lemak bebas (ALB) di dalam minyak. Semakin besar bilangan asam, maka kadar ALB dalam minyak semakin meningkat, sehingga kualitas minyak semakin rendah. Sedangkan bilangan peroksida mengindikasikan keberadaan pengotor dalam bentuk senyawa organik ringan beroksigen dalam kelompok keton dan aldehid sebagai hasil reaksi oksidasi primer terhadap minyak [13]. Minyak goreng bekas pada penelitian ini didominasi oleh asam lemak tak jenuh yaitu sebanyak 58,74%. Asam lemak tak jenuh tersebut terdiri dari: asam oleat, asam linoleat, asam linolenat, dan asam eikosenoat (Tabel 3).

Tabel 2. Sifat fisiko-kimia minyak goreng bekas

| Parameter | Satuan | Nilai |
|----------------------|-------------------------|--------|
| Densitas | g/mL | 0,911 |
| Viskositas kinematik | mm ² /s | 12,87 |
| Bilangan asam | mg KOH/g | 0,52 |
| Bilangan penyabunan | mg KOH/g | 201,66 |
| Bilangan peroksida | meq/g | 0,13 |
| Bilangan iodine | g I ₂ /100 g | 57,38 |
| Kadar air | % | 0,2 |

Tabel 3. Jenis dan komposisi asam lemak dari minyak goreng bekas

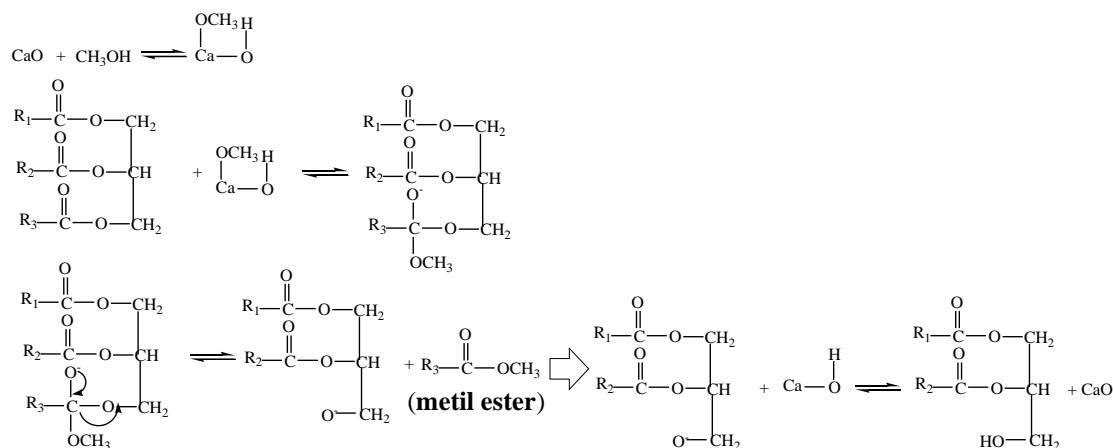
| Jenis Asam Lemak | Rumusan Singkat | Kadar (%) |
|------------------|-----------------|-----------|
| Asam oleat | C18:1 | 40,13 |
| Asam palmitat | C16:0 | 29,21 |
| Asam linoleat | C18:2 | 17,12 |
| Asam stearat | C18:0 | 8,97 |
| Asam miristat | C14:0 | 1,37 |
| Asam linolenat | C18:3 | 0,92 |
| Asam eikosenoat | C20:1 | 0,57 |

3.3. Perolehan dan Karakteristik Biodiesel

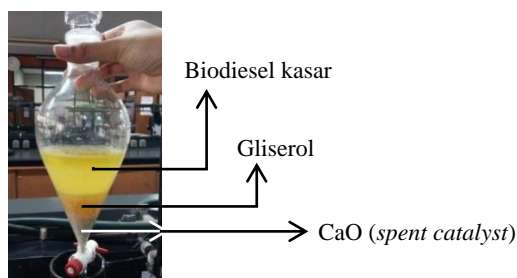
Sintesis biodiesel dilakukan untuk menguji kinerja cangkang kerang darah dan telur terkalsinasi sebagai katalis heterogen. Sintesis biodiesel dilakukan dengan kondisi pereaksian: lama reaksi 2 jam, suhu reaksi 60 °C, rasio mol minyak terhadap metanol pada rasio 1:12, dan kadar katalis 10%-b. Mekanisme reaksi transesterifikasi pada pembentukan biodiesel ini diduga sesuai dengan mekanisme seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 [14], sedangkan tingkat perolehan (*yield*) dan sifat-sifat biodiesel hasil sintesis dan perbandingannya dengan standar kualitas biodiesel ditampilkan pada Tabel 4. Tampilan akhir dari transesterifikasi minyak goreng bekas menjadi biodiesel disajikan pada Gambar 4.

