



Transesterifikasi Minyak Biji Buta-Buta menjadi Biodiesel pada Katalis Heterogen Kalsium Oksida (CaO)

Transesterification of Hura Crepitans Linn Seed Oil into Biodiesel over CaO Heterogeneous Catalyst

Muhammad Zaki, Husni Husin*, Pocut Nurul Alam, Darmadi, Cut Meurah Rosnelly, Nurhazanah

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala, Darussalam Banda Aceh, 23111, Indonesia.
*E-mail: husni_husin@che.unsyiah.ac.id

Terima draft: 16 April 2019; Terima draft revisi: 01 Juni 2019; Disetujui: 03 Juni 2019

Abstrak

Penelitian ini menggunakan katalis padat CaO untuk reaksi transesterifikasi minyak biji buta-butua menjadi biodiesel. Minyak biji buta-butua diekstraksi menggunakan alat press. Katalis CaO disiapkan dari cangkang kerang dengan cara dipijar pada suhu 850 °C. Sampel katalis dikarakterisasi dengan metode *scanning electron microscopy* (SEM) dan *x-ray diffractometer* (XRD). Katalis cangkang kerang memiliki ukuran partikel antara 200-2000 nm. Hal ini karena pemanasan cangkang pada 850 °C menyebabkan sebahagian kecil partikel mengalami peningkatan kristallinitas. Dari rekaman XRD teridentifikasi bahwa katalis didominasi oleh senyawa CaO dan terdapat sedikit CaCO₃. Reaksi transesterifikasi dilangsungkan dalam reaktor *batch* dengan variasi suhu (55 °C, 60 °C, 65°C, dan 70°C), rasio metanol terhadap minyak: 3:1, 6:1, 9:1, 12:1, dan 15:1. Reaksi dilangsungkan selama 3 jam dan katalis didispersi 6 % berat dari minyak. Perolehan metil ester maksimum dicapai 96,7% pada kondisi reaksi, yaitu: rasio metanol:minyak 12:1 dan suhu reaksi 65 °C. Karakteristik biodiesel hasil penelitian ini memenuhi sifat-sifat bahan bakar berkualitas tinggi sesuai dengan standar SNI dan ASTM. Proses transesterifikasi minyak biji buta-butua dan metanol menggunakan CaO sebagai katalis basa heterogen layak digunakan untuk bahan baku produksi biodiesel.

Kata kunci: minyak buta-butua, katalis padat, kalsium oksida, transesterifikasi, biodiesel.

Abstract

This study uses CaO as a solid catalyst for the transesterification reaction of *Hura Crepitans Linn* oil into biodiesel. The seed oil has been extracted by using a mechanical press. CaO catalysts are prepared from Cockle (*Clinocardium nuttallii*) shells by a simple burning method at a temperature of 850 °C. The catalysts are characterized by scanning electron microscopy (SEM) and x-ray diffractometer (XRD). The result depicted that a cockle (*Clinocardium nuttallii*) shell catalyst had the particle sizes of 200 - 2000 nm. This is due to the heating process of the shell at 850 °C causing a limited number of particles increase in crystallinity. X-ray diffractometer measurement revealed that the catalyst composes of CaO and CaCO₃ compounds, with a dominant of CaO. Transesterification reactions are carried out in a batch reactor by varying temperatures of 55 °C, 60 °C, 65°C, and 70°C and methanol to oil ratios of 3:1, 6:1, 9:1, 12:1, and 15:1 for 3 h and the catalyst of 6 wt.%. The maximum fatty acid methyl ester is reached up to 96.7% in the reaction conditions of the mole ratio of methanol: oil of 12:1 and the reaction temperature of 65 °C within 3 h. The properties of biodiesel after the refining process are in accordance with SNI and ASTM standards for biofuels. The transesterification process of *Hura Crepitans Linn* seed oil with methanol using CaO from shells as heterogeneous base catalysts are feasible to be applied as a feed stock for biodiesel production.

Keywords: *Hura Crepitans Linn* oil, solid catalyst, calcium oxide, transesterification, biodiesel.

1. Pendahuluan

Salah satu energi terbarukan yang diteliti secara luas di seluruh dunia adalah biodiesel. Biodiesel didefinisikan sebagai ester mono-alkil dari asam lemak rantai panjang yang berasal dari bahan baku

terbarukan, seperti minyak nabati dan lemak hewani. Bahan bakar nabati ini, merupakan alternatif dari diesel konvensional, diperoleh dari sumber terbarukan dan dapat digunakan langsung atau dicampur dengan bahan bakar dari fosil. Biodiesel memiliki emisi karbon monoksida dan hidrokarbon

yang lebih rendah, serta produksi asap lebih sedikit dibandingkan diesel yang diperoleh dari minyak bumi (Khan dkk., 2018; Mancini dkk., 2019; Syamsuddin and Husin, 2010).

