Pemanfaatan Biochar Sekam Padi sebagai Agen Reduksi Kandungan Merkuri (Hg) pada Air Lindi

Adinda Dhayu Anggraini[1)*], Heri Mulyanti[1)], Nindy Callista Elvania[1)]
[1)] Program Studi Ilmu Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Bojonegoro, Bojonegoro
*Email: adindadhayu08@gmail.com

Abstrak

Air lindi yang dihasilkan dari proses dekomposisi sampah di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) berpotensi mengandung logam berat berbahaya, salah satunya merkuri (Hg), yang dapat mencemari lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efisiensi penurunan kadar merkuri (Hg) dalam air lindi menggunakan biochar sekam padi teraktivasi serta menentukan waktu kontak yang paling efisien. Penelitian dilakukan secara eksperimental menggunakan metode adsorpsi batch dengan variasi dosis biochar sebesar 15 g dan 30 g, serta variasi waktu kontak 120 menit dan 180 menit pada suhu ruang. Konsentrasi Hg sebelum dan sesudah perlakuan dianalisis menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh perlakuan mampu menurunkan kadar Hg dalam air lindi. Efisiensi penurunan tertinggi sebesar 48,65% diperoleh pada dosis biochar 15 g dengan waktu kontak 120 menit. Seluruh hasil pengolahan menunjukkan kadar Hg akhir berada di bawah baku mutu air lindi berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 59 Tahun 2016. Biochar sekam padi teraktivasi berpotensi digunakan sebagai adsorben ramah lingkungan dan berbasis limbah lokal untuk pengolahan air lindi yang terkontaminasi merkuri.

Kata kunci: *adsorpsi, air lindi, biochar, efisiensi penurunan, merkuri*

Abstract

Leachate generated from waste decomposition processes at landfill sites potentially contains hazardous heavy metals, including mercury (Hg), which may pose environmental risks if not properly treated. This study aimed to evaluate the removal efficiency of mercury (Hg) from leachate using activated rice husk biochar and to determine the most efficient contact time. The research was conducted through laboratory-scale batch adsorption experiments with biochar dosages of 15 g and 30 g and contact times of 120 minutes and 180 minutes at room temperature. Mercury concentrations before and after treatment were analyzed using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). The results showed that all treatments resulted in a reduction of Hg concentration in leachate. The highest removal efficiency, reaching 48.65%, was achieved at a biochar dosage of 15 g with a contact time of 120 minutes. All treated samples met the mercury quality standard for leachate as stipulated in the Regulation of the Ministry of Environment and Forestry of the Republic of Indonesia Number 59 of 2016. These findings indicate that activated rice husk biochar has potential as an environmentally friendly and locally available adsorbent for mercury-contaminated leachate treatment.

Keywords: *adsorption, biochar, leachate, mercury, removal efficiency*

1. PENDAHULUAN

Sampah merupakan salah satu masalah lingkungan yang hingga saat ini belum teratasi secara optimal, khususnya di negara-negara berkembang. Ketidakseimbangan antara kemampuan pengelolaan dan jumlah sampah yang dihasilkan menyebabkan terjadinya penumpukan sampah (Nguyen *et al*., 2023). Sampah yang dihasilkan umumnya dikumpulkan

di Tempat Penampungan Sementara (TPS), kemudian diangkut ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA), untuk dilakukan proses pengolahan atau penimbunan. Sampah yang ditimbun akan mengalami proses dekomposisi yang menyebabkan perubahan fisik, kimia, dan biologis. Salah satu hasil dari proses dekomposisi sampah bersama air hujan adalah air lindi (Sari dan Afdal, 2017).

Lindi merupakan cairan yang terbentuk nakibat masuknya air dari luar ke dalam timbunan sampah, yang kemudian melarutkan berbagai senyawa terlarut, termasuk bahan organik yang dihasilkan dari proses penguraian secara biologis. Keberadaan air lindi diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016 tentang Baku Mutu Lindi bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah. Air lindi diketahui mengandung logam bahan organik, anorganik, mikroorganisme, serta konsentrasi logam berat yang relatif tinggi (Ali, 2011). Limbah cair yang mengandung logam berat bersifat berbahaya bagi lingkungan, karena memiliki kemampuan terakumulasi sehingga berpotenis menimbulkan pencemaran jangka panjang (Tony *et al*., 2021).

