

Pengaruh Tahapan Bioremediasi Terhadap Efektivitas Eliminasi Merkuri (Hg) Di Media Cair

Liswara Neneng⁽¹⁾, Nawar⁽²⁾ dan Asri Adelia⁽³⁾

¹Jurusan Biologi, Fakultas MIPA, Universitas Palangka Raya, Indonesia

²Jurusan Kedokteran, Fakultas Kedokteran, Universitas Palangka Raya, Indonesia

³Program Studi Magister Pendidikan Biologi, Program Pascasarjana, Universitas Palangka Raya, Indonesia

Email Author: liswaraneneng@fkip.upr.ac.id

Diterima:24-12-2022; Diperbaiki:08-01-2023; Disetujui:10-01-2023

ABSTRAK

Penambangan emas menggunakan merkuri untuk proses ekstraksi emas, dimana kandungan merkuri pada DAS Kahayan mencapai 2,996 - 4,687 µg/l dan nilai tersebut melebihi batas standar kandungan merkuri di air. Bioremediasi merupakan salah satu solusi untuk mengurangi pencemaran limbah merkuri. Bioremediasi merkuri menggunakan mikroorganisme dan adsorben memerlukan tahapan-tahapan proses yang sesuai agar efektif dalam mengeliminasi merkuri. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tahapan bioremediasi terhadap efektivitas eliminasi merkuri (Hg) di media cair dan mengetahui tahapan bioremediasi yang paling efektif untuk eliminasi merkuri (Hg) di media cair. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan Rancangan Acak Lengkap nonfaktorial yang terdiri dari perlakuan yaitu kontrol (K), perlakuan 1 (T1), perlakuan 2 (T2), perlakuan 3 (T3), perlakuan 4 (T4), dengan 5 (lima) kali pengulangan. Analisis hasil tahapan bioremediasi menggunakan AAS (Atomic Absorption Spectrophotometry). Data dianalisis dengan menggunakan uji One-way Anova, uji LSD dan uji efektivitas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tahapan bioremediasi berpengaruh signifikan terhadap efektivitas eliminasi merkuri (Hg) di media cair. Tahapan bioremediasi yang paling efektif untuk eliminasi merkuri (Hg) di media cair adalah tahapan T3 yang dimulai dari Limbah Merkuri→Mikroalga→Bakteri→Lempung Merah→Arang Aktif, dengan nilai efektivitas penurunan merkuri sebesar 89,4%.

Kata kunci: *Tahapan Bioremediasi, Merkuri (Hg), Adsorben, Mikroorganisme.*

PENDAHULUAN

Penambangan emas skala kecil (illegal) pada Sungai Kahayan di Kalimantan Tengah telah berlangsung selama puluhan tahun. Jumlah unit pertambangan emas di Sungai Kahayan mencapai 1.563 unit baik yang berada di perairan maupun daratan dan jumlah penambang mencapai 43.000 orang dengan lokasi penambangan yang selalu berpindah-pindah. Penambangan emas menggunakan merkuri untuk proses ekstraksi emas, dan setiap tahun melepaskan tidak kurang dari 1.000 ton bahan berbahaya ke lingkungan (Neneng et al., 2020). Kandungan merkuri pada DAS Kahayan mencapai 2,996 - 4,687 µg/l ditemukan di Bawan, Tanjung Sanggalang, Tumbang Rungan, Palangka Raya, Jabiren, da Pulang Pisau (Rahayu, 2017). Nilai tersebut melebihi batas standar kandungan



merkuri pada air berdasarkan Permenkes Nomor 82 Tahun 2001 yaitu 1,000 $\mu\text{g/l}$ (Elawati & Isa, 2019).

Merkuri adalah zat polutan yang sifatnya toksik sehingga sangat beracun (Pramesti et al., 2019). Limbah merkuri dari penambang emas skala kecil (illegal) yang dibuang begitu saja ke lingkungan apabila terus menerus dilakukan tanpa adanya upaya pengelolaan limbah yang baik dikhawatirkan akan menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan dan masalah kesehatan manusia seperti kebutaan, kelumpuhan syaraf, cacat fisik dan bahkan menyebabkan kematian (Ulfa et al., 2016). Salah satu kasus keracunan merkuri adalah kasus Minamata Diseases yang terjadi pada tahun 1953 di Minamata, Jepang disebabkan oleh pembuangan limbah industri pabrik kimia ke Teluk Minamata. Penduduk Minamata mengonsumsi makanan laut yang terkontaminasi merkuri sehingga banyak penduduk Minamata menderita sakit dan meninggal dengan gejala utamanya meliputi gangguan sensorik, gangguan koordinasi gerak, mati rasa pada tangan dan kaki, gangguan pada mata, gangguan berbicara, gangguan pendengaran, kelumpuhan syaraf, koma bahkan kematian (BPH Nasional, 2017).

Pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh limbah merkuri dari pertambangan emas dapat didegradasi oleh lingkungan melalui proses biologis yaitu melalui proses bioremediasi. Bioremediasi merupakan penggunaan mikroorganisme untuk mereduksi polutan di lingkungan (Pamungkas & Ethica, 2018). Bioremediasi merkuri oleh mikroorganisme dapat dilakukan karena mikroorganisme memiliki mekanisme detoksifikasi logam berat. Mikroorganisme yang dapat digunakan dalam bioremediasi adalah bakteri dan mikroalga (Melati, 2021).

Bakteri merupakan golongan mikroorganisme yang memiliki kemampuan dalam mereduksi logam berat. Bakteri yang tahan terhadap cekaman merkuri disebut bakteri resisten merkuri. Salah satu mekanisme dalam mendetoksifikasi merkuri yaitu dengan mengubah Hg^{2+} menjadi Hg^0 dengan enzim merkuri reduktase yang dikode gen merA3 (Abdullah, 2018; Dash et al., 2017). Mikroorganisme yang juga memiliki potensi sebagai agen bioremediasi yaitu mikroalga. Proses bioremediasi menggunakan mikroalga dalam menghilangkan dan mengurangi toksik logam berat yaitu dengan cara akumulasi, adsorpsi, atau memetabolisme menjadi substansi yang tidak berbahaya. Sel mikroalga yang mati juga dapat untuk mengurangi kontaminan logam yang fungsi utamanya bertanggung jawab untuk biosorpsi ion logam berat.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Neneng et al., (2020) mikroalga potensial bioremediasi merkuri dari areal tambang emas Sungai Kahayan termasuk ke dalam genus *Chlorella* dan mampu bertahan dengan perlakuan konsentrasi Hg sampai 7 ppm, dan bakteri potensial bioremediasi merkuri dari areal tambang emas Sungai Kahayan mampu bertahan dengan perlakuan konsentrasi Hg sampai 13 ppm, isolat bakteri potensial termasuk ke dalam kelompok bakteri Gram Negatif yang merupakan spesies *Pseudomonas* sp.

Selain mikroorganisme bakteri dan mikroalga, adsorben yaitu arang aktif dan lempung merah juga potensial dalam bioremediasi merkuri.

Arang aktif merupakan salah satu adsorben yang banyak digunakan untuk pemurnian minyak, pemurnian pulp, penjernihan air dan penyerapan logam berat (Suryanti et al., 2019). Arang aktif mempunyai pori-pori terbuka, permukaannya luas sehingga memiliki daya serap tinggi (Fatmawati et al., 2021). Berdasarkan penelitian Viena et al., (2020) bahwa arang aktif mampu menurunkan kadar Besi (Fe) dan Mangan (Mn) pada sampel air. Lempung merah merupakan bahan alam yang mudah mengembang ketika terkena air dan adanya struktur berpori, kapasitas tukar kation yang tinggi, luas permukaan yang besar, serta stabilitas kimia dan mekanika. Lempung merah dapat mengadsorpsi kontaminan air, seperti kadmium (Cd) (Sadiana et al., 2018). Lempung merah dapat digunakan sebagai adsorben limbah merkuri. Berdasarkan prapenelitian yang dilakukan oleh Neneng et al., (2021) lempung merah dapat menyerap limbah merkuri mencapai 10 ppm.

