

Pengaruh Waktu dan Mekanisme Adsorpsi Logam Cu^{2+} Menggunakan Biosorbent Sampah Daun Akasia

Fikri Hasfita^{1,*}, Wusnah¹, Suryati¹, Meriatna¹ Masrulita¹ dan Khanisya Ratu Asva Dalimunthe¹

¹program studi Teknik kimia, universitas Malikussaleh, Lhokseumawe, Aceh, Indonesia.

*Corresponding author: fikri.hasfita@unimal.ac.id

Abstrak : Pencemaran logam berat di lingkungan semakin meningkat akibat semakin banyaknya jumlah industri dan pertumbuhan penduduk yang tidak terkendali. Keberadaan logam berat memberi dampak negative terhadap Kesehatan dan lingkungan yang memerlukan pengendalian. Adsorpsi menggunakan biomassa sampah salah satu teknologi yang dikembangkan untuk mengendalikan keberadaan logam di lingkungan. Pengaruh waktu dan isothermal adsorpsi menjadi tinjauan dalam mencari kondisi optimum dan mekanisme adsorpsi. Penelitian ini bertujuan menganalisa pengaruh waktu adsorpsi dan penentuan mekanisme adsorpsi melalui pendekatan Isotermal Freudlich dan Langmuir. Variabel waktu yang digunakan 1- 4 jam, konsentrasi limbah 200 mg/l. jumlah adsorben sampah daun akasia 3 gram. Hasil penelitian menunjukkan efisiensi maksimum diperoleh 88.7% pada waktu 4 jam, jumlah konsentrasi logam Cu yang berkurang 22.4 mg/l. kapasitas adsorpsi 2.9 mg/g. mekanisme adsorpsi cenderung mengikuti isothermal Langmuir dengan nilai $R^2= 0.86$ yang menunjukkan terjadi interaksi secara kima pada proses penyerapan

Kata Kunci: adsorpsi, logam berat, biomassa, biosorbent, Isotermal adsorpsi

1. Pendahuluan

Seiring dengan pertumbuhan penduduk dan bertambahnya jumlah industri, maka beban pencemaran yang disebabkan oleh pembuangan limbah domestik dan industri juga meningkat. Limbah industri ini merupakan bahan toksik yang sangat berbahaya bagi makhluk hidup, terutama yang melibatkan logam berat dalam proses produksinya. Logam berat merupakan komponen yang banyak terdapat di alam, beberapa diantaranya berperan dalam kehidupan makhluk hidup sedangkan sebagian merupakan kelompok bahan toksik yang berbahaya jika melebihi kapasitasnya. Kondisi ini menyebabkan masalah yang rumit bagi lingkungan, terutama limbah yang mengandung ion logam berat seperti ion logam $\text{Cu}(\text{II})$. Logam Cu merupakan salah satu logam yang dihasilkan oleh industri. Logam Cu digolongkan kedalam logam berat esensial dalam konsentrasi yang sangat kecil, akan tetapi bila pada konsentrasi tinggi logam Cu akan menjadi racun bagi makhluk hidup. Menurut Imelda dkk., (2019) logam berat seperti, tembaga (Cu) menyebabkan kerusakan pembuluh darah, ginjal, saraf sentral dan cirrhosis hati pada manusia. Konsentrasi aman bagi manusia tidak lebih dari 1 ppm. Pada domba dapat bersifat racun dengan konsentrasi melebihi 20 ppm, sedangkan pada konsentasi lebih dari 1 ppm akan bersifat racun pada semua jenis tumbuhan. Oleh karena itu kandungan logam berat seperti tembaga dalam limbah industri yang melebihi ambang batas harus dihindarkan. Beberapa teknologi yang digunakan untuk menurunkan konsentrasi logam berat dalam limbah cair pengendapan, pengolahan mikrobiologi, penggunaan ion exchange, penggunaan karbon aktif, penggunaan larutan kimia, dan penggunaan material alam. Akan tetapi, metode-metode tersebut belum ekonomis, sulit didapat dan masih menyisakan polutan yang bisa berdampak kembali pada

