

Karakterisasi Gugus Fungsi Arang Aktif Sabut Kelapa dengan Metode Pirolisis

Anthoni Talubun¹⁾, Heinrich Taunamang¹⁾ , Alfrie Musa Rampengan^{1)*} 

¹⁾Program Studi Fisika, Universitas Negeri Manado, Kabupaten Minahasa, 95618, Indonesia

*Corresponding author. E-mail: alfrierampengan@unima.ac.id

INFO ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Diterima: 23 Maret 2026

Direvisi : 24 April 2026

Disetujui: 26 April 2026

Kata Kunci:

Sabut kelapa;

Arang aktif;

Pirolisis;

Gugus fungsi.

Keywords:

Coconut fiber;

Activated carbon;

Pyrolysis;

Functional groups.

ABSTRAK

Arang aktif dapat diperoleh dari bahan-bahan yang mengandung karbon atau dari arang yang diaktivasi untuk mendapatkan permukaan yang lebih luas. Sabut kelapa menjadi salah satu bagian dari limbah kelapa yang jarang dimanfaatkan. Penelitian ini bertujuan agar dapat mengidentifikasi gugus fungsi karbon aktif yang terdapat dalam sabut kelapa. Metode yang digunakan yakni metode pirolisis yang mana terjadi pembakaran dalam sebuah tungku tanpa oksigen pada suhu 400 °C. Analisis yang dilakukan peneliti meliputi analisis spektrum bilangan gelombang dengan alat FTIR terhadap karbon aktif sabut kelapa. Hasil analisis menunjukkan bahwa sebelum aktivasi, arang sabut kelapa telah mengandung gugus fungsi O–H, C–H, C=C, dan C–O. Setelah aktivasi menggunakan KOH, terjadi perubahan yang ditandai dengan pergeseran bilangan gelombang serta munculnya gugus fungsi baru, khususnya gugus aromatik C–H, yang menunjukkan adanya peningkatan struktur aromatik dan modifikasi kimia permukaan karbon aktif.

ABSTRACT

Activated carbon can be produced from carbon-rich materials through carbonisation and activation processes. Coconut coir is a biomass waste with high potential as a precursor for activated carbon due to its high carbon content. This study aims to analyse the changes in functional groups of coconut coir-based activated carbon before and after chemical activation using KOH. The method employed was pyrolysis at 400 °C to produce char, followed by chemical activation using a KOH solution. Characterisation was conducted using Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy to identify the functional groups present. The results show that prior to activation, the material contained functional groups such as O–H, C–H, C=C, and C–O. After KOH activation, shifts in wavenumber and the emergence of new peaks, particularly aromatic C–H groups, were observed, indicating enhanced aromatic structure and modification of the carbon surface chemistry.

PENDAHULUAN

Sumber daya alam di Indonesia terdiri atas komponen biotik dan abiotik yang memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan secara berkelanjutan. Salah satu komoditas unggulan adalah kelapa yang tumbuh melimpah di wilayah tropis, termasuk Sulawesi Utara yang dikenal sebagai “negeri nyiur melambai”. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), produksi kelapa di Indonesia mencapai 2,86 juta ton pada tahun 2025, dengan kontribusi Sulawesi Utara sebesar 265 ribu ton. Tingginya produksi tersebut berbanding lurus dengan peningkatan limbah hasil perkebunan, khususnya sabut kelapa, yang hingga saat ini belum dimanfaatkan secara optimal.

Kelapa merupakan tanaman serbaguna yang hampir seluruh bagiannya dapat dimanfaatkan, baik untuk kebutuhan konsumsi maupun industri (Ramadhani et al., 2020). Namun demikian, sabut kelapa masih cenderung dipandang sebagai limbah dengan nilai ekonomi rendah. Padahal, sabut kelapa

memiliki kandungan karbon yang tinggi (Lb et al., 2023; Montfort et al., 2025; Ni'mah et al., 2022) yang tersusun atas selulosa, hemiselulosa, dan lignin (Kondo & Arsyad, 2018). Struktur tersebut menunjukkan bahwa sabut kelapa berpotensi besar untuk dikonversi menjadi material karbon, khususnya karbon aktif, melalui proses termokimia.

