

Artikel Review : Pemanfaatan Katalis CaO Untuk Pembuatan Biodiesel Menggunakan Metode Transesterifikasi dari *Non Edible Oil*

Article Review: Utilization of CaO Catalyst to Produce Biodiesel by Transesterification Method from Non-Edible Oil

Nita Sutanto and Samik Samik*

Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Negeri Surabaya

*The Corresponding Author: email: samik@unesa.ac.id

Abstrak. Studi literatur dilakukan dengan menggunakan metode mereview artikel mengenai pemanfaatan katalis CaO untuk pembuatan biodiesel menggunakan metode transesterifikasi dari *non edible oil*. Umumnya biodiesel diproduksi menggunakan metode transesterifikasi. Namun, dalam metode transesterifikasi diperlukan penambahan katalis agar menghasilkan produk yang lebih banyak. CaO merupakan katalis yang telah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi. Nilai % hasil biodiesel dibandingkan dari beberapa jenis bahan baku biodiesel yang direaksikan dengan katalis CaO menggunakan metode transesterifikasi. Jenis bahan baku biodiesel yang digunakan yaitu berasal dari minyak biji buta-buta, castor, nyamplung, pangi, jarak, dan kapuk. Katalis CaO dari cangkang kerang darah dan cangkang telur menghasilkan % hasil biodiesel tertinggi pada transesterifikasi dari minyak biji kapuk dan pangi secara berturut-turut sebesar 98,54% dan 97,98%. Berdasarkan hasil studi literatur, dapat diketahui bahwa metode transesterifikasi menggunakan katalis CaO menghasilkan nilai % hasil biodiesel yang baik sehingga katalis CaO direkomendasikan sebagai katalis biodiesel minyak yang tidak dapat dikonsumsi. Adapun faktor-faktor yang memengaruhi reaksi transesterifikasi dan nilai % hasil biodiesel yaitu suhu reaksi, rasio molar minyak:alkohol, waktu reaksi, konsentrasi katalis, kadar air dan asam lemak bebas, serta kecepatan pengadukan.

Kata kunci: Biodiesel, katalis CaO, *non edible oil*, transesterifikasi.

Abstract. The literature study was conducted using method of reviewing articles on the utilization of CaO catalysts to produce biodiesel using transesterification method from non-edible oil. Generally, biodiesel is produced using the transesterification method. However, in the transesterification method, it is necessary to add a catalyst to produce more products. CaO is a catalyst that has been widely used in various applications. % value of biodiesel yield compared from several types of biodiesel feedstock that are reacted with a CaO catalyst using the transesterification method. CaO catalyst from blood collar shell and egg shell produced 98.54% and 97.98% biodiesel yield on transesterification of kapok and pangi seed oils, respectively. Based on the results of a literature study, it can be seen that the transesterification method using a CaO catalyst produces a good % value of biodiesel yield so CaO catalyst is recommended as a catalyst for biodiesel that cannot be consumed. The factors that affect the transesterification reaction and the value of % biodiesel yield are reaction temperature, oil: alcohol molar ratio, reaction time, catalyst concentration, water content and Free Fatty Acid, and stirring speed.

Keywords: Biodiesel, CaO catalyst, *non edible oil*, transesterification.

1. Pendahuluan

Akhir-akhir ini cadangan BBM mengalami penurunan. Hal ini dibuktikan dengan banyaknya jumlah kendaraan bermotor di Indonesia yang mencapai 126 juta unit [1]. Hal ini akan berdampak langsung terhadap konsumsi BBM yang tiap tahunnya akan meningkat sehingga jumlah cadangan

minyak bumi yang tersedia lama kelamaan akan habis. Berdasarkan data BPH MIGAS tahun 2018, konsumsi BBM sepanjang tahun 2018 mencapai 75 juta kilo liter [2].

Seiring dengan meningkatnya CO₂ dan polutan lainnya di atmosfer menyebabkan diperlukannya pengembangan bahan bakar alternatif. Salah satu contoh energi alternatif yang berpotensi sebagai bahan bakar alternatif yaitu biodiesel [3]. Biodiesel dapat diproduksi menggunakan bahan baku yang berasal dari *non edible oil*.

Non edible oil merupakan minyak yang diproduksi dari bahan baku yang tidak dapat dikonsumsi. *Non edible oil* mempunyai energi tinggi dan jumlahnya yang melimpah sebagai sumber terbarukan. Akan tetapi, *non edible oil* sebagai bahan bakar minyak tidak dapat digunakan secara langsung dikarenakan memiliki viskositas yang cukup tinggi. Oleh karena itu, untuk mengurangi tingginya viskositas pada minyak digunakan metode transesterifikasi [4].

Transesterifikasi merupakan metode terbaik dalam pembuatan biodiesel dengan mereaksikan antara trigliserida dengan alkohol (metanol) menggunakan katalis menghasilkan biodiesel dan gliserol [5]. Namun, dalam metode transesterifikasi diperlukan penambahan katalis agar memperbesar jumlah produk yang dihasilkan.