lingkungan. Para peneliti terus berupaya melakukan penelusuran untuk mencari material baru yang murah, mudah didapat, aman terhadap lingkungan dan mempunyai efisiensi yang tinggi. Teknologi dengan menggunakan biomassa tumbuhan sebagai adsorben merupakan salah satu alternative yang dapat dikembangkan. Metode ini diyakini sangat menjanjikan terutama harganya murah, memiliki kemampuan adsorpsi yang baik, mudah diregenerasi, juga lebih aman bagi lingkungan. Salah satu yang dikembangkan adalah sampah daun akasia yang menurut Hasfita, (2012) berpotensi digunakan sebagai biosorben logam berat karena mengandung tannin, selulosa dan lignin yang mempunyai aktifitas baik untuk jenis logam yang bermuatan positif. Lebih lanjut Agusdin dan Setiorini (2020) menjelaskan selulosa merupakan material yang ketersediaannya melimpah dan dapat diperbaharui. Dibandingkan polimer sintetik, selulosa merupakan biopolimer alami, sehingga lebih mudah terdekomposisi oleh lingkungan. Selain itu, selulosa mempunyai potensi yang cukup signifikan karena kemampuan adsorpsinya.

Teknologi adsorpsi secara umum adalah suatu proses pemisahan bahan dari campuran gas atau cair, bahan yang harus dipisahkan ditarik oleh permukaan adsorben padat dan diikat oleh gaya-gaya yang berkerja pada permukaan tersebut. Adsorpsi merupakan metode umum, karena memiliki konsep sederhana, efisien dan juga ekonomis (Mohamad, 2013). Pada proses adsorpsi, adsorben memegang peranan yang paling penting. Adsorben adalah bahan padat dengan luas permukaan dalam yang sangat besar (Fathoni, dkk. 2024). Waktu kontak adalah salah satu faktor utama dalam proses adsorpsi. Pada tahap awal, laju adsorpsi biasanya tinggi karena masih banyaknya situs aktif yang tersedia pada permukaan adsorben. Semakin lama waktu kontak, semakin banyak ion Cu^{2+} yang dapat menempel pada permukaan adsorben hingga mencapai titik jenuh, yaitu saat semua situs aktif sudah terisi, dan tidak ada lagi ion yang dapat diadsorpsi. Oleh karena itu waktu memegang peranan penting dalam menentukan efisiensi adsorpsi dan mekanisme adsorpsi.

Beberapa penelitian terkait pengaruh waktu terhadap adsorpsi ion logam Cu (II) sudah dilakukan oleh Agusdin dan Setiorini, (2020) menggunakan adsorben kertas koran bekas menunjukkan semakin lama waktu kontak maka konsentrasi Cu^{2+} semakin kecil. Efisiensi penyisihan Cu (II) terbaik dicapai 96,2% pada waktu kontak 120 menit. Sedangkan penelitian Wijaya dkk., (2023) menunjukkan efisiensi removal Cu (II) terbaik mencapai sebesar 81,09% waktu 60 menit menggunakan adsorben komposit kulit udang dan ampas kopi. Penggunaan adsorben yang berasal dari biomassa terus berkembang terutama untuk mendapatkan efisiensi penyerapan yang optimal dengan waktu yang lebih singkat oleh karena itu pada penelitian ini dicoba kembangkan adsorben dari sampah daun akasia mangium sebagai adsorben logam berat Cu (II) dengan menganalisa pengaruh waktu dan mekanisme adsorpsi yang terjadi. Hasil penelitian diharapkan dapat memperkaya pengetahuan dan wawasan terkait penggunaan biomassa sebagai adsorben logam berat. Lebih lanjut diharapkan penggunaan biomassa yang murah dan mudah didapat sebagai adsorben dapat terus dikembangkan pada masa yang akan datang.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini terdiri atas tiga tahap yaitu persiapan sampah daun, pembuatan biosorbent dan uji kinerja biosorben terhadap logam berat Cu (II). Sampah daun dari tanaman akasia yang sudah kering dicuci dengan air untuk menghilangkan kotoran, selanjutnya dikeringkan kembali pada panas matahari. Setelah kering, sampah daun akasia dibuat menjadi serbuk, selanjutnya diayak untuk mendapat ukuran ukuran 100 mesh. Uji aktifitas biosorben terhadap logam menggunakan larutan limbah artifisial yang mengandung Cu (II). Percobaan dilakukan dalam 3 buah labu erlenmeyer ukuran 100 ml, menggunakan 3 gram adsorben hasil preparasi. Selanjutnya dimasukkan 50 ml larutan Cu sulfat 200 mg/L dan dilakukan pengocokan