Karbon aktif merupakan material karbon amorf yang memiliki luas permukaan spesifik tinggi serta kemampuan adsorpsi yang sangat baik (Nurhafika Ayu Saputri et al., 2025; Wang et al., 2023). Secara umum, karbon aktif mengandung sekitar 85%–95% karbon dengan luas permukaan berkisar antara 300–3500 m²/g (Sudibandriyo & Rizki, 2024). Sifat adsorptif ini dipengaruhi oleh struktur pori dan karakteristik kimia permukaan yang terbentuk selama proses aktivasi. Oleh karena itu, berbagai limbah biomassa seperti tempurung dan pelepah kelapa, eceng gondok, kulit pisang, sekam padi, batang bambu, tempurung kemiri (Immaduddin et al., 2021; Kawulur et al., 2025; Kimbal et al., 2025; Mudaim & Hidayat, 2021; Muliani, 2022; Pongajow et al., 2023; Watulingas et al., 2024), dan bahan lignoselulosa lainnya telah banyak dikembangkan sebagai bahan baku karbon aktif.

Proses pembuatan karbon aktif umumnya melibatkan dua tahapan utama, yaitu karbonisasi dan aktivasi (Reza et al., 2020). Aktivasi dapat dilakukan secara fisika maupun kimia (Shahcheragh et al., 2023). Aktivasi kimia menggunakan agen seperti KOH diketahui mampu meningkatkan perkembangan pori dan luas permukaan melalui reaksi dehidrasi dan pembentukan struktur mikropori, sedangkan aktivasi fisika dilakukan melalui perlakuan suhu tinggi dengan bantuan gas seperti CO₂ atau uap air. Perbedaan metode aktivasi ini akan menghasilkan karakteristik material yang berbeda, baik secara fisik maupun kimia.

Selain struktur pori, karakteristik kimia permukaan karbon aktif yang ditunjukkan oleh keberadaan gugus fungsi juga berperan penting dalam menentukan performa adsorpsi. Gugus fungsi seperti O–H, C–O, C=C, dan C–H dapat mempengaruhi interaksi antara karbon aktif dengan molekul target. Oleh karena itu, analisis menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) menjadi metode yang relevan untuk mengidentifikasi perubahan gugus fungsi akibat proses aktivasi.

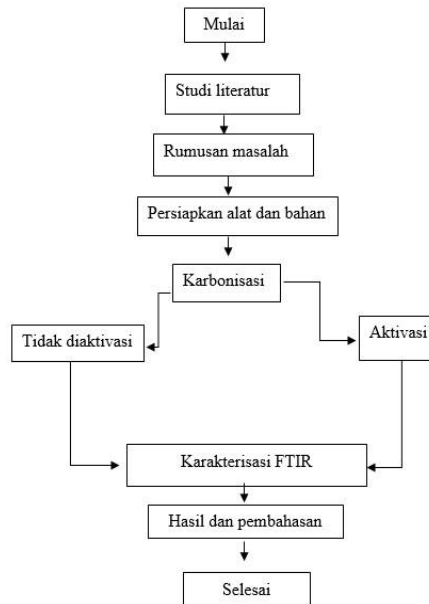
Sejumlah penelitian sebelumnya lebih banyak menitikberatkan pada peningkatan luas permukaan dan kapasitas adsorpsi karbon aktif berbasis biomassa melalui variasi kondisi aktivasi (Aprilianti et al., n.d.; Jefriadi et al., 2025; Muhsinun & Hidayat, 2025; Rahma et al., 2025). Namun, kajian yang secara khusus mengkaji perubahan gugus fungsi permukaan karbon aktif berbahan dasar sabut kelapa akibat aktivasi kimia masih relatif terbatas. Beberapa penelitian sebelumnya lebih berfokus pada karakterisasi sifat fisik seperti luas permukaan dan kemampuan adsorpsi, sementara analisis perubahan gugus fungsi menggunakan FTIR belum banyak dibahas secara mendalam. Kondisi ini menunjukkan adanya kebutuhan untuk memahami secara lebih spesifik hubungan antara proses aktivasi dan perubahan karakteristik kimia permukaan karbon aktif.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh aktivasi kimia menggunakan KOH terhadap karakteristik kimia permukaan arang aktif berbahan dasar sabut kelapa yang diperoleh melalui metode pirolisis, dengan fokus pada identifikasi dan perbandingan gugus fungsi sebelum dan sesudah proses aktivasi menggunakan analisis FTIR, sehingga diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih spesifik mengenai perubahan struktur kimia karbon aktif serta mendukung pemanfaatan limbah sabut kelapa sebagai material karbon fungsional yang bernilai tambah.

