

ADSORPSI LOGAM BERAT OLEH KARBON AKTIF BAMBU *SCHIZOSTACHYUM* DI AIR TANAH BALIKPAPAN

Harrys Samosir^{1*)}, Rahmatia Khumaera²⁾, Michael Alexander Hutabarat³⁾ Devina Sanchia Samosir⁴⁾

^{1,2,3} Fakultas Sains dan Teknologi Informasi, Institut Teknologi Kalimantan

⁴ Jurusan Mesin, Politeknik Negeri Balikpapan

*email: harrys.samosir@lecturer.itk.ac.id

ABSTRAK

Pencemaran air akibat aktivitas industri, terutama oleh logam berat dan zat warna non-biodegradable, menjadi masalah yang semakin serius. Adsorpsi menggunakan karbon aktif merupakan solusi yang efektif, ekonomis, dan sederhana. Bambu lokal seperti *Schizostachyum* sp. dari Balikpapan berpotensi sebagai bahan baku karbon aktif yang berkelanjutan dan murah. Penelitian ini mengkaji parameter produksi optimal dengan menganalisis sifat material dan kinerja adsorpsinya. Metode yang digunakan meliputi karbonisasi dan aktivasi bambu *Schizostachyum* sp., karakterisasi struktur kristal dengan XRD, analisis morfologi permukaan dengan SEM, serta pengujian efisiensi adsorpsi logam berat menggunakan spektroskopi serapan atom (AAS). Hasilnya menunjukkan efisiensi adsorpsi yang sangat tinggi, dengan penghilangan timbal dan kadmium melebihi 97%, membuktikan potensinya sebagai adsorben non-toksik.

Kata Kunci: Karbon Aktif, KOH, Timbal, dan Kadmium

ABSTRACT

Water pollution caused by industrial activities, particularly by heavy metals and non-biodegradable dyes, has become an increasingly serious issue. Adsorption using activated carbon is an effective, economical, and simple solution. Local bamboo such as Schizostachyum sp. from Balikpapan holds potential as a sustainable and low-cost raw material for activated carbon. This study examines the optimal production parameters by analyzing the material properties and adsorption performance. The methods used include the carbonization and activation of Schizostachyum sp. bamboo, crystal structure characterization using X-ray Diffraction (XRD), surface morphology analysis using Scanning Electron Microscopy (SEM), and the evaluation of heavy metal adsorption efficiency using Atomic Absorption Spectroscopy (AAS). The results showed a very high adsorption efficiency, with lead and cadmium removal exceeding 97%, demonstrating its potential as a non-toxic adsorbent.

Keywords: Cadmium, Carbon active, KOH, and Lead

1. PENDAHULUAN

Pencemaran logam berat di perairan Balikpapan akibat aktivitas industri dan pertambangan telah menimbulkan dampak serius terhadap lingkungan dan kesehatan Masyarakat (Godfrida et al., 2018). Logam berat seperti timbal (Pb), kadmium (Cd), dan merkuri (Hg) bersifat toksik, persistens, dan dapat terakumulasi dalam organisme hidup (Vardhan et al., 2019). Salah satu solusi yang efektif dan ramah lingkungan adalah adsorpsi menggunakan karbon aktif karena kemampuannya menjebak polutan melalui mekanisme fisika-kimia (Liang et al., 2021).

Bambu Munti (*Schizostachyum* sp.), yang tumbuh subur di Kalimantan, berpotensi sebagai bahan baku karbon aktif berkelanjutan karena kandungan selulosa tinggi dan struktur pori alamnya (Sukarta et al., 2020). Proses aktivasi termal dan kimia dapat

mengoptimalkan luas permukaan dan kapasitas adsorpsinya terhadap logam berat (Wang et al., 2022). Studi terbaru menunjukkan bahwa karbon aktif berbasis bambu mencapai efisiensi adsorpsi >85% untuk logam berat dalam air (Zhang et al., 2023).

Penelitian ini juga mengembangkan dengan mensintesis karbon aktif dari bambu Munti dan menguji kinerjanya dalam menyerap logam berat di perairan tercemar dengan menggunakan KOH sebagai aktivator. Dengan mengevaluasi performa adsorpsi karbon aktif dalam beberapa siklus penggunaan ulang untuk menilai efisiensi jangka panjang dan potensi aplikasinya pada skala industri lokal.

