Maliki Interdisciplinary Journal (MIJ) eISSN: 3024-8140
Volume 4, Issue November, 2026 pp. 239-245 http://urj.uin-malang.ac.id/index.php/mij/index

Pemanfaatan biomassa sebagai adsorben ramah lingkungan dalam pengolahan air tercemar

Najwa Salsabilla
Program Studi Kimia, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
e-mail: najwasalsabilla38@gmail.com

Kata Kunci:
Biomassa; adsorpsi; logam berat; limbah cair; pengolahan air

Keywords:
Biomass; adsorption; heavy metals; wastewater; water treatment

A B S T R A K

Pertumbuhan sektor industri memicu peningkatan pembuangan limbah cair yang mengandung logam berat beracun serta tingginya kadar COD dan TDS ke ekosistem perairan. Penggunaan biomassa lignoselulosa dan kapang Aspergillus niger hadir sebagai solusi penyerap alami yang terjangkau serta ramah lingkungan. Keberadaan gugus aktif (-OH, -COOH, --NH_2) dan rongga pori hasil olahan fisikokimia menjadi pendorong utama dalam mengikat zat pencemar. Logam berbahaya seperti Cu, Cd, Cr, Fe, Pb, dan Hg berhasil disisihkan melalui pertukaran ion dan pembentukan ikatan kimia, sementara parameter COD dan TDs direduksi akibat terperangkapnya molekul polutan di dalam matriks bahan. Pengontrolan variabel operasional seperti tingkat keasaman, waktu perendaman, dan jumlah dosis penyerap terbukti menentukan kelancaran proses pengikatan hingga mencapai kondisi setimbang. Secara keseluruhan, pemanfaatan limbah organik ini menawarkan solusi pengolahan air yang nyata, efisien, serta berdaya guna tinggi bagi kelestarian lingkungan.

A B S T R A C T

Industrial growth has led to increased discharges of liquid waste containing toxic heavy metals, as well as high levels of COD and TDS, into aquatic ecosystems. The use of lignocellulosic biomass and the fungus Aspergillus niger offers an affordable and eco-friendly natural adsorption solution. Active functional groups (-OH, -COOH, -NH_2) and pore cavities generated through physicochemical processing serve as the primary drivers for binding pollutants. Hazardous metals such as Cu, Cd, Cr, Fe, Pb, and Hg are effectively removed through ion exchange and chemical bond formation, while COD and TDS levels are reduced as pollutant molecules become trapped within the material matrix. Controlling operational variables such as pH, contact time, and adsorbent dosage is crucial for ensuring the binding process proceeds efficiently until equilibrium is reached. Overall, utilizing this organic waste provides a practical, efficient, and highly effective water treatment solution that supports environmental sustainability.

Pendahuluan

Air merupakan kebutuhan dasar yang tidak dapat dipisahkan dari kehidupan manusia, baik untuk kebutuhan sehari-hari, pertanian, ataupun aktivitas industi. Namun, seiring pesatnya pertumbuhan sektor industri di Indonesia, kualitas air di berbagai daerah mengalami penurunan yang cukup signifikan. Sebagian besar industri, khususnya di sektor tekstil dan elektroplating masih banyak yang membuang limbah cairnya secara langsung ke saluran umum maupun sungai tanpa melalui proses pengolahan yang memadai. Limbah tersebut umumnya mengandung logam berat

This is an open access article under the CC BY-NC-SA license.
Copyright © 2023 by Author. Published by Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

seperti tembaga, kadmium, dan kromium yang bersifat toksik serta sulit terurai secara alami. Apabila konsentrasinya melebihi standar batas aman, maka keberadaan logam berat tersebut dapat menimbulkan gangguan kesehatan pada manusia sekaligus merusak ekosistem perairan yang menjadi sumber kehidupan bagi masyarakat di sekitarnya (Agustien, et al., 2014).

