

Sintesis Biodiesel melalui Transesterifikasi Minyak Goreng Bekas Berbasis Katalis Heterogen CaO dari Limbah Cangkang Telur Ayam

Ade Sonya Suryandari^{1,*}, Zainur Risky Ardiansyah¹, Vemmy Nurmala Andhani Putri¹, Ilham Arfiansyah¹, Asalil Mustain¹, Heny Dewajani¹, dan Mufid¹

¹Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang
Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang, 65141, Telp: (0341) 404424

^{*} Penulis korespondensi : ade.sonya@polinema.ac.id

Abstract

Biodiesel Production from Waste Cooking Oil with CaO Heterogeneous Catalyst from Egg Shell. Nowadays, the substitute for biofuel diesel fuel is biodiesel. Waste cooking oil has the potential as a biodiesel feedstock due to its environmentally friendly, inexpensive, reduces household waste and does not compete with food needs. Generally, the catalyst used in biodiesel is a homogeneous catalyst but has disadvantages. One effort that can be done is to use CaO catalyst from eggshell waste. Eggshells contain 95,28% CaCO₃ which can be calcined to produce CaO. In this research, production of biodiesel is done by using waste cooking oil and CaO catalyst from eggshells with various variables to determine the best calcination conditions in the preparation of the catalyst. The eggshells were calcined at variable temperatures (600,700,800 and 900°C) during the time variables (2,3,4 and 5 hours). The operating conditions in the transesterification reaction were at 60°C for 2hours with a stirring speed of 700rpm and a mole ratio of oil and methanol of 1:12. The results obtained, the best calcination conditions in producing CaO catalysts were at a temperature of 900°C for 2 hours with 75.90% mass recovery. In addition, the transesterification reaction using the best catalyst achieved yield of FAME 64,56% with a density of 0.8573 gr/mL and a viscosity of 7.18 cSt.

Keywords: biodiesel; catalyst, egg shell; waste cooking oil

Abstrak

Saat ini semakin berkembang produk *biofuel* pengganti solar yaitu biodiesel. Minyak jelantah berpotensi sebagai bahan baku biodiesel karena ramah lingkungan, murah, mereduksi limbah rumah tangga dan tidak bersaing dengan kebutuhan pangan. Umumnya, katalis yang digunakan dalam pembuatan biodiesel adalah katalis homogen namun memiliki berbagai kekurangan. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan katalis heterogen CaO dari limbah cangkang telur. Cangkang telur mengandung 95,28% CaCO₃ yang dapat dikalsinasi sehingga menghasilkan senyawa CaO. Pada penelitian ini pembuatan biodiesel dilakukan dengan bahan baku minyak jelantah dan katalis CaO dari cangkang telur dengan berbagai variabel untuk mengetahui kondisi kalsinasi terbaik dalam preparasi katalis. Cangkang telur dilakukan kalsinasi pada variabel suhu (600,700, 800, dan 900°C) selama variabel waktu (2, 3, 4 dan 5 jam). Kondisi operasi pada reaksi transesterifikasi berada pada suhu 60°C selama 2 jam dengan kecepatan pengadukan 700 rpm dan perbandingan mol minyak dan metanol sebesar 1:12. Hasil yang didapatkan, kondisi kalsinasi terbaik dalam menghasilkan katalis CaO berada pada suhu 900°C selama 2 jam dengan %massa *recovery* 75,90%. Selain itu reaksi transesterifikasi dengan menggunakan katalis terbaik menghasilkan *yield* FAME sebesar 64,56% dengan densitas sebesar 0,8573 gr/mL dan viskositas sebesar 7,18 cSt.

Kata kunci: biodiesel; cangkang telur; katalis; minyak jelantah.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang memproduksi bahan bakar minyak. Berdasarkan data dari Direktorat Jenderal dan Gas Bumi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2016), Pada tahun 2016, produksi minyak dan kondensat di Indonesia sebesar 831.058 barel per hari dan mengalami kenaikan sebesar 5,76% per hari (45.266 barel) jika dibandingkan tahun 2015. Kenaikan produksi minyak di Indonesia dilakukan dalam rangka untuk pemenuhan konsumsi bahan bakar. Konsumsi bahan bakar yang semakin meningkat akan mengakibatkan masalah yang cukup serius bagi negara Indonesia mengingat cadangan minyak di Indonesia semakin terbatas, serta akan mengakibatkan kenaikan secara terus - menerus terhadap nilai impor minyak mentah. Maka dari itu untuk mengatasi permasalahan tersebut saat ini semakin berkembang produk sumber energi terbarukan, salah satunya adalah biodiesel.

