

## PENGARUH WAKTU RENDAM DAN MASSA KARBON AKTIF KULIT BUAH MAJA PADA PEMURNIAN MINYAK JELANTAH

A.M. Jannah<sup>1\*</sup>, R. Hairunnisah<sup>1</sup>, L. Syifa<sup>1</sup> dan N. Azizah<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Kimia, Universitas Sriwijaya, Palembang

\*Corresponding author e-mail: [asyeni@ft.unsri.ac.id](mailto:asyeni@ft.unsri.ac.id)

**ABSTRAK:** Minyak goreng bekas atau jelantah termasuk limbah rumah tangga yang dapat menimbulkan efek merugikan terhadap kesehatan serta lingkungan jika digunakan ulang tanpa proses pemurnian yang tepat. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh waktu perendaman dan massa karbon aktif berbasis kulit buah Maja terhadap peningkatan mutu minyak jelantah melalui proses adsorpsi. Karbon aktif disintesis dari kulit buah Maja dan diaplikasikan pada proses pemurnian minyak jelantah dengan variasi waktu perendaman dan massa adsorben. Parameter mutu minyak yang dianalisa meliputi *volatile matter*, kadar air, kadar abu, dan kadar karbon terikat pada pembuatan adsorben kulit buah Maja serta asam lemak bebas pada hasil pemurnian minyak jelantah menggunakan adsorben kulit buah Maja. Berdasarkan hasil penelitian kondisi optimum dicapai pada perlakuan perendaman selama 24 jam menggunakan 20 gram karbon aktif. Pada sampel ini setelah proses berlangsung terdapat penurunan asam lemak bebas sebesar 76,19%. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kulit buah Maja memiliki prospek sebagai sumber karbon aktif yang efisien dan ramah lingkungan untuk proses pemurnian minyak jelantah. Selain itu, pemanfaatan biomassa lokal ini berpotensi mendukung inovasi teknologi pemurnian minyak bekas yang berorientasi pada keberlanjutan dan efisiensi proses.

Kata Kunci: Kulit Buah Maja, Karbon Aktif, Minyak Jelantah, Adsorpsi, Asam Lemak Bebas

**ABSTRACT:** Used cooking oil, commonly known as waste frying oil, is categorized as household waste that can cause adverse effects on human health and the environment when reused without proper purification. This research was conducted to investigate the effect of soaking time and the mass of activated carbon derived from Maja fruit peel on the improvement of waste cooking oil quality through the adsorption process. Activated carbon was prepared from Maja fruit peel and was applied in the purification of waste cooking oil with variations in soaking duration and adsorbent mass. The oil quality parameters that were analyzed included volatile matter, moisture content, ash content, and fixed carbon of the produced adsorbent, as well as the free fatty acid (FFA) content in the purified oil. The optimum condition was obtained at a soaking time of 24 hours using 20 grams of activated carbon, resulting in a 76.19% reduction of FFA level. The findings indicated that Maja fruit peel can be utilized as an efficient and environmentally friendly source of activated carbon for waste cooking oil purification. Moreover, the use of this local biomass was considered to support the development of sustainable and energy-efficient purification technology for reused oil.

Keywords: Maja Fruit Peel, Activated Carbon, Used Cooking Oil, Adsorption, Free Fatty Acid

### 1 Pendahuluan

Minyak goreng merupakan salah satu bahan pokok yang umum digunakan dalam kegiatan memasak sehari-hari di rumah tangga maupun industri pangan. Pemakaian minyak goreng secara berulang dapat menyebabkan perubahan sifat fisik dan kimia, sehingga terbentuk minyak jelantah yang mengandung berbagai zat berbahaya dan dapat memberikan dampak buruk terhadap kesehatan serta

lingkungan [1]. Selain itu, pembuangan jelantah yang tidak tepat dapat mencemari lingkungan, khususnya air dan tanah, yang pada akhirnya menimbulkan efek merugikan terhadap ekosistem.

