



***Recent advances in environmental application of activated carbon from banana peel (Musa paradisiaca) in removal of heavy metals from kali asem river water***

Fadhel Verdino<sup>1</sup>, Putri Anggun Sari<sup>2</sup>, Agus Riyadi<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Universitas Pelita Bangsa  
 Jl. Inspeksi Kalimalang No. 9, Cibatu, CikarangSelatan, Kab. Bekasi, Jawa Barat, Indonesia.

Korespondensi email: [poetrispt@pelitabangsa.ac.id](mailto:poetrispt@pelitabangsa.ac.id)

**Abstrak**

*The rapid growth of industry often brings an increase in waste containing heavy metals such as Fe, Pb, Zn, Al, and Cu, which are toxic and pose a threat to environmental sustainability. Kali Asem, a tributary of the Bekasi River flowing through Bantargebang, Bekasi City, is one of the affected areas due to the high waste burden from the TPST Bantargebang and TPAS Sumurbatu. Preliminary studies have shown that the river water contains iron (Fe) and manganese (Mn) levels that exceed the quality standards. Adsorption is one of the effective methods to reduce heavy metal concentrations in wastewater. Currently, bio-based adsorbents made from fruit and vegetable waste are gaining popularity due to their eco-friendly nature, affordability, renewability, ease of synthesis, and high efficiency. Banana peels (Musa paradisiaca), in particular, contain cellulose that can be processed into activated carbon for use as an adsorbent. This study aims to evaluate the effectiveness of activated carbon derived from kepok banana peels in reducing Fe and Mn concentrations in Kali Asem river water. The research uses an experimental method with a focus on measuring Fe and Mn levels before and after treatment.*

**Informasi Artikel**

Diterima: 10 Februari 2025  
 Direvisi: 17 Februari 2025  
 Dipublikasikan: 30 Maret 2025

**Keywords**

*Activated carbon, adsorbent, banana peels, heavy metals, recovery*

**I. Pendahuluan**

Industrialisasi yang pesat dan perkembangan teknologi telah mengubah keberadaan manusia dengan

menghasilkan produk konsumen dengan utilitas tinggi yang kemudian dikonsumsi dengan cepat. Akibatnya, 380 miliar m<sup>3</sup> air limbah, yang terdiri dari senyawa organik dan anorganik,

dibuang ke lingkungan setiap tahunnya tanpa pengolahan. Air limbah kota, praktik pertanian, pembuangan air limbah industri, dan perubahan lingkungan dan global merupakan penyebab utama kontaminasi air. Remediasi kontaminan organik dan anorganik sangat penting untuk mencegah kontaminasi sumber daya air tawar karena sifatnya yang dapat meresap dan berdampak buruk terhadap lingkungan air [1][2][3].

Logam berat dapat terakumulasi pada jaringan lunak dan menimbulkan efek berbahaya karena tidak dapat dicerna. Mereka dapat memasuki tubuh manusia melalui air, makanan, atau gas yang tercemar. Paparan logam berat dapat menyebabkan berbagai penyakit pada makhluk hidup, antara lain kanker, gangguan jantung, infeksi mata dan kulit, siklus menstruasi tidak teratur, dan gangguan pernafasan. Faktanya, logam berat tidak dapat dihancurkan dan tidak dapat terbiodegradasi. Mereka diserap oleh tubuh melalui pengikatan protein, pengendapan granula intraseluler, penyimpanan dalam biomassa organisme hidup, atau ekskresi dalam bentuk tidak larut melalui feses. Bioakumulasi ini berpotensi mengganggu proses fisiologis dan berdampak negatif pada metabolisme [4]. Logam-logam berat ini penting untuk dihilangkan dari berbagai kompartemen lingkungan seperti air untuk menghindari dampak berbahaya terhadap manusia dan satwa liar [5]. Salah satu metode yang banyak digunakan dalam remediasi logam berat adalah adsorpsi dan adsorpsi menggunakan beberapa limbah pertanian sebagai adsorben untuk penyerapan berbagai ion logam berat menjadi trend mitigasi logam berat dalam lingkup perairan [6].

