



Integrasi Metode Fitoremediasi dan Filtrasi pada reaktor Portabel untuk Pengolahan Air Limbah Gelondongan Mengandung Merkuri di Sekitar Danau Lebo, Sumbawa Barat

^{1*}A. Rahman, ²Andi Maria Ulfa, ³Puryadi

^{1,2}Program Studi Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan, Fakultas Pertanian dan Perikanan, Universitas Cordova, Sumbawa, Indonesia

³Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Cordova, Sumbawa, Indonesia

*Corresponding Author e-mail: armanthegreen@gmail.com

Received: November 2025; Revised: November 2025; Accepted: December 2025; Published: December 2025

Abstrak: Studi ini bertujuan untuk merancang dan menguji efektivitas reaktor portabel berbasis filtrasi dan fitoremediasi dalam mengurangi kadar merkuri pada limbah cair pengolahan emas. Studi ini dilakukan secara eksperimental menggunakan reaktor portabel dengan unit fitoremediasi menggunakan daun air (*Pistia stratiotes*) dan unit filtrasi yang terbuat dari biofoam, batu zeolit, dan karbon aktif. Pengujian dilakukan pada variasi waktu kontak 0–120 menit dan penggunaan berulang hingga 15 kali, dengan analisis kadar merkuri menggunakan AAS. Hasil menunjukkan bahwa reaktor mampu mengurangi kadar merkuri dari 0,7095 mg/L menjadi 0,0040–0,0039 mg/L pada waktu kontak 90–120 menit dengan efisiensi hingga 99,45%, sehingga memenuhi standar kualitas yang berlaku. Waktu kontak minimum agar reaktor bekerja optimal adalah 90 menit. Pada penggunaan berulang, efektivitas tertinggi terjadi pada tahap awal, kemudian menurun akibat saturasi media filtrasi. Reaktor portabel ini efektif dan berpotensi diterapkan langsung di lokasi PETI sebagai teknologi alternatif praktis untuk pengolahan limbah merkuri.

Kata Kunci: Reaktor portabel; merkuri; tambang emas rakyat; filtrasi; fitoremediasi

Abstract: This study aims to design and test the effectiveness of a portable reactor based on filtration and phytoremediation in reducing mercury levels in gold processing wastewater. The study was conducted experimentally using a portable reactor with a water lettuce (*Pistia stratiotes*) phytoremediation unit and a filtration unit made of biofoam, zeolite rock, and activated carbon. Testing was carried out on contact time variations of 0–120 minutes and repeated use up to 15 times, with mercury level analysis using AAS. The results showed that the reactor was able to reduce mercury levels from 0.7095 mg/L to 0.0040–0.0039 mg/L at a contact time of 90–120 minutes with an efficiency of up to 99.45%, thus meeting the applicable quality standards. The minimum contact time for the reactor to work optimally was 90 minutes. In repeated use, the highest effectiveness occurs in the initial stage, then decreases due to saturation of the filtration media. This portable reactor is effective and has the potential to be applied directly at PETI sites as a practical alternative technology for mercury waste treatment.

Keywords: Portable reactor; mercury; small-scale gold mining; filtration; phytoremediation

How to Cite: Rahman, A., Puryadi, & Ulfa, A. M. (2025). Integrasi Metode Fitoremediasi dan Filtrasi pada reaktor Portabel untuk Pengolahan Air Limbah Gelondongan Mengandung Merkuri di Sekitar Danau Lebo, Sumbawa Barat. *Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi*, 13(4), 2858–2867. <https://doi.org/10.33394/bioscientist.v13i4.18310>



<https://doi.org/10.33394/bioscientist.v13i4.18310>

Copyright© 2025, Rahman et al
This is an open-access article under the [CC-BY-SA](#) License.



PENDAHULUAN

Aktivitas penambangan emas rakyat tanpa ijin (PETI) yang berlokasi di Sumbawa Barat khususnya di sekitar Danau Lebo Taliwang telah berlangsung sejak lama, dari tahun 2010 hingga saat ini. Praktik pengolahan batuan emas secara tradisional oleh penambang umumnya masih menggunakan senyawa merkuri (Hg) untuk amalgamasi yang menghasilkan limbah cair mengandung merkuri. Air limbah dibuang begitu saja ke lingkungan tanpa diolah terlebih dahulu. Merkuri yang masuk ke lingkungan dapat memberikan dampak buruk, seperti mencemari air, tanah, udara yang mengancam ekosistem perairan serta membahayakan Kesehatan manusia (La Colla *et al.*, 2019; Yu *et al.*, 2022; Ibrahim *et al.*, 2025)

