

Pengaruh Karbon Aktif dari Cangkang Telur bebek sebagai Adsorben Terhadap Kadar Asam Lemak Bebas pada Minyak Jelantah

The Influence of Activated Carbon Produced from Duck Eggshells as an Adsorbent for Free Fatty Acid Content of Used Cooking Oil

Barita Aritonang^{1*}, Ahmad Hafizullah Ritonga², Karnirius Harefa³, Herlina⁴, Dicky Yuswardi Wiratma⁵

^{1,2,3,4,5}Institut Kesehatan Medistra Lubuk Pakam, baritaaritonang11@gmail.com

Abstrak

Penggunaan minyak goreng secara berulang dapat menyebabkan penurunan kualitas minyak serta peningkatan kadar asam lemak bebas (ALB), yang berpotensi memberikan dampak negatif bagi kesehatan jika dikonsumsi secara terus-menerus. Oleh karena itu, diperlukan upaya pemurnian minyak jelantah dengan metode yang efektif, aman, dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas karbon aktif yang berasal dari limbah cangkang telur bebek dalam menurunkan kadar ALB pada minyak jelantah. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen laboratorium dengan rancangan post-test only control group. Sampel minyak jelantah ditentukan secara purposive dengan mempertimbangkan tingkat kerusakan yang mewakili kondisi nyata di lapangan. Proses pembuatan karbon aktif diawali dengan karbonisasi cangkang telur bebek, kemudian dilanjutkan dengan aktivasi kimia menggunakan larutan asam fosfat (H_3PO_4) 3 M untuk meningkatkan luas permukaan dan porositas adsorben. Karbon aktif yang dihasilkan selanjutnya diaplikasikan dalam proses adsorpsi terhadap minyak jelantah. Analisis kadar ALB dilakukan menggunakan metode titrasi alkalimetri. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karbon aktif mampu menurunkan kadar ALB secara signifikan dari 1,57% menjadi 0,22%, dengan efisiensi penurunan sebesar 75%. Nilai tersebut telah memenuhi standar mutu minyak goreng sesuai SNI 3741:2013, yaitu maksimum 0,3%. Selain itu, karbon aktif yang dihasilkan menunjukkan karakteristik yang baik, ditandai dengan tingginya daya serap iodin serta struktur pori yang berkembang optimal. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa karbon aktif dari cangkang telur bebek efektif digunakan sebagai adsorben dalam menurunkan kadar ALB pada minyak jelantah serta berpotensi sebagai solusi ramah lingkungan dan bernilai ekonomis. **Kata kunci:** karbon aktif; cangkang telur bebek; minyak jelantah; asam lemak bebas; adsorpsi.

Abstract

The repeated use of cooking oil can lead to a decline in oil quality and an increase in free fatty acid (FFA) levels, which may pose adverse health effects when consumed continuously. Therefore, an effective, safe, and sustainable purification method is required to improve the quality of used cooking oil. This study aims to evaluate the effectiveness of activated carbon derived from duck eggshell waste in reducing FFA levels in used cooking oil. The research employed a laboratory experimental method with a post-test only control group design. Samples of used cooking oil were selected purposively based on a level of degradation representative of real conditions. The preparation of activated carbon began with the carbonisation of duck eggshells, followed by chemical activation using a 3 M phosphoric acid (H_3PO_4) solution to enhance surface area and adsorbent porosity. The resulting activated carbon was then applied in the adsorption process of used cooking oil. FFA levels were analysed using the alkalimetric titration method. The results showed that the activated carbon significantly reduced FFA levels from 1.57% to 0.22%, with a reduction efficiency of 75%. This final value complies with the quality standard for cooking oil according to SNI 3741:2013 ($\leq 0.3\%$). Furthermore, the produced activated carbon exhibited favourable characteristics, as indicated by a high iodine adsorption capacity and well-developed pore structure. In conclusion, activated carbon derived from duck eggshells is effective as an adsorbent for reducing FFA levels in used cooking oil and shows strong potential as an environmentally friendly and economically valuable solution.

Keywords: Activated carbon; duck eggshell; used cooking oil; free fatty acids; adsorption.