Pisang, merupakan kontributor 16% dari produksi buah global, dan merupakan buah yang paling banyak diproduksi kedua di dunia [7][8]. Dengan luas permukaan sebesar 5,73 juta hektar, Organisasi Pangan dan Pertanian Perserikatan Bangsa-Bangsa melaporkan bahwa produksi pisang global pada tahun 2018 adalah 115,74 juta metrik ton [9]. India, Cina, Indonesia, Brazil, Ekuador, Filipina, Guatemala, Kolombia, dan Angola merupakan produsen utama pisang. Pada tahun 2018, India memproduksi 30,808 juta metrik ton pisang di lahan seluas 884.000 hektar, menjadikannya produsen terbesar. Karena 30–40% kulit pisang terdiri dari buah, antara 34,72 dan 46,29 juta metrik ton kulit pisang dihasilkan di seluruh dunia pada tahun 2018 [7].

Limbah kulit pisang merupakan biomassa yang dapat dijadikan karbon aktif dan Indonesia merupakan negara tropis dimana tanaman pisang tumbuh dengan baik. Karena kandungan selulosa dan seratnya yang tinggi, kulit pisang berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai karbon [10]. Karbon aktif (AC) dan turunan karbon lainnya (OCD) adalah bahan yang berasal dari prekursor berbasis karbon [11]. Vitamin B dan C, kalsium, protein, selulosa, hemiselulosa, pewarna klorofil, lipid, arabinosa, galaktosa, rhamnosa, dan asam galakturonat yang memiliki kemampuan mengikat logam dalam air semuanya terdapat pada kulit pisang kepok. Limbah kulit pisang juga dapat digunakan untuk menurunkan tingkat kekeruhan dan ion logam berat pada air yang terkontaminasi. Selulosa dan lignin yang terdapat secara alami dalam struktur bahan akan memberikan struktur berpori dan kemampuan untuk

digunakan sebagai media penyaringan adsorben [12].

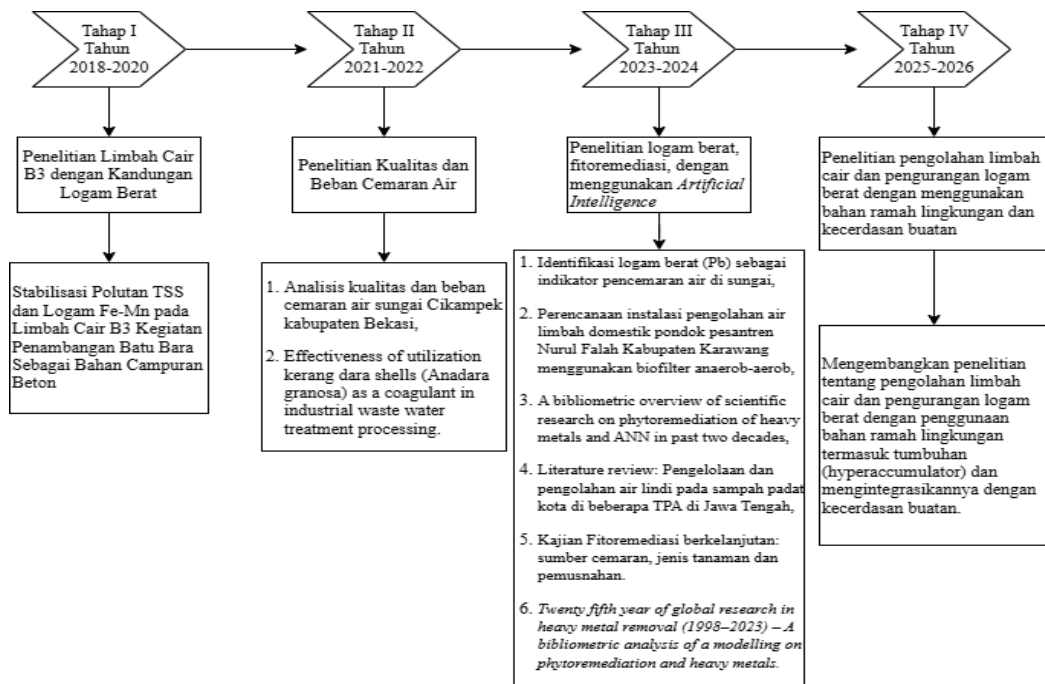
Presipitasi dan koagulasi diketahui menggunakan banyak bahan kimia dan menciptakan lapisan lumpur yang sangat berbahaya, sementara elektrodialisis dikaitkan dengan korosi dan biaya pengoperasian yang tinggi. Oleh karena itu, adsorpsi seringkali merupakan langkah penting dalam penghilangan logam dari air limbah [6]. Proses adsorpsi merupakan prosedur pemisahan dan pemurnian yang efisien dalam industri karena dianggap lebih murah dibandingkan teknik koagulasi, pertukaran ion, dan pengendapan, meskipun biayanya terhitung masih mahal, khususnya bagi negara berkembang [10].

