

Persiapan dan Penerapan Karbon Aktif NaOH dari Ampas Teh untuk Penghilangan Amonium dan Besi dari Air Sungai

Preparation and Application of NaOH-Activated Carbon from Tea Waste for Ammonium and Iron Removal from River Water

Heni Juniar^(1,a*), Elfidiah¹, Eko Ariyanto¹, Amsi Ramadani Pratama¹

⁽¹⁾Program Studi Teknik Kimia, Universitas Muhammadiyah Palembang, Sumatera Selatan, Indonesia
Email: ^(a*) hennijuniar02@gmail.com

Diterima (14 April 2026), Direvisi (06 Juli 2026)

Abstract. *This study aims to utilize spent tea waste as a raw material for producing activated carbon activated using NaOH and to evaluate its ability to reduce ammonium (NH_4^+) and iron (Fe) levels in river water. The preparation of activated carbon includes drying, carbonization, and chemical activation with variations in adsorbent mass of 5 g, 10 g, 15 g, 20 g, and 25 g, with a contact time of 1 hour. Analysis was carried out using a UV-Vis spectrophotometer. The results showed that increasing the adsorbent mass improved the efficiency of ammonium removal by 16.66%, although the adsorption capacity per unit mass tended to decrease. For iron (Fe), the optimum condition was obtained at an adsorbent mass of 15 g, showing the best removal performance. Meanwhile, the most significant temperature decrease occurred at an adsorbent mass of 25 g, from 32°C to 27°C.*

Keywords: *tea waste, activated carbon, adsorption, ammonium, iron (Fe), river water*

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah ampas teh sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif yang diaktivasi menggunakan NaOH serta mengkaji kemampuannya dalam menurunkan kadar amonium (NH_4^+), besi (Fe). Proses pembuatan karbon aktif meliputi tahap pengeringan, karbonisasi, dan aktivasi kimia dengan variasi massa adsorben 5 g, 10 g, 15 g, 20 g, dan 25 g serta waktu kontak 1 jam. Analisis dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan massa adsorben meningkatkan efisiensi penurunan amonium sebesar 16,66%, namun kapasitas adsorpsi per satuan massa cenderung menurun. Untuk parameter besi (Fe), kondisi optimum diperoleh pada massa adsorben 15 g dengan hasil penurunan terbaik. Sementara itu, penurunan suhu paling signifikan terjadi pada massa adsorben 25 g, yaitu dari 32°C menjadi 27°C.

Kata kunci: ampas teh, karbon aktif, adsorpsi, amonium, besi (Fe), air sungai

PENDAHULUAN

Industri yang menerapkan proses adsorpsi umumnya menggunakan karbon aktif sebagai adsorben karena memiliki luas permukaan tinggi dan kemampuan mengikat berbagai kontaminan secara efektif. Salah satu alternatif bahan baku karbon aktif yang potensial adalah limbah biomassa seperti ampas teh. Pemanfaatan limbah ini menjadi penting mengingat produksi teh nasional Indonesia masih cukup besar, yaitu berkisar antara 130.000–150.000 ton per tahun (BPS, 2024; Kementerian Pertanian RI, 2023). Produksi tersebut secara tidak langsung menghasilkan limbah ampas teh dalam jumlah signifikan, terutama dari industri minuman teh siap saji.

Tanaman teh (*Camellia sinensis*) termasuk dalam famili Theaceae dan memiliki kandungan senyawa kimia yang kompleks, seperti polisakarida, protein, lemak, vitamin, mineral, kafein, serta senyawa polifenol seperti katekin dan flavonoid [1], [2], [3]. Daun teh segar mengandung air sekitar 75–80%, yang kemudian berkurang setelah proses pelayuan dan pengolahan [4].

Selain itu, kandungan vitamin C pada daun teh berkisar 2–3 mg per gram bahan kering, meskipun sebagian besar mengalami degradasi selama proses pengolahan [5].

