



Pengaruh Aktivasi Katalis CaO dari Cangkang Telur Bebek dengan KOH pada Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah

The Effect of Activation of CaO Catalyst from Duck Eggshell with KOH on the Production of Biodiesel from Waste Cooking Oil

Muhamad Dafa¹, Farhan Ariq Athallah¹, Fadlinatin Naumi¹, Devi Lestariningsih^{1*}

¹Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Al-Khairiyah, Jl.K.H.Enggus Arja No.1 Citangkil, Cilegon, 42441, Indonesia

*Email: fnaumi@unival-cilegon.ac.id

Abstrak

Depleksi cadangan minyak bumi Indonesia dari 8,61 miliar barel menjadi 7,73 miliar barel dalam periode 2004-2011 mendorong pengembangan energi alternatif terbarukan melalui pemanfaatan minyak jelantah sebagai bahan baku biodiesel. Penelitian ini mengkaji pengaruh aktivasi katalis kalsium oksida dari cangkang telur bebek menggunakan kalium hidroksida terhadap kualitas biodiesel. Katalis diperoleh melalui kalsinasi pada 900°C selama tiga jam dan diaktivasi dengan 20 gram KOH per 100 mL, kemudian direaksikan dengan minyak jelantah pada suhu 60°C dalam reaktor sederhana. Variasi konsentrasi katalis meliputi tanpa KOH serta 2%, 4%, 6%, dan 8% dengan aktivasi KOH. Hasil menunjukkan konsentrasi 2% dan 4% dengan aktivasi KOH menghasilkan biodiesel optimal dengan angka asam 0,44 mg KOH/g, densitas 877-888 kg/m³, dan viskositas kinematik 5,34-5,55 mm²/s yang memenuhi SNI 7182:2015. Konsentrasi 8% menghasilkan *yield* tertinggi 62,65% namun kualitas menurun akibat reaksi penyabunan. Aktivasi katalis CaO dengan KOH meningkatkan efisiensi transesterifikasi dibandingkan tanpa aktivasi.

Kata kunci biodiesel, katalis heterogen, transesterifikasi

Abstract

The depletion of Indonesia's petroleum reserves from 8.61 billion barrels to 7.73 billion barrels during 2004-2011 has driven renewable alternative energy development through waste cooking oil utilization as biodiesel feedstock. This study examined the effect of calcium oxide catalyst activation from duck eggshells using potassium hydroxide on biodiesel quality. Catalyst was obtained through calcination at 900°C for three hours and activated with 20 grams KOH per 100 mL, then reacted with waste cooking oil at 60°C in simple reactor. Catalyst concentration variations included without KOH and 2%, 4%, 6%, and 8% with KOH activation. Results showed 2% and 4% concentrations with KOH activation produced optimal biodiesel with acid number 0.44 mg KOH/g, density 877-888 kg/m³, and kinematic viscosity 5.34-5.55 mm²/s meeting SNI 7182:2015 requirements. The 8% concentration achieved the highest yield at 62.65%, but the product quality decreased due to saponification reactions. CaO catalyst activation with KOH increased transesterification efficiency compared to without activation.

Keywords biodiesel, heterogeneous catalyst, transesterification

Pendahuluan

Cadangan minyak bumi Indonesia mengalami penurunan signifikan dari 8,61 miliar barel menjadi 7,73 miliar barel dalam kurun waktu 2004 hingga 2011, sementara konsumsi bahan bakar terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk dan perkembangan sektor industri serta transportasi. Kondisi ini memicu urgensi pencarian sumber energi alternatif terbarukan sebagai substitusi bahan bakar fosil yang bersifat *unrenewable* [1]. Biodiesel sebagai monoalkil ester asam lemak rantai panjang telah menjadi alternatif strategis yang dikembangkan melalui Keputusan Presiden Nomor 10 Tahun 2006

tentang Pengembangan Bahan Bakar Nabati. Pemanfaatan minyak jelantah (*waste cooking oil*) sebagai bahan baku biodiesel memberikan nilai ekonomis sekaligus mengurangi dampak pencemaran lingkungan dari limbah yang mengandung senyawa karsinogenik [2].

Proses transesterifikasi minyak jelantah memerlukan katalis yang efisien, dimana kalsium oksida (CaO) dari cangkang telur bebek menunjukkan potensi sebagai katalis heterogen basa dengan kandungan kalsium karbonat mencapai 94% yang dapat dikonversi melalui kalsinasi pada suhu 900°C. Aktivasi katalis CaO menggunakan kalium hidroksida (KOH) diharapkan dapat meningkatkan situs aktif

basa sehingga mempercepat laju reaksi dan meningkatkan konversi biodiesel. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh aktivasi katalis CaO dengan KOH terhadap *yield* dan kualitas biodiesel yang dihasilkan menggunakan reaktor sederhana, serta mengevaluasi kesesuaian produk terhadap Standar Nasional Indonesia SNI 7182:2015 yang mencakup parameter densitas, viskositas kinematik, angka asam, dan kadar ester metil.