2. METODE PENELITIAN

Proses penelitian diawali dengan tahap persiapan sampel, di mana bahan baku berupa bambu *Schizostachyum* sp. dikumpulkan dari

kawasan Balikpapan. Batang bambu tersebut kemudian dicuci menggunakan air deionisasi hingga bersih untuk menghilangkan kotoran dan partikel asing, lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 24 jam. Setelah kering, bambu digiling menjadi serbuk halus dengan ukuran partikel 100–200 mesh. Serbuk ini kemudian menjalani tahap pre-karbonisasi dengan dipanaskan pada suhu 300°C selama 2 jam dalam atmosfer inert (nitrogen), guna menghasilkan karbon setengah jadi sebagai bahan dasar aktivasi.

Tahap berikutnya adalah proses aktivasi kimia, di mana karbon hasil pre-karbonisasi dicampur dengan kalium hidroksida (KOH) dengan rasio 1:1 secara berat. Campuran tersebut kemudian dipanaskan dalam furnace pada suhu 800°C selama 1 jam dalam kondisi atmosfer nitrogen. Setelah proses aktivasi selesai, sampel dicuci menggunakan larutan HCl 0,1 M untuk menghilangkan sisa bahan kimia, kemudian dibilas dengan air suling hingga mencapai pH netral. Sampel karbon aktif akhir dikeringkan kembali pada suhu 105°C.

Untuk pengujian kinerja penghilangan kontaminan, dilakukan uji adsorpsi secara batch menggunakan larutan uji yang disiapkan dari ion logam berat Pb^{2+} dan Cd^{2+} dengan konsentrasi masing-masing 100 ppm serta metilen biru sebesar 50 ppm sebagai simulasi air tercemar. Karbon aktif ditambahkan ke dalam larutan uji dengan dosis 0,5 g/L, dan proses adsorpsi dilakukan pada pH optimum 5–6 dengan pengadukan konstan 150 rpm selama 120 menit pada suhu ruang. Sampel larutan diambil pada interval waktu tertentu untuk dianalisis konsentrasi residu kontaminan.

Karakterisasi karbon aktif dilakukan menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM) untuk mengetahui morfologi permukaan dan struktur pori material. Serbuk karbon aktif diletakkan pada plat kaca tipis, dan hasil pencitraan menunjukkan keberhasilan pembentukan pori-pori sebagai indikator kapasitas adsorpsi yang baik. Selanjutnya, kinerja adsorpsi dianalisis dengan menghitung kapasitas adsorpsi kesetimbangan (q_e) serta persentase penghilangan kontaminan dari larutan. Perhitungan ini menggunakan persamaan:

$$\% \text{ removal} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100\%$$

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m}$$

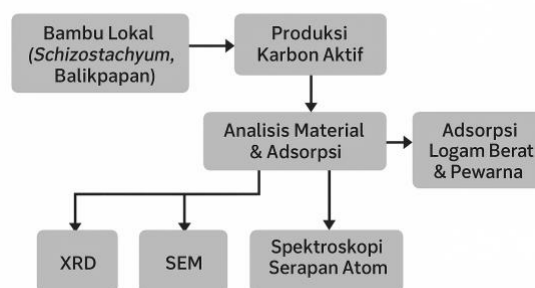
Dimana:

C_0 adalah konsentrasi awal (mg/L)

C_e adalah konsentrasi kesetimbangan (mg/L)

V adalah volume larutan (L)

m adalah massa adsorben (g)



Gambar 1. Diagram alur proses produksi karbon aktif

Proses produksi karbon aktif dari bambu lokal *Schizostachyum* sp. asal Balikpapan, serta tahap analisis material dan kinerja adsorpsinya menggunakan XRD, SEM, dan spektroskopi serapan atom ditunjukkan pada gambar 1..

