

## Pengaruh Suhu dan Kecepatan Pengadukan Terhadap Efisiensi Adsorpsi Ion Fe(III) Menggunakan Biosorben Biji Durian

Hasrul Anwar<sup>1\*</sup>, Miftahul Djana<sup>1</sup>, Devi Kurnia Sari<sup>2</sup>, Rosalia Dwi Werena<sup>1</sup>,  
Amril Ma'ruf Siregar<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan, Institut Teknologi Sumatera, Indonesia

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Indonesia

\*Correspondence Author: hasrul.anwar@eng.unila.ac.id

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu dan kecepatan pengadukan terhadap kapasitas dan efisiensi adsorpsi ion Fe(III) menggunakan biosorben dalam sistem *batch*. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental laboratorium dengan pendekatan kuantitatif. Variasi suhu yang digunakan adalah 30 °C, 40 °C, 50 °C, dan 60 °C, sedangkan kecepatan pengadukan divariasikan pada 30 rpm, 60 rpm, 90 rpm, dan 120 rpm. Konsentrasi awal larutan Fe(III) sebesar 500 mg/L dengan massa biosorben 1 gram dan volume larutan 0,05 L. Konsentrasi akhir ion logam Fe(III) setelah proses adsorpsi dianalisis secara kuantitatif menggunakan instrumen *Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)* untuk menghitung efisiensi dan kapasitas penyerapan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan suhu memberikan pengaruh signifikan terhadap efisiensi adsorpsi, dari 82,92% pada suhu 30 °C menjadi 96,14% pada suhu 60 °C, dengan kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 24,03 mg/g. Demikian pula, peningkatan kecepatan pengadukan dari 30 rpm ke 120 rpm meningkatkan efisiensi adsorpsi dari 77,50% menjadi 96,62% dan kapasitas adsorpsi dari 19,38 mg/g menjadi 24,16 mg/g. Suhu tinggi mempercepat difusi ion ke dalam pori biosorben, sedangkan pengadukan yang cepat meningkatkan perpindahan massa melalui pengurangan ketebalan lapisan film. Suhu optimum ditetapkan pada 60 °C dan kecepatan pengadukan optimum pada 120 rpm. Hasil ini menunjukkan pentingnya kontrol suhu dan pengadukan dalam proses adsorpsi untuk meningkatkan efisiensi penyerapan logam Fe(III).

**Kata Kunci:** adsorpsi, biosorben, Fe(III), suhu, kecepatan pengadukan

### PENDAHULUAN

Pencemaran lingkungan oleh logam berat seperti besi dalam konsentrasi tinggi menjadi ancaman serius karena sifatnya yang tidak dapat terurai secara hayati (non-biodegradable), persisten, serta berpotensi mengalami bioakumulasi dalam jaringan tubuh organisme hidup (Vardhan et al., 2020). Pencemaran logam berat merupakan salah satu permasalahan serius dalam pengelolaan kualitas air di berbagai negara, termasuk Indonesia. Aktivitas industri seperti pelapisan logam, pertambangan, tekstil, dan produksi baja seringkali menghasilkan limbah cair yang mengandung logam berat dalam konsentrasi tinggi. Salah satu logam berat yang banyak dijumpai dalam air limbah industri adalah besi (Fe), khususnya dalam bentuk ion Fe(III). Dalam konsentrasi tinggi, Fe(III) dapat menyebabkan perubahan warna air, peningkatan kekeruhan, gangguan estetika, serta dapat mempengaruhi organisme

perairan (Sari et al., 2018). Oleh karena itu, diperlukan metode pengolahan air limbah yang efektif untuk mengurangi kadar Fe(III) sebelum dibuang ke badan air.

Pemanfaatan limbah biomassa pertanian sebagai biosorben berbasis lingkungan (green adsorbents) terus dikembangkan karena ketersediaannya yang melimpah, bernilai ekonomi rendah, serta kaya akan gugus fungsi aktif (Siddiqui et al., 2023). Aktivasi kimia menggunakan larutan basa seperti NaOH pada limbah biomassa terbukti efektif melarutkan senyawa pengotor organik dan lignin, sehingga memperluas jaringan pori serta meningkatkan densitas gugus fungsi aktif pada permukaan biosorben (Zain et al., 2024). Berbagai metode telah digunakan untuk menghilangkan logam berat dari air limbah, seperti presipitasi kimia, pertukaran ion, membran, dan adsorpsi. Di antara metode tersebut, adsorpsi menjadi salah satu teknik yang paling efektif dan ekonomis karena kemudahannya dalam pengoperasian, efisiensi yang tinggi, serta ketersediaan berbagai jenis adsorben, termasuk material alami atau biosorben (Febriana & Handayani, 2020). Biosorben merupakan material biologis yang memiliki gugus aktif seperti karboksil, hidroksil, dan amino yang dapat berinteraksi dengan ion logam sehingga memungkinkan penyerapan secara signifikan.

