

PENURUNAN LOGAM BERAT KROMIUM (Cr) DALAM AIR MENGUNAKAN ADSORBEN AMPAS TEBU

Sahrul Ramadhan^{1*}, Puji Lestari¹, Eko Siswoyo¹

¹Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia

*Korespondensi: 21513166@uii.ac.id

Abstrak

Logam kromium (Cr) merupakan salah satu logam berat yang bersifat toksik, parsisten, dan berpotensi karsinogenik. Cr banyak dihasilkan dari aktivitas industri seperti penyamakan kulit, tekstil, dan pelapisan logam, sehingga keberadaannya dalam limbah cair menjadi perhatian serius. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efisiensi penurunan kadar Cr dalam air menggunakan metode adsorpsi berbasis ampas tebu, serta mengetahui pengaruh penambahan asam humat terhadap peningkatan efektivitas adsorpsi. Penelitian ini dilakukan secara batch di Laboratorium Kualitas Air Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia. Parameter yang divariasikan meliputi pH, waktu kontak, dan konsentrasi awal Cr, sedangkan karakterisasi adsorben dilakukan menggunakan FTIR dan SEM. Dalam penelitian ini, digunakan ampas tebu sebagai adsorben ampas tebu sebagai adsorben yang telah dikarbonisasi pada suhu 350°C dan diayak dengan ukur 50 mesh. Konsentrasi Cr dianalisis menggunakan SSA. Hasil karakterisasi menunjukkan adanya gugus hidroksil (-OH), karbonil (C=O), dan struktur aromatik pada ampas tebu, serta morfologi permukaan berpori yang mendukung proses adsorpsi. Kondisi optimum tercapai pada pH 3, waktu kontak 1440 menit, dan konsentrasi Cr 5 mg/L. Penambahan asam humat terbukti meningkatkan efisiensi adsorpsi mencapai 22,5%. Model isoterm yang sesuai adalah Langmuir dengan kapasitas maksimum adsorpsi sebesar 1,52 mg/g, sedangkan kinetika adsorpsi mengikuti model *Pseudo* orde dua dengan konstanta laju K sebesar 0,0496 g/mg·menit.

Kata kunci: Adsorpsi, Ampas tebu, Asam humat, Kromium (Cr), Logam berat

Abstract

Chromium (Cr) is a heavy metal that is toxic, persistent, and potentially carcinogenic. Cr is widely produced from industrial activities such as leather tanning, textiles, and metal plating, making its presence in liquid waste a serious concern. This study aims to investigate the efficiency of reducing Cr concentrations in water using a sugarcane bagasse-based adsorption method, as well as to determine the effect of adding humic acid on enhancing adsorption effectiveness. The study was conducted in batch mode at the Water Quality Laboratory of the Environmental Engineering Program at the University of Islam Indonesia. The parameters varied including pH, contact time, and initial Cr concentration, while the adsorbent characterization was performed using FTIR and SEM. In this study, sugarcane bagasse was used as an adsorbent that had been carbonized at 350°C and sieved to a 50-mesh size. Cr concentration was analyzed using SSA. Characterization result showed the presence of hydroxyl (-OH), carbonyl (C=O), and aromatic groups in sugarcane bagasse, as well as a porous surface morphology that supports the adsorption process. Optimal conditions were achieved at pH 3, contact time 1440 minutes, and Cr concentration 5 mg/L. The addition of humic acid was found to increase adsorption efficiency by 22,5%. The appropriate isotherm model is Langmuir with a maximum adsorption capacity of 1,52 mg/g, while the adsorption kinetics follow the pseudo second order model with rate constant K of 0,0496 g/mg·min.

Keywords: Adsorption, Bagasse, Chromium (Cr), Heavy metals, Humic acid

1. PENDAHULUAN

Air merupakan sumber daya esensial bagi kehidupan, namun kualitasnya kerap menurun akibat pencemaran, salah satunya oleh logam berat. Kromium (Cr) termasuk logam berat berbahaya yang bersifat toksik, parsisten, dan sulit terurai yang banyak digunakan dalam industri tekstil,

penyamakan kulit, dan pewarna (Yuliastri, 2010). Keberadaan Cr di perairan menimbulkan dampak kesehatan serius, mulai dari iritasi hingga kanker (Rihhadatul'Aisy, 2024).