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menurunkan konsentrasi logam berat dalam air lindi adalah proses adsorpsi menggunakan biochar. Biochar merupakan arang hasil proses pirolisis, yaitu pemanasan bahan organik pada suhu yang tinggi dengan sedikit atau bahkan tanpa oksigen (Subarkhah & Titah, 2023). Biochar memiliki stabilitas yang lebih baik terhadap proses pembusukan dan kemampuan menyerap ion yang lebih baik dibandingkan bahan organik lainnya. Hal ini karena biochar memiliki luas permukaan yang lebih besar, sifat permukaan negatif, dan struktur yang padat (Hasnelly *et al*., 2018). Mekanisme penyerapan ini bisa dibagi menjadi dua jenis, yaitu penyerapan secara fisika dan penyerapan secara kimia (Bath *et al*., 2012).

Potensi biochar sangat dipengaruhi oleh ketersediaan bahan baku dan karakteristik biomassa yang digunakan. Biochar dapat dihasilkan dari bahan yang kaya akan lignin dan selulosa (Nguyen *et al*., 2022). Sekam padi merupakan limbah pertanian yang melimpah di Indonesia dan memiliki potensi tinggi sebagai bahan baku biochar. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa biochar sekam padi efektif dalam menyerap logam berat melalui mekanisme pertukaran ion serta dukungan luas permukaan yang besar (Jagadeesh dan Sundaram, 2023). Namun, sebagian besar penelitian terdahulu masih dilakukan pada larutan sintetis atau kondisi laboratorium terkontrol, sehingga belum sepenuhnya merepresentasikan

karakteristik air lindi nyata yang memiliki matriks kompleks dan beragam ion pengganggu. Oleh karena itu, kajian mengenai pemanfaatan biochar sekam padi teraktivasi untuk menurunkan kandungan merkuri (Hg) pada air lindi aktual masih terbatas (Ali, 2011; Hasnelly *et al*., 2018; Subarkhah dan Titah, 2023). Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi penurunan kadar merkuri (Hg) pada air lindi menggunakan biochar sekam padi teraktivasi, mengevaluasi pengaruh waktu kontak, serta mengevaluasi kesesuaian hasil pengolahan dengan baku mutu air lindi berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 59 Tahun 2016.

2. BAHAN DAN METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental laboratorium dengan metode kuantitatif untuk mengevaluasi efektivitas biochar sekam padi teraktivasi dalam mereduksi kandungan merkuri (Hg) pada air lindi. Sampel air lindi diperoleh dari Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Banjarsari, Kecamatan Trucuk, Kabupaten Bojonegoro, yang dipilih karena merupakan TPA aktif dengan potensi pencemaran logam berat sehingga representatif sebagai sumber sampel penelitian. Setiap perlakuan dilakukan sebanyak satu kali ulangan pada kondisi operasional yang sama untuk setiap variasi dosis biochar dan waktu kontak, dengan tujuan memperoleh gambaran awal kinerja biochar dalam proses reduksi merkuri. Metode penelitian disusun secara sistematis untuk menjelaskan bahan, alat, serta tahapan pelaksanaan penelitian di laboratorium.

