

Adsorpsi ion Zn (II) dari Larutan Artifisial menggunakan Karbon Magnetik Berbasis Tempurung Kelapa

Heni Sugesti^{1*}, Yogi Chandra¹, Wahyu Triaji Rahadianto¹

¹Department of Chemical Engineering, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang 30128, Indonesia

Informasi Artikel

Kata kunci:

Adsorben magnetik
Cangkang kelapa
Ion Zn(II)
% Removal

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan adsorben karbon-magnetik Fe_3O_4 dari limbah tempurung kelapa. Proses pembuatan adsorben melibatkan tiga langkah sistematis utama. Pertama, arang tempurung kelapa dikarbonisasi pada suhu 650°C . Kedua, aktivasi kimia menggunakan 12% H_3PO_4 secara efektif meningkatkan porositas dan memperluas luas permukaan material. Ketiga, sintesis komposit dilakukan melalui kopresipitasi, menghasilkan padatan komposit magnetik berwarna hitam. Karakterisasi morfologi permukaan dengan SEM menunjukkan struktur kasar dan berpori, yang mengkonfirmasi ketersediaan situs aktif yang tinggi untuk pengikatan polutan. Spektrum EDS menunjukkan keberadaan tiga unsur utama dalam material: 54,8% karbon (C), 29,3% oksigen (O), dan 15,9% besi (Fe). Pengujian kinerja dilakukan pada ion Zn(II) dengan berbagai konsentrasi awal (10, 20, dan 30 mg/L) dan waktu kontak hingga 75 menit. Fokus utama penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kapasitas adsorpsi ion Zn(II) dan kemudahan pemisahan material menggunakan medan magnet eksternal. Hasil penelitian menunjukkan kinerja adsorpsi yang signifikan dengan efisiensi penghilangan tertinggi mencapai 90,1% pada konsentrasi awal 30 mg/L. Secara kinetik, proses adsorpsi sangat responsif pada fase awal antara 0 dan 25 menit, sebelum mencapai kesetimbangan dalam total waktu 75 menit. Kombinasi aktivasi kimia konsentrasi rendah dan penambatan magnetik ini telah terbukti menghasilkan adsorben yang tidak hanya efektif secara kuantitatif dalam menghilangkan polutan logam berat tetapi juga efisien dalam pemulihan material pasca-penggunaan.

Article Information

Keywords:

Magnetic adsorbent
Coconut shell
Zn(II) ion
% Removal

Abstract

This research aims to develop a carbon-Magnetic adsorbent, Fe_3O_4 , from coconut shell waste. The adsorbent preparation process involves three main systematic steps. First, the coconut shell charcoal is carbonized at 650°C . Second, chemical activation using 12% H_3PO_4 effectively increases porosity and expands the material's surface area. Third, composite synthesis is performed via coprecipitation, yielding a black magnetic composite solid. Surface morphology characterization with an SEM reveals a rough, porous structure, confirming the high availability of active sites for pollutant binding. The EDS spectrum indicates the presence of three main elements in the material: 54,8% carbon (C), 29,3% oxygen (O), and 15,9% iron (Fe). Performance testing was conducted on Zn(II) ions with varying initial concentrations (10, 20, and 30 mg/L) and contact times of up to 75 minutes. The main focus of the research was to evaluate the adsorption capacity for Zn(II) ions and the ease of material separation using an external magnetic field. The results showed significant adsorption performance with the highest removal efficiency reaching 90.1% at an initial concentration of 30 mg/L. Kinetically, the adsorption process was very responsive in the initial phase between 0 and 25 minutes, before reaching equilibrium in a total time of 75 minutes. This combination of low-concentration chemical activation and magnetic anchoring has been shown to produce an adsorbent that is not only quantitatively effective at removing heavy metal pollutants but also efficient in post-use material recovery.

1. Pendahuluan

Kontaminasi air oleh logam berat mengancam kesehatan ekosistem akuatik dan manusia. Di antara berbagai polutan, ion Zn(II) (Andelescu et al., 2018; Mohamad Yusop et al., 2022). Paparan Zn(II) berlebihan dapat menyebabkan mual, iritasi, dan kerusakan organ internal. Oleh karena itu, pengembangan

teknologi pengolahan air limbah yang efektif untuk menghilangkan atau mengurangi konsentrasi Zn(II) menjadi prioritas utama. Metode konvensional seperti presipitasi kimia, pertukaran ion, dan *reverse osmosis* sering kali mahal, tidak efisien untuk konsentrasi rendah, dan menghasilkan lumpur sekunder yang memerlukan penanganan lebih lanjut (Pratama & Paradise,

*Afiliasi penulis korespondensi: Department of Chemical Engineering, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang 30128, Indonesia

Email: henisugesti@polsri.ac.id (Heni Sugesti)

<https://doi.org/10.61844/jtkm.v5i1.1355>

Submisi 30 November 2025; Revisi 30 Desember 2025; Diterima 13 Januari 2026

Publish online 30 Januari 2026

Penulis 2026, di bawah persyaratan lisensi [CC BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

2025; Sartika, 2016). Sebagai alternatif, proses adsorpsi muncul sebagai teknik paling menjanjikan karena desainnya yang sederhana dan hemat biaya.