Salah satu metode yang dinilai efektif, sederhana, dan ramah lingkungan untuk menyisihkan logam berat adalah adsorpsi (Maelan dan Wahyuningtyas, 2024), dengan pemanfaatan bahan alami sebagai adsorben. Ampas tebu, limbah padat hasil industri gula, memiliki kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin (Yusuf, 2021) dengan gugus fungsi aktif yang berpotensi mengikat ion logam. Selain mengurangi pencemaran logam berat, penggunaannya juga memberi nilai tambah pada limbah organik. Efisiensi adsorpsi dapat ditingkatkan dengan penambahan asam humat yang kaya gugus fungsional, sehingga memerlukan situs aktif dan meningkatkan retensi ion Cr pada permukaan adsorben (Siswanta dan Sudiono, 2018). Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini mengkaji potensi ampas tebu sebagai adsorben dalam menurunkan kadar logam berat Cr dalam air.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. PREPARASI ADSORBEN

Ampas tebu dicuci, dikeringkan pada suhu 110°C selama 24 jam, kemudian dihaluskan dan diayak (50 mesh). Selanjutnya, dilakukan karbonisasi pada suhu 350°C selama 1,5 jam. Uji adsorpsi dilakukan pada larutan Cr (20 mL) dengan kecepatan pengadukan 150 rpm menggunakan *orbital shaker*.

Analisis karakterisasi adsorben dilakukan menggunakan FTIR untuk menentukan gugus fungsional. Selain FTIR, juga dianalisis menggunakan SEM untuk melihat morfologi adsorben.

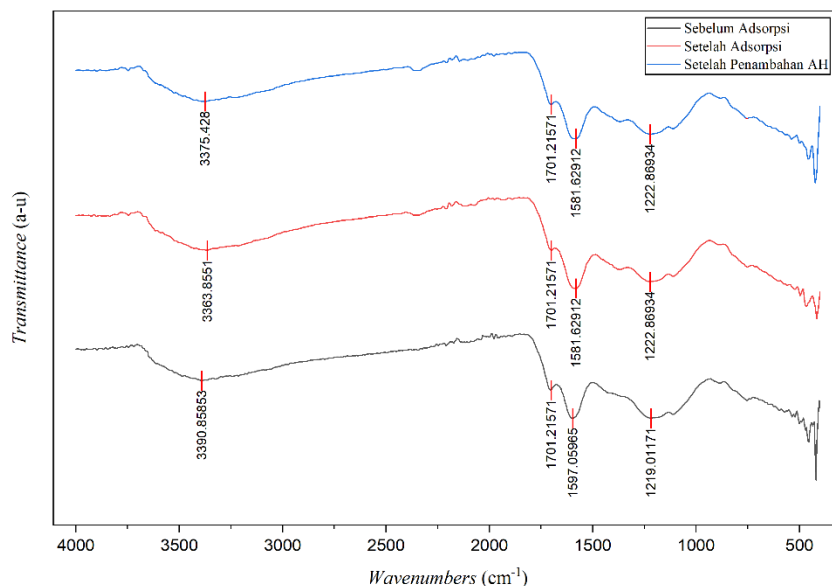
2.2. PROSES ADSORPSI

Penelitian ini mengkaji pengaruh pH, waktu kontak, dan konsentrasi awal larutan Cr terhadap kinerja adsorpsi. Variasi pH (3,5,7, dan 9) diuji pada larutan Cr 10 ppm dengan massa adsorben 50 mg, dan kondisi pH 6 dengan waktu kontak 2 jam. Selanjutnya, variasi waktu kontak selama 5 menit, 10 menit, 30 menit, 60 menit, 240 menit, dan 24 jam diuji untuk mengadsorpsi larutan Cr 10 ppm dengan massa 50 mg dan kondisi pH 6. Uji konsentrasi awal larutan Cr (5, 10, 20, 40, dan 60 ppm) dilakukan guna mengetahui kapasitas adsorpsi maksimum. Analisis konsentrasi Cr dalam air dilakukan menggunakan SSA pada Panjang gelombang 357,9 nm.