Teori

Minyak jelantah merupakan bahan baku ekonomis untuk produksi biodiesel namun memiliki tantangan kandungan asam lemak bebas (*free fatty acid*/FFA) yang tinggi akibat proses oksidasi dan hidrolisis selama penggorengan berulang, sehingga berpotensi memicu pembentukan sabun pada tahap transesterifikasi [3]. Kandungan asam lemak jenuh seperti asam stearat dan palmitat serta asam lemak tidak jenuh seperti linolenat dalam minyak jelantah membentuk profil *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) yang menentukan sifat fisikokimia biodiesel termasuk viskositas, titik nyala, dan stabilitas oksidasi. Proses esterifikasi menggunakan katalis asam seperti H_2SO_4 pada suhu 60-65°C diperlukan sebagai *pretreatment* untuk menurunkan kadar FFA hingga di bawah 2% sebelum transesterifikasi dilakukan. Reaksi transesterifikasi merupakan konversi trigliserida menjadi ester metil asam lemak dengan bantuan alkohol seperti metanol dan katalis, berlangsung secara bertahap melalui pembentukan digliserida, monogliserida, hingga gliserol sebagai produk samping. Katalis heterogen CaO memiliki keunggulan mudah dipisahkan dan dapat digunakan kembali dibandingkan katalis homogen, dengan situs aktif basa (O^{2-}) yang efektif mengaktifkan metanol dalam reaksi transesterifikasi [4].

Cangkang telur bebek mengandung CaCO_3 yang dapat dikalsinasi pada 800-1000°C menghasilkan CaO berkualitas tinggi dengan struktur berpori yang meningkatkan luas permukaan katalitik. Aktivasi katalis CaO menggunakan KOH sebagai katalis homogen basa kuat bertujuan meningkatkan sifat basa permukaan katalis melalui pembentukan ion alkoksida yang sangat reaktif terhadap trigliserida, sehingga konversi biodiesel dapat mencapai di atas 96% pada kondisi optimum [5]. Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi proses meliputi rasio molar metanol terhadap minyak, suhu reaksi 60-65°C, waktu reaksi 2-4 jam, konsentrasi katalis 2-8%, serta kontrol kadar air dalam sistem reaksi [6]. Standar mutu biodiesel SNI 7182:2015 menetapkan persyaratan densitas 850-890 kg/m^3 , viskositas kinematik 2,3-6,0 mm^2/s , angka asam maksimum 0,5 mg KOH/g, dan kadar ester metil minimum 96,5% massa sebagai parameter kelayakan teknis biodiesel untuk aplikasi mesin diesel.

Metodologi Penelitian

Penelitian eksperimental ini menggunakan minyak jelantah sebagai bahan baku dan katalis CaO dari cangkang telur bebek dengan variasi aktivasi KOH. Preparasi katalis dilakukan melalui pencucian cangkang telur bebek, pengeringan dalam oven 110°C selama tiga jam, penghancuran, dan kalsinasi pada 900°C selama tiga jam untuk konversi CaCO_3 menjadi CaO [7]. Aktivasi katalis dilakukan dengan penambahan 20 gram KOH per 100 mL, pemanasan dalam oven 110°C selama 24 jam, dilanjutkan kalsinasi ulang pada 450°C selama empat jam. Minyak jelantah mengalami pra-perlakuan berupa penyaringan, pemanasan 110°C untuk eliminasi air, dan analisis kadar FFA melalui titrasi menggunakan NaOH 0,1 N dengan indikator fenolftalein. Proses transesterifikasi dilakukan dalam reaktor sederhana berupa botol reaksi dengan variabel tetap volume minyak 100 gram dan variabel bebas konsentrasi katalis CaO 2%, 4%, 6%, dan 8% dengan dan tanpa aktivasi KOH, pada suhu 60°C pada *waterbath* selama lima menit dan pengadukan manual selama lima menit [8].