*Corresponding author: Barita Aritonang, Institut Kesehatan Medistra, Lubuk Pakam, Indonesia

E-mail : baritaaritonang11@gmail.com

Doi : 10.35451/r6vzyw08

Received : March 27, 2026, Accepted: April 23, 2026, Published: April 30, 2026

Copyright: © 2026 Barita Aritonang (s). Creative Commons License This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

1. PENDAHULUAN

Minyak goreng merupakan bahan pangan yang banyak digunakan dalam pengolahan makanan, baik di rumah tangga maupun industri, karena dapat meningkatkan rasa, tekstur, dan tampilan makanan. Di Indonesia, konsumsi minyak goreng masih tergolong tinggi dan cenderung stabil dalam beberapa tahun terakhir[1–5]. Tingginya kebutuhan serta fluktuasi harga mendorong masyarakat untuk menggunakan minyak goreng secara berulang (minyak jelantah) dengan tujuan menghemat biaya. Praktik ini umum dijumpai, terutama pada tingkat rumah tangga dan usaha kecil. Namun, penggunaan minyak secara berulang dapat menurunkan kualitasnya akibat pemanasan yang terus-menerus[6–8]. Proses ini menyebabkan terjadinya oksidasi, hidrolisis, dan degradasi termal. Akibatnya, terjadi peningkatan kadar asam lemak bebas, perubahan warna, serta peningkatan viskositas minyak, yang pada akhirnya berpotensi menghasilkan senyawa berbahaya bagi kesehatan[9,10].

Kondisi ini berpotensi menyebabkan berbagai penyakit, seperti penyakit kardiovaskular, hipertensi, diabetes, dan kanker, serta dapat mencemari lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan upaya pemurnian untuk meningkatkan kualitas minyak jelantah. Salah satu metode yang efektif adalah adsorpsi menggunakan karbon aktif, yang bersifat ekonomis dan ramah lingkungan, serta mampu menurunkan kadar asam lemak bebas (ALB)[11–13].

Karbon aktif merupakan material berpori dengan luas permukaan tinggi yang efektif dalam mengadsorpsi asam lemak bebas (ALB). Salah satu bahan baku potensial adalah limbah cangkang telur bebek yang tersedia dalam jumlah melimpah. Cangkang telur bebek didominasi oleh kalsium karbonat (CaCO_3) sekitar 94–97%, sehingga memiliki struktur yang stabil sebagai bahan baku karbon aktif. Melalui proses karbonisasi dan aktivasi, bahan ini dapat menghasilkan karbon aktif dengan porositas dan luas permukaan yang baik. Aktivasi menggunakan asam fosfat (H_3PO_4) mampu meningkatkan jumlah pori dan gugus aktif, sehingga kemampuan adsorpsi terhadap ALB menjadi lebih optimal. Pemanfaatan limbah ini tidak hanya meningkatkan nilai guna, tetapi juga mendukung pengelolaan lingkungan yang lebih ramah, sehingga berpotensi sebagai bahan baku karbon aktif dalam proses adsorpsi. [14–16].

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa karbon aktif efektif menurunkan kadar ALB pada minyak jelantah. Firnandi *et al.* (2023) [17] dan Rahman *et al.* (2024) [18], melaporkan bahwa karbon aktif efektif menurunkan kadar ALB dari 1,03% menjadi 0,25%. Hasil serupa disampaikan Ardiansyah *et al.* (2024) [19] dan Hidayat *et al.* (2024) [20], bahwa karbon aktif efektif menurunkan kadar ALB sekitar 0,16%. Sementara itu, Aritonang *et al.* (2019) [14] dan Yunira *et al.* (2025) [21], bahwa karbon aktif yang diaktivasi dengan H_3PO_4 mampu menurunkan ALB.

Oleh karena itu, penggunaan karbon aktif diharapkan mampu meningkatkan kualitas minyak jelantah, khususnya melalui penurunan kadar ALB. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh karbon aktif dari cangkang telur bebek dalam menurunkan kadar ALB pada minyak jelantah.