Biodiesel disintesis dari trigliserida minyak nabati melalui reaksi transesterifikasi dengan alkohol. Dalam reaksi ini, minyak bereaksi dengan alkohol untuk membentuk ester dan gliserol (Janaun and Ellis, 2010; Singh dkk., 2018).

Dewasa ini, lebih dari 95% biodiesel Indonesia dan Malaysia dihasilkan dari minyak nabati yang mudah tersedia dalam skala besar dari industri pertanian, terutama minyak sawit (Adewuyi dkk., 2014; Abdul-Manan, 2017; Indrawan dkk., 2017; Mofijur dkk., 2012; Varkkey dkk., 2018). Di Indonesia, dua bahan baku yang diprioritaskan untuk produksi biodiesel adalah minyak kelapa sawit dan minyak jarak (Hani dkk., 2018; Lim and Teong, 2010; Mukherjee and Sovacool, 2014). Selain itu, beberapa peneliti mengembangkan sumber bahan baku biodiesel dari minyak pangan lainnya, seperti minyak kedelai, minyak biji matahari, minyak rapa (Buratti dkk., 2012; dos Santos dkk., 2019; Matinja dkk., 2019; Raman dkk., 2019).

Bahan baku biodiesel dari sumber minyak nabati bukan pangan (*non edible oil*), seperti minyak jarak (*Jatropha curcas*), biji Pandan Laut (*Pandanus Tectorius*) nyamplung (*Calophyllum inophyllum*), buta-buta (*Hura Crepitans Linn*), biji bintaro, dan lain-lain telah menarik perhatian para peneliti biodiesel. Minyak tersebut dapat menjadi bahan baku alternatif produksi biodiesel (Adewuyi dkk., 2014; Arumugam and Ponnusami, 2019; Husin dkk., 2018; Lim and Teong, 2010; Mahlinda dkk., 2017; Husin dkk., 2013). Tulisan ini melaporkan penggunaan minyak biji buta-buta sebagai bahan baku pembuatan biodiesel.

Biji buta-buta (*Hura Crepitans Linn*) atau disebut juga buah roda adalah tanaman yang kurang dimanfaatkan di Indonesia, khususnya di Aceh. Selama ini buah buta-buta hanya dimanfaatkan sebagai alat permainan anak-anak di pedesaan. Biji buah buta-buta mengandung minyak yang dapat digunakan sebagai bahan baku biodiesel. Ezeh dkk. pada tahun 2012 melaporkan bahwa total asam lemak jenuh dan tidak jenuh dalam biji buta-buta masing masing sebesar 18,69% dan 81,31% dengan rincian asam linoleat (81,31%) dan komponen lainnya adalah asam palmitat (16,92%) dan asam stearat (1,76%) dari total minyak

38,4% (Ezeh dkk., 2012). Minyak biji buta buta termasuk ke dalam kategori *non-drying oil*. Dengan demikian, dari analisis komposisi menunjukkan bahwa minyak biji buta-buta berpotensi sebagai sumber bahan baku alternatif biodiesel. Gambar buah dan biji buta-buta ditampilkan pada Gambar 1.

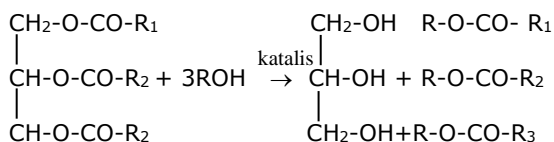


Gambar 1. Buah buta-buta muda dan buah kering

Reaksi transesterifikasi terjadi antara alkohol dan trigliserida, untuk 1 mol trigliserida yang sesuai bereaksi dengan 3 mol alkohol rantai pendek terutama metanol atau etanol dengan adanya katalis untuk menghasilkan 3 mol biodiesel dan 1 mol produk samping gliserol dalam reaksi transesterifikasi.

Agar reaksi transesterifikasi untuk produksi biodiesel dapat berlangsung, selama ini digunakan KOH dan NaOH sebagai katalis basa homogen. Katalis ini memiliki aktivitas katalitik yang tinggi untuk menghasilkan biodiesel pada kondisi lunak dan waktu reaksi singkat. Namun, penggunaan katalis homogen memiliki beberapa kelemahan termasuk masalah korosi, rekoveri katalis, pembentukan sabun, menghasilkan air limbah dalam jumlah besar, dan masalah kualitas gliserol sebagai produk samping (Zuhra dkk., 2015).

Katalis heterogen lebih menguntungkan diaplikasikan untuk mendukung teknologi bersih (*green technology*) dengan biaya rendah. Hal ini karena katalis heterogen dapat dengan mudah dipisahkan dari campuran reaksi, dapat digunakan kembali beberapa kali, ramah lingkungan, dan rendah toksit (Husin dkk., 2018a; Jindapon dkk., 2016; Kaewdaeng dkk., 2017). Mekanisme reaksi pada katalis padat ditampilkan pada Gambar 2.



