



Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Biji Alpukat Dengan Metode Ekstraksi Destilasi Simultan

Production of Biodiesel from Avocado Seed Oil Using Simultaneous Distillation Extraction Method

Ikhwanul Hakim*, Badi Mustakim, Imas Masruroh, Yulis Sutianingsih

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Al – Khairiyah, Jalan K.H Enggus Arja No. 1

Citangkil, Kota Cilegon, 42441, Indonesia

*Email: ikhwanul2801@gmail.com

Abstrak

Buah alpukat merupakan tanaman yang banyak tumbuh subur di daerah tropis seperti Indonesia, bijinya mengandung asam lemak seperti asam linoleat, palmitat, dan oleat dan merupakan sumber yang layak untuk dijadikan biodiesel karena kandungan minyaknya yang tinggi dibandingkan dengan biji-bijian yang lain. Biodiesel adalah bahan bakar alternatif yang bisa diperbarui dan terbuat dari asam lemak yang berasal dari bahan nabati atau hewani. Pembuatan biodiesel dari minyak biji alpukat menggunakan metoda ekstraksi destilasi simultan menggunakan pelarut n-heksan dengan rendemen sebesar 3,65%. Minyak hasil ekstraksi dianalisis kadar asam lemak bebas (*Free Fatty Acid/FFA*) dan diperoleh nilai sebesar 1,28%, sehingga minyak dapat langsung diproses melalui tahap transesterifikasi tanpa esterifikasi. Proses transesterifikasi dilakukan menggunakan metanol dengan katalis basa KOH. Biodiesel yang dihasilkan selanjutnya dimurnikan dan diuji kualitasnya. Hasil pengujian menunjukkan bilangan penyabunan minyak biji alpukat sebesar 305,745 mgKOH/g dan biodiesel sebesar 30,8 mgKOH/g, bilangan asam minyak biji alpukat sebesar 2,8 mgKOH/g dan biodiesel sebesar 1,8 mgKOH/g, densitas minyak biji alpukat dan biodiesel masing-masing sebesar 0,912 g/mL dan 0,835 g/mL, serta nilai viskositas berturut-turut sebesar 6,128 cSt dan 1,953 cSt. Pada uji nyala, pengujian pertama tanpa penggunaan sampel biodiesel menghasilkan nyala api kecil, sedangkan pada pengujian kedua dan ketiga menggunakan sampel minyak biodiesel menghasilkan nyala api besar. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, biodiesel yang dihasilkan dari minyak biji alpukat menunjukkan penurunan sifat fisik dan kimia dibandingkan minyak awal, namun secara keseluruhan belum memenuhi standar SNI biodiesel, sehingga diperlukan optimasi lebih lanjut pada proses produksi biodiesel dari minyak biji alpukat.

Kata kunci: *minyak biji alpukat, biodiesel, destilasi simultan, transesterifikasi, asam lemak bebas*

Abstract

Avocado is a plant that grows abundantly in tropical regions such as Indonesia. Its seeds contain fatty acids such as linoleic, palmitic, and oleic acids, making them a potential raw material for biodiesel production due to their relatively high oil content compared to other seeds. Biodiesel is a renewable alternative fuel derived from fatty acids of plant or animal origin. Biodiesel production from avocado seed oil in this study was carried out using a simultaneous distillation extraction method with n-hexane as the solvent, resulting in an oil yield of 3.65%. The extracted oil was analyzed for free fatty acid (FFA) content and showed a value of 1.28%, allowing the oil to be directly processed through transesterification without a prior esterification step. The transesterification process was conducted using methanol with KOH as a base catalyst. The resulting biodiesel was then purified and its quality was evaluated. The results showed that the saponification value of avocado seed oil was 305.745 mgKOH/g and that of biodiesel was 30.8 mgKOH/g. The acid value of avocado seed oil was 2.8 mgKOH/g, while that of biodiesel was 1.8 mgKOH/g. The densities of avocado seed oil and biodiesel were 0.912 g/mL and 0.835 g/mL, respectively, and their viscosities were 6.128 cSt and 1.953 cSt, respectively. In the flame test, the first test without biodiesel produced a small flame, whereas the second and third tests using biodiesel samples produced a larger flame. Based on these results, biodiesel produced from avocado seed oil exhibited reduced physical and chemical properties compared to the initial oil; however, overall, it did not yet meet the Indonesian National Standard (SNI) for biodiesel, indicating that further optimization of the biodiesel production process from avocado seed oil is required.