3. HASIL DAN DISKUSI

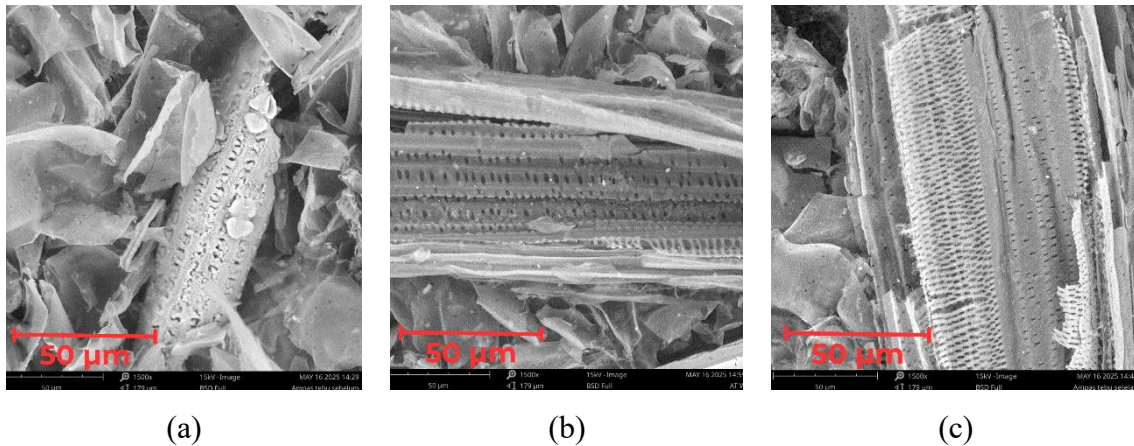
3.1. KARAKTERISASI ADSORBEN

Berdasarkan Gambar 1, spektrum FTIR adsorben ampas tebu (sebelum adsorpsi, setelah adsorpsi, dan setelah adsorpsi dengan penambahan asam humat) menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan pada posisi bilangan gelombang, namun terdapat pergeseran kecil dan perubahan intensitas puncak yang menandakan interaksi permukaan dengan ion Cr. Puncak utama pada $3390,86\text{ cm}^{-1}$ (-OH) bergeser menjadi $3363,86\text{ cm}^{-1}$ setelah adsorpsi dan $3375,43\text{ cm}^{-1}$ setelah penambahan asam humat, mengindikasikan interaksi hidrogen dengan ion Cr. Gugus karbonil (C=O) pada $1701,22\text{ cm}^{-1}$ tetap stabil di semua kondisi, sedangkan puncak $1579,06\text{--}1581,63\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan regangan C=C aromatik, dan puncak $1219,01\text{--}1222,87\text{ cm}^{-1}$ merepresentasikan regangan C-O.



Gambar 1. Spektrum FTIR Adsorben Ampas Tebu

Hasil SEM pada Gambar 2 memperlihatkan perubahan morfologi permukaan adsorben. Sebelum adsorpsi, permukaan masih menunjukkan struktur karbonisasi alami dengan distribusi pori yang tidak merata. Setelah adsorpsi, pori-pori tampak lebih terbuka, sedangkan setelah adsorpsi dengan penambahan asam humat permukaan terlihat lebih homogen dengan struktur pori yang semakin terbuka.



