MASALIQ
Jurnal Pendidikan dan Sains

e-ISSN: 2808-8115
p-ISSN: 2809-1051

Terindeks: Sinta 5, Copernicus, Dimensions, Scilit, Lens, Crossref, Garuda, Google Scholar, Base, etc

https://doi.org/10.58578/masaliq.v5i4.6867

OPTIMASI WAKTU KONTAK DAN KECEPATAN PENGADUKAN UNTUK PENYERAPAN ION *CU(II)* OLEH *BIOSORBEN* KULIT MATOA-*CTAB*

Optimization of Contact Time and Stirring Speed for the Adsorption of Cu(II) Ions by Matoa Peel-CTAB Biosorbent

Meissa Lifangrha Ronald, Desy Kurniawati, Melindra Mulia
Universitas Negeri Padang
meisya.lifangrha1207@gmail.com; desy.chem@gmail.com

Article Info:

Submitted:	Revised:	Accepted:	Published:
Jun 17, 2025	Jul 10, 2025	Jul 22, 2025	Jul 27, 2025

Abstract

Industrial waste containing heavy metal ions such as Cu(II) is a major cause of environmental pollution, posing serious risks to human health and ecosystem sustainability. Cu(II) ions are toxic and can lead to neurological disorders, anemia, liver and kidney damage, and even death upon excessive exposure. To address this issue, an efficient, economical, and environmentally friendly method is needed. This study aims to evaluate the ability of matoa peel as a biosorbent for Cu(II) ion removal and to analyze the effect of surface modification using the cationic surfactant Cetyltrimethylammonium Bromide (CTAB). Matoa peel was selected due to its status as agricultural waste rich in active compounds such as flavonoids, tannins, lignin, and cellulose, which contain functional groups effective in binding metal ions. CTAB modification was applied to enhance the number and strength of active adsorption sites. Characterization was conducted using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) to identify changes in functional groups, while adsorption tests were performed using Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) with variations in contact time and stirring speed. The results indicated optimal conditions at 60 minutes of

Masaliq Journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License

contact time and a stirring speed of 150 rpm, achieving a maximum adsorption capacity of 15.01 mg/g—significantly higher than that of the unmodified biosorbent. In conclusion, CTAB-modified matoa peel significantly enhances the biosorption effectiveness for Cu(II) ions. These findings support the potential use of agricultural waste as a sustainable, cost-effective biosorbent for environmentally friendly industrial wastewater treatment.

Keywords: Matoa Peel; CTAB; Cu(II) Ion; Contact Time; Stirring Speed

Abstrak: Limbah industri yang mengandung ion logam berat seperti *Cu(II)* merupakan penyebab utama pencemaran lingkungan yang berdampak serius terhadap kesehatan makhluk hidup dan kelestarian ekosistem. Ion *Cu(II)* bersifat toksik dan dapat menyebabkan gangguan sistem saraf, anemia, kerusakan hati dan ginjal, hingga kematian jika terpapar secara berlebihan. Untuk menangani masalah ini, diperlukan metode yang efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan kulit matoa sebagai biosorben dalam menyerap ion *Cu(II)*, serta menganalisis pengaruh modifikasi permukaan menggunakan surfaktan kationik *Cetyltrimethylammonium Bromide* (CTAB). Kulit matoa dipilih karena merupakan limbah pertanian yang mengandung senyawa aktif seperti flavonoid, tanin, lignin, dan selulosa, yang memiliki gugus fungsional efektif dalam mengikat ion logam. Modifikasi dengan CTAB dilakukan untuk meningkatkan jumlah dan kekuatan situs aktif adsorpsi. Karakterisasi dilakukan menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) untuk mengidentifikasi perubahan gugus fungsional, sedangkan uji adsorpsi dilakukan dengan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) dengan variasi waktu kontak dan kecepatan pengadukan. Hasil menunjukkan bahwa kondisi optimum diperoleh pada waktu kontak 60 menit dan kecepatan pengadukan 150 rpm, dengan kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 15,01 mg/g—lebih tinggi dibandingkan biosorben tanpa modifikasi. Kesimpulannya, modifikasi kulit matoa dengan CTAB secara signifikan meningkatkan efektivitas biosorpsi terhadap ion *Cu(II)*. Temuan ini mendukung potensi pemanfaatan limbah pertanian sebagai biosorben berkelanjutan dalam pengolahan limbah cair industri secara ramah lingkungan dan berbiaya rendah.