Air lindi dari TPA Bantargebang dan Sumur Batu mencemari Sungai Kali Asem. Alirannya melintasi Bekasi Timur Regency 3 dan wilayah Kabupaten Bekasi, lalu berakhir di Kali Cikarang Bekasi Laut (CBL) [13]. Kondisi pencemaran itu selain membahayakan air sungai juga akan mempengaruhi kualitas air tanah

dikarenakan air lindi yang mengalir melalui Kali Asem berpotensi meresap kedalam air tanah [14]. Penelitian pendahuluan sudah dilakukan dan ditemukan bahwa nilai kandungan logam berat berupa Fe dan Mn sudah melampaui batas baku mutu. Pada penelitian ini, komposit magnetic karbon aktif dari kulit pisang kapok akan disintesis untuk digunakan sebagai adsorben Fe dan Mn. Sehingga penelitian ini menganalisis pengaruh pemanfaatan limbah kulit pisang kapok sebagai media adsorben untuk menurunkan kadar logam Fe dan Mn, pengaruh variasi massa dari adsorben kulit pisang kapok terhadap efisiensi penurunan konsentrasi logam Fe dan Mn pada sampel air sungai Kali Asem, dan usaha untuk meminimalkan biaya pengelolaan dan mencegah risiko lingkungan serta kesehatan manusia menjadi *sense of urgency* dari penelitian ini.

## II. Metodologi

Berikut adalah peta jalan penelitian dengan fokus utama : pengurangan kandungan logam berat dan limbah cair.

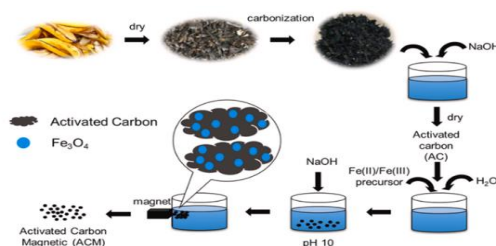


**Gambar 1.** Peta Jalan Penelitian

Lokasi pengambilan sampel yaitu Sungai Kali Asem Kecamatan Bantar Gebang Kelurahan Cikiwul, Sumurbatu, Ciketingudik, Kota Bekasi, Jawa Barat. Variabel tetap dalam penelitian ini adalah : waktu pengadukan, ukuran ayakan, suhu, pH dan kondisi air sungai. Sedangkan variable bebas yang digunakan adalah : massa adsorben, yaitu : massa adsorben (0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; dan 3gr). Kandungan Fe dan Mn dalam air sungai menjadi variabel terikat didalam penelitian ini.