berturut-turut dalam waktu 1,2,3,dan 4 jam. Tiap 1 jam sekali sampel diambil. Kemudian disaring dan filtratnya dianalisa untuk diukur konsentrasi ion Cu yang tersisa dalam larutan yang ditentukan menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) (Kadar Cu dalam larutan diukur sebelum dan sesudah adsorpsi). Isotermal adsorpsi diuji dengan pendekatan persamaan persamaan Langmuir dan Freudlich.

Kapasitas adsorpsi yang sudah diserap dianalisa menggunakan persamaan:

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

menghitung efisiensi penyerapan :

$$\% \text{ Penyerapan} = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100\%$$

3. Hasil dan Pembahasan

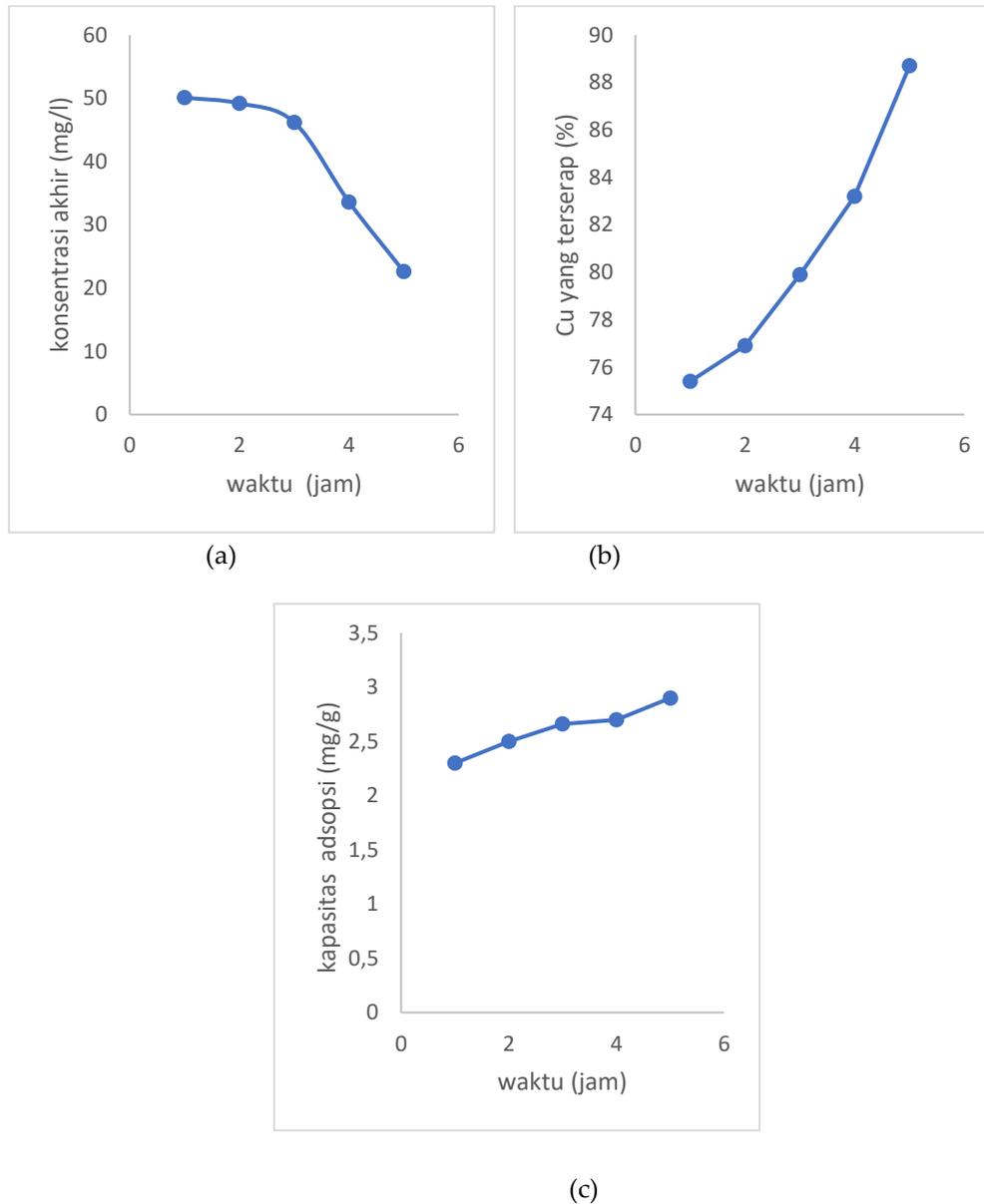
3.1. Pengaruh Waktu Adsorpsi

Penentuan waktu adsorpsi ini bertujuan untuk memperoleh informasi berapa waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kesetimbangan yang optimum. Untuk mencapai tujuan ini digunakan larutan limbah artificial Cu 200 mg/L, berat adsorben 3 gram dan variasi waktu pengadukan untuk masing-masing adsorben terdiri dari 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam dan 5 jam. Hasil penelitian di perlihatkan pada Gambar 1. Gambar 1 (a) memperlihatkan konsentrasi limbah semakin berkurang dengan meningkatnya waktu pada waktu 1 jam pertama terlihat jumlah konsentrasi limbah yang semula 200 mg/l menjadi 50,1 mg/l dalam waktu pengadukan selama 1 jam, dengan efisiensi penyerapan 75.4%, pengurangan konsentrasi meningkat dengan bertambahnya waktu adsorpsi demikian juga dengan efisiensi penyerapan pada waktu 5 jam menjadi 88.7. Gambar 1(c) memperlihatkan kapasitas adsorpsi meningkat dengan bertambahnya waktu.