Dalam dekade terakhir, proses adsorpsi telah muncul sebagai teknik yang paling menjanjikan dan hemat biaya untuk remediasi air limbah yang mengandung logam berat (Pranoto et al., 2020; Wuntu & Kamu, 2008). Kinerja adsorpsi bergantung pada pemilihan material adsorben. Biokarbon arang aktif dari biomassa telah diakui sebagai adsorben yang unggul karena memiliki luas permukaan yang tinggi, struktur pori yang dapat disesuaikan, dan biaya produksi yang rendah (Ifa et al., 2020). Dalam konteks Indonesia, tempurung kelapa merupakan limbah agroindustri yang melimpah dan belum dimanfaatkan secara optimal, menjadikannya prekursor yang ideal untuk sintesis karbon. Pemanfaatan limbah ini tidak hanya menyelesaikan masalah polusi air, tetapi juga memberikan solusi untuk pengelolaan limbah padat (valorisasi biomassa) (Andulescu et al., 2018; Fathurrahmaniah et al., 2022).

(Imani et al., 2021) melakukan penelitian mengenai pemanfaatan limbah ampas tebu sebagai karbon aktif untuk mengatasi permasalahan air asam tambang yang memiliki kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan karbon aktif ampas tebu sangat berpengaruh terhadap penurunan kadar logam berat. (Imani et al., 2021) menemukan bahwa kondisi optimum tercapai pada penggunaan bobot adsorben sebanyak 3 gram dengan waktu kontak selama 60 menit. Pada kondisi tersebut, kadar besi berhasil diturunkan sebesar 79,65% (Imani et al., 2021).

(Rahim et al., 2022) melakukan penelitian mengenai analisis kualitas arang aktif yang berbahan baku biji kapuk sebagai adsorben untuk menurunkan kadar logam tembaga (Cu) dalam limbah cair industri. Hasil aplikasi pada limbah cair industri menunjukkan efektivitas yang signifikan dalam menurunkan kadar tembaga sebesar 69,2% (Rahim et al., 2022).

Tantangan utama dalam aplikasinya adsorben biokarbon adalah proses pemisahan partikel adsorben dari air setelah pengolahan (Fathurrahmaniah et al., 2022). Untuk mengatasi kendala ini, modifikasi adsorben dengan nanopartikel Magnetik (Fe_3O_4) menjadi strategi yang efektif. Hal ini memungkinkan adsorben karbon Magnetik Fe_3O_4 untuk dipisahkan secara cepat dan efisien dari larutan hanya dengan medan magnet eksternal, sehingga mengurangi waktu dan biaya operasional secara signifikan serta memfasilitasi daur ulang (Deng et al., 2021; Fisli et al., 2018).

Adsorben magnetik berbasis karbon saat ini masih menghadapi kendala pada stabilitas struktur dan penurunan kapasitas adsorpsi akibat tertutupnya situs aktif oleh partikel magnetik (Reynel-Ávila et al., 2021). Efisiensi penyisihan logam berat masih memerlukan investigasi lebih lanjut (Wang et al., 2021). Penelitian ini bertujuan untuk menyintesis dan mengkarakterisasi material karbon magnetik Fe_3O_4 dari tempurung kelapa melalui metode kopresipitasi. Secara spesifik, penelitian ini menargetkan pencapaian parameter kinerja utama berupa efisiensi penyisihan (% *Removal*) untuk ion Zn(II) dan

penentuan waktu kesetimbangan adsorpsi yang lebih singkat (di bawah 75 menit) dibandingkan adsorben konvensional. Melalui pendekatan ini, diharapkan diperoleh material yang tidak hanya berkelanjutan, tetapi juga praktis untuk remediasi polusi logam berat skala industri.

