MASALIQ
Jurnal Pendidikan dan Sains

e-ISSN: 2808-8115
p-ISSN: 2809-1051

Terindeks: Sinta 5, Copernicus, Dimensions, Scilit, Lens, Crossref, Garuda, Google Scholar, Base, etc

https://doi.org/10.58578/masaliq.v5i3.6039

PENINGKATAN PEMURNIAN MINYAK JELANTAH MELALUI SISTEM ADSORBEN GANDA: *BLEACHING EARTH* DAN KARBON DARI KULIT BUAH KAKAO (*Theobroma cacao L*)

Improving the Purification of Used Cooking Oil through a Dual Adsorbent System: *Bleaching Earth* and Carbon from Cocoa Pod Husks (*Theobroma cacao* L.)

Esssylia Afriyanti Utami[1], Umar Kalmar Nizar[2], Sri Benti Etika[3]
Universitas Negeri Padang
essyliaafriyantiutami@gmail.com

Article Info:

Submitted:	Revised:	Accepted:	Published:
Apr 16, 2025	May 14, 2025	May 26, 2025	May 31, 2025

Abstract

Used cooking oil (*minyak jelantah*) is a household and industrial waste product that poses environmental risks and undergoes significant quality degradation due to the breakdown of chemical compounds during repeated use. This study aims to evaluate the effectiveness of a combination of activated carbon derived from cocoa pod husk waste and *bleaching earth* in improving the quality of used cooking oil. The research was conducted experimentally in the laboratory of Universitas Negeri Padang using used cooking oil obtained from local vendors. Activated carbon was prepared by calcining cocoa pod husks at 350°C for varying durations of 30, 45, 60, and 75 minutes, followed by activation with 1M NaOH solution. The purification process was carried out in stages through the addition of activated carbon and *bleaching earth* under controlled heating conditions. Parameters analyzed included acid number, moisture content, density, saponification value, and functional group characterization using

Masaliq Journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License

infrared spectroscopy (*FTIR*). The results indicate that the most effective adsorbent combination was achieved with activated carbon calcined for 60 minutes, which reduced the acid number from 14.92 to 5.09 mg KOH/g, decreased moisture content to 0.11%, and increased the saponification value to 75.30 mg KOH/g. The *FTIR* spectrum showed reduced intensity in functional groups associated with degradation, indicating effective purification. In conclusion, the combination of activated carbon from cocoa pod husk waste and bleaching earth is proven effective in improving the physicochemical quality of used cooking oil, while also demonstrating the potential for sustainable and environmentally friendly use of agricultural waste as raw material for adsorbents.

Keywords: Oil Purification; Used Cooking Oil; Activated Carbon; Cocoa Pod Husk Waste; Bleaching Earth; Adsorption

Abstrak: Minyak jelantah merupakan limbah rumah tangga dan industri yang berpotensi mencemari lingkungan serta mengalami penurunan mutu secara signifikan akibat degradasi senyawa kimia selama pemakaian berulang. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efektivitas kombinasi karbon aktif dari limbah kulit buah kakao dan *bleaching earth* dalam meningkatkan kualitas minyak jelantah. Penelitian dilakukan secara eksperimental di laboratorium Universitas Negeri Padang dengan menggunakan minyak jelantah yang diperoleh dari pedagang lokal. Karbon aktif disiapkan melalui proses kalsinasi kulit buah kakao pada suhu 350°C dengan variasi waktu 30, 45, 60, dan 75 menit, kemudian diaktivasi menggunakan larutan NaOH 1M. Proses pemurnian dilakukan secara bertahap dengan penambahan karbon aktif dan *bleaching earth* dalam kondisi pemanasan terkontrol. Parameter yang dianalisis meliputi bilangan asam, kadar air, densitas, bilangan penyabunan, dan karakterisasi gugus fungsi menggunakan spektroskopi inframerah (*FTIR*). Hasil menunjukkan bahwa kombinasi adsorben paling efektif diperoleh dari karbon aktif hasil kalsinasi selama 60 menit, yang mampu menurunkan bilangan asam dari 14,92 menjadi 5,09 mg KOH/g, menurunkan kadar air menjadi 0,11%, serta meningkatkan bilangan penyabunan menjadi 75,30 mg KOH/g. Spektrum *FTIR* menunjukkan penurunan intensitas pada gugus-gugus fungsional hasil degradasi, menandakan efektivitas pemurnian. Kesimpulannya, kombinasi karbon aktif dari limbah kulit kakao dan *bleaching earth* terbukti efektif dalam memperbaiki mutu fisikokimia minyak jelantah, sekaligus membuka peluang pemanfaatan limbah pertanian sebagai bahan baku adsorben yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Kata Kunci: Pemurnian Minyak; Minyak Jelantah; Karbon Aktif; Limbah Kulit Buah Kakao; Bleaching Earth; Adsorpsi.

PENDAHULUAN

Minyak jelantah merupakan limbah yang dihasilkan dari penggunaan minyak goreng secara berulang, baik dalam skala rumah tangga maupun industri. Selama proses pemanasan berulang, minyak mengalami degradasi termal, oksidatif, dan hidrolitik, yang menyebabkan perubahan struktur kimia serta penurunan mutu. Proses ini menghasilkan berbagai senyawa

berbahaya seperti asam lemak bebas (free fatty acids/FFA), peroksida, aldehid, dan senyawa aromatik polisiklik yang bersifat toksik dan karsinogenik (Chiang et al., 2022). Selain berbahaya terhadap kesehatan, minyak jelantah jika tidak ditangani dengan baik dapat mencemari lingkungan seperti tanah dan air dan menjadi sumber limbah yang sulit terurai secara alami (Frota de Albuquerque Landi et al., 2022).

Di Indonesia, produksi minyak jelantah diperkirakan mencapai angka 1,6 juta kiloliter per tahun, namun sebagian besar belum dimanfaatkan secara optimal (Raspadewi, 2023). Oleh karena itu, upaya untuk menjernihkan atau meregenerasi minyak jelantah sangat penting, tidak hanya untuk menurunkan potensi pencemaran lingkungan, tetapi juga sebagai bagian dari pendekatan ekonomi sirkular, di mana limbah dapat diproses kembali menjadi produk yang bernilai guna (Suryani et al., 2024). Minyak hasil regenerasi dapat digunakan kembali untuk berbagai aplikasi non-pangan, seperti bahan bakar biodiesel (Monika et al., 2023), pelumas (Mannu et al., 2024), atau sabun (Azme et al., 2023). Metode regenerasi minyak jelantah yang paling banyak diteliti adalah adsorpsi, karena relatif sederhana, murah, dan efisien. Metode ini memanfaatkan bahan adsorben untuk menarik dan mengikat senyawa-senyawa pengotor dari minyak. Dua jenis adsorben yang umum digunakan adalah karbon aktif dan bleaching earth.

Karbon aktif memiliki luas permukaan tinggi, struktur berpori, dan gugus fungsi aktif yang menjadikannya efektif dalam menyerap senyawa-senyawa polutan dari minyak, termasuk zat warna dan asam lemak bebas (Nurmawati et al., 2024). Sumber karbon aktif konvensional meliputi tempurung kelapa, kayu, dan batu bara. Namun, dengan meningkatnya kesadaran akan pemanfaatan limbah pertanian, kini banyak penelitian yang mulai mengeksplorasi bahan baku alternatif seperti limbah kulit buah kakao, yang kaya akan lignin dan selulosa, dan dapat diaktivasi secara kimia untuk meningkatkan daya serapnya (Tiegam et al., 2021).

Karbon aktif dikenal sebagai adsorben yang sangat efektif karena memiliki luas permukaan spesifik yang tinggi dan struktur pori yang mendukung penyerapan senyawa-senyawa berbahaya dari minyak. Penelitian oleh Arman et al., (2024) menunjukkan bahwa karbon aktif dari kulit buah kakao yang diaktivasi secara kimia mampu menurunkan kadar air hingga 0,08%, FFA hingga 0,79%, dan nilai peroksida hingga 32,20 meq/kg pada minyak jelantah . Selain itu, penelitian oleh León et al., (2023) juga mendemonstrasikan bahwa karbon aktif berbasis kulit kakao efektif dalam mengadsorpsi senyawa organik dari air limbah.