Ampas teh sebagai limbah masih memiliki kandungan bahan organik yang tinggi, seperti karbon, selulosa, hemiselulosa, dan lignin [6]. Kandungan karbonnya dilaporkan mencapai sekitar 40–45%, sedangkan protein kasar dapat mencapai lebih dari 25% berat kering [7]. Kandungan selulosa yang tinggi memberikan sifat polielektrolit yang mendukung proses adsorpsi, sehingga limbah ini berpotensi diolah menjadi karbon aktif [8]. Pemanfaatan limbah ini juga sejalan dengan konsep pengelolaan limbah berkelanjutan dan ekonomi sirkular [9].

Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa karbon aktif berbasis limbah biomassa efektif digunakan untuk mengadsorpsi berbagai polutan, termasuk logam berat dan senyawa organik [9]. Selain itu, karbon aktif dari ampas teh juga telah dimanfaatkan dalam pemurnian minyak kelapa sawit mentah (CPO), khususnya untuk adsorpsi β -karoten, dengan persentase adsorpsi mencapai lebih dari 99% [10].

Dalam penelitian ini, karbon aktif akan dibuat dari ampas teh bekas seduhan menggunakan aktivator NaOH melalui proses karbonisasi [11]. Variabel yang dikaji meliputi suhu, konsentrasi aktivator, dan waktu aktivasi, di mana suhu karbonisasi dan waktu aktivasi berpengaruh signifikan terhadap daya serap karbon aktif karena pembentukan pori-pori mikro [12]. Karbon aktif yang dihasilkan akan diaplikasikan untuk menurunkan kadar amonium (NH_4^+), besi (Fe), serta parameter suhu pada air sungai. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kombinasi aerasi cascade dan adsorpsi dengan arang ampas teh sangat efektif mampu menurunkan kadar besi awal [13]. Karbon aktif dan biochar berbasis ampas teh telah menunjukkan kemampuan yang baik sebagai adsorben logam berat, termasuk Pb(II), Cd(II), Ni(II), dan Zn(II). Kinerjanya dipengaruhi oleh dosis adsorben, pH, waktu kontak, konsentrasi awal, serta modifikasi permukaan. Pada pengolahan limbah cair yang mengandung Pb, penambahan 1,4 g karbon aktif ampas teh dalam biokomposit kitosan menghasilkan efisiensi penyisihan sekitar 90,6% [14], [15], [16], [17]. Aktivasi karbon ampas teh dengan aktivator NaOH dilaporkan menghasilkan luas permukaan spesifik tinggi, murah, dan ramah lingkungan [18], [19].

METODELOGI PENELITIAN

Bahan dan Alat

- Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi ampas teh sebagai bahan baku utama, larutan natrium hidroksida (NaOH) sebagai aktivator, aquadest sebagai pelarut dan pencuci, serta air sungai sebagai sampel uji.
- Peralatan yang digunakan terdiri dari spektrofotometer UV-Vis (UV-Mini 1240) untuk analisis kadar amonium dan besi (Fe), neraca analitik untuk penimbangan bahan dengan ketelitian tinggi, serta furnace untuk proses karbonisasi. Selain itu, digunakan crush porselen (mortar dan alu) untuk menghaluskan sampel, beaker glass sebagai wadah pencampuran, kertas saring untuk proses filtrasi, dan desikator untuk menjaga sampel tetap kering setelah pemanasan.