2. Metode

2.1. Material

Bahan-bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah tempurung kelapa yang berasal dari limbah pedagang santan di sekitar Kota Palembang, H_3PO_4 (analisis pro, Merck), NaOH (analisis pro, Merck), $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (analisis pro, Merck), $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (analisis pro, Merck), $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, larutan HCl 1 N, dan akuades. Karbon Magnetik dikarakterisasi dengan menggunakan Pemindaian mikroskop elektron/ spektroskopi sinar-X dispersif energi (SEM/ EDS; JEOL, USA) untuk menentukan kandungan yang ada dengan pemetaan logam. Alat AAS (*Atomic Absorption Spectrometer*) atau Spektrofotometer Serapan Atom AAS3000F (*flame*) untuk menentukan konsentrasi unsur logam Zn(II) secara kuantitatif dalam suatu sampel.

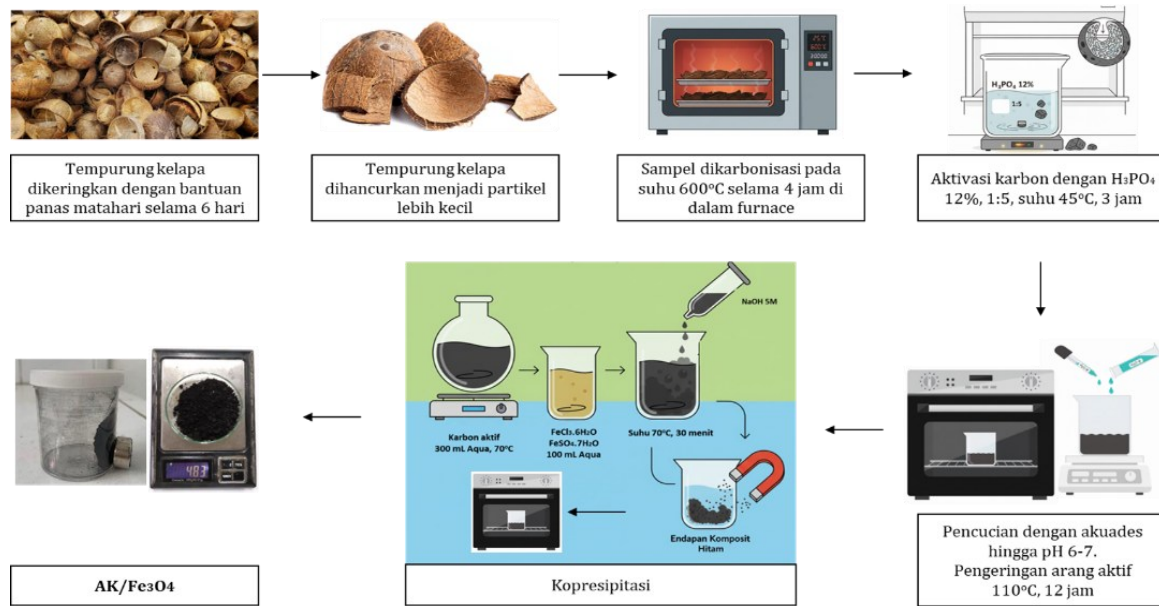
2.2. Sintesis Komposit Karbon Magnetik

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahap antara lain yang pertama persiapan karbon dari tempurung kelapa. Tempurung kelapa dikeringkan selama kurang lebih 6-7 hari. Tempurung kelapa yang telah kering kemudian dipirolysis pada suhu $650\text{ }^\circ\text{C}$ selama 4 jam. Arang batok kelapa yang telah terbentuk kemudian dicuci dan dibersihkan dengan akuades, lalu dikeringkan menggunakan oven. Setelah melewati proses pengeringan, proses selanjutnya adalah menghaluskan arang tempurung kelapa hingga halus.

Tahap kedua, aktivasi karbon, dimana beberapa gram sampel karbon ditambahkan ke dalam larutan H_3PO_4 12% (1:5) selama 24 jam. Proses ini dilakukan untuk meningkatkan luas permukaan karbon aktif. Sampel kemudian dicuci dengan akuades dan dikeringkan pada suhu $110\text{ }^\circ\text{C}$ selama 3 jam. Aktivasi fisika dilakukan menggunakan furnace pada suhu $500\text{ }^\circ\text{C}$ selama 1 jam. Karbon aktif tempurung kelapa kemudian disimpan dalam desikator (Siddiqui et al., 2021).