(Trigliserida) (Alkohol) (Glyserol) (Biodiesel)

Gambar 2. Mekanisme transesterifikasi minyak nabati pada katalis padat (Zuhra dkk., 2015)

Sejumlah katalis heterogen telah dipelajari untuk reaksi konversi minyak nabati menjadi biodiesel, seperti: SrO, CaO, TiO₂-based, menunjukkan aktivitas yang relatif tinggi (Bet-Moushoul dkk., 2016; Roschat dkk., 2018). Pada umumnya katalis padat yang dilaporkan belum banyak berbahan dasar dari sumber terbarukan. Oleh karena itu, katalis padat yang berbahan dasar dari bahan terbarukan seperti cangkang kerang masih perlu dieksplorasi lebih lanjut.

Penelitian ini menggunakan kalsium oksida (CaO) dari cangkang kerang sebagai katalis basa heterogen. Penggunaan cangkang kerang sebagai sumber CaO sangat menjanjikan karena cangkang ini tersedia dalam jumlah melimpah di seluruh Indonesia. Kulit kerang merupakan limbah dari petani penjual kerang. Di Provinsi Aceh, limbah ini hanya sedikit baru dimanfaatkan untuk membuat kapur dan hiasan, sementara dalam jumlah besar masih mejadi buangan. Komponen utama limbah kerang adalah kalsium karbonat (CaCO₃). Kalsium karbonat ini setelah dikalsinasi dan selanjutnya akan terbentuk CaO. Kalsinasi pada suhu yang sesuai akan mengkonversi kalsium karbonat menjadi CaO, merupakan oksida logam. Beberapa katalis berbasis CaO telah dilaporkan oleh beberapa peneliti. Katalis ini menunjukkan aktivitas yang tinggi untuk produksi biodiesel pada suhu tinggi. Beberapa kasus dalam penggunaan CaO juga telah dilaporkan pada biodiesel suhu tinggi maupun suhu rendah (Bet-Moushoul dkk., 2016; Boro dkk., 2011). Penggunaan cangkang kerang untuk katalis konversi minyak nabati masih jarang dilakukan. Selain itu, prosedur preparasi CaO dari cangkang kerang sangat bervariasi.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari kemungkinan penggunaan minyak biji buta-buta sebagai bahan baku dan CaO dari cangkang kerang sebagai katalis dalam proses produksi biodiesel dan pengaruh suhu reaksi transesterifikasi. Sifat bahan bakar biodiesel dievaluasi dengan menggunakan metode SNI. Selanjutnya sifat-sifat biodiesel

dibandingkan dengan standar biodiesel SNI dan ASTM untuk bahan bakar biodiesel.

2. Metodologi

2.1. Bahan dan Alat

Biji buta-buta diperoleh dari petani daerah Aceh, terutama Aceh Pidie dan Aceh Besar. Cangkang kerang jenis *Anadara granosa* (Gambar 3) dikumpulkan dari restoran *seafood* di kota Banda Aceh. Bahan kimia yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: NaOH, KOH, HCl, H₃PO₄, CH₃OH, indikator PP, dan aquades. Semua bahan kimia dan reagen memiliki grade analisis dari Merck, Jerman. Sementara aquades diperoleh dari Perusahaan Penjualan bahan Kimia di Banda Aceh, Indonesia. Adapun alat-alat yang digunakan meliputi: seperangkat alat-alat gelas, mortar, oven pemanas merk Memmert, *mafle furnace*, pH meter merk Hanna Instruments, timbangan listrik, corong pemisah, seperangkat alat reaksi transesterifikasi minyak nabati.



Gambar 3. Kerang darah (*Anadara granosa*)

2.2. Persiapan Katalis

Untuk menghilangkan kotoran dan bahan impuritis, cangkang kerang dibilas beberapa kali dengan air deionisasi. Kemudian, cangkang kerang dikeringkan pada suhu 120 °C selama 24 jam dalam oven. Selanjutnya cangkang kerang dihaluskan dengan mortar hingga ukuran hampir seragam. Cangkang dari mortar dikalsinasi pada suhu 850 °C selama 4 jam dalam *furnace*. Selanjutnya abu cangkang kerang didinginkan dan dihaluskan kembali. Sebagian powder dikarakterisasi dengan metode SEM dan XRD. Sisanya digunakan untuk katalis pada reaksi transesterifikasi minyak buta-buta menjadi biodiesel.