Prosedur penelitian dimulai dari tahap persiapan (pembuatan arang aktif dari kulit pisang) kemudian aktivasi secara kimia dan selanjutnya proses pengujian adsorben

1. Proses Adsorpsi dengan Arang Aktif Kulit Pisang
  - a. Disiapkan 6 sampel air sungai ke dalam beaker glass 1000ml,
  - b. Timbang arang aktif kulit pisang sebanyak 0,5 gr; 1 gr; 1,5 gr; 2 gr; 2,5 gr; 3 gr.
  - c. Dilakukan pengadukan selama 30 menit, setelah tahap pengadukan sampel didiamkan selama 2-3 jam,
  - d. Kemudian sampel disaring dan ditambahkan 2 tetes HNO<sub>3</sub> pekat untuk dilakukan analisis kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) yang sudah terserap oleh arang aktif dengan menggunakan ICP untuk menentukan kadar besi (Fe) dan mangan (Mn).



**Gambar 2.** Prosedur Penelitian



**Gambar 3.** Proses karbonisasi (a) kulit pisang, (b) kulit pisang setelah dikeringkan, (c) karbon aktif setelah karbonisasi, dan (d) karbon aktif setelah dihaluskan.

## 2. Pengambilan Contoh

Tahapan pengambilan contoh untuk pengujian total logam dan terlarut, dilakukan sebagai berikut:

- a. Bilas botol dan tutupnya dengan contoh yang akan dianalisa,
- b. Buang air pembilas dan isi botol dengan sampel hingga beberapa cm di bawah puncak botol agar masih tersedia ruang untuk menambahkan pengawet dan pengocokan (SNI 6989.57:2008).

## 3. Analisis Laboratorium

Pengukuran logam Fe dan Mn dilakukan dua kali dalam penelitian ini, yaitu sebelum dan setelah penambahan adsorben pada sampel. Prosedur pengukuran logam Fe dan Mn, yaitu sebagai berikut.

- a. Sampel air sungai disaring dan dimasukkan ke dalam tube,
- b. Tambahkan 2,5 ml HNO<sub>3</sub> pekat,
- c. Sampel siap dianalisa menggunakan ICP

## 4. Analisis Data

- a. Menentukan Efektivitas Adsorpsi

Untuk menghitung efektivitas adsorpsi yaitu menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

Ef = efektivitas penurunan

Y<sub>i</sub> = kandungan awal logam berat

Y<sub>f</sub> = kandungan akhir logam berat

## b. Menentukan Kapasitas Adsorpsi

Kapasitas adsorpsi dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_e(\%) = \frac{(C_i - C_e) \cdot V}{w} \quad (2)$$

Keterangan:

Q<sub>e</sub> = kapasitas adsorpsi (mg/g)

C<sub>i</sub> = konsentrasi awal (mg/l)

C<sub>e</sub> = konsentrasi akhir (mg/l)

V = volume larutan yang digunakan (L)

w = masa adsorben (g)

## III. Hasil dan Pembahasan

### 1. Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang Kepok Sebagai Media Adsorben

Proses aktivasi pada kulit pisang kepok yaitu dimulai dengan pencucian, pengeringan, penyaringan dan perendaman kulit pisang kepok menggunakan larutan aktivator HCl 0,1 N. Tahap pertama, kulit pisang kapok 1 kg dikeringkan dengan oven pada temperature 150°C selama 2 jam. Lalu diarangkan didalam *muffle furnace* pada temperature 400°C selama 30 menit, sudah menjadi arang lalu di tumbuk menggunakan lumping, dan diayak menggunakan mesh 100 mesh. Lalu diaktivasi dengan HCl 0,1 N selama 24 jam dan dilakukan pembilasan dengan aquades dan dioven selama 2 jam dengan temperature 120°C lalu masukkan kedalam desikator.

Dilakukan pengujian kualitas arang aktif sesuai dengan SNI 06-3730-1995

dengan kadar air maksimal 15% dan kadar abu 10%, pada hasil rendemen, kadar air, dan kadar abu yang dihasilkan oleh arang aktif kulit pisang kapok dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 1.** Hasil Analisa Arang Aktif

Parameter	Hasil Analisa Karbon Aktif (%)	Persyaratan Kualitas (%)
Rendemen	98,48	-
Kadar air	0,4	Maksimal 15%
Kadar abu	8,9	Maksimal 10%

Dari hasil uji pada tabel diatas menunjukkan bahwa kadar air arang aktif dari kulit pisang kapok memenuhi standar baku mutu berdasarkan SNI 06-3730-1995 yaitu 0,4% kadar air yaitu 8,9% sudah layak digunakan sebagai adsorben. Perhitungan rendemen bertujuan untuk mengetahui persentase arang aktif yang dihasilkan dari ampas kulit pisang setelah proses karbonisasi dan aktivasi. Suhu dan waktu aktivasi yang terlalu tinggi dapat menurunkan rendemen karena banyaknya zat volatil yang hilang.