Dalam pembuatan biodiesel lebih baik jika menggunakan katalis heterogen dikarenakan lebih ramah lingkungan dibandingkan katalis homogen. Katalis homogen mempunyai fasa yang sama dengan reaktan dan produk sehingga lebih susah dipisahkan dari hasil reaksi sehingga menyebabkan lingkungan menjadi tercemar meskipun memiliki aktivitas katalisator yang tinggi [6]. Dalam pembuatan biodiesel lebih baik menggunakan katalis heterogen yang dapat didapatkan dari pemanfaatan limbah cangkang kepiting [7], cangkang kerang darah [8], cangkang siput gonggong [9], cangkang telur [10] yang mengandung CaCO₃ yang dapat dimanfaatkan sebagai katalis CaO. Oleh karena itu, akan dilakukan studi literatur terhadap pemanfaatan katalis CaO untuk pembuatan biodiesel dari *non edible oil* menggunakan metode transesterifikasi.

1.1 Biodiesel

Biodiesel merupakan campuran monoalkil ester rantai panjang asam lemak yang digunakan sebagai bahan bakar alternatif pengganti solar [11]. Biodiesel dapat dibuat dari *edible oil*, *non edible oil* serta minyak jelantah. Keunggulan yang dimiliki biodiesel yaitu ramah lingkungan karena emisi pembakarannya dapat diserap oleh tumbuhan, tidak mengandung SO_x [12], tidak menghasilkan toksik, memiliki titik nyala dan angka setana yang tinggi [13] serta proses pembentukannya yang sederhana dan lebih cepat jika dibandingkan dengan pembuatan metana dan etanol [14]. Biodiesel juga memiliki kelemahan yaitu memiliki nilai kalori yang lebih rendah, volatilitas rendah, tidak bisa digunakan pada suasana yang sangat dingin, karakteristik semprotan yang buruk dan viskositas yang tinggi [15] sehingga diperlukan metode transesterifikasi untuk menurunkan viskositasnya.

1.2. Non Edible Oil (Minyak yang Tidak Dapat Dikonsumsi)

Menurut laporan EASAC 2012, biodiesel biasanya diklasifikasikan sebagai generasi pertama, kedua dan ketiga yang terutama didasarkan pada asal usul minyak yang digunakan untuk produksi biodiesel [16]. Biodiesel generasi pertama merupakan biodiesel yang diproduksi dari bahan baku minyak yang dapat dikonsumsi (*edible oil*). Contohnya yaitu minyak kelapa, minyak lobak, minyak jagung, minyak sawit, dll. Biodiesel generasi pertama memiliki resiko pada keterbatasan pasokan pangan karena berdampak langsung pada rantai makanan yang merupakan kerugian utama dalam penggunaan bahan baku ini dan dapat meningkatkan biaya makanan produk [17]. Kelemahan biodiesel generasi pertama ini membatasi pengguna untuk bergeser pada sumber alternatif lebih lanjut untuk produksi biodiesel [18].

Biodiesel generasi kedua merupakan biodiesel yang diproduksi dari bahan baku minyak yang tidak dapat dikonsumsi (*non edible oil*). Contohnya yaitu minyak biji jarak pagar, minyak biji kapuk, minyak biji karanja, dan lain-lain [19]. Keuntungan utama dari biodiesel generasi kedua yaitu ramah lingkungan, biaya produksi lebih rendah, memberantas ketimpangan pangan, berkurangnya kebutuhan lahan untuk bertani [20]. Namun biodiesel generasi kedua memiliki kerugian yaitu

persyaratan jumlah alkohol tambahan dan adanya jumlah yang lebih tinggi dari asam lemak bebas (FFA) [18]. Kandungan FFA yang tinggi dalam suatu minyak dapat menyebabkan reaksi penyabunan.

Di bawah ini disajikan tabel kandungan asam lemak yang terkandung dalam berbagai jenis *non edible oil* yang digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan biodiesel dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan Asam Lemak pada Berbagai Jenis *Non Edible Oil* Sebagai Bahan Baku Biodiesel

Jenis Minyak <i>Non Edible Oil</i>	Kandungan (%)					Referensi
	Asam Palmitat (C16:0)	Asam Stearat (C18:0)	Asam Oleat (C18:1)	Asam Linoleat (C18:2)	Asam Linolenat (C18:3)	
Minyak Biji Jarak Pagar	15,20%	6,80 %	44,60%	32,20%	-	[21]
Minyak Biji Kapuk	22,3%	3,36%	-	70,71%	-	[22]
Minyak Biji Karanja	19,68%	5,33%	38,13%	14,19%	0,19%	[23]
Minyak Biji Rami	4,72%	4,59%	17,97%	12,25%	39,90%	[24]
Minyak Biji Buta-Buta	16,92%	1,76%	-	81,31%	-	[25]
Minyak Neem	-	24%	54%	16%	-	[26]
Minyak Biji Karet	-	-	24,6%	39,6%	16,3%	[27]
Minyak Biji Malapari	12,85%	13,37%	26,27%	20,94%	0,92%	[28]
Minyak Kemiri Sunan	29,97%	-	38,03%	27,55%	1,23%	[29]
Minyak Biji Nyamplung	17%	16%	50 %	24%	-	[30]
Minyak Biji Bintaro	25,91%	-	53,92%	20,16%	-	[31]

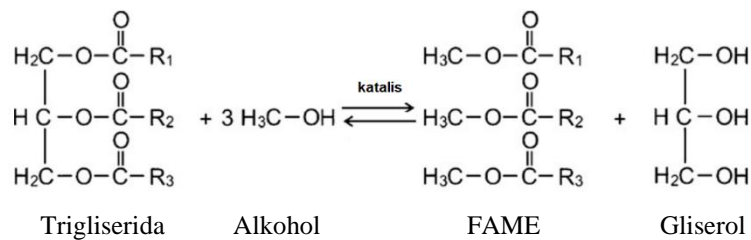
Tabel di atas menunjukkan kandungan asam lemak yang terdapat pada berbagai jenis *non edible oil*. Alasan menggunakan minyak *non edible* karena jumlah bahan bakunya yang melimpah dan biaya produksinya yang lebih murah dibandingkan jika menggunakan minyak *edible*. Kandungan asam lemak tertinggi yaitu terdapat pada minyak biji buta-butara, bintaro dan nyamplung. Kandungan asam lemak tersebut menjadi salah satu faktor penentu % hasil biodiesel yang diproduksi dan memiliki pengaruh terhadap viskositas serta aktivitas katalisnya [32].

