



BIODIESEL FROM AVOCADO SEED OIL WITH CaO AND CaO SUPER BASA CATALYST FROM EGG SHELL WASTE

Paqih Choerunnas, Lany Nurhayati*, Devy Susanty dan Gladys Ayu Paramita Kusumah Wardhani
 Program Studi Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Nusa Bangsa
 Jl.KH. Sholeh Iskandar Km 4, Tanah Sareal, Bogor 16166, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received 20 Jul 2023,

Revised 30 Nov 2023,

Accepted 07 Des 2023,

Available online 30 Jan 2024

Keywords:

- ✓ biodiesel;
- ✓ avocado seed oil;
- ✓ trans-esterification;
- ✓ super alkaline catalyst;
- ✓ calcium oxide

*corresponding author:

lany.nurhayati12@gmail.com

phone: +62

<https://doi.org/10.31938/jsn.14i1.591>

14i1.591

ABSTRACT

One waste that can be used as raw material for biodiesel is avocado seeds. Generally, biodiesel from avocado seed oil is synthesized using a homogeneous base catalyst, NaOH or KOH. However, the yield of Free Fatty Acids (FFA) is still low, so it is necessary to make biodiesel using heterogeneous base catalysts such as calcium oxide (CaO) and super base CaO from eggshell waste. Avocado seed oil biodiesel was synthesized using the method of transesterification with a ratio of 1:6, and a super base CaO/CaO catalyst of 1.5% (w/w) of the weight of avocado seed oil was added. The use of the CaO catalyst produced a Fatty Acid Methyl Ester (FAME) of 98.21% with a biodiesel yield of 73.77%, while the use of a super base CaO catalyst produced a FAME of 98.47% with a biodiesel yield of 74.50%. Characterization of biodiesel using FTIR shows the presence of methyl, ether, alcohol, carbonyl, and ester functional groups (C=O and C-O bonds), which are characteristics of the resulting biodiesel trans-esterification. Based on the yield and physical and chemical properties, the avocado seed oil biodiesel produced is better using the super base CaO catalyst than the CaO catalyst.

Biodiesel Minyak Biji Alpukat Menggunakan Katalis CaO dan CaO Super Basa dari Limbah Cangkang Telur

ABSTRAK

Salah satu limbah yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku biodiesel adalah biji alpukat. Pada umumnya, biodiesel dari minyak biji alpukat disintesis menggunakan katalis basa homogen yaitu NaOH atau KOH. Namun, rendemen Asam Lemak Bebas (ALB) yang dihasilkan masih rendah, sehingga perlu dilakukan penelitian terhadap pembuatan biodiesel menggunakan katalis basa heterogen seperti kalsium oksida (CaO) dan CaO super basa dari limbah cangkang telur. Biodiesel minyak biji alpukat disintesis menggunakan metode *trans* esterifikasi dengan perbandingan 1:6, dan ditambahkan katalis CaO/CaO super basa sebanyak 1,5% (b/b) dari bobot minyak biji alpukat. Penggunaan katalis CaO menghasilkan *Fatty Acid Methyl Ester (FAME)* sebesar 98,21% dengan rendemen biodiesel sebesar 73,77%, sedangkan penggunaan katalis CaO super basa menghasilkan *FAME* sebesar 98,47% dengan rendemen biodiesel sebesar 74,50%. Karakterisasi biodiesel menggunakan FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi metil, eter, alkohol, karbonil dan ester (ikatan C=O dan C-O) yang merupakan karakteristik dari biodiesel hasil *trans*-esterifikasi. Berdasarkan rendemen dan sifat fisika dan kimia, biodiesel minyak biji alpukat yang dihasilkan lebih baik menggunakan katalis CaO super basa dibandingkan katalis CaO.

Kata kunci: biodiesel; minyak biji alpukat; trans-esterifikasi; katalis super basa; kalsium oksida

PENDAHULUAN

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif terbarukan yang ramah lingkungan. Bahan baku dari biodiesel berasal dari minyak nabati seperti kelapa sawit, kedelai, jarak pagar, alpukat dan beberapa jenis tumbuhan lainnya. Saat ini,

penelitian mengenai biodiesel difokuskan kepada usaha untuk mengurangi dampak lingkungan dan efisiensi produksi. Biji alpukat merupakan salah satu limbah yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku biodiesel. Permintaan pasar terhadap buah alpukat cukup tinggi. Berdasarkan Kementerian Pertanian (2015), rata-rata konsumsi



buah alpukat pada tahun 2014 sebesar 0,574 kg/kapita/tahun dan terus mengalami peningkatan setiap tahunnya, sehingga limbah biji alpukat semakin melimpah dan belum banyak dimanfaatkan secara optimal, terutama sebagai bahan baku biodiesel.

Penelitian yang berkaitan dengan pembuatan biodiesel dari minyak biji alpukat telah dilakukan Rachimoellah et al. (2009) dihasilkan rendemen biodiesel sebesar 82-84% dan Deepalakshmi et al. (2014) dihasilkan rendemen biodiesel maksimum 94,40%. Penelitian Berghuis et al., (2019) diperoleh kualitas biodiesel yang lebih baik dibanding solar karena biodiesel yang dihasilkan memenuhi SNI 04-7182-2006. Kemudian, penelitian Rachmanita & Safitri, (2020) diperoleh rendemen biodiesel sebesar 93,49%, memiliki kualitas yang seuai standar SNI 04-7182-2015. Hasil yang didapat dari penelitian-penelitian tersebut sudah baik, tetapi masih menggunakan NaOH sebagai katalis basa homogen. Katalis basa homogen sangat sulit dipisahkan dari hasil *trans*-esterifikasi, sehingga tidak dapat digunakan kembali dan terbuang sebagai limbah.

Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan mengganti katalis yang lebih mudah dipisahkan dari produk biodiesel dan memungkinkan menghasilkan rendemen biodiesel yang lebih tinggi yaitu katalis basa heterogen (Elliyanti et al., (2017). Beberapa contoh katalis heterogen yaitu CaO, CaO.ZnO, SrO.SiO₂ dan K₃PO₄. Katalis tersebut tersedia secara komersial namun untuk mengurangi biaya operasional dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan digunakan katalis CaO dari cangkang telur ayam (Mahreni & Sulistyawati, 2011; Niawanti, 2020).

Cangkang telur ayam mengandung kalsium karbonat (CaCO₃) sebanyak 98,45%, magnesium karbonat (MgCO₃) sebanyak 0,84%, kalsium fosfat (Ca₃(PO₄)₂) sebanyak 0,75% dan bahan-bahan organik seperti protein sebanyak 3,3% (Yuwanta (2010) dalam Oko & Feri, 2019). Komponen utama dari cangkang telur ayam yaitu CaCO₃ yang dapat diubah menjadi CaO melalui proses kalsinasi. Oleh karena itu, cangkang telur ayam dapat digunakan sebagai sumber CaO dengan kemurnian tinggi, sehingga dapat berfungsi sebagai katalis (Berghuis et al., 2019; Oko & Feri, 2019; Santoso et al., 2013).