Biodiesel merupakan bahan bakar minyak yang bersifat terbarukan, *biodegradable* dan ramah lingkungan. Biodiesel dapat diproduksi dari berbagai macam jenis minyak. Berdasarkan jenis minyak yang dapat digunakan untuk produksi biodiesel, minyak nabati yang cukup berpotensi adalah limbah minyak goreng atau disebut dengan minyak jelantah. Minyak jelantah merupakan minyak dari kelapa sawit yang telah dilakukan proses penggorengan sehingga menjadi limbah. Pemanfaatan minyak jelantah sebagai bahan baku biodiesel merupakan suatu cara pengurangan limbah yang menghasilkan nilai ekonomis serta menciptakan bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar solar (Siswani dkk., 2012). Menurut Adhari dkk. (2017), minyak jelantah memiliki potensi yang cukup besar untuk dikembangkan menjadi bahan bakar biodiesel karena memiliki asam lemak yang tinggi. Sehingga ditinjau dari kandungannya, minyak jelantah mengandung senyawa trigliserida yang dapat terurai menjadi senyawa lain seperti asam lemak bebas (Ketaren, 1996). Namun, viskositas yang tinggi, asam lemak bebas, kandungan asam, pembentukan *gum* karena adanya oksidasi dan polimerisasi selama penyimpanan yang dimiliki minyak nabati merupakan permasalahan untuk mesin diesel baik secara langsung maupun tidak langsung (Gebremariam dkk., 2017). Berdasarkan hal tersebut maka perlu perlakuan awal minyak jelantah untuk menghindari hal tersebut. Salah satu reaksi yang dapat menurunkan viskositas minyak jelantah adalah reaksi transesterifikasi.

Pemilihan metode yang tepat akan mempermudah proses produksi dan dapat mengurangi biaya produksi. Proses transesterifikasi merupakan metode yang sering digunakan dalam produksi biodiesel. Reaksi antara asam lemak dan alkohol dengan atau tanpa katalis ini merupakan metode terbaik dalam menghasilkan biodiesel (Talebian-Kiakalaieh dkk., 2013). Hal ini dikarenakan, reaksi transesterifikasi selain dapat menangani kekurangan minyak jelantah jika langsung diaplikasikan untuk bahan bakar minyak, proses yang

terjadi tidak terlalu rumit dan menghasilkan konversi yang tinggi.

Reaksi transesterifikasi ini akan berjalan lebih cepat dengan adanya penambahan katalis. Umumnya, pembuatan biodiesel menggunakan katalis basa homogen seperti NaOH dan KOH karena memiliki kemampuan katalisator yang lebih tinggi dibandingkan dengan katalis lainnya (Aslan dan Eryilmaz, 2020). Namun, penggunaan katalis ini memiliki kelemahan antara lain konsumsi energi tinggi yang membutuhkan modal yang besar, perlu keamanan yang lebih, sensitif terhadap air dan kandungan asam lemak bebas pada bahan baku (Talebian-Kiakalaieh dkk., 2013). Tingginya asam lemak bebas pada bahan baku akan memicu reaksi saponifikasi yang mengakibatkan sulitnya pemurnian produk. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi kondisi tersebut adalah menggunakan katalis basa heterogen seperti CaO. Limbah cangkang telur dapat dijadikan sebagai sumber katalis CaO melalui proses kalsinasi CaCO₃. Cangkang telur mengandung 95,28% senyawa CaCO₃ (Dhananjaya dkk., 2018). Kandungan CaCO₃ yang tinggi pada cangkang telur sangat potensial sebagai sumber katalis CaO untuk pembuatan biodiesel.