2. Metode Transesterifikasi

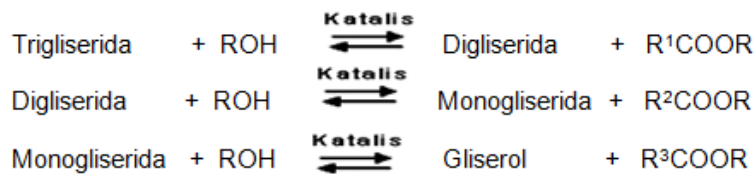
2.1 Transesterifikasi

Transesterifikasi disebut sebagai reaksi pertukaran gugus alkohol dari suatu ester dengan alkohol lain [33]. Metode transesterifikasi dapat mengubah trigliserida menjadi biodiesel menggunakan bantuan alkohol primer seperti metanol dan katalis. Metanol merupakan alkohol rantai alkil terpendek yang memiliki reaktivitas yang tinggi, jenis alkohol yang paling tidak mahal dan kepolarannya paling tinggi dibandingkan dengan jenis alkohol primer lainnya [14]. Transesterifikasi merupakan reaksi bertahap yaitu trigliserida dikonversi secara bertahap menjadi digliserida, kemudian menjadi monogliserida, dan akhirnya menjadi gliserol. Hasil dari transesterifikasi adalah terbentuk 2 fasa, yaitu pada lapisan atas terbentuk biodiesel, sedangkan pada lapisan bawah terbentuk

gliserol, sisa metanol, dan katalis [34]. Reaksi transesterifikasi pada produksi biodiesel digambarkan sebagai berikut :



Gambar 1. Reaksi Transesterifikasi secara Keseluruhan [35].



Gambar 2. Tahapan Reaksi Transesterifikasi dari Trigliserida [36].

Walaupun reaksi transesterifikasi terjadi secara bolak balik, namun reaksi ini berlangsung lambat (laju reaksinya kecil) dan pada awal reaksi laju reaksi ke kanan tidak sama dengan laju ke kiri, sehingga diperlukan waktu yang lama untuk terbentuknya kesetimbangan dinamis.

Jika kadar FFA dalam minyak melebihi 2% maka dilakukan tahap pendahuluan terlebih dahulu berupa reaksi esterifikasi. Esterifikasi berfungsi untuk menurunkan kadar FFA dalam minyak karena jika kadar FFA lebih dari 2% maka dapat terjadi proses saponifikasi / membentuk sabun pada reaksi transesterifikasi. Proses saponifikasi dalam reaksi transesterifikasi akan mengganggu pembentukan produk yaitu biodiesel dan dapat menyebabkan peningkatan viskositas dari biodiesel serta menghambat proses pemisahan gliserol. Oleh karena itu, jika kadar FFA lebih dari 2% harus dilakukan reaksi esterifikasi terlebih dahulu menggunakan bantuan katalis asam [34].

2.2. Faktor – Faktor yang Memengaruhi Reaksi Transesterifikasi

2.2.1. Pengaruh Kandungan Air dan FFA

Reaksi transesterifikasi diperlukan kandungan air dan FFA < 2% untuk produksi biodiesel. Keberadaan air yang berlebihan dan kadar asam lemak bebas melebihi 2% pada reaksi transesterifikasi dapat mengakibatkan terjadinya reaksi penyabunan yang disertai berlangsungnya reaksi hidrolisis terhadap trigliserida [37] sehingga mengakibatkan peningkatan viskositas, terbentuknya gel dan dapat menyebabkan kesulitan dalam proses pemisahan antara gliserol dan metil ester [38].

2.2.2. Pengaruh Rasio Molar

Untuk setiap 1 mol trigliserida dibutuhkan jumlah alkohol sebanyak 3 mol agar dapat dihasilkan 3 mol alkil ester dan 1 mol gliserol [39]. Rasio molar antara minyak dan alkohol sangat memengaruhi biodiesel yang terbentuk. Semakin banyak jumlah rasio molar antara minyak dan alkohol yang digunakan maka akan dihasilkan % hasil biodiesel yang semakin tinggi [38]. Untuk perbandingan rasio molar antara minyak dan alkohol akan memengaruhi kualitas dan % hasil biodiesel yang dihasilkan karena semakin besar jumlah rasio molar antara minyak dan alkohol yang diberikan maka semakin besar juga % hasil biodiesel yang terbentuk [40].

2.2.3. Waktu Reaksi

Peningkatan waktu reaksi yang terus menerus maka akan menyebabkan tereduksinya % hasil biodiesel yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan reaksi transesterifikasi merupakan reaksi *reversible* yang mengakibatkan hilangnya ester dan pembentukan sabun [41].