METODE PENELITIAN

Sabut kelapa yang telah dikarbonisasi akan dipisahkan menjadi 2 bagian. Pertama arang aktif hasil sabut kelapa yang akan diaktivasi kalium hidroksida (KOH) dan arang aktif sabut kelapa yang tidak diaktivasi yang disediakan sebagai sampel kontrol. Proses karbonisasi dilakukan menggunakan metode pirolisis dalam *furnace* pada suhu 400°C untuk menghasilkan arang. Arang yang diperoleh kemudian dipisahkan menjadi dua bagian, yaitu arang yang tidak diaktivasi dan arang yang diaktivasi menggunakan kalium hidroksida (KOH). Proses aktivasi dilakukan menggunakan larutan KOH sebanyak 10 mL dengan waktu aktivasi selama 5 jam.

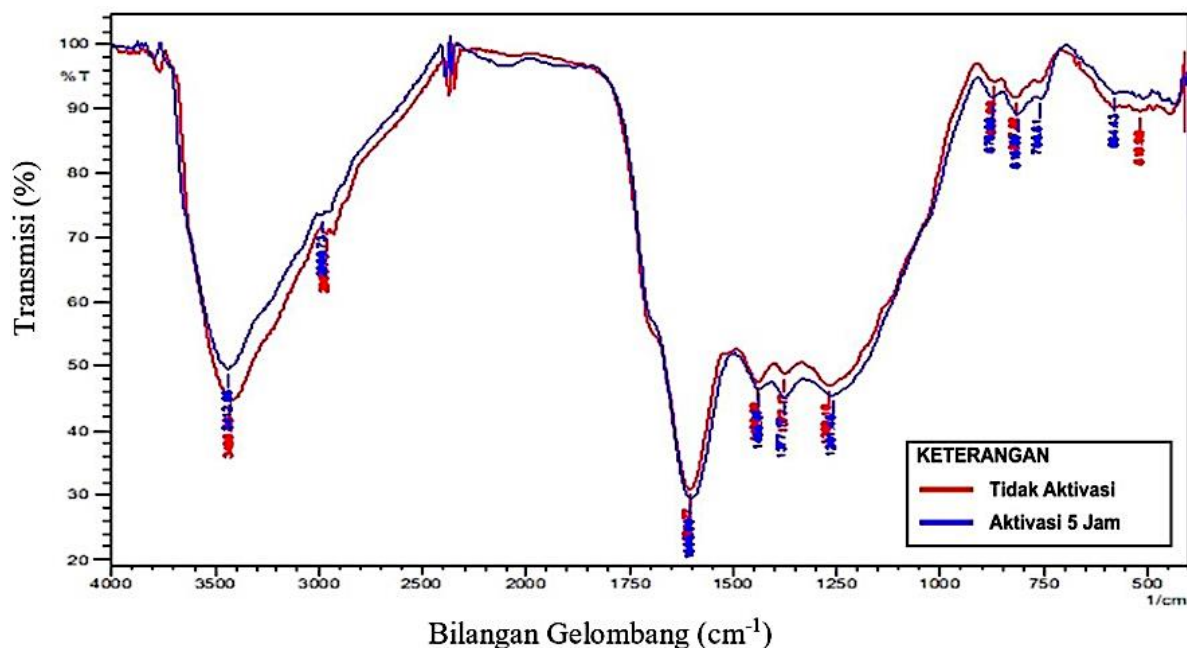
Kedua sampel tersebut selanjutnya dikarakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada arang sebelum dan sesudah proses aktivasi. Alur penelitian secara lengkap ditunjukkan pada Gambar 1, yang meliputi tahapan studi literatur, perumusan masalah, persiapan alat dan bahan, karbonisasi, aktivasi, karakterisasi FTIR, hingga analisis hasil dan pembahasan.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil data yang didapatkan dari penelitian ini berupa grafik perbandingan hasil spektrum FTIR antara arang aktif yang diaktivasi menggunakan KOH dan arang aktif yang tidak diaktivasi. Arang aktif sabut kelapa setelah dan sebelum aktivasi dianalisis menggunakan spektrum FTIR atau *Fourier Transform Infrared* yang bertujuan agar dapat mengetahui perbandingan gugus fungsi pada kedua arang aktif tersebut. Berdasarkan spektrum FTIR pada Gambar 2 menunjukkan bahwa arang aktif dari sabut kelapa sebelum dan setelah aktivasi memiliki puncak-puncak serapan yang berbeda. Arang aktif sabut kelapa yang teraktivasi KOH menghasilkan puncak serapan yaitu gugus -O-, gugus fungsi C-H keluar bidang dan adanya gugus C-H aromatik baru yang muncul. Gugus fungsi tersebut merupakan komponen penyusun dari senyawa selulosa dan lignin. Hal ini menunjukkan bahwa aktivasi menggunakan aktivator Kalium Hidroksida dapat merubah karakteristik gugus fungsi yang ada pada arang aktif sabut kelapa.