Hal ini menurut Fadhilah dkk., (2023) disebabkan semakin banyak jumlah logam cu yang terikat dipermukaan adsorben. Namun perbedaan kapasitas dari waktu ke waktu tidak signifikan. Kapasitas adsorpsi berbanding lurus dengan waktu sampai pada titik tertentu, kemudian mengalami penurunan setelah melewati titik tersebut. Semakin lama waktu kontak maka semakin banyak kesempatan partikel untuk bersinggungan dengan logam yang terikat di dalam pori-pori adsorben sampai waktu kontak yang diperlukan cukup untuk dapat mengadsorpsi logam Cu secara optimal.

Kemampuan penyerapan dari adsorben akan berkurang kondisi ini dimungkinkan karena proses desorpsi atau pelepasan adsorbat kembali selama pengadukan. Desorpsi terjadi akibat permukaan adsorben yang telah jenuh. Pada keadaan jenuh, laju adsorpsi menjadi berkurang sehingga waktu kontak tidak lagi berpengaruh. Kondisi ini sesuai dengan penelitian Wijaya dkk., (2023) yang mengalami penurunan efisiensi penyerapan secara konstan menggunakan adsorben komposit kitosan dan karbon aktif.

Dari gambar terlihat bahwa sampah daun akasia dapat mengadsorpsi logam Cu dengan konsentrasi tertinggi. Hal ini diduga karena pada jaringan daun memiliki protein dengan gugus aktif NH_2 yang tinggi. Gugus NH_2 adalah senyawa yang dapat mengikat logam. Banyaknya situs aktif pada daun menyebabkan % Cu teradsorpsi pada daun lebih meningkat selain itu daun memiliki gugus OH yang terdapat pada senyawa selulosa dan Lignin. Menurut Mohamad, (2013) urutan senyawa-senyawa pembentukan kompleks untuk logam Cu(II) oleh atom N dalam ligan NH_3 memiliki harga keelektronegatifan lebih kecil (3,0) daripada O pada OH- (3,5) sehingga ligan NH_3 membentuk kompleks yang lebih kuat dengan Cu^{2+} daripada dengan OH-.