Gambar 2. Morfologi Permukaan Adsorben Ampas Tebu

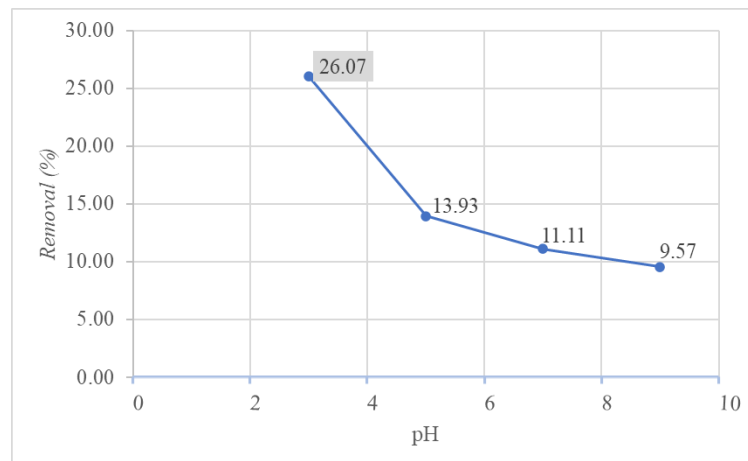
(a) Sebelum Adsorpsi

(b) Setelah Adsorpsi

(c) Setelah Adsorpsi dengan
Penambahan Asam Humat

3.2. PENGARUH pH TERHADAP ADSORPSI Cr

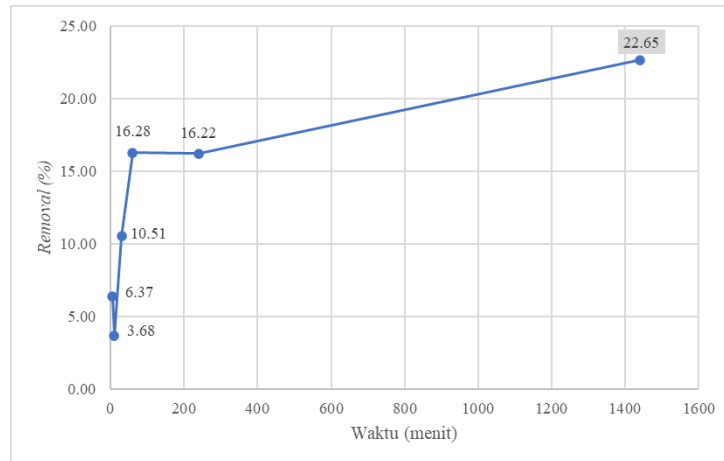
Berdasarkan Gambar 3, penjerapan Cr oleh ampas tebu paling efektif pada pH 3 dengan efisiensi 26,07%. Efisiensi menurun seiring kenaikan pH. Hal ini disebabkan oleh protonasi gugus fungsional pada kondisi asam yang meningkatkan interaksi dengan ion logam (Ischak dan Botutihe, 2021). Pada pH netral-basa, penurunan efisiensi dipengaruhi reaksi hidrolisis ion Cr yang menurunkan kestabilan (Nurafriyanti dan Syauqiyah, 2017) serta pembentukan kompleks hidroksida yang sulit teradsorpsi (Alif dan Marganingrum, 2024).



Gambar 3. Pengaruh pH terhadap Adsorpsi Cr

3.3. PENGARUH WAKTU KONTAK TERHADAP ADSORPSI Cr

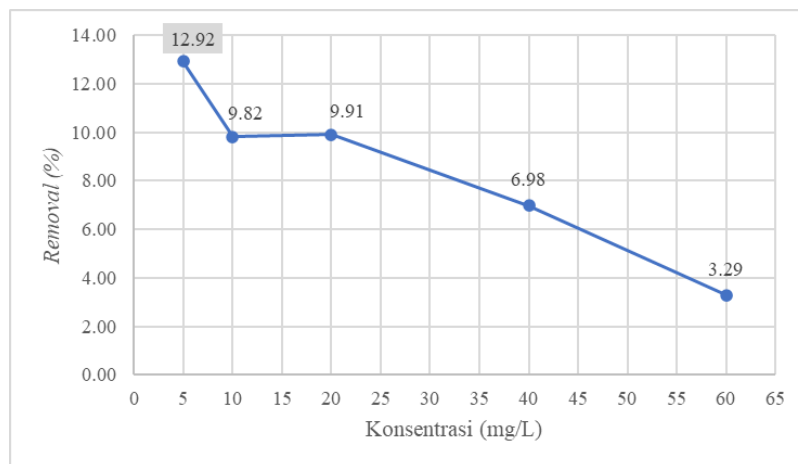
Berdasarkan Gambar 4, efisiensi meningkat seiring bertambahnya waktu kontak. Waktu kontak optimum dicapai pada 24 jam dengan efisiensi 22,65%. Peningkatan ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak, semakin besar peluang ion Cr berinteraksi dengan gugus fungsi aktif selulosa ampas tebu, sehingga kemampuan adsorpsi meningkat (Ifa, 2018).