2.3. Karakterisasi Katalis

Katalis dikarakterisasi dengan metode *scanning electron microscope* (SEM) menggunakan JEOL 7000F beroperasi pada

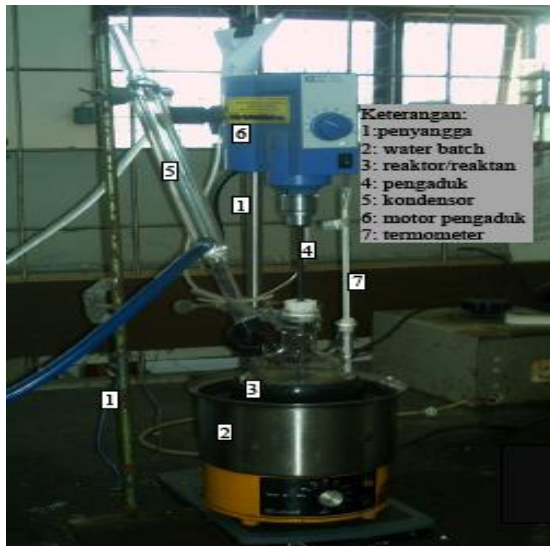
15 kV untuk mengetahui morfologi, bentuk, dan ukuran partikel. Pola difraksi sinar-X dicatat dengan alat Shimadzu 7500 X-ray diffractometer dengan sumber cahaya Cu $K\alpha$, panjang gelombang, $\lambda = 0.15406$ nm.

2.4. Persiapan minyak biji buta-buta

Minyak biji buta-buta diekstraksi menggunakan *hydraulic press*. Minyak hasil ekstraksi dimurnikan melalui proses *degumming* untuk menghilangkan kotoran-kotoran dari minyak. Selanjutnya dianalisis bilangan asam, kadar air, dan viskositas.

2.5. Reaksi transesterifikasi

Proses ini merupakan proses transesterifikasi yang terjadi antara minyak buta-buta dengan metanol hingga membentuk metil ester (biodiesel) yang dilakukan dalam reaktor *batch* berpengaduk. Skematik reaktor ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Reaktor transesterifikasi (Husin dkk., 2011)

Minyak buta-buta 50 g dan katalis 6% yang telah ditimbang beserta metanol dimasukkan ke dalam reaktor dengan temperatur operasi (55°C, 60°C, 65°C, 70°C) dijaga konstan selama reaksi. Rasio minyak/metanol (mol/mol) 1:3; 1:6; 1:9; 1:12; dan 1:15. Reaktor ini dilengkapi dengan *condenser* yang bertujuan untuk menghindari penguapan metanol selama proses berlangsung. Setelah dilakukan pengadukan selama 3 jam, campuran tersebut dimasukkan ke dalam corong pemisah dan diendapkan selama 24 jam, sedangkan katalis terendapkan dalam reaktor. Hasil proses transesterifikasi dimurnikan dengan cara pencucian menggunakan air hangat

(50°C) sampai diperoleh bagian ester yang berwarna kuning jernih. Penentuan yield biodiesel menggunakan persamaan 1.

$$Yield = \frac{W_{\text{biodiesel}}}{W_{\text{minyak jarak}}} \times 100\% \quad (1)$$

dimana:

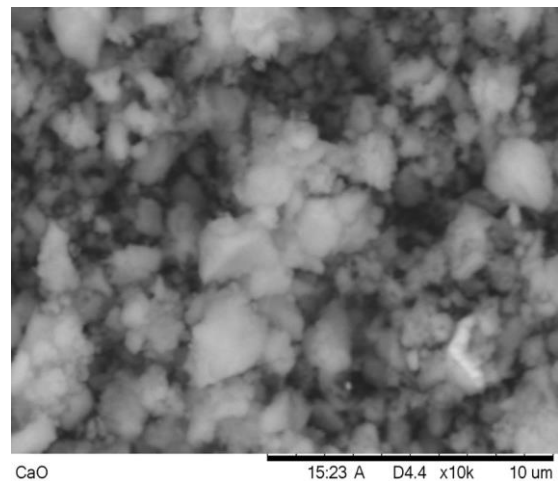
$W_{\text{biodiesel}}$ = berat metal ester (biodiesel) hasil pencucian dan pemisahan

$W_{\text{minyak jarak}}$ = berat minyak jarak yang digunakan dalam reaktor

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis morfologi dengan SEM

Gambar 5 mendemonstrasikan bentuk struktur permukaan dan ukuran partikel katalis cangkang kerang yang dipijarkan pada 850°C. Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa sampel cangkang kerang memiliki tampilan permukaan yang bersih menunjukkan derajat kristalinitas yang tinggi. Hal ini juga sesuai dengan pola difraksi sinar X dari sampel yang meningkat tajam dan runcing, sebagaimana disajikan pada Gambar 6. Sedangkan bentuk struktur kristal dari cangkang kerang tampak tidak teratur (*irregular shape*). Hasil ini sama seperti dilaporkan group lain yang membuat CaO dari cangkang telur (Niju dkk., 2014).