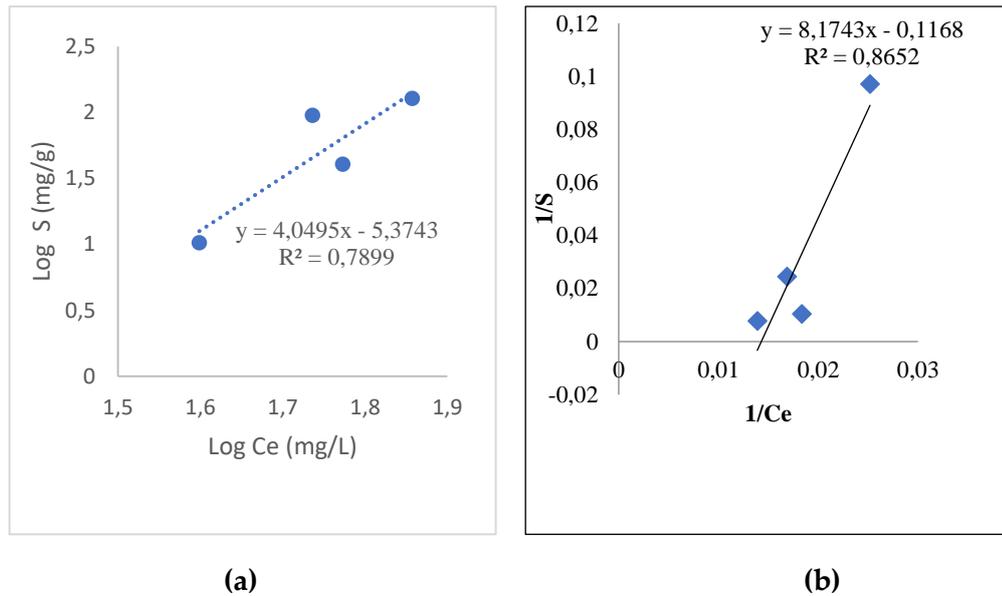


Gambar 1. Pengaruh waktu adsorpsi terhadap (a) konsentrasi akhir Cu mg/L, (b) Efisiensi penyerapan %, (c) Kapasitas adsorpsi (mg/g)

3.2. Penentuan Isothermal Adsorpsi

Isoterm adsorpsi terjadi karena adanya perubahan pada konsentrasi adsorbat dan tujuannya untuk mengetahui mekanisme adsorpsi logam berat Cu. Isoterm adsorpsi yang digunakan adalah isoterm Langmuir dan Freundlich. Penentuan isothermal adsorpsi bertujuan untuk melihat mekanisme penyerapan dari adsorben pada proses adsorpsi, data yang didapat lalu dianalisis untuk memperoleh persamaan *isotherm* adsorpsi. Dari persamaan *isotherm* adsorpsi tersebut dapat dilihat karakteristik isotherm berupa kapasitas dan mekanisme proses biosorpsi. Persamaan *isotherm* yang digunakan dalam penelitian ini adalah persamaan Freundlich dan persamaan Langmuir. Dari hasil perhitungan, dibentuklah kurva linear antara $1/C_e$ dan $1/S$ untuk persamaan Langmuir dan kurva linear antara $\text{Log } C_e$ dan $\text{Log } (S)$ untuk persamaan Freundlich.

Untuk melihat persamaan *isotherm* yang sesuai dengan percobaan ini, maka dapat dibuktikan melalui koefisien determinasi (R) yang ditunjukkan pada grafik linearisasi masing-masing persamaan Kurva persamaan Langmuir dan Freundlich yang digunakan adalah data pada penentuan pengaruh konsentrasi karena dianggap mewakili semua kondisi optimum yang ada. Gambar 2 memperlihatkan kurva penentuan Isothermal adsopsi untuk (a) Isothermal Freundlich (b) isothermal Langmuir dan Data parameter isotherm Freundlich dan Langmuir diperlihatkan pada Tabel 1.