Gambar 2. Perbandingan Grafik Karbon Tidak Diaktivasi dan Karbon Aktif

Hasil penelitian berupa perbandingan spektrum FTIR arang sabut kelapa sebelum dan sesudah aktivasi menggunakan KOH. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi perubahan gugus fungsi akibat proses aktivasi. Berdasarkan spektrum FTIR pada Gambar 2, terlihat bahwa arang sabut kelapa sebelum dan sesudah aktivasi memiliki perbedaan pada posisi dan intensitas puncak serapan. Perbedaan ini menunjukkan bahwa proses aktivasi menggunakan KOH mempengaruhi struktur kimia permukaan arang. Hasil identifikasi gugus fungsi berdasarkan bilangan gelombang yang diperoleh dari spektrum FTIR dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Gugus Fungsi Sabut Kelapa dan Sabut Kelapa Teraktivasi Basa ([Pavia et al., 2013](#))

No	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)		Gugus Fungsi	Referensi (cm ⁻¹)
	Sabut Kelapa	Sabut Kelapa Teraktivasi		
1	516.92	584.43	C-H Keluar Bidang	500-650
2	817.82	763.81		
3	869.90	815.89	C-H Aromatik	690-900
4	-	875.68		
5	1269.16	1261.45	C-O	1000-1300
6	1377.17	1377.17	-O-	1300-1400
7	1438.90	1436.97	C=C	1400-1500
8	1604.77	1589.99		1500-1900
9	2960.73	2960.73	Vibrasi Ulur C-H	2850-3000
10	3425.58	3412.08	OH	3200-3650

Secara umum, spektrum FTIR yang ditunjukkan pada Gambar 2 dan menunjukkan adanya perbedaan pola serapan antara arang tanpa aktivasi dan arang yang telah diaktivasi. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa proses aktivasi kimia menggunakan KOH tidak hanya mempengaruhi struktur fisik material, tetapi juga menyebabkan perubahan pada struktur kimia permukaan karbon. Hal ini ditunjukkan oleh pergeseran bilangan gelombang, perubahan intensitas pita serapan, serta muncul atau hilangnya beberapa pita karakteristik setelah proses aktivasi.

Pada daerah bilangan gelombang sekitar 3200–3600 cm⁻¹, teramati pita serapan yang berkaitan dengan vibrasi ulur gugus hidroksil (O–H) ([Vârban et al., 2021](#)). Pita serapan yang berkaitan dengan gugus O–H mengalami pergeseran dari 3425,58 cm⁻¹ menjadi 3412,08 cm⁻¹, yang menunjukkan adanya interaksi antara gugus hidroksil dengan aktivator KOH. Pada rentang 2850–3000 cm⁻¹, pita serapan C–H tidak mengalami pergeseran signifikan, namun perubahan intensitas mengindikasikan adanya modifikasi struktur alifatik. Selanjutnya, pada daerah 1500–1700 cm⁻¹, pita serapan C=C bergeser dari 1604,77 cm⁻¹ menjadi 1589,99 cm⁻¹, yang menunjukkan peningkatan derajat aromatisasi setelah proses aktivasi.

Pada rentang bilangan gelombang 2850–3000 cm⁻¹, teridentifikasi pita serapan yang berkaitan dengan vibrasi ulur C–H dari struktur alifatik ([Yuliasari et al., 2025](#)). Keberadaan gugus ini menunjukkan bahwa meskipun telah melalui proses karbonisasi, sebagian struktur organik masih tersisa pada material. Setelah aktivasi, perubahan intensitas pita ini mengindikasikan bahwa struktur alifatik mengalami modifikasi atau degradasi parsial akibat reaksi kimia dengan KOH. Hal ini menunjukkan bahwa proses aktivasi berkontribusi dalam mengurangi komponen non-aromatik dalam struktur karbon.