2.1 Alat dan bahan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah biochar sekam padi teraktivasi komersial yang berfungsi sebagai adsorben serta air lindi sebagai sampel uji. Biochar diperoleh dalam kondisi siap pakai dari pemasok lokal, sehingga tidak dilakukan proses pembuatan maupun aktivasi ulang, baik secara kimia maupun fisika, di laboratorium. Informasi mengenai metode aktivasi, jenis dan konsentrasi aktivator, serta rasio bahan terhadap aktivator mengacu pada spesifikasi produk dari produsen dan tidak menjadi variabel yang dikendalikan dalam penelitian ini. Oleh karena itu, penelitian difokuskan pada evaluasi kinerja adsorpsi biochar terhadap merkuri (Hg) pada kondisi operasional yang seragam. Selain itu, aquades digunakan untuk mencuci alat. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi magnetic stirrer untuk pengadukan, ayakan berukuran 100 mesh untuk membuat ukuran partikel biochar sama, timbangan analitik untuk mengukur berat biochar, gelas ukur dan beaker glass sebagai wadah

sampel, kertas saring untuk memisahkan bahan, serta botol plastik yang sudah disterilkan untuk menyimpan sampel. Analisis kadar Hg dilakukan di laboratorium terakreditasi dengan menggunakan alat *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS).

2.2 Metode penelitian

Penelitian ini menggunakan metode adsorpsi secara batch dengan variasi dosis biochar sekam padi teraktivasi dan waktu kontak. Kombinasi perlakuan yang digunakan dalam penelitian disajikan pada Tabel 1 untuk mempermudah analisis pengaruh dosis dan waktu kontak terhadap efisiensi penurunan kadar merkuri (Hg).

Tabel 1. Kombinasi perlakuan adsorpsi biochar sekam padi

Kode Sampel	Dosis Biochar (g)	Waktu Kontak (menit) mg/L	Keterangan
K	-	-	Kontrol
T1	15	120	Perlakuan adsorpsi
T2	15	180	Perlakuan adsorpsi
T3	30	180	Perlakuan adsorpsi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil penelitian mengenai penurunan kadar merkuri (Hg) pada air lindi menggunakan biochar sekam padi teraktivasi serta pembahasannya. Pembahasan dilakukan dengan mengaitkan hasil penelitian dengan teori adsorpsi dan penelitian terdahulu.

3.1 Karakteristik awal air lindi

Sampel air lindi yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Analisis awal dilakukan untuk mengetahui kadar merkuri (Hg) sebelum perlakuan adsorpsi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa konsentrasi awal merkuri dalam air lindi sebesar 0,0037 mg/L. Nilai ini masih berada di bawah baku mutu air lindi yaitu 0,005 mg/L berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 59 Tahun 2016, namun tetap berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan apabila tidak dikelola secara berkelanjutan. Keberadaan Hg dalam air lindi berkaitan dengan proses dekomposisi sampah serta keberadaan limbah berbahaya seperti baterai dan peralatan elektronik yang mengandung logam berat. Hg bersifat toksik dan dapat terakumulasi dalam lingkungan serta tubuh makhluk hidup, sehingga meskipun berada pada konsentrasi rendah tetap perlu mendapat perhatian khusus (Ali, 2011; Yuniwati & Hakim, 2023).

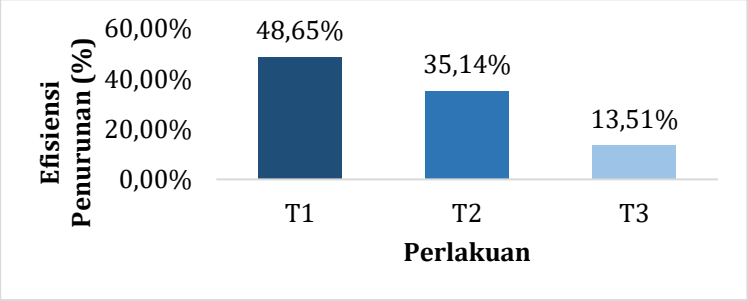
3.2 Penurunan kadar merkuri (Hg) setelah proses adsorpsi

Hasil analisis kadar Hg setelah proses adsorpsi menggunakan biochar sekam padi teraktivasi dengan variasi dosis biochar dan waktu kontak disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil analisis kadar merkuri (Hg) dan efisiensi penurunan

Kode Sampel	Variasi Perlakuan	Kadar Merkuri (Hg) mg/L	Penurunan (%)
K	Kontrol (tanpa biochar)	0,0037	-
T1	15 g, 120 menit	0,0019	48,65
T2	15 g, 180 menit	0,0024	35,14
T3	30 g, 180 menit	0,0032	13,51

