

SINTESIS DAN KARAKTERISASI ARANG AKTIF CANGKANG KELAPA SAWIT TERAKTIVASI H_3PO_4 UNTUK PENYERAPAN ION Pb^{2+}

Melyza Oktaviani¹, Indang Dewata², Alizar³, Arif Juliari Kusnanda⁴

^{1,2,3,4} Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang, Jalan Prof. Dr. Hamka, Air Tawar Padang, Sumatera Barat

*E-mail: indangdewata@mipa.unp.ac.id

Riwayat Article

Received: 14 July 2026; Received in Revision: 27 September 2026; Accepted: 29 September 2026

Abstract

Palm kernel shell is a carbon-containing biomass waste with potential as a raw material for activated carbon for the adsorption of Pb^{2+} ions. This study aimed to synthesize and characterize H_3PO_4 -activated carbon derived from palm kernel shell and to evaluate its ability to adsorb Pb^{2+} ions. The activated carbon was prepared by carbonization at 400 °C for 4 hours, followed by activation using 5% H_3PO_4 at a carbon-to-solution ratio of 1:3. Characterization included moisture content, ash content, and volatile matter content according to SNI 06-3730-1995, as well as surface morphology analysis using Scanning Electron Microscopy (SEM). Adsorption was carried out using a 30 ppm $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ solution for 60 minutes, and the Pb concentration was analyzed using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). The results showed a moisture content of 4.77%, an ash content of 7.60%, and a volatile matter content of 17.95%, all of which met the requirements of SNI 06-3730-1995. SEM analysis showed more distinct cracks and cavities on the carbon surface after activation. The Pb concentration decreased from 31.265 mg/L to 0.879 mg/L, with an adsorption efficiency of 97.19% and an adsorption capacity of 0.1519 mg/g. These results indicate that H_3PO_4 -activated carbon derived from palm kernel shell met the tested quality parameters and was capable of reducing the concentration of Pb^{2+} ions in solution.

Keywords: Activated Carbon, Adsorption, H_3PO_4 , Palm Kernel Shell, Pb^{2+} Ions

Abstrak

Cangkang kelapa sawit merupakan limbah biomassa yang mengandung karbon sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku arang aktif untuk adsorpsi ion Pb^{2+} . Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis dan menentukan karakteristik arang aktif cangkang kelapa sawit teraktivasi H_3PO_4 serta mengevaluasi kemampuannya dalam mengadsorpsi Pb^{2+} . Arang aktif dibuat melalui karbonisasi pada suhu 400 °C selama 4 jam, kemudian diaktivasi menggunakan H_3PO_4 5% dengan perbandingan arang dan larutan 1:3. Karakterisasi meliputi kadar air, kadar abu, dan kadar zat terbang berdasarkan SNI 06-3730-1995 serta morfologi permukaan menggunakan SEM. Adsorpsi dilakukan menggunakan larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 30 ppm selama 60 menit dan konsentrasi Pb dianalisis menggunakan AAS. Hasil karakterisasi menunjukkan kadar air 4,77%, kadar abu 7,60%, dan kadar zat terbang 17,95%, yang memenuhi persyaratan SNI 06-3730-1995. Hasil SEM menunjukkan terbentuknya retakan dan rongga yang lebih jelas setelah aktivasi. Konsentrasi Pb menurun dari 31,265 mg/L menjadi 0,879 mg/L dengan efisiensi adsorpsi 97,19% dan kapasitas adsorpsi 0,1519 mg/g. Hasil tersebut menunjukkan bahwa arang aktif cangkang kelapa sawit teraktivasi H_3PO_4 memenuhi parameter mutu yang diuji dan mampu menurunkan konsentrasi Pb^{2+} dalam larutan.

Keywords: Adsorpsi, Arang Aktif, Cangkang Kelapa Sawit, H_3PO_4 , Ion Pb^{2+}

1. Introduction

Indonesia merupakan negara penghasil minyak kelapa sawit terbesar di dunia dengan produksi yang terus meningkat setiap tahunnya. Tingginya produksi minyak sawit menyebabkan jumlah limbah biomassa yang dihasilkan juga semakin besar, salah satunya adalah cangkang kelapa sawit (*palm kernel shell*). Cangkang kelapa sawit merupakan limbah padat yang dihasilkan sekitar 5–7% dari berat tandan buah segar yang diolah di pabrik kelapa sawit. Pemanfaatannya selama

ini masih terbatas sebagai bahan bakar boiler atau bahkan hanya menjadi limbah yang menumpuk di area pabrik. Padahal, cangkang kelapa sawit memiliki kandungan lignin dan karbon yang tinggi sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan arang aktif (Ng et al., 2014).