Prosedur Percobaan

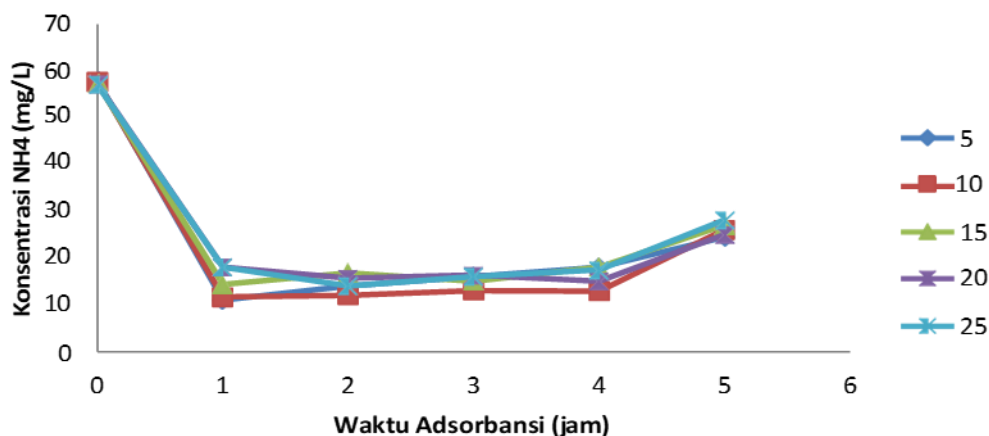
- **Persiapan Bahan Baku**
Persiapan bahan baku dilakukan dengan menyiapkan ampas teh sebanyak ± 500 gram, kemudian dicuci menggunakan aquadest hingga bersih untuk menghilangkan kotoran dan zat terlarut. Selanjutnya, ampas teh dikeringkan di bawah sinar matahari selama 24 jam, kemudian dilanjutkan dengan pengeringan menggunakan oven pada suhu 150°C , selama 30 menit untuk menurunkan kadar air secara optimal. Ampas teh kering kemudian dikarbonisasi pada suhu 500°C selama 1 jam dalam furnace untuk menghasilkan arang.
- **Pengaktifan Karbon**
Ampas teh yang telah dikeringkan kemudian dikarbonisasi pada suhu 500°C selama 1 jam untuk menghasilkan arang. Arang yang diperoleh selanjutnya dihaluskan dan diayak hingga

mencapai ukuran partikel ± 100 mesh. Proses aktivasi dilakukan dengan merendam arang dalam larutan NaOH dengan konsentrasi 1 M selama 24 jam. Setelah itu, sampel disaring dan dicuci menggunakan aquadest hingga mencapai pH netral ($pH = 7$), kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 150°C selama 30 menit untuk memperoleh karbon aktif. Karbon aktif yang dihasilkan digunakan dalam proses adsorpsi dengan sampel air sungai sebanyak 100 mL untuk setiap perlakuan. Analisis kadar amonium (NH_4^+) dilakukan menggunakan metode Fenat, sedangkan kadar besi (Fe) dianalisis menggunakan metode ortofenantrolin, keduanya diukur dengan spektrofotometer UV-Vis. Setiap perlakuan dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan (replikasi) untuk memastikan keakuratan data.

HASIL PENELITIAN

Pengaruh waktu dan berat karbon aktif terhadap penurunan amonium

Hasil analisis terhadap penurunan kadar amonium, besi (Fe), dan suhu dengan variasi berat karbon aktif dan waktu kontak menunjukkan bahwa peningkatan berat karbon aktif cenderung meningkatkan daya serap.



Gambar 1. Pengaruh Waktu Dan Berat Karbon Aktif Terhadap Penurunan Ammonium

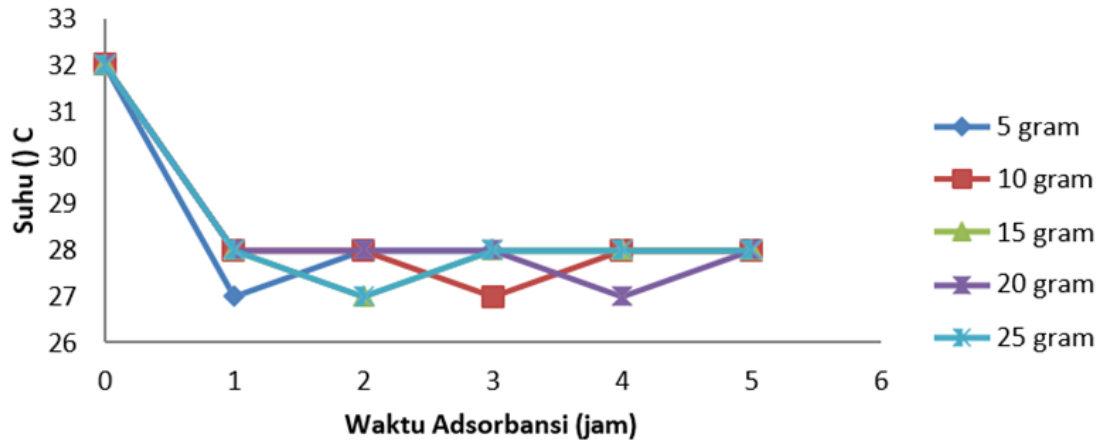
Pada kondisi waktu kontak 1 jam, penurunan kadar amonium (NH_4^+) dalam air sungai dianalisis menggunakan variasi berat adsorben karbon aktif, yaitu 5 g, 10 g, 15 g, 20 g, dan 25 g. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan berat adsorben cenderung meningkatkan efisiensi penurunan kadar amonium mencapai 16,66 mg/L, namun nilai daya serap per satuan massa adsorben (kapasitas adsorpsi) relatif menurun pada berat adsorben 15 gram.