Bleaching earth adalah adsorben berbasis tanah lempung yang telah diaktivasi secara asam, dan banyak digunakan dalam industri pemurnian minyak nabati (Adiarso et al., 2024). Bleaching earth banyak dimanfaatkan dalam industri pemurnian minyak nabati dikarenakan kemampuannya dalam menyerap zat warna, fosfatida, dan senyawa polar (SSE Thailand, 2024). Studi oleh Ferfuia et al., (2023) menunjukkan bahwa penggunaan bleaching earth pada konsentrasi 4% dan suhu 80°C mampu mengurangi kandungan karotenoid hingga 77% dan klorofil hingga 70% dalam minyak biji rami . Namun, efektivitas bleaching earth dapat menurun jika digunakan sendiri pada minyak yang telah mengalami degradasi berat, seperti minyak jelantah yang telah digunakan berulang kali. Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan kombinasi karbon aktif dan bleaching earth sebagai adsorben. Kombinasi ini diharapkan dapat memanfaatkan keunggulan masing-masing bahan karbon aktif untuk menyerap senyawa pengotor utama, dan bleaching earth untuk memperbaiki kejernihan dan menghilangkan warna, sehingga proses pemurnian minyak jelantah menjadi lebih efektif dan optimal.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April hingga Mei 2025 di Laboratorium Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Peralatan yang digunakan meliputi neraca analitik, timbangan, gelas ukur, gelas kimia 250 ml dan 50 ml, erlenmeyer, batang pengaduk, spatula, pipet tetes, buret, statif dan klem, pipet ukur 10 ml, gelas ukur 25 ml dan 100 ml, oven, desikator, piknometer, thermometer, cawan porselen, stopwatch, furnace, labu leher tiga, kondensor, hotplate, mortar dan alu, serta spektrometer FT-IR. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi minyak jelantah yang diperoleh dari pedagang sekitar kampus Air Tawar Barat, Universitas Negeri Padang, karbon aktif yang berasal dari kulit buah kakao (Theobroma cacao L), bleaching earth, larutan NaOH 1 M, HCl 1 M dan 0,5 M, KOH 0,5 M, etanol 95%, serta indikator fenolftalein (PP). Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengkaji efektivitas sistem adsorben ganda berupa karbon aktif dari kulit buah kakao dan bleaching earth dalam meningkatkan kualitas minyak jelantah melalui metode pemurnian berbasis adsorpsi.

Pelaksaan Penelitian

a. Preparasi Karbon Kulit Buah Kakao

Kulit buah kakao dipotong kecil-kecil, dicuci dengan air bersih untuk menghilangkan pengotor pada kulit buah kakao seperti lendir, daun-daun kering, dan pengotor lainnya. Setelah proses pencucian, kulit kakao dijemur di bawah sinar matahari langsung selama sekitar satu minggu, kemudian dikeringkan lebih lanjut untuk menguapkan air yang masih terkandung didalam kulit buah kakao menggunakan oven pada suhu 110°C selama 24 jam. Kulit buah kakao yang telah kering lalu dikalsinasi dengan suhu 350°C dengan variasi waktu kalsinasi 330, 45, 60, dan 75 menit. Setelah proses kalsinasi, bahan disimpan dalam desikator untuk mencegah agar tidak menyerap kelembapan dari udara. Selanjutnya, kulit kakao yang telah dikalsinasi digiling hingga halus. Serbuk karbon yang dihasilkan kemudian diaktivasi menggunakan larutan NaOH 1 M dan digunakan dalam proses penjernihan minyak jelantah.

b. Aktivasi Karbon Kulit Buah Kakao

Aktivasi karbon dengan NaOH merujuk pada aktivasi karbon yang telah dilakukan (Doczekalska et al., 2024). Karbon hasil karbonisasi sebanyak 5 gram direfluks menggunakan 25 ml NaOH 1 M selama kurang lebih 24 jam untuk menghasilkan karbon aktif. Karbon aktif yang telah diperoleh kemudian dicuci menggunakan HCl 1 M dan air suling hingga pH netral. Setelah karbon aktif netral, karbon lalu di oven pada suhu 110°C selama kurang lebih 3 jam. karbon aktif kering disimpan di dalam desikator.

c. Penjernihan Minyak Jelantah

Penelitian ini menggunakan prosedur yang telah dimodifikasi dan menggabungkan beberapa metode sesuai kebutuhan, merujuk pada prosedur yang telah dilaporkan sebelumnya. Sebanyak 50 ml minyak jelantah dimasukkan ke dalam gelas kimia berukuran 250 ml, kemudian ditambahkan 1 gram karbon aktif dari karbon kulit buah kakao. Campuran ini dipanaskan selama 1 jam pada suhu 100°C. Setelah pemanasan, minyak jelantah dibiarkan hingga mencapai suhu ruang. Selanjutnya, minyak disaring untuk memisahkan karbon aktif dari minyak. Minyak jelantah yang telah disaring kemudian dicampur dengan 2 gram bleaching earth dan dipanaskan kembali pada suhu 80°C selama 30 menit. Setelah pemanasan, campuran ditutup rapat dan dibiarkan selama 24 jam. Setelah periode tersebut, minyak disaring dan disentrifugasi pada kecepatan 3000 rpm selama 15 menit untuk memisahkan bleaching earth dan residu karbon yang tersisa dalam minyak.

d. Analisis Sifat-Sifat Minyak Jelantah Hasil Pemurnian

Uji Bilangan Asam

Minyak jelantah ditimbang sebanyak 0,5 gram, masukkan ke dalam erlenmeyer, tambahkan 25 mL etanol, tutup mulut erlenmeyer menggunakan plastic wrap dan beri lubang kecil-kecil pada plastik wrap. Setelah itu panaskan dan distirrer hingga campuran mencapai homogen, tambahkan 3 tetes indicator fenolftalein (PP), titrasi campuran minyak jelantah dan etanol dengan menggunakan KOH/etanol 0,5 M sampai terjadi perubahan warna menjadi pink Selayang, dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan (triplo), catat volume KOH/etanol yang digunakan. Lakukan langkah yang sama untuk semua variasi minyak jelantah. Bilangan asam diperoleh dengan persamaan:

$$\text{Bilangan asam} = \frac{\text{vol KOH} \times \text{N KOH} \times 56{,}11}{\text{berat sampel (g)}}$$

Uji Densitas

Menimbang piknometer kosong dan catat beratnya, panaskan minyak jelantah dengan penangas hingga mencapai suhu 40°C kemudian masukkan ke dalam piknometer yang telah ditimbang sebelumnya, timbang berat pikonometer setelah ditambahkan minyak jelantah, tentukan densitas minyak jelantah yang telah dimurnikan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Densitas} = \frac{W2 - W1}{V}$$

Keterangan:

W1 = berat piknometer kosong (gram)

W2 = berat piknometer yang telah diisi sampel (gram)

V = volume piknometer (mL)

Uji Bilangan Penyabunan

Minyak jelantah ditimbang sebanyak 1 gram, masukkan ke dalam erlenmeyer, tambahkan 12,5 mL KOH/etanol 0,5 M, tutup mulut erlenmeyer menggunakan plastik wrap dan beri lubang kecil-kecil pada plastik wrap. Setelah itu panaskan dan distirrer hingga campuran mencapai homogen, tambahkan 3 tetes indicator fenolftalein (PP), titrasi campuran minyak jelantah dan KOH/etanol dengan menggunakan HCl 0,5 M sampai terjadi warna berubah

seperti semula saat sebelum ditambahkan indicator pp (dari pink pekat menjadi warna semula) catat volume HCl yang digunakan. Lakukan langkah yang sama untuk semua variasi minyak jelantah. Bilangan penyabunan dapat ditentukan dengan menggunakan rumus berikut ini :

$$SV = \frac{[(ml\ HCl\ pada\ blanko - ml\ HCl\ pada\ sampel) \times M\ KOH\ \times Mr\ KOH]}{Berat\ sampel}$$

Uji Kadar Air

Keringkan cawan porselen menggunakan oven dengan suhu 110°C selama 1 jam, dinginkan dalam desikator, timbang sampel minyak jelantah menggunakan cawan porselen sebanyak 2 gram, oven hingga berat konstan. Sebelum dilakukan penimbangan terhadap cawan porselen yang berisi minyak jelantah yang telah di oven, pastikan pendinginan cawan porselen dilakukan dalam desikator. Setelah cawan porselen dingin, timbang cawan porselin yang berisi minyak jelantah.

$$\text{Kadar Air} = \frac{W1 - W2}{W1} \times 100\%$$

Keterangan:

W1 = berat sampel dalam cawan porselen sebelum dipanaskan (gram)

W2 = berat sampel dalam cawan porselen setelah dipanaskan (gram)

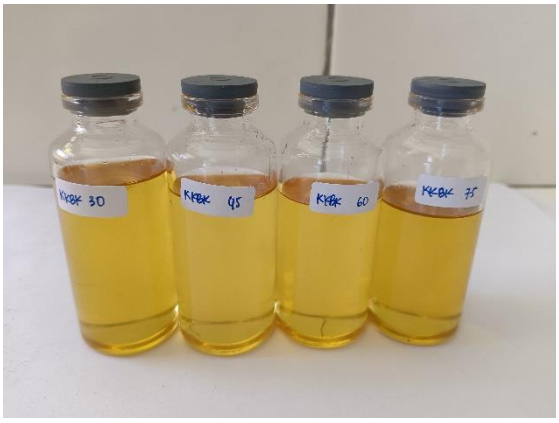
Uji dengan FTIR

Sampel diuji di Laboratorium Kimia FMIPA UNP dengan alat Perkin Elmer Frontier FT-IR spectrometer, UATR.