Danau Lebo Taliwang merupakan perairan air tawar yang terletak di Kabupaten Sumbawa Barat yang memiliki luas wilayah 819,20 ha. Secara geografis Danau Lebo Taliwang terletak di antara garis lintang 8°34'0"LS dan 116°13'0"BT dengan jenis tanah regosol dan litosol dan topografi berbukit sampai bergunung dengan ketinggian 200-400 m dpl (BKSDA, 2015). Secara administrasi, Danau Lebo berada diantara dua kecamatan dan bersinggungan dengan lima desa diantaranya yaitu Desa Rempe, Air Suning, Meraran, Seloto dan Kelurahan Sampir (Widada et al., 2015). Danau Lebo Taliwang terpapar oleh senyawa merkuri yang berasal dari limbah aktivitas pengolahan emas yang dibuang langsung ke danau. Sejumlah studi melaporkan bahwa Danau Lebo terakumulasi senyawa merkuri pada badan air, sedimen dan biota air (Amanda 2016; Rahman 2022; Nabila et al., 2024; Seftiyani et al., 2024). Bahkan merkuri juga terbiomagnifikasi dalam rantai makanan (Rahman, 2025).

Selama ini, upaya pengelolaan limbah merkuri dari aktivitas penambangan emas tanpa ijin (PETI) dan mencemari Danau Lebo masih sangat terbatas. Upaya yang dilakukan pemerintah berupa larangan untuk menambang serta pelatihan praktik menambang dalam mengolah emas yang ramah lingkungan juga belum membuahkan hasil hingga saat ini. Oleh karena itu, diperlukan solusi baru sebagai upaya lanjutan untuk mencegah terjadinya pencemaran merkuri di Danau Lebo yaitu dengan menggunakan instalasi pengolahan limbah.

Penelitian tentang pengolahan air limbah dari kegiatan Pertambangan Emas Tanpa Izin (PETI) yang mengandung merkuri umumnya dilakukan menggunakan teknologi lahan basah buatan (*constructed wetland*) dengan pendekatan fitoremediasi (Ambarsari & Qisthi, 2017; Noviyanti et al., 2023; Nursagita et al., 2023). Namun, kelemahan dari metode ini yaitu prosesnya lama, bergantung pada kondisi iklim, serta membutuhkan lahan yang luas (Sidauruk & Sipayung 2015), sehingga dirasa kurang cocok jika digunakan langsung pada titik-titik lokasi pengolahan emas. Metode alternatif lain yang praktis dan tidak bergantung pada lahan dan iklim setempat yaitu yaitu metode filtrasi atau penyaringan. Metode Filtrasi diantaranya menggunakan bahan absorben seperti karbon aktif dan batu zeolite (Renu et al., 2017; Sari et al., 2024; Sulistyanti et al., 2018). Akan tetapi, alat Instalasi yang dibuat dengan metode diatas memiliki bentuk yang tidak ringkas yang kurang cocok diaplikasikan di lapangan.

Oleh karena itu, berdasarkan permasalahan diatas, diperlukan suatu alat atau metode yang penggunaannya tidak hanya praktis, tidak bergantung pada kondisi lingkungan, memiliki ukuran yang ringkas, proses cepagt serta memiliki mobilitas yang tinggi. Solusinya yaitu dengan mengembangkan reaktor portable. Alat ini dirancang dengan menggabungkan metode filtrasi menggunakan karbon aktif dan batu zeolite yang sudah terbukti dapat mengurangi kadar merkuri pada air limbah (Zulhikman et al., 2013; Hiola et al., 2022; Abdillah et al., 2019) dan metode fitoremediasi menggunakan tanaman kiambang (*Pistia stratiotes*) yang juga sudah teruji dapat menyerap merkuri pada air limbah (Fatimah, 2023).

Secara teoritis reaktor portabel dengan integrasi metode fitoremediasi dan filtrasi dapat mengurangi kadar merkuri pada air limbah, karena bahan filtrasi dan fitoremediasi yang digunakan dalam penelitian ini sudah teruji (Renu et al., 2017; Zulhikman et al., 2013). Penggunaan dua metode sekaligus tentu akan semakin meningkatkan kinerja eliminasi merkuri dan juga proses menjadi cepat.