Selanjutnya, pada daerah bilangan gelombang 1500–1700 cm⁻¹, teramati pita serapan yang diasosiasikan dengan ikatan rangkap karbon (C=C) yang mencerminkan keberadaan struktur aromatik. Peningkatan intensitas pita ini setelah proses aktivasi menunjukkan adanya peningkatan derajat aromatisasi pada material karbon. Proses ini terjadi sebagai akibat dari reorganisasi struktur karbon selama aktivasi, di mana struktur yang lebih tidak stabil mengalami transformasi menjadi struktur aromatik yang lebih stabil secara termodinamika. Dengan demikian, aktivasi KOH tidak hanya berperan dalam pembentukan pori, tetapi juga dalam peningkatan kestabilan struktur karbon.

Pada rentang bilangan gelombang 1000–1300 cm⁻¹, pita serapan yang berkaitan dengan gugus C–O ([Stefan et al., 2021](#)) menunjukkan keberadaan gugus fungsi yang mengandung oksigen, seperti

alkohol, eter, atau ester. Perubahan yang terjadi pada pita ini setelah aktivasi mengindikasikan adanya reaksi antara KOH dengan struktur karbon yang menghasilkan modifikasi gugus fungsi oksigen. Interaksi ini dapat menyebabkan terbentuknya situs aktif baru pada permukaan karbon, yang berpotensi meningkatkan kemampuan adsorpsi material.

Selain itu, pada daerah bilangan gelombang rendah (sekitar 500–900 cm^{-1}), teramati pita serapan yang berkaitan dengan vibrasi C–H keluar bidang yang umumnya diasosiasikan dengan struktur aromatik (Hartanto et al., 2023). Sampel teraktivasi muncul pita baru pada 875,68 cm^{-1} (C–H aromatik) dan terjadi pergeseran pita dari 817,82 cm^{-1} menjadi 763,81 cm^{-1} . Munculnya pita baru atau perubahan posisi pita pada daerah ini setelah aktivasi menunjukkan adanya perubahan konfigurasi struktur aromatik pada permukaan karbon aktif.

Secara keseluruhan, hasil analisis FTIR menunjukkan bahwa proses aktivasi kimia menggunakan KOH memberikan pengaruh signifikan terhadap karakteristik kimia permukaan arang sabut kelapa. Perubahan yang terjadi meliputi modifikasi gugus hidroksil, penurunan komponen alifatik, peningkatan struktur aromatik, serta perubahan gugus oksigen fungsional. Transformasi ini mengindikasikan bahwa aktivasi tidak hanya berperan dalam aspek fisik, tetapi juga memicu reorganisasi struktur kimia karbon pada tingkat molekuler. Temuan ini memperkuat bahwa penggunaan aktivator KOH mampu menghasilkan karbon aktif dengan karakteristik kimia yang lebih kompleks dan berpotensi memiliki kinerja adsorpsi yang lebih baik. Selain itu, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa meskipun menggunakan parameter aktivasi yang relatif sederhana, perubahan struktur kimia permukaan tetap dapat diamati secara jelas melalui analisis FTIR, yang mengindikasikan efektivitas metode yang digunakan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis FTIR, arang aktif berbahan dasar sabut kelapa menunjukkan adanya gugus fungsi O–H, C–H, C=C, C–O, dan –O–. Proses aktivasi menggunakan KOH selama 5 jam menyebabkan perubahan pada struktur kimia permukaan yang ditunjukkan oleh pergeseran bilangan gelombang, seperti pada pita O–H dari 3425,58 cm^{-1} menjadi 3412,08 cm^{-1} dan pita C=C dari 1604,77 cm^{-1} menjadi 1589,99 cm^{-1} .

Selain itu, munculnya pita serapan baru pada 875,68 cm^{-1} yang berkaitan dengan gugus C–H aromatik menunjukkan adanya peningkatan karakter aromatik setelah proses aktivasi. Hasil ini mengindikasikan bahwa aktivasi kimia menggunakan KOH berpengaruh terhadap modifikasi gugus fungsi dan struktur kimia permukaan arang aktif sabut kelapa.