HASIL

Minyak jelantah merupakan limbah rumah tangga yang berpotensi mencemari lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Solusi yang dapat digunakan untuk meningkatkan nilai guna minyak jelantah adalah dengan proses pemurnian, sehingga dapat dimanfaatkan kembali, baik untuk keperluan non-pangan maupun sebagai bahan baku biodiesel. Salah satu metode pemurnian yang dapat digunakan adalah metode adsorpsi, dimana pada penelitian ini adsorben yang digunakan merupakan kombinasi dari karbon aktif dan bleaching earth.

Karbon aktif yang digunakan merupakan karbon aktif yang telah dikalsinasi menggunakan suhu 350°C selama 30, 45, 60 dan 75 menit. Kemudian masing, masing variasi kalsinasi ditambahkan dengan bleaching earth sebanyak 2 gram, bleaching earth yang digunakan, difurnace terlebih dahulu dengan suhu 350°C selama 1 jam untuk mengurangi kandungan senyawa volatil yang terdapat pada bleaching earth. Tujuan dari kombinasi ini adalah untuk mengoptimalkan proses penyerapan asam lemak bebas sehingga dapat menurunkan bilangan asam minyak jelantah secara signifikan. Pembahasan pada bagian ini akan menguraikan hasil analisis bilangan asam dari setiap perlakuan serta efektivitas masing-masing kombinasi adsorben dalam proses pemurnian. Analisis terhadap minyak jelantah yang telah dimurnikan dengan karbon aktif dan minyak jelantah (tanpa perlakuan) dilakukan melalui uji bilangan asam, bilangan penyabunan, densitas, kadar air, dan uji FTIR. Berikut merupakan gambar dari minyak jelantah yang telah dimurnikan.

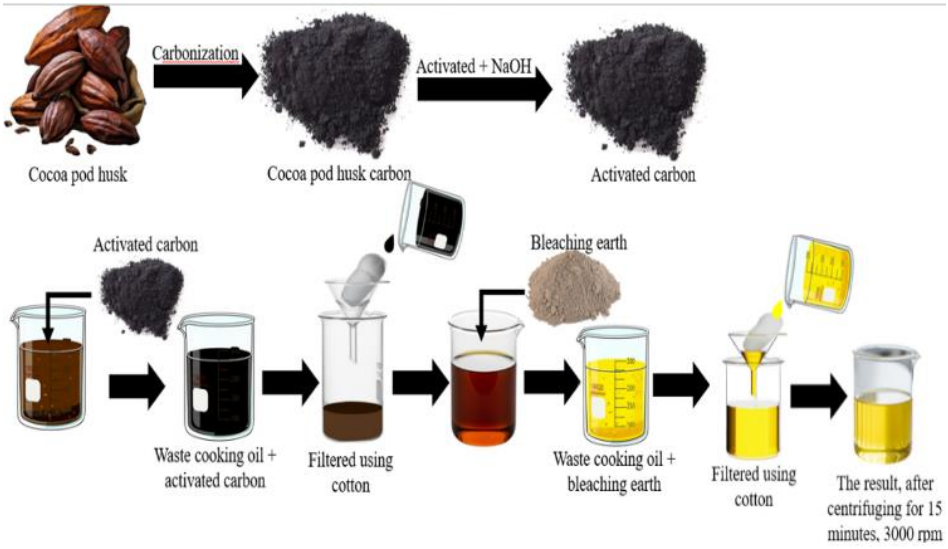


Gambar 1. Minyak yang telah dimurnikan

Proses pemurnian minyak jelantah dalam penelitian ini dilakukan secara bertahap melalui serangkaian perlakuan yang dirancang untuk menghilangkan kotoran, warna, dan senyawa-senyawa berbahaya yang terbentuk selama proses pemanasan dan penggunaan berulang minyak. Tahap pertama dimulai dengan pencampuran minyak jelantah dengan karbon aktif yang berasal dari kulit buah kakao. Karbon ini diperoleh melalui proses karbonisasi dan diaktivasi menggunakan larutan NaOH, sehingga meningkatkan daya adsorpsinya terhadap zat pencemar seperti asam lemak bebas, peroksida, dan komponen warna. Setelah proses pencampuran, campuran minyak dan karbon disaring menggunakan kapas untuk memisahkan partikel padat dari minyak.

Tahap selanjutnya adalah pemucatan menggunakan bleaching earth, yaitu tanah pemucat yang secara umum mengandung mineral seperti bentonit atau attapulgit yang memiliki

kemampuan menyerap senyawa polar dan zat warna yang tidak dapat dihilangkan sepenuhnya oleh karbon aktif. Bleaching earth ditambahkan ke dalam minyak yang telah melalui tahap penyaringan pertama, kemudian diaduk dan disaring kembali untuk mendapatkan minyak hasil pemurnian yang lebih jernih dan berkualitas lebih baik. Proses ini diakhiri dengan sentrifugasi untuk memastikan pemisahan sempurna antara fasa cair dan padatan yang tersisa. Berikut merupakan skema kerja yang dilakukan pada penelitian ini.



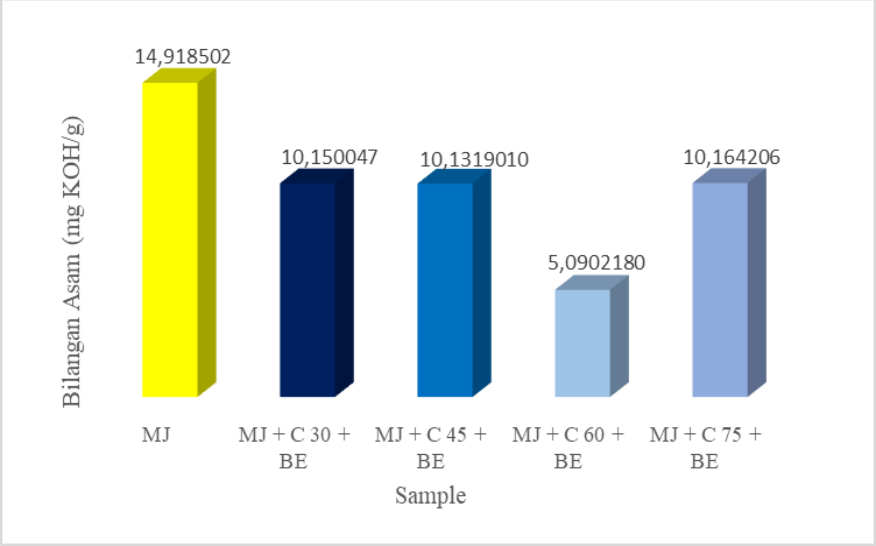
Gambar 2. Skema kerja

Minyak jelantah yang telah melalui proses pemurnian selanjutnya dianalisis karakteristik fisikokimianya melalui pengujian bilangan asam, kadar air, densitas, dan bilangan penyabunan. Selain itu, untuk mengidentifikasi perubahan gugus fungsi yang terjadi pada minyak sebelum dan sesudah pemurnian, digunakan instrumen spektrofotometer FTIR tipe Perkin Elmer Frontier dengan metode UATR (Universal Attenuated Total Reflectance).

Bilangan Asam

Bilangan asam merupakan indikator yang digunakan untuk menghitung kandungan asam lemak bebas dalam minyak, yang didefinisikan sebagai jumlah miligram kalium hidroksida (KOH) yang diperlukan untuk menetralkan asam lemak bebas dalam setiap gram minyak. Semakin tinggi bilangan asam, semakin besar pula kandungan asam lemak bebasnya. Kondisi ini dapat mempengaruhi mutu minyak, karena tingginya kadar asam lemak bebas sering dijadikan penanda awal terjadinya degradasi atau kerusakan minyak (Aniołowska & Kita, 2015). Sebaliknya, nilai asam lemak bebas yang rendah mengindikasikan bahwa proses

hidrolisis belum terjadi, sehingga kualitas minyak masih terjaga (Rahman et al., 2023). Berikut merupakan nilai bilangan asam dari minyak jelantah (tanpa perlakuan) dan minyak jelantah yang telah dimurnikan.