Berbagai metode telah dikembangkan untuk memurnikan minyak goreng bekas agar dapat digunakan kembali, salah satunya menggunakan adsorben karbon aktif. Karbon aktif dikenal sebagai material berporositas tinggi yang memiliki kapasitas adsorpsi sangat baik sehingga efektif dalam menghilangkan kontaminan dari

minyak jelantah [2-3]. Kulit buah Maja memiliki potensi besar untuk bahan dasar pembuatan karbon aktif karena mengandung senyawa organik yang melimpah serta karakteristik kimiawinya yang mendukung proses adsorpsi [4]. Sejumlah studi yang telah dilakukan sebelumnya menunjukkan bahwa limbah biomassa dari kulit buah tertentu dapat dimanfaatkan sebagai sumber karbon aktif efektif dalam pemurnian minyak bekas, namun penggunaan kulit buah Maja sebagai sumber karbon aktif belum banyak dikaji sebelumnya.

Secara kimiawi dan fisik, kulit buah Maja mempunyai karakteristik yang menjadikannya bahan baku potensial untuk produksi karbon aktif. Bahan ini diketahui mengandung senyawa metabolit sekunder seperti tanin hingga 20%, flavonoid, alkaloid, dan fenolik, yang berperan sebagai antioksidan, antibakteri, serta agen koagulasi alami [5]. Kandungan tanin yang tinggi ini menjadikan kulit buah Maja efektif dalam proses adsorpsi dan sebagai prekursor pembentukan struktur pori-pori dalam karbon aktif [6]. Proses ini bertujuan untuk peningkatan luas permukaan dan kemampuan adsorpsi arang aktif tersebut [7]. Selain itu, kulit buah Maja memiliki tekstur keras dan kandungan bahan organik yang bisa dimanfaatkan melalui proses karbonisasi menghasilkan karbon aktif dengan struktur porositas tinggi dan luas permukaan besar [8]. Porositas ini memungkinkan arang aktif yang dihasilkan mampu menyerap kontaminan atau polutan secara efektif, sehingga bermanfaat dalam aplikasi filtrasi dan pemurnian, termasuk dalam pengolahan limbah atau minyak jelantah. Potensi kegunaan kulit buah Maja juga terkait dengan kelimpahan dan ketersediaannya sebagai limbah biomassa yang belum banyak dimanfaatkan, sehingga mengoptimalkan penggunaan limbah ini dapat mendukung keberlanjutan dan nilai tambah ekonomi dan lingkungan [9].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas karbon aktif berbasis kulit buah Maja dalam proses pemurnian minyak jelantah berdasarkan variasi waktu perendaman dan massa karbon aktif dari kulit buah maja yang diaplikasikan. Melalui penelitian ini, diharapkan diperoleh manfaat praktis bagi masyarakat dalam mengolah jelantah menjadi lebih berguna dan mengurangi pencemaran lingkungan, serta menambah wawasan ilmiah mengenai penggunaan bahan alami dalam proses pemurnian minyak goreng bekas.

## 2 Metodologi

Bahan utama yang digunakan pada penelitian ini adalah kulit buah Maja yang diperoleh dari petani di daerah Desa Dangku, Sumatra Selatan. Pada karbon aktif dilakukan aktivasi  $H_3PO_4$  untuk mengetahui penurunan bilangan asam lemak bebas yang terkandung dalam minyak jelantah. Penelitian dilakukan di laboratorium dengan melakukan eksperimen pengujian efisiensi karbon aktif dari kulit buah Maja dalam memurnikan minyak jelantah. Metodologi yang dilakukan dengan cara menyiapkan karbon aktif, mengumpulkan sampel minyak jelantah, dan menguji adsorpsi kontaminan pada berbagai kondisi waktu tertentu. Kemampuan karbon aktif diuji berdasarkan Uji Kadar Zat Mudah Menguap, Uji Kadar Air, Uji Kadar Abu, dan Uji Kadar Karbon Terikat. Parameter pada penelitian ini berdasarkan efisiensi pengurangan kontaminan (FFA, warna, bau), kapasitas adsorpsi karbon aktif, analisis komposisi minyak sebelum dan sesudah pemurnian. Seluruh rangkaian penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Separasi dan Purifikasi, Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya.