Fenomena ini terjadi karena pada jumlah adsorben yang lebih tinggi, jumlah situs aktif memang meningkat, tetapi tidak seluruhnya termanfaatkan secara optimal oleh ion amonium yang tersedia dalam larutan [20], [21]. Dengan kata lain, konsentrasi amonium menjadi faktor pembatas, sehingga sebagian permukaan adsorben tidak terisi (unsaturated) [22]. Akibatnya, kapasitas adsorpsi per gram adsorben menjadi lebih kecil meskipun total amonium yang teradsorpsi meningkat [23]. Mekanisme ini mengindikasikan bahwa adsorben memiliki permukaan yang heterogen dengan distribusi situs adsorpsi yang tidak seragam [23].

Selain itu, peningkatan jumlah adsorben juga dapat menyebabkan terjadinya aglomerasi partikel yang mengurangi luas permukaan efektif dan menghambat difusi ion amonium ke dalam pori-pori adsorben [24]. Oleh karena itu, diperlukan optimasi antara berat adsorben dan konsentrasi awal polutan untuk memperoleh kinerja adsorpsi yang maksimal [25]. Sebaran partikel yang baik mencegah terjadinya aglomerasi dan menghasilkan luas permukaan efektif yang tinggi, sehingga biochar dalam jumlah sedang memberikan kinerja adsorpsi optimal [25].

Pengaruh waktu dan berat karbon aktif terhadap penurunan Besi (Fe)

Pada penggunaan adsorben dengan berat 15 g dan waktu kontak 1 jam, kadar sisa besi (Fe) dalam air sungai mencapai 0,14 mg/L, yang lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan adsorben pada berat yang lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi tersebut, proses adsorpsi berlangsung lebih optimal.



Gambar 2. Pengaruh Waktu Dan Berat Karbon Aktif Terhadap Penurunan Suhu

Berdasarkan hasil penelitian, kondisi optimum diperoleh pada massa adsorben sebesar 25 g dengan waktu kontak 1 jam. Pada kondisi ini, air sungai sebagai sampel menunjukkan penurunan suhu yang paling signifikan dibandingkan variasi massa adsorben lainnya, yaitu dari suhu awal 32°C menjadi 27°C.

Penurunan suhu ini diduga berkaitan dengan meningkatnya jumlah adsorben yang berperan sebagai media kontak, sehingga memperbesar luas permukaan interaksi antara air dan karbon aktif. Aktivasi meningkatkan sifat adsorpsi dan kestabilan termal karbon aktif. Selain itu, semakin besar massa adsorben, semakin besar pula kemampuan sistem dalam menstabilkan suhu melalui mekanisme adsorpsi dan difusi panas [26].

Fenomena ini juga menunjukkan bahwa selain berfungsi sebagai adsorben zat pencemar, karbon aktif dapat berperan dalam proses penurunan suhu secara tidak langsung melalui interaksi fisik antara permukaan padatan dan fluida [27]. Oleh karena itu, optimasi massa adsorben dan waktu kontak menjadi faktor penting dalam meningkatkan efektivitas proses pengolahan air. Waktu kontak optimum tercapai pada 60 menit dengan persen adsorpsi sebesar 70,3% [28]. Penelitian menunjukkan bahwa variabel massa adsorben, waktu kontak, dan model isoterm adsorpsi berpengaruh signifikan terhadap efisiensi penyerapan.