Pencemaran lingkungan adalah kondisi perubahan lingkungan yang menimbulkan dampak negatif terhadap komponen lingkungan akibat masuknya makhluk hidup, zat, energi, atau komponen lain oleh kegiatan manusia (Dewata, 2018). Salah satu pencemar yang menjadi perhatian utama di lingkungan adalah logam timbal (Pb). Timbal banyak ditemukan dalam limbah industri baterai, pelapisan logam, pertambangan, pigmen cat, dan berbagai aktivitas industri lainnya. Logam ini bersifat toksik, tidak dapat terdegradasi secara biologis, serta dapat terakumulasi dalam tubuh makhluk hidup. Paparan timbal dalam jangka panjang dapat menyebabkan gangguan pada sistem saraf, ginjal, hati, serta menurunkan kemampuan kognitif, terutama pada anak-anak (Larsen & Sánchez-triana, 2023).

Berbagai metode telah dikembangkan untuk menurunkan konsentrasi logam berat di lingkungan, salah satunya adalah adsorpsi. Metode adsorpsi banyak dipilih karena prosesnya relatif sederhana, biaya operasionalnya rendah, serta memiliki efisiensi yang baik dalam menghilangkan ion logam dari larutan. Arang aktif berbasis biomassa menjadi salah satu adsorben yang banyak dikembangkan karena berasal dari bahan yang murah, mudah diperoleh, dan ramah lingkungan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa arang aktif cangkang kelapa sawit memiliki kemampuan yang baik dalam menyerap ion logam berat karena didukung oleh struktur pori yang berkembang dan luas permukaan yang tinggi setelah proses aktivasi (Bab et al., 2019). Arang aktif merupakan material karbon berpori yang banyak digunakan sebagai adsorben karena memiliki luas permukaan dan volume pori yang besar. Arang aktif dapat dibuat melalui proses karbonisasi yang diikuti dengan proses aktivasi untuk memperbaiki struktur pori dan meningkatkan kemampuan adsorpsinya. Arang hasil karbonisasi memerlukan proses aktivasi untuk menghilangkan pengotor yang menutupi pori-porinya sehingga luas permukaan dan kemampuan adsorpsinya meningkat (Nurhaeni, Musafira, 2017).

Arang aktif berbasis biomassa banyak dimanfaatkan sebagai adsorben karena memiliki struktur berpori dan karakteristik permukaan yang mendukung penyerapan berbagai zat pencemar. Biomassa lignoselulosa dari limbah pertanian dapat digunakan sebagai prekursor arang aktif karena kandungan selulosa, hemiselulosa, dan ligninnya dapat membentuk struktur karbon melalui proses karbonisasi. Karakteristik arang aktif yang dihasilkan dipengaruhi oleh jenis bahan baku, suhu karbonisasi, serta metode aktivasi yang digunakan. Perbedaan kondisi tersebut dapat menghasilkan karakteristik permukaan yang berbeda sehingga berpengaruh terhadap kemampuan material dalam proses adsorpsi (Wang et al., 2023). Pemanfaatan arang aktif berbasis biomassa untuk penyerapan Pb^{2+} juga telah banyak dikembangkan. (Shewatatek et al., 2025), memanfaatkan limbah jerami *teff* sebagai bahan baku arang aktif untuk adsorpsi Pb^{2+} dan memperoleh persentase penghilangan sebesar 93,6% pada kondisi optimumnya. Hasil tersebut menunjukkan bahwa biomassa dapat dikembangkan menjadi material karbon yang memiliki kemampuan dalam menurunkan konsentrasi Pb dalam larutan. Pengembangan berbagai jenis biomassa sebagai bahan baku arang aktif menjadi penting karena memberikan alternatif pemanfaatan limbah sekaligus menghasilkan material yang dapat digunakan dalam pengolahan air tercemar.