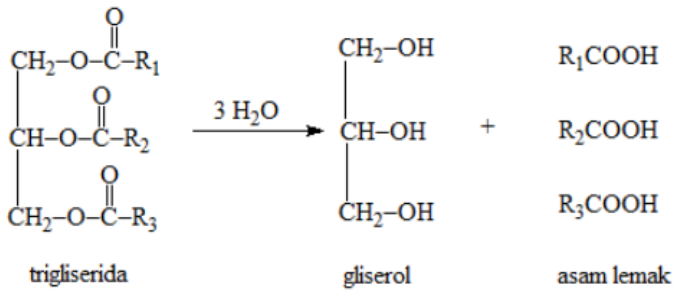
Gambar 2. Nilai bilangan asam dari minyak jelantah (tanpa perlakuan) dan minyak jelantah yang telah dimurnikan

Bilangan asam merupakan parameter penting yang menunjukkan jumlah asam lemak bebas dalam minyak, di mana nilai yang tinggi menandakan terjadinya degradasi minyak akibat proses oksidasi dan hidrolisis selama pemanasan berulang. Pada penelitian ini, minyak jelantah (MJ) tanpa perlakuan menunjukkan bilangan asam sebesar 14,918502 mg KOH/g, yang menandakan minyak jelantah tersebut memiliki kandungan asam lemak bebas yang tinggi (Sakaino et al., 2022). Setelah dilakukan proses pemurnian menggunakan karbon dari kulit kakao yang dikalsinasi pada suhu 350°C dengan variasi waktu dan penambahan bleaching earth (BE), terjadi penurunan bilangan asam yang signifikan. Pemurnian dengan karbon hasil kalsinasi selama 30 dan 45 menit yang dikombinasikan dengan BE menghasilkan bilangan asam masing-masing sebesar 10,150047 mg KOH/g dan 10,1319010 mg KOH/g, menunjukkan efektivitas awal dari proses adsorpsi. Nilai bilangan asam terendah diperoleh pada perlakuan dengan karbon hasil kalsinasi selama 60 menit, yaitu sebesar 5,0902180 mg KOH/g. Hal ini mengindikasikan bahwa pada durasi kalsinasi ini, karbon aktif memiliki struktur pori dan luas permukaan yang paling optimal untuk mengadsorpsi asam lemak bebas. Namun, ketika waktu kalsinasi ditingkatkan menjadi 75 menit, bilangan asam kembali meningkat menjadi 10,164206 mg KOH/g. Hal ini diduga akibat terjadinya over-kalsinasi yang menyebabkan penurunan struktur aktif karbon, sehingga mengurangi efektivitas

adsorpsinya. Secara keseluruhan, kombinasi karbon aktif dari kulit kakao yang dikalsinasi selama 60 menit dan bleaching earth terbukti paling efektif dalam menurunkan kadar asam lemak bebas dalam minyak jelantah (Arman et al., 2024).

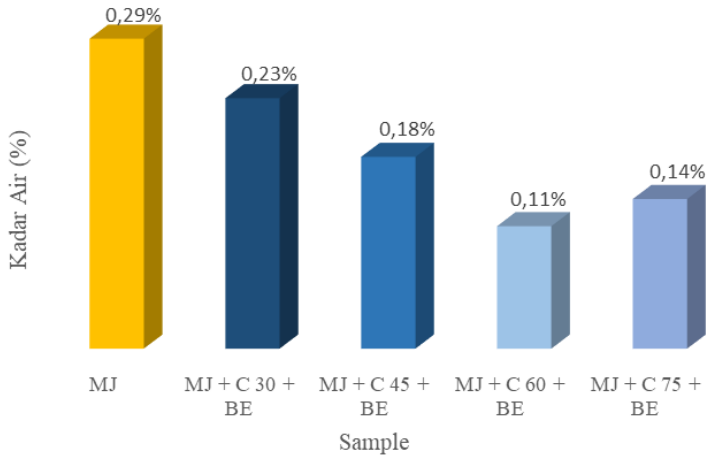
Kadar Air

Kandungan air dalam minyak dapat menyebabkan pembentukan asam lemak bebas (FFA). Ketika kadar air yang terkandung dalam minyak rendah, maka reaksi hidrolisis trigliserida menjadi asam lemak bebas dan gliserol cenderung tidak terjadi, sehingga kualitas minyak tetap terjaga. Sebaliknya, peningkatan kadar air yang tinggi di dalam minyak dapat mempercepat reaksi hidrolisis yang menyebabkan peningkatan kadar FFA dan menurunkan mutu minyak. Berikut merupakan reaksi hidrolisis trigliserida menjadi gliserol dan asam lemak bebas (Lin & Ma, 2020).



Gambar 3. Reaksi hidrolisis trigliserida

Reaksi hidrolisis yang dipicu oleh keberadaan air akan memecah trigliserida menjadi asam lemak bebas dan gliserol, meningkatkan bilangan asam serta mempercepat proses degradasi minyak. Oleh karena itu, menurunkan kadar air dalam minyak jelantah menjadi langkah penting dalam proses pemurnian, terutama jika minyak tersebut akan digunakan kembali atau didaur ulang untuk keperluan lain seperti produksi biodiesel atau minyak goreng daur ulang (Anantapinitwatna et al., 2019). Berikut merupakan nilai kadar air minyak jelantah (kontrol) dan minyak jelantah yang dimurnikan.



Gambar 4. Nilai kadar air minyak jelantah (tanpa perlakuan) dan minyak jelantah yang telah dimurnikan

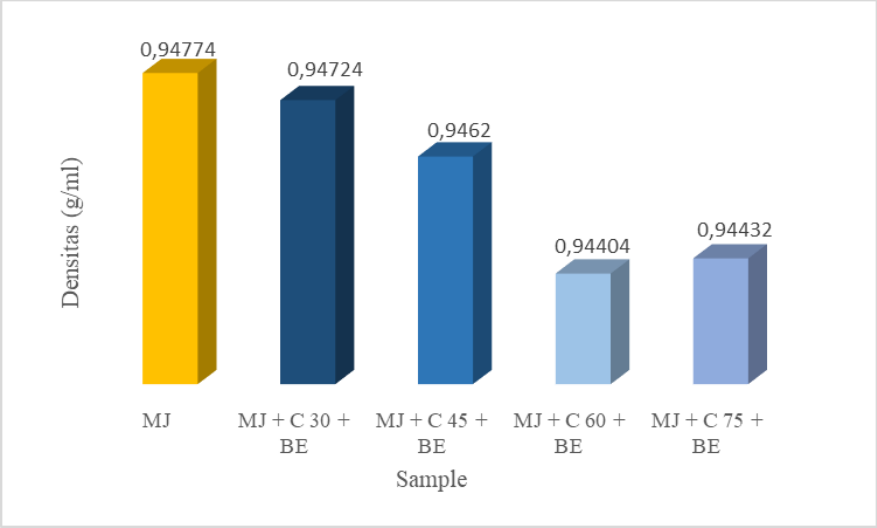
Hasil pengukuran kadar air pada berbagai perlakuan menunjukkan adanya penurunan kadar air minyak jelantah setelah proses pemurnian menggunakan karbon aktif hasil kalsinasi dan bleaching earth. Sampel minyak jelantah tanpa perlakuan (MJ) memiliki kadar air tertinggi sebesar 0,29%, yang umumnya disebabkan oleh kontaminasi air selama proses penggorengan berulang dan reaksi degradasi seperti hidrolisis. Setelah dilakukan pemurnian, terjadi penurunan kadar air secara bertahap. Pada perlakuan MJ + C 30 + BE, kadar air menurun menjadi 0,23%, kemudian terus menurun menjadi 0,18% pada MJ + C 45 + BE. Penurunan ini mengindikasikan efektivitas kombinasi adsorben dalam mengikat molekul air dari minyak (Guliyev et al., 2018).

Nilai terendah tercatat pada MJ + C 60 + BE dengan kadar air 0,11%, menunjukkan bahwa karbon aktif yang dikalsinasi selama 60 menit memiliki kemampuan adsorpsi optimal. Namun, pada MJ + C 75 + BE, kadar air meningkat kembali menjadi 0,14%. Kenaikan ini kemungkinan disebabkan oleh perubahan struktur pori akibat kalsinasi berlebih, yang mengurangi daya serap karbon terhadap air .

Penurunan kadar air ini penting karena kadar air yang tinggi dalam minyak dapat mempercepat reaksi kerusakan, seperti ab dan oksidasi. Dengan demikian, hasil ini menunjukkan bahwa pemurnian menggunakan karbon aktif (Bostan et al., 2024), dan bleaching earth (Abdelbasir et al., 2023) berpotensi memperbaiki kualitas minyak jelantah dari sisi kestabilan kimia dan ketahanan terhadap degradasi.

Densitas

Densitas merupakan salah satu parameter fisik penting yang digunakan untuk menilai kualitas minyak, termasuk minyak jelantah. Densitas atau kerapatan didefinisikan sebagai massa per satuan volume dan umumnya dinyatakan dalam satuan gram per mililiter (g/mL) (Varun et al., 2024). Densitas pada minyak jelantah berperan sebagai indikator awal terjadinya degradasi kimia akibat pemanasan berulang selama proses penggorengan. Minyak yang telah digunakan berkali-kali mengalami perubahan komposisi kimia karena berbagai reaksi, seperti oksidasi, hidrolisis, dan polimerisasi, serta kontaminasi dari air, sisa makanan, dan partikel karbon. Reaksi-reaksi ini menyebabkan akumulasi senyawa-senyawa berat seperti asam lemak bebas, aldehida, keton, dan produk degradasi lainnya yang pada akhirnya meningkatkan nilai densitas (Lopresto et al., 2024). Dibandingkan dengan minyak baru yang memiliki densitas berkisar antara 0,91–0,93 g/mL pada suhu ruang (25°C), densitas minyak jelantah dapat meningkat hingga lebih dari 0,94 g/mL tergantung pada tingkat kerusakan dan lama pemakaian. Oleh karena itu, pengukuran densitas dapat digunakan sebagai salah satu parameter penentu mutu minyak goreng bekas, dan seringkali digunakan bersama dengan parameter lain seperti bilangan asam, viskositas, dan warna untuk mengevaluasi kelayakan minyak untuk digunakan kembali atau didaur ulang (Rohim et al., 2023).