2. METODE

2.1 Jenis dan Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental laboratorium dengan rancangan *post-test only control group design*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh karbon aktif dari cangkang telur bebek sebagai adsorben terhadap kadar ALB pada minyak jelantah.

2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yakni cangkang telur bebek, minyak jelantah, asam fosfat (H_3PO_4) 3 M, natrium hidroksida (NaOH) 0,1 N, etanol 96%, indikator fenolftalein (PP), akuades. Alat yang digunakan dalam penelitian ini yakni, timbangan analitik, oven, furnace (tanur), desikator, mortar dan alu, ayakan (mesh 100), hot plate stirrer, magnetic stirrer, gelas beker, erlenmeyer, corong dan kertas saring, pipet volume dan pipet tetes, buret, statif dan klem, thermometer, pH meter, SEM, FT-IR.

2.4 Prosedur

2.4.1 Preparasi karbon aktif dari cangkang telur bebek berdasarkan SNI 9301:2025

Cangkang telur bebek sebanyak 1.000 gram dicuci hingga bersih, kemudian dikeringkan pada suhu 105 °C hingga berat konstan. Sampel selanjutnya dihancurkan dan diayak hingga ukuran ±100 mesh, lalu dikarbonisasi pada suhu 400–600 °C selama 2–3 jam dan didinginkan dalam desikator hingga suhu ruang.

2.4.2 Proses aktivasi karbon cangkang telur bebek dengan pelarut H₃PO₄ 3M berdasarkan SNI 9301:2025

Arang hasil karbonisasi diimpregnasi dengan larutan H₃PO₄ 3 M (perbandingan 1:3 b/v) selama 24 jam agar aktivator meresap ke dalam pori. Sampel kemudian dikeringkan pada 105 °C hingga kering, lalu diaktivasi secara termal pada suhu 400–500 °C selama 1–2 jam untuk membuka pori dan meningkatkan luas permukaan serta daya adsorpsi. Karbon aktif yang dihasilkan selanjutnya dikarakterisasi sesuai SNI 9301:2025, meliputi kadar air, kadar abu, zat terbang, karbon terikat, daya serap iodin, dan pH.

2.4.3 Preparasi minyak jelantah

Sebanyak 1.000 mL minyak jelantah disaring, dipanaskan pada ±105 °C selama 10–15 menit untuk mengurangi kadar air, lalu didinginkan dan disimpan dalam wadah kaca gelap tertutup. Selanjutnya, dilakukan analisis awal, seperti kadar ALB, sebelum digunakan dalam proses adsorpsi.

2.4.4 Proses adsorpsi minyak jelantah menggunakan karbon aktif sebelum dan sesudah aktivasi

Sebanyak 100 mL minyak jelantah dimasukkan ke dalam gelas beker, kemudian ditambahkan 5 g karbon aktif teraktivasi H₃PO₄ 3 M. Campuran diaduk pada suhu 60–70 °C selama 30 menit, lalu didiamkan ±30 menit dan disaring untuk memisahkan adsorben. Filtrat yang diperoleh ditentukan kadar ALB.

2.4.5 Penentuan kadar ALB pada minyak jelantah sebelum dan sesudah pemberian karbon aktif dengan metode titrasi Asam-Basa (Alkalimetri).

Sebanyak ±5 gram sampel minyak ditimbang dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 mL. Sampel ditambahkan 50 mL etanol netral yang telah dipanaskan pada suhu 70 °C, lalu dihomogenkan. Setelah itu, ditambahkan 2–3 tetes indikator fenolftalein dan dititrasi dengan NaOH 0,1 N hingga terbentuk warna merah muda yang stabil selama ±30 detik. Volume NaOH dicatat, kemudian kadar ALB dihitung sebagai persen asam oleat (% b/b) sesuai SNI 3741:2013, dengan batas maksimum ≤ 0,3%.

3. HASIL

3.1 Hasil karakterisasi karbon aktif dari cangkang telur bebek berdasarkan parameter SNI 9301:2025

Karakterisasi karbon aktif dilakukan untuk menilai kualitas adsorben berdasarkan SNI 9301:2025, meliputi kadar air, kadar abu, kadar karbon terikat, daya serap iodin, dan pH.