Hasil Adsorbansi Menggunakan Karbon Aktif Terhadap Amonium, Besi (Fe) dan Suhu

Hasil penurunan kadar amonium, besi (Fe), dan suhu dengan variasi berat adsorben 5 g, 10 g, 15 g, 20 g, dan 25 g dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Adsorbansi Menggunakan Karbon Aktif Terhadap Amonium, Besi (Fe) dan Suhu				
No	Parameter	SNI KepMenKes NO. 907/MENKES/SK/VII/2017	Satuan	Air sungai
1	Rasa	-	-	-
2	Warna	50	TCU	30
3	Suhu	25-26	C	27 °C

4	Besi (Fe)	1	mg/L	0.11
5	Amonium (NH ₄)	0.15	mg/L	0.04
6	pH	6.5-7.0	pH meter	7
7	Bau	-	-	-

Berdasarkan Tabel 1, kualitas air sungai yang dianalisis dibandingkan dengan baku mutu yang mengacu pada KepMenKes RI No. 907/MENKES/SK/VII/2017 menunjukkan bahwa sebagian besar parameter telah memenuhi standar yang ditetapkan.

Parameter warna air sungai tercatat sebesar 30 TCU dan masih berada di bawah baku mutu warna 50 TCU untuk air sungai Kelas II berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021. Untuk parameter suhu, hasil pengukuran menunjukkan nilai 27°C, sedikit di atas kisaran baku mutu 25–26°C. Hal ini mengindikasikan adanya pengaruh kondisi lingkungan atau aktivitas di sekitar badan air yang dapat meningkatkan suhu air.

Kadar besi (Fe) dalam air sungai sebesar 0,11 mg/L, masih berada di bawah ambang batas maksimum yaitu 1 mg/L, sehingga tergolong aman dan tidak menimbulkan risiko pencemaran logam berat [29]. Demikian pula, kadar amonium (NH₄⁺) sebesar 0,04 mg/L juga berada di bawah batas maksimum 0,15 mg/L, yang menunjukkan bahwa kandungan nitrogen dalam bentuk amonium masih dalam kategori aman [30]. Nilai pH air sungai sebesar 7 menunjukkan kondisi netral dan berada dalam rentang baku mutu 6,5–8,5, sehingga mendukung keberlangsungan kehidupan biota air [29]. Sementara itu, parameter rasa dan bau tidak terdeteksi, yang menunjukkan bahwa air tidak memiliki karakteristik sensori yang mengganggu.

REFERENSI

- [1] S. T. D. Sinaga, S. H. Putri, and T. Pujianto, “Analisis Pengendalian Kualitas Pada Proses Produksi Teh Hitam Menggunakan Metode Statistical Quality Control,” *TEKNOTAN*, vol. 17, no. 2, p. 153, Aug. 2023, doi: 10.24198/jt.vol17n2.10.
- [2] Y. R. Liang, Z. S. Liu, Y. R. Xu, and Y. L. Hu, “A Study on Chemical Composition of Two Special Green Teas (*Camellia sinensis*),” *J. Sci. Food Agric.*, vol. 53, no. 4, pp. 541–548, Jan. 1990, doi: 10.1002/jsfa.2740530411.
- [3] H. Unyay, H. O. Altay, N. A. Perendeci, S. Szufa, F. Ozdemir, and İ. Angelidaki, “Valorisation potential of black tea processing wastes for bioactive compounds recovery and renewable energy production,” *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 13, no. 3, p. 117124, Jun. 2025, doi: 10.1016/j.jece.2025.117124.
- [4] D. C. Widjaja and E. B. Irawati, “The Effect Of Organic Fertilizer From Tea Waste And NPK On The Growth And Yield Of Shallot (*Allium ascalonicum* L.),” *Agrivet*, vol. 32, no. 1, pp. 1–10, 2026, doi: <https://doi.org/10.31315/agrivet.v32i1.15950>.
- [5] R. F. Azzahra and M. Taufik, “Bio-Adsorben Berbahan Dasar Limbah Ampas Teh (*Camellia Sinensis*) Sebagai Agent Penyerap Logam Berat Fe Dan Pb Pada Air Sungai,” *Jurnal Kinetika*, vol. 11, no. 01, pp. 65–70, 2020, [Online]. Available: <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/index65>
- [6] Z. Wang, W. Ahmad, A. Zhu, S. Zhao, Q. Ouyang, and Q. Chen, “Recent advances review in tea waste: High-value applications, processing technology, and value-added products,”