Salah satu aktivator kimia yang banyak digunakan adalah asam fosfat (H_3PO_4) karena mampu menghasilkan pori yang lebih berkembang serta meningkatkan luas permukaan arang aktif. Aktivasi menggunakan H_3PO_4 juga dapat menghasilkan gugus fungsi aktif pada permukaan karbon yang berperan dalam proses penyerapan berbagai zat pencemar (Uchegbulam et al., 2022). Pemanfaatan cangkang kelapa sawit sebagai bahan baku arang aktif tidak hanya dapat meningkatkan nilai tambah limbah biomassa, tetapi juga berpotensi menghasilkan adsorben yang efektif untuk mengurangi pencemaran logam berat. Oleh karena itu, sintesis arang aktif dari cangkang kelapa sawit dan pengujian kemampuannya dalam menyerap ion Pb^{2+} perlu dilakukan sebagai upaya pengembangan material adsorben berbasis biomassa yang ekonomis dan ramah lingkungan.

2. Methodology

2.1. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi gelas kimia iwaki, labu ukur, gelas ukur, batang pengaduk, pipet tetes, corong kaca, botol semprot, spatula, cawan porselen, kertas saring,

timbangan analitik, oven, furnace, ayakan 80 mesh, desikator, pH meter, *Scanning Electron Microscope* (SEM), dan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS).

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah cangkang kelapa sawit, asam fosfat (H_3PO_4) 85% Merck, akuades, kertas saring, dan larutan timbal nitrat [$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$] sebagai sumber ion Pb^{2+} untuk pengujian kemampuan penyerapan arang aktif.

2.2. Preparasi Cangkang Kelapa Sawit

Cangkang kelapa sawit dibersihkan dari kotoran, dicuci dengan air mengalir dan dikeringkan dalam oven pada suhu $105\text{ }^\circ\text{C}$ selama 2 jam hingga kadar airnya berkurang. Setelah kering bahan dihaluskan dan diayak hingga berukuran seragam 80 mesh. Proses karbonisasi dilakukan dengan memanaskan cangkang kelapa sawit didalam furnace pada suhu 400°C selama 4 jam dengan kondisi cawan tertutup, sehingga dihasilkan arang (*char*). Arang hasil karbonisasi didinginkan dalam wadah tertutup untuk mencegah oksidasi (Sirajuddin, 2022).

2.3. Aktivasi Arang Aktif

Aktivasi arang dilakukan dengan metode kimia menggunakan larutan H_3PO_4 85 %. Untuk memperoleh konsentrasi aktivator 5%, larutan H_3PO_4 pekat diencerkan terlebih dahulu dengan aquades hingga mencapai konsentrasi yang diinginkan. Arang hasil karbonisasi kemudian direndam dalam larutan aktivator dengan perbandingan 1 : 3 (bahan : larutan) selama 2 jam untuk membuka pori-pori dan meningkatkan luas permukaan. Arang aktif yang telah diaktivasi dicuci menggunakan air deionisasi hingga tidak ada sisa asam yang ditandai dengan pH filtrat 6-7. Selanjutnya, bahan dikeringkan pada suhu $105\text{ }^\circ\text{C}$ selama 1 jam. Setelah kering, arang aktif dihaluskan kembali dan disimpan dalam wadah tertutup (Ni et al., 2024).

2.4. Penentuan Kadar

2.4.1 Penentuan Kadar Air

Uji kadar air dilakukan dengan menimbang sekitar 1 gram sampel arang aktif dalam cawan porselen, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu $115 \pm 5\text{ }^\circ\text{C}$ selama 3 jam hingga berat konstan. Berdasarkan SNI 06-3730-1995, arang aktif dikatakan memenuhi standar apabila kadar air $\leq 15\text{ }%$.

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100\%$$

2.4.2 Penentuan Kadar Abu

Uji kadar abu dilakukan dengan memanaskan sampel pada suhu $650 \pm 25\text{ }^\circ\text{C}$ selama 2 jam di dalam furnace sampai seluruh karbon habis terbakar dan tersisa abu berwarna abu-abu keputihan. Berdasarkan SNI 06-3730-1995, arang aktif dikatakan memenuhi standar apabila kadar abu $\leq 10\text{ }%$.