Berdasarkan uraian tersebut, maka penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kondisi terbaik dalam kalsinasi limbah cangkang telur berdasarkan *yield* FAME yang dihasilkan, mengetahui karakteristik minyak jelantah dan katalis CaO dari limbah cangkang telur, serta mengetahui sifat fisik biodiesel yang dihasilkan dari minyak jelantah dengan bantuan katalis CaO limbah cangkang telur. Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan variabel waktu kalsinasi 2, 3, 4 dan 5 jam pada suhu 600, 700, 800 dan 900°C. Kondisi operasi reaksi transesterifikasi ditetapkan pada suhu 60°C selama 2 jam, dengan kecepatan pengadukan 700 rpm dan perbandingan mol reaktan minyak dan metanol sebesar 1:12.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan adalah minyak jelantah dan limbah cangkang telur didapatkan dari penjual makanan di sekitar Kampus Politeknik Negeri Malang, metanol 99%, asam fosfat (H₃PO₄), dan asam sulfat (H₂SO₄) 98%. Proses reaksi dilakukan secara *batch* dengan menggunakan *round-bottom flasks*, *stirrer condenser*, *water bath*, klem, statif, termometer. Selain itu, untuk preparasi bahan baku dan pemurnian produk membutuhkan alat lain seperti oven, *furnace*, *vibrating screening*, desikator, *hot plate stirrer*, neraca analitik, gelas arloji, spatula, corong pemisah, botol, piknometer, viskometer *Koehler*, dan GC (*Gas Chromatography*).

PROSEDUR PENELITIAN

Sintesis Katalis CaO

Limbah cangkang telur ayam yang didapatkan dari beberapa sumber dicuci dari kotoran yang

menempel hingga bersih dan tidak berbau kemudian dikeringkan pada suhu 110°C selama 24 jam di dalam oven. Cangkang telur ayam yang telah kering diperkecil ukurannya sampai menjadi serbuk. Selanjutnya, serbuk cangkang telur diayak dengan menggunakan ayakan berukuran 100 mesh yang bertujuan untuk penyeragaman ukuran. Tepung cangkang telur ayam yang lolos dari ayakan 100 mesh dikalsinasi selama 3 jam pada suhu 900°C dengan menggunakan *furnace*. Kemudian dilakukan modifikasi katalis dengan cara dilakukan refluks pada katalis menggunakan air pada suhu 60°C selama 6 jam. Hasil refluks dikalsinasi kembali sesuai variabel suhu yang telah ditentukan. Katalis CaO dari limbah cangkang telur ayam kemudian dikarakterisasi dengan menggunakan analisa XRD (*X-Ray Diffraction*) dan SEM (*Scanning Electron Microscopy*).

Proses Degumming

Proses degumming diawali dengan pencampuran bahan baku karena minyak jelantah didapatkan dari beberapa sumber sehingga perlu dilakukan pencampuran pada awal proses untuk mendapatkan *feedstock*. Proses pencampuran ini dilakukan pada suhu 60°C. Setelah proses pencampuran selesai, minyak jelantah ditambah asam fosfat (H₃PO₄) dengan jumlah 0,5% dari massa minyak dan dipanaskan kembali pada suhu 60°C. Pencampuran asam sulfat (H₃PO₄) dilakukan selama 30 menit dengan terus diaduk. Setelah itu, minyak di dalam corong pemisah didiamkan selama 24 jam sampai terbentuk 2 lapisan. Selanjutnya, lapisan minyak dipisahkan dari endapan gum.

Proses Esterifikasi

Proses esterifikasi diawali dengan minyak jelantah dicampur dengan asam sulfat (H₂SO₄) dengan kadar 98% sebanyak 0,5% dari massa minyak jelantah. Selanjutnya, larutan ditambahkan metanol dengan kemurnian 99% sebanyak 10% dari volume minyak jelantah. Minyak jelantah yang telah ditambahkan asam sulfat (H₂SO₄) dan metanol diaduk selama 20-30 menit pada suhu 70°C. Produk hasil reaksi esterifikasi dipisahkan menggunakan corong pisah selama 24 jam sampai terbentuk dua lapisan. Selanjutnya, lapisan yang mengandung minyak dan alkil ester diambil untuk direaksikan pada proses selanjutnya yaitu transesterifikasi.