Keywords *avocado seed oil, biodiesel, simultaneous distillation, transesterification, free fatty acid*

Pendahuluan

Dampak penggunaan energi fosil yang semakin besar, meningkatnya kebutuhan energi, serta menipisnya cadangan bahan bakar fosil mendorong pengembangan energi alternatif yang terbarukan dan ramah lingkungan, salah satunya biodiesel. Biodiesel merupakan bahan bakar nabati yang setara dengan diesel berbasis minyak bumi, dapat dicampur tanpa batasan, bersifat biodegradable, bertoksitas rendah, serta menghasilkan emisi polutan yang lebih kecil [1].

Selama ini biodiesel banyak diproduksi dari minyak nabati edible seperti minyak kelapa sawit dan kedelai, namun penggunaannya kurang efektif karena bersaing dengan kebutuhan pangan, sehingga pengembangan bahan baku non-edible menjadi fokus penelitian [2].

Salah satu bahan non-pangan yang potensial adalah biji alpukat (*Persea americana*), limbah pertanian yang melimpah di Indonesia seiring meningkatnya produksi alpukat nasional dari 669.260 ton pada 2021 menjadi 874.046 ton pada 2023 [3]. Biji alpukat mengandung minyak sebesar 15–30% dengan komposisi asam lemak utama seperti asam oleat, palmitat, dan linoleat, sehingga layak dijadikan bahan baku biodiesel; penelitian ekstraksi menggunakan n-heksana melaporkan rendemen sekitar 16–20% [4]. Produksi biodiesel memerlukan katalis, dan katalis heterogen seperti CaO lebih disukai karena ramah lingkungan dan mudah dipisahkan; CaO dapat diperoleh dari limbah cangkang kerang dengan kemurnian hingga 99% melalui kalsinasi pada 900°C selama 4 jam [5]. Studi sebelumnya menunjukkan hasil yang menjanjikan, seperti rendemen biodiesel sebesar 87,9% dari minyak biji alpukat menggunakan katalis H₂SO₄ dan 78,1% menggunakan katalis CaO, serta penelitian terbaru yang menegaskan bahwa biodiesel dari limbah alpukat memenuhi standar sifat

bahan bakar dan memiliki potensi ekonomis melalui pendekatan biorefinery [6].

Teori

Tanaman alpukat (*Persea americana* Mill.) berasal dari Amerika Tengah yang beriklim tropis dan kini telah menyebar luas ke berbagai wilayah tropis dan subtropis, termasuk Indonesia, serta dikenal memiliki kandungan gizi tinggi dan potensi minyak yang besar, khususnya pada bagian bijinya [7]. Selain daging buahnya, biji alpukat yang selama ini umumnya menjadi limbah mengandung minyak sekitar 15–20% dengan komposisi asam lemak utama berupa asam oleat, palmitat, dan linoleat, yang menjadikannya layak sebagai sumber minyak nabati dan bahan baku biodiesel [8].

Minyak biji alpukat memiliki sifat aliran yang baik pada berbagai kondisi suhu, meskipun kadar asam lemak bebas (FFA) relatif tinggi (>2%) akibat proses penanganan dan penyimpanan sehingga memerlukan perlakuan khusus dalam proses konversi biodiesel agar diperoleh hasil optimal, di Indonesia, alpukat banyak dibudidayakan dan produksinya terus meningkat dari 410.094 ton pada tahun 2018 menjadi 874.046 ton pada tahun 2023, dengan sentra produksi utama tersebar di Jawa Timur, Jawa Barat, Jawa Tengah, Sumatera Utara, Sumatera Barat, Sulawesi Selatan, dan Nusa Tenggara Barat, di mana Jawa Timur menjadi produsen terbesar dengan produksi mencapai 186.433 ton [9].

Minyak biji alpukat mengandung Fatty Acid Methyl Ester (FAME) yang berpotensi dikonversi menjadi biodiesel melalui reaksi transesterifikasi atau esterifikasi, sehingga layak dikembangkan sebagai bahan bakar alternatif [10]. Biji alpukat masih belum dimanfaatkan secara optimal, padahal ketersediaannya melimpah dan harganya relatif

terjangkau, sehingga diperlukan penelitian untuk mengevaluasi kelayakan minyak biji alpukat sebagai bahan baku biodiesel melalui pengujian sifat fisik dan kimia seperti bilangan asam, kadar asam lemak bebas (FFA), densitas, viskositas, serta rendemen hasil pengolahan [11].