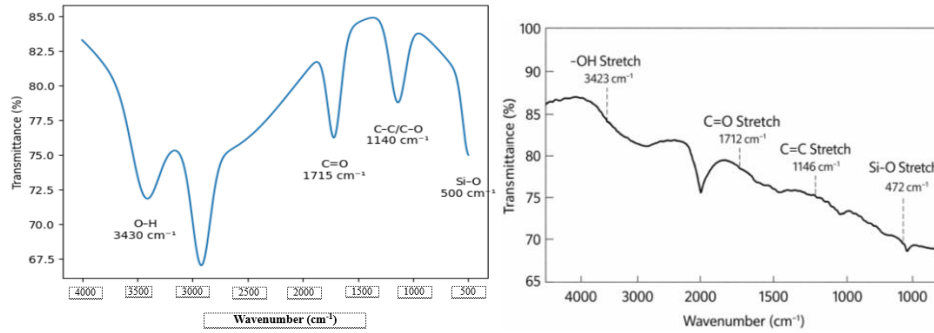
Tabel 1. Karakteristik karbon aktif cangkang telur bebek sebelum dan sesudah aktivasi SNI 9301:2025

No	Parameter	Sebelum Aktivasi	Sesudah Aktivasi	Standar SNI 06-3730-1995	Keterangan
1	Kadar Air (%)	7,85	4,25	≤ 15	Memenuhi
2	Kadar Abu (%)	12,40	8,10	≤ 10	Memenuhi
3	Zat Terbang (%)	21,75	14,35	≤ 25	Memenuhi
4	Karbon Terikat (%)	57,99	73,30	≥ 65	Memenuhi
5	Daya Serap Iodin (mg/g)	420,50	785,20	≥ 750	Memenuhi
6	pH	5,20	6,85	6–8	Memenuhi

Hasil menunjukkan bahwa aktivasi meningkatkan kualitas karbon aktif, ditandai dengan penurunan kadar air, abu, dan zat terbang, serta peningkatan karbon terikat dan daya serap iodin. Selain itu, pH menjadi lebih netral dan memenuhi standar SNI.

3.2 Hasil analisis Spektrum FTIR karbon cangkang telur bebek sebelum dan sesudah aktivasi dengan H₃PO₄

Analisis Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi pada karbon aktif cangkang telur bebek sebagai adsorben. Spektrum sebelum dan sesudah aktivasi dengan H₃PO₄ disajikan pada Gambar 1 dan Gambar 2.

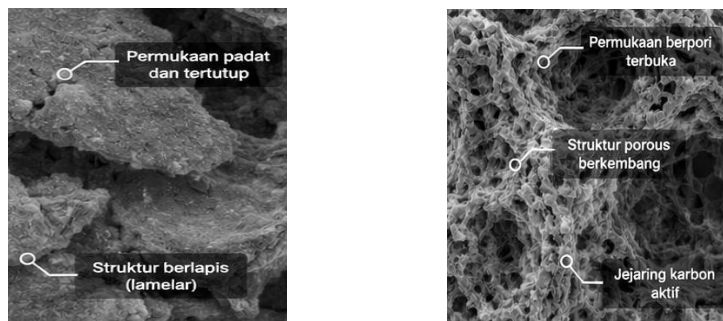


Gambar 1. FT-IR karbon aktif sebelum dan sesudah diaktivasi

Spektrum FTIR sebelum aktivasi menunjukkan adanya gugus –OH, C–H, C=O, dan Ca–O. Setelah aktivasi, puncak C–H tidak terdeteksi, C=O menjadi lebih jelas, dan –OH menurun. Hal ini menunjukkan bahwa aktivasi meningkatkan kualitas dan keaktifan permukaan karbon.

3.3 Hasil analisis Scanning Electron Microscopy (SEM) karbon aktif cangkang telur bebek sebelum dan sesudah aktivasi dengan H₃PO₄

Hasil karakterisasi menggunakan SEM menunjukkan adanya perubahan morfologi yang signifikan antara karbon sebelum dan sesudah aktivasi dengan H₃PO₄, yang menunjukkan efektivitas proses aktivasi kimia dalam memodifikasi struktur permukaan material.