Adanya permasalahan tersebut, dapat dihadapi dengan berbagai metode pengolahan air limbah yang telah dikembangkan salah satunya melalui proses adsorpsi yang dinilai relatif efektif dan efisien dari segi biaya. Salah satu material yang berpotensi dimanfaatkan sebagai adsorben adalah limbah biomassa, mengingat ketersediaannya yang melimpah dan harganya yang terjangkau. Selain itu, pemanfaatan limbah biomassa sebagai adsorben terbukti mampu menurunkan parameter pencemar seperti kebutuhan oksigen kimia (COD) dan total padatan terlarut (TDS) pada air limbah. Dengan demikian, pendekatan ini tidak hanya berfungsi sebagai solusi pengolahan air tercemar, tetapi juga sebagai upaya pemanfaatan limbah yang selama ini kurang mendapat perhatian (Yanti Lisha et al., 2024).

Salah satu jenis biomassa yang banyak dikaji sebagai adsorben adalah ampas tebu yang merupakan hasil samping dari industri pengolahan gula. Setelah melalui proses karbonasi ampas tebu memiliki struktur permukaan berpori serta gugus fungsi aktif seperti hidroksil dan karbonil yang berperan penting dalam mengikat ion logam. Berdasarkan hasil penelitian, adsorben ini terbukti efektif dalam menurunkan kadar logam kromium pada air, dan efisiensinya dapat ditingkatkan lebih lanjut melalui penambahan asam humat pada kondisi pH dan waktu tertentu (Ramadhan et al., 2026).

Selain terhadap logam kromium, ampas tebu juga diuji kemampuannya dalam menyerap logam besi serta menurunkan tingkat kesadahan air sumur. Hasil uji menunjukkan bahwa peningkatan massa adsorben yang digunakan berbanding lurus dengan peningkatan efisiensi penyerapan, baik terhadap logam besi maupun ion penyebab kesadahan. Hasil tersebut memperkuat bukti bahwa ampas tebu memiliki potensi sebagai adsorben multifungsi yang dapat diterapkan untuk berbagai jenis pencemar dalam air, dan tidak terbatas pada suatu parameter tertentu (Annisa et al., 2023).

Selain biomassa yang bersumber dari limbah pertanian, biomassa yang berasal dari mikroorganisme juga menunjukkan potensi yang tidak kalah menjanjikan. Kapang *Aspergillus niger* yang diketahui mampu menyerap logam timbal (Pb) melalui proses biosorpsi dengan memanfaatkan gugus fungsional aktif pada dinding selnya. Pemanfaatan biomassa mikroba ini membuka peluang pengembangan adsorben alternatif yang relatif mudah dibudidayakan dan tidak bergantung pada musim panen seperti limbah pertanian (Hasri, 2015).

Berdasarkan uraian ini, dapat disimpulkan bahwa biomassa baik yang bersumber dari limbah pertanian maupun mikroorganisme, memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai adsorben ramah lingkungan dalam pengolahan air tercemar. Pemanfaatannya menunjukkan efektivitas yang cukup baik, sekaligus mendukung upaya pengurangan limbah organik dan pelestarian lingkungan. Oleh karena itu, dengan menggunakan metode studi literatur, artikel ini bertujuan untuk mengkaji lebih dalam

terkait potensi biomassa sebagai adsorben ramah lingkungan dalam pengolahan air tercemar meliputi karakteristik biomassa, mekanisme adsorpsi, serta peluang penerapannya sebagai solusi pengolahan air yang efektif, ekonomis, dan berkelanjutan (Yulianti et al., 2020).

Pembahasan

Karakteristik Molekuler dan Mikrostruktur Biomassa sebagai Adsorben

Efektivitas biomassa sebagai material adsorben dalam pengolahan air tercemar dipengaruhi oleh karakteristik kimia dan struktur penyusunnya. Limbah pertanian berbasis lignoselulosa pada umumnya tersusun atas tiga komponen utama yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Ketiga komponen tersebut membentuk matriks yang kompleks dan mengandung berbagai gugus fungsi pada permukaannya. Gugus hidroksil (-OH), karboksil (-COOH), dan karbonil (C=O) merupakan beberapa gugus fungsi yang dapat berinteraksi dengan zat pencemar dalam air. Keberadaan gugus-gugus tersebut memberikan sifat aktif pada permukaan biomassa sehingga memungkinkan terjadinya interaksi dengan berbagai spesies pencemar, terutama ion logam berat yang terdapat dalam perairan tercemar (Agustien, et al., 2014).