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100\%$$

2.4.3 Penentuan Kadar Zat Terbang

Uji zat terbang dilakukan dengan memanaskan sampel arang aktif pada suhu $950 \pm 20\text{ }^\circ\text{C}$ selama 7 menit di dalam cawan tertutup. Berdasarkan SNI 06-3730-1995, arang aktif dikatakan memenuhi standar apabila kadar zat terbang $\leq 25\text{ }%$ (BSN, 1995).

$$\text{Kadar zat terbang (\%)} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \times 100\%$$

2.4.4 Pembuatan Larutan Timbal Nitrat ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) 30 ppm

Sebanyak 0.0047 gram $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ditimbang lalu dilarutkan dalam 100 ml aquades, disimpan pada wadah tertutup.

$$\text{Mg Pb} = \frac{\text{konsentrasi} \times \text{Mr } \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 \times V_{(L)}}{\text{Ar Pb}}$$

2.4.5 Proses Adsorpsi Pb^{2+} oleh Arang Aktif

Larutan $Pb(NO_3)_2$ 30 ppm dikontakkan dengan arang aktif teraktivasi dan didiamkan selama 60 menit untuk memberikan waktu kontak antara adsorben dan adsorbat. Setelah proses adsorpsi selesai, campuran disaring sehingga diperoleh filtrat dan residu adsorben yang mengandung Pb^{2+} . Konsentrasi Pb^{2+} pada filtrat dianalisis menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) (Faisal et al., 2021). Mekanisme adsorpsi berlangsung melalui perpindahan adsorbat dari larutan menuju adsorben. Pada tahap awal, adsorbat bergerak dari bagian utama larutan menuju permukaan luar adsorben. Selanjutnya, adsorbat berpindah menuju bagian dalam adsorben dan akhirnya tertahan pada permukaan yang tersedia. Proses tersebut berlangsung secara bertahap hingga kemampuan adsorben dalam menahan adsorbat semakin terbatas. Dengan demikian, adsorpsi dapat dipahami sebagai proses perpindahan suatu zat dari fase larutan dan pengumpulannya pada permukaan material adsorben (Díaz et al., 2024).

3. Results and Discussion

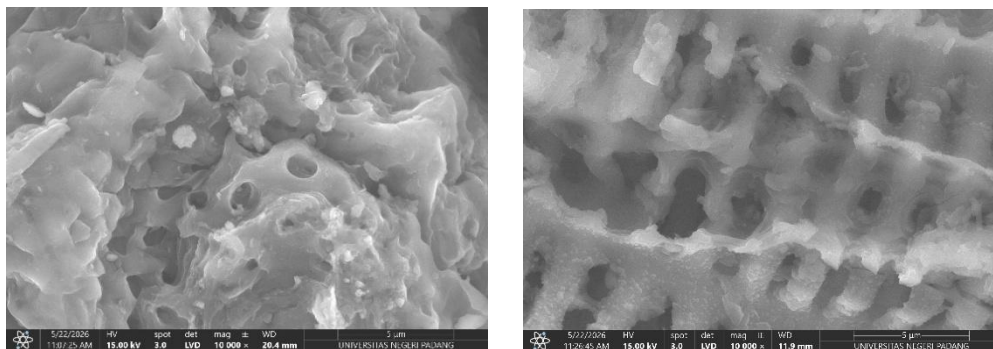
Karakterisasi kadar air, kadar abu, dan kadar zat terbang dilakukan untuk mengetahui mutu arang aktif cangkang kelapa sawit yang dihasilkan setelah proses karbonisasi dan aktivasi menggunakan H_3PO_4 . Pada penelitian ini diperoleh kadar air sebesar 4,77%, kadar abu 7,60%, dan kadar zat terbang 17,95%, yang seluruhnya memenuhi batas SNI 06-3730-1995.

Tabel 1. Karakteristik Arang Aktif Cangkang Kelapa Sawit

No	Parameter	Hasil (%)	Standar SNI 06-3730-1995 (%)
1.	Kadar air	4,77 %	≤ 15 %
2.	Kadar abu	7,6 %	≤ 10 %
3.	Kadar zat terbang	17,95 %	≤ 25 %