Penelitian yang berkaitan dengan pembuatan biodiesel dengan penambahan katalis CaO telah dilakukan Wendi et al. (2015), dihasilkan rendemen biodiesel sebanyak 82,43%. Penelitian yang berkaitan dengan pembuatan biodiesel dengan penambahan katalis CaO super basa telah

dilakukan Oko dan Syahrir (2017) dihasilkan rendemen biodiesel sebesar 90,47%. Impregnasi katalis CaO menggunakan KOH 11% menghasilkan rendemen biodiesel minyak jarak sebesar 96,078% (Oko & Feri, 2019). Oleh karena itu, penelitian biodiesel dari minyak biji alpukat menggunakan katalis CaO dan CaO super basa dari cangkang telur ayam perlu dilakukan.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan yaitu minyak biji alpukat (Eteris Nusantara), limbah cangkang telur ayam broiler, metanol, asam sulfat_(p), ammonium karbonat ((NH₄)₂CO₃), larutan KOH-alkohol, etanol 95%, natrium hidroksida (NaOH), kloroform, asam periodat, kalium iodida (KI), natrium tiosulfat (Na₂S₂O₃) 0,01 N, larutan kanji, larutan *wijs*, indikator *fenolftalein*, asam klorida 0,5 N dan akuades.

Alat-alat yang digunakan yaitu labu leher 3, kondensor, *hot plate*, termometer, *magnetic stirrer*, neraca analitik, *X-Ray Fluorescence* (XRF) (*Epsilon 5*), Kromatograf Gas-Spektrometri Massa (KG-SM) (*Clarus 580*), *Fourier Transform InfraRed* (FTIR) (*Perkinelmer Oilexpress*), alat uji angka setana, alat uji viskositas kinematik, alat uji titik nyala (*eralytics*), *density meter* (KEM DA-645), erlenmeyer, buret 50 mL, refluks, dan alat gelas lainnya (Iwaki).

Metode

Profil Asam Lemak Minyak Biji Alpukat dengan Kromatografi Gas Spektrometri Massa (KG-SM) (AOAC 965.49)

Minyak biji alpukat sebanyak 0,2 gram ditimbang dalam erlenmeyer asah 250 mL. NaOH-metanol 0,5 M sebanyak 10 mL dan batu didih ditambahkan ke dalam erlenmeyer asah yang sudah berisi sampel minyak biji alpukat. Sampel direfluks selama 5-10 menit (dihitung pada saat mendidih), kemudian didinginkan. Larutan BF₃ sebanyak 10 mL ditambahkan ke dalam sampel, direfluks selama 2 menit (dihitung pada saat mendidih), dan didinginkan. Heptana sebanyak 5 mL ditambahkan ke dalam sampel, direfluks selama 1 menit (dihitung pada saat mendidih), dan didinginkan. Sampel dimasukkan ke tabung *Quechers* 50 mL. NaCl jenuh sebanyak 15 mL ditambahkan ke tabung *Quechers* yang berisi sampel, dan dihomogenkan dengan cara dikocok. Sampel diencerkan sesuai kebutuhan.

Sampel diuji profil asam lemak dengan menggunakan KG-SM.

Sampel sebanyak 1 µL diinjeksikan ke dalam KG-SM. Kolom yang digunakan adalah *capillary highly polar Supelco SP-2560 bicyanopropyl siloxane* dengan panjang 100 m, diameter 0,2 µm dan ketebalan 0,25 mm. Suhu oven yang digunakan antara 130-240°C. Laju kenaikan suhu 3,5°C/menit dan kecepatan aliran 1,9 mL/menit. Gas pembawa yang digunakan adalah Nitrogen bertekanan 60 psi dan *split ratio* sebesar 1:40. Komponen yang dialirkan akan terdeteksi pada detektor massa. Spektrum senyawa yang diketahui akan tersimpan di *library* dan dapat menentukan jenis asam lemak dalam minyak biji alpukat.

Asam Lemak Bebas (ALB) (Oko & Syahrir, 2017)

Minyak biji alpukat sebanyak 5 gram ditimbang dalam erlenmeyer 250 mL. Etanol 95% sebanyak 50 mL dinetralkan dengan NaOH 0,1 N dengan bantuan indikator *fenolftalein*, dimasukkan ke labu Erlenmeyer 250 mL dan dihomogenkan. Indikator *fenolftalein* ditambahkan ke dalam larutan sampel sebanyak 5 tetes. Sampel dititrasikan dengan NaOH 0,1 N sampai titik akhir warna merah muda. Volume NaOH dicatat dan dihitung kadar asam lemak bebas dengan rumus sebagai berikut:

$$\%ALB = \frac{Vp \times Np \times BM}{m} \times 100 \%$$

Keterangan:

Vp: Volume titran (mL); Np: Normalitas titran (N); BM: Berat molekul asam lemak terbanyak; m: Massa sampel (mg)

Tahapan Proses Esterifikasi (Sartika et al., 2015)

Sampel minyak biji alpukat dan metanol disiapkan sesuai dengan hasil perhitungan rasio minyak biji alpukat:metanol yaitu 1:18. Katalis H₂SO₄ (p) sebanyak 3% (b/b) dari bobot minyak biji alpukat ditambahkan ke dalam piala gelas yang sudah berisi metanol dan diaduk sampai merata. Minyak biji alpukat dipanaskan sampai suhu 50°C. Minyak biji alpukat dan metanol yang telah dicampur katalis H₂SO₄ (p) dimasukkan ke labu leher tiga yang telah dilengkapi dengan termometer, *hot plate*, *magnetic stirrer* dan kondensor. Campuran dipanaskan pada suhu 70°C selama 3 jam dengan pengadukan 600 rpm. Campuran yang telah dipanaskan dimasukkan ke corong pisah, dicuci menggunakan air hangat

sampai air cucian bening. Air cucian bagian bawah dibuang dan bagian atasnya dimasukkan ke labu leher tiga untuk proses *trans*-esterifikasi. Hasil esterifikasi dipanaskan diatas pada suhu 105°C selama ± 1 jam, suhu diturunkan sampai 50°C. Hasil esterifikasi digunakan untuk proses *trans*-esterifikasi.

Pembuatan Katalis CaO (Oko dan Syahrir, 2017)

Cangkang telur ayam broiler sebanyak 1 kg ditimbang, dicuci menggunakan air sampai bersih dan dikeringkan di dalam oven pada suhu 110°C selama 24 jam. Cangkang telur kering dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan berukuran 200-325 mesh. Bubuk cangkang telur tersebut dikalsinasi pada suhu 950°C selama 2 jam. Hasil kalsinasi disimpan di dalam desikator untuk menjaga kondisi katalis CaO agar tetap kering. Katalis CaO diuji kemurniannya menggunakan alat *X-Ray Fluorescence* (XRF).