Selain komposisi kimia, karakteristik pori dan luas permukaan biomassa juga berperan dalam menentukan efektivitas proses adsorpsi. Biomassa lignoselulosa seperti batang jagung dan ampas tebu, secara alami memiliki rongga berukuran kecil dengan struktur yang relatif rapat. Kondisi tersebut dipengaruhi oleh komponen penyusunnya serta adanya ikatan hidrogen yang berperan dalam mempertahankan struktur matriks biomassa. Struktur yang rapat dapat membatasi pergerakan zat pencemar menuju gugus fungsi yang terdapat pada permukaan maupun bagian internal biomassa. Pengolahan awal secara fisik maupun kimia dapat dilakukan untuk memperbaiki struktur tersebut, antara lain melalui pengurangan sebagian lignin dan pembukaan rongga pada matriks biomassa. Perubahan tersebut dapat memperluas akses zat pencemar terhadap permukaan dan bagian internal biomassa selama proses adsorpsi berlangsung (Yulianti et al., 2019).

Karakteristik alami biomassa lignoselulosa dapat memengaruhi keterjangkauan gugus fungsi aktif selama proses adsorpsi. Keberadaan lignin dan senyawa pengotor tertentu pada matriks biomassa dapat menghambat kontak antara permukaan adsorben dan zat pencemar. Kondisi tersebut menyebabkan sebagian situs aktif belum dapat dimanfaatkan secara optimal, sehingga diperlukan pengolahan lebih lanjut untuk memperbaiki karakteristik permukaan biomassa. Salah satu metode yang dapat diterapkan adanya karbonisasi ampas tebu, yaitu proses yang mengubah struktur biomasasa mejadi material kaya karbon dengan porositas yang lebih berkembang. Perubahan tersebut dapat meningkatkan luas permukaan dan menyediakan lebih banyak ruang yang memungkinkan terjadinya kontak antara adsorben dan zat pencemar (Ramadhan et al., 2026).

Rekayasa Modifikasi Biomassa dalam Proses Adsorpsi

Peningkatan kemampuan adsorpsi biomassa dapat dilakukan melalui modifikasi terhadap karakteristik kimia, terutama pada gugus fungsi yang terdapat di permukaan. Modifikasi tersebut bertujuan meningkatkan jumlah dan ketersediaan gugus aktif yang dapat berinteraksi dengan zat pencemar. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan adalah penambahan gugus pengikat melalui perlakuan dengan senyawa organik, seperti asam sitrat dan asam humat. Perlakuan tersebut dapat meningkatkan jumlah gugus karboksil pada permukaan biomassa. Bertambahnya gugus fungsi aktif memberikan lebih banyak tempat interaksi bagi ion logam dalam larutan sehingga proses pengikatan zat pencemar pada biomassa dapat berlangsung lebih efektif (Yulianti et al., 2019).

Perubahan karakteristik kimia permukaan biomassa juga berkaitan dengan kondisi larutan selama proses adsorpsi, terutama tingkat keasaman atau pH. Gugus fungsi yang terdapat pada permukaan biomassa dapat mengalami perubahan bentuk dan muatan akibat perubahan pH larutan. Pada kondisi tertentu, pelepasan ion hidrogen dari gugus fungsi dapat meningkatkan muatan negatif pada permukaan biomassa. Kondisi terserbut dapat memperkuat interaksi dengan ion logam bermuatan positif seperti kromium(Cr), dan besi (Fe). Namun, pH tetap perlu dikendalikan karena kondisi larutan yang terlalu asam dapat meningkatkan persaingan antara ion hidrogen dan ion logam dalam menempati situs aktif adsorben (Annisa et al., 2023).