Gambar 3. (a) SEM karbon sebelum aktivasi Gambar 3. (b) SEM karbon sesudah aktivasi

3.4 Hasil kadar ALB pada minyak jelantah sebelum dan sesudah adsorpsi dengan karbon aktif

Hasil analisis kadar ALB menunjukkan adanya penurunan yang sangat signifikan setelah perlakuan adsorpsi menggunakan karbon aktif. Kadar ALB minyak jelantah sebelum dan sesudah aktivasi disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kadar ALB minyak jelantah sebelum dan sesudah adsorpsi dengan karbon aktif

No	Perlakuan	Kadar ALB (%)	Penurunan (%)	Keterangan SNI 3741:2013 (≤ 0,3%)
1	Sebelum adsorpsi	1,57 ± 0,04	-	Tidak memenuhi SNI
2	Setelah adsorpsi	0,22 ± 0,03	75,00	Memenuhi SNI

Kadar ALB menurun secara signifikan setelah adsorpsi menggunakan karbon aktif (Tabel 2). Nilai awal 1,57% tidak memenuhi SNI (≤ 0,3%), sedangkan setelah perlakuan turun menjadi 0,22% dengan efisiensi ±75%, sehingga memenuhi standar. Hasil ini menegaskan bahwa karbon aktif cangkang telur bebek efektif dalam menurunkan asam lemak bebas pada minyak jelantah.

4. PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh aktivasi karbon aktif dengan pelarut H₃PO₄ terhadap kadar air, kadar abu, zat terbang, karbon terikat, daya serap iodin dan pH

Berdasarkan Tabel 1, kadar air menurun dari 7,85% menjadi 4,25%, yang menunjukkan berkurangnya kandungan air dan peningkatan kestabilan adsorben. Hal ini sejalan dengan Dwityaningsih et al. (2023) [15] dan Aritonang et al. (2024) [13] yang menyatakan bahwa aktivasi H_3PO_4 efektif menghilangkan air terikat dalam karbon. Kadar abu juga menurun dari 12,40% menjadi 8,10%, menandakan berkurangnya pengotor anorganik yang dapat menutup pori, sebagaimana dilaporkan oleh [16] dan [22]. Zat terbang menurun dari 21,75% menjadi 14,35%, menunjukkan hilangnya senyawa volatil selama proses aktivasi, sejalan dengan Dwityaningsih et al. (2023) [15] dan Prasetyo et al. (2024) [16]. Sebaliknya, karbon terikat meningkat dari 57,99% menjadi 73,30%, yang mengindikasikan terbentuknya struktur karbon yang lebih stabil, sebagaimana didukung oleh [11] dan [12]. Daya serap iodin meningkat secara signifikan dari 420,50 menjadi 785,20 mg/g, yang menunjukkan peningkatan luas permukaan dan jumlah pori aktif, sesuai dengan [13]. Nilai pH juga meningkat dari 5,20 menjadi 6,85 (mendekati netral), sehingga lebih optimal untuk proses adsorpsi, sebagaimana dilaporkan oleh [15] dan [16].

4.2 Pengaruh aktivasi karbon aktif dengan pelarut H_3PO_4 terhadap gugus fungsi FTIR

Berdasarkan Gambar 1 dan 2, spektrum FTIR karbon aktif sebelum dan sesudah aktivasi dengan H_3PO_4 menunjukkan perbedaan gugus fungsi. Sebelum aktivasi, terdeteksi gugus $-OH$ ($\sim 3400\text{ cm}^{-1}$), $C-H$ ($\sim 2900\text{ cm}^{-1}$), $C=O$ ($\sim 1700\text{ cm}^{-1}$), dan $Ca-O$ ($400-500\text{ cm}^{-1}$), yang menunjukkan masih adanya sisa senyawa organik. Setelah aktivasi, pita $C-H$ tidak lagi terdeteksi, $C=O$ menjadi lebih jelas, dan $-OH$ menurun, sedangkan $Ca-O$ tetap stabil. Hal ini menunjukkan bahwa aktivasi mampu menghilangkan senyawa organik dan meningkatkan gugus aktif pada permukaan karbon. Hasil ini sejalan dengan Wahyudi dkk. (2021) [23] melaporkan hilangnya gugus $C-H$ setelah aktivasi. Penelitian Hartanto dkk. [24] menemukan penurunan gugus $-OH$ dan senyawa volatil. Selain itu, Waluyo dkk. (2020) [25] menunjukkan peningkatan gugus $C=O$ yang mendukung interaksi adsorptif. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa aktivasi H_3PO_4 efektif meningkatkan sifat kimia permukaan karbon aktif.