Pembuatan Katalis CaO Super Basa (Oko dan Syahrir, 2017)

Katalis CaO dari hasil kalsinasi pertama ditimbang sebanyak 3,5 gram dalam piala gelas 100 mL. Katalis CaO ditambahkan larutan (NH₄)₂CO₃ 0,69 g/mL sebanyak 50 mL sambil dilakukan proses pengadukan. Padatan dan larutan dipisahkan menggunakan kertas saring Whatman No.42. Padatan dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 24 jam atau sampai massanya telah mencapai konstan. Padatan yang telah kering dikalsinasi pada suhu 900°C selama 1,5 jam. Katalis CaO super basa yang dihasilkan, disimpan dalam desikator untuk menjaga kondisi katalis agar tetap kering. Katalis CaO super basa diuji kemurniannya menggunakan alat *X-Ray Fluorescence* (XRF).

Analisis Komposisi Kimia Katalis CaO dan CaO Super Basa dengan XRF (ASTM C114-10)

Sampel katalis CaO/CaO super basa dimasukkan ke dalam *Cassette* dan diletakkan pada tempat sampel pada *X-Ray Fluorescence*. Alat dikondisikan (*drift correction*, kurva kalibrasi) sesuai tipe XRF dan jenis sampel yang akan dianalisis. Analisis dilakukan sesuai tipe XRF, secara otomatis akan menganalisis sampel dan data analisis akan terlihat di layar monitor.

Tahapan Proses *trans*-Esterifikasi (Miskah et al., 2016)

Sampel minyak biji alpukat dan metanol disiapkan sesuai dengan hasil perhitungan rasio minyak biji alpukat:metanol dengan perbandingan 1:6. Katalis CaO/CaO super basa sebanyak 1,5% (b/b) dari bobot minyak biji alpukat dimasukkan ke dalam piala gelas yang sudah berisi metanol, lalu diaduk sampai merata. Minyak biji alpukat dipanaskan sampai suhu 48-54°C. Minyak biji alpukat dan metanol yang telah dicampur katalis CaO/CaO super basa dimasukkan ke labu leher tiga yang telah dilengkapi dengan termometer, *hot plate*, *magnetic stirrer* dan kondensor. Campuran dipanaskan pada suhu 60-65°C selama 2 jam dengan pengadukan 600 rpm. Campuran tersebut didiamkan dalam piala gelas selama 24 jam hingga terbentuk 3 lapisan. Setelah itu, campuran dimasukkan ke corong pisah dan didiamkan selama 24 jam. Setelah 24 jam campuran terbagi menjadi 3 lapisan, lapisan paling bawah adalah katalis CaO yang harus dipisahkan dari 2 lapisan cairan di atasnya. Pada bagian atas terdapat senyawa metil ester (biodiesel) dan pada bagian bawah terdapat senyawa gliserol sebagai hasil samping dari proses *trans*-esterifikasi. Metil ester dan gliserol dipisahkan ke dalam piala gelas. Metil ester dicuci menggunakan aquades yang telah dipanaskan hingga suhu 50°C sebanyak 2-3 kali, hingga air cucian bening. Metil ester dipanaskan dalam oven 110°C untuk menghilangkan air yang masih tertinggal dalam metil ester. Metil ester yang telah dihilangkan kandungan airnya ditimbang dan dihitung perolehan rendemennya menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\% \text{ Rendemen} = \frac{\text{Bobot metil ester}}{\text{Bobot Minyak Biji Alpukat}} \times 100 \%$$

Karakterisasi gugus fungsi Biodiesel menggunakan Spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) (ASTM E2412)

Sampel metil ester hasil reaksi *trans*-esterifikasi disiapkan untuk ditransfer pada alat FTIR melalui pipa kapiler dan diidentifikasi gugus fungsinya pada bilangan gelombang 550-4000 cm⁻¹.

Pengujian Sifat Fisika dan Kimia Biodiesel (SNI 7182-2015)

Pengujian sifat fisika dan kimia biodiesel minyak biji alpukat terdiri dari angka setana, massa jenis, titik nyala, viskositas kinematik, kadar gliserol total, angka asam, angka penyabunan dan angka iodium.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Profil Asam Lemak dari Minyak Biji Alpukat

Hasil analisis jenis asam lemak dari minyak biji alpukat menggunakan alat Kromatografi Gas-Spektrometri Massa (KG-SM), diperoleh hasil yang terbanyak adalah *cis*-9-asam oleat (56,58%) (Tabel 1).

Tabel 1. Asam Lemak Penyusun Minyak Biji Alpukat

No.	Asam Lemak	%Komposisi
1.	Asam Heksanoat	8,76
2.	Asam Oktanoat	0,03
3.	Asam Miristoleat	0,08
4.	Asam Pentadekanoat	0,01
5.	<i>Cis</i> -10-Asam pentadekanoat	0,03
6.	Asam Palmitoleat	15,98
7.	Asam Heptadekanoat	4,65
8.	<i>Cis</i> -10-Asam heptadekanoat	0,03
9.	Asam Stearat	0,03
10.	<i>Trans</i> -9-Asam Elaidat	0,73
11.	<i>Cis</i> -9-Asam Oleat	56,58
12.	Asam Linolelaidat	4,29
13.	Asam Arakidat	8,10
14.	<i>Gamma</i> -Asam Linolenat	0,05
15.	Asam Linolenat	0,14
16.	Asam Heneikosanoat	0,40
17.	<i>Cis</i> -8,11,14-Asam eikosatrienoat	0,05
18.	Asam Lignoserat	0,06
Total		100,00

Komposisi asam lemak yang terkandung dalam minyak biji alpukat yaitu *cis*-9-asam oleat (C18:1) sebanyak 56,58%, asam palmitoleat (C16:1) sebanyak 15,98%, asam heksanoat (C6:0) sebanyak 8,76%, asam arakidat (C20:0) sebanyak 8,10%, asam heptadekanoat (C17:0) sebanyak 4,65%, asam linolelaidat (C18:2) sebanyak 4,29% dan asam lemak lainnya dengan persentase kandungan kurang dari 1%. Komposisi asam lemak dari penelitian ini didominasi oleh asam lemak tak jenuh, dengan jumlah persentase 77%. Hasil ini tidak berpengaruh baik terhadap kualitas biodiesel, terutama untuk angka setana dan titik leleh. Semakin banyak jumlah ikatan rangkap asam lemak (asam lemak tak jenuh) suatu minyak dengan jumlah rantai karbon yang sama, maka angka setana dan titik leleh semakin kecil (Joelianingsih et al., 2008). Kualitas biodiesel pada umumnya dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu komposisi asam-asam lemak dari

minyak nabati atau lemak hewan, kualitas bahan baku (misalnya kandungan asam lemak bebas, belerang/sulfur, dan fosfor), proses pembuatannya dan bahan-bahan lain yang digunakan seperti katalis. Kualitas biodiesel yang dipengaruhi oleh komposisi asam-asam lemak dari minyak atau lemak asalnya adalah densitas, viskositas, angka setana, nilai kalor dan titik kabut (Joelianingsih et al., 2008).