2.2.4. Suhu Reaksi

Ketika suhu reaksi ditingkatkan maka akan meningkatkan kecepatan molekul-molekul reaktan dan meningkat kemungkinan terjadinya tumbukan sehingga % hasil biodiesel yang dihasilkan akan mengalami peningkatan. Namun ketika suhu melebihi suhu optimal (75°C), ternyata % hasil biodiesel yang terbentuk akan mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan pada suhu 75°C telah melebihi titik didih metanol, sehingga sebagian metanol mengalami perubahan fasa dari cair menjadi uap [38]. Perubahan fasa metanol ini menyebabkan jumlah metanol dalam fasa cair menjadi berkurang. Berkurangnya jumlah metanol dalam larutan mengakibatkan % hasil biodiesel yang terbentuk juga akan semakin sedikit [42].

2.2.5. Konsentrasi Katalis

Katalis mempengaruhi laju reaksi dengan cara memberi mekanisme reaksi yang lain yang energi aktivasi reaksinya lebih rendah (untuk katalis positif) atau lebih besar (untuk katalis negatif). Katalis tanpa dikonsumsi oleh reaksi, namun bukannya katalis tanpa bereaksi. Oleh karena katalis tidak dikonsumsi, maka tiap katalis bisa mengkatalisis dalam beberapa siklus reaksi, sehingga hanya dibutuhkan konsentrasi katalis yang sedikit dalam suatu proses [43]. Semakin tingginya konsentrasi katalis, maka % hasil biodiesel yang dihasilkan akan semakin besar. Namun, penambahan katalis yang berlebih (lebih dari 5%) akan menyebabkan penurunan % hasil biodiesel yang dihasilkan dikarenakan terjadinya pembentukan sabun / reaksi saponifikasi yang sangat reaktif terhadap air [44].

2.2.6. Kecepatan Pengadukan

Kecepatan pengadukan yang terlalu tinggi akan menyebabkan terjadi pembentukan sabun. Hal ini disebabkan reaksi *reversible* dari reaksi transesterifikasi [41].

3. Katalis

Katalis merupakan suatu senyawa kimia yang dapat menyebabkan reaksi menjadi lebih cepat untuk mencapai kesetimbangan tanpa mengalami perubahan kimiawi di akhir reaksi. Suatu katalis berperan dalam suatu reaksi namun bukan sebagai pereaksi ataupun produk. Ada atau tidaknya katalis, komposisi kesetimbangan akan tetap sama [45]. Katalis positif memberi mekanisme reaksi yang lain yang energi aktivasi reaksinya lebih rendah sehingga lebih banyak fraksi molekul reaktan yg memiliki energi yg cukup untuk menghasilkan produk [43].

Terdapat 3 jenis katalis yang dapat digunakan dalam produksi biodiesel yaitu katalis asam dan katalis basa baik berupa katalis homogen maupun heterogen, serta katalis enzim. Katalis homogen merupakan katalis yang mempunyai fasa yang sama dengan reaktan dan produknya. Sedangkan katalis heterogen merupakan katalis berada dalam fasa yang berbeda dengan reaktan dan produknya. Katalis homogen mempunyai aktivitas katalitik yang besar dalam pembuatan biodiesel dengan waktu reaksi yang singkat. Akan tetapi, penggunaan katalis homogen mempunyai beberapa kelemahan yaitu menyebabkan korosi, terbentuknya sabun dan limbah dalam jumlah yang banyak, dan masalah *recovery* katalis [46], konsumsi energi tinggi yang memerlukan modal yang besar, membutuhkan keamanan yang lebih, serta sensitif terhadap air [5]. Sedangkan pemanfaatan enzim sebagai katalis pembuatan biodiesel juga memiliki kekurangan yaitu laju reaksi yang relatif lambat, biaya katalis yang tinggi, dan terjadi deaktivasi enzim [47].

Katalis heterogen lebih menguntungkan bila dimanfaatkan sebagai katalis dalam rangka mendukung upaya *green technology* dengan biaya rendah. Hal ini dikarenakan katalis heterogen dapat digunakan kembali selama beberapa kali, mudah dipisahkan dari campuran reaksinya, lebih stabil, ramah lingkungan, dan mempunyai toksit yang rendah [48]. Namun, sebagai katalis heterogen yang baik harus memenuhi beberapa syarat kualitas yaitu stabil, dapat mengkatalisis reaksi baik transesterifikasi maupun esterifikasi, dapat aktif pada suhu rendah, mempunyai selektivitas yang tinggi, tidak memerlukan pencucian produk dan tidak terjadi deaktivasi dengan keberadaan air dalam campuran [49]. Beberapa jenis katalis heterogen yang telah banyak digunakan dalam reaksi konversi minyak menjadi biodiesel diantaranya adalah SrO, TiO₂, CaO yang menunjukkan aktivitas katalitik yang baik [50].

3.1. Katalis CaO (Kalsium Oksida)

Katalis basa mempunyai aktivitas katalisator yang tinggi dan harganya relatif lebih murah dibandingkan dengan katalis asam [6]. Salah satu jenis katalis basa heterogen terbaik yaitu kalsium oksida (CaO) karena memiliki sifat kebasaaan yang tinggi. Kebasaan CaO yang tinggi mengakibatkan katalis ini banyak digunakan sebagai katalis untuk reaksi transesterifikasi [51]. Katalis CaO merupakan katalis heterogen dengan aktivitas katalitik yang baik, mempunyai kelarutan yang kecil dalam metanol, lebih ekonomis, serta penggunaannya yang lebih mudah karena tidak memerlukan pencucian air yang banyak sehingga baik digunakan dalam pembuatan biodiesel [52]. Katalis CaO berbentuk padatan sehingga katalis ini lebih mudah diaplikasikan karena pemisahan hasil biodiesel dapat dilakukan hanya dengan penyaringan [53].