Gambar 5. Hasil analisa SEM CaO dari cangkang kerang

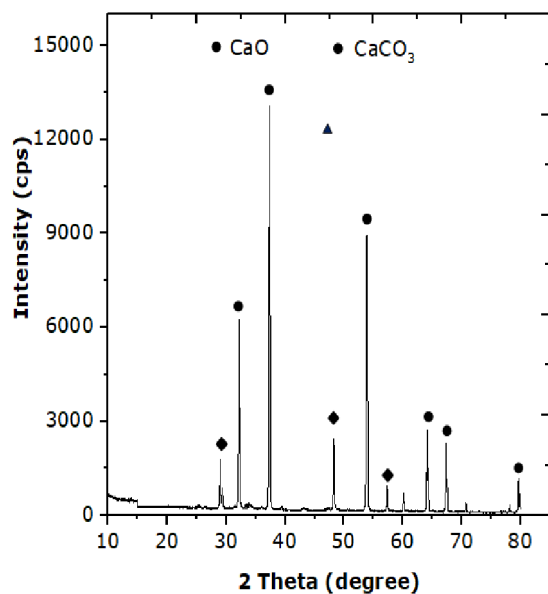
Katalis cangkang kerang memiliki ukuran partikel antara 200 nm hingga 2000 nm. Hasil ini mengindikasikan bahwa pemanasan cangkang pada suhu 850 °C menyebabkan terbentuknya partikel-partikel berukuran

nano hingga mikrometer. Selain itu, permukaan partikel terlihat mulus mengindikasikan material memiliki derajat kristalinitas yang tinggi (Husin, 2012).

3.2. Hasil Analisis Komposisi Cangkang Kerang dengan XRD

Pola XRD sampel cangkang kerang yang disiapkan dengan metode kalsinasi pada suhu 850 °C ditunjukkan pada Gambar 6. Seperti yang terlihat pada Gambar 6, setelah cangkang kerang dipijar pada 850 °C, pola difraksi sinar X menampilkan pembentukan puncak-puncak karakteristik utama kristal CaO. Puncak utama karakteristik kristal CaO dapat dilihat pada 2θ 32,29°; 37,4°; dan 53,87°.

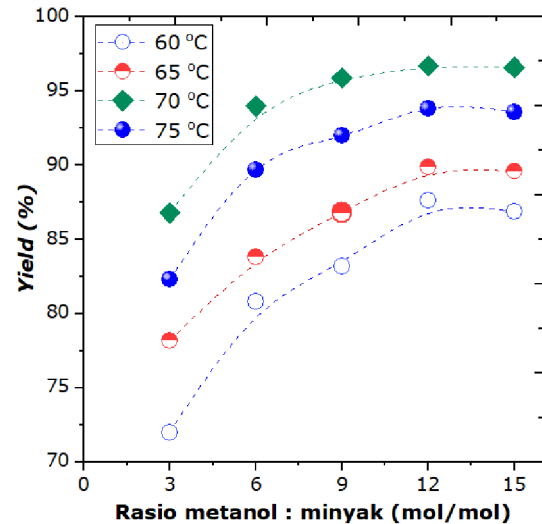
Hasil ini teridentifikasi setelah dibandingkan dengan spectrum XRD senyawa standard CaO. Akan tetapi, dari spektrum XRD sampel (Gambar 6) juga terdeteksi bahwa adanya senyawa CaCO_3 yang terbentuk dari sampel dengan intensitas yang rendah. Fenomena ini dimungkinkan karena sisa kristal CaCO_3 yang merupakan komponen utama cangkang kerang belum terdekomposisi menjadi CaO dan CO_2 secara total pada proses kalsinasi 850 °C. Reaksi yang berlangsung merupakan reaksi dekomposisi CaCO_3 . Namun demikian, senyawa CaCO_3 dalam jumlah kecil dari komposisi cangkang kerang tidak akan menghambat reaksi pembentukan biodiesel dari minyak biji buta-buta.