Gambar 5. Densitas minyak jelantah (tanpa perlakuan) dan minyak jelantah yang telah dimurnikan

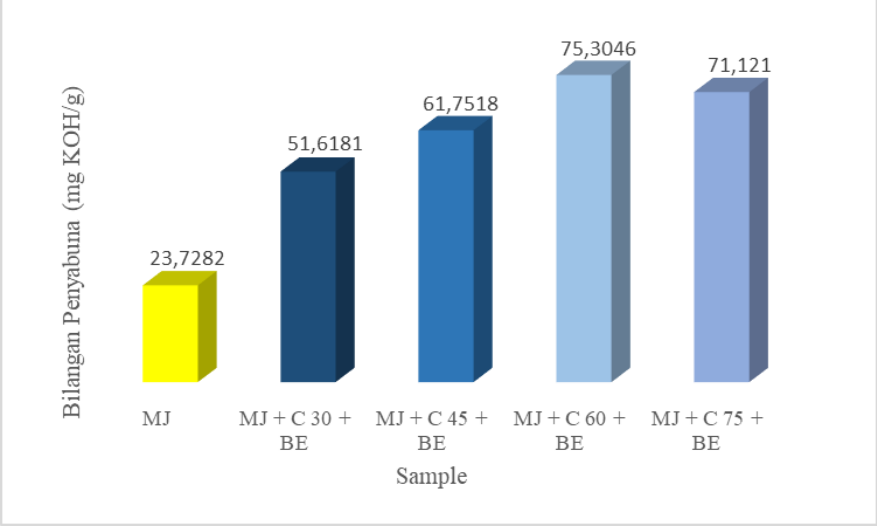
Berdasarkan Gambar 4, dapat dilihat bahwa nilai densitas minyak mengalami penurunan secara bertahap seiring dengan meningkatnya waktu kalsinasi karbon yang digunakan dalam kombinasi dengan bleaching earth. Sampel MJ (minyak jelantah tanpa perlakuan) memiliki

densitas tertinggi sebesar 0,94774 g/mL. Setelah ditambahkan karbon yang telah dikalsinasi selama 30 menit dan bleaching earth (MJ + C30 + BE), densitas menurun sedikit menjadi 0,94724 g/mL. Penurunan terus berlanjut pada sampel dengan waktu kalsinasi 45 menit (0,9462 g/mL), dan 60 menit (0,94404 g/mL). Pada karbon yang dikalsinasi dengan waktu kalsinasi selama 75 menit (MJ + C 75 + BE) mengalami peningkatan densitas yaitu dengan nilai densitas sebesar 0,94432 g/mL. Hal ini dikarenakan perubahan struktur pori karbon akibat proses kalsinasi berlebih yang dapat mengurangi efisiensi adsorpsi (Wan et al., 2024).

Tren penurunan densitas ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi oleh karbon aktif dan bleaching earth mampu mengurangi kandungan senyawa-senyawa berat dalam minyak jelantah, seperti asam lemak bebas, aldehida, dan senyawa hasil degradasi lainnya. Meskipun perbedaan densitas relatif kecil, hal ini tetap menjadi indikator bahwa proses pemurnian dapat mengurangi kontaminan dalam minyak, sehingga meningkatkan kualitas fisiknya. Selain itu, fluktuasi ringan pada densitas juga dapat disebabkan oleh senyawa minor seperti beta karoten yang masih terlarut dalam minyak (Rengga et al., 2021).

Bilangan Penyabunan

Bilangan penyabunan (saponification value) adalah parameter kimia yang menunjukkan jumlah miligram kalium hidroksida (KOH) yang diperlukan untuk menyabunkan satu gram minyak atau lemak. Nilai ini mencerminkan rata-rata massa molekul asam lemak dalam minyak tersebut; semakin tinggi bilangan penyabunan, semakin pendek rantai asam lemaknya, dan sebaliknya (Adekunle et al., 2020). Bilangan penyabunan dalam minyak jelantah dapat mengalami perubahan akibat degradasi termal dan oksidatif selama proses penggorengan berulang. Proses-proses ini dapat menyebabkan pemecahan trigliserida menjadi asam lemak bebas dan senyawa lainnya, yang pada gilirannya mempengaruhi nilai bilangan penyabunan. Penurunan bilangan penyabunan pada minyak jelantah menunjukkan peningkatan kandungan asam lemak bebas dan senyawa degradasi lainnya, yang menandakan penurunan kualitas minyak tersebut (Abiodun et al., 2019). Berikut merupakan nilai bilangan penyabunan dari minyak jelantah (tanpa perlakuan) dan minyak jelantah yang telah dimurnikan



Gambar 6. Bilangan penyabunan minyak jelantah (tanpa perlakuan) dan minyak jelantah yang telah dimurnikan

Berdasarkan grafik bilangan penyabunan di atas, dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan nilai bilangan penyabunan setelah proses pemurnian minyak jelantah (MJ) menggunakan karbon aktif hasil kalsinasi dan bleaching earth (BE). Minyak jelantah awal (MJ) memiliki bilangan penyabunan paling rendah, yaitu 23,7282 mg KOH/g, yang mengindikasikan bahwa kandungan trigliserida dalam minyak telah banyak terdegradasi akibat penggunaan berulang dan mengalami peningkatan kadar asam lemak bebas serta senyawa hasil oksidasi (Abiodun et al., 2019). Setelah dilakukan proses pemurnian dengan kombinasi karbon aktif dan bleaching earth, nilai bilangan penyabunan meningkat secara bertahap. Sampel MJ + C 30 + BE memiliki nilai 51,6181 mg KOH/g, disusul oleh MJ + C 45 + BE dengan 61,7518 mg KOH/g, menunjukkan bahwa pemurnian mampu mengadsorpsi kontaminan dan memperbaiki kandungan trigliserida relatif terhadap senyawa degradasi (Abdelbasir et al., 2023).

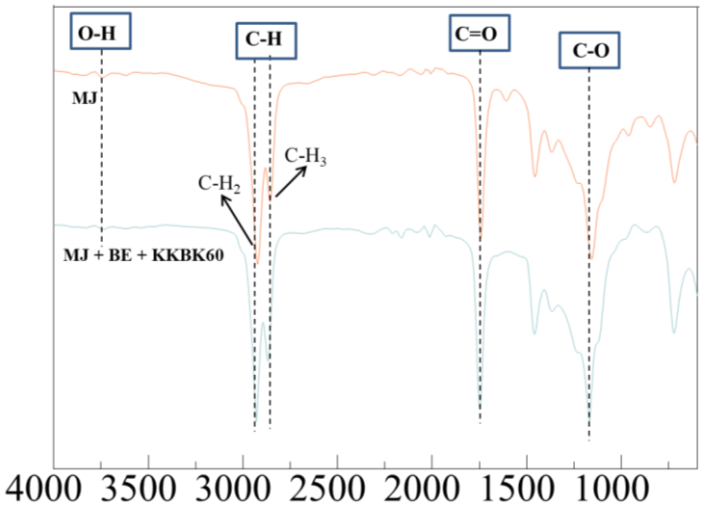
Puncak bilangan penyabunan tercapai pada sampel MJ + C 60 + BE dengan nilai 75,3046 mg KOH/g. Hal ini menandakan bahwa karbon aktif hasil kalsinasi selama 60 menit memiliki struktur pori dan kapasitas adsorpsi optimal dalam mengikat senyawa degradasi dan memungkinkan konsentrasi trigliserida lebih dominan dalam sampel (Abdullah et al., 2023). Namun, penurunan kembali nilai bilangan penyabunan pada sampel MJ + C 75 + BE menjadi 71,121 mg KOH/g dapat dikaitkan dengan terjadinya kalsinasi berlebih. Kondisi ini mungkin menyebabkan perubahan struktur pori karbon, seperti penyumbatan atau kerusakan

struktur mikropori, yang pada akhirnya mengurangi efisiensi adsorpsi senyawa degradasi dari minyak (Wan et al., 2024).

Peningkatan bilangan penyabunan yang terjadi mengindikasikan bahwa adanya peningkatan kandungan trigliserida relatif dan perbaikan kualitas kimia minyak, menunjukkan bahwa proses adsorpsi efektif dalam mengurangi degradasi minyak jelantah. Meskipun tidak sepenuhnya mengembalikan komposisi awal, hasil ini mendukung penggunaan karbon aktif dan bleaching earth sebagai agen pemurnian potensial .

FTIR

Spektroskopi FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) merupakan salah satu teknik analisis paling penting dalam mengidentifikasi gugus fungsi pada senyawa organik, termasuk dalam karakterisasi minyak jelantah (Ahda et al., 2024). Penggunaan FTIR dalam penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas proses pemurnian minyak jelantah dengan karbon aktif dan bleaching earth melalui perubahan karakteristik spektral. Berikut merupakan spektrum FTIR dari minyak jelantah dan minyak jelantah yang telah dimurnikan.