4.3 Pengaruh aktivasi karbon aktif dengan pelarut H_3PO_4 terhadap morfologi permukaan SEM

Berdasarkan Gambar 3a, hasil SEM menunjukkan bahwa sebelum aktivasi, permukaan karbon masih padat, tertutup, dan didominasi oleh struktur berlapis dengan pori yang belum berkembang. Hal ini menunjukkan bahwa komponen non-karbon belum sepenuhnya terdegradasi, sehingga akses ke permukaan aktif masih terbatas. Setelah aktivasi dengan H_3PO_4 (Gambar 3b), terjadi perubahan morfologi yang jelas, ditandai dengan permukaan yang lebih kasar, terbuka, dan terbentuknya pori-pori yang saling berhubungan. Proses ini meningkatkan luas permukaan dan potensi adsorpsi. Temuan ini sejalan dengan Side et al. (2023) [26] dan Wahyudi dkk. (2021) [23] yang melaporkan peningkatan porositas karbon aktif setelah aktivasi H_3PO_4 . Penelitian Mendame dkk. (2021) [27] dan Waluyo dkk. (2020) [25] menyatakan bahwa karbon tanpa aktivasi cenderung padat dan tidak berpori, sedangkan setelah aktivasi terbentuk rongga akibat degradasi komponen non-karbon. Selain itu, Aritonang et al. (2024) [13] menunjukkan bahwa aktivasi H_3PO_4 menghasilkan struktur pori yang lebih berkembang dan saling berhubungan, sehingga meningkatkan difusi adsorbat. Secara keseluruhan, hasil ini menegaskan bahwa aktivasi H_3PO_4 efektif dalam meningkatkan kualitas morfologi karbon aktif.

4.4 Pengaruh pemberian karbon aktif sebelum dan sesudah aktivasi dengan H_3PO_4 pada minyak jelantah terhadap kadar ALB

Berdasarkan Tabel 2, kadar ALB awal sebesar 1,57% menunjukkan bahwa minyak jelantah telah mengalami degradasi tinggi akibat oksidasi dan hidrolisis selama penggunaan berulang, sehingga jauh melebihi batas SNI 3741:2013 ($\leq 0,3\%$) dan tidak layak konsumsi. Setelah proses adsorpsi, kadar ALB turun menjadi 0,22% dengan efisiensi 75,00%, sehingga telah memenuhi standar mutu minyak goreng. Penurunan ini menunjukkan bahwa karbon aktif cangkang telur bebek sangat efektif sebagai adsorben. Hasil ini sejalan dengan penelitian Firnandi et al. (2023) [17] dan Rahman dkk. (2024) [18] yang melaporkan bahwa karbon aktif mampu menurunkan ALB secara signifikan melalui mekanisme adsorpsi pada permukaan berpori. Selain itu, Ardiansyah et al. (2024) [19] dan Hidayat dkk. (2024) [20] menyatakan bahwa efektivitas adsorpsi dipengaruhi oleh luas permukaan dan distribusi pori karbon aktif. Penelitian Aritonang dkk. (2019) [14] dan Yunira et al. (2025) [21] menegaskan bahwa gugus fungsi aktif seperti $-OH$ dan $C=O$ meningkatkan interaksi antara adsorben dan asam lemak bebas melalui ikatan hidrogen dan gaya antarmolekul. Temuan ini didukung oleh daya serap iodin yang tinggi (785,20 mg/g) dan struktur pori yang berkembang baik berdasarkan analisis SEM. Kombinasi luas permukaan besar, pori terbuka, dan gugus fungsi aktif menghasilkan kinerja adsorpsi yang optimal. Dengan demikian, karbon aktif dari

limbah cangkang telur bebek berpotensi sebagai adsorben yang efektif, ekonomis, dan berkelanjutan untuk pemurnian minyak jelantah.