Kata Kunci: Kulit Matoa; CTAB; Ion *Cu(II)*; Waktu Kontak; Kecepatan Pengadukan

PENDAHULUAN

Perkembangan industri di Indonesia membawa dampak signifikan terhadap peningkatan volume limbah, yang apabila tidak dikelola dengan baik dapat mencemari lingkungan (Jaida dkk., 2021). Limbah industri dapat diklasifikasikan menjadi limbah padat, cair, dan gas, dengan limbah cair yang mengandung ion logam berat menjadi salah satu sumber pencemaran berbahaya. Ion logam berat bersifat toksik dan bioakumulatif, sehingga sangat berisiko bagi kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya. Salah satu ion logam berat yang berbahaya adalah ion logam Cu^{2+} (Dianira Prastiwi & Kuntjoro, 2022), yang dapat

menyebabkan pusing, anemia, gangguan hati dan ginjal, bahkan kematian (Azizah dkk., 2022).

Menanggapi isu tersebut, berbagai metode telah dikembangkan untuk menurunkan kadar ion logam berat dalam air. Salah satunya adalah biosorpsi, yaitu metode adsorpsi menggunakan bahan biologis. Biosorpsi melibatkan mekanisme fisik dan kimia seperti pembentukan kompleks, adsorpsi, dan pertukaran ion (Rahman dkk., 2024), serta memiliki keunggulan karena tidak menghasilkan limbah beracun (Bastian & Nasra, 2023). Limbah perkebunan seperti kulit matoa diketahui mengandung flavonoid, tanin, lignin (28,24%) dan selulosa (50,6%), yang menjadikannya bahan potensial sebagai biosorben (Nasda dkk., 2023). Akibatnya, penelitian ini tidak hanya akan menemukan cara baru untuk mengurangi pencemaran logam berat, akan tetapi juga akan membantu mengembangkan metode pengelolaan limbah yang berkelanjutan yang sesuai dengan kemajuan teknologi dan ilmu pengetahuan (Kurniawati & Lian, 2025).

Menurut temuan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Patricia dkk., (2024) biosorben kulit matoa yang diimobilisasi dengan menggunakan natrium silika telah menunjukkan kemampuan untuk menyerap ion logam Cu^{2+} yang sudah ada dalam larutan dengan metode batch. Kapasitas penyerapan yang dihasilkan mencapai 13,13 mg/g. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Salsabila dkk., (2023) dimana menggunakan kulit matoa sebagai biosorben untuk menghilangkan ion logam Cu^{2+} dari air ditemukan kapasitas penyerapan sebesar 12,059 mg/g. Hal tersebut menunjukkan potensi kulit matoa sebagai bahan biosorben yang efektif dalam menangani logam berat.

Kulit matoa pada penelitian ini akan dimodifikasi dengan surfaktan CTAB *(Cetyltrimethylammonium Bromide)* yang digunakan untuk meningkatkan kapasitas adsorpsinya terhadap ion logam Cu^{2+}. Surfaktan CTAB mampu mengubah sifat permukaan kulit matoa dengan memperkenalkan muatan positif yang secara signifikan meningkatkan jumlah situs aktif pada permukaan adsorben, memperbanyak pori-pori serta memperluas permukaan adsorben (Barboza dkk., 2024). Penelitian yang dilakukan oleh Agnes (2014) menunjukkan bahwa zeolit alam dari Klaten yang telah dimodifikasi menggunakan CTAB mampu menyerap ion Cu^{2+}, ion sulfat, dan zat pewarna metil merah secara efektif. Di sisi lain Baralangi (2009) menggunakan kombinasi CTAB dan propilamin untuk memodifikasi zeolit alam, yang terbukti efektif dalam menyerap anion kromat dan permanganat. Penelitian lain oleh Purbaningtias dkk., (2019) menunjukkan bahwa modifikasi ampas tebu dengan CTAB

mampu membentuk pori mesopori, serta meningkatkan luas permukaan baik pada ampas tebu maupun sekam padi.