Gambar 7. FTIR minyak jelantah (tanpa perlakuan) dan minyak jelantah yang telah dimurnikan

Berdasarkan hasil FTIR diatas, dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara spektrum FTIR yang dihasilkan oleh minyak jelantah tanpa perlakuan (MJ) dan minyak jelantah yang telah dimurnikan menggunakan karbon aktif dari kulit buah kakao dan bleaching earth (MJ+ BE+KKBK 60). Analisis dilakukan dengan membandingkan nilai transmitansi (%) pada puncak-puncak khas senyawa lemak dan turunannya. Salah satu

puncak utama yang diamati adalah pada bilangan gelombang sekitar 1743,31-1743,36 cm^{-1} yang menunjukkan regangan gugus karbonil (C=O) dari ester gliserida. Intensitas pada MJ sebesar 55,28%T, sementara pada MJ + BE + KKBK 60 menurun menjadi 50,97%T, menunjukkan bahwa senyawa karbonil yang terbentuk akibat oksidasi minyak selama pemakaian berulang mengalami penurunan konsentrasi karena proses adsorpsi oleh bleaching earth dan KKBK 60 (Alshuiael & Al-Ghouti, 2020).

Pita serapan pada bilangan gelombang 2922 cm^{-1} dan 2855 cm^{-1} yang mengindikasikan regangan C–H yang berasal dari gugus metil dan metilen, juga terjadi penurunan intensitas. Untuk 2922 cm^{-1}, intensitas menurun dari 48,12%T (MJ) menjadi 46,48%T (MJ + BE + KKBK 60), sedangkan untuk 2855 cm^{-1} menurun dari 65,08%T menjadi 62,16%T. Penurunan ini menunjukkan terjadinya adsorpsi pada senyawa-senyawa dengan rantai hidrokarbon yang mengalami degradasi termal. Hal ini menandakan bahwa proses pemurnian turut mengurangi senyawa hasil pirolisis atau senyawa polar yang terikat pada rantai lemak (Alshuiael & Al-Ghouti, 2020).

Puncak lainnya yang juga mengalami penurunan adalah pada 1158 cm^{-1}, yaitu regangan C–O dari gugus ester, dari 49,45%T (MJ) menjadi 46,82%T (MJ + BE + KKBK 60). Penurunan intensitas ini menunjukkan bahwa pemurnian dapat mengurangi senyawa gliserida atau turunannya yang terbentuk akibat pemanasan berulang. Selain itu, puncak pada 1455–1457 cm^{-1} (tekukan C–H dari gugus $–CH_2–$) juga menurun dari 71,87%T (MJ) menjadi 68,40%T (MJ + BE + KKBK 60), mengindikasikan bahwa adsorpsi berlangsung hingga ke senyawa-senyawa rantai menengah. Pada puncak 1368–1363 cm^{-1}, intensitas menurun dari 78,60%T menjadi 73,76%T, mendukung bahwa karbon aktif KKBK 60 berperan dalam menyerap zat warna, senyawa oksidasi sekunder, dan pengotor lainnya (Alshuiael & Al-Ghouti, 2020).

Daerah bilangan gelombang rendah seperti pada 720 cm^{-1} (rocking CH_2) juga mengalami penurunan intensitas dari 70,26%T (MJ) menjadi 59,82%T (MJ + BE + KKBK 60) (Alshuiael & Al-Ghouti, 2020). Penurunan pada daerah ini sangat penting karena menunjukkan keberhasilan adsorpsi terhadap senyawa berat dan polimer hasil degradasi termal. Secara umum, pola penurunan intensitas di banyak bilangan gelombang utama menunjukkan bahwa senyawa polar, hasil oksidasi, dan zat warna dalam minyak jelantah berhasil dikurangi melalui kombinasi pemurnian menggunakan bleaching earth dan karbon aktif dari kulit kakao (Nursiah et al., 2023).

Temuan ini sejalan dengan penelitian oleh Ogbodo et al., (2021) yang menyatakan bahwa karbon aktif dari limbah pertanian dengan luas permukaan tinggi mampu mengadsorpsi senyawa hasil oksidasi dan meningkatkan kestabilan kimia minyak jelantah. Begitu pula dengan studi oleh Guliyev et al., (2018), yang menemukan bahwa kombinasi bleaching earth dan karbon aktif mampu menghilangkan senyawa volatil dan polar secara sinergis, yang tercermin dalam perbaikan profil FTIR.

PEMBAHASAN

Kulit buah kakao *(Theobroma cacao L)* memiliki potensi tinggi sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif yang ramah lingkungan. Kandungan utama seperti lignin dan selulosa dalam biomassa ini berkontribusi dalam membentuk struktur berpori saat proses kalsinasi dan aktivasi, yang diperlukan untuk meningkatkan kapasitas penyerapan. Dengan karakteristik tersebut, karbon aktif dari kulit kakao dapat dimanfaatkan secara efektif untuk menyerap kontaminan dalam limbah cair, termasuk minyak jelantah. Pendekatan ini tidak hanya mendukung upaya pengolahan limbah berkelanjutan, tetapi juga sejalan dengan konsep pemanfaatan limbah pertanian dalam ekonomi sirkular (Arman et al., 2024).

Minyak jelantah merupakan limbah rumah tangga yang berpotensi mencemari lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Solusi yang dapat digunakan untuk meningkatkan nilai guna minyak jelantah adalah dengan proses pemurnian, sehingga dapat dimanfaatkan kembali, baik untuk keperluan non-pangan maupun sebagai bahan baku biodiesel. Salah satu metode pemurnian yang dapat digunakan adalah metode adsorpsi, dimana pada penelitian ini adsorben yang digunakan merupakan kombinasi dari karbon aktif (Bostan et al., 2024) dan bleaching earth (Abdelbasir et al., 2023).

Karbon aktif yang digunakan merupakan karbon aktif yang berasal dari kulit buah kakao yang telah dikalsinasi menggunakan suhu 350°C selama 30, 45, 60 dan 75 menit. Kemudian masing, masing variasi kalsinasi ditambahkan dengan bleaching earth sebanyak 2 gram, bleaching earth yang digunakan, difurnace terlebih dahulu dengan suhu 350°C selama 1 jam untuk mengurangi kandungan senyawa volatil yang terdapat pada bleaching earth (Eko Saputro et al., 2020). Tujuan dari kombinasi ini adalah untuk mengoptimalkan proses penyerapan asam lemak bebas sehingga dapat menurunkan bilangan asam minyak jelantah secara signifikan. Pembahasan pada bagian ini akan menguraikan hasil analisis bilangan asam dari setiap perlakuan serta efektivitas masing-masing kombinasi adsorben dalam proses

pemurnian. Analisis terhadap minyak jelantah yang telah dimurnikan dengan karbon aktif dan minyak jelantah (tanpa perlakuan) dilakukan melalui uji bilangan asam, bilangan penyabunan, densitas, kadar air, dan uji FTIR. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas sistem adsorben ganda berupa karbon aktif dari kulit buah kakao dan bleaching earth dalam proses pemurnian minyak jelantah.

Berdasarkan hasil pengujian bilangan asam, kombinasi kedua adsorben ini terbukti mampu menurunkan bilangan asam minyak jelantah secara signifikan. Penurunan paling optimal tercatat pada kombinasi karbon aktif hasil kalsinasi selama 60 menit dengan bleaching earth, yang menurunkan bilangan asam dari 14,92 mg KOH/g menjadi 5,09 mg KOH/g. Hasil ini menunjukkan bahwa durasi kalsinasi berpengaruh terhadap struktur pori dan daya serap karbon aktif, di mana waktu 60 menit menghasilkan karbon dengan porositas dan luas permukaan terbaik untuk adsorpsi asam lemak bebas. Sebaliknya, waktu kalsinasi yang terlalu lama (75 menit) justru menurunkan efektivitas adsorpsi akibat kemungkinan over-kalsinasi yang merusak struktur aktif karbon (Arman et al., 2024).

Parameter lainnya yang dapat digunakan untuk mengkonfirmasi terjadinya perubahan yang menandakan adanya peningkatan kualitas minyak jelantah pasca penjernihan adalah kadar air, densitas, dan bilangan penyabunan. Hasil pengujian kadar air menunjukkan bahwa proses pemurnian menggunakan kombinasi karbon aktif dari kulit buah kakao dan bleaching earth secara efektif mampu mengurangi kandungan air dalam minyak jelantah. Nilai kadar air awal pada minyak jelantah tanpa perlakuan sebesar 0,29% mengalami penurunan paling signifikan pada perlakuan dengan karbon aktif hasil kalsinasi selama 60 menit, yaitu menjadi 0,11%. Penurunan ini menunjukkan bahwa karbon aktif yang dikalsinasi pada durasi tersebut memiliki kemampuan optimal dalam menyerap molekul air, yang kemungkinan disebabkan oleh struktur pori yang terbentuk secara maksimal pada kondisi tersebut. Sebaliknya, pada waktu kalsinasi 75 menit, kadar air meningkat kembali menjadi 0,14%, yang mengindikasikan bahwa proses kalsinasi berlebih dapat menyebabkan kerusakan struktur pori karbon, sehingga kapasitas adsorpsinya terhadap air menurun. Temuan ini memperkuat bahwa optimasi waktu kalsinasi sangat penting dalam menentukan performa karbon aktif dalam mengikat kontaminan polar seperti air yang dapat mempercepat kerusakan minyak melalui reaksi hidrolisis (Guliyev et al., 2018).