Berikut adalah hasil uji air sungai berdasarkan parameter besi (Fe) dan mangan (Mn).

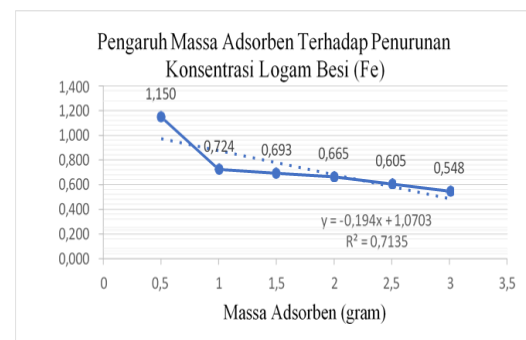
**Tabel 2.** Hasil Pengujian Parameter Air Sungai Sebelum Dilakukan Perlakuan

Parameter	Baku Mutu	Hasil Analisa	Satuan
Besi (Fe)	0,3	1,502	mg/l
Mangan (Mn)	0,1	0,536	mg/l

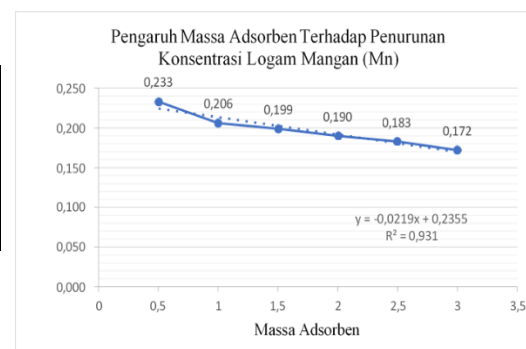
Berdasarkan peraturan PP 22 Tahun 2021 Lampiran VI, air sungai yang berlokasi di bantar gebang terbukti tercemar, karena nilai pengujian yang melebihi dari baku mutu lingkungan yang telah ditetapkan.

## 2. Pengaruh Variasi Massa dari Adsorben Kulit Pisang Kepok Terhadap Penurunan Konsentrasi Logam Besi (Fe) dan Mangan (Mn)

Penelitian ini menggunakan 6 variasi dalam proses adsorbs logam besi logam besi (Fe) dan mangan (Mn) menggunakan adsorben karbon aktif dari kulit pisang kepok, yaitu 0,5 gr, 1 gr, 1,5 gr, 2 gr, 2,5 gr, dan 3 gr. Pada penelitian ini melakukan analisis data dengan regresi linear koefisien determinasi, menunjukkan pengaruh antara variabel terikat dengan variable bebas, jika nilai  $R^2 < 0,5$  menunjukkan hubungan lemah dan jika  $R^2 > 0,5$  mempunyai hubungan yang cukup berpengaruh dan apabila sama dengan 1 menunjukkan bahwa garis regresi cocok dengan data dan sempurna.



**Gambar 4.** Pengaruh Massa Adsorben Terhadap Penurunan Konsentrasi Logam Besi (Fe)



**Gambar 5.** Pengaruh Massa Adsorben Terhadap Penurunan Konsentrasi Logam Mangan (Mn)

Berdasarkan grafik, nilai  $R^2$  untuk penurunan konsentrasi Fe adalah 0,713, untuk Mn sebesar 0,931. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun hubungan antara variabel belum sepenuhnya kuat, tetap ada pengaruh yang signifikan antara massa adsorben dan penurunan konsentrasi logam.