Tahap terakhir, sintesis komposit karbon Magnetik, dimana Beberapa gram padatan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (rasio mol 2:1) dilarutkan dalam larutan HCl 1 N. Rasio ini dipilih untuk memberikan daya tarik magnetik yang cukup kuat sehingga material dapat dipisahkan secara instan dari larutan hanya dengan bantuan medan magnet eksternal. Campuran diaduk hingga jernih dan diencerkan hingga 25 mL dengan akuades. Dalam wadah lain, karbon aktif disuspensikan dalam 200 mL akuades. Campuran kemudian dipanaskan dan larutan NaOH 2,5 M ditambahkan tetes demi tetes. Suhu larutan dipertahankan pada $70\text{ }^\circ\text{C}$ sambil diaduk selama 2 jam. Komposit kemudian dipisahkan menggunakan medan magnet eksternal dan dicuci dengan akuades hingga netral. Padatan dikeringkan pada suhu $70\text{ }^\circ\text{C}$ hingga kering dan dilanjutkan pada suhu $120\text{ }^\circ\text{C}$ selama 2 jam. Karbon aktif Fe_3O_4 yang telah

menjadi adsorben magnetik dihancurkan dan disimpan dalam botol (Li et al., 2023). Diagram alir penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Prosedur Sintesis Komposit Karbon/Magnetik

2.3. Adsorpsi Zn (II)

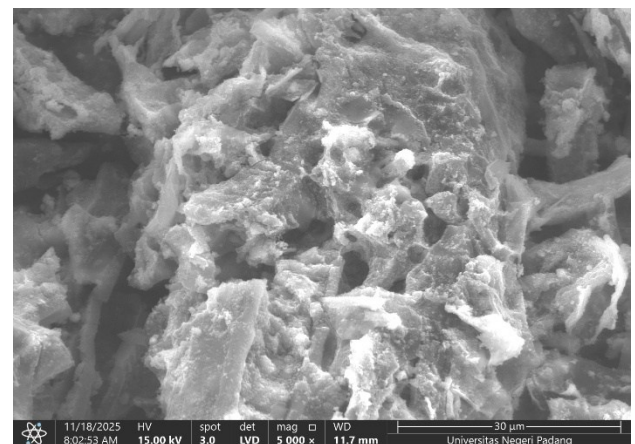
Adsorpsi Zn(II) menggunakan karbon Magnetik yang digunakan dengan 0,08 g/L karbon dan 100 mL larutan Zn(NO₃)₂·6H₂O pada berbagai konsentrasi Zn(II) berkisar antara 10 dan 30 mgL⁻¹. Adsorpsi dilakukan pada suhu 25°C dengan waktu kesetimbangan adalah 75 menit dan konsentrasi Zn(II) ditentukan dengan spektrometri serapan atom, *flame* AAS.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Karakterisasi Material

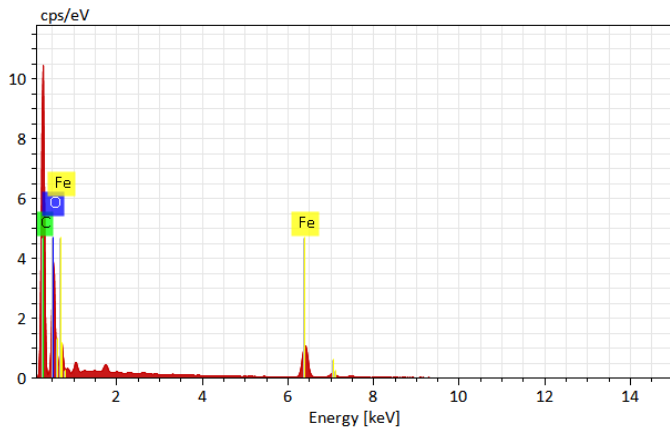
Berdasarkan hasil pemindaian SEM (*Scanning Electron Microscopy*) pada perbesaran 5.000x, terlihat morfologi permukaan material Karbon Magnetik Fe₃O₄ yang sangat prospektif sebagai adsorben (Gambar 2). Gambar tersebut menunjukkan struktur permukaan yang kasar, tidak beraturan, dan memiliki porositas yang berkembang dengan baik. Terbentuknya rongga-rongga atau pori pada matriks karbon merupakan hasil dari proses karbonisasi pada suhu 650°C yang dikombinasikan dengan aktivasi kimia menggunakan H₃PO₄ 12%. Pori-pori ini berfungsi sebagai situs aktif yang menyediakan ruang luas untuk penjeratan ion logam Zn(II) (As-Syifa et al., 2025; Xu et al., 2023).

Pada permukaan karbon, tampak partikel-partikel halus yang terdistribusi secara heterogen. Partikel dengan kontras yang lebih terang ini mengindikasikan keberadaan nanopartikel Magnetik Fe₃O₄ yang berhasil disintesis dan terikat kuat pada matriks biokarbon melalui metode kopresipitasi. Struktur yang kasar dan pori yang terbuka ini menjelaskan secara morfologis mengapa proses adsorpsi berlangsung sangat cepat pada menit-menit pertama, karena aksesibilitas ion terhadap situs aktif yang sangat tinggi (Ahsiaty, 2022; Ramadiani et al., 2021).