Metode adsorpsi dinilai lebih unggul dibandingkan teknik pengolahan limbah konvensional lainnya karena menawarkan fleksibilitas desain yang tinggi, pengoperasian yang relatif mudah, serta tidak menghasilkan lumpur sekunder yang beracun (Crini et al., 2019). Efisiensi proses adsorpsi dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti pH, waktu kontak, konsentrasi awal, suhu, dan kecepatan pengadukan. Suhu dapat mempengaruhi kinetika dan kapasitas adsorpsi melalui peningkatan energi kinetik molekul serta perubahan struktur pori biosorben. Sementara itu, kecepatan pengadukan menentukan laju perpindahan massa antara fase cair dan padat. Pengadukan yang terlalu lambat dapat menyebabkan distribusi ion tidak merata, sedangkan pengadukan terlalu cepat dapat merusak struktur biosorben.

Meskipun pemanfaatan biji durian sebagai biosorben telah banyak diteliti, sebagian besar studi terdahulu masih terbatas pada penyisihan logam berat seperti Pb(II), Cu(II), dan Zn(II), atau aplikasi pada zat warna organik. Kajian intensif mengenai performa biosorpsi biji durian terhadap kation Fe(III) dalam sistem batch masih sangat jarang dilaporkan. Padahal, karakteristik hidrolisis Fe(III) dalam air sangat sensitif terhadap perubahan kondisi operasi sistem. Penelitian terbaru oleh Pratiwi et al. (2022) menunjukkan bahwa aktivasi basa pada limbah lignoselulosa mampu melipatgandakan situs aktif hidroksil, namun efektivitasnya sangat bergantung pada kontrol termal dan kinetika agitasi selama proses kontak berlangsung. Lebih lanjut, Ramadhan & Wijaya (2023) menegaskan bahwa hambatan transfer massa eksternal sering kali menjadi faktor pembatas dalam biosorpsi skala laboratorium, yang mana hal ini hanya dapat diselesaikan melalui optimalisasi kecepatan pengadukan yang presisi. Hingga saat ini, korelasi simultan antara peningkatan energi suhu dan kecepatan pengadukan terhadap kapasitas penyisihan Fe(III) menggunakan biji durian teraktivasi NaOH belum dieksplorasi secara mendalam.

Celah penelitian inilah yang menjadi landasan pentingnya studi ini dilakukan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh suhu dan kecepatan pengadukan terhadap kapasitas dan efisiensi adsorpsi ion Fe(III) menggunakan biosorben dalam sistem *batch*.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh suhu dan kecepatan pengadukan terhadap kapasitas dan efisiensi adsorpsi ion Fe(III) menggunakan biosorben dalam sistem batch. Penentuan kondisi optimum dilakukan melalui variasi suhu 30–60 °C dan kecepatan pengadukan 30, 60, 90, dan 120 rpm. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi penting untuk pengembangan teknologi pengolahan air limbah yang lebih efektif dan ramah lingkungan.

## METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan adalah eksperimental laboratorium dengan pendekatan kuantitatif. Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi peralatan untuk pengeringan bahan baku yaitu oven listrik, timbangan digital elektrik, blender, ayakan 100 mesh, rangkaian alat *hotplate stirrer*, biji durian, NaOH 0,1 M, HCl 37%, *Ferric chloride hexahydrate* ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) kristal, dan aquades.

Biji durian dibersihkan dari kotoran secara menyeluruh, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu  $60^\circ\text{C}$ . Biji durian yang telah kering kemudian digiling menjadi bubuk halus menggunakan blender. Aktivasi dilakukan menggunakan larutan NaOH 0,1 M pada *hotplate stirrer* dengan suhu  $50^\circ\text{C}$ , kecepatan 500 rpm selama 3 jam, diikuti dengan pencucian dengan air suling hingga pH netral, dan akhirnya dikeringkan. Biji tersebut kemudian diayak melalui saringan 100 mesh untuk mendapatkan ukuran partikel yang seragam.