- Science of The Total Environment*, vol. 946, p. 174225, Oct. 2024, doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.174225.
- [7] E. Misran, F. Panjaitan, and F. M. Yanuar, "Pemanfaatan Karbon Aktif dari Ampas Teh sebagai Adsorben pada Proses Adsorpsi β -Karoten yang Terkandung dalam Minyak Kelapa Sawit Mentah," *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, vol. 11, no. 2, pp. 92–98, Dec. 2016, doi: 10.23955/rkl.v11i2.5402.
 - [8] A. Prayogatama, N. Nuryoto, and T. Kurniawan, "Elektroda Superkapasitor Dari Karbon Aktif Biomassa," *JST (Jurnal Sains dan Teknologi)*, vol. 11, no. 1, Feb. 2022, doi: 10.23887/jstundiksha.v11i1.42849.
 - [9] P. M. Rohmah and A. S. Redjeki, "Pengaruh Waktu Karbonisasi Pada Pembuatan Karbon Aktif Berbahan Baku Sekam Padi Dengan Aktivator KOH," *Jurnal Konversi*, vol. 3, no. 1, pp. 19–27, 2014.
 - [10] D. Lelono, H. Hardoyo, and S. Sulastri, "Efektivitas Penurunan Kadar Besi (Fe) pada Air Sumur Bor Menggunakan Proses Aerasi Cascade Dilanjut Adsorpsi Menggunakan Arang Limbah Agroindustri Ampas Tebu," *Jurnal Sosial Teknologi*, vol. 6, no. 5, pp. 1912–1921, May 2026, doi: 10.59188/jurnalsostech.v6i5.32828.
 - [11] H. Çelebi, G. Gök, and O. Gök, "Adsorption capability of brewed tea waste in waters containing toxic lead(II), cadmium (II), nickel (II), and zinc(II) heavy metal ions," *Sci. Rep.*, vol. 10, no. 1, p. 17570, Oct. 2020, doi: 10.1038/s41598-020-74553-4.
 - [12] S. Joshi, N. Kataria, V. K. Garg, and K. Kadirvelu, "Pb²⁺ and Cd²⁺ recovery from water using residual tea waste and SiO₂@TW nanocomposites," *Chemosphere*, vol. 257, p. 127277, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.127277.
 - [13] S. Liu *et al.*, "High-efficiency adsorption of various heavy metals by tea residue biochar loaded with nanoscale zero-valent iron," *Environ. Prog. Sustain. Energy*, vol. 40, no. 6, Nov. 2021, doi: 10.1002/ep.13706.
 - [14] D. Suwazan and N. Nurhidayanti, "Efektivitas Kombinasi Kitosan dan Ampas Teh Sebagai Adsorben Alami dalam Menurunkan Konsentrasi Timbal Pada Limbah Cair PT PXI," *Jurnal Ilmu Lingkungan*, vol. 20, no. 1, pp. 37–44, Jan. 2022, doi: 10.14710/jil.20.1.37-44.
 - [15] J. Tao, P. Huo, Z. Fu, J. Zhang, Z. Yang, and D. Zhang, "Characterization and phenol adsorption performance of activated carbon prepared from tea residue by NaOH activation," *Environ. Technol.*, vol. 40, no. 2, pp. 171–181, Jan. 2019, doi: 10.1080/09593330.2017.1384069.
 - [16] A. H. Ruhaimi, A. A. Jalil, and M. A. A. Aziz, "Enhancing CO₂ Adsorption: Comparative Study of Single-Step and Dual-Step NaOH Activation on N-Doped Tea Residue-Derived Activated Carbon," *ChemistrySelect*, vol. 10, no. 39, Oct. 2025, doi: 10.1002/slct.202500938.
 - [17] H. Xu *et al.*, "Adsorption behavior and performance of ammonium onto sorghum straw biochar from water," *Sci. Rep.*, vol. 12, no. 1, p. 5358, Mar. 2022, doi: 10.1038/s41598-022-08591-5.
 - [18] R. Wu *et al.*, "Synthesis of acidified magnetic sludge-biochar and its role in ammonium nitrogen removal: Perception on effect and mechanism," *Science of The Total Environment*, vol. 832, p. 154780, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.154780.
 - [19] H. Xu *et al.*, "Adsorption behavior and performance of ammonium onto sorghum straw biochar from water," *Sci. Rep.*, vol. 12, no. 1, p. 5358, Mar. 2022, doi: 10.1038/s41598-022-08591-5.
 - [20] P. Takarani, S. Findia Novita, and R. Fathoni, "Pengaruh Massa Dan Waktu Adsorben Selulosa Dari Kulit Jagung Terhadap Konsentrasi Penyerapan," in *Prosiding Seminar Nasional Teknologi V*, Samarinda, Oct. 2019, pp. 117–121.