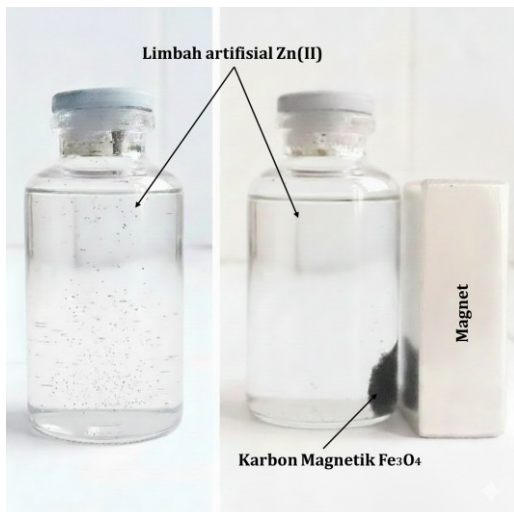
Gambar 2. SEM Karbon Magnetik

Integritas struktur antara karbon tempurung kelapa dan partikel Magnetik menunjukkan sinergi yang optimal. Keberadaan Magnetik tidak menutupi seluruh pori karbon, sehingga kapasitas adsorpsi tetap terjaga tinggi hingga mencapai efisiensi tertentu. Penggunaan jumlah Magnetik yang terukur bertujuan agar partikel Fe₃O₄ terintegrasi dengan baik ke dalam jaringan pori karbon tanpa menutupi seluruh permukaan aktifnya. Jika rasio Magnetik terlalu tinggi, dikhawatirkan terjadi penumpukan partikel yang dapat memblokir akses ion Zn(II) ke dalam pori-pori internal karbon, yang justru akan menurunkan kapasitas adsorpsi material. Secara keseluruhan, morfologi ini mengonfirmasi bahwa material telah berhasil dimodifikasi menjadi komposit magnetik yang memiliki luas permukaan efektif sekaligus sifat magnetik yang kuat untuk memudahkan pemisahan fase cair setelah proses adsorpsi selesai (Xu et al., 2023).



Gambar 3. EDS Karbon Magnetik

Hasil pengujian EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) pada Gambar 3 memberikan konfirmasi kuantitatif yang sangat kuat terhadap pengamatan visual pada morfologi SEM material Karbon Magnetik Fe_3O_4 . Spektrum EDS menunjukkan keberadaan tiga unsur utama penyusun material, yaitu 54,8% karbon (C), 29,3% oksigen (O), dan 15,9% besi (Fe). Munculnya puncak (*peak*) intensitas Besi (Fe) dan Oksigen (O) secara spesifik membuktikan bahwa partikel-partikel halus dengan kontras terang yang menempel pada matriks karbon dalam gambar SEM adalah nanopartikel Magnetik Fe_3O_4 yang berhasil disintesis melalui metode kopresipitasi.

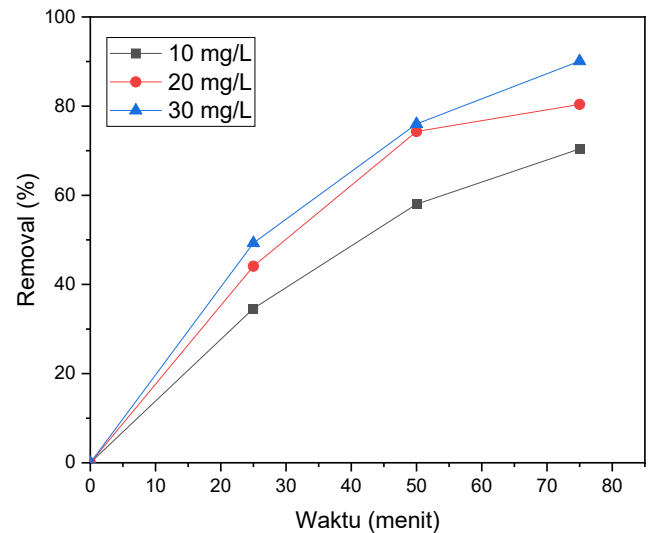
Gambar 4. Pemisahan Magnetik Karbon Magnetik Fe_3O_4 dari Limbah Artifisial Zn(II)

Korelasi antara kedua data ini memperlihatkan bahwa puncak Karbon (C) yang dominan merepresentasikan struktur penyangga utama berupa arang aktif tempurung kelapa yang memiliki karakteristik kasar dan berpori. Keberadaan puncak Fe dan O mengonfirmasi bahwa fase magnetik telah terintegrasi dengan baik ke dalam jaringan karbon tanpa menutupi seluruh porositas material, sesuai dengan tampilan visual SEM yang memperlihatkan distribusi partikel secara heterogen di permukaan (Li et al., 2023). Integrasi data kimia (EDS) dan fisik (SEM) ini menjelaskan mengapa material memiliki kinerja adsorpsi yang unggul. Struktur berpori menyediakan luas permukaan yang besar untuk penjeratan ion Zn(II) sementara

kandungan Magnetik memberikan sifat fungsional untuk pemisahan fase yang cepat seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.