Profil Asam Lemak Bebas (ALB) Minyak Biji Alpukat

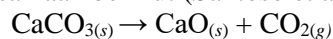
Minyak biji alpukat yang digunakan dalam pembuatan biodiesel harus memiliki nilai ALB < 2%, jika > 2%, maka diperlukan proses esterifikasi terlebih dahulu, sebelum proses *trans*-esterifikasi untuk menurunkan nilai asam lemak bebas tersebut. Menurut Miskah et al. (2016), nilai ALB yang tinggi dapat mengganggu proses *trans*-esterifikasi karena asam lemak bebas dapat bereaksi dengan katalis membentuk sabun. Proses esterifikasi merubah asam lemak bebas menjadi metil ester (Risyard et al., 2016). Hasil analisis ALB dari minyak biji alpukat adalah 2,03%, sehingga minyak biji alpukat tersebut dapat digunakan sebagai bahan baku, tetapi harus diesterifikasi terlebih dahulu. Proses esterifikasi dilakukan dengan penambahan katalis asam. Jika ALB kurang dari 2% maka tidak perlu dilakukan *trans* esterifikasi (Rachmanita & Safitri, 2020).

Proses Esterifikasi

Proses esterifikasi dilakukan untuk menurunkan kadar ALB yang terkandung dalam minyak nabati, dengan cara mengkonversi ALB menjadi metil ester menggunakan katalis asam, seperti asam sulfat (H₂SO₄), asam fosfat (H₃PO₄) dan asam sulfonat. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa setelah reaksi esterifikasi kadar ALB minyak biji alpukat mengalami penurunan sebesar 82,76%, dari 2,03% menjadi 0,35%. Penurunan kadar ALB pada minyak nabati disebabkan oleh ALB yang memiliki berat molekul tinggi berhasil dikonversi menjadi metil ester yang memiliki berat molekul lebih rendah (Djenar & Lintang, 2012). Keberhasilan reaksi esterifikasi dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya waktu, suhu, jumlah katalis, pengadukan dan konsentrasi reaktan (Niawanti, 2020). Minyak biji alpukat hasil esterifikasi tersebut digunakan untuk reaksi *trans*-esterifikasi dengan penambahan katalis CaO dan CaO super basa.

Katalis CaO dari Cangkang Telur Ayam Broiler

Katalis CaO yang digunakan dalam penelitian ini dari cangkang telur ayam broiler. Cangkang telur mengandung 94% kalsium karbonat (CaCO₃), kalsium fosfat (1%), bahan-bahan organik (4%) dan magnesium karbonat (1%) dari total bobot keseluruhan (Yuwanta (2010) dalam Oko & Feri, 2019). Katalis CaO cangkang telur ayam broiler disintesis dengan cara kalsinasi. Tujuan kalsinasi cangkang telur ayam broiler untuk menghilangkan senyawa CO₂ melalui reaksi dekomposisi CaCO₃ yang terkandung dalam cangkang telur ayam broiler, sehingga diperoleh senyawa CaO (Santoso et al., 2013). Reaksi dekomposisi CaCO₃ menjadi CaO sesuai persamaan berikut (Santoso et al., 2013):

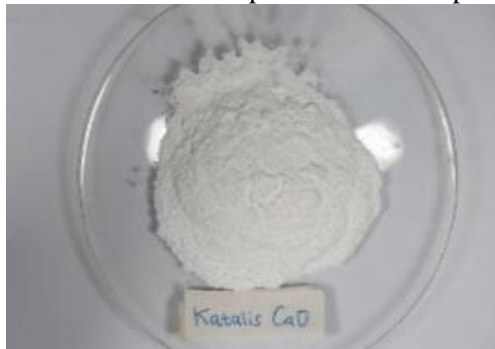


Di akhir reaksi, pembentukan CaO dari dekomposisi CaCO₃ pada cangkang telur ayam broiler ditandai dengan penurunan bobot materi sebagai akibat dilepaskannya CO_{2(g)} dari reaksi dekomposisi tersebut (Haryono et al., 2018). Persen kehilangan bobot terhitung dari 6 kali kalsinasi cangkang telur ayam broiler pada suhu 950 °C selama 2 jam, berkisar antara 54,52-55,61% atau jika dirata-rata sebesar 54,52%, sedangkan *yield* CaO yang diperoleh berkisar antara 44,39-45,48% atau jika dirata-rata sebesar 45,08%. Pada penelitian Haryono et al. (2018), 5 kali kalsinasi cangkang telur ayam broiler pada suhu 900°C selama 8 jam, CaCO₃ terdekomposisi menjadi CaO dengan persen kehilangan berat berkisar antara 44,75-45,47% atau jika dirata-rata sebesar 45,18%, sedangkan *yield* CaO yang diperoleh berkisar antara 54,53-55,25% atau jika dirata-rata 54,82%.

Berdasarkan persamaan reaksi dekomposisi CaCO₃, 1 mol CaCO₃ akan terdekomposisi menjadi 1 mol CaO dan 1 mol CO₂. Sedangkan, berdasarkan data pada penelitian ini, dengan asumsi kadar CaCO₃ dalam cangkang telur ayam broiler 94%, diperoleh hubungan kuantitas 1 mol CaCO₃ terdekomposisi menjadi 0,80 mol CaO dan 1,22 mol CO₂. Hasil tersebut menunjukkan bahwa CaCO₃ tidak terdekomposisi sempurna menjadi CaO, sehingga hasilnya lebih kecil dari mol teoritis. Dan adanya kontribusi mineral lain selain CaCO₃ yang terdapat dalam cangkang telur ayam broiler, sehingga mol CO₂ yang dihasilkan lebih besar dari hasil teoritis (Haryono et al., 2018).

Berdasarkan Gambar 1, serbuk CaO didominasi oleh warna putih dan abu kehitaman. Warna abu kehitaman tersebut disebabkan oleh

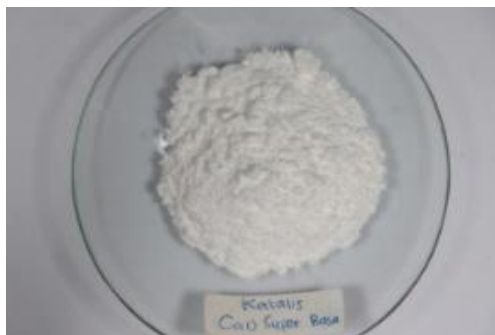
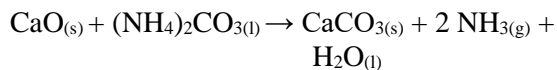
komponen abu organik pada cangkang telur, abu organik belum terdekomposisi secara sempurna.



Gambar 1. Katalis CaO

Katalis CaO Super Basa dari CaO Kalsinasi

Pembuatan katalis CaO super basa dilakukan dengan mencampurkan katalis CaO hasil kalsinasi pertama dengan senyawa basa ammonium karbonat ((NH₄)₂CO₃) dengan konsentrasi 0,69 g/mL. Reaksi yang terjadi pada proses perendaman katalis CaO dengan ammonium karbonat yaitu:



Gambar 2. Katalis CaO super basa

Berdasarkan persamaan reaksi, 1 mol CaO yang bereaksi dengan 1 mol (NH₄)₂CO₃ akan menghasilkan 1 mol CaCO₃, 2 mol NH₃ dan 1 mol H₂O. Selanjutnya, 1 mol CaCO₃ hasil dari reaksi ini terdekomposisi menjadi 1 mol CaO dan 1 mol CO₂. Pada penelitian Oko and Syahrir (2017), CaO yang direaksikan dengan ammonium karbonat 0,69 g/mL menghasilkan katalis CaO super basa dengan kadar CaO 92,66%. Konsentrasi (NH₄)₂CO₃ yang ditambahkan berpengaruh terhadap CaO yang dihasilkan, semakin tinggi konsentrasi (NH₄)₂CO₃, semakin banyak CaO yang dapat terendapkan dalam bentuk senyawa karbonat, sehingga semakin

tinggi kadar CaO yang diperoleh (Oko & Feri, 2019).