Bioremediasi pada limbah cair yang mengandung logam berat memerlukan tahapan-tahapan proses. Menurut Pakharuddin et al., (2021) tahapan-tahapan dalam pengolahan limbah cair harus dilakukan secara berurutan dimulai dari tahap pertama (*Primary treatment*), tahap kedua (*Secondary treatment*), dan tahap ketiga atau tahap akhir (*Tertiary treatment*). Tahapan-tahapan dalam bioremediasi merkuri dapat dilakukan dengan menggunakan mikroorganisme dan adsorben yang berpotensi dalam bioremediasi merkuri. Bioremediasi merkuri menggunakan mikroorganisme dan adsorben memerlukan tahapan-tahapan yang sesuai, agar efektif dalam mengeliminasi merkuri. Penelitian ini bertujuan untuk Mengetahui pengaruh dan efektivitas tahapan bioremediasi terhadap eliminasi merkuri (Hg) di media cair.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperiment yang dilakukan di laboratorium. Kegiatan penelitian ini, meliputi: (1) Optimasi kultur mikroorganisme untuk bioremediasi merkuri pada media cair. (2) Optimasi adsorben untuk bioremediasi merkuri pada media cair.

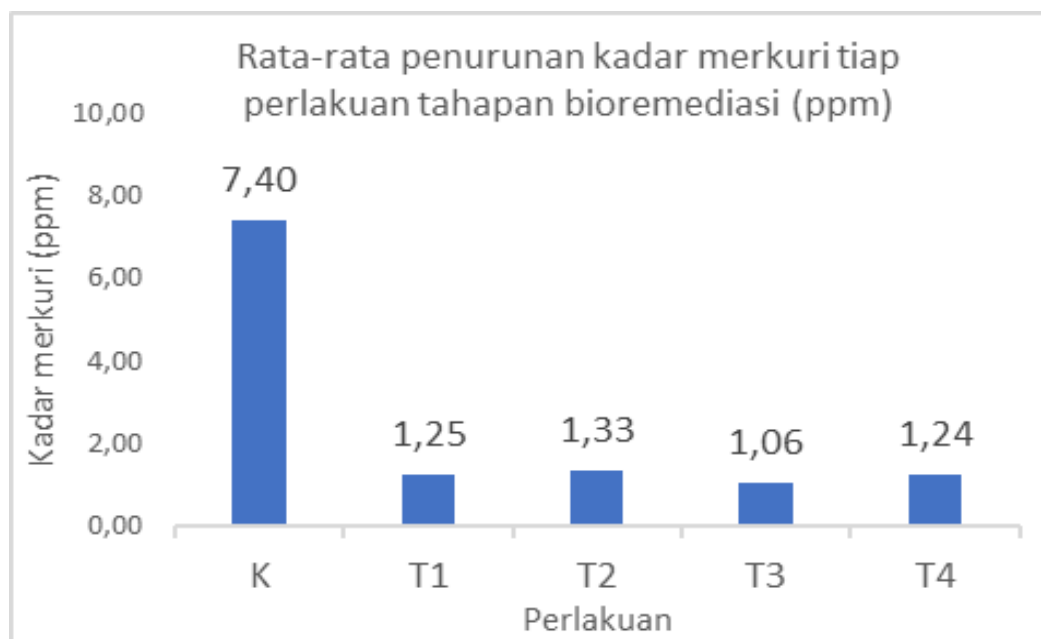
Sampel mikroorganisme dan adsorben diperoleh dari hasil penelitian sebelumnya. Sampel tersebut kemudian dioptimasi untuk bioremediasi merkuri (Hg) di media cair. Tahapan yang dilakukan ketika sampel sudah di optimasi, yaitu sebagai berikut: (1) Pemberian perlakuan pada penelitian, dimana mikroorganisme dan adsorben dimasukkan ke dalam alat bioreactor yang berbentuk paralel, kemudian diberi perlakuan berupa merkuri (Hg) 10 ppm. (2) Tahapan perlakuan bioremediasi ini terdiri dari control (Limbah Merkuri → Aquades → Output), perlakuan 1 (Limbah Merkuri → Lempung Merah → Mikroalga → Bakteri → Arang Aktif → Output), perlakuan 2 (Limbah Merkuri → Arang Aktif → Mikroalga → Bakteri → Lempung Merah → Output), perlakuan 3 (Limbah Merkuri → Mikroalga → Bakteri → Lempung Merah →