Pemisahan biodiesel dari gliserol dilakukan menggunakan corong pisah dengan waktu pengendapan 24 jam. Parameter kualitas biodiesel yang dianalisis meliputi densitas menggunakan piknometer, viskositas kinematik dengan viskometer Ostwald, angka asam melalui titrasi dengan NaOH, serta uji nyala api untuk evaluasi karakteristik pembakaran. *Yield* biodiesel dihitung berdasarkan rasio massa biodiesel terhadap massa minyak awal dikalikan 100%. Seluruh hasil pengukuran dibandingkan dengan persyaratan mutu SNI 7182:2015 dan dianalisis secara deskriptif untuk mengevaluasi pengaruh aktivasi katalis terhadap kualitas produk biodiesel yang dihasilkan.

Hasil

Penelitian ini menghasilkan biodiesel dari minyak jelantah menggunakan katalis CaO berbasis cangkang telur bebek dengan dan tanpa aktivasi KOH. Preparasi katalis dilakukan melalui kalsinasi pada suhu 900°C selama tiga jam untuk mengkonversi CaCO_3 menjadi CaO yang bersifat basa kuat. Aktivasi katalis menggunakan 20 gram KOH per 100 mL dilanjutkan dengan pemanasan dalam oven pada 110°C selama 24 jam dan kalsinasi ulang pada 450°C selama empat jam. Proses transesterifikasi dilakukan dalam reaktor sederhana berupa botol reaksi pada suhu 60°C dengan menjaga suhu pada *waterbath* selama lima menit dan pengadukan manual selama lima menit. Hasil reaksi menunjukkan pembentukan dua lapisan terpisah, yaitu biodiesel pada lapisan atas berwarna lebih jernih dan gliserol pada lapisan bawah yang lebih gelap serta kental, sebagaimana ditunjukkan pada visualisasi pemisahan fase dalam corong pisah.

Parameter angka asam menunjukkan bahwa biodiesel tanpa aktivasi KOH memiliki nilai tertinggi sebesar 1,61 mg KOH/g yang melampaui standar SNI 7182:2015 dengan batas maksimum 0,5 mg KOH/g. Penambahan aktivasi KOH pada konsentrasi katalis CaO 2% dan 4% menghasilkan angka asam identik sebesar 0,44 mg KOH/g yang memenuhi persyaratan standar.

Tabel 1. Data Hasil Uji Angka Asam

Variasi	Angka Asam (mg KOH/g)
Tanpa KOH	1,61
2%	0,44
4%	0,44
6%	0,50
8%	0,75

Uji angka asam bertujuan menentukan kadar asam lemak bebas dalam biodiesel melalui titrasi yang dinyatakan dalam mg KOH/g. Hasil menunjukkan aktivasi KOH menurunkan angka asam secara signifikan dari 1,61 mg KOH/g menjadi 0,44 mg KOH/g pada konsentrasi 2% dan 4%, memenuhi standar SNI maksimum 0,5 mg KOH/g. Peningkatan konsentrasi katalis hingga 8% meningkatkan angka asam akibat reaksi penyabunan. Peningkatan konsentrasi katalis pada 6% menghasilkan angka asam 0,50 mg KOH/g yang masih berada pada batas maksimum, namun konsentrasi 8% meningkat menjadi 0,75 mg KOH/g dan tidak memenuhi standar. Pengukuran densitas menunjukkan biodiesel tanpa aktivasi KOH memiliki nilai 896 kg/m³ yang sedikit melampaui batas maksimum standar SNI sebesar 890 kg/m³.

Tabel 2. Data Hasil Uji Densitas

Variasi	Densitas (kg/m ³)
Tanpa KOH	896
2%	877
4%	888
6%	884
8%	895

Uji densitas bertujuan mengetahui massa jenis biodiesel yang memengaruhi kualitas pembakaran dan kinerja mesin. Aktivasi katalis dengan KOH pada konsentrasi 2% menghasilkan densitas optimal 877 kg/m³ dalam rentang standar SNI 850-890 kg/m³. Konsentrasi 4% dan 6% tetap memenuhi standar, namun konsentrasi 8% dan tanpa KOH melampaui batas maksimum akibat konversi trigliserida tidak sempurna. Aktivasi katalis CaO 2% dengan KOH menghasilkan densitas optimal sebesar 877 kg/m³ yang berada dalam rentang standar 850-890 kg/m³. Konsentrasi 4% dan 6% masing-masing menghasilkan densitas 888 kg/m³ dan 884 kg/m³ yang masih memenuhi persyaratan, sedangkan konsentrasi

8% menghasilkan 895 kg/m³ yang melampaui batas standar.