Berdasarkan Gambar 2, katalis CaO yang diperoleh memiliki warna putih secara merata sesuai spesifikasi CaO. Warna putih yang merata berarti abu organik sudah terdekomposisi dan terlepas dari permukaan CaO, sehingga warna abu kehitaman berubah menjadi putih (Miskah et al., 2016).

Hasil analisis XRF dari Katalis CaO dan CaO Super Basa

Hasil analisis XRF katalis CaO dan CaO super basa dari limbah cangkang telur ayam broiler ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Analisis Spektrometri XRF

No	Elemen	Katalis	
		CaO (%)	CaO Super Basa (%)
1.	SiO ₂	1,20	1,40
2.	Al ₂ O ₃	0,44	0,51
3.	Fe ₂ O ₃	0,04	0,04
4.	CaO	57,78	66,09
5.	MgO	0,91	1,10
6.	SO ₃	0,62	0,46
7.	K ₂ O	0,236	0,227
8.	Na ₂ O	0,011	0,010
9.	Cl	0,044	0,039

Tabel 2 menunjukkan bahwa elemen oksida katalis yang terbuat dari limbah cangkang telur ayam broiler memiliki kemurnian sebesar 57,78% untuk katalis CaO dan 66,09% untuk katalis CaO super basa. Pada penelitian Suhardin et al. (2018), kalsinasi batu kapur pada suhu 950°C menghasilkan CaO dengan kemurnian 96,59%. Pada penelitian ini kemurnian senyawa CaO dalam kedua katalis tersebut masih cukup rendah, jika mengacu terhadap kemurnian CaO secara komersial yaitu 100% (LTSR Lab, 2015). Hal tersebut disebabkan karena masih terdapat senyawa CaCO₃ yang tidak terdekomposisi secara sempurna menjadi CaO dan CO₂, sehingga membentuk senyawa CaCO₃ dalam fasa *calcite* (fasa stabil). Selain itu, kemungkinan adanya senyawa Ca(OH)₂ yang terbentuk karena adanya reaksi antara katalis CaO dengan uap air yang berasal dari proses penyimpanan katalis yang tidak tepat. Penyimpanan katalis CaO harus dalam wadah tertutup rapat atau tersimpan dalam desikator (Santoso et al., 2013) dan (Oko & Feri, 2019). Katalis CaO dan CaO super basa digunakan dalam reaksi *trans*-esterifikasi minyak biji alpukat.

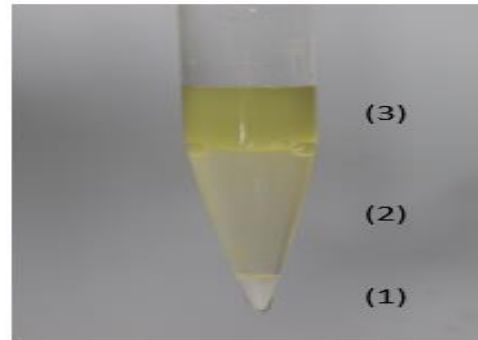
Proses *trans*-Esterifikasi

Pada penelitian ini, reaksi *trans*-esterifikasi yang dilakukan merupakan tahap lanjutan setelah reaksi esterifikasi. Reaksi *trans*-esterifikasi memerlukan katalis untuk mendapatkan rendemen biodiesel yang lebih banyak dan lebih berkualitas. Katalis basa heterogen lebih baik digunakan dalam proses reaksi *trans*-esterifikasi biodiesel dibandingkan dengan katalis basa homogen, karena dapat menghasilkan rendemen proses *trans*-esterifikasi lebih tinggi (Elliyanti et al., 2017) dan (Enguilo Gonzaga et al., 2021). Pada penelitian ini digunakan katalis basa heterogen yaitu katalis CaO dari limbah cangkang telur ayam broiler. Katalis CaO dan CaO super basa dari limbah cangkang telur ayam broiler yang sudah dikalsinasi dan memiliki kemurnian >50%. Persen kemurnian CaO >50% berpengaruh terhadap hasil rendemen biodiesel, karena katalis CaO dan CaO super basa tersebut kemungkinan masih mengandung CaCO₃. Senyawa CaCO₃ merupakan komponen utama CTAB tidak berfungsi sebagai fasa aktif pada proses *trans*-esterifikasi, hal tersebut dapat menurunkan perolehan rendemen biodiesel (Zuhra et al., 2015; Erchamo et al., 2021).

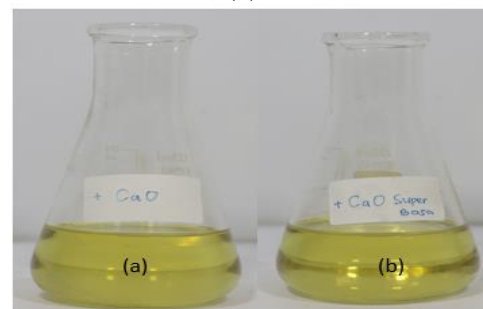
Hasil *trans*-esterifikasi minyak biji alpukat dengan katalis CaO dan CaO super basa menghasilkan 3 lapisan setelah didiamkan selama 24 jam. Lapisan 1, lapisan paling bawah merupakan katalis CaO/CaO super basa. Katalis CaO/CaO super basa dapat dengan mudah dipisahkan dari campuran reaksi sehingga dapat digunakan kembali. Lapisan 2, diduga sebagai gliserol. Lapisan 3, lapisan paling atas berwarna kuning merupakan metil ester (biodiesel). Lapisan 2 dan lapisan 3 dipisahkan dari lapisan 1 dan dimasukkan kedalam corong pisah untuk memudahkan proses pemisahan biodiesel dan gliserol serta mencegah katalis CaO/CaO super basa ikut tercampur kembali ke dalam lapisan biodiesel.