Proses Transesterifikasi

Reaksi transesterifikasi berlangsung di dalam labu leher tiga berkapasitas 1000 mL sebagai reaktor yang dirangkai dengan kondensor dan pemanas. Minyak jelantah hasil esterifikasi dan metanol dengan perbandingan mol sebesar 1:12 dimasukkan ke dalam reaktor. Selanjutnya katalis CaO dari limbah cangkang telur ayam dimasukkan pula ke dalam reaktor. Pemanasan dilakukan pada suhu 60°C selama 2 jam dengan kecepatan pengadukan sebesar 700 rpm. Hasil reaksi transesterifikasi disentrifugasi selama 10 menit

yang bertujuan untuk memisahkan katalis heterogen CaO dengan produk. Setelah proses pemisahan campuran biodiesel dan katalis maka dilakukan tahapan pemurnian. Campuran antara biodiesel dengan pengotor tersebut dapat dipisahkan dengan menggunakan corong pemisah selama 24 jam. Biodiesel akan terpisah pada lapisan atas sedangkan lapisan bawah berupa gliserol yang merupakan produk samping. Selanjutnya, pada produk biodiesel dilakukan analisa yang meliputi kadar *fatty acid methyl ester* (FAME) dengan menggunakan GC (*Gas Chromatography*) dan analisa sifat fisik yang meliputi densitas dan viskositas menggunakan viskometer *Koehler*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Kalsinasi Terbaik Katalis CaO dari Cangkang Telur

Cangkang telur sebelum dikalsinasi memiliki ukuran 0,630 mm sebanyak 1162,84 gram. Berdasarkan hasil kalsinasi awal dalam *furnace* pada suhu 900°C selama 3 jam dapat diketahui bahwa katalis mengalami pengurangan jumlah sebesar 44,73%, yaitu dari 1162,84 gram menjadi 642,73 gram. Menurut Malau., dkk. (2020), penurunan jumlah katalis yang terjadi sebelum proses kalsinasi dan setelah proses kalsinasi disebabkan adanya pelepasan senyawa CO₂ dari penguraian senyawa CaCO₃ yang dapat diuraikan sebagai berikut:



Katalis yang telah dimodifikasi dan dikalsinasi ulang didapatkan hasil seperti Tabel 1. Eksperimen dilakukan secara independen tiap sampel, sehingga menyebabkan hasil yang didapat menjadi beragam. Nilai % *yield* dihitung berdasarkan persamaan (2),

$$\% \text{yield} = \frac{\text{massa FAME}}{\text{massa minyak jelantah}} \times 100\% \quad (2)$$

Dari Tabel 1 dapat diketahui bahwa suhu dan waktu kalsinasi katalis berpengaruh terhadap nilai % massa *recovery* katalis. Semakin tinggi suhu dan semakin lama waktu kalsinasi katalis, cenderung semakin turun nilai % massa *recovery* katalis yang didapat. Massa *recovery* yang kecil menunjukkan semakin banyaknya senyawa CO₂ yang terlepas dari senyawa CaCO₃ (Malau dkk., 2020). Kondisi kalsinasi katalis terbaik dicapai pada suhu 900°C dengan waktu kalsinasi 2 jam. Hal ini terkait dengan dihasilkannya *yield* biodiesel tertinggi, yaitu sebesar 64,56% dengan % massa *recovery* 75,90%. Menurut Malau dkk., (2020), pada suhu kalsinasi mendekati 1000°C, terjadi proses pelepasan karbon pada komponen CaCO₃ yang berada pada cangkang telur ayam dan terkonversi menjadi CaO, sehingga kandungan komponen CaO sebagai sisi aktif katalis transesterifikasi semakin meningkat. Hal ini yang menyebabkan % massa *recovery* cenderung lebih rendah pada suhu kalsinasi

yang semakin tinggi karena semakin banyak karbon yang terlepas dari CaCO_3 sebagai CO_2 .

Waktu kalsinasi yang terlalu lama dapat memicu terbentuknya *hard-burned quicklime*, yaitu terbentuknya lapisan yang keras pada permukaan partikel CaO sehingga reaktan menjadi lebih sulit masuk ke pori katalis (Tasari dkk., 2019). Hal ini yang menyebabkan semakin lama waktu kalsinasi katalis akan menghasilkan %yield FAME yang cenderung turun pada suhu kalsinasi yang sama. Hal tersebut juga yang diduga menyebabkan %yield FAME tertinggi dapat dicapai pada waktu kalsinasi katalis yang tidak terlalu lama yaitu 2 jam pada suhu 900°C . Namun kondisi berbeda terjadi pada beberapa titik seperti kalsinasi pada suhu 600°C dan 900°C dengan waktu kalsinasi masing – masing 5 jam, dimana %yield yang didapatkan lebih tinggi dibanding performa katalis yang dikalsinasi dalam waktu kurang dari 5 jam. Hal ini dapat disebabkan karena kurangnya akurasi saat pemisahan produk dengan katalis dan pengotor dalam corong pemisah, sehingga diduga terjadi kesalahan dalam memperoleh massa produk akhir biodiesel.