Berdasarkan Tabel 2, seluruh perlakuan dengan penambahan biochar sekam padi teraktivasi menunjukkan penurunan kadar Hg pada air lindi. Efisiensi penurunan tertinggi diperoleh pada perlakuan T1 dengan dosis biochar 15 gram dan waktu kontak 120 menit, yaitu sebesar 48,65%. Hasil ini menunjukkan bahwa biochar sekam padi memiliki kemampuan adsorpsi yang baik terhadap logam berat merkuri, sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa biochar berbahan limbah pertanian efektif dalam menyisihkan logam berat melalui mekanisme pertukaran ion dan penyerapan permukaan (Nguyen *et al*., 2022; Fahrudin *et al*., 2025). Untuk memperjelas perbandingan efisiensi penurunan kadar Hg pada setiap perlakuan, hasil penelitian divisualisasikan dalam bentuk grafik sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik Efisiensi Penurunan Merkuri (Hg)

3.3 Pengaruh dosis dan waktu kontak terhadap efisiensi adsorpsi

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi dosis biochar dan waktu kontak berpengaruh terhadap efisiensi adsorpsi merkuri (Hg). Pada dosis biochar 15 gram, peningkatan waktu kontak dari 120 menit menjadi 180 menit justru menyebabkan penurunan efisiensi adsorpsi. Hal ini diduga terjadi karena sebagian besar situs aktif adsorben telah terisi,

sehingga sistem adsorpsi mencapai kondisi kejenuhan atau kesetimbangan, di mana laju adsorpsi dan desorpsi cenderung seimbang dan penambahan waktu kontak tidak lagi meningkatkan kapasitas penyerapan secara signifikan (Bhat *et al*., 2012; Halim *et al*., 2021).

Penurunan efisiensi adsorpsi pada dosis biochar 30 gram dengan waktu kontak 180 menit diduga disebabkan oleh agregasi partikel biochar, yang dapat menurunkan luas permukaan spesifik dan menghambat difusi ion merkuri menuju situs aktif adsorben. Fenomena agregasi ini umum terjadi pada penggunaan adsorben dalam jumlah berlebih dan telah dilaporkan dapat menurunkan efektivitas adsorpsi logam berat (Hasnelly *et al*., 2018; Syauqiah, 2021). Selain itu, kompleksitas matriks air lindi memungkinkan terjadinya kompetisi antar ion dan senyawa terlarut, sehingga penambahan dosis adsorben tidak selalu berbanding lurus dengan peningkatan efisiensi penyerapan (Nguyen *et al*., 2022). Tidak disertakannya variasi dosis biochar 30 g dengan waktu kontak 120 menit dalam penelitian ini didasarkan pada tujuan penelitian yang berfokus pada evaluasi kecenderungan efisiensi penurunan Hg, bukan optimasi faktorial penuh. Kombinasi dosis 30 g dan waktu kontak 180 menit digunakan untuk merepresentasikan kondisi dosis dan waktu kontak relatif tinggi guna mengamati respons efisiensi adsorpsi biochar.

3.4 Kesesuaian hasil pengolahan dengan baku mutu

Seluruh hasil perlakuan menunjukkan bahwa kadar merkuri (Hg) akhir berada di bawah ambang batas baku mutu air lindi sebesar 0,005 mg/L sebagaimana ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 59 Tahun 2016. Hal ini menunjukkan bahwa biochar sekam padi teraktivasi berpotensi digunakan sebagai media adsorben yang sederhana, ramah lingkungan, dan berbasis limbah pertanian lokal untuk pengolahan air lindi yang terkontaminasi merkuri.