### 2.1 Pembuatan Karbon Aktif

Bahan yang digunakan untuk mengadsorpsi minyak bekas diantaranya, kulit buah Maja yang dikarbonisasi sehingga didapatkan arang. Arang kulit buah Maja ditumbuk sampai dihasilkan arang yang benar-benar halus. Arang diayak menggunakan ayakan 80 mesh.

### 2.2 Aktivasi Karbon

Arang halus yang diperoleh direndam dalam larutan  $H_3PO_4$  10% selama 24 jam untuk mengaktifkan permukaannya. Setelah proses perendaman selesai, karbon aktif dicuci dengan aquades hingga pH filtrat mencapai kondisi netral, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 110 °C selama 1 jam. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan kelembapan sekaligus memperoleh karbon aktif yang siap digunakan sebagai adsorben.

### 2.3 Uji Kadar Zat Mudah Menguap (*Volatile Matter*)

Karbon aktif sebanyak 1 gram ditempatkan ke dalam cawan porselen untuk kemudian dipanaskan di dalam *furnace* hingga mencapai suhu 950 °C. Setelah suhu tersebut tercapai, proses pendinginan dilakukan di dalam *furnace* dengan kondisi tertutup untuk mencegah kontak

dengan udara luar. Setelah karbon aktif mencapai suhu kamar, sampel disimpan di dalam desikator guna menjaga kestabilan sifatnya, kemudian dilakukan penimbangan.

$$\text{Volatile Matter} = \frac{a - b}{a} \times 100\% \quad (1)$$

#### 2.4 Uji Kadar Air

Sebanyak 1 gram karbon aktif dimasukkan ke dalam cawan porselen, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C selama 1 jam. Setelah didinginkan dalam desikator hingga mencapai suhu ruang, sampel ditimbang kembali. Kadar air ditentukan menggunakan persamaan:

$$\text{Kadar air} = \frac{a - b}{a} \times 100\% \quad (2)$$

#### 2.5 Uji Kadar Abu

Adsorben sejumlah 1 gram karbon aktif ditimbang kemudian dimasukkan ke dalam cawan porselen yang massa awalnya telah diketahui. Proses pengabuan dilakukan dengan memanaskan di dalam *furnace* pada suhu 600 °C dalam rentang waktu 2 jam. Sampel didinginkan di dalam desikator, kemudian ditimbang hingga diperoleh massa konstan.

$$\text{Kadar abu} = \frac{\text{berat abu}}{\text{berat sampel}} \times 100\% \quad (3)$$

#### 2.6 Uji Kadar Karbon Terikat

Karbon terikat dalam karbon aktif ditentukan dengan mengurangkan persentase kadar *volatile metter* dan kadar abu dari total massa karbon aktif.

$$\text{Karbon aktif murni} = 100\% - (A - B) \quad (4)$$

#### 2.7 Uji Asam Lemak Bebas (*free fatty acid*)

Karbon aktif dari kulit buah maja yang telah digiling halus dan diayak dimanfaatkan sebagai material adsorben yang berfungsi untuk menurunkan kandungan asam lemak bebas pada sampel minyak jelantah sebanyak 100 mL.

Proses ini dilakukan dengan variasi massa karbon aktif 5, 10, 15, dan 20 gram serta waktu perendaman selama 6, 12, 18, dan 24 jam.

Setelah perendaman minyak diuji kandungan asam lemak bebas. Sampel minyak ditimbang, kemudian dicampurkan dengan etanol panas 95% dan indikator fenolftalein. Kemudian sampel dititrasi larutan NaOH 0,1 N yang telah distandarisasi. Volume NaOH yang terpakai menunjukkan kadar asam lemak bebas, sehingga efektivitas karbon aktif dapat dianalisis melalui penurunan volume titrasi yang diperlukan.