Tabel 1. Pengaruh waktu kalsinasi dan suhu kalsinasi terhadap %massa *recovery* dan *yield* (%)

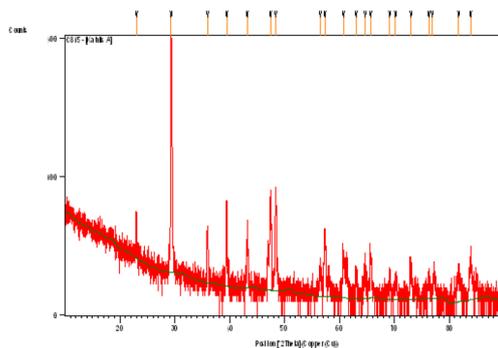
Suhu	Waktu	%massa <i>recovery</i>	Yield (%)	
600	2	83.13	63.00	
	3	99.82	10.79	
	4	78.18	9.09	
	5	96.29	33.17	
	700	2	82.62	12.74
700	3	93.47	11.56	
	4	91.45	7.62	
	5	93.06	5.97	
	800	2	78.31	54.48
	800	3	97.57	16.68
4		91.00	12.75	
5		90.44	16.19	
900		2	75.90	64.56
900		3	75.37	10.72
	4	82.99	2.88	
	5	81.22	33.18	

Karakterisasi Katalis CaO

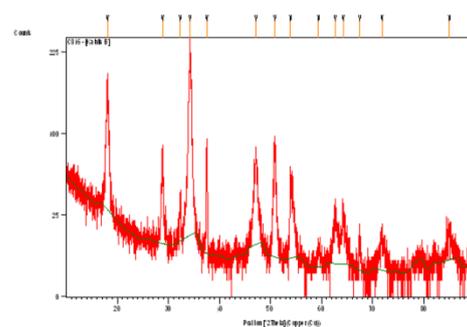
Analisa XRD dilakukan dengan menggunakan sudut pantul 2θ . Bahan yang dilakukan analisa XRD adalah tepung cangkang telur sebelum kalsinasi, katalis setelah kalsinasi pertama (900°C , 3 jam) dan katalis terbaik yaitu katalis yang telah dimodifikasi dan dikalsinasi pada suhu 800°C selama 2 jam. Data hasil analisis XRD dapat dilihat pada Gambar 1, Gambar 2 dan Gambar 3.

Pada Gambar 1. dapat dilihat bahwa intensitas *peak* tertinggi terdapat pada difraksi $29,3230^\circ$. Nilai tersebut menunjukkan bahwa komponen utama yang terdapat pada katalis sebelum kalsinasi adalah CaCO_3 . Hal ini dikarenakan mineral tertinggi cangkang telur adalah senyawa CaCO_3 . Selain itu, hasil analisa tersebut sesuai dengan data hasil penelitian dari

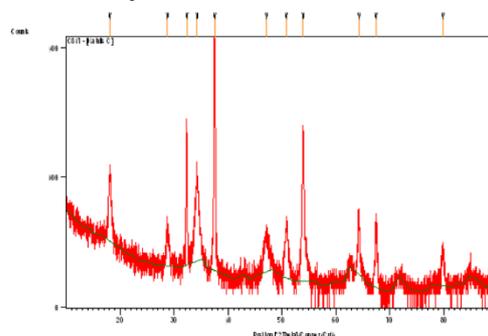
Mohadi dkk., (2016) yang menunjukkan bahwa senyawa CaCO_3 terdapat pada difraksi sudut $29,5^\circ$.



Gambar 1. Difraktogram XRD tepung cangkang telur sebelum kalsinasi.