Berdasarkan penjelasan diatas, penelitian ini bertujuan menentukan waktu kontak dan kecepatan pengadukan optimum untuk penyerapan ion logam Cu^{2+} menggunakan biosorben kulit matoa, serta menentukan nilai kapasitas serapan kulit matoa yang termodifikasi surfaktan CTAB terhadap ion logam Cu^{2+}.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April 2025 hingga Juni 2025 di Laboratorium Penelitian Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.

Preparasi Sampel:

Kulit matoa dicuci dengan aquades dan dikering anginkan. Kulit matoa yang telah kering dipotong kecil dan dihaluskan dengan blender sebelum diayak, dalam penelitian ini diayak dengan ukuran 250 μm (Marfania, 2019).

Perlakuan Modifikasi Kulit Matoa dengan Surfaktan CTAB:

25 mL larutan CTAB 0,300 mol/L dengan pH mendekati 6 dicampur dengan 3,3 gram kulit matoa. Setiap campuran ditutup dengan plastik wrap dan dishaker selama 24 jam. Campuran disaring, dibilas dengan aquades dan dikeringkan dalam oven selama 24 jam pada suhu 80˚C. Campuran disimpan dalam desikator sampai proses analisis (Barboza dkk., 2024).

Perlakuan Metode Batch untuk Pengaruh Waktu Kontak Larutan:

Sebanyak 0,2 gram adsorben yang telah dimodifikasi CTAB dengan ukuran partikel 250 μm dimasukkan ke dalam erlenmeyer. Ditambahkan 25 mL larutan Cu^{2+} dengan pH 5 dan konsentrasi 200 mg/L. Campuran tersebut diaduk menggunakan stirer selama 30, 60, 90, 120, dan 150 menit pada kecepatan 100 rpm. Filtrat disaring dan dianalisis menggunakan Spektroskopi Serapan Atom sehingga diperoleh waktu kontak optimum (Marfania, 2019).

Perlakuan Metode Batch untuk Pengaruh Kecepatan Pengadukan:

Sebanyak 0,2 gram adsorben yang telah dimodifikasi CTAB dengan ukuran partikel 250 μm dimasukkan ke dalam erlenmeyer. Ditambahkan 25 mL larutan Cu^{2+} dengan pH 5 dan konsentrasi 200 mg/L. Campuran tersebut diaduk pada waktu kontak optimum dengan

kecepatan pengadukan 100, 150, 200 dan 250 rpm. Filtrat disaring dan dianalisis menggunakan Spektroskopi Serapan Atom sehingga diperoleh kecepatan pengadukan optimum (Marfania, 2019).

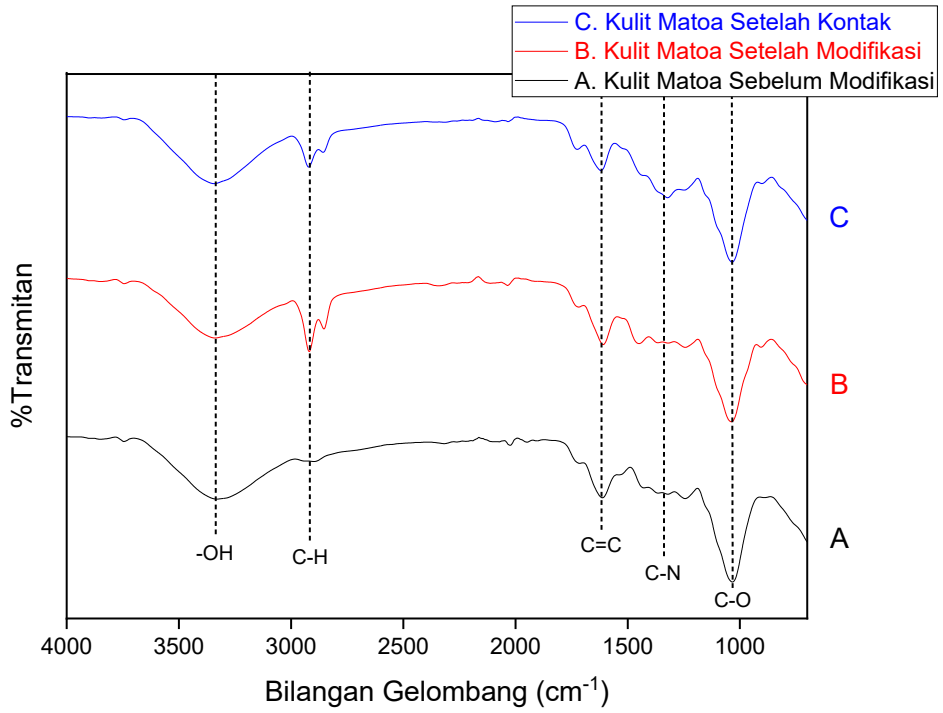
Analisis dengan FTIR

Analisis *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dilakukan pada biosorben kulit matoa sebelum dan setelah dimodifikasi dengan surfaktan CTAB, serta setelah proses penyerapan ion logam Cu^{2+} (Marfania, 2019).