Biodiesel yang telah dipisahkan masih banyak mengandung pengotor. Pengotor yang masih terdapat dalam biodiesel adalah sisa katalis CaO/CaO super basa, gliserol dan sisa alkohol yang tidak bereaksi. Pengotor tersebut dihilangkan dengan proses pencucian menggunakan air hangat sebanyak 3-5 kali atau sampai air cucian bening. Air digunakan dalam proses pencucian biodiesel karena air mampu menarik gliserol yang memiliki sifat polar yang sama dengan air. Pencucian dengan air hangat

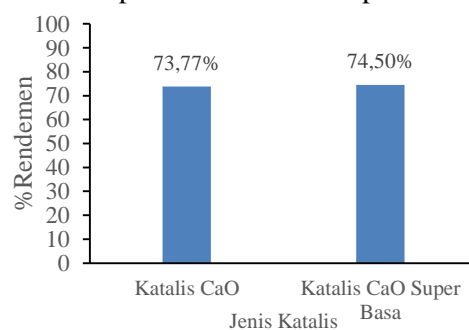
mampu meningkatkan kelarutan dari pengotor, sehingga proses pencucian lebih mudah (Berghuis et al., 2019). Setelah proses pencucian, biodiesel dipanaskan dalam oven 110°C untuk menghilangkan air yang masih tertinggal dalam biodiesel. Biodiesel yang telah dihilangkan kandungan airnya ditimbang dan diperoleh persentase rendemennya.



Gambar 3. Hasil *trans*-Esterifikasi menggunakan katalis CaO/CaO super basa, (1) Katalis CaO/CaO super basa, (2) Gliserol, (3) Biodiesel



Gambar 4. (a) Biodiesel minyak biji alpukat katalis CaO, (b) Biodiesel minyak biji alpukat katalis CaO super basa



Gambar 5. Persen Rendemen Biodiesel Minyak Biji Alpukat

Persentase rendemen biodiesel yang dihasilkan sebesar 73,77% untuk katalis CaO dan 74,50% untuk katalis CaO super basa. Dari hasil tersebut, proses *trans*-esterifikasi dengan penambahan katalis CaO super basa mendapatkan persentase rendemen biodiesel yang lebih banyak dibandingkan dengan penambahan katalis CaO. Menurut (Niawanti, 2020), CaO super basa

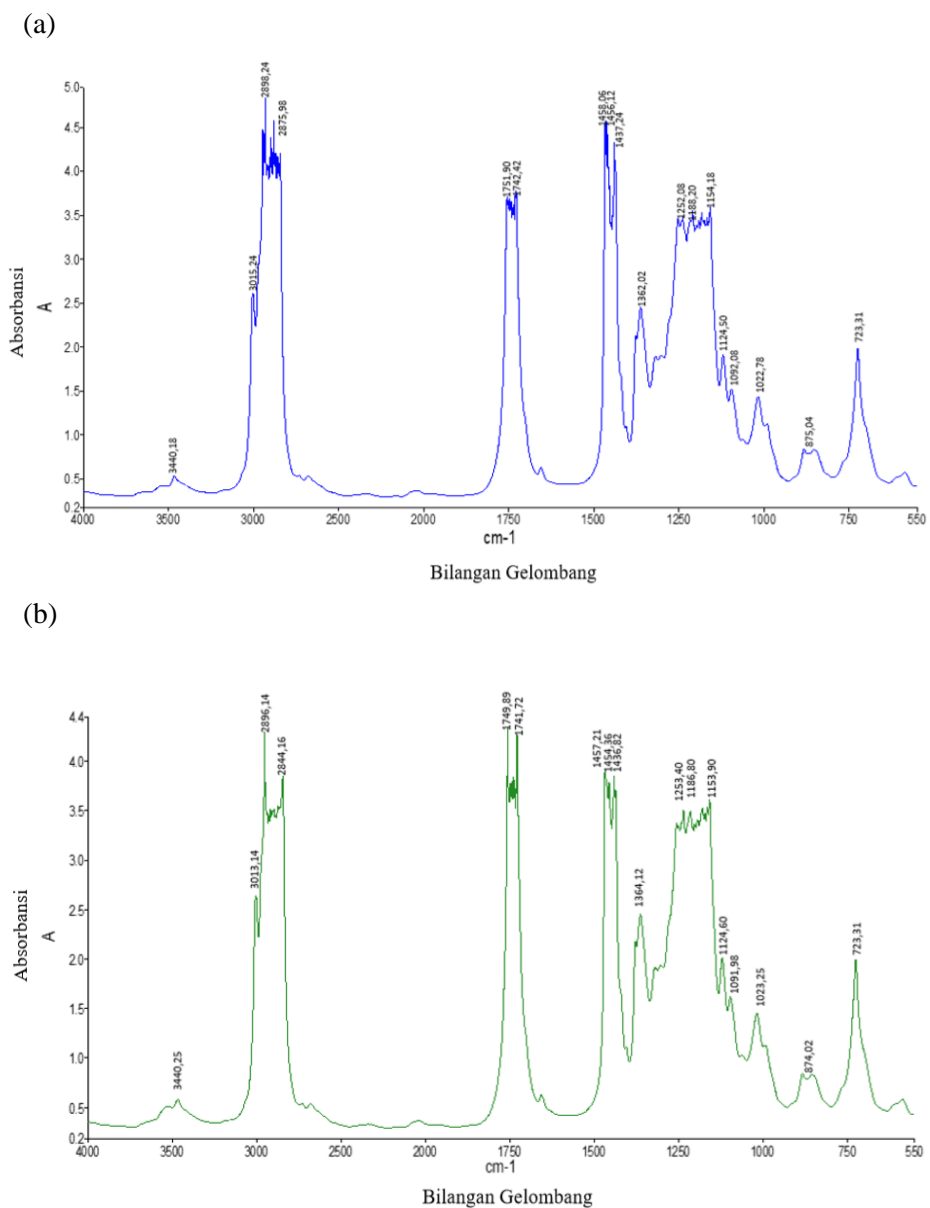
memiliki aktivitas sebagai katalis yang lebih tinggi dibandingkan dengan CaO dalam menghasilkan rendemen biodiesel. Hasil rendemen biodiesel penelitian ini hasilnya lebih sedikit dari penelitian-penelitian sebelumnya.

Penelitian yang dilakukan Deepalakshmi et al. (2014), *trans*-esterifikasi minyak biji alpukat menggunakan katalis homogen NaOH menghasilkan rendemen biodiesel 94,40%. Penelitian Wendi et al. (2015), proses *trans*-esterifikasi minyak dari limbah lemak sapi dengan katalis CaO 3% (b/b) menghasilkan rendemen biodiesel 82,43%. Penelitian Oko dan Syahrir (2017), *trans*-esterifikasi minyak kelapa sawit dengan penambahan katalis CaO super basa 1,5%

(b/b) menghasilkan rendemen biodiesel 90,47%. Penelitian (Oko & Feri, 2019) menghasilkan rendemen 96,073% dari minyak jarak. Hal tersebut dapat terjadi karena proses reaksi *trans*-esterifikasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu kandungan asam lemak bebas dan kelembaban minyak, katalis, perbandingan molar alkohol dengan minyak, suhu reaksi dan waktu reaksi (Enguilo Gonzaga et al., 2021; Erchamo et al., 2021).

Karakterisasi Gugus Fungsi Biodiesel

Hasil analisis FTIR dari biodiesel berupa pita-pita serapan pada bilangan gelombang tertentu (Gambar 6 dan Tabel 3).