### 2.1. Efektifitas Adsorpsi Terhadap

Logam Besi (Fe) dan Mangan (Mn)  
Pada percobaan ini variasi massa adsorben sebesar 0,5 gr, 1 gr, 1,5 gr, 2 gr, 2,5 gr, dan 3 gr dengan waktu kontak selama 30 menit. Data hasilnya dapat dilihat pada tabel 3.

**Tabel 3.** Efektifitas Adsorpsi Logam Besi (Fe) dan Mangan (Mn)

Bobot Adsorben (g)	Waktu (s)	Kadar Awal (ppm)		Kadar Akhir (ppm)		Efektifitas Adsorpsi %	
		Fe	Mn	Fe	Mn	Fe	Mn
0,5	30	1,502	0,54	1,05	0,23	30,09	56,53
1				0,724	0,21	51,8	61,57
1,5				0,693	0,2	53,86	62,87
2				0,665	0,19	55,73	64,55
2,5				0,605	0,18	59,72	65,86
3				0,548	0,17	63,52	67,91

Berikut Analisa data dengan menggunakan perhitungan efektifitas penyerapan besi (Fe) dengan massa adsorben kulit pisang 0,5 gr.

$$Y_i = 1,502 \text{ mg/l}$$

$$Y_f = 1,05 \text{ mg/l}$$

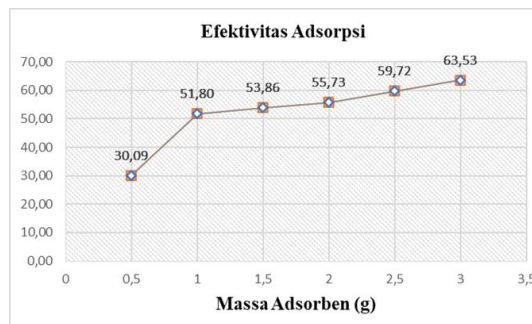
Dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100\%$$

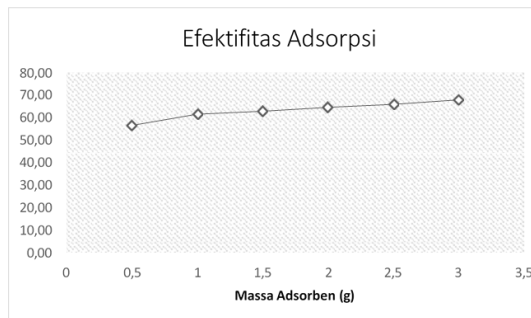
$$Ef(\%) = \frac{1,502 - 1,05}{1,502} \times 100\%$$

$$Ef(\%) = 30,09 \%$$

Berikut adalah grafik untuk data efektifitas arang dari kulit pisang dalam menyerap logam besi (Fe) dan mangan (Mn) dengan massa 0,5 gr, 1 gr, 1,5 gr, 2 gr, 2,5 gr, dan 3 gr dengan waktu pengadukan 30 menit.



**Gambar 5.** Grafik Adsorpsi Logam Besi (Fe)



**Gambar 6.** Grafik Adsorpsi Logam Mangan (Mn)

Berdasarkan Gambar 4.3 dan 4.4, pada massa 3 gr dan waktu pengadukan 30 menit, efektifitas adsorpsi mencapai 63,52% untuk Fe dan 67,91% untuk Mn. Penambahan massa adsorben berpengaruh signifikan terhadap peningkatan penyisihan logam, karena semakin besar massa, semakin luas permukaan adsorben yang tersedia. Hal ini memungkinkan lebih banyak ion

logam terikat, sehingga efisiensi penyerapan pun meningkat.