HASIL

Karakterisasi Kulit Matoa dengan FTIR:

Karakterisasi FTIR digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang ada pada kulit buah matoa yang berperan sebagai biosorben. Rentang panjang gelombang yang digunakan dalam penelitian ini adalah antara 700-4000 cm^{-1}



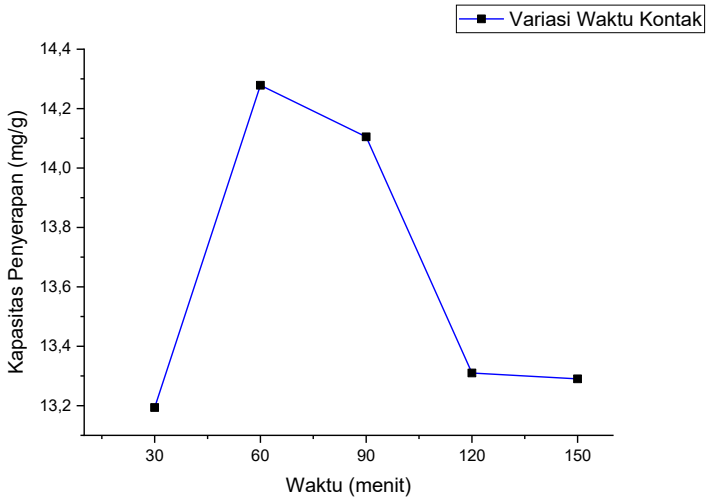
Gambar 1. Grafik FTIR kulit matoa sebelum modifikasi, setelah modifikasi, dan setalah dikontakkan dengan Cu(II)

Tabel 1. Data FTIR kulit matoa sebelum modifikasi, setelah modifikasi, dan setelah dikontakkan dengan Cu(II)

Ikatan dan Jenis Gugus Fungsi	Kulit Matoa Sebelum Modifikasi		Kulit Matoa Setelah Modifikasi CTAB		Kulit Matoa Setelah Dikontakkan Cu(II)	
	Bilangan Gelombang	%T	Bilangan Gelombang	%T	Bilangan Gelombang	%T
O-H	3331,32	82,2	3338,26	81,14	3342,64	72,42
C-H	2898,86	92,03	2919,27	77,16	2921,72	78,77
C=C	1612,99	83,12	1609,34	79,2	1619	77,45
C-N	-	-	1319,63	79,64	1322,14	67,05
C-O	1033,45	62,42	1037,93	56,55	1034,88	42,35

Penentuan Waktu Kontak Optimum:

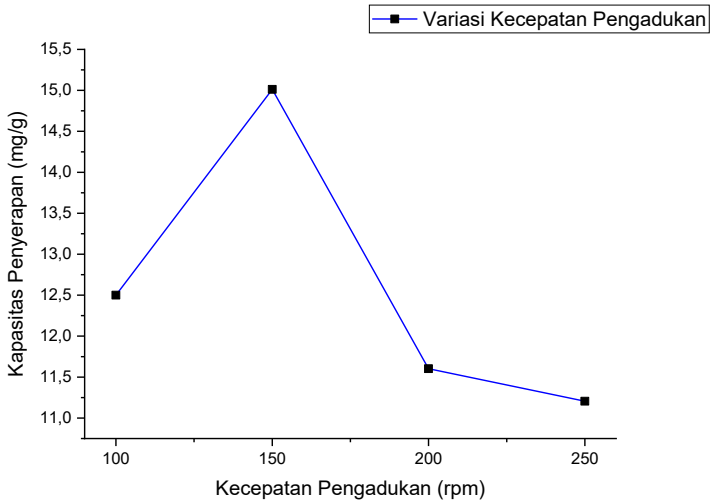
Parameter waktu kontak dimanfaatkan untuk menilai durasi optimum yang diperlukan agar adsorben dapat menyerap adsorbat secara maksimal. Untuk melihat waktu kontak optimum digunakan instrumentasi AAS.