Arang Aktif→ Output), perlakuan 4 (Limbah Merkuri → Lempung Merah → Arang Aktif→ Mikroalga → Bakteri→ Output), dengan pengulangan sebanyak 5 kali pengulangan. (3) Sampel yang di beri perlakuan akan di analisis menggunakan AAS (Atomic Absorption Spectrophotometry), dan hasil yang diperoleh berupa sisa logam merkuri hasil bioremediasi.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil dari analisis merkuri (Hg) dengan menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*) menunjukkan bahwa tahapan bioremediasi berpengaruh terhadap efektivitas penurunan kadar merkuri. Kadar awal merkuri yaitu 10 ppm, setelah diberikan perlakuan mengalami penurunan yang berbeda disetiap perlakuannya yaitu T1 menjadi 1,25 ppm, T2 menjadi 1,33 ppm, T3 menjadi 1,06 ppm, dan T4 menjadi 1,24 ppm. Penurunan kadar merkuri terendah pada perlakuan T3 (Limbah Merkuri→Mikroalga→Bakteri→Lempung Merah→Arang Aktif). Berikut hasil analisis pengaruh tahapan bioremediasi terhadap efektivitas eliminasi merkuri (Hg) di media cair.

Berdasarkan hasil analisis kadar merkuri (Hg) di media cair menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*), diperoleh data secara rinci yang disajikan pada Gambar 1 diagram rata-rata penurunan kadar merkuri tiap perlakuan sebagai berikut.



Gambar 1. Diagram Rata - Rata Penurunan Kadar Merkuri Tiap Perlakuan (ppm)

Keterangan:

Perlakuan Tahapan Bioremediasi

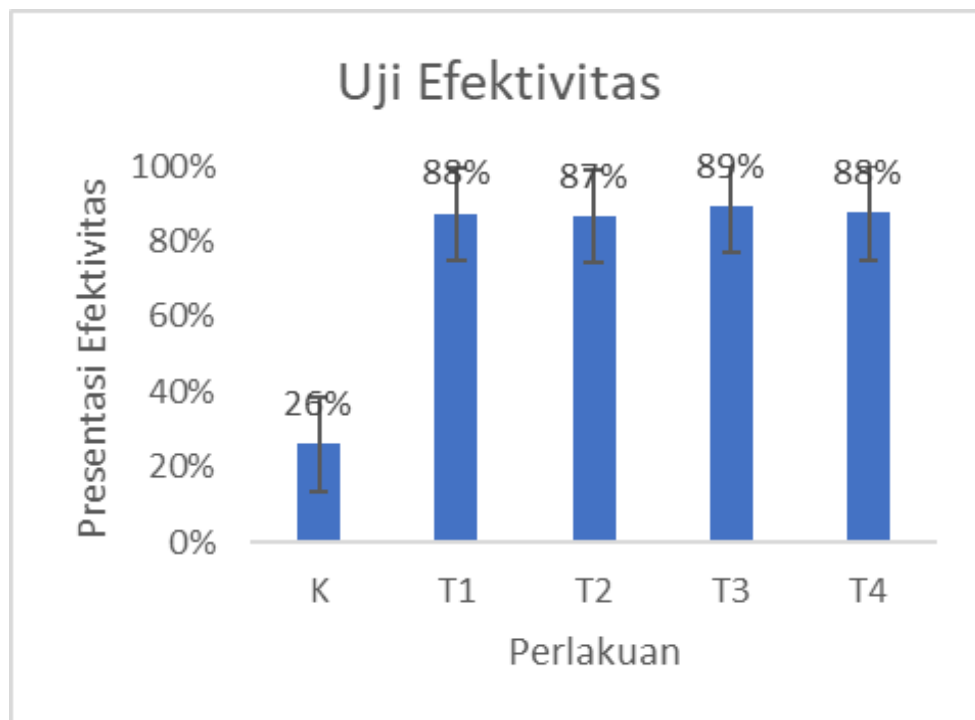
Kontrol = Limbah Merkuri → Aquades → Output

T1 = Limbah Merkuri → Lempung Merah → Mikroalga

		→ Bakteri → Arang Aktif → Output
T2	=	Limbah Merkuri → Arang Aktif → Mikroalga → Bakteri → Lempung Merah → Output
T3	=	Limbah Merkuri → Mikroalga Bakteri → Lempung Merah → Arang Aktif → Output
T4	=	Limbah Merkuri → Lempung Merah → Arang Aktif → Mikroalga → Bakteri → Output

Diagram pada Gambar 15 menunjukkan rata-rata penurunan kadar merkuri setiap perlakuan tahapan bioremediasi merkuri. Perlakuan T1 memiliki rata-rata 1,25 ppm, T2 memiliki rata-rata 1,33 ppm; T3 memiliki rata-rata 1,06 ppm; dan T4 memiliki rata-rata 1,24 ppm. Rata-rata penurunan kadar merkuri terendah pada tahapan dari perlakuan T3 (Limbah Merkuri → Mikroalga → Bakteri → Lempung Merah → Arang Aktif).