Katalis CaO dapat disintesis dari proses kalsinasi CaCO₃ yang diperoleh dari limbah cangkang kepiting [7], cangkang kerang darah [8], cangkang siput gonggong [9], cangkang telur [10] dan lain – lain yang didasarkan pada pola difraksi dan diasumsikan bahwa cangkang tersebut mempunyai kandungan CaCO₃ yang besar dan setelah dikalsinasi pada suhu sekitar 900 - 1000°C maka akan diperoleh CaO dengan kemurnian yang besar [7]. Urutan aktivitas katalitik CaO untuk proses transesterifikasi dilaporkan berturut-turut sebagai berikut : CaCO₃ < Ca(OH)₂ < CaO [54].

Cangkang kepiting, kerang darah, cangkang siput gonggong, dan cangkang telur merupakan sumber CaO dengan jumlah ketersediaan yang sangat melimpah di seluruh Indonesia dan sangat menjanjikan untuk dimanfaatkan sebagai katalis heterogen. Komponen utama yang terdapat dalam limbah cangkang ini adalah kalsium karbonat (CaCO₃) dimana ketika kalsium karbonat dikalsinasi dengan suhu yang sesuai dan optimum maka akan mengkonversi CaCO₃ tersebut menjadi CaO. Beberapa jenis katalis berbasis CaO telah banyak dimanfaatkan sebagai katalis dikarenakan katalis ini menunjukkan aktivitas yang baik dan tinggi untuk pembuatan biodiesel pada suhu yang besar [55].

3.2. Produksi Biodiesel *Non Edible Oil* Menggunakan Katalis CaO

Tabel 2. Hasil Konversi atau *Yield* Biodiesel Menggunakan Katalis CaO Pada Berbagai Jenis *Non Edible Oil* dengan Metode Transesterifikasi.

Jenis Minyak	Katalis dan Suhu Reaksi	Rasio Molar Minyak : Alkohol	Waktu Reaksi (Menit)	Konversi (K) Atau Yield	Referensi
Minyak Castor	CaO dari cangkang telur/kaolin 5%, 65°C	1:15	480	K = 97,36%	[56]

Minyak Nyamplung	CaO dari cangkang telur 1,25%, 60 ⁰ C	1:30	120	Y = 48,75%	[57]
Minyak Biji Pangi	CaO dari cangkang telur 3%, 60 ⁰ C	1:6	90	Y = 97,98%	[58]
Minyak Jarak	CaO dari cangkang telur/K ₂ O 3%, 60 ⁰ C	1:12	180	Y = 96,07%	[51]
Minyak Nyamplung	CaO dari cangkang keong mas 2%, 65 ⁰ C	1:12	180	Y = 80,12%	[59]
Minyak Biji Kapuk	CaO dari cangkang kerang darah 2%, 65 ⁰ C	1:6	120	Y = 98,54%	[60]
Minyak Biji Buta - Buta	CaO dari cangkang kerang 6%, 65 ⁰ C	1:12	180	Y = 96,7%	[61]

Tabel di atas memaparkan % hasil biodiesel pada berbagai jenis *non edible oil* menggunakan bantuan katalis CaO dengan metode transesterifikasi. Suhu reaksi, rasio molar minyak:alkohol, waktu reaksi, berat katalis yang digunakan dan jenis minyak yang digunakan akan memengaruhi % hasil biodiesel. Berdasarkan data pada Tabel 2 dengan jenis *non edible oil* yang berbeda dan jenis katalis CaO yang berbeda, maka akan didapatkan % hasil biodiesel tertinggi yaitu sebesar 98,54% pada transesterifikasi biodiesel dari minyak biji kapuk [60]. Sedangkan % hasil biodiesel yang terendah yaitu sebesar 48,75% pada transesterifikasi biodiesel dari minyak biji nyamplung [57].

4. Kesimpulan

1. Katalis CaO menunjukkan aktivitas yang baik untuk mendapatkan % hasil biodiesel yang baik menggunakan metode transesterifikasi terhadap beberapa jenis minyak *non edible*. Hal tersebut dibuktikan dengan data % hasil biodiesel yang telah diperoleh yaitu sebesar 98,54% dan 97,98% pada transesterifikasi biodiesel dari minyak biji kapuk dan pangi secara berturut-turut.
2. Faktor-faktor yang dapat memengaruhi reaksi transesterifikasi dan nilai % hasil biodiesel yaitu rasio molar minyak:alkohol, suhu reaksi, waktu reaksi, konsentrasi katalis, kadar air dan FFA, serta kecepatan pengadukan.