$$\text{Kadar FFA} = \frac{\text{ml NaOH} \times N \times BM}{g} \quad (5)$$

### 3 Hasil dan Pembahasan

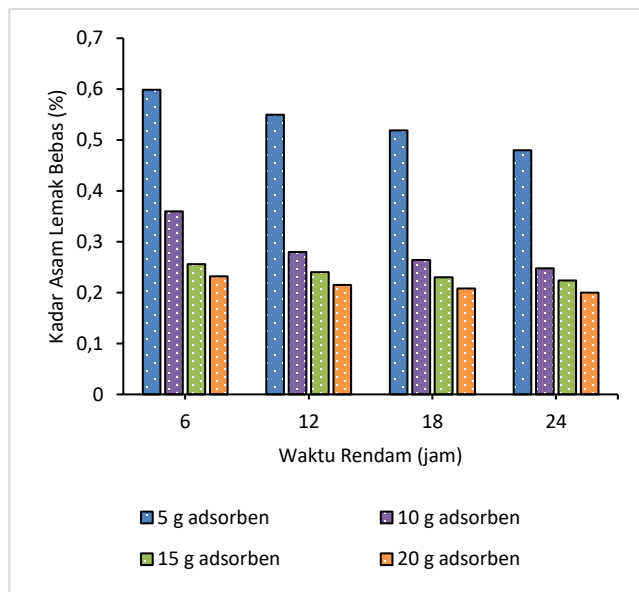
Berdasarkan proses pembentukan karbon aktif yang telah dilakukan, didapatkan kadar zat mudah menguap diperoleh sebesar 47,8%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sebagian kecil air masih tersisa dalam karbon aktif setelah proses pengeringan. Ukuran partikel yang lebih kecil dan semakin tinggi konsentrasi aktivator, umumnya menghasilkan kadar air semakin rendah karena air dalam pori-pori karbon aktif lebih mudah menguap. Kondisi tersebut menyebabkan peningkatan luas permukaan dan kemampuan adsorpsi karbon aktif [10].

Karbon aktif yang terbentuk masih mengandung 13% air, kadar abu sebesar 68,98%, dan Kadar karbon terikat sebesar 16,78%. Nilai kadar abu yang cukup tinggi ini menunjukkan bahwa karbon aktif masih mengandung banyak mineral dan oksida logam yang belum terurai atau terlarut sempurna selama proses aktivasi. Akumulasi senyawa anorganik yang tinggi dapat menyumbat pori-pori pada karbon aktif sehingga menyebabkan penurunan luas permukaan dan efektivitas kapasitas adsorpsi. Temuan ini menandakan bahwa proses aktivasi atau pencucian karbon aktif kemungkinan belum optimal dalam melarutkan senyawa anorganik. Setelah proses aktivasi, karbon aktif digunakan pada proses adsorpsi minyak jelantah bermassa 5 g dengan variasi dari massa adsorben sebanyak (5, 10, 15 dan 20 g) serta waktu rendam selama (6, 12, 18 dan 24 jam) seperti tampak pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses pemurnian minyak jelantah dengan karbon aktif kulit buah Maja.

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan hasil seperti tampak pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik pengaruh massa karbon aktif dan waktu rendam terhadap kadar asam lemak bebas

Gambar 2 memperlihatkan grafik hasil dari penelitian yang mengindikasikan terdapat hubungan yang signifikan antara variabel peningkatan berat adsorben dan waktu kontak dengan penurunan bilangan asam lemak bebas minyak jelantah. Pada kondisi awal, yaitu dengan penggunaan berat adsorben 5 g dan waktu kontak selama 6 jam, kadar asam lemak bebas masih berada pada angka 0,599%. Namun, seiring penambahan waktu kontak hingga 24 jam, nilai asam lemak bebas menurun secara bertahap menjadi 0,48%. Hal ini menegaskan bahwa lamanya kontak antara adsorben dan minyak jelantah sangat mempengaruhi efisiensi proses adsorpsi, dimana waktu

kontak yang lebih lama memberikan kesempatan lebih besar bagi senyawa aktif pada permukaan adsorben untuk berinteraksi mengikat dan mengadsorpsi molekul asam lemak bebas.