3.2. Analisis Kinerja Adsorpsi Zn(II)

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja adsorben Karbon Magnetik Fe_3O_4 Cangkang Kelapa dalam menghilangkan ion Zn(II) dari larutan. Eksperimen dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi awal Zn(II) (10, 20, dan 30 mg/L) dan memantau penurunan konsentrasi seiring waktu (0, 25, 50, dan 75 menit).



Gambar 5. % Removal Zn (II) menggunakan Karbon Magnetik

Grafik hubungan antara waktu kontak terhadap efisiensi penyisihan (% *Removal*) menunjukkan performa adsorpsi yang sangat dipengaruhi oleh konsentrasi awal logam dan durasi interaksi. Secara umum, terlihat tren peningkatan persentase adsorpsi seiring dengan bertambahnya waktu kontak dan konsentrasi awal Zn(II) (Gambar 5).

Pada fase awal eksperimen (0–25 menit), laju adsorpsi berlangsung sangat cepat. Hal ini dikonfirmasi oleh kemiringan grafik yang tajam, di mana pada menit ke-25, efisiensi penyisihan telah melewati angka 35% hingga 50% untuk seluruh variasi konsentrasi. Fenomena ini dimungkinkan oleh melimpahnya situs aktif yang kosong pada permukaan kasar dan berpori karbon magnetik, sebagaimana yang teramati pada hasil SEM sebelumnya. Luas permukaan yang besar memfasilitasi penjeratan ion Zn(II) secara instan melalui gaya tarik elektrostatis (Wang et al., 2021).

Seiring berjalannya waktu hingga menit ke-75, laju adsorpsi mulai melambat namun tetap menunjukkan tren meningkat menuju kesetimbangan. Efisiensi tertinggi sebesar 90,1% dicapai pada konsentrasi awal 30 mg/L. Konsentrasi yang lebih tinggi (30 mg/L) menghasilkan % *removal* yang lebih besar dibandingkan konsentrasi rendah (10 mg/L) mengindikasikan adanya gaya dorong (*driving force*) yang kuat akibat perbedaan gradien konsentrasi antara larutan dan fase padat adsorben. Hal ini memaksa ion Zn(II) untuk berdifusi lebih dalam ke pori-pori

internal komposit. Proses penyerapan logam berat oleh karbon aktif biomassa bekerja melalui kombinasi interaksi fisik dan kimia yang saling berkesinambungan. Dimana diawali dengan mekanisme difusi, tarikan elektrostatik, pertukaran ion dan pembentukan kompleks, sehingga logam tersebut tidak mudah lepas kembali ke lingkungan (Reynel-Ávila et al., 2021).

Jika dibandingkan dengan literatur lain, penggunaan aktivator asam kuat (Rahim et al., 2022) cenderung menghasilkan porositas yang lebih baik daripada aktivator asam lemah. Selain itu, modifikasi menjadi material komposit magnetik terbukti jauh lebih unggul dalam hal kapasitas serap dan kepraktisan operasional dibandingkan karbon aktif konvensional dari ampas tebu atau biji kapuk murni. Dimana masing-masing penelitian tersebut hanya mampu menurunkan kadar logam sebesar 79,65% dan 69,2% (Imani et al., 2021; Rahim et al., 2022).

Secara keseluruhan, data grafik ini membuktikan bahwa komposit Magnetik berbasis tempurung kelapa tidak hanya unggul dalam hal kemudahan pemisahan fase menggunakan magnet eksternal, tetapi juga memiliki kapasitas serap yang mumpuni dengan waktu yang efisien untuk pengolahan limbah logam berat.