Gambar 2. Pengaruh variasi waktu kontak terhadap penyerapan Cu(II) dalam larutan (pH 6, konsentrasi 200 mg/L, ukuran partikel 250 μm dengan kecepatan pengadukan 100 rpm)

Penentuan Kecepatan Pengadukan Optimum:

Parameter kecepatan pengadukan memainkan peran penting dalam mempercepat penyebaran zat terlarut. Untuk melihat waktu kontak optimum digunakan instrumentasi AAS.



Gambar 3. Pengaruh variasi kecepatan pengadukan terhadap penyerapan Cu(II) dalam larutan (pH 6, konsentrasi 200 mg/L, ukuran partikel 250 μm selama 60 menit)

PEMBAHASAN

Karakterisasi Kulit Matoa dengan FTIR:

Berdasarkan spektra FTIR kulit matoa sebelum modifikasi CTAB menunjukkan gugus hidroksil (-OH) pada 3331,32 cm^{-1} dengan transmitansi 82,8% yang termasuk dalam rentang khas 3600-3200 cm^{-1}. Gugus ini menjadi indikasi adanya situs aktif potensial untuk proses adsorpsi. Selain itu, terdapat serapan gugus alifatik (C-H) pada 2898,86 cm^{-1} (%T 92,03), gugus alkena (C=C) pada 1612,99 cm^{-} (%T 83,12), dan gugus alkohol/eter (C-O) pada 1033,45 cm^{-} (%T 62,42). Gugus-gugus ini mendukung keberadaan senyawa-senyawa organik penyusun utama kulit matoa (Kurniawati & Lian, 2025).

Setelah modifikasi dengan surfaktan CTAB, spektra menunjukkan perubahan signifikan 3338,26 cm^{-1} (%T 81,14) yang menandakan keberadaan gugus aktif yang masih tersedia. Peningkatan intensitas pita C-H pada 2919,27 cm^{-1} (%T 77,16) menunjukkan adanya rantai alkil dari CTAB dan menandakan keberhasilan modifikasi. Perubahan bilangan gelombang juga terlihat pada 1609 cm^{-1} (%T 79,2) yang berhubungan dengan gugus C=C. Bukti keberhasilan modifikasi lainnya adalah munculnya gugus C-N dari ammonium kuartener milik CTAB pada serapan 1319,63 cm^{-1} (%T 79,64). Selanjutnya pergeseran gugus C-O ke 1037,93 cm^{-1} (%T 56,55). Pergeseran ini mengindikasikan adanya perubahan struktur permukaan biosorben yang berpotensi meningkatkan efisiensi adsorpsi (Gong dkk., 2024). Setelah kulit matoa berhasil dimodifikasi dengan CTAB, terjadi perubahan sifat

permukaannya yaitu pembentukan lebih banyak pori serta perluasan luas permukaan sehingga efektivitas kulit matoa dalam proses adsorpsi menjadi lebih tinggi (Arini, 2021).

Setelah kontak dengan ion Cu^{2+}, terjadi pergeseran dan penurunan transmitansi pada seluruh gugus fungsional. Gugus -OH bergeser ke 3342,64 cm^{-1} (%T 72,42), C-H ke 2921,72 cm^{-1} (%T 78,77), C=C ke 1619 cm^{-1} (%T 77,45), C-N ke 1322,14 cm^{-1} (%T 67,05) dan C-O ke 1034,88 cm^{-1} (%T 42,35). Pergeseran ini disertai penurunan %T yang menunjukkan peningkatan penyerapan, menandakan terjadinya interaksi langsung antara ion Cu^{2+} dan gugus fungsional aktif pada permukaan biosorben. Hal ini mengonfirmasi bahwa proses adsorpsi berlangsung efektif (Salsabila dkk., 2023).