Hasil penelitian tersebut sejalan dengan penelitian (Pam & Abdullah, 2022) yang menggunakan bahan baku cangkang kelapa sawit dan aktivator H_3PO_4 serta menunjukkan bahwa karakteristik karbon aktif dipengaruhi oleh kondisi pembuatannya, khususnya rasio impregnasi H_3PO_4 terhadap bahan dan suhu karbonisasi. Menjelaskan bahwa perubahan kondisi aktivasi dan karbonisasi menyebabkan perubahan pada sifat fisikokimia dan struktur karbon karena selama pemanasan terjadi pelepasan komponen volatil dan pembentukan struktur karbon berpori. Nilai kadar abu sebesar 7,60% menunjukkan bahwa kandungan mineral anorganik pada arang aktif masih berada dalam batas yang dipersyaratkan SNI. Abu merupakan residu oksida mineral seperti silika, kalsium, dan sulfur yang tertinggal setelah proses pembakaran. Kandungan abu yang tinggi dapat menutupi pori-pori karbon sehingga menurunkan kemampuan adsorpsi, sedangkan kadar abu yang rendah menunjukkan bahwa proses aktivasi dan pencucian mampu mengurangi senyawa anorganik yang masih tersisa pada permukaan karbon. Kadar zat terbang yang diperoleh sebesar 17,95% juga memenuhi persyaratan SNI ($\leq 25\%$). Nilai ini menunjukkan bahwa sebagian besar senyawa volatil telah terdekomposisi selama proses karbonisasi dan aktivasi. Kadar zat terbang yang rendah menunjukkan proses aktivasi berlangsung lebih efektif karena semakin banyak senyawa volatil yang terlepas, sehingga pembentukan pori menjadi lebih optimal dan kemampuan adsorpsi arang aktif meningkat (Rini et al., 2024).

Perbedaan karakteristik yang diperoleh pada kedua penelitian dapat disebabkan oleh perbedaan kondisi pengolahan, terutama rasio impregnasi H_3PO_4 dan suhu karbonisasi, karena kedua faktor tersebut memengaruhi pelepasan air, komponen volatil, dan perubahan struktur karbon selama pemanasan. Dengan demikian, hasil penelitian ini mendukung penelitian (Pam & Abdullah, 2022) bahwa aktivasi H_3PO_4 pada cangkang kelapa sawit dapat menghasilkan arang aktif dengan karakteristik yang baik, tetapi nilai setiap parameter dapat berbeda sesuai dengan kondisi pembuatannya. Pada penelitian ini, seluruh parameter yang diuji masih berada dalam batas SNI sehingga menunjukkan bahwa proses karbonisasi dan aktivasi yang dilakukan mampu menghasilkan arang aktif yang memenuhi persyaratan mutu berdasarkan kadar air, kadar abu, dan kadar zat terbang.



Gambar 2. Analisis SEM pada arang aktif cangkang kelapa sawit sebelum aktivasi dan setelah aktivasi

Hasil karakterisasi SEM menunjukkan bahwa morfologi permukaan arang mengalami perubahan yang signifikan setelah aktivasi menggunakan H_3PO_4 . Sebelum aktivasi, permukaan arang terlihat relatif padat, tidak merata, dan masih terdapat aglomerasi atau gumpalan yang menutupi sebagian pori. Selain itu, jumlah pori yang tampak masih sedikit dengan ukuran pori yang relatif kecil serta beberapa pori terlihat tertutup oleh residu hasil karbonisasi. Kondisi ini menunjukkan bahwa permukaan karbon masih mengandung zat volatil dan pengotor yang menghambat perkembangan struktur pori. Setelah aktivasi menggunakan H_3PO_4 terjadi perubahan morfologi permukaan arang yang ditandai dengan munculnya retakan dan rongga yang lebih jelas dibandingkan sebelum aktivasi. Permukaan arang setelah aktivasi tampak lebih tidak beraturan dan mengalami fragmentasi, yang mengindikasikan bahwa H_3PO_4 telah mempengaruhi struktur karbon melalui proses dehidrasi dan penghilangan sebagian komponen organik. Terbentuknya retakan dan rongga tersebut menunjukkan adanya pembukaan struktur karbon yang sebelumnya terdapat gumpalan pada arang sebelum aktivasi (Ni et al., 2024).