Ekstraksi merupakan tahap awal yang sangat penting dalam penelitian karena minyak yang diperoleh dari biji alpukat akan digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel, dengan tujuan memisahkan minyak dari bagian padatan biji alpukat sehingga diperoleh minyak kasar (crude oil) yang selanjutnya memerlukan proses pemurnian sebelum digunakan pada tahap esterifikasi dan transesterifikasi [12].

Metode ekstraksi destilasi simultan atau *Simultaneous Distillation-Extraction* (SDE) merupakan teknik yang menggabungkan proses destilasi uap dan ekstraksi pelarut dalam satu sistem tertutup, di mana uap air membawa komponen minyak dari biji alpukat ke kondensor dan selanjutnya ditangkap oleh pelarut organik yang bersirkulasi secara kontinu, sehingga memungkinkan ekstraksi komponen volatil dan semi-volatil secara lebih efisien dengan penggunaan pelarut yang lebih sedikit serta meminimalkan degradasi termal senyawa sensitive [13]. Metode ini dinilai sesuai untuk biji alpukat yang memiliki kadar minyak relatif rendah karena mampu menghasilkan minyak mentah dengan kualitas yang stabil, yang selanjutnya dapat digunakan sebagai bahan baku pada tahap esterifikasi dan transesterifikasi dalam produksi biodiesel [14].

Transesterifikasi adalah reaksi antara trigliserida dan alkohol seperti metanol atau etanol dengan bantuan katalis asam atau basa untuk menghasilkan biodiesel dan gliserol, melalui mekanisme yang mempermudah pembentukan ester [15]. Katalis basa KOH dipilih karena mampu mempercepat reaksi pada suhu rendah, namun kadar asam lemak bebas (FFA) harus dikontrol di bawah 2% untuk mencegah pembentukan sabun yang dapat menurunkan kualitas dan rendemen biodiesel. Proses ini berlangsung optimal pada suhu 55–65 °C, mendekati titik didih metanol, karena suhu yang terlalu rendah memperlambat reaksi sedangkan suhu terlalu tinggi menyebabkan mempercepat reaksi [16].

Karakteristik biodiesel perlu diuji untuk memastikan kualitas dan kesesuaiannya dengan standar ASTM D6751:2023 dan SNI 7182:2015, dengan parameter utama meliputi viskositas, densitas, bilangan asam, dan bilangan penyabunan yang dipengaruhi oleh bahan baku serta kondisi proses produksi [17].

Viskositas memengaruhi atomisasi dan pembakaran biodiesel; terlalu kental mengurangi semprotan, terlalu encer menurunkan pelumasan injector. Diukur kinematik pada 40 °C sesuai ASTM D455 dan standar ASTM D6751:2023 serta SNI 7182:2015, dengan rentang 2,3–6,0 cSt untuk B100.

Bilangan penyabunan (Saponification Value, SV) adalah jumlah mg KOH yang dibutuhkan untuk menetralkan asam lemak dan menghidrolisis ester dari 1 gram sampel minyak atau lemak. Nilai SV berbanding terbalik dengan berat molekul rata-rata asam lemak: semakin tinggi SV, semakin rendah berat molekul rata-rata trigliserida [18].

Densitas merupakan parameter fisik penting dalam karakterisasi minyak nabati dan biodiesel, di mana biodiesel dari minyak biji alpukat dilaporkan memiliki densitas sekitar 0,86 g/mL yang mendekati standar internasional biodiesel sebesar 0,86–0,90 g/mL. Studi lain juga menunjukkan bahwa biodiesel dari minyak alpukat *Persea schiedeana* memiliki densitas sekitar 0,875 g/mL, yang masih berada dalam rentang standar EN 14214 yaitu 0,860–0,900 g/mL, meskipun densitas minyak mentahnya lebih tinggi pada suhu 20°C [19].

Bilangan asam (Acid Value, AV) adalah jumlah mg KOH yang dibutuhkan untuk menetralkan asam lemak bebas dalam 1 gram sampel minyak atau biodiesel, menggambarkan tingkat keasaman dan potensi kerusakan atau korosi; semakin rendah nilainya, kualitas biodiesel semakin baik. Standar internasional EN 14214 dan ASTM D6751 menetapkan batas maksimum 0,5 mg KOH/g, sedangkan SNI 7182:2015 memperbolehkan hingga 0,8 mg KOH/g untuk memastikan biodiesel aman, stabil, dan berkualitas [20].