Penentuan Waktu Kontak Optimum:

Waktu kontak merupakan faktor penting dalam proses adsorpsi karena menentukan kecepatan difusi adsorbat ke permukaan adsorben hingga tercapainya kesetimbangan. Peningkatan waktu kontak umumnya akan meningkatkan kapasitas adsorpsi sampai seluruh situs aktif terisi. Dalam penelitian ini, variasi waktu kontak yang digunakan adalah 30, 60, 90, 120 dan 150 menit pada kondisi larutan Cu^{2+} dengan pH 5, konsentrasi 200 mg/L, ukuran partikel 250 μm, dan kecepatan pengadukan 100 rpm. Kapasitas maksimum tercapai pada menit ke-60 sebesar 14,27 mg/g. Setelah itu, kapasitas menurun karena kejenuhan permukaan biosorben.

Pada awal proses, seluruh situs aktif masih tersedia sehingga penyerapan berlangsung cepat. Seiring waktu, ion Cu^{2+} mulai mengisi pori-pori dan berikatan dengan gugus fungsional. Ketika titik kesetimbangan tercapai, sebagian adsorbat dapat terlepas kembali dan penambahan waktu kontak tidak lagi meningkatkan penyerapan. Oleh karena itu, penentuan waktu kontak optimum penting dilakukan agar adsorpsi berlangsung efisien sebelum biosorben mencapai kejenuhan (Ikhsany dkk., 2024).

Jika dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Patricia dkk., (2024) menunjukkan bahwa kulit matoa tanpa modifikasi memiliki waktu optimum 90 menit. Namun, setelah dimodifikasi dengan surfaktan CTAB waktu kontak optimum berkurang menjadi 60 menit. Penurunan ini disebabkan oleh peningkatan jumlah dan kekuatan situs aktif pada permukaan biosorben yang mempercepat interaksi antara ion Cu^{2+} dan gugus fungsional yang distabilkan oleh CTAB.

Penentuan Kecepatan Pengadukan Optimum:

Kecepatan pengadukan berperan penting dalam proses adsorpsi karena mempengaruhi penyebaran larutan dan distribusi adsorben, sehingga meningkatkan peluang kontak antara adsorben dan adsorbat (Frista dkk., 2024). Dalam penelitian ini, kecepatan pengadukan divariasikan pada 100, 150, 200, dan 150 rpm dengan kondisi larutan Cu^{2+} dengan pH 5, konsentrasi 200 mg/L, ukuran partikel 250 μm, dan waktu kontak 60 menit. Hasil menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi tertinggi sebesar 15,01 mg/g dicapai pada 150 rpm. Peningkatan efisiensi terjadi dari 100 hingga 150 rpm, namun kapasitas menurun pada 200 dan 250 rpm akibat pelepasan ikatan Cu^{2+} atau kerusakan struktur biosorben (Fitri & Kurniawati, 2023).

Peningkatan kecepatan pengadukan menyebabkan kenaikan energi kinetik partikel yang memicu tumbukan lebih intens antar partikel dan antara adsorbat-adsorben. Tumbukan ini dapat mengganggu ikatan antara Cu^{2+} dan situs aktif, sehingga menurunkan efektivitas penyerapan pada kecepatan tinggi (Frista dkk., 2024). Oleh karena itu, penting untuk menentukan kecepatan pengadukan optimum agar proses adsorpsi berlangsung efisien tanpa merusak struktur biosorben.

Penelitian yang dilakukan oleh Patricia dkk., (2024) melaporkan bahwa kapasitas maksimum adsorpsi ion Cu^{2+} menggunakan kulit matoa yang diimobilisasi silika gel adalah 13,13 mg/g. Sementara itu, modifikasi kulit matoa dengan surfaktan CTAB pada penelitian ini menghasilkan kapasitas penyerapan yang lebih tinggi, yakni 15,01 mg/g. Peningkatan ini disebabkan oleh perubahan karakteristik permukaan biosorben, seperti peningkatan luas permukaan aktif dan struktur pori akibat interaksi CTAB dan gugus hidroksil pada kulit matoa (Barhoum dkk., 2014).

Implikasi yang dapat ditarik dari penelitian ini adalah penentuan waktu kontak dan kecepatan pengadukan optimum menunjukkan bahwa kulit matoa termodifikasi CTAB efektif sebagai biosorben Cu^{2+}. Hasil ini membantu meningkatkan efisiensi proses adsorpsi sekaligus mengoptimalkan penggunaan energi dan waktu. Selain itu, penelitian ini mendorong pemanfaatan limbah biosorben sebagai bahan penyerap ramah lingkungan untuk pengolahan limbah logam berat.