Kesimpulan

Penelitian ini menyimpulkan bahwa limbah cangkang tempurung kelapa berhasil ditransformasi menjadi material Karbon Magnetik Fe_3O_4 melalui tahapan karbonisasi pada suhu $650^\circ C$, aktivasi kimia H_3PO_4 12%, dan modifikasi menggunakan metode kopresipitasi. Karakterisasi morfologi melalui SEM mengonfirmasi terbentuknya struktur permukaan yang kasar dan berpori, yang memberikan ketersediaan situs aktif melimpah bagi penyerapan polutan. Dalam pengujian kinerja, material ini menunjukkan efektivitas yang luar biasa dengan mencapai efisiensi penyisihan (% Removal) maksimum sebesar 90,1% pada konsentrasi awal 30 mg/L dengan waktu kontak 75 menit³. Laju adsorpsi teramati berlangsung sangat cepat pada 25 menit pertama, yang membuktikan adanya kapasitas serap mumpuni. Secara praktis, penggunaan komponen magnetik pada adsorben ini memberikan implikasi besar dalam efisiensi operasional pengolahan limbah.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (P3M) Politeknik Negeri Sriwijaya (No.09643/PL6.4.1/ST/2025) atas dukungan fasilitas yang diberikan melalui skema Penelitian Mandiri tahun anggaran 2025. Dukungan ini sangat berperan penting dalam penyelesaian sintesis Karbon Magnetik Fe_3O_4 dari limbah tempurung kelapa serta pengujian efisiensi adsorpsinya terhadap logam Zn(II).

Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan bahwa tidak ada konflik kepentingan yang terkait dengan penelitian ini.

Kontribusi Penulis

Para penulis telah memberikan kontribusi nyata dalam penelitian ini, dengan pembagian peran dan tanggung jawab sebagai berikut:

Heni Sugesti: Konseptualisasi, Investigasi, Metodologi, Penulisan-Persiapan draf asli. Yogi Chandra: Kurasi data, Analisis formal, Visualisasi. Wahyu Triaji Rahadianto: Validasi, Menulis-Meninjau dan Mengedit, Supervisi.

Daftar Pustaka

- Pratama, Y. A., & Paradise, M. (2025). Potensi Karbon Aktif Menggunakan Material Lokal Untuk Adsorpsi Logam Berat Dari Air Asam Tambang: Sebuah Kajian. *Jurnal Teknologi Pertambangan*, 11(1), 26–34. <https://doi.org/10.31315/JTP.V11I1.14839>
- Ahsiaty, R. (2022). Adsorpsi Anion Dalam Air Dengan Nanokomposit Magnetik Fe_3O_4 /Karbon Aktif Anions Adsorption In Aqueous Solution With Magnetic Nanocomposite Fe_3O_4 /Activated Carbon [UII]. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/37719>
- Andelescu, A., Nistor, M. A., Muntean, S. G., & Rădulescu-Grad, M. E. (2018). Adsorption studies on copper, cadmium, and zinc ion removal from aqueous solution using magnetite/carbon nanocomposites. *Separation Science and Technology (Philadelphia)*, 53(15), 2352–2364. <https://doi.org/10.1080/01496395.2018.1457696>
- As-Syifa, S., Fitriyani S, R., & Supriatna, A. M. (2025). Sintesis Dan Karakterisasi Karbon Aktif Dari Kulit Buah Jeruk Manis (*Citrus Sinensis* (L.) Osbeck) Termodifikasi Magnetit Sebagai Adsorben Ion Logam Timbal(II). *Seminar Nasional Nasional Kimia 2025*, 150–159. <https://conferences.uinsgd.ac.id/index.php/gdcs/article/view/3258/2268>
- Deng, Z., Sun, S., Li, H., Pan, D., Patil, R. R., Guo, Z., & Seok, I. (2021). Modification of coconut shell-based activated carbon and purification of wastewater. *Advanced Composites and Hybrid Materials 2021* 4:1, 4(1), 65–73. <https://doi.org/10.1007/S42114-021-00205-4>
- Fathurrahmaniah, F., Ewisahrani, E., & Nursa'ban, E. (2022). Potensi Arang Tempurung Kelapa Sebagai Adsorben Pemurnian Minyak Goreng Bekas. *Jurnal Pendidikan Ilmu Pengetahuan Alam (JP-IPA)*, 3(1), 19–23. <https://doi.org/10.56842/JP-IPA.V3I1.110>
- Fisli, A., Safitri, R. D., Nurhasni, N., & Deswita, D. (2018). Analisis Struktur Dan Porositas Komposit Fe_3O_4 -Karbon Aktif Dari Limbah Kertas Sebagai Adsorben Magnetik. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 19(4), 179. <https://doi.org/10.17146/JSMI.2018.19.4.4886>
- Ifa, L., Pakala, F. R., Burhan, R. W., Jaya, F., & Majid, R. A. (2020). Pemanfaatan Sabut Kelapa Sebagai Bioadsorben Logam Berat Pb(II) Pada Air Limbah Industri. *Journal of*