REFERENSI

- Aprilianti, R., Selviani, D., Lestari, D., & Aldila, H. (n.d.). Green Synthesis Nanopartikel Karbon Aktif dari Limbah Tempurung Kelapa. *Jurnal Riset Fisika Indonesia*, 4(1), 2023. Retrieved <https://journal.ubb.ac.id/jrfi/article/view/4525>
- Hartanto, D. A., Yuwita, E., & Faila, R. N. (2023). *Karakterisasi Gugus Fungsi Pada Karbon Aktif Kulit Jagung Menggunakan Uji Fourier Transform Infrared Sebagai Bahan Pembuatan Adsorben* (Vol. 4, Number 1).
- Immaduddin, H. F., Amrullah, S., Nurkholis, & Rahayu, T. E. P. S. (2021). Pengolahan Limbah Tempurung Kemiri Sebagai Adsorben Senyawa Etilen Dengan Penambahan Kalium Permanganat (KMnO_4). *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan*, 3(1), 13–19.
- Jefriadi, J., Jelita, R., Nurhaliza, & Nailisa, N. (2025). Karbon Aktif dari Limbah Sawi Putih untuk Adsorpsi Ion Mangan (Mn). *Jurnal Teknologi Agro-Industri*, 12(1), 70–80. <https://doi.org/10.34128/jtai.v12i1.236>
- Kawulur, K., Taunaumang, H., Iwan Umbah, S., & Adfie Netty Bujung, C. (2025). Pemanfaatan Karbon Aktif dari Cangkang Kemiri sebagai Elektroda Superkapasitor. In *Oktober* (Vol. 6, Number 2).
- Kimbal, A. J., Taunaumang, H., Tumimomor, F. R., Rampengan, A. M., & Pawarangan, I. (2025). *Karakteristik Karbon Aktif Berbasis Limbah Pelelepah Kelapa dengan Variasi Konsentrasi KOH Sebagai Material Elektroda Superkapasitor*. 8(1).
- Kondo, Y., & Arsyad, M. (2018). Analisis Kandungan Lignin, Selulosa, dan Hemiselulosa Serat Sabut Kelapa Akibat Perlakuan Alkali. *INTEK: Jurnal Penelitian*, 5(2), 94–97. <https://doi.org/10.31963/intek.v5i2.578>