4. KESIMPULAN

Biochar sekam padi teraktivasi mampu menurunkan kadar merkuri (Hg) dalam air lindi dengan tingkat efisiensi yang berbeda pada setiap variasi dosis dan waktu kontak. Berdasarkan hasil penelitian, efisiensi penurunan Hg tertinggi diperoleh pada penggunaan biochar sekam padi teraktivasi dengan dosis 15 g dan waktu kontak 120 menit, dengan efisiensi penurunan sebesar 48,65%. Peningkatan waktu kontak hingga 180 menit pada dosis yang sama tidak meningkatkan efisiensi penurunan Hg, yang mengindikasikan bahwa proses adsorpsi telah

mendekati kondisi kejenuhan. Penggunaan dosis biochar yang lebih tinggi (30 g) dengan waktu kontak 180 menit juga tidak meningkatkan efisiensi penurunan Hg, yang diduga disebabkan oleh agregasi partikel adsorben dan berkurangnya luas permukaan efektif. Seluruh hasil perlakuan menunjukkan bahwa kadar merkuri (Hg) akhir berada di bawah baku mutu air lindi sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 59 Tahun 2016. Dengan demikian, biochar sekam padi teraktivasi berpotensi digunakan sebagai adsorben ramah lingkungan berbasis limbah pertanian lokal untuk menurunkan kadar merkuri dalam air lindi.

DAFTAR PUSTAKA

Ali, M. (2011). Monograf: Rembesan air lindi (leachate) dampak pada tanaman pangan dan kesehatan. UPN Press. Surabaya.

Bath, D. S., Siregar, J. M., Lubis, M. T. (2012). Penggunaan tanah bentotit sebagai adsorben logam Cu. *Jurnal Teknik Kimia USU*, *1*(1), 1-4. https://doi.org/10.32734/jtk.v1i1.1396

Hasnelly, S., Wulandari, R., dan Putra, A. Karakteristik Biochar sebagai Adsorben Logam Berat dalam Air. Jurnal Rekayasa Lingkungan, Vol. 14, No. 2, Page 67–75. 2018.

Halim, R.A., Abdullah, S., dan Yusof, N. Kinetics and Equilibrium Studies of Heavy Metal Adsorption Using Activated Biochar. Journal of Environmental Management, Vol. 295, Page 113116. 2021.

Indonesia Ministry of Environment and Forestry. (2016). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016 tentang Baku Mutu Lindi bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah. Jakarta.

Jagadeesh, N., Sundaram, B. (2023). Adsorption of pollutants from wastewater by biochar: A Review. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 9, 100226. https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100226

Nguyen, T. T. V., Phan, A. N., Nguyen, T-A., Nguyen T. K., Nguyen, S. T., Pugazhendhi, A., Phuong, H. H. K. (2022). Valorization of agriculture waste biomass as biochar: As first-rate biosorbent for remediation of contaminated soil. *Chemosphere*, 307, part 3, 135834. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135834

Nguyen, A. T., Nguyen, N., Phung, P., Yến-Khanh, N. (2023). Residents' waste management practices in a developing country: A social practice theory analysis. *Environmental Challenges*, 13, 100770. https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100770

Sari, R. N., Afdal, A. (2017). Karakteristik air lindi (leachate) di tempat pembuangan akhir sampah air dingin Kota Padang. *Jurnal Fisika Unand*, *6*(1), 93–99. https://doi.org/10.25077/jfu.6.1.93-99.2017

Subarkhah, M., Titah, H. S. (2023). Remediasi logam berat Pb dengan menggunakan biochar sekam padi dan tongkol jagung. Jurnal Sains dan Seni ITS, *12*(1), F48-F53.

Syauqiah, I., Nurandini, Prihatini, N. S., Simanjuntak, R. A. (2021). Effect of stirring speed on cadmium (Cd) metal adsorption from sasirangan liquid waste by rice husk activated carbon. *Konversi*, *10*(1), 47-51. http://dx.doi.org/10.20527/k.v10i1.9916

Tony, C. P., Ernawati, R., Nursanto, E. (2021). Dampak pencemaran logam berat terhadap kualitas air dan strategi untuk mengurangi kandungan logam berat. *Prosiding Seminar Teknologi Kebumian dan Kelautan (SEMITAN) III 2021*, *3*(1), 215-220. https://doi.org/10.31284/j.semitan.2021.1967