Sebagai rekomendasi, perlu dilakukan karakterisasi metode BET terhadap kulit matoa yang dimodifikasi dengan CTAB untuk mengetahui luas permukaan dan struktur pori secara lebih rinci, serta pengujian lebih lanjut terhadap kemampuan adsorpsi kulit matoa

termodifikasi CTAB terhadap jenis ion logam lain, guna mengevaluasi potensi aplikasinya dalam pengolahan berbagai limbah logam berat.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa, kulit matoa yang telah dimodifikasi dengan surfaktan CTAB terbukti memiliki efisiensi yang lebih baik dalam menyerap ion logam Cu(II) dibandingkan dengan kulit matoa yang tidak dimodifikasi. Kondisi optimum untuk proses adsorpsi dicapai pada waktu kontak 60 menit dan kecepatan pengadukan 150 rpm. Pada kondisi optimum tersebut, kapasitas maksimum penyerapan ion logam Cu(II) yang diperoleh adalah sebesar 15,01 mg/g. Penelitian berkontribusi terhadap ilmu pengetahuan karena tidak hanya menemukan cara baru untuk mengurangi logam berat pada lingkungan, akan tetapi juga dapat mengurangi pencemaran limbah yang berkelanjutan sesuai dengan kemajuan teknologi dan ilmu pengetahuan. Rekomendasi untuk penelitian selanjutnya, melakukan karakterisasi metode BET terhadap kulit matoa yang dimodifikasi dengan CTAB untuk mengetahui luas permukaan dan struktur pori secara lebih rinci, serta pengujian lebih lanjut terhadap kemampuan adsorpsi kulit matoa termodifikasi CTAB terhadap jenis ion logam lain, guna mengevaluasi potensi aplikasinya dalam pengolahan berbagai limbah logam berat.

DAFTAR PUSTAKA

Agnes, M. (2014). Modifikasi Zeolit Alam dengan CTAB Sebagai Adsorben Multifungsi untuk Kation Cu(II), Anion, dan Metil Merah. *Departemen Kimia FMIPA UGM*, Yogyakarta.

Arini, N. R. (2021). Modifikasi Aerogel Selulosa Dari Ampas Tebu Dengan Ctab Dan Aplikasinya Sebagai Adsorben Zat Warna Methyl Orange. http://repository.unhas.ac.id/id/eprint/13327/%0Ahttp://repository.unhas.ac.id/id/eprint/13327/3/H012191002_tesis_08-02-2022 dp.pdf

Azizah, R. nurul, Indriani, N. E., Annisa, P. N., Binurika Mustopa, B. A., Pratama, M. R., Hidayat, M. R., & Sulistiyorini, D. (2022). Analisis Risiko Logam Berat Cr dan Cu pada DAS Cileungsi. *Jurnal Sanitasi Lingkungan,* 2(1), 1–6. https://doi.org/10.36086/jsl.v2i1.1141

Baralangi, S. (2009). Modifikasi Zeolit Alam dengan Propilamina dan N-Cetil-N,N,N-Trimetilammonium Bromida (CTAB) dan Aplikasinya untuk Adsoprsi Anion.

Barboza, J. A. T., Penido, E. S., & Ferreira, G. M. D. (2024). Production of surfactant-modified banana peel biosorbents applied to treatment and decolorization of effluents. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects,* 680(August

2023). https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2023.132650

Barhoum, A., Rahier, H., Abou-Zaied, R. E., Rehan, M., Dufour, T., Hill, G., & Dufresne, A. (2014). Effect of cationic and anionic surfactants on the application of calcium carbonate nanoparticles in paper coating. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 6(4), 2734–2744. https://doi.org/10.1021/am405278j

Bastian, V., & Nasra, E. (2023). Pengaruh Kecepatan Pengadukan dan Waktu Kontak Ampas Kulit Durian (Durio Zibethinus L.) terhadap Penyerapan Ion Logam Tembaga (II) dengan Metode Batch. *Masaliq,* 4(1), 27–36. https://doi.org/10.58578/masaliq.v4i1.2094

Dianira Prastiwi, A., & Kuntjoro, S. (2022). Analisis Kadar Logam Berat Tembaga (Cu) pada Kangkung Air (Ipomea aquatica) di Sungai Prambon Sidoarjo Analysis of Copper (Cu) Levels in Water Spinach (Ipomea aquatica) in Prambon River Sidoarjo. *LenteraBio*, 11(2010), 405–413. https://journal.unesa.ac.id/index.php/lenterabio/index405