Penelitian tentang pengolahan limbah mengandung merkuri pada penelitian sebelumnya bersifat stasioner, tidak portabel dan juga dilakukan pada limbah lain. Penggabungan metode filtrasi dan fitoremediasi pernah dilakukan oleh Lazo et al. (2022), namun pada sampel yang berbeda yaitu pada limbah cair industri batik untuk

memperbaiki kualitas air limbah, serta alat yang tidak portable. Penelitian ini menawarkan kebaruan dari sisi design yang portabel dan aplikasi pada pengolahan limbah merkuri yang berasal dari penambangan emas tanpa izin (PETI).

Tujuan penelitian ini adalah merancang dan menguji kinerja reaktor portabel berbasis filtrasi dan fitoremediasi untuk menurunkan kadar merkuri pada limbah pengolahan emas, serta mengevaluasi kesesuaiannya terhadap baku mutu SNI. Penelitian ini berkontribusi dalam menyediakan alternatif teknologi pengolahan limbah merkuri yang bersifat aplikatif dan portabel, serta berpotensi diterapkan langsung pada lokasi pertambangan emas tanpa izin (PETI), khususnya di kawasan Danau Lebo, sebagai upaya pengendalian pencemaran merkuri pada badan perairan.

METODE

Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dengan rancangan uji kinerja reaktor portabel terhadap penurunan kadar merkuri.

Lokasi dan waktu Penelitian

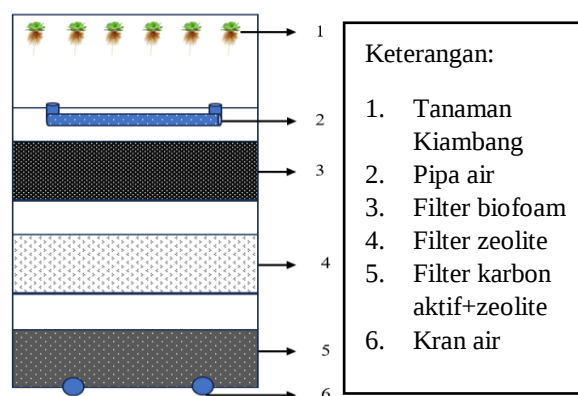
Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Sains Universitas Cordova untuk pengujian alat dan Laboratorium Pengujian Lingkungan Hidup Provinsi Nusa Tenggara Barat (NTB) untuk pengujian air limbah. Penelitian dilaksanakan selama tiga bulan dari bulan Juli hingga September 2025.

Bahan dan alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya yaitu air limbah gelondong, tanaman kiambang (*Pistia stratiotes*), Batuan Zeolit, Karbon aktif, Busa Biofoam. Sedangkan alat yang digunakan diantaranya yaitu Reaktor Portabel, botol sampel, kertas label, AAS (Atomic Absorption Spectrophotometry / Spektrofotometri Serapan Atom) untuk menguji kandungan merkuri.

Desain reaktor

Reaktor terbuat dari kontainer plastik berkapasitas 20 L yang tersusun dari 4 box. 1 box memiliki dimensi 46 cm x 35 cm x 13,5 cm. Box pertama berisikan tanaman kiambang, box ke dua berisi saringan busa biofoam, box ke tiga berisi batuan zeolit dan box ke empat berisi campuran karbon aktif dan zeolite.



Gambar 1. Design reaktor portabel

Prosedur pengambilan sampel

Sampel penelitian berupa air limbah diambil langsung di salah satu unit lokasi pengolahan emas yang berada di Kelurahan Sampir, Sumbawa Barat. Sampel air limbah diambil sebanyak 50 Liter menggunakan gayung dan disimpan dalam ember

yang tertutup rapat lalu dibawa ke laboratorium Sains universitas cordova. Sampel di diletakkan di bawah kolom meja laboratorium di suhu kamar ($\pm 25^{\circ}\text{C}$) selama 1 hari sebelum pengujian.

Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dalam dua tahapan. Tahapan pertama, pengujian dilakukan dengan dua perlakuan, yaitu kontrol sebagai pembanding dan perlakuan eksperimen menggunakan reaktor portabel untuk pengolahan limbah merkuri. Untuk perlakuan kontrol, diambil sebanyak 100 mL air tanpa dimasukkan ke reaktor. Untuk eksperimen, diambil sebanyak 20 Liter Air limbah, dimasukkan kedalam Box Pertama yang berisi tanaman kiambang dan didiamkan selama 1 jam. Selanjutnya keran box pertama di buka dan air akan mengalir ke box ke dua, ke tiga dan terhenti di box ke empat. Pada box ke empat selama 0 menit, 30 menit, 60 menit, 90 menit dan 120 menit. Tiap waktu pendiaman air sampel, akan diambil sebanyak 100 mL air melalui kran sebanyak 100 mL, disimpan dalam botol sampel berukuran 100 mL, disimpan didalam lemari untuk selanjutnya diuji kandungan merkurnya.

Pengujian tahap kedua dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan reaktor pada penggunaan berulang. Perlakuan dengan durasi waktu yang menunjukkan hasil terbaik pada pengujian tahap pertama dipilih 1 perlakuan terbaik untuk pengujian lanjutan, yaitu dengan menguji kemampuan reaktor dalam menurunkan konsentrasi merkuri pada penggunaan berulang sebanyak 15 kali ulangan.

Analisis Data

Setelah semua data terkumpul, data diolah dan dianalisis untuk mendapatkan gambaran terkait efektifitas alat dalam mengolah air limbah mengandung merkuri. Analisis efektifitas alat menggunakan rumus *Removal Efficiency* (Kencana dan Radityaningrum, 2022) sebagai berikut:

$$RE = \left(\frac{C_i - C_f}{C_i} \right) \times 100\%$$

Keterangan:

RE : *Removal Efficiency* (efisiensi penghilangan)

C_i : konsentrasi awal unsur di substrat

C_f : konsentrasi akhir unsur di substrat

Selanjutnya, membandingkan seluruh parameter pengukuran Kadar merkuri, dengan kadar baku mutu air limbah sesuai SNI menurut KEPMEN LH No.202 thn. 2004 Tentang Baku Mutu Air Limbah bagi kegiatan pengolahan emas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kinerja Reaktor Portabel terhadap Penurunan Merkuri

Berdasarkan hasil pengujian yang disajikan pada tabel 1, reaktor portabel (Gambar 2) menunjukkan kemampuan yang baik dalam menurunkan kadar merkuri pada sampel air limbah tambang emas rakyat. Konsentrasi awal merkuri pada perlakuan kontrol (sebelum perlakuan) tercatat sebesar 0,7095 mg/L. Setelah diuji dengan alat, terjadi penurunan kadar merkuri yang signifikan pada seluruh variasi waktu kontak pengujian.

Tabel 1. Hasil pengujian merkuri pada sampel

Kondisi	Waktu (menit)	Konsentrasi Hg (mg/L)	Penurunan (%)
Sebelum treatment	Kontrol	0,7095	-
Sesudah treatment	0	0,0301	95,76 %
	30	0,0063	99,11 %

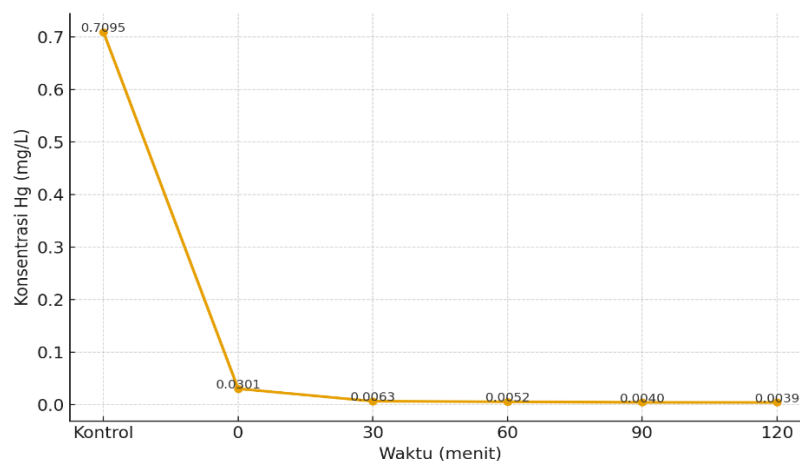
Kondisi	Waktu (menit)	Konsentrasi Hg (mg/L)	Penurunan (%)
	60	0,0052	99,27 %
	90	0,0040	99,44 %
	120	0,0039	99,45 %



Gambar 2. Reaktor portabel

Pada waktu kontak 0 menit, kadar merkuri turun menjadi 0,0301 mg/L dengan efisiensi penurunan sebesar 95,76%. Pada menit ke-30, kadar merkuri terus menurun menjadi 0,0063 mg/L dengan efisiensi 99,11%. Kemudian terus naik mencapai 99,27% pada menit ke-60 dan 99,4% pada menit ke-90. Waktu kontak terakhir, menit ke-120 memperoleh nilai pengurangan tertinggi dengan konsentrasi merkuri sebesar 0,0039 mg/L dan efisiensi penurunan mencapai 99,45%.