Gambar 4. Pengaruh Waktu Kontak terhadap Adsorpsi Cr

3.4. PENGARUH KONSENTRASI AWAL Cr TERHADAP PROSES ADSORPSI

Efisiensi adsorpsi Cr oleh ampas tebu menurun seiring peningkatan konsentrasi awal larutan. Pada konsentrasi 5 mg/L, diperoleh efisiensi tertinggi 12,92%. Penurunan signifikan terjadi pada konsentrasi 40 mg/L (6,98%) dan 60 mg/L (3,29%). Hal ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi rendah, ketersediaan situs aktif masih sebanding dengan jumlah ion Cr, namun, pada konsentrasi tinggi adsorben cepat jenuh, sehingga efisiensi berkurang, bahkan berpotensi terjadi desorpsi (Da Costa, 2019).



Gambar 5. Pengaruh Konsentrasi Awal terhadap Adsorpsi Cr

3.5. ISOTERM ADSORPSI

Dengan variasi konsentrasi awal, model isoterm adsorpsi ion Cr dapat ditentukan. Model Langmuir dan Freundlich diterapkan untuk memahami proses adsorpsi ion Cr dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Model Isoterm Adsorpsi Cr

Jenis Adsorben	<i>Langmuir</i>			<i>Freundlich</i>		
	Qm	K _L	R ²	K _f	1/n	R ²
Ampas Tebu	1,52	0,047	0,957	0,138	1,88	0,771

Berdasarkan nilai R², model isoterm Langmuir lebih sesuai menggambarkan adsorpsi Cr oleh ampas tebu dengan R² = 0,9573 dan kapasitas maksimum (qm) 1,52 mg/g, yang mengindikasikan mekanisme monolayer pada permukaan homogen. Hasil ini lebih tinggi dibandingkan penelitian Fitriani dan Widiasih (2015), dengan qm 1,011 mg/g serta Hariyanti dan Razif (2019), dengan qm 0,9 mg/g. Dengan demikian, ampas tebu terbukti memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih baik terhadap Cr sekaligus menunjukkan kesesuaian dengan model Langmuir.

3.6. KINETIKA ADSORPSI

Studi kinetika dilakukan untuk memahami mekanisme dan laju proses adsorpsi. Data waktu kontak digunakan untuk menentukan model pseudo orde satu dan pseudo orde dua. Data hasil kinetika dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Model Kinetika Adsorpsi Cr