Gambar 6. Spektrum FTIR Biodiesel Minyak Biji Alpukat terkatalisis CaO (a) dan terkatalisis CaO super basa (b)

Tabel 3. Daerah Serapan FTIR Biodiesel Minyak Biji Alpukat

No.	Daerah Serapan (cm ⁻¹)	Ikatan	Nama Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang Terukur (cm ⁻¹)		Vibrasi
				Biodiesel Katalis CaO	Biodiesel Katalis CaO super basa	
1.	1050-1260	C-O	Eter	1092,08	1091,98	Ulur
2.	1110-1300	C-O	Ester	1124,50 1154,18 1188,20 1252,80	1124,60 1153,90 1186,80 1253,40	Ulur
3.	1740-1760	C=O	Ester	1742,42 1751,90	1741,72 1749,89	Ulur, tidak simetris
4.	1445-1475	C-H	Metil	1437,24 1456,12 1458,06	1436,82 1454,36 1457,21	simetris
5.	2820-2975	C-H	Metil	2898,24 2875,98	2896,14 2844,16	ulur, tidak simetris
6.	3000-3700	O-H	Alkohol	3015,24 3440,18	3013,14 3440,25	ulur
7.	1350-1480	CH ₃ -, CH ₂ -		1362,02	1364,12	tekuk
8.	675-1000	-CH=CH-	Alkena	875,04	874,02	ulur

Tabel 4. Sifat Fisika dan Kimia Biodiesel Minyak Biji Alpukat

No	Parameter Uji	Satuan	Metode Uji	Hasil Pengujian Biodiesel		SNI 7182-2015
				Katalis CaO	Katalis CaO Super Basa	
1	Angka Setana	-	ASTM D 613	48,50	49,40	Min. 51
2	Massa Jenis @40 °C	Kg/m ³	ASTM D 4052	867,90	882,00	850-890
3	Titik Nyala	°C	ASTM D 93	178,40	181,20	Min. 100
4	Viskositas Kinematik @40 °C	cSt	ASTM D 445	5,15	5,47	2,30-6,00
5	Gliserol Total	%-massa	SNI 7182:2015	0,16	0,15	Maks. 0,24
6	Angka Asam	mg KOH/g	ASTM D 664	0,42	0,26	Maks. 0,50
7	Angka Penyabunan	mg KOH/g	SNI 7182:2015	190,04	191,19	171-228
8	ALB	%-massa	SNI 7182:2015	98,21	98,47	Min. 96,50
9	Angka Iodium	g I ₂ /100 g	SNI 7182:2015	14,29	17,04	Maks. 115

Biodiesel minyak biji alpukat menggunakan katalis CaO dan CaO super basa memiliki puncak-puncak gelombang yang menunjukkan adanya gugus fungsi metil, eter, alkena dan ester (ikatan C=O dan ikatan C-O). Gugus fungsi alkohol dan gugus fungsi karbonil yang memiliki bilangan gelombang yang tidak berbeda signifikan. Gugus-gugus fungsi tersebut sesuai dengan penelitian Berghuis et al. (2019) bahwa biodiesel minyak biji alpukat terdapat gugus fungsi metil, eter, alkena, ester (ikatan C=O dan ikatan C-O), alkohol dan gugus fungsi karbonil. Sedangkan, penelitian

Aziz et al. (2016), biodiesel minyak biji kemiri terdapat gugus fungsi metil, ester dan karbonil. Penelitian Tehubijuluw et al. (2014), biodiesel minyak jelantah terdapat gugus fungsi ester, metil, karbonil dan OH dari gliserol. Pada hasil penelitian ini, biodiesel minyak biji alpukat memiliki perbedaan dengan biodiesel minyak biji kemiri dan minyak jelantah, yaitu terdapat gugus fungsi alkena, yang menunjukkan adanya ikatan rangkap asam lemak tak jenuh (Sutapa et al. 2013). Hal tersebut karena asam lemak dari penelitian ini didominasi oleh asam lemak tak

jenuh, dengan persentase sebesar 77% (Tabel 4). Proses *trans*-esterifikasi yang telah dilakukan tidak 100% mengkonversi minyak biji alpukat menjadi senyawa metil ester karena adanya tumpang tindih beberapa vibrasi ikatan (Berghuis et al., 2019).

Sifat Fisika dan Kimia Biodiesel

Pengujian sifat fisika dan kimia biodiesel dilakukan untuk mengetahui kesesuaian hasil pengujian sampel biodiesel minyak biji alpukat dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) 7182-2015. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 4. Hasil pengujian sifat fisika dan kimia biodiesel minyak biji alpukat sesuai dengan spesifikasi Standar Nasional Indonesia (SNI) 7128:2015, kecuali untuk angka setana yang tidak memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. Berdasarkan SNI 7182-2015 angka setana untuk bahan bakar biodiesel minimal sebesar 51 dan untuk bahan bakar solar minimal 48. Secara umum, biodiesel memiliki angka setana yang lebih tinggi daripada solar, karena pada biodiesel terdapat rantai hidrokarbon yang panjang dan kandungan asam lemak jenuh yang tinggi dibandingkan pada solar (Niawanti, 2020). Hasil penelitian ini didukung oleh penelitian (Rachmanita & Safitri, 2020) yang menghasilkan biodiesel dengan angka setana 44,77.

Pada penelitian ini, nilai angka setana biodiesel minyak biji alpukat sebesar 48,50 untuk katalis CaO dan 49,40 untuk katalis CaO super basa. Hasil tersebut tidak memenuhi spesifikasi nilai angka setana SNI 7182-2015. Hal ini disebabkan oleh komposisi asam lemak penyusun minyak biji alpukat lebih banyak mengandung asam lemak tak jenuh dibandingkan asam lemak jenuh. Biodiesel yang mengandung asam lemak jenuh seperti (asam laurat, asam miristat, asam palmitat, asam stearat, asam arakhidat dan lain-lain) yang tinggi mempunyai angka setana yang tinggi. Sedangkan, biodiesel yang mengandung asam lemak ikatan rangkap satu seperti asam palmitoleat, asam oleat dan asam erukat yang tinggi mempunyai angka setana sedang, serta asam lemak yang mengandung ikatan rangkap dua atau lebih seperti (asam linoleat, asam linolenat dan asam arakhidonat) yang tinggi mempunyai angka setana yang rendah. Keberadaan ikatan rangkap pada biodiesel merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi terjadinya reaksi oksidasi yang menyebabkan biodiesel mengalami degradasi. Degradasi biodiesel dapat menurunkan nilai angka iodium, kadar ester, nilai kalor dan angka setana (Silviana dan Buchori, 2015). Selain

itu, meningkatnya jumlah ikatan rangkap (tak jenuh) suatu biodiesel akan menyebabkan penurunan angka setana (Enguilo Gonzaga et al., 2021).

KESIMPULAN

Biodiesel minyak biji alpukat menggunakan katalis CaO super basa memiliki sifat fisika dan kimia yang lebih baik dibandingkan biodiesel minyak biji alpukat dengan menggunakan katalis CaO. Proses *trans*-esterifikasi minyak biji alpukat menghasilkan persentase rendemen biodiesel sebesar 73,77% dengan kadar *FAME* sebesar 98,21% untuk katalis CaO dan 74,50% dengan kadar *FAME* sebesar 98,47% untuk katalis CaO super basa.