Dari hasil pengujian tersebut, terlihat tren penurunan kadar merkuri yang sangat tajam (Gambar 3) dari kadar merkuri pada perlakuan kontrol hingga awal perlakuan. Kemudian menurun secara gradual hingga mencapai kondisi stabil pada dua waktu kontak terakhir yang lebih lama. Pola tersebut mengindikasikan bahwa waktu intensif pengolahan merkuri terjadi pada tahap awal, lalu diikuti oleh penurunan laju eliminasi seiring dengan bertambahnya waktu kontak.



Gambar 3. Kurva penurunan kadar merkuri pada air sampel

Penurunan kadar merkuri secara drastis pada waktu kontak awal disebabkan karena senyawa merkuri sudah terserap sebagian oleh tanaman kiambang pada box pertama. Tanaman kiambang memiliki kemampuan dalam menyerap logam merkuri

(Nuridin, 2025; Fatimah 2023). Selanjutnya air limbah terserap lagi oleh absorben batuan zeolit Ketika melewati box ketiga. Batuan zeolite memiliki kemampuan dalam menyerap merkuri (Prasetya *et al.*, 2020; Budianta *et al.*, 2023). Kemudian yang terakhir berakhir di box ke-4. Walaupun waktu kontak 0 menit, senyawa merkuri dalam air limbah sudah terserap oleh box sebelumnya sehingga kadar merkurnya menurun jauh jika dibandingkan dengan perlakuan kontrol.

Selanjutnya, semakin lama waktu kontak, efisiensi kadar pengurangan merkuri dalam air limbah semakin tinggi. Hal ini disebabkan karena terkait waktu penyerapan oleh absorben. Merkuri dan batuan zeolite membutuhkan waktu tertentu dalam menyerap kandungan logam merkuri secara optimal (Hadi *et al.*, 2015; Czarna *et al.*, 2018; Park *et al.*, 2019). Karbon aktif dan zeolite dalam penelitian ini mampu menyerap senyawa merkuri pada limbah secara optimal pada menit ke-90 dan 120 dengan hasil nilai dibawah ambang batas. Hal ini sejalan dengan penelitian Aradea (2017) yang juga menggunakan campuran karbon aktif dan zeolit dalam menurunkan kadar merkuri pada menit ke 90 dan 120 dengan efisiensi penurunan mencapai 99%. Akan tetapi, semakin lama waktu kontak, nilai pengurangan semakin berkurang. Hal ini sebabkan karena aksorben mulai mengalami kejenuhan. Pori-pori absorben terisi yang menyebabkan kemampuan penyerapan logam menurun (Calvin, 2018).

Efektivitas Reaktor pada penggunaan berulang

Berdasarkan Tabel 2, Konsentrasia merkuri pada perlakuan kontrol sebesar 0,6795 mg/L. Setelah dilakukan perlakuan dengan menggunakan alat, terjadi penurunan kadar merkuri yang signifikan pada seluruh ulangan perlakuan.

Tabel 2. Hasil pengujian efektivitas lama penggunaan alat

No	Kode	Hasil
1	Ux (Kontrol)	0,6795
2	U1	0,0029
3	U2	0,0030
4	U3	0,0035
5	U4	0,0035
6	U5	0,0036
7	U6	0,0040
8	U7	0,0039
9	U8	0,0042
10	U9	0,0045
11	U10	0,0045
12	U11	0,0049
13	U12	0,0047
14	U13	0,0050
15	U14	0,0055
16	U15	0,0059

Pada awal pengulangan pengujian alat, Ulangan ke-1 hingga ke-3, kadar merkuri turun drastis dengan dengan nilai 0,0029 pada U1, kemudian relative stabil hingga ulangan ke-6. Selanjutnya pada ulangan ke-7 hingga ke-12 kadar merkuri mengalami kenaikan secara bertahap, namun nilainya masih jauh dari pada perlakuan kontrol. Pada ulangan ke-13 dan ke-15, semakin naik menjadi 0,0059. Pola ini menunjukkan bahwa lama penggunaan alat memiliki pengaruh terhadap penurunan kadar merkuri. Nilai penurunan tertinggi terjadi pada awal waktu penggunaan, kemudian secara

bertahap menurun seiring bertambahnya jumlah penggunaan. Hal ini mengindikasikan adanya penurunan kinerja alat yaitu kejenuhan media filtrasi.