Tabel 3. Data Hasil Uji Viskositas Kinematik

Variasi	Viskositas Kinematik (mm ² /s (cSt))
Tanpa KOH	5,43
2%	5,34
4%	5,55
6%	5,91
8%	6,12

Viskositas kinematik biodiesel tanpa aktivasi KOH tercatat 5,43 mm²/s, menurun menjadi 5,34 mm²/s pada konsentrasi katalis 2% dengan aktivasi KOH. Peningkatan konsentrasi katalis secara bertahap meningkatkan viskositas menjadi 5,55 mm²/s pada 4%, 5,91 mm²/s pada 6%, dan 6,12 mm²/s pada 8% yang melampaui batas maksimum standar SNI sebesar 6,0 mm²/s. Penentuan *yield* biodiesel menunjukkan variasi signifikan berdasarkan perlakuan katalis.

Tabel 4. Data Hasil Penentuan *Yield* Biodiesel

Variasi	<i>Yield</i> (%)
Tanpa KOH	53,76
2%	58,76
4%	57,72
6%	55,69
8%	62,65

Biodiesel tanpa aktivasi KOH menghasilkan *yield* terendah sebesar 53,76%, meningkat menjadi 58,76% pada konsentrasi katalis CaO 2% dengan aktivasi KOH. Konsentrasi 4% dan 6% masing-masing menghasilkan *yield* 57,72% dan 55,69%, sedangkan konsentrasi tertinggi 8% menghasilkan *yield* maksimum 62,65%. Uji nyala api menunjukkan bahwa biodiesel tanpa aktivasi KOH menghasilkan nyala relatif kecil dan kurang stabil. Aktivasi katalis pada konsentrasi 2% dan 4% menghasilkan nyala berwarna kuning cerah dengan tinggi dan stabilitas optimal, sedangkan konsentrasi 6% menunjukkan penurunan tinggi nyala meskipun masih stabil, dan konsentrasi 8% menghasilkan nyala paling kecil dengan stabilitas rendah yang mengindikasikan penurunan kualitas pembakaran biodiesel.

Pembahasan

Kalsinasi cangkang telur bebek pada suhu 900°C menguraikan CaCO₃ menjadi CaO dan CO₂, menghasilkan katalis heterogen basa kuat dengan luas permukaan aktif yang meningkat untuk mempercepat reaksi transesterifikasi trigliserida dengan metanol. Aktivasi katalis CaO menggunakan KOH menciptakan efek sinergis antara katalis heterogen dan homogen yang meningkatkan jumlah situs basa efektif melalui pembentukan ion metoksida reaktif yang menyerang gugus trigliserida. Proses

transesterifikasi menggunakan reaktor sederhana botol reaksi terbukti mampu memfasilitasi pemisahan dua lapisan produk, meskipun keterbatasan pengadukan manual dan kontrol suhu menyebabkan distribusi katalis kurang homogen sehingga mempengaruhi laju reaksi dan konversi trigliserida [2].

Angka asam biodiesel tanpa aktivasi KOH yang mencapai 1,61 mg KOH/g mengindikasikan reaksi transesterifikasi tidak optimal dengan asam lemak bebas yang tidak terkonversi sempurna menjadi ester metil. Aktivasi KOH pada konsentrasi katalis CaO 2% dan 4% menurunkan angka asam menjadi 0,44 mg KOH/g yang memenuhi standar SNI, menunjukkan peningkatan efisiensi konversi asam lemak bebas [9]. Peningkatan angka asam pada konsentrasi 8% menjadi 0,75 mg KOH/g disebabkan reaksi penyabunan akibat katalis berlebih yang menghambat pemisahan biodiesel dan gliserol serta meningkatkan kandungan asam lemak bebas. Densitas biodiesel tanpa KOH sebesar 896 kg/m³ yang melampaui standar mengindikasikan sisa trigliserida dan gliserol yang belum terkonversi sempurna, sedangkan aktivasi KOH pada konsentrasi 2% menurunkan densitas menjadi 877 kg/m³ akibat konversi optimal trigliserida menjadi ester metil dengan massa jenis lebih rendah.

Viskositas kinematik menurun dari 5,43 mm²/s tanpa KOH menjadi 5,34 mm²/s pada konsentrasi 2% menunjukkan konversi trigliserida yang lebih sempurna menghasilkan ester metil dengan sifat alir lebih baik [10]. Peningkatan viskositas pada konsentrasi tinggi hingga 6,12 mm²/s pada 8% disebabkan reaksi penyabunan dan peningkatan kandungan sisa katalis serta gliserol terlarut yang meningkatkan kekentalan biodiesel. *Yield* biodiesel tertinggi 62,65% pada konsentrasi 8% menunjukkan katalis berlebih mempercepat laju reaksi meskipun kualitas produk menurun akibat reaksi samping, sedangkan *yield* terendah 53,76% tanpa KOH mengkonfirmasi pentingnya katalis basa dalam meningkatkan konversi trigliserida [5]. Karakteristik nyala api yang optimal pada konsentrasi 2% dan 4% dengan warna kuning cerah dan stabilitas tinggi mengindikasikan kemurnian biodiesel yang baik dan kandungan ester metil tinggi, sedangkan nyala kecil pada konsentrasi 8% disebabkan viskositas tinggi yang menghambat penguapan dan pencampuran dengan udara selama pembakaran [11].