Gambar 6. Hasil analisa XRD CaO dari cangkang kerang

3.3. Pengaruh Rasio Metanol:Minyak dan Temperatur Reaksi Terhadap Perolehan Biodiesel.

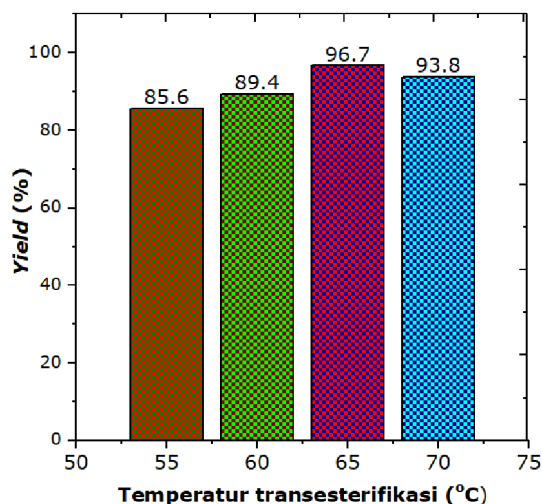
Perolehan (*yield*) biodiesel dipengaruhi oleh variabel reaksi, seperti rasio metanol/minyak dan temperatur reaksi. Pengaruh rasio methanol/minyak (mol/mol) dan temperatur terhadap perolehan biodiesel ditampilkan pada Gambar 7 dan 8.



Gambar 7. Yield biodiesel pada berbagai rasio metanol terhadap minyak biji buta-buta

Seperti yang diilustrasikan pada Gambar 7, konversi trigliserida meningkat pesat dengan rasio mol metanol/minyak dari 3:1 menjadi 12:1. Peningkatan lebih lanjut rasio mol metanol/minyak menjadi 15:1 tidak berpengaruh secara signifikan terhadap konversi trigliserida. Konversi trigliserida tertinggi dicapai hingga 96,7% pada rasio mol metanol/minyak 12:1 dan suhu 65 °C. Fakta ini diduga karena produk samping (gliserol) sebagian besar akan larut dalam metanol yang berlebihan dan kemudian menghambat campuran reaksi antara metanol, minyak dan katalis (Liu dkk., 2011 ; Nasreen dkk., 2017). Oleh karena itu, untuk menjamin kualitas biodiesel, rasio mol metanol/minyak 12:1 dipilih untuk perlakuan lebih lanjut. Kelebihan metanol dapat diperoleh kembali dan didaur ulang.

Pengaruh suhu reaksi transesterifikasi minyak buta-buta dilakukan dengan memvariasikan kisaran suhu dari 55 °C hingga 70 °C, seperti disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Yield biodiesel pada berbagai temperatur reaksi, pada rasio metanol:minyak 12:1 (mol/mol).

Dari Gambar 8 dapat dilihat bahwa pada suhu reaksi 55 °C setelah 3 jam reaksi berlangsung, *yield* biodiesel hanya dicapai 85.6%. *Yield* biodiesel meningkat dengan peningkatan suhu reaksi hingga 65 °C yaitu 96.7%. Fakta ini dapat dijelaskan bahwa suhu reaksi secara langsung mempengaruhi kinetika reaksi transesterifikasi dan perolehan biodiesel. Akan tetapi, ketika reaksi dilangsungkan pada suhu 70 °C tampak perolehan biodiesel tidak berbeda nyata. Fakta ini terjadi karena reaksi dilangsungkan di atas titik didih metanol (64,7 °C pada 1 atm). Dalam hal ini, pada suhu di atas titik didih. Metanol menguap dan membentuk sejumlah besar gelembung yang melibatkan reaksi pada antarmuka tiga fase yaitu metanol sebagai fase gas, minyak buta-buta sebagai fase cair dan katalis CaO sebagai fase padat. Oleh karena itu, kondisi reaksi optimal dalam penelitian ini adalah: suhu reaksi sekitar 65 °C, rasio mol metanol terhadap minyak buta-buta 12:1, jumlah pemuatan katalis 6% berat dan waktu reaksi 3 jam. Hasil ini lebih tinggi dari penggunaan CaO dari batu kapur yang dilaporkan oleh beberapa peneliti, bahwa penggunaan kristal CaO pada reaksi transesterifikasi minyak nabati menjadi biodiesel menunjukkan perolehan metil ester relatif tinggi (Boonyuen dkk., 2018; Kouzu and Hidaka, 2012; Colombo dkk., 2017).

Setelah proses pemurnian dan pengolahan, selanjutnya diukur sifat-sifat biodiesel antara lain: viskositas, densitas, dan bilangan asam. Hasilnya dibandingkan dengan standar SNI dan ASTM. Sifat bahan bakar metil ester yang diperoleh dari transesterifikasi minyak buta-buta disajikan pada Tabel 1.

Seperti disajikan pada Tabel 1, biodiesel yang dihasilkan dari minyak biji buta-buta yang dikatalisasi oleh CaO memiliki sifat-sifat sesuai dengan diesel komersial.