- Lb, F., Yusuf Lubis, R., & Sirait, R. (2023). PEMBUATAN KARBON AKTIF DARI SABUT KELAPA DENGAN AKTIVASI MENGGUNAKAN H₃PO₄ UNTUK ADSORPSI AIR GAMBUT. *JOURNAL ONLINE OF PHYSICS*, 8(2), 23–28. <https://doi.org/10.22437/jop.v8i2.20677>
- Pongajow, M. S., Taunaumang, H., Tumimomor, F. R., & Rampengan, A. M. (2023). Pengaruh Suhu Proses Karbonasi Terhadap Konduktivitas Listrik Arang Bambu Sebagai Elektroda Superkapasitor. *Konstanta : Jurnal Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 2(1), 22–31. <https://doi.org/10.59581/konstanta.v2i1.1880>
- Montfort, G. R. C., Azamar-Barrios, J. A., Quintana-Owen, P., Rejón-Moo, V., González-Gómez, W. S., & Madera-Santana, T. J. (2025). Production and Physicochemical Characterization of Activated Carbon from the Mesocarp of the Coconut (*Cocos nucifera* L.) Variety Alto del Pacifico. *Chemistry*, 7(3), 88. <https://doi.org/10.3390/chemistry7030088>
- Mudaim, S., & Hidayat, S. (2021). Analisis Proksimat Karbon Kulit Kemiri (*Aleurites Moluccana*) Dengan Variasi Suhu Karbonisasi. *Jurnal Ilmu Dan Inovasi Fisika*, 05(02), 157–163.
- Muhsinun, M., & Hidayat, S. (2025). Potensi Karbon Aktif dari Kulit Durian dengan Aktivator HCl untuk Immobilisasi Asam Lemak Hidroksamat. *Varied Knowledge Journal*, 3(1), 40–47. <https://doi.org/10.71094/vkj.v3i1.128>
- Muliani, S. (2022). *Modifikasi Permukaan Karbon Aktif dari Tempurung Kemiri (Aleurites moluccana) dengan HNO₃ dan Aplikasinya sebagai Adsorben Zat Warna Metil Jinnga* [Universitas Hasanuddin]. <https://repository.unhas.ac.id/id/eprint/19775/>
- Ni'mah, L., Mahfud, M., & Juliastuti, S. R. (2022). Study of Activated Carbon from Coconut Shell Waste to Adsorb Cu and Mn Metals in Acid Mine Drainage. *Journal of Fibers and Polymer Composites*, 1(1), 34–42. <https://doi.org/10.55043/jfpc.v1i1.35>
- Nurhafika Ayu Saputri, Jasruddin, & Vicran Zharvan. (2025). SINTESIS MEMBRAN BERBASIS KARBON AKTIF MENGGUNAKAN AKTIVATOR H₃PO₄ BERBAHAN DASAR TEMPURUNG KELAPA. *Jurnal Sains Dan Pendidikan Fisika*, 21(1), 98–106. <https://doi.org/10.35580/jspf.v21i1.6189>
- Pavia, D. L., Lampman, G. M., Kriz, G. S., & Vyvyan, J. R. (2013). *Introduction to Spectroscopy* (Fifth). CENGAGE Learning.
- Rahma, A. N., Oktavianti, E. D., Meidinariasty, A., Kimia, J. T., D4, P., Kimia Industri, T., Negeri, P., Politeknik, S., Sriwijaya, N., Negara, J. S., Besar, B., Ilir Barat, K., Palembang, I. K., & Selatan - 30139, S. (2025). Aktivasi Karbon Aktif dari Sekam Padi dan Cangkang Kelapa Sawit dengan H₂SO₄ Sebagai Media Adsorpsi Amonia (NH₃). *Chemical Engineering Journal Storage*, 5(6), 1167–1176. <https://doi.org/10.29103/cejs.v5i6.24200>
- Ramadhani, L. F., Imapya M. Nurjannah, Ratna Yulistiani, & Erwan A. Saputro. (2020). Review: teknologi aktivasi fisika pada pembuatan karbon aktif dari limbah tempurung kelapa. *Jurnal Teknik Kimia*, 26(2), 42–53. <https://doi.org/10.36706/jtk.v26i2.518>
- Reza, M. S., Yun, C. S., Afroze, S., Radenahmad, N., Bakar, M. S. A., Saidur, R., Taweekun, J., & Azad, A. K. (2020). Preparation of activated carbon from biomass and its' applications in water and gas purification, a review. *Arab Journal of Basic and Applied Sciences*, 27(1), 208–238. <https://doi.org/10.1080/25765299.2020.1766799>
- Shahcheragh, S. K., Bagheri Mohagheghi, M. M., & Shirpay, A. (2023). Effect of physical and chemical activation methods on the structure, optical absorbance, band gap and urbach energy of porous activated carbon. *SN Applied Sciences*, 5(12), 313. <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05559-6>
- Stefan, M., Stefan, I., Negoita, I.-A., Ordeanu, V., & Stefan, D. S. (2021). Influence of Internal Structure of the Sorbents on Diazepam Sorption from Simulated Intestinal Fluid. *Applied Sciences*, 11(3), 1158. <https://doi.org/10.3390/app11031158>
- Sudibandriyo, M., & Rizki, A. (2024). The Influence of Activated Carbon as Adsorbent in Adsorptive – Distillation of Ethanol–Water Mixture. *International Journal of Technology*, 15(2), 425. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v15i2.6659>
- Vârban, R., Crişan, I., Vârban, D., Ona, A., Olar, L., Stoie, A., & Ştefan, R. (2021). Comparative FT-IR Prospecting for Cellulose in Stems of Some Fiber Plants: Flax, Velvet Leaf, Hemp and Jute. *Applied Sciences*, 11(18), 8570. <https://doi.org/10.3390/app11188570>

- Wang, B., Lan, J., Bo, C., Gong, B., & Ou, J. (2023). Adsorption of heavy metal onto biomass-derived activated carbon: review. *RSC Advances*, 13(7), 4275–4302. <https://doi.org/10.1039/D2RA07911A>
- Watulingas, A. N., Rampengan, A. M., Tumimomor, F. R., Wenas, D. R., & Nusa, J. G. N. (2024). Pemanfaatan Karbon Aktif Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) Sebagai Material Elektroda Superkapasitor dengan Variasi Konsentrasi Elektrolit. *Jurnal SOSCIED*, 7(2).
- Yuliasari, N., Hidayati, N., & Anandika, A. (2025). Sonikasi adsorpsi congo red oleh hidrochar ampas tebu termodifikasi Co(OH)₂. *Jurnal Penelitian Sains*, 27(1), 1. <https://doi.org/10.56064/jps.v27i1.1178>