Gambar 2 Kurva penentuan Isothermal adsopsi untuk (a) Isothermal Freundlich (b) isothermal Langmuir

Tabel 1 Data parameter isotherm Freundlich dan Langmuir

	Persamaan	R ²	n	1/n	Log Kf	Kf
Freudlich	y=4,04x-5,37	0,78	4,04	0,24	-5,37	4,26 x10 ⁻⁶
Langmuir	Persamaan	R ²	1/qm	qm (mg/g)	1/K _{ads} .qm	K _{ads} (L/mg)
	y=8,17x-0,11	0,86	-0,11	-9,09	8,17	-0,013

Dari Tabel 1 dapat dibandingkan nilai R² untuk masing-masing persamaan, dimana R² yang baik yaitu mendekati 1 adalah isotherm langmuir. Nilai konstanta Kf pada isothermal Freundlich menunjukkan bahwa pada setiap waktu kontak bernilai positif, diikuti nilai n selalu bernilai positif, hal ini mengindikasikan bahwa terdapat keseimbangan antara konsentrasi larutan, jumlah adsorben yang digunakan serta waktu kontak yang dilakukan. Sementara nilai n menurut Purwiandono dan Ibrahim, (2022) nilai n yang lebih besar dari 1 menunjukkan kondisi adsorben *favorable* untuk digunakan sebagai adsorben. Dari tabel diperoleh nilai n berkisar antara 1,74 - 4,04 (>1) sehingga dapat dinyatakan bahwa adsorben dari daun akasia baik tanpa perlakuan maupun diberi perlakuan dengan immobilisasi *favorable* digunakan sebagai adsorben. Selain itu disebutkan bahwa semakin kecil nilai (1/n) menunjukkan kekuatan yang besar antara adsorben dan adsorbat.

Dari pernyataan ini, dapat dinyatakan bahwa terdapat ikatan yang cukup kuat antara adsorben akasia, silika dan polimer dengan adsorbat karena nilai $1/n$ yang dihasilkan berkisar 0,2 - 0,5. Sementara itu semakin tinggi nilai K_f menunjukkan laju penyisihan adsorbat yang tinggi.

Analisa isoterm Langmuir digunakan dengan asumsi adsorben mempunyai permukaan yang homogen dan hanya dapat mengadsorpsi satu molekul adsorbat untuk setiap molekul adsorbennya. Tidak ada interaksi antara molekul-molekul yang terserap. Semua proses adsorpsi dilakukan dengan mekanisme yang sama hanya terbentuk satu lapisan tunggal saat adsorpsi maksimum. Namun, biasanya asumsi-asumsi sulit diterapkan karena hal-hal berikut: selalu ada ketidak sempurnaan pada permukaan, molekul teradsorpsi tidak *inert* dan mekanisme adsorpsi pada molekul pertama sangat berbeda dengan mekanisme pada molekul terakhir yang teradsorpsi. Tabel 1 untuk persamaan Langmuir menunjukkan Konstanta isoterm Langmuir memberikan informasi berkaitan dengan pola ikatan yang terbentuk antara adsorben dan adsorbat.

Nilai q_m dari Langmuir menggambarkan ikatan antara adsorben dan Cu mampu membentuk lapisan monolayer dalam jumlah yang signifikan. Nilai q_m menunjukkan kapasitas adsorpsi maksimum atau jenuh dimana semua *sorption sites* telah penuh, dengan terbentuknya lapisan pada permukaan adsorben. Nilai K_{ads} mengindikasikan tingkat afinitas antara Cu dengan permukaan adsorben. Menurut Pita Rengga dkk., (2019) nilai $K_{ads} > 1$ mengindikasikan tingkat afinitas sangat kuat dengan kata lain ikatan yang terjadi didominasi oleh ikatan elektrostatis antara kation dari Cu dengan anion dari permukaan adsorben. Permukaan adsorben memiliki total muatan negative karena efek dari keberadaan senyawa karboksil dan hidroksil dan amine.

Dari Tabel 4.12 terlihat nilai $K_{ads} < 1$, hal ini merupakan indikasi ikatan antara adsorben dengan larutan Cu membentuk lapisan monolayer tidak begitu kuat. Nilai konstanta q_m dan K_f bernilai negatif, menandakan adsorpsi berlangsung sangat lambat dan permukaan adsorben mengalami kejenuhan dengan cepat tanpa membentuk lapisan *monolayer*.