Kesimpulan

Aktivasi katalis CaO dari cangkang telur bebek menggunakan KOH memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan kualitas biodiesel dibandingkan tanpa aktivasi. Konsentrasi katalis CaO 2% dan 4% dengan aktivasi KOH menghasilkan biodiesel berkualitas optimal yang memenuhi seluruh parameter SNI 7182:2015 dengan angka asam 0,44 mg KOH/g, densitas 877-888 kg/m³, dan viskositas

kinematik 5,34-5,55 mm²/s. Biodiesel tanpa aktivasi KOH menghasilkan angka asam tinggi sebesar 1,61 mg KOH/g yang tidak memenuhi standar, mengindikasikan konversi asam lemak bebas tidak optimal. Peningkatan konsentrasi katalis hingga 8% menghasilkan *yield* tertinggi 62,65%, namun menurunkan kualitas biodiesel akibat reaksi penyabunan yang meningkatkan angka asam menjadi 0,75 mg KOH/g dan viskositas kinematik menjadi 6,12 mm²/s yang melampaui batas standar. Reaktor sederhana botol reaksi terbukti efektif memfasilitasi pemisahan biodiesel dan gliserol meskipun keterbatasan pengadukan manual mempengaruhi homogenitas reaksi. Karakteristik nyala api optimal pada konsentrasi 2% dan 4% dengan warna kuning cerah dan stabilitas tinggi mengkonfirmasi kemurnian biodiesel yang baik untuk aplikasi bahan bakar.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium SMK Prima Mandiri dan Laboratorium Teknik Kimia Universitas Al-Khairiyah atas fasilitas penelitian.

Daftar Pustaka

- [1] S. 7182:2015, "Bahan Bakar Biodiesel," *Badan Stand. Nas.*, 2015.
- [2] S. V. Sinaga, A. Haryanto, and S. Triyono, "Pengaruh Suhu Dan Waktu Reaksi Pada Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Jelantah," vol. 3, no. 1, pp. 27–34, 2014.
- [3] M. K. Aroua, A. R. A. Aziz, and M. K. Aroua, "The Effects of Catalysts in Biodiesel Production: A Review (Article No: IE2011-183)," no. 2010, 2012, doi: 10.1016/j.jiec.2012.07.009.
- [4] HARYONO, "Kalsium oksida mikropartikel dari cangkang telur sebagai katalis pada sintesis biodiesel dari minyak goreng bekas," vol. 08, no. 01, pp. 8–14, 2018.
- [5] G. Knothe, J. Van Gerpen, and J. Krahle, "The Biodiesel Handbook (2nd ed.)," *AOCS Press*, 2015.
- [6] Prihandana R, H. R, and N. M, "Menghasilkan Biodiesel Murah," *Jakarta: Agromedia Pustaka*, 2006.
- [7] P. Boey, G. Pragas, and S. Abd, "Performance of calcium oxide as a heterogeneous catalyst in biodiesel production : A review," vol. 168, pp. 15–22, 2011, doi: 10.1016/j.cej.2011.01.009.
- [8] W. M. A. W. Daud and N. Abdullah, "Calcination of waste seashells for biodiesel production using CaO heterogeneous catalyst," *Indones. J. Chem.*, vol. 15, no. 2, pp. 114–122, 2015.
- [9] A. S. Yusuff, A. O. Lala, and M. A. Olutoye, "Transesterification of waste frying oil with methanol using calcined eggshell as catalyst,"

- Niger. J. Technol. Dev.*, vol. 15, no. 2, pp. 79–85, 2018.
- [10] P. Boey, G. Pragas, S. Abd, D. Mohamed, and H. Ali, "Utilization of waste cockle shell (*Anadara granosa*) in biodiesel production from palm olein: Optimization using response surface methodology," vol. 90, pp. 2353–2358, 2011, doi: 10.1016/j.fuel.2011.03.002.
- [11] N. Viriya-empikul, P. Krasae, B. Puttasawat, B. Yoosuk, N. Chollacoop, and K. Faungnawakij, "Waste shells of mollusk and egg as biodiesel production catalysts," *Bioresour. Technol.*, vol. 101, no. 10, pp. 3765–3767, 2010.