Selanjutnya, peningkatan massa dari adsorben yang digunakan juga memberikan pengaruh substansial terhadap penurunan kadar asam lemak bebas. Pada berat adsorben 10 g, hasil menunjukkan penurunan asam lemak bebas yang cukup signifikan, dengan nilai asam lemak bebas pada waktu kontak 6 jam sebesar 0,36%, dan menurun menjadi 0,248% setelah 24 jam kontak. Penurunan yang serupa juga diamati pada berat adsorben 15 g dan 20 g, dimana pada masing-masing variasi terjadi penurunan asam lemak bebas lebih cepat dan mencapai nilai paling rendah pada waktu kontak 24 jam, yaitu sebesar 0,224% dan 0,2%. Fakta ini memperkuat argumen bahwa massa adsorben sangat mempengaruhi jumlah situs aktif yang tersedia di permukaan adsorben, sehingga memungkinkan lebih banyak molekul kontaminan dalam minyak jelantah terikat selama proses adsorpsi berlangsung.

Dari hasil analisis, baik waktu kontak maupun berat adsorben memiliki pengaruh terintegrasi yang saling mendukung tercapainya hasil optimum. Pada kondisi optimum, yaitu berat adsorben 20 g dan waktu kontak 24 jam, penurunan kadar asam lemak bebas tercatat paling rendah di antara seluruh kondisi eksperimen, yakni sebesar 0,2%. Penggunaan massa adsorben yang lebih banyak dalam kombinasi dengan waktu kontak yang diperpanjang mampu memberikan efisiensi maksimum dalam proses adsorpsi asam lemak bebas dari minyak jelantah.

Selain itu, data juga memperlihatkan adanya kecenderungan penurunan kecepatan penyerapan asam lemak bebas pada waktu kontak dan berat adsorben tertentu, yang mengindikasikan kemungkinan tercapainya kondisi setimbang antara jumlah asam lemak bebas yang tersisa dengan kapasitas maksimum adsorben. Hal ini terjadi karena proses aktivasi memodifikasi morfologi karbon aktif dengan memperluas struktur pori yang lebih terbuka dan area permukaan yang lebih luas, sehingga interaksi penyerapan molekul asam lemak bebas dapat lebih efektif. Aktivasi kimia juga membantu menghasilkan permukaan karbon yang heterogen dengan keberadaan gugus fungsional yang dapat membentuk ikatan hidrogen atau interaksi elektrostatis dengan molekul asam lemak bebas, sehingga memperkuat mekanisme adsorpsi selain sekadar penjerapan fisik [11].

Selama proses aktivasi, ikatan kimia pada permukaan karbon mengalami pemecahan dan oksidasi [12]. Karbon oksida terbentuk sehingga membuka dan memperbesar

diameter pori-pori yang sebelumnya tersembunyi atau tersumbat [13]. Pembukaan pori ini meningkatkan volume pori, baik makropori, mesopori, maupun mikropori, yang secara signifikan meningkatkan area permukaan karbon aktif [14]. Luas permukaan yang besar ini menyediakan lebih banyak situs aktif untuk adsorpsi molekul, khususnya molekul asam lemak bebas dalam minyak jelantah yang umumnya memiliki ukuran molekul kecil hingga sedang [15-16]. Struktur pori yang lebih terbuka memungkinkan molekul asam lemak bebas untuk masuk dan berinteraksi secara lebih efektif dengan permukaan karbon aktif. Mikropori bertanggung jawab terhadap adsorpsi molekul kecil, sedangkan mesopori dan makropori berperan sebagai jalur akses dan penampung molekul yang lebih besar [17]. Oleh karena itu, kombinasi struktur pori yang beragam ini mendukung efektivitas tinggi karbon aktif dalam menjerap molekul-molekul asam lemak bebas dari minyak jelantah [18]. Luas permukaan total yang besar juga meningkatkan gaya interaksi fisik dan kimia pada permukaan karbon, mempermudah proses adsorpsi dan meningkatkan kapasitas penyerapan [19]. Selain itu, peningkatan berat adsorben memperbesar jumlah situs aktif pada permukaan karbon yang berperan dalam proses adsorpsi. Nilai asam lemak bebas akhir sebesar 0,2% menunjukkan bahwa minyak hasil proses adsorpsi memenuhi standar mutu yang telah ditetapkan oleh SNI, yaitu bilangan asam lemak bebas maksimum 0,6% untuk minyak goreng yang layak konsumsi.