Biodiesel yang dihasilkan dari sintesis dengan katalis CaO, baik dari hasil kalsinasi cangkang kerang darah maupun telur, telah memenuhi standar kualitas menurut SNI 7182-2015 atau SNI Biodiesel (Tabel 4) untuk semua jenis parameter kualitas yang diuji. Terdapat perbedaan relatif signifikan dalam parameter bilangan iodin dan penyabunan. Biodiesel dari sintesis dengan katalis CaO dari cangkang kerang darah memiliki bilangan iodin lebih kecil (42,32 g I₂/100 g) daripada jika digunakan katalis CaO dari cangkang telur (67,97 g I₂/100 g). Hal tersebut menunjukkan bahwa pada sintesis biodiesel dengan katalis CaO dari cangkang kerang darah, asam lemak jenuh dari minyak goreng bekas lebih dominan terkonversi menjadi biodiesel dibandingkan asam lemak tak jenuhnya, demikian berlaku sebaliknya pada penggunaan katalis CaO

dari cangkang telur. Pernyataan terkonfirmasi oleh nilai bilangan penyabunan, dimana minyak atau biodiesel dengan massa molar lebih besar akan memiliki bilangan penyabunan lebih kecil. Biodiesel dengan bilangan penyabunan lebih rendah berarti terbentuk dari asam-asam lemak lemak dengan massa molar lebih besar (asam lemak jenuh), dan sebaliknya. Untuk jumlah karbon tertentu, asam lemak jenuh memiliki massa molar lebih besar dibandingkan dengan asam lemak tak jenuh. Asam stearat (C18:0) misalnya, sebagai asam lemak jenuh memiliki massa molar 284,5 g/mol, sedangkan massa molar dari asam oleat (C18:1) sebagai asam lemak tak jenuh adalah 282,5 g/mol.



Gambar 3. Mekanisme reaksi transesterifikasi pada pembentukan 1 mol metil ester (biodiesel) dengan menggunakan katalis CaO [14]



Gambar 4. Produk transesterifikasi minyak goreng bekas dengan katalis CaO dari cangkang

Tabel 4. Perbandingan tingkat perolehan dan kualitas biodiesel dari transesterifikasi minyak goreng bekas terkatalisasi CaO cangkang kerang darah dan telur dengan SNI Biodiesel (SNI 7182-2015)

| Parameter Uji | Biodiesel dari Sintesis Berkatalis CaO | | CaO Komersial | SNI Biodiesel |
|---|--|----------------|---------------|---------------|
| | Cangkang Kerang Darah | Cangkang Telur | | |
| Massa jenis (40°C), g/mL | 0,868 | 0,879 | 0,867 | 0,850 - 0,890 |
| Viskositas kinematik (40°C), mm ² /s | 2,65 | 2,58 | 5,28 | 2,3 - 6 |
| Bilangan asam, mg KOH/g | 0,24 | 0,39 | 0,28 | maks. 0,5 |
| Bilangan iodin, g I ₂ /100g | 42,32 | 67,97 | 31,62 | - |
| Bilangan penyabunan, mg KOH/g | 181,20 | 157,73 | 33,66 | - |
| Bilangan setana* | 65,63 | 63,57 | 200,4 | min. 51 |
| Kadar air, %-b | 0,04 | 0,04 | 0,03 | maks. 0,05 |
| Tingkat perolehan atau yield (%) | 70,32 | 73,23 | 88,0 | - |

*Dihitung dengan rumusan Bil. Setana = 46,3 + (5458/Bil. Penyabunan) - 0,255(Bil. Iodine) [15]

Tingkat perolehan biodiesel dari sintesis dengan katalis CaO dari cangkang kerang darah lebih sedikit (70,32%) dibandingkan pada sintesis biodiesel dengan katalis CaO dari cangkang telur (73,23%). Perbedaan tingkat perolehan biodiesel tersebut berhubungan dengan perbedaan karakteristik permukaan antara kedua katalis. Diameter pori katalis memiliki peranan penting dalam kontak antara reaktan dengan katalis, dimana diameter dari molekul trigliserida atau minyak (reaktan), metil oleat (salah satu molekul dari biodiesel), dan gliserin atau gliserol (produk samping) masing-masing sekitar 5,8 nm, 2,5 nm dan 0,6 nm [16]. Diameter pori rata-rata yang lebih besar dan interkoneksi antara pori-pori katalis akan meminimalkan

keterbatasan difusi molekul reaktan, sehingga molekul reaktan dapat dengan lebih mudah menyusup ke bagian dalam katalis, dan sebagian besar situs aktif akan digunakan selama reaksi transesterifikasi [17].