Uji Efektivitas dilakukan untuk menentukan tingkat efektivitas yang terjadi pada perlakuan tahapan bioremediasi merkuri (Hg) pada awal pengamatan dan pada akhir pengamatan (Saputra et al., 2016). Grafik uji efektivitas pada Gambar 2 di bawah ini menunjukkan bahwa pada perlakuan T3 memiliki tingkat efektivitas yang paling tinggi dibanding dengan perlakuan lainnya.



Gambar 2. Grafik Uji Efektivitas

Hasil uji efektivitas menunjukkan bahwa perlakuan T1 mencapai 88%, T2 mencapai 87%, T3 mencapai 89%, dan T4 mencapai 88%. Efektivitas eliminasi merkuri pada tiap perlakuan tahapan bioremediasi memiliki nilai efektivitas yang berbeda. Semakin rendah penurunan kadar merkuri dari data awal kadar merkuri,

maka semakin tinggi efektivitas yang dimilikinya (Djo et al., 2017). Tahapan bioremediasi yang paling tinggi efektivitasnya yaitu perlakuan T3 yang dimulai dari tahapan Limbah Merkuri → Mikroalga → Bakteri → Lempung Merah → Arang Aktif memiliki efektivitas sebesar 89%. Perbedaan efektivitas pada masing-masing perlakuan disebabkan karena perbedaan tahapan dalam proses bioremediasi. Menurut Krisnawati et al., (2015) pada setiap tahapan memiliki efektivitas yang berbeda-beda dalam bioremediasi logam berat, hal inilah yang mempengaruhi adanya pengurangan logam berat pada suatu perlakuan.

Tahapan yang paling efektif untuk eliminasi merkuri pada penelitian ini terdapat pada perlakuan T3 yang dimulai dari Limbah Merkuri→Mikroalga → Bakteri→ Lempung Merah→Arang Aktif, dengan nilai efektivitas sebesar 89%. Mikroorganisme (mikroalga dan bakteri) dan adsorben (lempung merah dan arang aktif) memiliki kemampuan dalam menurunkan merkuri. Penelitian Srininta (2021), menunjukkan bahwa mikroalga (*Chlorella* sp.) memiliki efektivitas bioremediasi merkuri sebesar 77%. Bakteri (*Pseudomonas* sp., *Klebsiella* sp., dan *Bacillus* sp.) memiliki efektivitas bioremediasi merkuri sebesar 91% (Zakaria, 2022). Lempung merah yang memiliki efektivitas bioremediasi merkuri sebesar 94% (Neneng et al., 2021); dan arang aktif memiliki efektivitas bioremediasi merkuri sebesar 77% (Nue, 2014). Mikroalga, bakteri, lempung merah dan arang aktif yang masing-masing memiliki kemampuan bioremediasi merkuri digabungkan dalam tahapan T3 agar lebih efektif dalam bioremediasi merkuri. Uji efektivitas pada tahapan T3 menunjukkan bahwa Mikroalga → Bakteri → Lempung Merah → Arang Aktif memiliki kemampuan mengeliminasi merkuri sebesar 89%.

KESIMPULAN

Kesimpulan berdasarkan hasil penelitian adalah sebagai berikut: (1) Tahapan bioremediasi berpengaruh signifikan terhadap efektivitas eliminasi merkuri (Hg) di media cair, hal ini terbukti dari hasil uji statistik yang dilakukan menggunakan uji One-way Anova diperoleh data penurunan yang berbeda-beda dari setiap perlakuan, dari kadar awal merkuri 10 ppm, perlakuan T1 menjadi 1,25 ppm, T2 menjadi 1,33 ppm, T3 menjadi 1,06 ppm, dan T4 menjadi 1,24 ppm. (2) Tahapan bioremediasi yang paling efektif untuk eliminasi merkuri (Hg) di media cair adalah perlakuan T3 yang dimulai dari Limbah Merkuri→ Mikroalga→ Bakteri→ Lempung Merah→Arang Aktif dengan nilai efektivitas eliminasi merkuri sebesar 89,4%..