Gambar 2. Difraktogram XRD katalis CaO setelah perlakuan kalsinasi pertama (900°C , 3 jam)

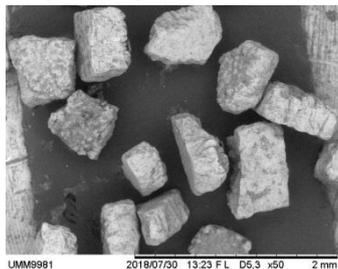


Gambar 3. Difraktogram XRD katalis CaO terbaik setelah modifikasi (800°C , 2 jam)

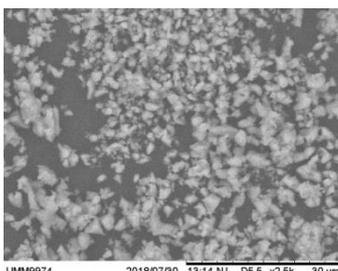
Pada Gambar 2 dan Gambar 3 dapat diketahui bahwa intensitas *peak* yang terdapat pada sudut difraksi $29,3230^\circ$ mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan bahwa kadar CaCO_3 pada katalis setelah kalsinasi menurun dibandingkan sebelum kalsinasi. Pada Gambar 2 ditunjukkan bahwa intensitas *peak* tertinggi yaitu pada sudut difraksi $34,1777^\circ$ sedangkan pada Gambar 3 *peak* tertinggi ditunjukkan pada sudut difraksi $37,4512^\circ$. Nilai tersebut menunjukkan telah terbentuknya senyawa CaO sesuai dengan data penelitian yang telah dilakukan oleh Mohadi dkk., (2016) yang menyatakan bahwa pada sudut difraksi $37,5^\circ$ mewakili senyawa CaO .

Analisa selanjutnya adalah SEM. Analisa SEM bertujuan untuk mengetahui gambaran fisik katalis.

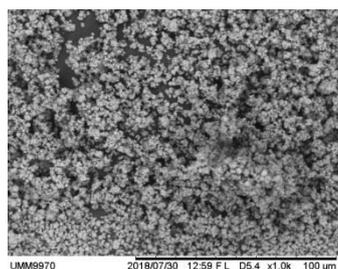
Hasil analisa SEM dapat dilihat pada Gambar 4, Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 4. Uji SEM katalis sebelum kalsinasi perbesaran 50 kali



Gambar 5. Uji SEM katalis setelah kalsinasi pertama perbesaran 2500 kali



Gambar 6. Uji SEM katalis terbaik perbesaran 1000 kali

Gambar 4. menunjukkan gambar tiga dimensi dari katalis sebelum dikalsinasi. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa ukuran katalis sebelum kalsinasi relatif lebih besar jika dibandingkan dengan hasil uji SEM katalis setelah kalsinasi (Gambar 5) dan katalis terbaik (Gambar 6). Hasil penelitian tersebut didukung oleh hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Correia dkk. (2017) bahwa kulit telur alami yang belum dilakukan kalsinasi memiliki ukuran yang lebih besar dan tidak beraturan, sedangkan untuk kulit telur yang telah dilakukan kalsinasi selama 900°C selama 3 jam memiliki ukuran yang lebih kecil dan lebih seragam. Hal tersebut menunjukkan adanya penyusutan ukuran katalis karena adanya proses kalsinasi. Proses kalsinasi pada katalis menyebabkan ukuran katalis mengecil karena terlepasnya gas CO₂ akibat dekomposisi CaCO₃ menjadi CaO dan CO₂. banyaknya gas CO₂ yang terlepas mengindikasikan banyaknya senyawa CaO yang terbentuk.

Produk Biodiesel dari Minyak Jelantah

Biodiesel yang dihasilkan dari reaksi transesterifikasi menggunakan katalis CaO dari cangkang telur dengan berbagai variabel suhu dan waktu kalsinasi dilakukan analisa densitas dan viskositas untuk mengetahui sifat fisik dari biodiesel. Hasil analisa densitas dan viskositas produk biodiesel yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Sifat fisik biodiesel dari minyak jelantah dengan katalis CaO limbah cangkang telur.