Proses adsorpsi ion logam Fe(III) dilakukan secara *batch* menggunakan larutan Fe(III) dengan konsentrasi awal sebesar 500 mg/L ke dalam gelas kimia 100mL, kemudian dimasukkan 0,05 L larutan Fe(III) dan ditambah dengan 1 gram biosorben biji durian teraktivasi. Proses adsorpsi diuji melalui dua variasi parameter utama, yaitu suhu dan kecepatan pengadukan. Variasi suhu yang digunakan adalah  $30^\circ\text{C}$ ,  $40^\circ\text{C}$ ,  $50^\circ\text{C}$ , dan  $60^\circ\text{C}$ . Sementara itu, variasi kecepatan pengadukan yang digunakan adalah 30, 60, 90, dan 120 rpm. Setelah proses adsorpsi mencapai waktu optimum, larutan disaring dan konsentrasi akhir ion logam dianalisis menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS).

### Efisiensi Adsorpsi Ion Logam Fe(III)

Pengukuran efisiensi adsorpsi ion logam Fe(III) menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi adsorpsi} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

$C_0$  = konsentrasi awal (mg/L)

$C_e$  = konsentrasi akhir (mg/L)

### Kapasitas Adsorpsi

Perhitungan kapasitas adsorpsi ( $q_e$ ) biji durian yang telah diaktivasi NaOH. Digunakan pengukuran sebagai berikut:

$$q_e = \frac{C_i - C_e}{m} \times V \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

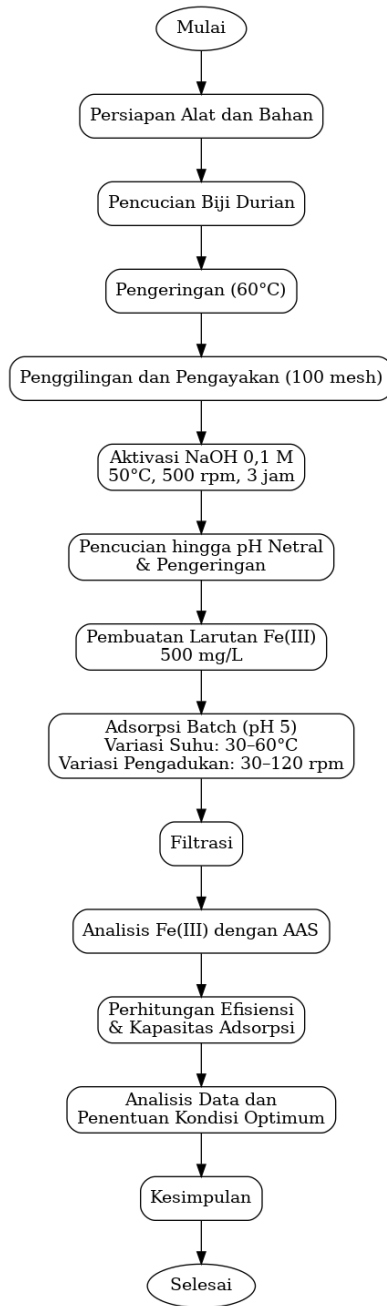
$q_e$  = Fe yang teradsorpsi oleh adsorben (mg/g)

$C_i$  = Konsentrasi awal Fe (mg/L)

$C_e$  = Konsentrasi akhir Fe (mg/L)

$m$  = massa biosorben (g)

$V$  = Volume larutan yang diadsorpsi (L)



**Gambar 1.** Diagram Alir Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengaruh Suhu terhadap Adsorpsi Ion Fe(III)

Hasil adsorpsi ion Fe(III) pada berbagai variasi suhu ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil Adsorpsi Ion Fe(III) terhadap Variasi Suhu

Suhu (°C)	Volume Larutan (L)	Massa Biosorben (gram)	Konsentrasi Awal Fe (mg/L)	Konsentrasi Akhir Fe (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)	Efisiensi Adsorpsi (%)
30	0.05	1	500	85,4	20,73	82,92
40	0.05	1	500	52,8	22,36	89,44
50	0.05	1	500	28,6	23,57	94,28
60	0.05	1	500	19,3	24,03	96,14