Tabel 2. Hasil Analisis Konsentrasi Pb Menggunakan AAS

$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	Konsentrasi Terukur (mg/L)	Faktor Pengenceran	Konsentrasi Akhir (mg/L)
C_0	6,253	5x	31,265
C_1	0,879	1x	0,879

Hasil analisis menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) menunjukkan bahwa konsentrasi Pb mengalami penurunan dari 31,265 mg/L menjadi 0,879 mg/L setelah proses adsorpsi menggunakan arang aktif cangkang kelapa sawit selama 60 menit pada larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 30 ppm. Berdasarkan hasil tersebut diperoleh efisiensi adsorpsi sebesar 97,19% dan kapasitas adsorpsi sebesar 0,1519 mg/g. Penentuan efisiensi adsorpsi dan kapasitas adsorpsi dilakukan untuk mengevaluasi kinerja adsorben secara menyeluruh. Efisiensi adsorpsi menunjukkan persentase ion Pb^{2+} yang berhasil dihilangkan dari larutan, sedangkan kapasitas adsorpsi menunjukkan jumlah ion Pb^{2+} yang dapat diadsorpsi oleh adsorben per satuan massa adsorben. Oleh karena itu, kedua parameter tersebut saling melengkapi dalam menggambarkan kemampuan adsorben selama proses adsorpsi. Pada kondisi tersebut, sebagian besar Pb dapat dihilangkan dari larutan, tetapi jumlah Pb yang teradsorpsi apabila dinyatakan terhadap massa adsorben tetap menghasilkan nilai kapasitas yang rendah. Oleh karena itu, nilai kapasitas adsorpsi perlu dipahami berdasarkan jumlah Pb yang tersedia dalam larutan dan jumlah adsorben yang digunakan, bukan hanya berdasarkan besar atau kecilnya nilai mg/g.

Kapasitas adsorpsi yang relatif rendah tetapi disertai efisiensi adsorpsi yang tinggi dapat terjadi ketika jumlah adsorben yang digunakan cukup besar dibandingkan jumlah ion Pb yang tersedia. Semakin banyak adsorben yang digunakan, semakin banyak permukaan yang tersedia untuk berinteraksi dengan Pb^{2+} , sehingga sebagian besar Pb^{2+} dalam larutan dapat teradsorpsi. Namun, karena jumlah Pb^{2+} dalam larutan terbatas, tidak seluruh bagian permukaan adsorben akan ditempati oleh Pb^{2+} . Akibatnya, ketika jumlah Pb^{2+} yang teradsorpsi dinyatakan berdasarkan massa adsorben, kapasitas adsorpsinya dapat menjadi rendah meskipun persentase penghilangan Pb^{2+} tinggi. Kondisi serupa dilaporkan pada penelitian (Wang et al., 2023) adsorpsi Pb^{2+} menggunakan karbon aktif *Typha angustifolia*, yaitu peningkatan dosis adsorben meningkatkan persentase penghilangan Pb, tetapi kapasitas adsorpsi menurun karena jumlah ion Pb yang

tersedia tidak sebanding dengan bertambahnya jumlah adsorben. Konsentrasi awal Pb juga berpengaruh terhadap kapasitas adsorpsi karena menentukan jumlah ion yang tersedia untuk berinteraksi dengan permukaan arang aktif. Wang et al. (2023) menjelaskan bahwa peningkatan konsentrasi awal ion logam umumnya dapat meningkatkan jumlah ion yang teradsorpsi per satuan massa adsorben karena semakin banyak ion yang tersedia untuk berinteraksi dengan permukaan karbon. Pada penelitian ini, konsentrasi Pb yang digunakan sekitar 30 ppm, sehingga jumlah Pb yang tersedia untuk diadsorpsi relatif terbatas.

4. Conclusion

Arang aktif cangkang kelapa sawit berhasil disintesis melalui proses karbonisasi pada suhu 400 °C selama 4 jam dan aktivasi kimia menggunakan H₃PO₄ 5%. Hasil karakterisasi menunjukkan kadar air sebesar 4,77%, kadar abu 7,60%, dan kadar zat terbang 17,95%, yang seluruhnya memenuhi persyaratan SNI 06-3730-1995. Pengamatan SEM menunjukkan adanya perubahan morfologi permukaan setelah aktivasi H₃PO₄ yang ditandai dengan terbentuknya retakan dan rongga yang lebih jelas dibandingkan sebelum aktivasi. Pengujian adsorpsi Pb²⁺ selama 60 menit menunjukkan penurunan konsentrasi dari 31,265 mg/L menjadi 0,879 mg/L, dengan efisiensi adsorpsi sebesar 97,19% dan kapasitas adsorpsi sebesar 0,1519 mg/g. Berdasarkan hasil tersebut, arang aktif cangkang kelapa sawit teraktivasi H₃PO₄ memenuhi parameter mutu yang diuji dan berpotensi digunakan sebagai adsorben dari limbah biomassa.