Menurunnya nilai pengurangan kadar merkuri seiring dengan bertambahnya pengulangan, disebabkan karena berkurangnya kemampuan absorben (Batuan zeolit dan karbon aktif) dalam menyerap logam merkuri. Semakin banyak absorben kontak dengan zat pencemar, semakin berkurang kemampuan absorben dalam menyerap polutan. Karena absorben sudah mengalami kejenuhan, dimana pori-pori dari permukaan absorben sudah tertutupi oleh senyawa polutan dan tidak ada lagi ruang pori untuk menyimpan zat polutan (Yuliono *et al.*, 2014).

Efektivitas Alat

Efektivitas reaktor portabel dalam menurunkan kadar merkuri pada sampel air limbah hasil tambang emas rakyat pada penelitian ini dievaluasi secara kuantitatif dengan mengacu pada standar baku mutu air limbah kegiatan pengolahan emas yang berlaku. Merujuk kepada KEPMEN LH No.202 Tahun 2024, tentang baku mutu air limbah bagi kegiatan pengolahan emas dan SNI 06-2462-1991, nilai ambang batas kadar merkuri pada air limbah pengolahan emas yaitu 0,005 mg/L. Hasil pengujian dalam penelitian ini menunjukkan bahwa pada perlakuan waktu perendaman 90 dan 120 menit, kadar merkuri dalam air limbah berada dibawah ambang batas yang secara kuantitatif membuktikan kemampuan reaktor portable dalam menurunkan kadar merkuri pada air limbah. Temuan ini menjelaskan bahwa waktu kontak perendaman minimum yang diperlukan supaya reaktor bekerja optimal dalam menurunkan kadar merkuri pada air limbah yaitu di menit ke-90.

Pernyataan tersebut diatas juga diperkuat oleh hasil uji lanjutan melalui pengulangan penggunaan alat selama 15 kali ulangan. Pada ulangan ke-1 hingga ke-3 alat menunjukkan performanya dalam menurunkan kadar merkuri secara signifikan dengan nilai mencapai 0,0029 mg/L, kemudian masih relatif stabil hingga ulangan ke-6. Kemudian pada ulangan ke-7 hingga ke-12, konsentrasi merkuri terus meningkat secara bertahap hingga mencapai 0,0059 mg/L pada ulangan ke-15. Pola tersebut menunjukkan bahwa alat memiliki efektivitas tinggi pada penggunaan awal dan akan menurun seiring bertambahnya jumlah pengulangan yang disebabkan karena kejenuhan absorben dalam alat dalam menyerap senyawa logam merkuri. Dan pada perlakuan ke-15, kadar merkuri hampir melewati ambang batas, kemungkinan besar jika pengulangan bertambah diatas 15 kali, kadar merkuri dapat melewati ambang batas. Dengan perlakuan dan data dalam penelitian ini, reaktor portabel efektif menurunkan kadar merkuri dengan lama waktu kontak terhadap absorben pada menit ke 120 dan 15 Kali ulangan/Penggunaan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa reaktor portabel efektif dalam menurunkan konsentrasi merkuri pada sampel air limbah tambang emas rakyat di sekitar Danau Lebo. Kadar merkuri turun hingga berada di bawah ambang batas sesuai standar baku mutu air limbah pengolahan emas sesuai KEPMEN LH no, 202 Tahun 2024. Selain itu pengujian lanjutan pada penggunaan berulang, menunjukkan bahwa reaktor portabel efektif menurunkan kadar merkuri hingga beberapa pengulangan. Namun, pada pengulangan akhir, kadar merkuri hampir melewati ambang batas, yang artinya jika terjadi penambahan pengulangan, kemungkinan hasil pengujian akan semakin tinggi dan melewati ambang batas. Dengan demikian, reaktor portabel ini berpotensi sebagai alternatif teknologi pengolahan limbah merkuri yang praktis, aplikatif, dan mudah dipindahkan, dengan catatan diperlukan pengelolaan dan penggantian media filtrasi secara berkala untuk menjaga kinerja optimal.