## 2.2. Kapasitas Adsorpsi Terhadap

Logam Besi (Fe) dan Mangan (Mn) Kapasitas adsorpsi terhadap penyerapan logam besi (Fe) dan mangan (Mn) dengan menggunakan karbon aktif dari kulit pisang kepok ini dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

**Tabel 4.** Kapasitas Adsorpsi Terhadap Logam Besi (Fe) dan mangan (Mn)

Volume Larutan (L)	Bobot Adsorben (g)	Waktu (mnt)	Kadar Awal (ppm)		Kadar Akhir (ppm)		Kapasitas Adsorpsi (mg/g)	
			Fe	Mn	Fe	Mn	Fe	Mn
0,1	0,5	30	1,5	0,5	1,05	0,23	0,09	0,061
	1				0,724	0,21	0,078	0,033
	1,5				0,693	0,2	0,054	0,022
	2				0,665	0,19	0,042	0,017
	2,5				0,605	0,18	0,036	0,014
	3				0,548	0,17	0,032	0,012

Sebagai contoh untuk perhitungan kapasitas penyerapan kulit pisang kepok

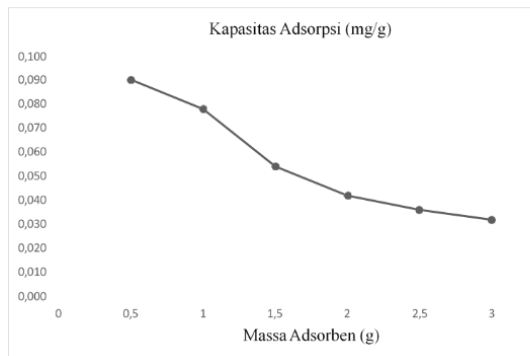
dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

:  
 $V = 0,1$  l  
 $C_i = 1,502$  mg/l  
 $C_e = 1,05$  mg/l  
 $w = 0,5$  gr

$$Q_e(\%) = \frac{(C_i - C_e) \cdot V}{w}$$

$$Q_e(\%) = \frac{(1,502 - 1,05) \cdot 0,1}{0,5}$$

$$Q_e(\%) = 0,09 \text{ mg/g}$$

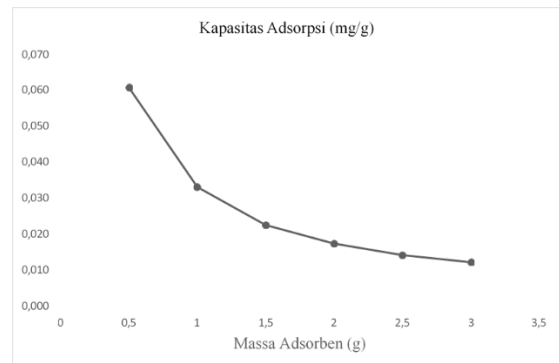


**Gambar 7.** Kapasitas Adsorpsi Terhadap Logam Besi (Fe)

kapasitas penyerapan tertinggi untuk logam Fe dan Mn terjadi pada massa adsorben 0,5 gr, masing-masing sebesar 0,090 mg/g (Fe) dan 0,061 mg/g (Mn). Sebaliknya, kapasitas terendah tercatat pada massa 3 gr, yaitu 0,0318 mg/g (Fe) dan 0,012 mg/g (Mn). Kapasitas adsorpsi dipengaruhi oleh karakteristik karbon aktif, terutama luas permukaan dan jumlah pori. Semakin besar massa adsorben memang meningkatkan efektivitas penyisihan, namun justru dapat menurunkan kapasitas penyerapan akibat kemungkinan terjadinya desorpsi.

#### IV. Kesimpulan

Pada penelitian ini penggunaan adsorben kulit pisang dapat menghasilkan efektivitas penurunan konsentrasi logam besi (Fe) tertinggi pada massa 3 gr dan penurunan logam mangan (Mn) tertinggi pada massa 3 gr. Pada variasi massa adsorben kulit pisang kepok, diperoleh data koefisien regresi linear determinasi penurunan konsentrasi pada logam besi (Fe) yaitu  $R^2$  yaitu 0,713 dan pada mangan (Mn) yaitu 0,931, menunjukkan bahwa koefisien korelasi hasilnya belum sepenuhnya kuat, namun hubungan pada variabel tersebut masih berkaitan satu sama lain. Dari penelitian ini disarankan untuk dapat mengembangkan pemanfaatan



**Gambar 8.** Kapasitas Adsorpsi Terhadap Logam Besi (Fe)

kulit pisang kapok untuk dapat mengadsorpsi logam berat lain dalam air sungai, dengan adanya penambahan variasi massa, waktu, dan kecepatan pengadukan, serta mencoba bahan kimia yang berda pada proses aktivasi adsorben.