Daftar Pustaka

- [1] Badan Pusat Statistik. (2018). Jumlah Kendaraan Bermotor di Indonesia. <https://doi.org/https://www.bps.go.id/indicator/17/57/1/jumlah-kendaraan-bermotor.html>

- [2] BPH MIGAS. (2018). Konsumsi BBM Nasional Per Tahun. <https://doi.org/https://www.bphmigas.go.id/konsumsi-bbm-nasional/>
- [3] Parahita, I. G. A. A., Mirzayanti, Y. W., Gunardi, I., Roesyadi, A., & Prajitno, D. H. (2018). Production of Biofuel via catalytic Hydrocracking of Kapuk (Ceiba pentandra) seed oil with NiMo/HZSM-5 Catalyst *Matecweb of Conferences*, 156,06001. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815606001>.
- [4] Sari, R., Dewi, R., & Hakim, L. (2021). Pemanfaatan Tempurung Kelapa sebagai Katalis pada Sintesa Biodiesel dari Minyak Jelantah. *Jurnal Teknos Vol. 1, No. 1*.
- [5] Talebian-Kiakalaieh, A., A. N. A. S., & Mazaheri, H. (2013). A Review on Novel Processes of Biodiesel Production from Waste Cooking Oil. *Applied Energy*, 104, 683–710.
- [6] Santoso, H., Kristianto, I., & Setyadi, A. (2013). Pembuatan Biodiesel Menggunakan Katalis Basa Heterogen Berbahan Dasar Kulit Telur. *Research Report – Engineering Science*, 8.
- [7] Kesic, Z., Lukic, I., Zdujic, M., Mojovic, L., & Skala, D. (2016). Calcium Oxide Based Catalysts For Biodiesel Production : A Review. *Chem Ing Chem Eng Q.*, 22 (4) : 391-408.
- [8] Nurhayati, Mukhtar, A., & Abdul, G. (2014). Transesterifikasi Crude Palm Oil (CPO) Menggunakan Katalis Heterogen CaO dari Cangkang Kerang Darah (Anadara Granosa) Kalsinasi 900°C. *Ind.Che.Acta.* 5 (1) : 23-29.
- [9] Asriza, R. O., & Fabiani, V. A. (2018). Transesterifikasi Minyak Jelantah Menggunakan Katalis CaO dari Cangkang Siput Gonggong (Strombus Canarium). *Prosiding Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Masyarakat*.
- [10] Ayodeji, Ayoola, A., Modupe, E. O., Rasheed, B., & Ayodele., J. M. (2018). Data on CaO and Eggshell Catalysts Used for Biodiesel Production. *Data in Brief* 19: 1466–73.
- [11] Nurdyaningrum, F. D., & Nasrudin, H. (2013). Pemurnian dan Karakterisasi Biodiesel Dari Minyak Biji Kelor (Moringa oleifera) dengan Menggunakan Adsorben Bentonit. *UNESA Journal of Chemistry Vol. 2, No. 1*.
- [12] Marjaya, A., Achmad, R., & Murniati, D. (2015). Efektivitas berat katalis dari abu kulit kelapa pada reaksi transesterifikasi minyak sawit menjadi metil ester. *Jurnal Kajian Ilmiah UBJ, Volume 15 Nomor 1*.
- [13] Boey, P., Maniam, G. P., & Hamid, S. A. (2011). Performance of calcium oxide as a heterogeneous catalyst in biodiesel production: A Review. *Chemical Engineering Journal*, 168, 15-22.
- [14] Thanh, L. T., Okitsu, K., Boi, L. Van, & Maeda, Y. (2012). Catalytic technologies for biodiesel fuel production and utilization of glycerol: A Review. *Catalysts*, 2(1), 191–222. <https://doi.org/10.3390/catal2010191>
- [15] Demirbas, A. (2009). Progress And Recent Trends In Biodiesel Fuels. *Energy Conversion and Management*, 50(1), 14–34. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.09.001>
- [16] Singh, D., Sharma, D., Soni, S. L., Sharma, S., & Kumari, D. (2019). Chemical Compositions, Properties, And Standards For Different Generation Biodiesels : A Review. *Fuel*, 253(March), 60–71. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.04.174>
- [17] Aransiola, E. F., Ojumu, T. V., Oyekola, O. O., Madzimbamuto, T. F., & Ikhu-Omoregbe, D. I. O. (2014). A Review Of Current Technology For Biodiesel Production: State Of The Art. *Biomass And Bioenergy*, 61, 276–297. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.11.014>
- [18] Tariq, M., Ali, S., & Khalid, N. (2012). Activity Of Homogeneous And Heterogeneous Catalysts, Spectroscopic And Chromatographic Characterization Of Biodiesel : A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(8), 6303–6316. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.07.005>
- [19] Shameer, M., Kasimani, R., Rajamohan, S., & Ramakrishnan, P. (2017). Experimental Evaluation On Oxidation Stability Of Biodiesel/Diesel Blends With Alcohol Addition By Rancimat Instrument And FTIR Spectroscopy. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 31(1), 455–463. <https://doi.org/10.1007/s12206-016-1248-5>
- [20] Mahdavi, M., Abedini, E., & Darabi, A. H. (2015). Biodiesel synthesis from oleic acid by nano-catalyst (ZrO₂/Al₂O₃) under high voltage conditions. *RSC Advances*, 5(68), 55027–55032. <https://doi.org/10.1039/c5ra07081c>
- [21] Ismail, A., Mansour, S., Yossif, M., Bekhit, M., & Negm, N. (2018). Production of Jet Biofuels from Catalytic Cracking of Vegetable Oils Using Acidic Catalysts. *Journal of Applied Science and Technology*, 27(4), 1–9. <https://doi.org/10.9734/CJAST/2018/41162>.
- [22] Putri, E. M. M., Rachimoallah, M., Santoso, N., & Pradana, F. (2012). Biodiesel Production from Kapok Seed Oil (Ceiba Pentandra) Through the Transesterification Process by Using CaO as Catalyst. *Global Journal of Research in Engineering (12) Issue 2:1-5*.