5. KESIMPULAN

Kesimpulan penelitian ini adalah bahwa karbon aktif cangkang telur bebek efektif meningkatkan kualitas minyak jelantah, ditandai dengan penurunan kadar air, abu, dan zat terbang, serta peningkatan karbon terikat, daya serap iodin, dan pH. Selain itu, kadar ALB berhasil diturunkan dari 1,57% menjadi 0,22% dengan efisiensi 75%, sehingga memenuhi standar SNI 3741:2013.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada Institut Kesehatan Medistra Lubuk Pakam atas dukungan fasilitas dan sarana yang telah diberikan dalam pelaksanaan penelitian ini, serta kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam mendukung kelancaran penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tarigan GFJ. Analisis Kepuasan dan loyalitas konsumen minyak goreng kemasan bimoli (studi kasus: pada ibu-ibu rumah tangga Kecamatan Medan Baru). *Agriprimatech* 2021;4:57–64.
- [2] Nuri PA. Analisis Tingkat Kepuasan Konsumen terhadap Minyak Goreng Kemasan dan Minyak Goreng Curah di Kelurahan Tembung 2024.
- [3] Wilianna W, Saputra A. Pengaruh kemasan, citra merek dan promosi terhadap keputusan pembelian minyak goreng pada pt pacific batam perkasa. *Sci J J Ilm Mhs* 2021;3.
- [4] Amanta F, Nafisah N. Produktivitas kelapa sawit tetap terbatas seiring melonjaknya harga minyak goreng di Indonesia 2022.
- [5] Ramadan FL, Kurniawan RR. tata kelola perusahaan minyak goreng di Indonesia: studi literatur fenomena kelangkaan dan kenaikan harga minyak goreng di Indonesia. *AOSCM Artic Oper Supply Chain Manag* 2022;1:1–18.
- [6] Dwiloka B, Setiani BE, Karuniasih D. Pengaruh penggunaan minyak goreng berulang terhadap penyerapan minyak, bilangan peroksida dan asam lemak bebas pada ayam goreng. *Sci Technol Manag J* 2021;1:13–7.
- [7] Fitrayatra E, Sari NQRS, Burhan P. Respon krisis irt mengenai pemberitaan kelangkaan minyak goreng. *J Polit Indones* 2022;7:26–39.
- [8] Damayanti A. Pengaruh kelangkaan dan kenaikan harga minyak goreng bagi para pedagang. Anisa Damayanti, Sri Rahmawati Rahayuningsih, Pradita Dwi Nesianti, Redita Danis Febriana 2022.
- [9] Iswandi I, Sipa EWS, Rejeki ES. Penetapan kadar asam lemak bebas pada berbagai minyak goreng setelah dan sebelum penggorengan dengan metode titrasi alkalimetri. *MEDFARM J Farm Dan Kesehat* 2023;12:1–8.
- [10] Rahmi A, Asdinar A, Artati A. Analisis kadar asam lemak bebas pada minyak goreng kelapa murni sebelum dan sesudah penggorengan di Desa Pakubalaho. *FASKES J Farm Kesehatan, Dan Sains* 2023;1:164–70.
- [11] Oko S, Mustafa M, Kurniawan A, Muslimin NA. Pemurnian minyak jelantah dengan metode adsorpsi menggunakan arang aktif dari serbuk gergaji kayu ulin (*Eusideroxylon zwageri*). *J Ris Teknol Ind* 2020;14:124.
- [12] Widagdo BW. Penyuluhan bahaya penggunaan minyak jelantah dan pemanfaatan minyak jelantah menjadi biodiesel. *JARI J Pengabdian Kpd Masyarakat Republik Indones* 2024;2:1–8.
- [13] Aritonang B, Ritonga AH, Harefa K, Wiratma DY. Purification of used cooking oil using a combination of activated carbon and bentonite adsorbents. *J Farm* 2024;7:31–40. <https://doi.org/10.35451/jfm.v7i1.2331>.
- [14] Aritonang B, Sijabat S, Ritonga AH. Efektivitas arang aktif cangkang telur bebek dan kulit durian sebagai adsorben untuk menurunkan kadar bilangan peroksida dan asam lemak bebas pada minyak goreng bekas. *J Kim SAINTEK DAN Pendidik* 2019;3:28–32.
- [15] Dwityaningsih R, Rahayu TEPS, Handayani M, Nurhilal M. Pengaruh variasi konsentrasi H₃PO₄ sebagai zat aktivator terhadap karakteristik karbon aktif dari sekam padi. *Infotekmesin* 2023;14:98–104.
- [16] Prasetyo A, Ratnani RD, Riwayati I. Pemanfaatan limbah batang pisang (*Musa paradisiaca* L.) sebagai sumber karbon aktif teraktivasi dengan penerapan metode pirolisis dan asam fosfat (H₃PO₄). *Pros Sains Nas Dan Teknol* 2024;14:198–208.
- [17] Firnandi R, Pratama FB, Ardiansyah ADK, Radianto DO. Potensi penambahan adsorben tempurung