DAFTAR RUJUKAN

- Abdullah, M. 2018. Isolasi dan identifikasi bakteri pendegradasi Merkuri (Hg) di sungai Waeapo kabupaten Buru (Doctoral dissertation, IAIN AMBON).
- Adywater. 2015. Cara Mendesain Teknik Penyaringan Air yang Sederhana.

- Aisyahluka, S. Z., Firdaus, M. L., & Elvia, R. 2018. Kapasitas Adsorpsi Arang Aktif Cangkang Bintaro (Cerbera odollam) Terhadap Zat Warna Sintetis Reactive RED-120 dan Reactive BLUE-198. *Alotrop*, 2(2).
- Anjani Hardiyanti, C., Kurniawan, A., Pi, S., & Eng, M. 2021. Analisis Aplikasi Bakteri Indigenous Sebagai Agen Bioremediasi Pencemaran Logam Berat di Perairan (Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya).
- Arief, M., & Finta, A. 2018. Efektivitas Pemakaian Filter Berpori Dan Karbon Aktif Sebagai Media Filter Dalam Menurunkan Polutan Air Pdam. *PROMOTIF: Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 8(1).
- BPH Nasional, Indonesia. 2017. Hasil Penyelarasan Naskah Akademik Rancangan Undang-Undang Pengesahan Minamata Covention On Mercury (Konvensi Minamata Mengenai Merkuri).
- Dash, H. R., Sahu, M., Mallick, B., & Das, S. 2017. Functional efficiency of MerA protein among diverse mercury resistant bacteria for efficient use in bioremediation of inorganic mercury. *Biochimie*, 142, 207-215.
- Dewi, E. R. S. 2020. *BIOREMEDIASI: Mikroorganisme Sebagai Fungsi Bioremdiasi pada Perairan Tercemar*. Universitas Negeri Semarang Press.
- Elawati, E., & Isa, I. 2019. Cemar Logam Merkuri (Hg) pada Air dan Sedimen Sungai Buladu Akibat Pertambangan Emas tanpa Izin (Peti) di Kecamatan Sumalata. *Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa dan Teknologi*, 7(1), 40-43.
- Fadhillah, M., & Wahyuni, D. 2016. Efektivitas Penambahan Karbon Aktif Cangkang Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis*) dalam Proses Filtrasi Air Sumur. *Jurnal Kesehatan Komunitas*, 3(2), 93-98.
- Fatmawati, S., Syar, N.I., Suhartono, S., Maulina, D., & Ariyadi, R. 2021. Arang Aktif Gambut Sebagai Filter Logam Berat Mercury (Hg). *Jurnal Ilmiah Sains*, 21 (1), 63-72.
- Fuadah, S.R., & Rahmayanti, M. 2019. Adsorpsi-Desorpsi Zat Warna Naftol Blue Black Menggunakan Adsorben Humin Hasil Isolasi Tanah Gambut Riau, Sumatera. *Analit: Analytical and Enviromental Chemistry*, 4(2), 59-67.
- Fitzgerald, W. F., Lamborg, C. H., & Hammerschmidt, C. R. 2007. Marine biogeochemical cycling of mercury. *Chemical Reviews*, 107(2), 641–662.
- Gilli, R. S., Karlen, C., Weber, M., Rüegg, J., Barmettler, K., Biester, H., Boivin, P., & Kretzschmar, R. 2018. Speciation and mobility of mercury in soils contaminated by legacy emissions from a chemical factory in the rhône valley in canton of valais, switzerland. *Soil Systems*, 2(3), 1–22.
- Gova, M. A., & Oktasari, A. 2019. Arang Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Adsorben Logam Berat Merkuri (Hg). In *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi*, 2(1), 1–14.
- Ilyas, Tan, V., & Kaleka, M. B. U. 2021. Penjernihan Air Metode Filtrasi untuk Meningkatkan Kesehatan Masyarakat RT Pu ' uzeze Kelurahan Rukun Lima Nusa Tenggara Timur. *Warta Pengabdian*, 15(1), 46–52.