Pengukuran densitas memberikan informasi penting mengenai perubahan komposisi minyak jelantah setelah proses pemurnian. Minyak jelantah tanpa perlakuan menunjukkan nilai

densitas tertinggi, yaitu sebesar 0,94774 g/mL, yang mencerminkan akumulasi senyawa-senyawa berat hasil degradasi termal dan oksidatif selama penggunaan berulang. Setelah dilakukan proses pemurnian menggunakan karbon aktif dari kulit buah kakao yang dikalsinasi selama 60 menit dan bleaching earth, nilai densitas turun menjadi 0,94404 g/mL. Penurunan ini menandakan bahwa proses adsorpsi berjalan efektif dalam menghilangkan senyawa degradasi bermassa tinggi seperti asam lemak bebas dan senyawa polar lainnya. Namun, saat waktu kalsinasi diperpanjang menjadi 75 menit, densitas sedikit meningkat kembali menjadi 0,94432 g/mL, yang menunjukkan kemungkinan penurunan efisiensi adsorpsi akibat perubahan struktur pori adsorben (Wan et al., 2024). Hasil ini menegaskan bahwa kondisi karbonisasi yang tepat sangat berperan dalam menentukan keberhasilan proses pemurnian terhadap parameter fisik minyak, termasuk densitas (Rengga et al., 2021).

Nilai bilangan penyabunan memberikan gambaran mengenai jumlah trigliserida yang masih tersisa dalam minyak, serta sejauh mana senyawa-senyawa degradasi telah berkurang akibat proses pemurnian (Abiodun et al., 2019). Minyak jelantah tanpa perlakuan memiliki bilangan penyabunan paling rendah, yakni 23,72 mg KOH/g, yang mengindikasikan bahwa sebagian besar trigliserida telah terurai menjadi senyawa lain selama pemakaian berulang. Setelah proses pemurnian dengan kombinasi karbon aktif dari kulit buah kakao (kalsinasi 60 menit) dan bleaching earth, nilai bilangan penyabunan meningkat secara signifikan hingga mencapai 75,30 mg KOH/g. Kenaikan ini menunjukkan bahwa senyawa degradasi telah berhasil diadsorpsi, sehingga komposisi relatif trigliserida dalam minyak meningkat. Kondisi ini mencerminkan keberhasilan sistem adsorben ganda dalam memulihkan sebagian struktur kimia minyak. Namun demikian, ketika karbon aktif digunakan dari proses kalsinasi selama 75 menit, bilangan penyabunan justru menurun kembali, yang kemungkinan besar disebabkan oleh berkurangnya kemampuan adsorpsi akibat struktur pori yang tidak optimal. Dengan demikian, hasil ini menekankan pentingnya pemilihan durasi kalsinasi yang tepat dalam menghasilkan karbon aktif berkinerja tinggi untuk aplikasi pemurnian minyak (Wan et al., 2024).

Analisis FTIR memperkuat temuan ini dengan menunjukkan adanya penurunan intensitas pada berbagai bilangan gelombang khas senyawa lemak, seperti gugus karbonil (C=O), metil dan metilen (C–H), serta ester (C–O). Penurunan intensitas transmitansi ini menandakan berkurangnya konsentrasi senyawa hasil oksidasi dan degradasi termal, seperti aldehida dan senyawa aromatik, akibat proses adsorpsi oleh karbon aktif dan bleaching earth. Hasil ini mendukung bahwa proses pemurnian yang dilakukan tidak hanya efektif secara visual dan

kimia-fisika, tetapi juga mengubah komposisi molekul minyak menuju struktur yang lebih stabil dan layak guna (Guliyev et al., 2018).

Karbon aktif dari kulit kakao bekerja efektif dalam mengadsorpsi senyawa organik non-polar dan komponen warna (Bostan et al., 2024), sementara bleaching earth menyasar senyawa polar dan memperbaiki kejernihan (Abdelbasir et al., 2023). Selain itu, temuan ini memunculkan modifikasi penting dalam metode aktivasi karbon, khususnya terkait optimasi waktu kalsinasi untuk memperoleh struktur pori yang sesuai dengan target pengotor. Lebih lanjut, penggunaan limbah pertanian seperti kulit buah kakao sebagai bahan baku karbon aktif membuka peluang baru dalam pengembangan adsorben ramah lingkungan dan berkelanjutan. Dengan demikian, sistem pemurnian yang dikembangkan dalam penelitian ini tidak hanya memberikan solusi terhadap pencemaran minyak jelantah, tetapi juga berkontribusi terhadap ekonomi sirkular dan pengelolaan limbah terpadu.

KESIMPULAN

Penerapan sistem adsorben ganda yang terdiri dari bleaching earth dan karbon aktif berbahan dasar kulit buah kakao (Theobroma cacao L.) terbukti efektif dalam meningkatkan kualitas minyak jelantah. Optimalisasi proses kalsinasi karbon aktif pada durasi 60 menit menghasilkan karakteristik adsorben yang paling unggul, sebagaimana terlihat dari penurunan bilangan asam secara signifikan dari 14,918502 mg KOH/gram menjadi 5,0902180 mg KOH/gram, serta peningkatan bilangan penyabunan hingga 75,3046 mg KOH/gram. Densitas minyak hasil pemurnian juga menurun menjadi 0,94404 g/mL, mengindikasikan berkurangnya kandungan senyawa berat hasil degradasi. Sementara itu, kadar air mencapai nilai terendah sebesar 0,11%, menunjukkan efisiensi maksimum dalam penyerapan molekul air oleh sistem adsorben. Analisis spektroskopi FTIR mendukung temuan ini melalui penurunan intensitas pita serapan gugus karbonil (C=O), ester (C–O), dan hidrokarbon (C–H), yang menandakan terjadinya eliminasi senyawa polar dan produk oksidasi tanpa mengganggu struktur utama trigliserida. Secara keseluruhan, sistem adsorben ganda ini menunjukkan kinerja efektif dan berpotensi menjadi solusi pemurnian minyak jelantah yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

Abdelbasir, S. M., Shehab, A. I., & Khalek, M. A. A. (2023). Spent bleaching earth; recycling and utilization techniques: A review. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, *17*, 200124. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2022.200124

Abdullah, J. A. A., Jiménez-Rosado, M., Guerrero, A., & Romero, A. (2023). Effect of Calcination Temperature and Time on the Synthesis of Iron Oxide Nanoparticles: Green vs. Chemical Method. *Materials*, *16*(5). https://doi.org/10.3390/ma16051798

Abiodun, G. W., Kolade, R. A., & Adeyinka, O. J. (2019). Comparative Analysis of the Effects of Domestic Frying and Storage on Some Selected Oil Samples from Local and Commercial Sources. *Earthline Journal of Chemical Sciences*, 17–34. https://doi.org/10.34198/ejcs.3120.1734

Adekunle, A. S., Oyekunle, J. A. O., Oduwale, A. I., Owootomo, Y., Obisesan, O. R., Elugoke, S. E., Durodola, S. S., Akintunde, S. B., & Oluwafemi, O. S. (2020). Biodiesel potential of used vegetable oils transesterified with biological catalysts. *Energy Reports*, *6*, 2861–2871. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.10.019

Adiarso, A., Hermawan, E., Nelly, A., Wicaksana, D. E. P., Wijono, R. A., Ferabianie, A. L., Setiawan, H., Setiadi, S., Setiyadi, E. D., Lenggogeni, Sunartono, Marsudi, A., Dewi, Y. R., Saparudin, Handayani, I. D., & Kaseno, K. (2024). Optimized utilization of spent bleaching earth to enhance economic performance of integrated biodiesel-cooking oil plants. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, *10*, 100784. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100784

Ahda, M., Guntarti, A., Kusbandari, A., & Safitri, A. (2024). Identification of Lard Adulteration of Cooking Oil Products Using Fourier Transform Infrared Spectroscopy Combined with Chemometrics. *Food Analytical Methods*, *17*, 1–7. https://doi.org/10.1007/s12161-024-02576-y

Alshuiael, S. M., & Al-Ghouti, M. A. (2020). Multivariate analysis for FTIR in understanding treatment of used cooking oil using activated carbon prepared from olive stone. *PLOS ONE*, *15*(5), e0232997-. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232997