Analisis Adsorpsi-Desorpsi Nitrogen (N_2) - Metode BET. Persiapan Sampel: Prekursor karbon dengan rasio 1:1 berdasarkan berat.

$$\frac{1}{V \left(\left(\frac{P_0}{P} \right) - 1 \right)} = \frac{C - 1}{V_m \times C} \left(\frac{P_0}{P} \right) + \frac{1}{V_m \times C} \dots \dots \dots [1]$$

V adalah volume gas yang teradsorpsi pada tekanan P

P_0 adalah tekanan jenuh dari N_2

V_m adalah kapasitas adsorpsi monolapis

C is BET konstan (berkaitan dengan energi adsorpsi)

Biasanya digunakan pada rentang $P/P_0 = 0,05-0,30$

Perhitungan luas permukaan (SSA):

$$SSA \left(\frac{m^2}{g} \right) = \frac{V_m \times N_A \times \sigma}{M \times V_{mol}} \dots \dots \dots [2]$$

N_A adalah Bilangan Avogadro's (6.022×10^{23} molecules/mol)

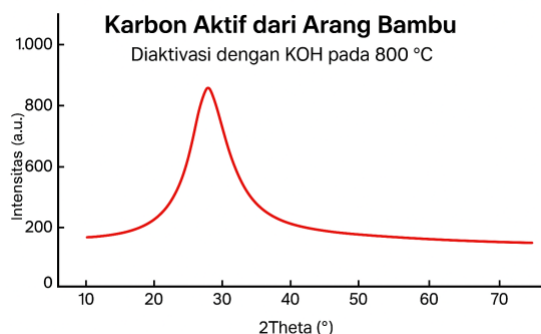
σ adalah luas penampang molekul N_2 (0.162 nm^2)

M adalah Massa molar N_2 (28 g/mol)

V_{mol} adalah Volume molar gas (22,414 cm³/mol at STP)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

XRD Analisis dan luas permukaan



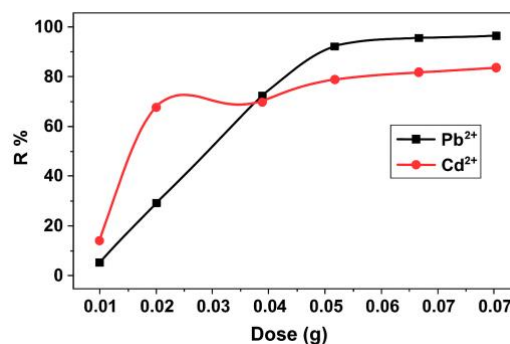
Gambar 2. Pola difraksi XRD karbon aktif dari arang bambu

Gambar 2 menunjukkan bahwa karbon aktif dari arang bambu yang diaktivasi dengan KOH pada suhu 800 °C memiliki struktur amorf, ditandai oleh puncak lebar di sekitar sudut $2\theta = 27^\circ$. Pola menunjukkan puncak amorf pada sekitar $2\theta = 27^\circ$, yang mengindikasikan struktur grafit amorf khas karbon aktif. Hal ini mengindikasikan bahwa material memiliki struktur grafit tak teratur dengan derajat kristalinitas rendah. Aktivasi kimia dengan KOH pada suhu tinggi berhasil menciptakan pori-pori dan meningkatkan luas permukaan, menjadikan karbon aktif ini sangat potensial sebagai bahan adsorben dalam aplikasi pemurnian atau pengolahan limbah. Karbon aktif KOH memiliki luas permukaan spesifik yang 3118 m²/g.

Analisis adsorpsi

Hubungan antara dosis adsorben dan persentase penghilangan Pb²⁺ dan Cd²⁺ diilustrasikan pada Gambar 4. Persentase penghilangan Pb²⁺ dan Cd²⁺ meningkat seiring dengan peningkatan dosis adsorben. Penghilangan maksimum Pb²⁺ adalah sebesar 97% dengan menggunakan dosis adsorben sebesar 60 mg, sedangkan penghilangan maksimum Cd²⁺ adalah sebesar 83% dengan dosis adsorben sebesar 70 mg.