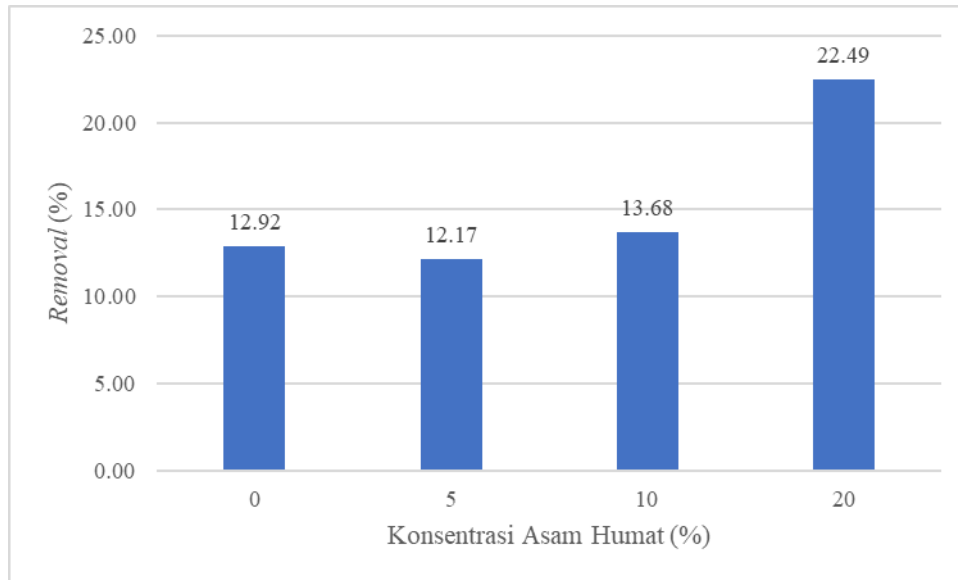
<i>Pseudo Orde Satu</i>			<i>Pseudo Orde Dua</i>		
R ²	k ₁ (menit ⁻¹)	q _e (mg/g)	R ²	k ₂ (g/mg.m)	q _e (mg/g)
0.5441	0.0038	0.866	0.983	0.0496	1.076

Berdasarkan data Tabel 2, adsorpsi ion Cr mengikuti model kinetika pseudo orde dua dengan nilai R² tertinggi, menunjukkan bahwa proses dipengaruhi oleh konsentrasi adsorbat dan karakteristik adsorben. Hasil ini konsisten dengan temuan Worku et al. (2023), yang memperoleh R² = 0,9891 dengan konstanta K₂ = 3,21 × 10⁻⁵ g/mg·menit, serta Amalia (2015), yang melaporkan R² = 0,9760 dan K₂ = 3,21 × 10⁻⁵ g/mg·menit. Hal ini menegaskan bahwa adsorpsi bersifat kemisorpsi, yang melibatkan pertukaran atau pembagian elektron antara ion logam dengan permukaan adsorben (Utami dan Setyaningtyas, 2024).

3.7. PENGARUH PENAMBAHAN ASAM HUMAT TERHADAP PROSES ADSORPSI

Berdasarkan Gambar 6, peningkatan konsentrasi asam humat terbukti meningkatkan efisiensi adsorpsi ion Cr, dari 12,17% (5%) menjadi 22,49% (20%). Hal ini menunjukkan bahwa asam humat berperan dalam memperkuat interaksi ion Cr dengan permukaan adsorben melalui

penambahan gugus fungsional aktif (Firda dan Yuniarti, 2016). Sejalan dengan Nafi'ul Husna (2020), asam humat mampu membentuk kompleks stabil dengan ion Cr sehingga mempercepat perpindahan ion ke permukaan adsorben. Hasil ini menegaskan bahwa modifikasi adsorben dengan asam humat efektif dalam meningkatkan kapasitas adsorpsi logam berat.



Gambar 6. Pengaruh Variasi Penambahan Asam Humat terhadap Adsorpsi

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa ampas tebu berpotensi sebagai adsorben efektif untuk menurunkan kadar logam berat Cr dalam air. Hasil karakterisasi FTIR dan SEM mengidentifikasi adanya gugus hidroksil (-OH), karbonil (C=O), serta morfologi berpori yang mendukung proses adsorpsi. Kondisi optimum diperoleh pada pH 3, waktu kontak 24 jam, dan konsentrasi awal 5 mg/L dengan kapasitas maksimum sebesar 1,52 mg/g sesuai model isoterm Langmuir. Kinetika adsorpsi mengikuti *Pseudo* orde dua, yang menunjukkan bahwa proses berlangsung melalui mekanisme kemisorpsi. Selain itu, penambahan asam humat terbukti meningkatkan efisiensi adsorpsi hingga 22,5%. Dengan demikian, ampas tebu dengan penambahan asam humat, berpotensi diaplikasikan sebagai adsorben ramah lingkungan untuk pengolahan air tercemar logam berat,

UNGKAPAN

Penulis menyampaikan terimakasih kepada Ibu Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D. dan Bapak Prof. Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D., IPU. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama proses penelitian hingga akhir.