- Harmesa, H. 2020. Teknik-Teknik Remediasi Sedimen Terkontaminasi Logam Berat. *Oseana*, 45(1), 1-16.
- Hatmoko, D. R. 2020. Pemanfaatan Komposit Zeolit/Claystone/Arang Aktif terhadap Logam Merkuri (Hg) Pada Aktivitas Penambangan Emas tanpa Izin (Peti) di Desa Ulak Jaya Kabupaten Sintang. Doctoral dissertation Sebelas Maret University.
- Hatmoko, D. R., & Ramelan, A. H. 2020. The Effectiveness of Zeolite/Claystone/Activated Charcoal Composite in Reducing Levels of Mercury (Hg) in the Waste Resulting from the Activities of Unlicensed Gold Mining (PETI) in Sintang. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 858(1).
- Irianti, T. T., Kuswandi, Nuranto, S., & Budiyatni, A. 2017. Logam Berat dan Kesehatan.
- Kapahi, M., & Sachdeva, S. 2019. Bioremediation Options for Heavy Metal Pollution. 9(24).
- Khoiroh, Z. 2020. Bioremediasi Logam Berat Timbal (Pb) dalam Lumpur Lapindo Menggunakan Campuran Bakteri (*Pseudomonas pseudomallei* dan *Pseudomonas aeruginosa*).
- Lumbanraja, P. 201. Mikroorganisma Dalam Bioremediasi. Tesis, September.
- Lutfi, S. R., Wignyanto, W., & Kurniati, E. (2018). Bioremediasi Merkuri Menggunakan Bakteri Indigenus dari Limbah Penambangan Emas di Tumpang Pitu, Banyuwangi. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 19(1), 15-24.
- Lutfi, S. R. 2017. Bioremediasi Limbah Cair Mengandung Merkuri Menggunakan Bioreaktor Sederhana (Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya).
- Melati, I. 2021. Teknik Bioremediasi: Keuntungan, Keterbatasan dan Prospek Riset. *Prosiding Biotik*, 8(1).
- Mohamed, T., Abdelkader, E., Nadjia, L., & Abdelkader, D. 2020. Study of the interaction of heavy metals (Cu(II), Zn(II)) ions with a clay soil of the region of Naima-Tiaret-Algeria. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 15(3), 765–785.
- Muhdarina, M., Mohammad, A. W., & Muchtar, A. 2010. Prospektif Lempung Alam Cengar Sebagai Adsorben Polutan Anorganik Di Dalam Air: Kajian Kinetika Adsorpsi Kation Co (II). *Reaktor*, 13(2), 81-88.
- Munandar, M., & Alamsyah, A. 2016. Kajian Kandungan Logam Berat Merkuri (Hg) pada Kerang Air Tawar (*Anodonta Sp*) di Kawasan Hilir Sub Das Krueng Meureubo, Aceh Barat. *Jurnal Perikanan Tropis*, 3(1).
- Neneng, L., Ardianoor, A., Usup, H. L. D., Adam, C., Zakaria, Z., Ghazella, A., Perangin-angin, S. B., & Alvianita, V. 2020. Potensi *Chlorella sp.* dan *Pseudomonas sp.* dari Areal Tambang Emas sebagai Mikroorganisme Potensial Pereduksi Merkuri. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18(3), 617–625.
- Neneng, L., Karelius, Adam, C., & Zakaria. 2021. Eksplorasi Lempung Alam Potensial untuk Eliminasi Limbah Merkuri (Hg).