Fitri, N., & Kurniawati, D. (2023). Pengaruh Waktu Kontak dan Kecepatan Pengadukan Terhadap Penyerapan Ion Logam Pb2+ Menggunakan Biosorben Kulit Buah Naga Merah (Hylocereus polyrhizus). *Periodic*, 12(3), 82. https://doi.org/10.24036/periodic.v12i3.119565

Frista, N., Kurniawati, D., & Dewata, I. (2024). Pengaruh Waktu Kontak dan Kecepatan Pengadukan dengan Metode Batch Terhadap Penyerapan Zat Warna Methyl Orange Pada Biji Kelengkeng Program Studi Kimia , Universitas Negeri Padang. *Jurnal Pendidikan Tambusai,* 8, 15476–15485.

Gong, X., Ismail, M. F., & Boluk, Y. (2024). Interactions between Cetyltrimethylammonium Bromide Modified Cellulose Nanocrystals and Surfaces: An Ellipsometric Study. *Surfaces*, 7(2), 428–441. https://doi.org/10.3390/surfaces7020027

Ikhsany, D., Kurniawati, D., Nasra, E., & Khair, M. (2024). Pengaruh Waktu Kontak dan Kecepatan Pengadukan terhadap Penyerapan Zat Warna Methylene Blue pada Biji Kelengkeng (Dimocarpus logan Lour) dengan Metode Batch. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 8, 15476–15485.

Jaida, H., Sabara, Z., & Yani, S. (2021). Efektifitas Kulit Buah Kakao (Theobroma Cacao L) Sebagai Antibakteri Terhadap Escherichia Coli (E.Coli) dan Biosorben Terhadap Logam Cd dalam Air Menggunakan Aktivator Asam Nitrat (HNO3). *Jurnal Geomine*, 9(2), 168–178. https://doi.org/10.33536/jg.v9i2.969

Kurniawati, D., & Lian, N. (2025). Optimizing Cadmium (Cd (II)) Removal from Aqueous Solutions Using Activated Matoa (Pometia Pinnata) Fruit Peel : Kinetics , Isotherms and Batch Adsorption Study. 8(6), 1055–1077.

Marfania, C. (2019). Imobilisasi kulit Lengkeng (euphoria longan lour) terhadap penyerapan ion logam Kadmium. *Chempublish Journal,* 4(1), 44–51. https://doi.org/10.22437/chp.v4i1.6915

Nasda, M., Kurniawati, D., & Nasra, E. (2023). Pengaruh Waktu Kontak dan Kecepatan Pengadukan Terhadap Penyerapan Zat Warna Methylene Blue Menggunakan Biosorben Kulit Matoa (Pometia pinnata). *Periodic*, 12(2), 58. https://doi.org/10.24036/periodic.v12i2.118347

Patricia, P., Padang, U. N., Mulia, M., & Padang, U. N. (2024). *CHEDS : Journal of Chemistry , Education , and Science* Pengaruh ukuran partikel dan Kecepatan Pengadukan terhadap

Penyerapan Ion Logam Cu (II) Menggunakan Biosorben Kulit Matoa (Pometia pinnata). 8(2), 173–176.

Purbaningtias, T. E., Kurniawati, P., Wiyantoko, B., Prasetyoko, D., & Suprapto, S. (2019). Pengaruh Penambahan Surfaktan Pada Modifikasi Material Alam. *Akta Kimia Indonesia,* 4(2), 118. https://doi.org/10.12962/j25493736.v4i2.5536

Rahman, A. A., Fadhil, F., Tuheteru, H., & Halijah, S. (2024). IDENTIFIKASI POTENSI LIMBAH KULIT PINANG SEBAGAI ABSORBEN LOGAM BERAT Cu (II). 5(September), 1–8.

Salsabila, B., Nasra, E., Hardeli, H., Dewata, I., & Kurniawati, D. (2023). Pengaruh pH dan Konsentrasi pada Penyerapan Ion Logam Cu(II) Menggunakan Kulit Buah Matoa (Pometia pinnata). *Periodic*, 12(2), 36. https://doi.org/10.24036/periodic.v12i2.117510