#### Daftar Pustaka

- [1] U. Tyagi and N. Anand, "Sustainable and low-cost biomass derived adsorbents for the removal of toxic contaminants from wastewater: Approaches and future perspective," *Waste Manag. Bull.*, vol. 2, no. 2, pp. 308–325, 2024, doi: 10.1016/j.wmb.2024.05.010.
- [2] S. F. Ahmed *et al.*, "Recent developments in physical, biological, chemical, and hybrid treatment techniques for removing emerging contaminants from wastewater," *J. Hazard. Mater.*, vol. 416, no. April, p. 125912, 2021, doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.125912.
- [3] H. Albatrni, H. Qiblawey, and M. H. El-naas, "Comparative study between adsorption and membrane technologies for the removal of mercury," *Sep. Purif.*

- Technol.*, vol. 257, no. April 2020, p. 117833, 2021, doi: 10.1016/j.seppur.2020.117833.
- [4] A. Tariq, N. Yahaya, and M. Sajid, "Low cost adsorbents derived from vegetables and fruits\_ Synthesis, properties, and applications in removal of heavy metals from water," *Desalin. Water Treat.*, vol. 320, no. July, p. 100626, 2024, doi: 10.1016/j.dwt.2024.100626.
- [5] P. B. Tchounwou, C. G. Yedjou, A. K. Patlolla, and D. J. Sutton, *Experientia Supplementum Volume 101*, vol. 101. 2012.
- [6] O. Ogunlalu, I. Peter, K. O. Iwuozor, A. Daniel, and E. Chizitere, "Current Research in Green and Sustainable Chemistry Trends in the mitigation of heavy metal ions from aqueous solutions using unmodified and chemically-modified agricultural waste adsorbents," *Curr. Res. Green Sustain. Chem.*, vol. 4, no. October, p. 100188, 2021, doi: 10.1016/j.crgsc.2021.100188.
- [7] A. El Barnossi, F. Moussaid, and A. I. Housseini, "Tangerine , banana and pomegranate peels valorisation for sustainable environment : A review," *Biotechnol. Reports*, vol. 29, p. e00574, 2021, doi: 10.1016/j.btre.2020.e00574.
- [8] P. D. Pathak, S. A. Mandavgane, and B. D. Kulkarni, "Fruit peel waste : characterization and its potential uses," vol. 113, no. 3, 2017.
- [9] "https://www.fao.org/home/en."
- [10] I. Yanti, P. Putra, W. Fajar, and M. Anugrahwati, "Case Studies in Chemical and Environmental Engineering Effectiveness of activated carbon magnetic composite from banana peel ( *Musa acuminata* ) for recovering iron metal ions," *Case Stud. Chem. Environ. Eng.*, vol. 8, no. May, p. 100378, 2023, doi: 10.1016/j.cscee.2023.100378.
- [11] I. K. Tetteh, I. Issahaku, and A. Y. Tetteh, "Recent advances in synthesis , characterization , and environmental applications of activated carbons and other carbon derivatives," *Carbon Trends*, vol. 14, no. February, p. 100328, 2024, doi: 10.1016/j.cartre.2024.100328.
- [12] P. Ade, R. Yulis, and Y. Sari, "Kepok Banana Peels as Biosorbent for Mercury Sorption from Artificial Wastewater," vol. 7, no. 1, pp. 64–75, 2022.
- [13] P. T. Titisari, I. W. Widiarti, J. D. Prasetya, and T. A. Algary, "Analisis Tingkat Pencemaran Kali Asem di Sekitar Tempat Pengolahan Sampah," vol. 2022, pp. 81–90.
- [14] "https://wawainews.id/ipas-bersama-di-tpa-sumurbatubantargebang-disebut-proyek-gagal-kali-asem-hingga-cbl-tercemar-berat/."