Selain meningkatkan jumlah gugus fungsi aktif, modifikasi biomassa juga dapat diarahkan untuk mempertahankan kestabilan material selama digunakan dalam proses adsorpsi. Pelapisan biomassa atau pembentukan bahan gabungan dengan material pendukung dapat mengurangi pelepasan komponen organik biomassa ke dalam larutan. Penggunaan bahan pengikat juga dapat membantu mempertahankan bentuk dan struktur biomassa selama kontak dengan air sehingga material adsorben lebih tahan terhadap perubahan struktur selama proses berlangsung. Stabilitas tersebut diperlukan agar gugus fungsi aktif tetap tersedia dan mampu berinteraksi dengan ion logam selama proses adsorpsi (Kurniawan et al., 2016).

Interaksi Biomassa dengan Zat Pencemar dalam Proses Adsorpsi

Proses adsorpsi berlangsung melalui interaksi antara biomassa sebagai adsorben dan zat pencemar yang terdapat dalam air. Ion logam berat seperti tembaga (Cu), kadmium (Cd), kromium (Cr), dan besi (Fe) dapat tertahan pada permukaan maupun bagian berpori pada biomassa melalui pertukaran ion dan gaya tarik elektrostatik. Interaksi tersebut menyebabkan ion logam berpindah dari larutan ke permukaan adsorben dan selanjutnya tertahan pada bagian biomassa yang meiliki kemampuan menikat pencemar (Agustiani et al., 2021).

Proses adsorpsi juga dapat berperan dalam menurunkan parameter pencemar lain, seperti kebutuhan oksigen kimia (COD) dan jumlah padatan terlarut (TDS), senyawa organic yang berkontribusi terhadap nilai COD dapat tertahan pada permukaan dan rongga biomassa melalui interaksi fisik. Sementara itu, sebagian komponen yang berkontribusi terhadap TDS dapat tertahan pada ruang pori adsorben. Perbedaan sifat

pencemar menyebabkan biomassa dapat berinteraksi dengan masing-masing komponen melalui mekanisme yang berbeda (Yanti Lisha et al., 2024).

Efektivitas proses adsorpsi juga berkaitan dengan jumlah biomassa yang digunakan dalam pengolahan. Penambahan dosis biomassa meningkatkan jumlah permukan yang tersedia untuk berinteraksi dengan zat pencemar sehingga dapat meningkatkan penyisihan ion besi dan komponen penyebab kesadahan dalam air. Namun, peningkatan dosis tidak selalu menghasilkan kenaikan penyisihan yang sebanding karena sebagian besar situs aktif dapat mengalami kejenuhan. Oleh karena itu, jumlah biomassa perlu disesuaikan dengan konsentrasi pencemar dan kondisi proses agar penggunaannya tetap efektif (Annisa et al., 2023).

Potensi Biomassa Mikroba sebagai Adsorben

Biomassa yang dapat digunakan sebagai adsorben tidak terbatas pada limbah pertanian, tetapi juga dapat berasal dari mikroorganisme. Salah satu biomassa yang berpotensi digunakan adalah *Aspergillus niger* seperti kitin, glucan, manan, dan protein. Komponen tersebut mengandung gugus fungsi amina, amida, dan fosfat yang dapat berinteraksi dengan ion logam berat. Keberadaan gugus fungsi tersebut memungkinkan biomassa *Aspergillus niger* mengikat ion logam termasuk timbal (Pb) melalui interaksi pada permukaan dinding sel (Hasri, 2015).