DAFTAR PUSTAKA

- Aziz, R., Aisyah, & Ilyas, A. (2016). Sintesis Metil Ester dari Minyak Biji Kemiri (*Aleurites molluccana*) menggunakan Metode Ultrasonokimia. *Jurnal Al-Kimia*, 4(1), 21–30.
- Berghuis, N. T., Tamako, P. D., & Supriadin, A. (2019). Pemanfaatan Limbah Biji Alpukat (*Persea americana*) sebagai Bahan Baku Biodiesel. *Al-Kimiya*, 6(1), 36–45. <https://doi.org/10.15575/ak.v6i1.4597>
- Deepalakshmi, S., Sivalingam, A., Thirumarimurugan, M., Yasvanthrajan, N., & Sivakumar, P. (2014). In-situ transesterification and process optimization of biodiesel from waste avocado seed. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, 2014-Decem(4), 115–118.
- Djenar, N. S., & Lintang, N. (2012). Esterifikasi Minyak Kemiri Sunan (*Aleurites trisperma*) Dalam Pembuatan Biodiesel. *Bionatura-Jurnal Ilmu-Ilmu Hayati Dan Fisik*, 14(3), 229–235.
- Elliyanti, A., Zahiroh, N., & Ayu, P. (2017). Pengaruh Katalis Homogen dan Heterogen Pada Proses Reaksi Transesterifikasi (Issue December, pp. 3–7).
- Enguilo Gonzaga, V., Romero, R., Gómez-Espinosa, R. M., Romero, A., Martínez, S. L., & Natividad, R. (2021). Biodiesel Production from Waste Cooking Oil

- Catalyzed by a Bifunctional Catalyst. *ACS Omega*, 6(37), 24092–24105. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c03586>
- Erchamo, Y. S., Mamo, T. T., Workneh, G. A., & Mekonnen, Y. S. (2021). Improved biodiesel production from waste cooking oil with mixed methanol–ethanol using enhanced eggshell-derived CaO nano-catalyst. *Scientific Reports*, 11(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86062-z>
- Haryono, Natanael, L. C., Rukiah, & Yulianti, Y. B. (2018). Kalsium oksida mikropartikel dari cangkang telur sebagai katalis pada sintesis biodiesel dari minyak goreng bekas. *Jurnal Material Dan Energi Indonesia*, 08(01), 8–15.
- Joelianingsih, H. Tambunan, A., H. Soerawidjaya, T., Sagara, Y., & Abdullah, K. (2008). Prediksi Kualitas Biodiesel Berdasarkan Komposisi Asam Lemak Bahan Mentah (Minyak-Lemak). *Jurnal Keteknikan Pertanian*.
- Kementerian Pertanian. (2015). *Statistik Pertanian*. Jakarta: Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian
- Mahreni, & Sulistyawati, E. (2011). Pemanfaatan Kulit Telur Sebagai Katalis Biodiesel Dari Minyak Sawit Dan Metanol. *Rekayasa Kimia Dan Proses*, 1–6.
- Miskah, S., Anugrah, A., & Gunadi. (2016). Pemanfaatan Kulit Telur Sebagai Katalis Biodiesel dari Campuran Minyak Jelantah dan Minyak Kelapa Sawit. *Jurnal Teknik Kimia*, 22(2), 54–61.
- Niawanti, H. (2020). Review Perkembangan Metode Produksi Dan Teknologi Pemurnian Dalam Pembuatan Biodiesel. *Jurnal Chemurgy*, 4(1), 27. <https://doi.org/10.30872/cmg.v4i1.4107>
- 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*, 11(2), 103–110.
- Oko, S., & Syahrir, I. (2017). Pengaruh penambahan ammonium karbonat pada pembuatan katalis cao superbasa dari cangkang telur ayam. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi*, 3(November), 1–9.
- Rachimoellah, H. M., Resti, D. A., Zibbeni, A., & Susila, I. W. (2009). Production of Biodiesel through Transesterification of Avocado (*Persea gratissima*) Seed Oil Using Base Catalyst. *Jurnal Teknik Mesin*, 11(2), 85–90. <https://doi.org/10.9744/jtm.11.2.pp.85-90>
- Rachmanita, R. E., & Safitri, A. (2020). Pemanfaatan Minyak Biji Alpukat (*Persea americana* Mill) sebagai Bahan Baku Pembuatan Biodiesel dengan Pemurnian Water Washing. *Jurnal Ilmiah Sains*, 20(2), 88. <https://doi.org/10.35799/jis.20.2.2020.28266>
- Risyad, A., Permadani, R. L., & Mz, S. (2016). Ekstraksi minyak dari biji alpukat (*Persea Americana* Mill) menggunakan pelarut n-heptana. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 5(1), 34–39.
- Santoso, H., Kristianto, I., & Setyadi, A. (2013). *Pembuatan Biodiesel Menggunakan Katalis Basa Heterogen Berbahan Dasar Kulit Telur*.
- Sartika, A., Nurhayati, & Muhdarina. (2015). Esterifikasi Minyak Goreng Bekas dengan Katalis H₂SO₄ dan Transesterifikasi dengan Katalis CaO dari Cangkang Kerang Darah: Variasi Kondisi Esterifikasi. *Jom Fmipa*, 2(1), 178–185.
- Silviana, S., & Buchori, L. (2015). Efek Penyimpanan Biodiesel Berdasarkan Studi Kajian Degradasi Biodiesel Cpo. *Reaktor*, 15(3), 148. <https://doi.org/10.14710/reaktor.15.3.148-153>
- Suhardin, A., Ulum, M. S., & Darwis, D. (2018). Penentuan komposisi serta suhu kalsinasi optimum CaO dari batu kapur kecamatan Banawa. *Journal of Science and Technology*, 7(1), 30–35.
- Sutapa, I. W., Rosmawaty, S., & Rosmawaty, I. (2013). Biodiesel Production From Bintangur Oil (*Calophyllum Inophyllum* L.) Using Calcium Oxide (Cao) Catalyst. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 1(1), 53–60.
- Tehubijuluw, H., Sutapa, I. W., & Lethulur, M. (2014). Waste Cooking Oil Conversion To Biodeisel Catalyzed By Egg Shell Of Purebred Chiken With Ethanol As A Solvent. *Jurnal Eksakta*, 14(1), 52–64.

<https://doi.org/10.20885/eksakta.vol14.iss1.art6>

- Wendi, Valentinoh Cuaca, & Taslim. (2015). Pengaruh Suhu Reaksi dan Jumlah Katalis pada Pembuatan Biodiesel dari Limbah Lemak Sapi dengan Menggunakan Katalis Heterogen CaO dari Kulit Telur Ayam. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 4(1), 35–41. <https://doi.org/10.32734/jtk.v4i1.1458>
- Zuhra, Husin, H., Hasfita, F., & Rinaldi, W. (2015). Preparasi Katalis Abu Kulit Kerang Untuk Transesterifikasi Minyak Nyamplung Menjadi Biodiesel. *Agritech*, 35(1), 69–77.