Tabel 1. Sifat-sifat Biodiesel

Sifat biodiesel	Penelitian ini	ASTM	SNI
Kinematic viscositas (cSt)	2,9	2,59 – 3,4	2,30- 6,00
Densitas (gr/cm ³)	0,864	0,80 -0,88	0.85- 0.89
Bilangan asam (mg KOH/gr)	0,21	max 0,80	max 0,80

Biodiesel yang disintesis dari minyak kelapa sawit dan metanol yang dikatalisis oleh beberapa katalis padat lainnya juga memiliki sifat-sifat yang hampir sama dengan standar ASTM (Farooq dkk., 2018; Fitriana dkk., 2018; Singh dkk., 2018). Hasil ini mengindikasikan bahwa produk biodiesel (FAME) hasil penelitian ini mirip dengan sifat bahan bakar komersial. Dengan demikian, produk biodiesel dari minyak buta-buta dapat dikembangkan lebih lanjut sebagai referensi produksi biodiesel.

4. Kesimpulan

Reaksi transesterifikasi minyak buta-buta dengan metanol menggunakan CaO sebagai katalis basa heterogen untuk mensintesis biodiesel telah berhasil dilakukan. Pada kondisi reaksi optimal, yaitu: suhu 65 °C, rasio metanol/minyak 12:1, perolehan biodiesel mencapai 96,7% setelah waktu reaksi 3 jam dan katalis CaO 6%. Biodiesel ini juga menunjukkan karakteristik sesuai dengan bahan bakar berkualitas tinggi. Oleh karena itu, produk biodiesel metil ester yang diperoleh dapat dipromosikan sebagai energi bahan bakar *green* dan bersih, dan terbarukan.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih atas dukungan dana dari Universitas Syiah Kuala melalui dana riset Skim Lektor dan semua pihak yang ikut terlibat sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan lancar. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada saudara Arif Maulana atas bantuannya melakukan analisa karakteristik biodiesel.

Daftar Pustaka

Adewuyi, A., Awolade, P. O., and Oderinde, R. A. 2014. Hura crepitans Seed Oil: An Alternative Feedstock for Biodiesel Production. *Journal of Fuels*. 2014: 1-8.

- Bet-Moushoul, E., Farhadi, K., Mansourpanah, Y., Nikbakht, A., Molaei, R., and Forough, M. 2016. Application of CaO-based/Au Nanoparticles as Heterogeneous Nanocatalysts in Biodiesel Production. *Fuel*, 164: 119-127.
- Boonyuen, S., Smith, S. M., Malaithong, M., Prokaew, A., Cherdhirunkorn, B., and Luengnaruemitchai, A. 2018. Biodiesel production by a renewable catalyst from calcined Turbo jourdani (Gastropoda: Turbinidae) shells. *Journal of Cleaner Production*. 177: 925-929.
- Boro, J., Thakur, A. J., and 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.
- Buratti, C., Barbanera, M., and Fantozzi, F. 2012. A comparison of the European renewable energy directive default emission values with actual values from operating biodiesel facilities for sunflower, rape and soya oil seeds in Italy. *Biomass and Bioenergy*, 47: 26-36.
- Colombo, K., Ender, L., and Barros, A. A. C. 2017. The study of biodiesel production using CaO as a heterogeneous catalytic reaction. *Egyptian Journal of Petroleum*, 26: 341-349.
- dos Santos, L. K., Hatanaka, R. R., de Oliveira, J. E., and Flumignan, D. L. 2019. Production of biodiesel from crude palm oil by a sequential hydrolysis/esterification process using subcritical water. *Renewable Energy*, 130: 633-640.
- Ezeh, I. E., Umoren, S. A., Essien, E. E., and Udoh, A. P. 2012. Studies on the utilization of Hura crepitans L. seed oil in the preparation of alkyd resins. *Industrial Crops and Products*, 36: 94-99.
- Farooq, M., Ramli, A., Naeem, A., Mahmood, T., Ahmad, S., Humayun, M., and Islam, M. G. U. 2018. Biodiesel production from date seed oil (Phoenix dactylifera L.) via egg shell derived heterogeneous catalyst. *Chemical Engineering Research and Design*, 132:644-651.
- Fitriana, N., Husin, H., Yanti, D., Pontas, K., Alam, P. N., Ridho, M., and Iskandar 2018. Synthesis of K₂O/Zeolite catalysts by KOH impregnation for biodiesel production from waste frying oil. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 334: 012011.
- Hani, M. R., Mahidin, M. Husin, H. Hamdani, H. and Khairil K., 2018. Oil palm biomass utilization as an energy source and its possibility use for polygeneration scenarios in Langsa City, Aceh Province, Indonesia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 334: 012003.
- Husin, H., Abubakar, A., Ramadhani, S., Sijabat, C. F. B., and Hasfita, F. 2018a. Coconut husk ash as heterogenous catalyst for biodiesel production from cerbera manghas seed oil. *Matec Web of Conference*, 197: 09008.
- Husin, H., Asnawi, T. M., Firdaus, A., Husaini, H., Ibrahim, I., and Hasfita, F. 2018b. Solid Catalyst Nanoparticles derived from Oil-Palm Empty Fruit Bunches (OP-EFB) as a Renewable Catalyst for Biodiesel Production. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 358: 012008.
- Husin, H., Mahidin, Marwan, 2011. Studi penggunaan katalis abu sabut kelapa, abu tandan sawit dan K₂CO₃ untuk konversi minyak jarak menjadi biodiesel. *Reaktor*, 13: 254-261.
- Husin, H., 2012. Produksi Hidrogen Secara Fotokatalitik dari Air Murni Pada Katalis NaTaO₃. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan* 9: 51-56.
- Husin, H., Hasfita, F., and Rinaldi, W., 2013. Waste shells of cockle (Clinocardium nuttalli) as solid catalysts for transesterification of calophyllum inophyllum L. oil to biodiesel production. *Syah Kuala University-Life Sciences & Engineering Chapter*: 14-18.
- Janaun, J., and Ellis, N. 2010. Perspectives on biodiesel as a sustainable fuel. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 14: 1312-1320.
- Kaewdaeng, S., Sintuya, P., and Nirunsin, R. 2017. Biodiesel production using calcium oxide from river snail shell ash as catalyst. *Energy Procedia*, 138: 937-942.