- [23] Hendra, D., Wibowo, S., Hastuti, N., & Wibisono, H. S. (2016). Karakteristik Biodiesel Biji Bintaro (Cerbera manghas L) Dengan Proses Modifikasi. *Penelitian Hasil Hutan Vol. 34 No. 1, Maret 2016: 11-21.*
- [24] Guimaraes, R., Macedonia, M., Claudia, L., Wender, F., Luis, H., Vanesa, T., & Priscila, A. (2013). Sesame and Flaxseed Oil. *Food Sci Technol 33(1):209-217.*
- [25] Ezech, I. E., Umoren, S. A., Essien, E. E., & 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.*
- [26] Anyanwu, C. N., Mbajorgu, C. C., Ibeto, C. N., & Ejikeme, P. M. (2013). Effect of reaction temperature and time on neem methyl ester yield in a batch reactor. *Energy Conversion and Management, 74, 81-87.* <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.04.029>
- [27] Ghazali, W. N. M., Mamat, R., Masjuki, H. H., & Najafi, G. (2015). Effects of biodiesel from different feedstocks on engine performance and emissions: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 51, 585-602.* <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.031>
- [28] Dwitama, M. I., Nazib, M., Sitepu, O. C., Suandi, D. A. P., & Simpen, I. N. (2016). Konversi Minyak Biji Malapari (Pongamia Pinnata L.) Menjadi Biodiesel Melalui Pemanfaatan Katalis Heterogen Abu Sekam Padi Termomodifikasi Li. *Jurnal Kimia 10 (2), 236-244.*
- [29] Djenar, N. S., & Lintang, N. (2012). Esterifikasi Minyak Kemiri Sunan (Aleurites trisperma) Dalam Pembuatan Biodiesel. *Bionatura Jurnal Ilmu Hayati Dan Fisik Vol.14, No.3.*
- [30] Haryono, Solihudin, R., & Susi, S. (2016). Biodiesel dari Minyak Nyamplung Terozonisasi melalui Esterifikasi dan Transesterifikasi dengan Bantuan Gelombang Ultrasonik. *J. Sains Dasar 5 (2) 148-153.*
- [31] Armalita, R. D., Bahri, S., & Yusminar. (2015). Pembuatan Biodiesel dari Minyak Biji Bintaro dengan Reaksi Transesterifikasi dan Katalis Lempung. *JOM FTEKNIK Volume 2 No.2.*
- [32] Zhao, X., Wei, L., Cheng, S., & Julson, J. (2017). Review of heterogeneous catalysts for catalytically upgrading vegetable oils into hydrocarbon biofuels. *Catalysts, 7(3).* <https://doi.org/10.3390/catal7030083>
- [33] Mirzayanti, Y. W., Ningsih, E., Lillahulhaq, Z., Ma'sum, Z., Renova, C., & Wijaya, Y. (2020). Pemanfaatan Tempurung Kelapa sebagai Katalis pada Proses Konversi Minyak Curah Menjadi Biodiesel. *Journal Universitas NU Vol.VI No.2.*
- [34] Aini, F., & Tjahjani, S. (2013). Hubungan Antara Waktu Penyimpanan dan Nilai Viskositas Biodiesel Minyak Biji Kapuk. *UNESA Journal of Chemistry Vol. 2, No 2.*
- [35] Singh, A.P., Chouhan, Sarma, A.K. (2011). Modern heterogeneous catalysts for biodiesel production: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.*
- [36] Samik, Ediaty, R., & Prasetyoko, D. (2011). Review : Pengaruh Kebasaan dan Luas Permukaan Katalis Terhadap Aktivitas Katalis Basa Heterogen untuk Produksi Biodiesel. *Prosiding Seminar Nasional Kimia Unesa.*
- [37] Andalia, W., & Pratiwi, I. (2018). Kinerja Katalis Naoh dan KOH ditinjau dari Kualitas Produk Biodiesel yang dihasilkan dari Minyak Goreng Bekas. *Jurnal Tekno Global Volume 7 No 2.*
- [38] Arpiwi, N. L. (2015). Produksi Biodiesel dari Biji Malapari (Pongamia pinnata (L.) Pierre). *Karya Tulis Jurusan Biologi Fakultas MIPA Universitas Udayana.*
- [39] Hikmah, Nurul, M., & Zuliyana, D. (2015). Pembuatan Metil Ester (Biodiesel) Dari Minyak Dedak Dan Metanol Estrans. *Jurnal Teknik Kimia 3 (6): 1-43.*
- [40] Desiyana, V., Haryanto, A., & Hidayati, S. (2014). Pengaruh Rasio Molar Dan Waktu Reaksi Terhadap Hasil Dan Gelombang Ultrasonik. *Effect of Molar Ratio and Reaction Time on the Yield and Quality of Biodiesel Produced By Ultrasonic-Aided Transesterification of Waste Cooking Oil. 3(1), 49-58.*
- [41] Mathiyazhagan, M., & Ganapathi, a. (2011). Factors Affecting Biodiesel Production. *Research in Plant Biology, 1(2), 1-5.*
- [42] Prihanto, A., & Irawan, B. (2017). Pengaruh Temperatur, Konsentrasi Katalis dan Rasio Molar Metanol-Minyak terhadap Yield Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas Melalui Proses Netralisasi-Transesterifikasi. *Metana, Vol. 13, No. 1.*
- [43] Rothenberg, G. (2008). *Catalysis Concepts and Green Applications.* Weinheim : WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- [44] Zamhari, M., Junaidi, R., Rachmatika, N., & Oktarina, A. (2021). Pembuatan Katalis Berbasis Karbon Aktif Dari Tempurung Kelapa (Cocos Nucifera) Diimpregnasi KOH Pada Reaksi Transesterifikasi Sintesis Biodiesel. *Jurnal Kinetika Vol. 12, No. 01 (Maret 2021): 23-31.*
- [45] Purnami, Wardana, I., & Veronika, K. (2015). Pengaruh Penggunaan Katalis Terhadap Laju Dan Efisiensi Pembentukan Hidrogen. *Jurnal Rekayasa Mesin Vol.6, No.1.*