- [21] O. N. Naji, B. A. Mahmood, and Y. Al-Ani, "Adsorption of Ammonia from Aqueous Solutions by Using Activated Iron Scraps Particles," *International Journal of Environmental Impacts*, vol. 8, no. 4, Aug. 2025, doi: 10.18280/ije.080408.
- [22] P. E. Ohale, C. E. Onu, J. T. Nwabanne, C. O. Aniagor, C. F. Okey-Onyesolu, and N. J. Ohale, "A comparative optimization and modeling of ammonia–nitrogen adsorption from abattoir wastewater using a novel iron-functionalized crab shell," *Appl. Water Sci.*, vol. 12, no. 8, p. 193, Aug. 2022, doi: 10.1007/s13201-022-01713-4.
- [23] Gautam and S. Sahoo, "Effects of geometric and heat transfer parameters on adsorption–desorption characteristics of CO₂-activated carbon pair," *Clean Technol. Environ. Policy*, vol. 23, no. 4, pp. 1065–1085, May 2021, doi: 10.1007/s10098-020-01866-3.
- [24] Gautam and S. Sahoo, "Effects of geometric and heat transfer parameters on adsorption–desorption characteristics of CO₂-activated carbon pair," *Clean Technol. Environ. Policy*, vol. 23, no. 4, pp. 1065–1085, May 2021, doi: 10.1007/s10098-020-01866-3.
- [25] C. Irawan, B. Dahlan, and N. Retno, "Pengaruh Massa Adsorben, Lama Kontak Dan Aktivasi Adsorben Menggunakan HCl Terhadap Efektivitas Penurunan Logam Berat (Fe) Dengan Menggunakan Abu Layang Sebagai Adsorben," *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, vol. 3, no. 2, Oct. 2015, doi: 10.32487/jtt.v3i2.89.
- [26] M. Sari, H. Sastra Winata, and S. Intan Masturi, "Kualitas Air Sumur Gali Berdasarkan Parameter Fisik dan Biologi di Desa Teupin Bayu, Aceh Utara," *ULIL ALBAB : Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, vol. 2, no. 11, pp. 5069–5074, Sep. 2023, doi: 10.56799/jim.v2i11.2321.
- [27] G. Dong, Z. Hu, X. Liu, Y. Fu, and W. Zhang, "Spatio-Temporal Variation of Total Nitrogen and Ammonia Nitrogen in the Water Source of the Middle Route of the South-To-North Water Diversion Project," *Water (Basel)*, vol. 12, no. 9, p. 2615, Sep. 2020, doi: 10.3390/w12092615.