Acknowledgement

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Departemen Kimia UNP dan Laboratorium LLDIKTI Wilayah X atas kesempatan yang telah diberikan dalam pelaksanaan kegiatan akademik ini.

References

- Bab, R., Sa, B., & Zobir, M. (2019). *Palm Kernel Shell as an effective adsorbent for the treatment of heavy metal contaminated water*. 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-55099-6>
- BSN. (1995). 4947:II-.hk 471935: (SNI 06-3730-1995 Arang aktif teknis).
- Dewata Indang, Y. H. D. (2018). *Pencemaran Lingkungan*. Rajawali Pers.
- Díaz, E., García, L., & Ordóñez, S. (2024). Adsorption of stable and labile emerging pollutants on activated carbon: degradation and mass transfer kinetic study. *Applied Water Science*, 14(4), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s13201-023-02087-x>
- Faisal, M., Gani, A., & Fuadi, Z. (2021). *UTILIZATION OF ACTIVATED CARBON FROM PALM KERNEL SHELLS AS THE BIOADSORBENT OF LEAD WASTE*. 20(78), 81–86.
- Larsen, B., & Sánchez-triana, E. (2023). *Articles Global health burden and cost of lead exposure in children and adults: a health impact and economic modelling analysis*. 831–840. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(23\)00166-3](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(23)00166-3)
- Ng, W. J., Rahman, A. A., & Koh, S. L. (2014). *Potential of palm biomass as renewable energy source from data analysis of Sua Manggis palm oil mill in Linggi, Negeri Sembilan, Malaysia*. 186, 129–138. <https://doi.org/10.2495/ESUS140111>
- Ni, L., Rachmania, S., Mahfud, M., Syauqiah, I., Mirwan, A., & Sir, A. (2024). *Karakteristik Karbon Aktif Teraktivasi H₃PO₄ dari Limbah Sereh (Cymbopogon S. P.) Characterization of H₃PO₄-Activated Carbon from Lemongrass (Cymbopogon S. P.) Waste*. 9(1).
- Nurhaeni, Musafira, A. R. (2017). *Adsorpsi Ion Pb²⁺ Menggunakan Arang Aktif Kulit Durian Dengan Metode Kolom Adsorpsi*. 3(April), 1–6.
- Pam, A. A., & Abdullah, A. H. (2022). *Physicochemical properties of porous activated carbon prepared from palm kernel shell through a low-cost activation protocol*. 118(9), 1–7.
- Rini, D. S., Prasetyo, D. M., Adawi, T. F., Mahakam, I., Aji, L., Syaputra, M., Webliana, K., & Ningsih, R. V. (2024). *Effect of Activation Temperature and H₃PO₄ Concentration on Activated Carbon from Asian Palmyra Palm Fronds (Borassus Flabellifer Linn.)*. 4(6), 720–728.
- Shewatatek, S., Gonfa, G., & Mekuria, S. (2025). Response surface optimization of lead adsorption onto teff straw-derived activated carbon. *Results in Surfaces and Interfaces*, 18(December 2024), 100378. <https://doi.org/10.1016/j.rsufi.2024.100378>

- Sirajuddin, D. (2022). KARAKTERISTIK KARBON AKTIF DARI CANGKANG KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis*) DENGAN VARIASI JENIS AKTIVATOR PADA PROSES AKTIVASI KIMIA MENGGUNAKAN GELOMBANG ULTRASONIK. 115–120.
- Uchegbulam, I., Owoichoechi, E., & Agan, S. A. (2022). Potentials of palm kernel shell derivatives : a critical review on waste recovery for environmental sustainability. *Cleaner Materials*, 6(April), 100154. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2022.100154>
- Wang, B., Lan, J., & Bo, C. (2023). RSC Advances Adsorption of heavy metal onto biomass-derived activated carbon: review. *RSC Advances*, 13(January), 4275–4302. <https://doi.org/10.1039/D2RA07911A>