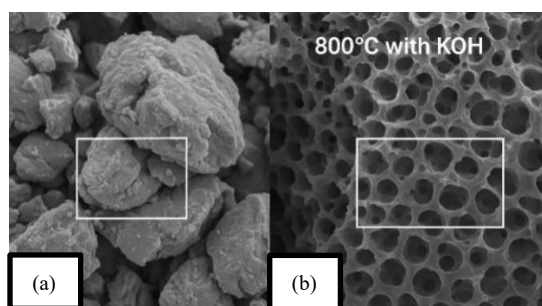
Pada gambar 3 menjelaskan Hubungan antara dosis karbon aktif dan efisiensi penghilangan (R%) ion logam berat Pb²⁺ dan Cd²⁺. Grafik menunjukkan bahwa peningkatan dosis adsorben meningkatkan efisiensi adsorpsi hingga mendekati titik jenuh.



Gambar 3. Hubungan antara dosis karbon aktif dan efisiensi penghilangan (R%) ion logam berat Pb²⁺ dan Cd²⁺.

Analisis SEM

Gambar 4 menunjukkan citra SEM yang membandingkan morfologi permukaan material berbasis karbon sebelum (kiri) dan sesudah (kanan) aktivasi kimia dengan KOH pada suhu 800 °C. Gambar sebelah kiri memperlihatkan permukaan yang relatif padat dan tidak berpori, menandakan luas permukaan yang terbatas. Sebaliknya, gambar sebelah kanan menunjukkan struktur yang sangat berpori dengan banyak pori yang terbentuk dengan baik setelah aktivasi. Transformasi ini menunjukkan bahwa aktivasi kimia pada suhu tinggi secara signifikan meningkatkan luas permukaan dan porositas material, yang sangat bermanfaat dalam aplikasi adsorpsi karena lebih banyak situs aktif tersedia untuk berinteraksi dengan kontaminan seperti logam berat atau zat warna.



Gambar 4. Gambar tersebut menunjukkan citra SEM (Scanning Electron Microscopy) dari karbon aktif yang dibuat dari bahan bambu (*Schizostachyum* sp.) pada dua tahap berbeda. (a) Citra SEM sebelum aktivasi atau pada tahap karbonisasi awal (b) Citra SEM setelah proses aktivasi kimia menggunakan KOH pada suhu 800°C.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa karbon aktif berbasis bambu *Schizostachyum*

sp. dari Balikpapan mampu mengadsorpsi logam berat seperti timbal (Pb) dan kadmium (Cd) dengan efisiensi di atas 97%. Temuan ini sejalan dengan berbagai penelitian sebelumnya yang menegaskan efektivitas biomassa bambu sebagai prekursor karbon aktif dalam pengolahan limbah cair.

Sukarta et al. (2020) telah menunjukkan bahwa biomassa bambu merupakan bahan baku berkelanjutan yang dapat dikonversi menjadi karbon aktif berkualitas tinggi melalui proses pirolisis dan aktivasi. Penelitian Wang et al. (2022) bahkan menunjukkan bahwa karbon aktif dari bambu mampu menghilangkan logam berat secara signifikan, mendukung hasil studi ini dalam hal efisiensi adsorpsi yang tinggi.

Zhang et al. (2023) menambahkan bahwa karakteristik fisik dan kimia dari karbon aktif berbasis bambu, seperti luas permukaan spesifik dan kehadiran gugus fungsional aktif, berkontribusi langsung terhadap kemampuannya dalam mengikat ion logam berat. Hal ini diperkuat oleh hasil karakterisasi dalam penelitian ini yang menggunakan XRD dan SEM, menunjukkan struktur mikropori dan morfologi permukaan yang mendukung proses adsorpsi.

Selain itu, hasil penelitian ini juga diperkuat oleh studi Liang et al. (2021), yang melaporkan bahwa karbon aktif dengan struktur pori yang terdistribusi baik dan kristalinitas optimal memiliki performa adsorpsi yang lebih tinggi terhadap polutan anorganik seperti Pb dan Cd. Pendekatan serupa dalam optimasi parameter produksi karbon aktif juga ditemukan dalam penelitian Chen et al. (2021), yang menggarisbawahi pentingnya pengendalian suhu dan waktu aktivasi dalam menentukan kualitas adsorben.