Metode Penelitian

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian biodiesel dari minyak biji alpukat kering terdiri atas peralatan pengoperasian dan alat pengujian, di mana peralatan pengoperasian meliputi labu alas bulat, water bath, statif dan klem, kondensor, hotplate, magnetic stirrer, batu didih, corong pisah, gelas beker, gelas ukur, erlenmeyer, pipet ukur dan pipet tetes, termometer, cawan porselin, mortar, korek api, serta kapas, sedangkan alat pengujian meliputi timbangan digital, neraca analitik, dan buret.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi biji alpukat kering, n-heksan, metanol, kalium hidroksida (KOH), dan aquadest. Selain itu, diperlukan pula bahan-bahan pendukung untuk keperluan analisis berupa larutan NaOH 0,1 N, larutan HCl 0,5 N, serta indikator fenoltalein (PP).

Ekstraksi Destilasi Simultan

Ekstraksi minyak biji alpukat dilakukan dengan metode destilasi simultan menggunakan pelarut n-heksan, di mana sampel biji alpukat kering yang telah dihaluskan dimasukkan ke dalam selongsong saring dan diekstraksi pada suhu 85°C melalui siklus penguapan–kondensasi pelarut selama 12 jam per hari selama dua hari, kemudian larutan hasil ekstraksi diuapkan melalui kondensor untuk menghilangkan sisa pelarut hingga diperoleh minyak biji alpukat murni.

Analisa Kadar FFA Minyak Jelantah

Analisis kadar asam lemak bebas (FFA) dilakukan dengan menimbang 1 g sampel minyak biji alpukat ke dalam erlenmeyer, melarutkannya dalam 12,5 mL metanol hangat hingga homogen, kemudian menambahkan 3 tetes indikator fenolftalein sebelum dititrasi menggunakan larutan NaOH 0,1 N hingga tercapai perubahan warna merah muda pucat yang stabil, dengan volume NaOH yang terpakai dicatat untuk perhitungan kadar FFA.

Transesterifikasi

Pembuatan biodiesel diawali dengan menyiapkan larutan katalis berupa NaOH sebesar 0,5–1,0% berat minyak yang dilarutkan dalam metanol dengan rasio molar metanol:minyak 7,5:1 hingga terbentuk metoksida. Reaksi transesterifikasi dilakukan dengan memanaskan minyak pada suhu 60–65 °C, kemudian menambahkan larutan metoksida dan mengaduk selama 60 menit menggunakan kondensor balik. Campuran selanjutnya didiamkan selama 2 jam hingga terbentuk dua lapisan, yaitu gliserol (bawah) dan biodiesel (atas), yang dipisahkan dengan corong pisah. Biodiesel kemudian dicuci menggunakan air hangat (40–50 °C) hingga mencapai pH netral.

Viskositas

Viskositas diukur dengan metode waktu alir menggunakan buret, yaitu mencatat lamanya cairan dalam volume tertentu mengalir akibat gravitasi; semakin lama waktu alir, semakin tinggi kekentalan atau viskositas.

Bilangan Asam

Untuk mengukur bilangan asam, 5 g minyak ditimbang ke labu Erlenmeyer 250 mL, ditambahkan 50 mL alkohol 95% netral, kemudian dipanaskan 10 menit dalam water bath sambil diaduk. Larutan dititrasi dengan KOH 0,1 N menggunakan indikator fenolftalein hingga warna merah jambu stabil 10 detik, lalu bilangan asam dihitung menggunakan rumus:

$$AV = \frac{V \times NKOH \times 56.1}{W} \quad (1)$$

Bilangan Penyabunan

Bilangan penyabunan (Saponification Value, SV) adalah jumlah mg KOH yang dibutuhkan untuk mengubah trigliserida dan asam lemak bebas dalam 1 gram minyak atau lemak menjadi sabun, menunjukkan kebutuhan basa untuk memecah ikatan ester menjadi gliserol dan garam asam lemak. Perhitungannya menggunakan rumus: $SV = \frac{(B - S) \times N \times 56.1}{W}$ (2)