4. Kesimpulan

1. Waktu adsorpsi mempengaruhi kapasitas adsorpsi, efisiensi penyerapan dan pengurangan konsentrasi. Semakin lama waktu penyerapan maka konsentrasi adsorbat akan semakin berkurang sehingga akan meningkatkan efisiensi penyerapan dan kapasitas adsorpsi.
2. Kapasitas adsorpsi akan menurun disebabkan adsorben mengalami kejenuhan yang menyebabkan efisiensi berkurang dengan bejalannya waktu penyerapan.
3. Biosorben sampah daun akasia mangium memiliki afinitas penyerapan yang tinggi terhadap logam Cu
4. Mekanisme adsorpsi logam Cu (II) memiliki kecenderungan mengikuti isothermal Langmuir yang menunjukkan kemungkinan terbentuknya ikatan kimia pada pusat aktif tertentu pada permukaan adsorben.

5. Daftar Pustaka

Agusdin, A., & Setiorini, I. A. (2020). ANALISA KEMAMPUAN PENYERAPAN BUBUR KERTAS (PULP) DARI KERTAS BEKAS SEBAGAI ADSORBENT ZAT WARNA REAKTIF DAN LOGAM BERAT (Cu dan Fe) DARI LIMBAH CAIR TEKSTIL DENGAN ADSORBER VERTIKAL. *Jurnal Teknik Patra Akademika*, 11(01), 4–12.



- <https://doi.org/10.52506/jtpa.v11i01.100>
- Fadhilah, N. F., Wibowo, E. B. T., Astuti, D. H., & Billah, M. (2023). Pemanfaatan Eceng Gondok sebagai Adsorben dengan Perlakuan Awal untuk Menurunkan Kadar Logam Berat Cu. *Chempro*, 2(1), 7–12. <https://doi.org/10.33005/chempro.v2i01.68>
- Hasfita, F. (2012). Jurnal Teknologi Kimia Unimal Jurnal Teknologi Kimia Unimal STUDY PEMBUATAN BIOSORBEN DARI LIMBAH DAUN AKASIA MANGIUM (ACACIA MANGIUM WILD) UNTUK APLIKASI PENYISIHAN LOGAM. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 1, 36–48. www.ft.unimal.ac.id/jurnal_teknik_kimia
- Imelda, D., Khanza, A., & Wulandari, D. (2019). Pengaruh Ukuran Partikel Dan Suhu Terhadap Penyerapan Logam Tembaga (Cu) Dengan Arang Aktif Dari Kulit Pisang Kepok (*Musa Paradisiaca* Formatypica). *Jurnal Teknologi*, 6(2), 107–118. <https://doi.org/10.31479/jtek.v6i2.10>
- Mohamad, E. (2013). Pengaruh Variasi Waktu Kontak Tanaman Bayam Duri Terhadap Adsorpsi Logam Berat Kadmium (Cd). *Jurnal Entropi*, 8(1), 562–571.
- Pita Rengga, W. D., Harianingsih, H., Erwanto, A., & Cahyono, B. (2019). Kesetimbangan Adsorpsi Isotermal Logam Pb Dan Cr Pada Limbah Batik Menggunakan Adsorben Tongkol Jagung (*Zea Mays*). *Journal of Chemical Process Engineering*, 4(2), 56–62. <https://doi.org/10.33536/jcpe.v4i2.321>
- Purwiandono, G., & Ibrahim, S. (2022). Adsorpsi Logam Cu(II) Menggunakan Adsorben Kulit Buah Salak Teraktivasi HNO₃. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 7(1), 1–7. <https://doi.org/10.20885/ijcr.vol7.iss1.art1>
- Rif'an Fathoni, Karmila, Dwi Arum Nitami, M. A. F., & Simanjuntak. (2024). THE EFFECT OF TIME AND CONCENTRATION OF CORN PEEL ADSORBENTS ON DECREASING HEAVY METAL CONCENTRATIONS. *JURNAL CHEMURGY*, 152, 98–102.
- Wijaya, D. A., Mayangsari, N. E., & Nindyapuspa, A. (2023). *Studi Isoterm dan Kinetika Adsorpsi Logam Berat Cu Menggunakan Komposit Kitosan Kulit Udang-Karbon Aktif Ampas Kopi*. 6(2623), 187–191.