T (°C)	t (jam)	Biodiesel	
		Densitas (gr/ml)	Viskositas (mm ² /s)
600	2	0.8617	5.88
	3	0.8941	50.65
	4	0.8976	55.23
	5	0.8811	17.41
700	2	0.8807	21.99
	3	0.8966	41.28
	4	0.8990	53.15
800	5	0.8994	51.74
	2	0.8549	9.58
	3	0.8560	32.22
900	4	0.8860	6.87
	5	0.8931	44.80
	2	0.8573	7.18
	3	0.8998	49.83
	4	0.9006	52.70
	5	0.8945	37.38

Pada Tabel 2 dapat diketahui bahwa pada %yield FAME tertinggi (suhu kalsinasi 900°C dan waktu kalsinasi 2 jam) didapatkan densitas produk sebesar 0,8573 g/mL dan viskositas 7,18 mm²/s. Nilai densitas yang dihasilkan telah sesuai dengan standart SNI 7182-2012 dan nilai viskositas mendekati dengan standart. Densitas biodiesel yang dihasilkan dari minyak jelantah dan katalis CaO dari limbah cangkang telur ayam yang dikalsinasi selama 2 jam pada berbagai suhu telah memenuhi SNI 7182-2012.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa kondisi kalsinasi terbaik dihasilkan pada suhu 900°C selama 2 jam dan ditandai dengan yield FAME yang dihasilkan mencapai 64,56% saat katalis tersebut diaplikasikan pada reaksi transesterifikasi. Massa jenis dan viskositas biodiesel dari minyak jelantah dan katalis CaO hasil kalsinasi pada kondisi terbaik berturut – turut sebesar 0,8573 gr/mL dan 7,18 cSt. Massa jenis tersebut sudah sesuai dengan kriteria biodiesel berdasarkan SNI 7182-2012 sedangkan viskositas mendekati nilai standar.

DAFTAR PUSTAKA

Adhari., Hamsyah., Yusnimar., Utami., Syelvia Putri. (2017). Pemanfaatan Minyak Jelantah menjadi Biodiesel dengan Katalis ZnO Presipitan Zinc

Karbonat : Pengaruh Waktu Reaksi dan Jumlah Katalis. *Jom FTEKNIK*, 3(2), 1-7.

Aslan, V., Eryilmaz, T. (2020). Polynomial Regression Method for Optimization of Biodiesel Production from Black Mustard (*Brassica Nigra L.*) Seed Oil Using Methanol, Ethanol, NaOH, and KOH. *Energy*, 209, 1-28.

Correia, L.M., Cecilia, J.A., Castellón, E. R., Célio L. C., dan Vieira, R.S. (2017). Relevance of the Physicochemical Properties of Calcined Quail Eggshell (CaO) as a Catalyst for Biodiesel Production. *Journal of Chemistry*, 2017, 1-12.

Dhananjaya, S.A., Kumara. S.M.S., dan Ananda, A. (2018). Comparative Study on Calcium Content in Egg Shells of Different Birds. *International Journal of Zoology Studies*, 3(4), 31-33.

Direktorat Jendral dan Gas Bumi Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2016). *Statistik Minyak dan Gas Bumi 2016*. Jakarta.

Gebremariam, S.N., Marchetti, J.M. (2017). Biodiesel Production Technologies: Review. *AIMS Energy*, 5(3), 425-457.

Ketaren, S. (1986). *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*. Jakarta, Indonesia: UI-Press.

Malau, N.D., Adinugraha, F. (2020). Penentuan Suhu Kalsinasi Optimum CaO dari Cangkang Telur Bebek dan Cangkang Telur Burung Puyuh. *Jurnal EduMatSains*, 4(2), 193-202.

Mohadi, R., Anggraini, K., Riyanti, F., dan Lesbani, A. (2016). Calcium Oxide (CaO) from Chicken Eggshells. *Sriwijaya Journal of Environment*, 1(2), 32-35.

Siswani, E.D., Kristianingrum, S., dan Suwardi, S. (2012). Sintesis dan Karakterisasi Biodiesel dari Minyak Jelantah Pada Berbagai Waktu dan Suhu. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA*, Yogyakarta, 2 Juni 2012.

Talebian-Kiakalaieh, A., Amin, N.A.S., dan Mazaheri, H. (2013). A Review on Novel Processes of Biodiesel Production from Waste Cooking Oil. *Applied Energy*, 104, 683-710.

Tasari, S., Iqbal, I., Badaruddin, B. (2019). Penentuan Lama Kalsinasi Kalsium Karbonat CaCO₃ dari Batu Kapur Tanjung Karang Donggala. *Gravitasi*, 18(2) 137-147.