Densitas

Prosedur uji densitas dengan piknometer dimulai dengan kalibrasi dan pembersihan alat, kemudian piknometer kosong ditimbang (m_0). Selanjutnya diisi air suling pada 25 °C, diperiksa gelembung udara, dan

ditimbang kembali (m_1). Setelah itu, dikosongkan, dikeringkan, lalu diisi sampel biodiesel dan ditimbang (m_2). Massa cairan dihitung sebagai $m_2 - m_0$, dan densitas sampel diperoleh dengan membagi massa tersebut dengan volume piknometer, dengan suhu dicatat karena densitas dipengaruhi suhu.

$$\rho = \frac{m_2 - m_0}{V} \quad (3)$$

Pencucian Biodiesel

Pemurnian biodiesel dilakukan dengan pencucian menggunakan air hangat (60°C) untuk menghilangkan kotoran dan sisa gliserol. Biodiesel dimasukkan ke corong pisah, ditambahkan air hangat 1:1, lalu dikocok perlahan agar kontak maksimal. Setelah pemisahan alami, lapisan bawah (air) dibuang sehingga diperoleh biodiesel bersih di bagian atas.

Hasil

Proses Konversi Biji Alpukat Basah Menjadi Minyak

Berdasarkan hasil penelitian, dari 10 kg biji alpukat basah diperoleh 2,5 kg biji alpukat kering, yang menunjukkan penyusutan massa sebesar 75% akibat penguapan air selama pengeringan. Penurunan kadar air ini penting agar pelarut n-heksan dapat mengekstraksi minyak secara optimal.

Selanjutnya, dari 2,5 kg biji alpukat kering diperoleh 100 mL minyak biji alpukat melalui ekstraksi destilasi simultan. Rendemen minyak tergolong rendah, dipengaruhi oleh karakteristik biji alpukat dan efektivitas pelarut. Minyak hasil ekstraksi kemudian digunakan sebagai bahan baku transesterifikasi menjadi biodiesel, yang selanjutnya diuji berdasarkan bilangan penyabunan, bilangan asam, viskositas, densitas, dan titik nyala.



Gambar 1. Proses Dari Biji Alpukat Menjadi Minyak

Transesterifikasi

Proses transesterifikasi 100 mL minyak biji alpukat dengan rasio molar minyak:metanol 7,5:1 dan waktu pendiaman 2 jam berlangsung stabil, tanpa pembentukan sabun. Hal ini menunjukkan trigliserida bereaksi dominan membentuk metil ester dan gliserol, sehingga waktu 2 jam efektif untuk menghasilkan biodiesel yang siap diproses dan diuji lebih lanjut.

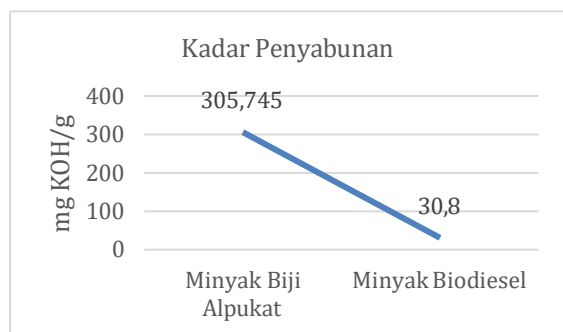
Uji Bilangan Penyabunan

Nilai bilangan penyabunan minyak biji alpukat sebesar 305,748 mg KOH/g menunjukkan kandungan trigliserida yang tinggi, sedangkan biodiesel hanya 30,8 mg KOH/g. Penurunan drastis ini menandakan transesterifikasi berhasil mengubah trigliserida menjadi metil ester, sehingga konversi minyak ke

biodiesel berlangsung efektif meski bilangan penyabunan bukan parameter wajib menurut SNI 7182:2015.

Tabel 1. Data Kadar Penyabunan Dalam Sampel

Uji Penyabunan	Hasil
Minyak Biji Alpukat	305,745 mg KOH/g
Minyak Biodiesel	30,8 mg KOH/g



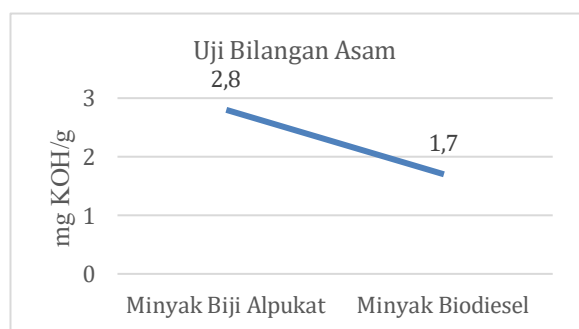
Gambar 2. Grafik Kadar Penyabunan Terhadap Sampel