- Chemical Process Engineering, 5(1), 54–60.
<https://doi.org/10.33536/JCPE.V5I1.862>
- Imani, A., Sukwika, T., & Febrina, L. (2021). Karbon aktif ampas tebu sebagai adsorben penurun kadar besi dan mangan limbah air asam tambang. *Jurnal Teknologi*, 13(1), 33–42.
https://www.researchgate.net/publication/349928631_Karbon_aktif_ampas_tebu_sebagai_adsorben_penurun_kadar_besi_dan_mangan_limbah_air_asam_tambang
- Li, Z., Sun, Y., Ge, S., Zhu, F., Yin, F., Gu, L., Yang, F., Hu, P., Chen, G., Wang, K., & Volinsky, A. A. (2023). An Overview of Synthesis and Structural Regulation of Magnetic Nanomaterials Prepared by Chemical Coprecipitation. *Metals* 2023, Vol. 13, Page 152, 13(1), 152. <https://doi.org/10.3390/MET13010152>
- Mohamad Yusop, M. F., Mohd Johan Jaya, E., & Ahmad, M. A. (2022). Single-stage microwave assisted coconut shell based activated carbon for removal of Zn(II) ions from aqueous solution – Optimization and batch studies. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(8), 104011. <https://doi.org/10.1016/J.ARABJC.2022.104011>
- Pranoto, P., Martini, T., & Maharditya, W. (2020). Uji Efektivitas dan Karakterisasi Komposit Tanah Andisol/Arang Tempurung Kelapa Untuk Adsorpsi Logam Berat Besi (Fe). *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 16(1), 50–66. <https://doi.org/10.20961/ALCHEMY.16.1.33286.50-66>
- Rahim, H., Ardhaifa, W., & Rachma, R. (2022). Analisis Kualitas Arang Aktif Dari Biji Kapuk Sebagai Adsorben Logam Tembaga (Cu) Dalam Limbah Cair Industri. *JURNAL TEKNOLOGI KIMIA MINERAL*, 1(1), 14–17. <https://doi.org/10.61844/JTKM.V1I1.20>
- Ramadani, L. S., Munasir, D., Fisika, J., & Surabaya, U. N. (2021). Material Komposit Karbon Aktif/Fe₃O₄ sebagai Adsorben Zat Warna dan Logam Berat (Cu dan Cd) dalam Air. *Proceedings of the Universitas Negeri Surabaya Physics Seminar*, 5, 90–96. <https://proceeding.unesa.ac.id/index.php/snf/article/view/4331>
- Reynel-Ávila, H. E., Camacho-Aguilar, K. I., Bonilla-Petriciolet, A., Mendoza-Castillo, D. I., González-Ponce, H. A., & Trejo-Valencia, R. (2021). Engineered Magnetic Carbon-Based Adsorbents for the Removal of Water Priority Pollutants: An Overview. *Adsorption Science & Technology*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/9917444>
- Sartika, D. (2016). Sifat Magnetik Adsorben Nanopartikan Fe₃O₄ Terhadap Adsorpsi Logam Berat (Co Dan Fe) Dalam Larutan. *Seminar Nasional Pendidikan 2016*, 1, 631–641.
- Siddiqui, M. T. H., Baloch, H. A., Nizamuddin, S., Mubarak, N. M., Hossain, N., Zavabeti, A., Mazari, S. A., Griffin, G. J., & Srinivasan, M. (2021). Synthesis and optimization of chitosan supported magnetic carbon bio-nanocomposites and bio-oil production by solvothermal carbonization coprecipitation for advanced energy applications. *Renewable Energy*, 178, 587–599.
- Wang, S., Xiao, D., Zheng, X., Zheng, L., Yang, Y., Zhang, H., Ai, B., & Sheng, Z. (2021). Halloysite and coconut shell biochar magnetic composites for the sorption of Pb(II) in wastewater: Synthesis, characterization and mechanism investigation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(6), 106865. <https://doi.org/10.1016/J.JECE.2021.106865>
- Wuntu, A. D., & Kamu, V. S. (2008). Adsorpsi Aseton, Benzena, Dan Toluena Pada Karbon Aktif Tempurung Kelapa Sebagai Pembersih Udara Ruang Tertutup. *Chemistry Progress*, 1(2), 66–70. <https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/chemprog/article/view/4953/4469>
- Xu, H., He, Z., Li, Y., Wang, Y., Zhang, Z., Dai, X., Xiong, Z., Geng, W., & Liu, P. (2023). Porous magnetic carbon spheres with adjustable magnetic-composition and synergistic effect for lightweight microwave absorption. *Carbon*, 213, 118290. <https://doi.org/10.1016/J.CARBON.2023.118290>