Implikasi temuan ini sangat relevan bagi pengembangan teknologi pemurnian minyak jelantah secara berkelanjutan, khususnya dalam upaya mengurangi kandungan senyawa polutan sebelum minyak tersebut digunakan kembali atau diolah lebih lanjut. Efisiensi penurunan dari kadar asam lemak bebas yang signifikan memperlihatkan bahwa adsorben yang digunakan, dalam hal ini dapat berupa karbon aktif berbahan limbah biomassa seperti kulit buah Maja, sangat potensial untuk diimplementasikan dalam skala industri maupun rumah tangga. Efektivitas ini tidak lepas dari karakteristik primer karbon aktif yang memiliki porositas tinggi, luas permukaan besar, dan kandungan senyawa polar aktif yang mendukung proses adsorpsi [20]. Kombinasi parameter proses yang optimal juga menjadi kunci penting dalam sistem pemurnian minyak jelantah secara berkelanjutan. Dengan demikian, hasil ini tidak hanya memberikan bukti ilmiah atas efektivitas adsorben dalam menurunkan asam lemak bebas, tetapi juga menjadi dasar rekomendasi praktik teknologi pemurnian minyak jelantah yang efisien, ramah lingkungan, dan mudah diadaptasi secara luas.

#### 4 Kesimpulan

Material karbon aktif yang berasal dari kulit buah Maja berhasil diproduksi dan memenuhi kriteria SNI 0258-79 untuk parameter utama yang diuji. Karbon aktif mampu menurunkan bilangan asam lemak bebas pada minyak jelantah dengan penurunan maksimal 76.19% pada kondisi 20 g selama 24 jam. karbon aktif kulit buah Maja sangat potensial untuk diimplementasikan dalam skala industri maupun rumah tangga untuk dimanfaatkan sebagai adsorben pada pemurnian jelantah. Efektivitas ini tidak lepas dari karakteristik primer karbon aktif yang memiliki porositas tinggi, area permukaan besar, dan kandungan senyawa polar aktif yang mendukung proses adsorpsi.

#### Daftar Pustaka

- [1] A. S. Prabandari, L. N. Rokhmah, A. N. Sari, F. Pramodjati and N. A. Utami, "Penyuluhan Bahaya Penggunaan Minyak Goreng Bekas Pakai terhadap Kesehatan pada Ibu-Ibu PKK Di Kelurahan Purbayan Kecamatan Baki Sukoharjo," *BESIRU : Jurnal Pengabdian Masyarakat*, vol. 1, no. 4, pp. 181-188, 2024.
- [2] B. Aritonang, A. H. Ritonga, K. Harefa, D. Y. Wiratma, and Herlina, "Purifikasi Minyak Jelantah Menggunakan Adsorben Kombinasi Karbon Aktif dan Bentonit," *J. Farm*, vol. 7, no. 1, pp. 31-40, 2024.
- [3] L. C. Insani, L. Nadia, A. R. Dianti, and D. A. Triawan, "Pemurnian Minyak Jelantah Menggunakan Arang Aktif Cangkang Kelapa dan Kulit Pisang Serta Pemanfaatannya Sebagai Lilin Aromaterapi," *Lab. J. Lab. Sains Terap.*, vol. 2, no. 1, pp. 40-47, 2024.
- [4] M. A. Yahya, Z. Al-Qodah, and C. W. Z. Ngah, "Agricultural bio-waste materials as potential sustainable precursors used for activated carbon production: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 46, pp. 218-235. 2015.
- [5] F. P. Kurniawan, V. T. Aprilianto, and B. Wahyudi, "Ekstraksi Crude Tanin dari Kulit Buah Maja dengan Metode Sonikasi," *Chempro*, vol. 2, no. 1, pp. 59-62, 2023.
- [6] R. C. Bansal & M. Goyal. "Activated Carbon Adsorption". *CRC Press*. 2005. <https://doi.org/10.1201/9781420028812>
- [7] A. Rasitiani, E. Ginting, and P. Karo Karo, "Pengaruh Konsentrasi Ekstrak Kulit Buah Maja (*Aegle Marmelos* (L.) *Corea*) terhadap Laju Korosi Baja Karbon API 5L pada Medium NaCl 3% dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