Uji Bilangan Asam

Bilangan asam minyak biji alpukat awalnya 2,8 mg KOH/g dan turun menjadi 1,7 mg KOH/g setelah transesterifikasi. Penurunan ini menandakan FFA berkurang dan kualitas biodiesel membaik, meski masih di atas batas SNI 7182:2015 (0,5 mg KOH/g). Hasil ini menunjukkan proses sudah efektif, namun perlu optimasi lebih lanjut agar FFA sesuai standar.

Tabel 2. Data Bilangan Asam Dalam Sampel

Uji Penyabunan	Hasil
Minyak Biji Alpukat	2,8 mg KOH/g
Minyak Biodiesel	1,7 mg KOH/g



Gambar 3. Grafik Kadar Bilangan Asam Terhadap Sampel

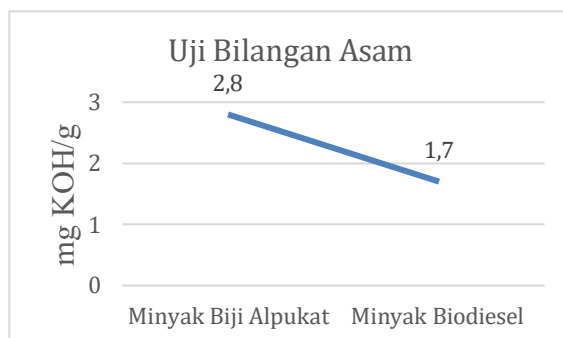
Uji Bilangan Asam

Bilangan asam minyak biji alpukat awalnya 2,8 mg KOH/g dan turun menjadi 1,7 mg KOH/g setelah transesterifikasi. Penurunan ini menunjukkan FFA berkurang dan kualitas biodiesel meningkat, meski masih di atas batas SNI 7182:2015 (0,5 mg KOH/g).

Tren ini menandakan proses sudah efektif, namun perlu optimasi lebih lanjut agar FFA sesuai standar.

Tabel 3. Data Biangan Asam Dalam Sampel

Uji Penyabunan	Hasil
Minyak Biji Alpukat	2,8 mg KOH/g
Minyak Biodiesel	1,7 mg KOH/g



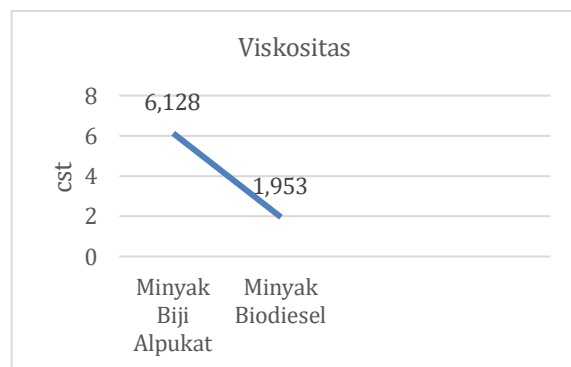
Gambar 3. Grafik Densitas Terhadap Variasi Sampel

Uji Viskositas

Viskositas minyak biji alpukat awal 6,128 cSt dan turun menjadi 1,953 cSt setelah menjadi biodiesel, menandakan trigliserida telah diubah menjadi metil ester sehingga aliran lebih ringan. Meskipun nilai ini di bawah batas SNI 7182:2015 (2,3–6,0 cSt), penurunan viskositas menunjukkan transesterifikasi berlangsung efektif.

Tabel 4. Data Viskositas Dalam Sampel

Viskositas	Hasil
Minyak Biji Alpukat	6,128 cSt
Minyak Biodiesel	1,953 cSt



Gambar 5. Grafik Terhadap Viskositas Sampel

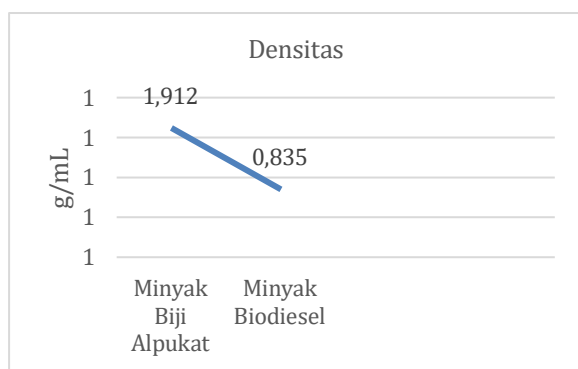
Uji Densitas

Densitas minyak biji alpukat awal 0,912 g/mL dan turun menjadi 0,861 g/mL setelah diolah menjadi biodiesel, menandakan trigliserida telah banyak diubah menjadi metil ester. Nilai ini sudah sesuai