DAFTAR PUSTAKA

- Alif, M.R., Hartati, E. and Marganingrum, D. (2024) 'Penyisihan krom total (Cr-T) menggunakan bentonit kalsium aktivasi kimia pada limbah cair industri tekstil', *Prosiding FTSP Series*, pp. 722–727.
- Amalia, N. (2015) *Adsorpsi Cr (III) dan Cr (VI) dalam larutan menggunakan karbon aktif dari biji trembesi (Samanea saman)*. Skripsi. FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Da Costa, M. (2019) *Studi penurunan kadar logam kromium (Cr) dalam limbah buatan elektroplating menggunakan metode presipitasi dan adsorpsi*. Doctoral dissertation. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Firda, F., Mulyani, O. and Yuniarti, A. (2016) 'Pembentukan, karakterisasi serta manfaat asam humat terhadap adsorpsi logam berat', *Soilrens*, 14(2).
- Fitriani, I.N. and Widiasih, D.A. (2015) *Uji keefektifan adsorben dari ampas tebu berbentuk effervescent untuk mereduksi ion logam krom dalam limbah cair industri batik*. Skripsi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Hariyanti, P. and Razif, M. (2019) 'Pemanfaatan ampas tebu (*Saccharum officinarum* L.) sebagai adsorben untuk penurunan logam berat kromium heksavalen (Cr⁶⁺) pada limbah buatan dengan menggunakan metode batch', *Prosiding Seminar Teknologi Perencanaan, Perancangan, Lingkungan dan Infrastruktur*, 1(1), pp. 420–425.
- Husna, N. (2020) 'Studi adsorpsi ion Cr(VI) menggunakan asam humat dari tanah gambut dengan bantuan radiasi sinar UV'.
- Ifa, L. (2018) 'Pemanfaatan sabut kelapa sebagai bioadsorben logam berat Pb (II) pada air limbah industri', *Journal of Chemical Process Engineering (JCPE)*, 5(1), pp. 54–60.
- Maelan, N.M., Dewi, N.M., Andini, S., Perdani, M.S. and Wahyuningtyas, A. (2024) 'Adsorpsi logam Cu (II) dengan hidrogel CMC/pektin komposisi 2:1 menggunakan metode freeze-thaw', *Kovalen: Jurnal Riset Kimia*, 10(2), pp. 126–134.
- Nurafriyanti, N., Prihatini, N.S. and Syauqiah, I. (2017) 'Pengaruh variasi pH dan berat adsorben dalam pengurangan konsentrasi Cr total pada limbah artifisial menggunakan adsorben ampas daun teh', *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, 3(1).
- Rihhadatul'Aisy, D.B. (2024) 'Efektivitas sampah organik sebagai adsorben logam kromium (Cr) dalam limbah cair industri tekstil: sistematika revidu', *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan (Journal of Environmental Sustainability Management)*, pp. 143–161.

- Siswanta, D. and Sudiono, S. (2018) *Dekontaminasi ion logam dengan biosorben*. Yogyakarta: UGM Press.
- Utami, M.R., Riyani, K. and Setyaningtyas, T. (2024) 'Pengaruh perlit sebagai adsorben pada adsorpsi zat warna metilen biru', *Chimica et Natura Acta*, 12(2), pp. 91–97.
- Worku, Z., Tibebu, S., Nure, J.F., Moyo, W., Ambaye, A.D. and Nkambule, T.T. (2023) 'Adsorption of chromium from electroplating wastewater using activated carbon developed from water hyacinth', *BMC Chemistry*, 17(1), p. 85.
- Yuliastri, I.R. (2010) *Penggunaan serbuk biji kelor (Moringa oleifera) sebagai koagulan dan flokulan dalam perbaikan kualitas air limbah dan air tanah*.
- Yusuf, M.S. (2021) *Pemanfaatan ampas tebu (Saccharum officinarum) sebagai biosorben dan aplikasinya terhadap penjerapan ion Cr (VI)*. Doctoral dissertation. Universitas Hasanuddin.