REKOMENDASI

Penelitian selanjutnya disarankan untuk menguji reaktor portabel pada skala lebih besar dan dalam kondisi lapangan nyata. Faktor lingkungan seperti pH, suhu, dan kandungan logam lain juga perlu diperhatikan karena dapat memengaruhi kinerja alat. Hambatan yang mungkin muncul meliputi keterbatasan alat laboratorium dan variasi kondisi sampel. Pengembangan desain reaktor yang lebih efisien dan mudah digunakan masyarakat di lapangan akan meningkatkan aplikasi praktisnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada kemdiktisaintek yang telah menjadi donatur dalam pelaksanaan penelitian ini. Trima kasih juga diucapkan kepada mitra dalam penelitian ini dan terakhir kepada tim yang terlibat dalam penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, A. M., Abidin, Z., Widiatmaka, W., Johand, E., & Matsue, N. (2019). Adsorptive removal of mercury by zeolites and montmorillonite. *Journal of Natural Resources and Environmental Management*, 9(3), 797–801.
- Amanda, D. D. (2016). *Akumulasi merkuri di Danau Lebo, Kabupaten Sumbawa Barat, Nusa Tenggara Barat* (Tesis). Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Ambarsari, H., & Qisthi, A. (2017). Remediasi merkuri (Hg) pada air limbah tambang emas rakyat dengan metode lahan basah buatan terpadu. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 18(2), 148. <https://doi.org/10.29122/jtl.v18i2.29>
- Aradea, A. (2017). *Efisiensi penurunan kadar merkuri (Hg) dalam limbah reagen COD dengan menggunakan zeolit dan karbon aktif* (Skripsi). Universitas Satya Negara Jakarta.
- Balai KSDA NTB. (2015). *Buku informasi kawasan konservasi Nusa Tenggara Barat*. Mataram: BKSDA NTB.
- Budianta, W., Idrus, A., Kurniawan, W., & Prasistho, W. (2023). Stabilisasi merkuri pada limbah tambang dengan menggunakan zeolit alam. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 8(2), 114–118.
- Calvin. (2018). *Studi adsorpsi merkuri menggunakan karbon aktif berbahan baku kulit durian (aplikasi pada limbah pertambangan emas rakyat dari Kabupaten Mandailing Natal)* [Skripsi]. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Czarna, D., Baran, P., Kunecki, P., Panek, R., Zmuda, R., & Wdowin, M. (2018). Synthetic zeolites as potential sorbents of mercury from wastewater occurring during wet FGD processes of flue gas. *Journal of Cleaner Production*, 1–10.
- Fatimah, A. A. S. (2023). *Fitoremediasi logam berat merkuri (Hg) menggunakan tanaman kiambang (Salvinia molesta) dengan sistem batch* (Skripsi). UIN Sunan Ampel, Surabaya.
- Hadi, P., To, M. H., Hui, C. W., Lin, C. S. K., & McKay, G. (2015). Aqueous mercury adsorption by activated carbons. *Water Research*, 73, 37–55.
- Hiola, T. T., Warow, N., Ali, I. H., & Suleman, R. (2022). Pemanfaatan karbon aktif untuk menurunkan merkuri pada limbah pertambangan emas tradisional. *Jurnal Masyarakat Mandiri (JMM)*, 6(3), 2070–2077.
- Ibrahim, L., Majeed, N., Obaid, S., & Hashim, R. (2025). Mercury pollution and its impact on aquatic organisms. *GSC Advanced Research and Reviews*, 22, 200–206. <https://doi.org/10.30574/gscarr.2025.22.3.0075>
- Kencana, E., & Radityaningrum, A. D. (2022). Kombinasi filtrasi dan fitoremediasi untuk pengolahan limbah cair industri batik. *Dampak: Jurnal Teknik Lingkungan Universitas Andalas*, 19(2), 56–65.