standar SNI 7182:2015 (0,850–0,890 g/mL), sehingga biodiesel termasuk berkualitas baik dan cocok untuk pembakaran mesin.

Tabel 5. Data Densitas Dalam Sampel

Densitas	Hasil
Minyak Biji Alpukat	0,912 g/mL
Minyak Biodiesel	0,835 g/mL



Gambar 6. Grafik Kadar Densitas Terhadap Sampel

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa proses konversi biji alpukat menunjukkan efisiensi yang signifikan, di mana dari 10 kg biji alpukat basah diperoleh 2,5 kg biji kering. Biji kering ini kemudian diekstraksi menggunakan metode ekstraksi destilasi simultan sehingga dihasilkan 100 mL minyak yang digunakan sebagai bahan baku biodiesel. Proses transesterifikasi minyak biji alpukat berhasil menghasilkan biodiesel, yang dibuktikan dengan penurunan viskositas dari 6,12 cSt menjadi 2,01 cSt, densitas mencapai 0,861 g/mL, serta penurunan bilangan asam dari 2,8 mg KOH/g menjadi 1,7 mg KOH/g. Parameter-parameter ini mendekati standar SNI, khususnya viskositas, densitas, dan bilangan penyabunan yang menurun drastis, menunjukkan bahwa konversi trigliserida menjadi metil ester berlangsung efektif.

Ucapan Terima Kasih (TNR, 10 pt, bold)

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan bantuan, baik secara moral maupun material, dalam penyusunan dan pelaksanaan penelitian ini, khususnya kepada pimpinan Fakultas Teknik Universitas Al-Khairiyah, Ketua Program Studi dan Koordinator Penelitian Teknik Kimia, dosen pembimbing, dosen penguji, serta seluruh dosen Program Studi Teknik Kimia Universitas Al-Khairiyah atas arahan, ilmu, dan masukan yang sangat berharga. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada kedua orang tua tercinta atas doa dan dukungan yang tiada henti, rekan-rekan angkatan 2022 Teknik Kimia Universitas Al-

Khairiyah atas motivasi dan kebersamaannya, serta seluruh pihak yang telah membantu kelancaran penelitian ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Daftar Pustaka

Pustaka yang berasal dari jurnal

- [1] Alhammad, B. A., Jamal, A., Carlucci, C., Saeed, M. F., Seleiman, M. F., & Pompelli, M. F. (2023). Non-Conventional Oilseeds: Unlocking the Global Potential for Sustainable Biofuel Production. *Catalysts*, 13(9), 1–20. <https://doi.org/10.3390/catal13091263>
- [2] Atikah Risyad, Resi Levi Permadani, & Siswarni MZ. (2016). EKSTRAKSI MINYAK DARI BIJI ALPUKAT (Persea Americana Mill) MENGGUNAKAN PELARUT N-HEPTANA. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 5(1), 34–39. <https://doi.org/10.32734/jtk.v5i1.1522>
- [3] 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>
- [4] Budiastuti, H., Rahmawati, A. A., Susanto, S. M., Trirahayu, D. A., & Rusdianasari, R. (2023). Synthesis of Biodiesel from Avocado Seed Waste Through Esterification and Transesterification Processes. *Fluida*, 16(sp1), 24–30. <https://doi.org/10.35313/fluida.v16isp1.5342>
- [5] Dagde, K. K. (2019). Extraction of vegetable oil from avocado seeds for production of biodiesel. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 23(2), 215. <https://doi.org/10.4314/jasem.v23i2.3>
- [6] Dewi, L. S., Masrullita, M., Azhari, A., Dewi, R., & Hakim, L. (2022). Karakteristik Minyak Dari Biji Alpukat (Persea Americana Mill) Menggunakan Metode Ekstraksi Dengan Pelarut N-Heksana. *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*, 2(4), 37–47. <https://doi.org/10.29103/cejs.v2i4.7469>
- [7] Eze, S., Amamba, K., Jeremi, L., Aliyu, A., Ejikeme, C., Adedapo, A., Abbas, A., Ibraheem, P., Hillary, G., Adisa, E., Idris, A., Ojinika, A., Iheanacho, B., John, S., Baptiste Optimizing Biodiesel, M., Okechukwu Eze, S., Kaycee Amamba, K., Ogedegbe Jeremi, L., Aliyu, A., ... Agnimel Jean Baptiste, M. (2025). Optimizing Biodiesel Yield and Fuel Properties from Waste Avocado Oil: A Comparative Study of RSM and ANFIS Learning Models. *Progress in Chemical and Biochemical Research*, 8(1), 80–98. https://www.pcbiochemres.com/article_214130.html
- [8] Farouk, S. M., Tayeb, A. M., Abdel-Hamid, S.