Penggunaan biomassa *Aspergillus niger* juga memiliki keunggulan dari sisi ketersediaan bahan. Biomassa mikroorganisme dapat dikembangkan melalui proses pertumbuhan yang terkontrol sehingga produksinya tidak sepenuhnya bergantung pada musim atau kondisi geografis seperti biomassa pertanian. Limbah dari industri pangan dapat dimanfaatkan sebagai sumber nutrisi dalam proses pertumbuhan mikroorganisme. Pengendalian kondisi pertumbuhan juga memungkinkan biomassa yang dihasilkan memiliki karakteristik yang lebih seragam sehingga perbedaan kemampuan adsorpsi antarhasil produksi dapat dikurangi (Hasri, 2015).

Kemampuan tersebut memungkinkan biomassa mikroba digunakan untuk menangani air limbah yang mengandung logam berat tertentu seperti timbal (Pb) dan merkuri (Hg). Biomassa mikroba dapat ditempatkan sebagai salah satu tahap pengolahan setelah penggunaan biomassa pertanian pada tahap awal. Penggunaan kedua jenis biomassa tersebut memungkinkan pemilihan adsorben disesuaikan dengan karakteristik pencemar dan kondisi air limbah yang diolah (Yulianti et al., 2020).

Penerapan Biomassa dalam Pengolahan Air

Pemanfaatan biomassa sebagai adsorben dalam pengolahan air dapat diterapkan dengan memanfaatkan limbah pertanian dan biomassa mikroba sebagai bahan yang memiliki nilai guna. Ampas tebu, batang jagung, dan biomassa mikroba dapat digunakan sebagai material adsorben untuk mengurangi kandungan zat pencemar dalam air. Pemanfaatan bahan tersebut juga sejalan dengan konsep ekonomi sirkular karena limbah hasil samping dapat diolah kembali menjadi material yang mendukung pengolahan lingkungan. Dibandingkan dengan beberapa metode pengolahan konvensional, penggunaan biomassa memiliki potensi untuk menekan kebutuhan bahan dan energi dalam proses pengolahan tertentu (Yanti Lisha et al., 2024).

Penerapan biomassa dalam pengolahan air sumur tercemar maupun limbah industri tekstil dan pelapisan logam memerlukan pengaturan kondisi operasi yang sesuai. Parameter seperti pH, waktu kontak, dan dosis biomassa perlu diperhatikan karena dapat memengaruhi efektivitas proses adsorpsi. Nilai pH memengaruhi interaksi antara permukaan adsorben dan zat pencemar, sedangkan waktu kontak menentukan lama interaksi hingga proses mendekati kesetimbangan. Dosis biomassa juga perlu disesuaikan dengan volume dan konsentrasi pencemar agar penggunaan adsorben tetap efektif. Pengaturan parameter tersebut dapat mendukung penyisihan kesadahan dan kadar besi dalam air hingga memenuhi persyaratan mutu yang ditetapkan (Nunung Rahayu & Adhitiyawarman1, 2014).

Secara keseluruhan, pemanfaatan biomassa sebagai adsorben menunjukkan potensi dalam mendukung pengolahan air tercemar mmelalui pengurangan berbagai jenis zat pencemar, terutama ion logam berat serta parameter kualitas air seperti COD dan TDS. Potensi tersebut didukung oleh ketersediaan biomassa dari limbah pertanian dan mikroorga nisme serta kemampuan material untuk dimodifikasi sesuai karakteristik pencemar yang ditangani. Penerapannya tetap memerlukan penyesuaian terhadap jenis biomassa, kondisi operasi, dan sistem pengolahan agar proses adsorpsi dapar berlangsung secara efektif dan berkelanjutan (Yulianti et al., 2020).