4. KESIMPULAN

Katalis CaO berhasil disintesis dari cangkang kerang darah dan telur dengan metode kalsinasi pada suhu 800 °C selama 8 jam berdasarkan hasil karakterisasi dengan metode XRD. Kedua jenis katalis memiliki karakteristik permukaan (luas permukaan spesifik, diameter rata-rata pori, dan volume total pori spesifik) masing-masing.

Biodiesel yang dihasilkan dari minyak goreng bekas dengan katalis CaO dari cangkang kerang darah dan telur memiliki kualitas sesuai dengan SNI Biodiesel berdasarkan sejumlah parameter kualitas yang diuji.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hilman E, Fitriana I, Sugiyono A, Adiarso (Editor). Outlook Energi Indonesia 2021: Perspektif Teknologi Energi Indonesia. *Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi*. 2021; 18-19.
- [2] Ramaraju A, Ashok Kumar TV. Biodiesel Development from High Free Fatty Acid Punnakka Oil. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2011; Vol. 6(4): 1-6.
- [3] Herizal, Rahman M. Optimasi Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit Menjadi Biodiesel dengan Katalis NaOH. *Lembaran Publikasi Lemigas*. 2008; Vol. 42(3): 61-66.
- [4] Hayyan A, Alam MZ, Mirghani MES., Kabbashi NA, Hakimi NINM, Siran YM, Tahiruddin S. Production of Biodiesel from Sludge Palm Oil by Esterification Process. *Energy and Power Engineering*. 2010; Vol. 4(1): 11-17.
- [5] van Gerpen J, Shanks B, Pruzko R, Clements D, Knothe G. Biodiesel Production Technology. *National Renewable Energy Laboratory*. 2004; Issue July.
- [6] Mat R, Samsudin RA, Mohamed M, Johari A. Solid Catalysts and Their Application in Biodiesel Production. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*. 2012; Vol. 7 (2): 142-149.
- [7] Thanh LT, Okitsu K, Boi LV, Maeda Y. Catalytic Technologies for Biodiesel Fuel Production and Utilization of Glycerol. *Catalyst*. 2012; Vol. 2: 191-222.
- [8] Lani NS, Ngadi N, Yahya NY, Rahman RA. Synthesis, Characterization and Performance of Silica Impregnated Calcium Oxide as Heterogeneous Catalyst in Biodiesel Production. *Journal of Cleaner Production*. 2017; 146: 116-124.
- [9] Correia LM, Saboya RMA, Campelo NS, Cecilia JA, Rodríguez-Castellón E, Cavalcante Jr. CL, Vieira RS. Characterization of Calcium Oxide Catalysts from Natural Sources and Their Application in the Transesterification of Sunflower Oil. *Bioresource Technology*. 2014; 151: 207-213.
- [10] Viriya-empikul N, Krasae P, Nualpaeng W, Yoosuk B, Faungnawakij K. Biodiesel Production over Ca-Based Solid Catalysts Derived from Industrial Wastes. *Fuel*. 2012; Vol. 92: 239-244.
- [11] Refaat AA. Biodiesel Production using Solid Metal Oxide Catalyst. *Int. J. Environ. Sci. Tech*. 2011; Vol. 8(1): 203-221.
- [12] Tangoriboon N, Kunanuruksapong R, Sirivat A. Preparation and Properties of Calcium Oxide from Eggshells via Calcination. *Materials Science-Poland*. 2012; Vol. 30(4): 1-10.
- [13] Sanford SD, White JM, Shah PS, Wee C, Valverde MA, Meier GR. Feedstock and Biodiesel Characteristics Report. *Iowa Renewable Energy Group Inc., Technical Report*. 2009: 1-136.
- [14] Lee DW, Park YM, Lee KY. Heterogeneous Base Catalysts for Transesterification in Biodiesel Synthesis, *Catal Surv Asia*. 2009; Vol. 13: 63-77.
- [15] Azam MM, Waris A, Nahar NM. Prospects and Potential of Fatty Acid Methyl Esters of Some Non-traditional Seed Oils for Use as Biodiesel in India. *J. Biomass & Bioenergy*. 2005; Vol. 29(July): 293-302.
- [16] Granados ML, Poves MDZ, Alonso DM, Mariscal R, Galisteo FC, Moreno-Tost R, Santamaría J, Fierro JLG. Biodiesel from Sunflower Oil by Using Activated Calcium Oxide. *Appl. Catal. B Environ*. 2007; Vol. 73: 317-326.
- [17] Wu H, Zhang J, Lu Y, Zheng J, Wei Q. Biodiesel Production from Jatropha Oil Using Mesoporous Molecular Sieves Supporting K₂SiO₃ as Catalysts for Transesterification. *Fuel Process. Technol*. 2014; 119: 114-120.