- M. S., & Osman, R. M. (2024). Recent advances in transesterification for sustainable biodiesel production, challenges, and prospects: a comprehensive review. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(9), 12722–12747. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32027-4>
- [9] Homogenous, U., & Koh, H. S. O. (2023). *International Journal of New Chemistry Optimisation of Bio-Diesel made from Non-Edible Avocado Seed Oil (ASO).* 10(4), 242–257.
- [10] Hua, J., Ji, M., Jiao, P., Yin, Z., Xia, Q., Jiang, L., Zhang, J., & Pan, H. (2025). Heterogeneous Acid Catalysts for Biodiesel Production: Effect of Physicochemical Properties on Their Activity and Reusability. *Catalysts*, 15(4). <https://doi.org/10.3390/catal15040396>
- [11] López-Yerena, A., Guerra-Ramírez, D., Reyes-Trejo, B., Salgado-Escobar, I., & Cruz-Castillo, J. G. (2022). Waste from *Persea schiedeana* Fruits as Potential Alternative for Biodiesel Production. *Plants*, 11(3), 1–10. <https://doi.org/10.3390/plants11030252>
- [12] Pramana, A. A. S. D., Kusuma, I. G. B. W., & Widiyarta, I. M. (2015). Pengujian Performance Biodiesel Biji Alpukat Di Tinjau Dari Karakteristik Panjang Penyemprotan Dan Ukuran Butiran. *Jurnal Logic*, 15(3), 164–170.
- [13] 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>
- [14] Rosmarinus, L., Ribeiro, S., & F, M. De. (2021). *Simultaneous Distillation – Extraction of Essential Oils from.* 1–10.
- [15] Shafira, S. D. P. P., Zulmanelis, Z., & Darsef, D. (2019). Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Biji Alpukat (*Persea americana*) Melalui Proses Transesterifikasi Langsung. *JRSKT - Jurnal Riset Sains Dan Kimia Terapan*, 8(1), 23–28. <https://doi.org/10.21009/jrskt.081.03>
- [16] Sheng, J., Voldsund, M., & Ertesvåg, I. S. (2023). Advanced exergy analysis of the oil and gas processing plant on an offshore platform: A thermodynamic cycle approach. *Energy Reports*, 9, 820–832. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.12.021>
- [17] Sinebe, E. J., & Hilary, U. (2025). The Effects of Plants Essential Oils on Biodiesel Fuel Properties during Storage. *IPS Journal of Engineering and Technology*, 1(2), 70–74. <https://doi.org/10.54117/ijet.v1i2.15>
- [18] Syahfitri, A., Ibrahim, I., Kurniawan, E., Jalaluddin, J., & Ginting, Z. (2024). EKSTRAKSI MINYAK BIJI ALPUKAT (*Persea Americana* Mill) DENGAN PELARUT N-HEKSANA. *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*, 4(3), 309–324. <https://doi.org/10.29103/cejs.v4i3.14683>
- [19] Yusuf, B. O., Oladepo, S. A., & Ganiyu, S. A. (2024). Efficient and Sustainable Biodiesel Production via Transesterification: Catalysts and Operating Conditions. *Catalysts*, 14(9). <https://doi.org/10.3390/catal14090581>
- [20] Zakaria, R., Vit, P., Wijaya, A., Ahmad, A. H., Othman, Z., & Mezzetti, B. (2022). A bibliometric review of *Persea americana* Mill. (Lauraceae): A green gold in agroindustry. *AIMS Agriculture and Food*, 7(4), 831–854.