- 3%,” *J. Teor. dan Apl. Fis.*, vol. 6, no. 2, pp. 147–158, 2018.
- [8] W. M. A. W. Daud and W. S. W. Ali, “Comparison on pore development of activated carbon produced from palm shell and coconut shell,” *Bioresource Technology*, vol. 93, no. 1, pp. 63–69, 2004, doi: 10.1016/j.biortech.2003.
- [9] O. Ioannidou and A. Zabaniotou, “Agricultural residues as precursors for activated carbon production—A review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 11, no. 9, pp. 1966–2005, 2007, doi: 10.1016/j.rser.2006.03.013.
- [10] N. E. Mayangsari and U. P. Astuti, “Model Kinetika Adsorpsi Logam Berat Cu menggunakan Selulosa Daun Nanas,” *Jurnal Chemurgy*, vol. 5, no. 1, pp. 15–21, 2021.
- [11] L. E. Laos, M. Masturi, and I. Yulianti, “The Effect of Activation Temperature on the Absorption of Activated Carbon in Candlenut Shells,” in *Proceedings of the National Seminar on Physics (E-Journal)*, 2016, vol. V, pp. 135–140.
- [12] H. Marsh and F. Rodríguez-Reinoso. “Activated Carbon,” *Elsevier Science & Technology*. 2006.
- [13] F. I. Nuria, M. Anwar, and D. Y. Purwaningsih, “Pembuatan Karbon Aktif dari Enceng Gondok,” *J. Tecnoscienza*, vol. 5, no. 1, pp. 37–48, 2020.
- [14] D. Nury *et al.*, “Pengaruh Massa Karbon Aktif dan Konsentrasi Adsorbat dalam Penyerapan Zat Warna Metilen Blue,” *ISTA Online Technol. J.*, vol. 4, no. 2, pp. 55–67, 2023.
- [15] W. Z. Ardiansyah, I. Ibrahim, and E. Kurniawan, “Pemanfaatan Kulit Durian Sebagai Karbon Aktif Untuk Pemurnian Minyak Jelantah Dengan Variasi Zat Aktivator,” *J. Pros. Semin. Nas. Tek. Kim.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–10, 2024.
- [16] R. Fadila and U. K. Nizar, “Optimasi Waktu Kalsinasi Karbon Aktif dari Bunga Cemara Laut (*Casuarina equisetifolia*) dalam Kombinasi dengan Bleaching Earth Untuk Pemurnian Minyak Jelantah,” *Masal. J. Pendidik. dan Sains*, vol. 5, pp. 1393–1408, 2025.
- [17] E. H. Ernest, A. J. Widagdo, S. Ismadji, S. P. Santoso, and F. Gosal, “Inovasi Pengolahan Minyak Bekas: Peningkatan Kualitas Melalui Adsorpsi FFA dan Produksi Sabun Cair,” *Widya Tek.*, vol. 24, no. 1, pp. 28–31, 2025.
- [18] N. Ardiansyah, A. A. Utami, A. Amir, and M. Ulfah, “Performance Evaluation and Adsorption Isotherm of Activated Bottom Ash for Free Fatty Acid Removal,” *Sains Nat. J. Biol. Chem.*, vol. 15, no. 3, pp. 154–161, 2025.
- [19] M. Nafsiatil Afro’, S. Rahayu, T. Ardianto, and D. Wijaya Kurniawidi, “A Purification Process of Wasting Oil Using CaO Adsorbent Based on Blood Shell Shells (*Anadara granosa*),” *J. Biol. Trop.*, vol. 25, no. 2, pp. 2269–2276, 2025.
- [20] K. Y. Foo and B. H. Hameed, “Insights into the modeling of adsorption isotherm systems” *Chemical Engineering Journal*, vol. 156, no. 1, pp. 2–10, 2010.