- La Colla, N. S., Botté, S. E., Simonetti, P., Negrin, V. L., Serra, A. V., & Marcovecchio, J. E. (2021). Water, sediments and fishes: First multi-compartment assessment of metal pollution in a coastal environment from the SW Atlantic. *Chemosphere*, 282, 131131.
- Lazo, A., Lazo, P., Urtibia, R., Lobos, M. G., Hansen, H. K., & Gultierrez, C. (2022). An assessment of the metal removal capability of endemic Chilean species. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19, 3583. <https://doi.org/10.3390/ijerph19063583>
- Nabila, R., Purwati, N., & Jayanti, T. E. (2024). Analisis kandungan merkuri dalam sedimen dan keong sawah (*Pila ampullacea* Linn.) Danau Lebo Sumbawa Barat. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 16, 43–55.
- Noviyanti, N., Jumiaty, J., & Sulastri, A. (2023). Fitoremediasi limbah amalgamasi pemurnian bijih emas pertambangan rakyat di Kecamatan Monterado. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 11, 609–619.
- Nurdin, N. D. (2025). *Analisis fitoremediasi oleh tanaman kiambang (Salvinia molesta) dan kompos terhadap kualitas air hasil pengolahan emas tambang rakyat skala kecil* (Tesis). Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta.
- Nursagita, Y. S., Titah, H. S., & Purwanti, I. F. (2023). Preliminary phytotoxicity of mercury in conventional gold mining wastewater on *Typha latifolia* and *Pistia stratiotes*. *Earth and Environmental Science*, 1263(1), 012049.
- Park, J. H., Hwang, R. H., Yoon, H. C., & Yi, K. B. (2019). Effects of metal loading on activated carbon on its adsorption and desorption characteristics. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 74, 199–207.
- Prasetya, A., Prihutami, P., Warisaura, A. D., & Petrus, H. T. B. M. (2020). Characteristic of Hg removal using zeolite adsorption and *Echinodorus*.
- Rahman, A., & Setiyadi, M. W. (2022). Water striders (*Gerris* sp.) and its potential as mercury bioindicators in Lake Taliwang, West Sumbawa, Indonesia. *Jurnal Pijar MIPA*, 17(2), 180–183. <https://doi.org/10.29303/jpm.v17i2.3362>
- Rahman, A., Ulfa, A. M., Efendi, J., & Supriastuti, E. (2025). Biomagnification of mercury through the aquatic food chain in Lake Lebo Taliwang West Sumbawa. *Jurnal Biologi Tropis*, 25, 2540–2545. <https://doi.org/10.29303/jbt.v25i3.9452>
- Renu, Agarwal, M., & Singh, K. (2017). Heavy metal removal from wastewater using various adsorbents: A review. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 7(4), 387–419.
- Sari, S. W., Cahyani, S. D., & Sari, D. (2023). Efektivitas pengelolaan air bersih menggunakan metode filtrasi dengan media zeolit dan karbon aktif terhadap derajat keasaman (pH), kesadahan (CaCO_3), serta daya tahan filtrasi. *Jurnal Kesehatan Tambusai*, 5(3), 9176–9186.
- Seftiyani, D., Khairuddin, K., & Kusmiyati, K. (2024). Analysis of heavy metal mercury (Hg) content in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) from Rawa Taliwang Lake, West Sumbawa. *Jurnal Biologi Tropis*, 24(4), 757–762.
- Sidauruk, L., & Sipayung, P. (2015). Fitoremediasi lahan tercemar di kawasan industri Medan dengan tanaman hias. *Pertanian Tropik*, 2(2), 178–186.
- Sulistiyanti, D., Antoniker, A., & Nasrokhah, N. (2018). Penerapan metode filtrasi dan adsorpsi dalam pengolahan limbah laboratorium. *EduChemia: Jurnal Kimia dan Pendidikan*, 3(2), 147–156.
- Wadana, W. E., Sutopo, I. N., Sudiartha, I., Trisnaningsih, D., Rahadi, D., & Afifah, K. A. (2015). *Potret konservasi sumber daya alam hayati di Provinsi Nusa Tenggara Barat*. Mataram: Balai KSDA NTB.

- Yu, C., Liu, M., Guo, J., Lin, H., Yan, Y., Zhang, Q., Cheng, M., Lu, Y., Sun, X., Wang, X., & Pan, X. (2022). Transport of mercury in a regulated high-sediment river and its input to marginal seas. *Water Research*, 214, 118211.
- Yuliono, Y., Herawati, N., & Maryono, M. (2015). Kapasitas adsorpsi arang aktif batang pisang (*Musa paradisiaca*) terhadap ion logam kromium (VI). *Chemica*, 15(2), 24–32. <https://doi.org/10.35580/chemica.v15i2.4589>
- Zulhikman, M., Nurjazuli, N., & Joko, T. (2013). Efektivitas zeolit dan karbon aktif melalui metode penyaringan up-flow dalam menurunkan kadar merkuri pada air limbah pertambangan emas tradisional. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 2(2), 1–13.
- .