Kesimpulan dan Saran

Pemanfaatan biomassa lignoselulosa dan mikroorganisme (Aspergillus niger) terbukti sangat efektif sebagai biosorben ramah lingkungan untuk menyisihkan logam berat (Cu, Cd, Cr, Fe, Pb, Hg) serta menurunkan parameter COD dan TDS. Efektivitas penyerapan ini didukung oleh kelimpahan gugus fungsi aktif dan struktur berpori hasil modifikasi. Selain itu, optimalisasi variabel seperti pH, waktu kontak, dan dosis adsorben turut memaksimalkan interaksi fisikokimia antara biosorben dan polutan. Penerapan strategi ini tidak hanya memulihkan kualitas air hingga memenuhi baku mutu, tetapi juga mendukung prinsip ekonomi sirkular melalui pemanfaatan limbah organik.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk menguji berbagai jenis biomassa secara eksperimental guna menentukan kondisi optimum adsorpsi, seperti pH, massa adsorben, waktu kontak, dan ukuran partikel. Selain itu, perlu dilakukan pengembangan pada skala yang lebih besar dengan mempertimbangkan efektivitas, biaya, keamanan, serta pengelolaan adsorben setelah digunakan. Kerja sama antara peneliti, industri, pemerintah, dan masyarakat juga diperlukan agar pemanfaatan biomassa sebagai adsorben dapat diterapkan secara efektif dan berkelanjutan.

Daftar Pustaka

Agustiani, T., Saefumillah, A., & Ambarsari, D. H. (2021). Studi Pemanfaatan Limbah Biomassa sebagai Raw Material Adsorben SiC dalam Penurunan Konsentrasi Amonia sebagai Parameter Bau dalam Air Limbah. Jurnal Teknologi Lingkungan, 22(2).

Agustien, R. R., Indrayanti, S. D., & Hastuti, E. (2014). Pemanfaatan Adsorben Nata De Coco untuk Pengolahan Air Tercemar Logam Berat Cu, Cd, dan Cr Skala Laboratorium. Jurnal Permukiman, 9(3), 129.

Annisa, N., Muhammad, Masrullita, Zulnazri, & Dewi, R. (2023). Pemanfaatan Limbah Ampas Tebu Sebagai Adsorben Penyerapan Logam dan Kesadahan Pada Air Sumur. Chemical Engineering Journal Storage, 3(1).

Hasri. (2015). Studi Adsorpsi Logam Pb(II) Menggunakan Adsorben biomassa Aspergillus niger Hasil Pemerangkapan. Jurnal Sainsmat, 4(2).

Kurniawan, R., Royana, I., Yulianti, E., & Mahmudah, R. (2016). Pemanfaatan Biosorben Batang Jagung Teraktivasi Asam Nitrat dan Asam Sulfat untuk Penurunan Angka Peroksida – Asam Lemak Bebas Minyak Goreng Bekas. ALCHEMY: Journal of Chemistry, 5(1). https://repository.uin-malang.ac.id/5040/

Nunung Rahayu, A., & Adhitiyawarman1. (2014). Pemanfaatan Tongkol Jagung Sebagai Adsorben Besi Pada Air Tanah. Jurnal Kimia Khatulistiwa, 3(3).

Ramadhan, S., Lestari, P., & Siswoyo, E. (2026). Penurunan Logam Berat Kromium (Cr) Dalam Air Menggunakan Adsorben Ampas Tebu. Jurnal Sains Dan Teknologi Lingkungan, 18(1).

Yanti Lisha, S., Mariza Syahyuda, N., & Putri Erdelia, G. (2024). Pemanfaatan Tongkol Jagung Sebagai Adsorben Dalam Penurunan COD dan TDS Air Limbah Tambak Udang. Jurnal Sains Dan Teknologi: Jurnal Keilmuan Dan Aplikasi Teknologi Industri, 24(1).

Yulianti, E., Mahmudah, R., Khalifah, S. N., Prasetyo, A., Irviyanti, A. S., Romadhoni, A. F., & Yudisputra, G. P. (2020). Modification of corn stalk using citric acid as biosorbent for methylene blue and malachite green. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 456(1). https://repository.uin-malang.ac.id/7390/

Yulianti, E., Mahmudah, R., Ma'rifah, A., & Azmiyani, U. (2019). Adsorpsi Logam Ni dan Cu pada Limbah Cair Laboratorium Kimia menggunakan Biosorben Batang Jagung Termodifikasi Asam Sitrat. Alchemy: Journal Of Chemistry, 7(1). https://repository.uin-malang.ac.id/5030