- [46] Zuhra, Husin, H., Hasfita, F., & Rinaldi, W. (2015). Preparasi Katalis Abu Kulit Kerang untuk Transesterifikasi Minyak Nyamplung menjadi Biodiesel. *Agritech*, Vol. 35, No. 1, Februari, 73-74
- [47] Lam, M. K., Lee, K. T., & Mohamed, A. R. (2010). Homogeneous, heterogeneous and enzymatic catalysis for transesterification of high free fatty acid oil (waste cooking oil) to biodiesel: A review. *Biotechnology Advances*, 28(4), 500–518. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.03.002>
- [48] Husin, H., Abubakar, A., Ramadhani, S., Sijabat, C. F. B., & Hasfita, F. (2018). Coconut husk ash as heterogenous catalyst for biodiesel production from cerbera manghas seed oil. *Matec Web of Conference*, 197: 09008.
- [49] Saifuddin, Samiuddin, & Kumaran. (2015). A Review on Processing Technology for Biodiesel Production. In *Trends in Applied Sciences Research (Vol. 10, Issue 1, pp. 1–27)*.
- [50] Roschat, W., Siritanon, T., Kaewpuang, T., Yoosuk, B., & Promarak, V. (2016). Economical and Green Biodiesel Production Process Using River Snail Shells-Derived Heterogeneous Catalyst and Co-Solvent Method. *Bio Tech* 209, 343-350.
- [51] Oko, S., & Feri, M. (2019). Pengembangan Katalis CaO Dari Cangkang Telur Ayam Dengan Impregnasi KOH Dan Aplikasinya Terhadap Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Jarak. *Jurnal Teknologi Volume 11*.
- [52] Hidayati, N., Ariyanto, T. S., & Septiawan, H. (2017). Transesterifikasi Minyak Goreng Bekas Menjadi Biodiesel Dengan Katalis Kalsium Oksida. *Jurnal Teknologi Bahan Alam*, 1(1), 1–5. <http://journals.ums.ac.id/index.php/jtba/article/view/JTBA-0001>
- [53] Rachim, S. A. G., Raya, I., & Zakir, M. (2017). Modifikasi Katalis Cao Untuk Produksi Biodiesel Dari Minyak Bekas. *Indo. J. Chem. Res.*, 2017, 5(1), 47-52.
- [54] Noiroj, K., Intarapong, P., Luengnaruemitchai, A., & Jai-In, S. (2011). A comparative study of KOH/Al₂O₃ catalysts for biodiesel production via transesterification from palm oil. *Renewable Energy* 34: 1145-1150.
- [55] Boro, J., Thakur, A. J., & Deka, D. (2011). Solid oxide derived from waste shells of turbonilla striatula as a renewable catalyst for biodiesel production. *Fuel Processing Technology*, 92(10).
- [56] Setiadi, S., Tanyela, N., Sudiarti, T., Prabowo, E., & Wahid, B. (2017). Alternatif Pembuatan Biodiesel Melalui Transesterifikasi Minyak Castor (*Ricinus communis*) Menggunakan Katalis Campuran Cangkang Telur Ayam dan Kaolin. *Jurnal Kimia VALENSI: Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Ilmu Kimia*.
- [57] Enggawati, E. R., & Ediati, R. (2013). Pemanfaatan Kulit Telur Ayam dan Abu Layang Batubara sebagai Katalis Heterogen untuk Reaksi Transesterifikasi Minyak Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum* Linn). *Jurnal Sains Dan Seni Pomits Vol. 2, No.1*.
- [58] Effendi, S., Hamzah, F.H., & Ali, A. (2018). Konsentrasi Katalis CaO dari Cangkang Telur Ayam pada Proses Transesterifikasi Biodiesel Minyak Biji Pangi. *JOM FAPERTA Vol.5 No.1*.
- [59] Syamsuddin, Y., Husin, H., Zuhra, & Suraiya. (2012). Kajian Awal Produksi Biodiesel Dari Minyak Nyamplung Menggunakan Katalis Cangkang Keong Mas. *Prosiding Seminar Nasional Hasil Riset Dan Standarisasi Industri II Vol. 1 No.1*.
- [60] Nugroho, K. S., Retnaningtyas, H., & Hardjono. (2019). Pengaruh Rasio Massa Katalis CaO dan Suhu Pada Proses Transesterifikasi Minyak Randu Menjadi Biodiesel. *Distilat*. 5 (2), 76-80.
- [61] Zaki, M., Husin, H., Darmadi, Alam, P. N., Rosnelly, C. M., & Nurhazanah. (2019). Transesterifikasi Minyak Biji Buta-Buta menjadi Biodiesel pada Katalis Heterogen Kalsium Oksida (CaO). *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan Vol. 14, No.1*.