Dari sudut pandang lingkungan dan ekonomi, pemanfaatan bambu lokal sebagai bahan baku karbon aktif memberikan nilai tambah signifikan. Hal ini mendukung pendekatan ekonomi sirkular seperti yang dikemukakan oleh Gautam et al. (2024), yaitu penggunaan biomaterial lokal yang murah dan melimpah sebagai solusi pengolahan air yang ramah lingkungan.

Penelitian ini juga memperkuat kesimpulan Vardhan et al. (2019) yang meninjau berbagai adsorben murah dan menyatakan bahwa karbon aktif dari limbah pertanian dan biomassa merupakan salah satu solusi paling menjanjikan dalam menangani

pencemaran logam berat. Bahkan, studi oleh Tran et al. (2020) menunjukkan bahwa karbon aktif dari limbah pertanian memiliki performa yang sebanding atau bahkan lebih baik daripada karbon komersial, jika diproses dengan parameter yang tepat.

Secara keseluruhan, temuan penelitian ini menegaskan bahwa karbon aktif dari bambu *Schizostachyum* sp. tidak hanya efektif dan ekonomis, tetapi juga sejalan dengan tren global dalam pengembangan teknologi adsorpsi yang berkelanjutan dan berbasis sumber daya lokal.

4. KESIMPULAN

Karbon aktif dari arang bambu yang diaktivasi dengan KOH pada suhu 800 °C memiliki struktur amorf dengan luas permukaan tinggi sebesar 3118 m²/g. Aktivasi ini berhasil menciptakan pori-pori yang meningkatkan efektivitas adsorpsi. Hasil XRD, SEM, dan uji adsorpsi menunjukkan bahwa karbon aktif ini mampu menghilangkan Pb²⁺ hingga 97% dan Cd²⁺ hingga 83%, menjadikannya sangat potensial untuk aplikasi pemurnian dan pengolahan limbah berbahaya seperti logam berat.

5. REFERENSI

- Chen, X., Sun, Y., & Wang, H. (2021). Optimization of activated carbon production from various biomass sources. *Bioresource Technology*, 320, 124304. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124304>
- Gautam, R. K., Singh, R., & Rawat, P. (2024). Circular economy approach in water treatment using local biomaterials. *Science of the Total Environment*, 912, 169029. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169029>
- Godfrida, A. Y., Samson, S. A., & Usman. (2018). *Analisis kandungan logam berat Pb dan Cd di Muara Sungai Manggar Balikpapan*. Program Studi Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Mulawarman. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/330734899_ANALISIS_KANDUNGAN_LOGAM_BERAT_Pb_DAN_Cd_DI_MUARA_SUNGAI_MANGGAR_BALIKPAPAN
- Kumar, A., Sharma, P., & Singh, G. (2023). Hazardous metal removal using sustainable adsorbents: Recent developments. *Journal of Hazardous Materials*, 443, 130196.

- <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.130196>
- Liang, J., Li, X., & Zhang, Y. (2021). Recent advances in activated carbon for wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal*, 406, 126844. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.126844>
- Nguyen, T. A. H., Ngo, H. H., & Guo, W. (2022). Novel approaches in heavy metal adsorption using modified activated carbon. *Chemosphere*, 287, 132217. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132217>
- Sukarta, I. N., Wulandari, R., & Suartana, I. M. (2020). Bamboo-based biomass as sustainable precursor for activated carbon production. *Biomass and Bioenergy*, 143, 105828. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105828>
- Tran, H. N., You, S. J., & Hosseini-Bandegharai, A. (2020). Comparative study of agricultural waste-based activated carbons for water purification. *Water Research*, 170, 115308. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115308>
- Vardhan, K. H., Kumar, P. S., & Panda, R. C. (2019). A review on heavy metal pollution and its treatment using low-cost adsorbents. *Journal of Environmental Management*, 246, 101–118. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.126>
- Wang, Y., Zhao, L., & Liu, S. (2022). Green synthesis of activated carbon from bamboo for heavy metal removal. *Journal of Cleaner Production*, 330, 129842. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129842>
- Zhang, L., Huang, C., & Wang, M. (2023). Efficiency of bamboo-derived activated carbon in heavy metal adsorption. *Environmental Research*, 216, 114674. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114674>