- Nue, S. W. 2014. Pembuatan Arang Aktif Dari Tempurung Kelapa Sebagai Adsorben Logam Merkuri (Hg).
- Ortega, E., Ramos and Flores-Cano., 2013, Binary Adsorption of Heavy Metals from Aqueous Solution Onto Natural Clays. *Chemical Engineering Journal*, 225, 535-546.
- Pakharuddin, N. H., Fazly, M. N., Sukari, S. A., Tho, K., & Zamri, W. F. H. 2021. Water treatment process using conventional and advanced methods: A comparative study of Malaysia and selected countries. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 880, No. 1, p. 012017).
- Pamungkas, N. D., Firmansyah, A., & Ethica, S. N. 2018. Isolasi dan Uji Patogenitas Bakteri Indigen Penghasil Enzim Selulase dari Limbah Ampas Kelapa di Pasar Tradisional Ngawen untuk Bioremediasi. In *Prosiding Seminar Nasional Mahasiswa Unimus* (Vol. 1).
- Peng, W., Li, X., Xiao, S., & Fan, W. 2018. Review of remediation technologies for sediments contaminated by heavy metals. *Journal of Soils and Sediments*, 18(4):1701-1719.
- Pramesti, A. R., Mustika, S., Habibah, N., Puspitarini, S., Serlie, M., & Aji, O. R. 2019. Mikroorganisme sebagai agen bioremediasi limbah merkuri (Hg) penambangan emas. In *Symposium of Biology Education (Symbion)* (Vol. 2).
- Rahayu, S. P. 2008. Peranan Mikroorganisme Dalam Bioremediasi Tanah Yang Tercemar Logam Berat Dari Limbah Industri (Review). In *Jurnal Kimia dan Kemasan* (pp. 21–29).
- Rahayu, S. 2017. Pemanfaatn Eceng Gondok Sebagai Pengikat Logam Berat Pada Air Sungai Kahayan Di Kota Palangka Raya. *Jurnal Ilmiah Kanderang Tingang*, 8(2), 106-111.
- Sadiana, I.M., Fatah, A.H., & Karelius, K. 2018. Aktivasi dan Karakterisasi Lempung Alam Asal Kalimantan Tengah Sebagai Salah Satu Alternatif Bahan Adsorben. In: *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Fisika "MotoGPE"*
- Said, N. I. 2018. Metoda penghilangan logam merkuri di dalam air limbah industri. *Jurnal Air Indonesia*, 6(1).
- Siagian, C., & Simanjuntak, G. 2015. Prosiding Seminar Nasional Membangun Indonesia yang Berkelanjutan Sehat adalah Dasar Kualitas Sumber Daya Manusia.
- Soeprobowati, T. R., & Hariyati, R. 2013. Potensi Mikroalga Sebagai Agen Bioremediasi Dan Aplikasinya Dalam Penurunan Konsentrasi Logam Berat Pada Instalasi Pengolah Air Limbah Industri. *Laporan Tahunan/Akhir Penelitian Fundamental*, 11(2), 14–17.
- Suryani, Y. 2011. Bioremediasi limbah merkuri dengan menggunakan mikroorganisme pada lingkungan yang tercemar. *Jurnal Istek*, 5(1-2).

- Suryanti, T., Ambarwati, D. A., Udyani, K., & Purwaningsih, D. Y. 2019. Penurunan Kadar Tss Dan Cod Pada Limbah Cair Industri Batik Dengan Metode Gabungan Koagulasi Dan Adsorpsi. In Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan (Vol. 1, No. 1, pp. 113-118).
- Susanti, W. I., & Trinanda, R. 2017. Potensi bakteri asal tanah rizosfer, sedimen tanah, dan pupuk kandang sapi untuk biodegradasi minyak berat dan oli bekas. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 41(1), 37-44.
- Syauqiah, I., Amalia, M., & Kartini, H. A. 2011. Analisis variasi waktu dan kecepatan pengaduk pada proses adsorpsi limbah logam berat dengan arang aktif. *Info-Teknik*, 12(1), 11-20.
- Tortora, G. J., Funke, B. R. & Case, C. L., 2010, *Microbiology an introduction* 10th edition, Pearson edition, Inc., Publishing as Pearson Benjamins Cummings, San Francisco, 1301 Sansome.
- Ulfa, A., Suarsini, E., & al Muhdhar, M. H. I. 2016. Isolasi dan uji sensitivitas merkuri pada bakteri dari limbah penambangan emas di Sekotong Barat Kabupaten Lombok Barat: Penelitian Pendahuluan. In *Proceeding Biology Education Conference: Biology, Science, Enviromental, and Learning* (Vol. 13, No. 1, pp. 793-799).
- Wigyanto. 2020. *Bioremediasi dan Aplikasinya*. N.P: Universitas Brawijaya Press.
- Viena, V., Bahagia, B., & Afrizal, Z. 2020. Produksi Karbon Aktif dari Cangkang Sawit dan Aplikasinya Pada Penyerapan Zat Besi, Mangan Dan pH Air Sumur. *Jurnal Serambi Engineering*, 5(1).
- Wicakso, D. R., Mirwan, A., & Abdullah, A. 2012. Upaya Penurunan Kadar Merkuri Dalam Media Air Menggunakan Adsorben 2-Mercaptobenzothiazole (Mbt)–Lempung Aktif. *Konversi*, 1(1), 7.
- Zunita, W. 2019. Analisis Bentuk Kasus Fenomena Minamata.