Anantapinitwatna, A., Ngaosuwan, K., Kiatkittipong, W., Wongsawaeng, D., & Assabumrungrat, S. (2019). Effect of Water Content in Waste Cooking Oil on Biodiesel Production via Ester-transesterification in a Single Reactive Distillation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *559*, 012014. https://doi.org/10.1088/1757-899X/559/1/012014

Aniołowska, M., & Kita, A. (2015). The Effect of Type of Oil and Degree of Degradation on Glycidyl Esters Content during the Frying of French Fries. *JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society*, *92*(11–12), 1621–1631. https://doi.org/10.1007/s11746-015-2715-3

Arman, A., Sukmawati Arifin, A., Hasizah Mochtar, A., & Irsaulul Nurhisna, N. (2024). Application of Activated Carbon from Cocoa Pod Husk (Theobroma cacao L.) in Used Cooking Oil. *BIO Web of Conferences*, *96*. https://doi.org/10.1051/bioconf/20249601032

Azme, S. N. K., Yusoff, N. S. I. M., Chin, L. Y., Mohd, Y., Hamid, R. D., Jalil, M. N., Zaki, H. M., Saleh, S. H., Ahmat, N., Manan, M. A. F. A., Yury, N., Hum, N. N. F., Latif, F. A., & Zain, Z. M. (2023). Recycling waste cooking oil into soap: Knowledge transfer

through community service learning. *Cleaner Waste Systems*, *4*, 100084. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.clwas.2023.100084

Bostan, R., Glevitzky, M., Varvara, S., Dumitrel, G. A., Rusu, G. I., Popa, M., Glevitzky, I., & Vică, M. L. (2024). Utilization of Natural Adsorbents in the Purification of Used Sunflower and Palm Cooking Oils. *Applied Sciences (Switzerland)*, *14*(11). https://doi.org/10.3390/app14114417

Chiang, K. M., Xiu, L., Peng, C. Y., Lung, S. C. C., Chen, Y. C., & Pan, W. H. (2022). Particulate matters, aldehydes, and polycyclic aromatic hydrocarbons produced from deep-frying emissions: comparisons of three cooking oils with distinct fatty acid profiles. *Npj Science of Food*, *6*(1). https://doi.org/10.1038/s41538-022-00143-5

Eko Saputro, K., Siswanti, P., Wahyu Nugroho, D., Ikono, R., Noviyanto, A., & Taufiqu Rochman, N. (2020). Reactivating adsorption capacities of spent bleaching earth for using in crude palm oil industry. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *924*(1). https://doi.org/10.1088/1757-899X/924/1/012014

Ferfuia, C., Zuliani, F., Piani, B., Costa, L. D., Corazzin, M., Turi, M., & Baldini, M. (2023). Bleaching techniques impact on some quality parameters in two different cold-pressed oils obtained at farm scale. *Journal of Food Process Engineering*, *46*(7). https://doi.org/10.1111/jfpe.14357

Frota de Albuquerque Landi, F., Fabiani, C., Castellani, B., Cotana, F., & Pisello, A. L. (2022). Environmental assessment of four waste cooking oil valorization pathways. *Waste Management*, *138*, 219–233. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.11.037

Guliyev, N. G., Ibrahimov, H. J., Alekperov, J. A., Amirov, F. A., & Ibrahimova, Z. M. (2018). Investigation of activated carbon obtained from the liquid products of pyrolysis in sunflower oil bleaching process. *International Journal of Industrial Chemistry*, *9*(3), 277–284. https://doi.org/10.1007/s40090-018-0156-1

León, A., Contreras-Arenas, J., Garnica-Fuentes, C., Jiménez-Caballero, M., Pinto-Hernández, D., León, E., Peña-Ballesteros, D., & Molina-V, D. (2023). Removal of organic compounds in wastewater using cocoa shell-based activated carbon–SiO2 nanoparticles. *Environment, Development and Sustainability*, *27*, 6811–6830. https://doi.org/10.1007/s10668-023-04168-y

Lin, C. Y., & Ma, L. (2020). Influences of water content in feedstock oil on burning characteristics of fatty acid methyl esters. *Processes*, *8*(9). https://doi.org/10.3390/PR8091130

Lopresto, C. G., De Paola, M. G., & Calabrò, V. (2024). Importance of the properties, collection, and storage of waste cooking oils to produce high-quality biodiesel – An overview. *Biomass and Bioenergy*, *189*, 107363. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2024.107363

Mannu, A., Almendras Flores, P., Briatico Vangosa, F., Di Pietro, M. E., & Mele, A. (2024). Sustainable production of raw materials from waste cooking oils. *RSC Sustainability*. https://doi.org/10.1039/d4su00372a

Monika, Banga, S., & Pathak, V. V. (2023). Biodiesel production from waste cooking oil: A comprehensive review on the application of heterogenous catalysts. *Energy Nexus*, *10*, 100209. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.nexus.2023.100209

Nurmawati, A., Latief, M., Mahendra, I., Saputro, W., & Saputro, E. A. (2024). Kinetic Study of Biodiesel Purification from Used Cooking Oil Using Activated Carbon. *ASEAN Journal of Chemical Engineering*, *24*(2), 164–173. https://doi.org/10.22146/ajche.12205

Nursiah, C., Desvita, H., Elviani, E., Farida, N., Muslim, A., Rosnelly, C. M., Mariana, M., & Suhendrayatna, S. (2023). Adsorbent Characterization from Cocoa Shell Pyrolysis (Theobroma cacao L) and its Application in Mercury Ion Reduction. *Journal of Ecological Engineering*, *24*(6), 366–375. https://doi.org/10.12911/22998993/163167

Ogbodo, N., Christian, A., Ezema, C., Onoh, I., Elijah, O., Ike, I., & Onoghwarite, O. (2021). Preparation and Characterization of activated carbon from agricultural waste (Musa-paradisiaca peels) for the remediation of crude oil contaminated water. *Journal of Hazardous Materials Advances*, *2*, 100010. https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2021.100010

Rahman, N., Hashem, S., Akther, S., & Jothi, J. S. (2023). Impact of various extraction methods on fatty acid profile, physicochemical properties, and nutritional quality index of Pangus fish oil. *Food Science and Nutrition*, *11*(8), 4688–4699. https://doi.org/10.1002/fsn3.3431

Raspadewi, N. L. P. D. (2023, May 22). The Potential of Used Cooking Oil as Biodiesel Feedstock in Indonesia. *ZonaEBT*. https://zonaebt.com/the-potential-of-used-cooking-oil-as-biodiesel-feedstock-in-indonesia/

Rengga, W. D. P., Seubsai, A., Roddecha, S., Yudistira, A., & Wiharto, A. D. (2021). Isotherm adsorption of free fatty acid in waste cooking oil used activated carbon of banana peel as bio-adsorbent. *Journal of Physics: Conference Series*, *1918*(3). https://doi.org/10.1088/1742-6596/1918/3/032008

Rohim, A. M., Marwoto, P., Priatmoko, S., & Syifa, A. (2023). Analysis FTIR Test, Viscosity, Density, Acid Number, and Organoleptic in Bulk Cooking Oil with Packaged Cooking Oil. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, *9*(5), 2613–2618. https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i5.2533

Sakaino, M., Sano, T., Kato, S., Shimizu, N., Ito, J., Rahmania, H., Imagi, J., & Nakagawa, K. (2022). Carboxylic acids derived from triacylglycerols that contribute to the increase in acid value during the thermal oxidation of oils. *Scientific Reports*, *12*(1). https://doi.org/10.1038/s41598-022-15627-3

SSE Thailand. (2024, November 2). *How Bleaching Earth Contributes to the Purification of Edible Oils*. https://sse.co.th/how-bleaching-earth-contributes-to-the-purification-of-edible-oils/?srsltid=AfmBOoomKboxkA2Vk7QKrf18-CNBAoz-_LN1MhGF2Z8i4odnSIOH1FLd

Suryani, A. S., Th Tambunan, T., Santosa, B., & Haryanto, J. T. (2024). Circular Economy Approach to the Management of Used Cooking Oil for Biofuel Production. *Journal of Economics, Management, Entreprenuer, and Business*, *4*. https://doi.org/10.52909/jemeb.v4i2.142

Tiegam, R. F. T., Tchuifon Tchuifon, D. R., Santagata, R., Kouteu Nanssou, P. A., Anagho, S. G., Ionel, I., & Ulgiati, S. (2021). Production of activated carbon from cocoa pods: Investigating benefits and environmental impacts through analytical chemistry techniques and life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, *288*, 125464. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125464

Varun, V. K., Mayakrishnan, M., & Somasundaram, M. (2024). Evaluation of the properties of bio-asphalt derived from waste cooking oil and low-density polyethylene through the pyrolysis process. *Case Studies in Construction Materials*, *21*. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03604

Wan, J., Feng, X., Li, B., Wang, M., Tang, X., Chen, J., Rong, J., Ma, S. S., Jiang, Y., & Zhang, Z. (2024). Effects of carbonization temperature and time on the characteristics of carbonized sludge. *Water Science and Technology*, *89*(9), 2342–2366. https://doi.org/10.2166/wst.2024.119