- Khan, H. M., Ali, C. H., Iqbal, T., Yasin, S., Sulaiman, M., Mahmood, H., Rashid, M., Pasha, M., and Mu, B. 2018. Current scenario and potential of biodiesel production from waste cooking oil in Pakistan: An overview. *Chinese Journal of Chemical Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2018.12.010>
- Kouzu, M., and Hidaka, J.S. 2012. Transesterification of vegetable oil into biodiesel catalyzed by CaO: A review. *Fuel*, 93: 1-12.
- Lim, S., and Teong, L. K. 2010. Recent trends, opportunities and challenges of biodiesel in Malaysia: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14: 938-954.
- Liu, H., Su, L., Liu, F., Li, C., and Solomon, U. U. 2011. Cinder supported K_2CO_3 as catalyst for biodiesel production. *Applied Catalysis B: Environmental* 106: 550-558.
- Mahlinda, M., Husin, H., and Riza, M. 2017. Transesterifikasi In Situ Biji Pandan Laut (Pandanus Tectorius) Menjadi Biodiesel Menggunakan Gelombang Ultrasonik. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 26: 294-300.
- Mancini, M., Lanza Volpe, M., Gatti, B., Malik, Y., Moreno, A. C., Leskovar, D., and Cravero, V. (2019). Characterization of cardoon accessions as feedstock for biodiesel production. *Fuel* 235: 1287-1293.
- Matinja, A. I., Mohd Zain, N. A., Suhaimi, M. S., and Alhassan, A. J. 2019. Optimization of biodiesel production from palm oil mill effluent using lipase immobilized in PVA-alginate-sulfate beads. *Renewable Energy*, 135: 1178-1185.
- Mukherjee, I., and Sovacool, B. K. 2014. Palm oil-based biofuels and sustainability in southeast Asia: A review of Indonesia, Malaysia, and Thailand. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37: 1-12.
- Nasreen, S., Nafees, M., Jaffar, M. M., Qurashi, L. A., Tabraiz, S., and Khan, R. 2011). Comparison and effect of Cinder supported with Manganese and Lanthanum oxide for biodiesel production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42: 18389-18396.
- Niju, S., Meera, K.M., Begum, S., Anantharaman, N., 2014. Modification of egg shell and its application in biodiesel production. *Journal of Saudi Chemical Society*, 18: 702-706.
- Raman, L. A., Deepanraj, B., Rajakumar, S., and Sivasubramanian, V. 2019. Experimental investigation on performance, combustion and emission analysis of a direct injection diesel engine fuelled with rapeseed oil biodiesel. *Fuel*, 246: 69-74.
- Roschat, W., Siritanon, T., Yoosuk, B., and Promarak, V. 2016. Biodiesel production from palm oil using hydrated lime-derived CaO as a low-cost basic heterogeneous catalyst. *Energy Conversion and Management*, 108: 459-467.
- Singh, V., Belova, L., Singh, B., and Sharma, Y. C. 2018. Biodiesel production using a novel heterogeneous catalyst, magnesium zirconate ($Mg_2Zr_5O_{12}$): Process optimization through response surface methodology (RSM). *Energy Conversion and Management*, 174: 198-207.
- Syamsuddin, Y., and Husin, H. 2010. Pembuatan Katalis Padat ZrO_2/Al_2O_3 untuk Produksi Biodiesel dari Minyak Jarak. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 7:112-117
- Zuhra, Z., Husin, H., Hasfita, F., and Rinaldi, W. 2015. Preparasi Katalis Abu Kulit Kerang Untuk Transesterifikasi Minyak Nyamplung Menjadi Biodiesel. *Agritech*, 35: 69-77.