- kelapa (*cocos nucifera*) untuk regenerasi minyak jelantah. *J Student Res* 2023;1:1–9.
- [18] Rahman C, Muldarisnur M. Sintesis dan karakterisasi karbon aktif doping TiO₂ untuk menurunkan kadar asam lemak bebas pada minyak jelantah. *J Fis Unand* 2024;13:42–8.
- [19] Ardiansyah WZ, Ibrahim I, Kurniawan E, Ginting Z. Pemanfaatan kulit durian sebagai karbon aktif untuk permurnian minyak jelantah dengan variasi zat aktivator. *Pros. Semin. Nas. Tek. Kim. Univ. Malikussaleh*, vol. 3, 2024, p. 11.
- [20] Hidayat AMA, Daulay AH, Jumiati E. Pengaruh penambahan karbon aktif biji durian terhadap penurunan nilai kadar air dan asam lemak bebas pada minyak jelantah. *J Redoks* 2024;9:37–42.
- [21] Yunira EN, Putra TAR, Pratama BS, Witoyo JE, Pangestuti MB. Performa adsorpsi karbon aktif dari kulit kopi untuk menurunkan asam lemak bebas (ffa) pada minyak jelantah. *J AGROTEKNOSAINS* 2025;9:44–50.
- [22] Wijaya LS, Afuza DS, Kurniati E. Arang aktif serbuk kayu jati menggunakan aktivator H₃PO₄ dan modifikasi TiO₂. *J Tek Kim* 2022;16:73–9.
- [23] WAHYUDI ACHA. Karakterisasi komposit tio2 karbon aktif tandan pisang menggunakan ftir dan sem-edx 2021.
- [24] Hartanto DA, Yuwita PE, Faila RN. Karakterisasi gugus fungsi pada karbon aktif kulit jagung menggunakan uji fourier transform infrared sebagai bahan pembuatan adsorben. *Invent J Sci Technol* 2024;4:1–9.
- [25] Waluyo AC, Mongan S, Tumimomor F. Pengaruh waktu aktivasi kimia pada karbon aktif berbahan dasar arang rotan serta karakterisasi menggunakan sem dan ftir. *charm sains j pendidik fis* 2020;1:113–8.
- [26] Side S, Pratiwi DE, Magfirah N, Ilyas MPAR, Putri SE. Pengaruh aktivasi terhadap morfologi karbon aktif dari kulit kacang tanah. *Indones J Fundam Sci Vol* 2023;9.
- [27] MENDAME LL, SILANGEN P, RAMPENGAN A. Perbandingan karakteristik karbon aktif arang tempurung kelapa dan arang tempurung kemiri menggunakan scanning electron microscopic dan fourier transform infra red. *j fista fis dan ter* 2021;2:105–8.