Berdasarkan data Tabel 1, peningkatan suhu operasi dari 30 °C hingga 60 °C secara linier meningkatkan efisiensi adsorpsi dari 82,92 menjadi 96,14%. Analisis regresi linier sederhana terhadap data efisiensi menunjukkan korelasi positif yang sangat kuat antara suhu dan efisiensi penyerapan dengan nilai koefisien determinasi ( $R^2 = 0,987$ ). Hal ini membuktikan secara statistik bahwa fluktuasi suhu operasional memegang kendali sebesar 98,7% terhadap perubahan performa adsorpsi sistem. Secara termodinamika, fenomena ini mengindikasikan bahwa proses biosorpsi Fe(III) oleh biji durian teraktivasi bersifat endotermik. Peningkatan suhu operasional memberikan tambahan energi termal ke dalam sistem adsorpsi, yang berkontribusi pada penurunan viskositas larutan dan memberikan energi aktivasi yang cukup bagi ion logam untuk berinteraksi dengan situs aktif. Kondisi termal yang tinggi mempercepat pergerakan kinetika molekul dalam larutan, sehingga frekuensi tumbukan efektif antara kation Fe(III) dan situs aktif biosorben meningkat pesat. Selain itu, suhu tinggi memicu ekspansi termal yang mampu membuka pori-pori mikro yang sebelumnya terperangkap dan memperluas permukaan aktif biosorben.

Pada suhu optimum 60 °C, diperoleh kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 24,03 mg/g. Pola kenaikan kapasitas adsorpsi yang sejalan dengan suhu ini serupa dengan temuan Sari et al. (2018) pada penyerapan logam berat menggunakan adsorben alami, namun memiliki efisiensi yang lebih tinggi akibat optimalisasi modifikasi NaOH yang membuka gugus hidroksil bebas secara lebih masif. Meskipun demikian, suhu operasional tidak disarankan melebihi 60 °C karena dikhawatirkan dapat memicu kerusakan struktural pada gugus fungsional organik biosorben atau menstimulasi fenomena desorpsi (pelepasan kembali logam ke larutan) akibat melemahnya gaya van der Waals pada permukaan adsorben.

## Pengaruh Kecepatan Pengadukan terhadap Adsorpsi Ion Fe(III)

**Tabel 2.** Hasil Adsorpsi Ion Fe(III) terhadap Variasi Kecepatan Pengadukan

Kecepatan Pengadukan (rpm)	Volume Larutan (L)	Massa Biosorben (gram)	Konsentrasi Awal Fe (mg/L)	Konsentrasi Akhir Fe (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)	Efisiensi Adsorpsi (%)
30	0.05	1	500	112,5	19,38	77,50
60	0.05	1	500	61,20	21,94	87,76
90	0.05	1	500	28,30	23,58	94,34
120	0.05	1	500	16,90	24,16	96,62

Data pada Tabel 2 memperlihatkan tren peningkatan yang signifikan pada performa biosorpsi seiring bertambahnya kecepatan pengadukan. Ketika kecepatan pengadukan dinaikkan dari 30 rpm ke 120 rpm, efisiensi adsorpsi meningkat dari 77,50% menjadi 96,62%, sementara kapasitas adsorpsinya naik dari 19,38 mg/g hingga mencapai puncak di angka 24,16 mg/g.

Secara hidrodinamika, fenomena fisik ini dapat dijelaskan melalui teori transfer massa antarfasa. Agitasi atau pengadukan yang optimal dalam sistem batch berfungsi mengatasi hambatan transfer massa eksternal dengan cara mereduksi ketebalan lapisan film stasioner (*boundary film layer*) yang menyelimuti partikel biosorben (Ramadhan & Wijaya, 2023). Pada kecepatan 30 rpm, lapisan film di sekeliling partikel tebal, menyebabkan distribusi ion Fe(III) menjadi tidak merata dan menghambat difusi kation menuju pori adsorben (Putra dkk., 2021). Sebaliknya, pengadukan cepat 120 rpm menipiskan hambatan film tersebut, sehingga mempermudah perpindahan massa kation Fe(III) dari fase cair ke permukaan fase padat (biosorben) (Putra dkk., 2021). Kondisi optimum yang ditetapkan pada 120 rpm menghasilkan kinerja penyerapan yang sangat kompetitif. Jika dibandingkan secara eksplisit dengan performa material lignoselulosa lain dalam literatur terkini, kapasitas maksimum biji durian teraktivasi 24,16 mg/g ini tergolong sangat kompetitif dalam menyisihkan kation logam berat dari fase cair (Siddiqui et al., 2023). Kapasitas serap ini terbukti jauh lebih unggul dibandingkan dengan biomassa berbasis limbah padat kopi teraktivasi yang umumnya hanya mencapai rentang 15–18 mg/g untuk kation besi pada kondisi operasi serupa (Hasan et al., 2022). Performa tinggi ini menegaskan keberhasilan modifikasi NaOH dalam memunculkan makropori baru pada biji durian. Namun, pengadukan di atas 120 rpm tidak dilakukan karena gaya geser (*shear stress*) yang terlalu ekstrem berisiko merusak struktur fisik partikel biosorben (atrasi) atau memicu desorpsi akibat tabrakan mekanis antarpartikel (Zain dkk., 2024).

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Lampung atas dukungan pendanaan melalui Hibah BLU Universitas Lampung, sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Dukungan tersebut sangat membantu dalam penyediaan sarana, bahan, serta kelancaran pelaksanaan kegiatan penelitian.

## KESIMPULAN

Peningkatan suhu dan kecepatan pengadukan memberikan pengaruh signifikan terhadap kapasitas dan efisiensi adsorpsi ion Fe(III). Suhu optimum adsorpsi ditetapkan pada 60 °C dengan kapasitas adsorpsi 24,03 mg/g dan efisiensi 96,14%. Kecepatan pengadukan optimum adalah 120 rpm dengan kapasitas adsorpsi 24,16 mg/g dan efisiensi 96,62%. Pengendalian kedua parameter ini penting untuk mengoptimalkan kinerja biosorben dalam pengolahan air limbah yang mengandung logam Fe(III).

## DAFTAR PUSTAKA

- Crini, G., Lichtfouse, E., Wilson, L. D., & Morin-Crini, N. (2019). Conventional and non-conventional adsorbents for wastewater treatment. *Environmental Chemistry Letters*, 17(1), 195–213. <https://doi.org/10.1007/s10311-018-0786-8>
- Febriana, L., & Handayani, D. S. (2020). Pengaruh parameter operasi terhadap proses adsorpsi logam berat menggunakan biosorben. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 26(1), 45–53. <https://doi.org/10.5614/j.tl.2020.26.1.5>.
- Febriana, L., & Handayani, D. S. (2020). Pengaruh parameter operasi terhadap proses adsorpsi logam berat menggunakan biosorben. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 26(1), 45–53.
- Hasan, T., Islam, M. S., & Rahman, M. M. (2022). Evaluation of chemically modified spent coffee grounds for the removal of iron ( $\text{Fe}^{3+}$ ) ions from contaminated water. *Environmental Technology & Innovation*, 26, 102315.
- Pratiwi, A., Santoso, B., & Utomo, S. (2022). Chemical modification of agricultural waste-based biosorbents for enhanced heavy metal sequestration: A review. *Journal of Water Process Engineering*, 48, 102-115.
- Putra, W. P., Kamari, A., Yusoff, S. N. M., Ishak, C. F., Mohamed, A., Norrrahim, M. N. F., & Suhas, S. (2014). Biosorption of Cu(II), Pb(II) and Zn(II) ions from aqueous solutions using selected waste materials: Adsorption and characterisation studies. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(4), 2133–2143. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2014.09.006>
- Ramadhan, F., & Wijaya, H. (2023). Hydrodynamic and thermodynamic insights into batch adsorption of transition metals using lignocellulosic materials. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(14), 41200–41212.
- Sari, N., Prasetyo, I., & Wulandari, R. (2018). Pemanfaatan bahan alami sebagai adsorben logam berat dalam air limbah industri. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 10(2), 89–96. <https://doi.org/10.20885/jstl.vol10.iss2.art3>.

- Siddiqui, S. I., Naushad, Mu., & Chaudhry, S. A. (2023). Agricultural waste biomass as an effective and low-cost green adsorbent for water purification: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(2), 2415–2432.
- Vardhan, K. H., Kumar, P. S., & Panda, R. C. (2020). A review on heavy metal pollution, toxicity and remedial measures: Current trends and future perspectives. *Journal of Molecular Liquids*, 297, 111938. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.111938>.
- Zain, M. A., Rahmawati, A., & Kurniawan, F. (2024). Pengaruh aktivasi natrium hidroksida (NaOH) terhadap karakteristik permukaan dan kinerja adsorpsi biosorben berbasis limbah pertanian. *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 46(1), 12–23.