

Penurunan Kadar Pb Limbah Cair Laboratorium Klinik Menggunakan Fitoremediasi Dengan Penambahan Media Adsorpsi

Putri Nur Fatekhah^{1*}, Raden Kokoh Haryo Putro¹

¹*Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional
"Veteran" Jawa Timur*

**E-mail: putrifatekhahnur@gmail.com*

Abstrak

*Limbah cair dari laboratorium klinik merupakan sumber potensial pencemaran air karena mengandung senyawa organik, senyawa anorganik dan unsur berbahaya. Berdasarkan pengujian awal, kandungan limbah Pb melampaui batas mutu. Metode fitoremediasi dengan tanaman kiambang (*Salvinia molesta*) dan paku air (*Azolla pinnata*) digunakan untuk menghilangkan polutan pada perairan tercemar. Terdapat media adsorpsi tambahan berupa zeolit dan pasir mangan (*Manganese greensand*) sebagai media pendukung dalam efisiensi penyisihan, dengan ketebalan yang berbeda-beda. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis efektivitas dan pengaruh perbandingan variasi jenis tanaman, ketebalan media adsorpsi dan waktu kontak dalam mereduksi Pb terhadap limbah cair dari laboratorium klinik. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini, yang paling efektif adalah variasi kombinasi tanaman *Salvinia molesta* dan *Azolla pinnata* dengan ketebalan media adsorpsi 3:2 cm pada waktu kontak 4 hari dalam mereduksi Pb sebesar 0.087 mg/L dan dibawah baku mutu berdasarkan PERMEN LH No. 5 Tahun 2014.*

Kata kunci: *Fitoremediasi, kiambang, paku air, pasir mangan, zeolit*

PENDAHULUAN

Laboratorium klinik merupakan fasilitas kesehatan yang memiliki kegiatan pemeriksaan di bidang hematologi, kimia klinik, mikrobiologi, radiologi, serta aktivitas domestik menghasilkan limbah cair. Limbah cair ini berpotensi mencemari lingkungan perairan karena mengandung senyawa organik, anorganik, serta unsur-unsur berbahaya (Irawansyah, dkk., 2022). Beberapa unsur berbahaya yang ada dalam limbah cair laboratorium antara lain timbal (Pb), krom (Cr), besi (Fe), dan perak (Ag) (Nurhayati, dkk., 2020). Timbal (Pb) merupakan salah satu logam berat dengan sifat toksisitas dan akumulatif yang tinggi (Umar, dkk., 2021). Tidak ada nilai ambang batas di bawahnya yang dapat dianggap aman dari paparan logam berat (Putra, dkk., 2023). Untuk mencegah terjadinya pencemaran lingkungan, sebelum dibuang ke badan air harus dilakukan pengolahan terlebih dahulu agar kandungan di dalamnya tidak membahayakan lagi bagi lingkungan atau makhluk hidup. Oleh karena

itu, diperlukan adanya teknologi untuk pengolahan limbah cair laboratorium klinik dengan biaya yang murah dan memiliki efisiensi tinggi. Salah satu teknologi yang dapat digunakan adalah fitoremediasi, merupakan metode untuk menghilangkan polutan dalam perairan yang terkontaminasi dengan menggunakan tanaman. Pendekatan ini memanfaatkan tanaman hiperakumulator yang menyerap kontaminan, termasuk logam berat melalui akarnya dan mengangkutnya ke bagian tanaman di atas tanah (Salim, dkk., 2024). Beberapa jenis tanaman air yang dapat digunakan untuk proses fitoremediasi adalah kayu apu, genjer, kiambang, kangkung air, melati air, eceng gondok, kangkung, rumput teki, paku air dan lainnya.

Pada penelitian ini menggunakan tanaman kiambang (*Salvinia molesta*) dan paku air (*Azolla pinnata*) karena merupakan tanaman hiperakumulator dengan kemampuan penyerapan yang baik. Kiambang merupakan tanaman remediasi yang efektif untuk menghilangkan polutan organik dan anorganik karena kapasitas hiperakumulasinya yang kuat dan pertumbuhan yang cepat. Selain itu, tanaman ini memiliki nilai ekonomis yang rendah (Damayanti, dkk., 2023). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ramadhani (2020) tanaman kiambang dapat menyisihkan timbal (Pb) pada limbah cair kain jumpitan dengan penurunan sebesar 81.71%. Paku air menunjukkan kemampuan pertumbuhan yang luar biasa dengan populasinya yang mampu berlipat ganda hanya dalam waktu 2-4 hari. Ekspansi biomassa yang luar biasa ini menjadikan paku air sebagai kandidat yang cocok digunakan dalam sistem fitoremediasi. Paku air juga mampu menyerap kadar timbal (Pb) sebesar 3.89 ppm di dalam akarnya (Fariha, dkk., 2023). Pada metode yang digunakan, terdapat tambahan media adsorpsi berupa *zeolite* dan pasir mangan (*Manganese greensand*) sebagai media penunjang dalam efisiensi penyisihan. Pemilihan media adsorpsi tersebut karena dapat menurunkan timbal (Pb) sebesar 20.79% pada limbah cair *recycle* aki bekas (Ali, dkk., 2020), sedangkan pada pasir mangan tidak banyak peneliti yang melakukan penelitian untuk menyisihkan kadar timbal. Namun, melapisi permukaan pasir dengan oksida logam dinilai efektif dalam mengurangi kandungan logam berat dalam air (Halim, dkk., 2022). Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan pengolahan metode fitoremediasi dengan penambahan media adsorpsi agar didapatkan efektivitas dan hubungan perbandingan jenis tanaman, ketebalan media adsorpsi dan waktu kontak dalam menyisihkan kadar Pb pada limbah cair laboratorium klinik.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

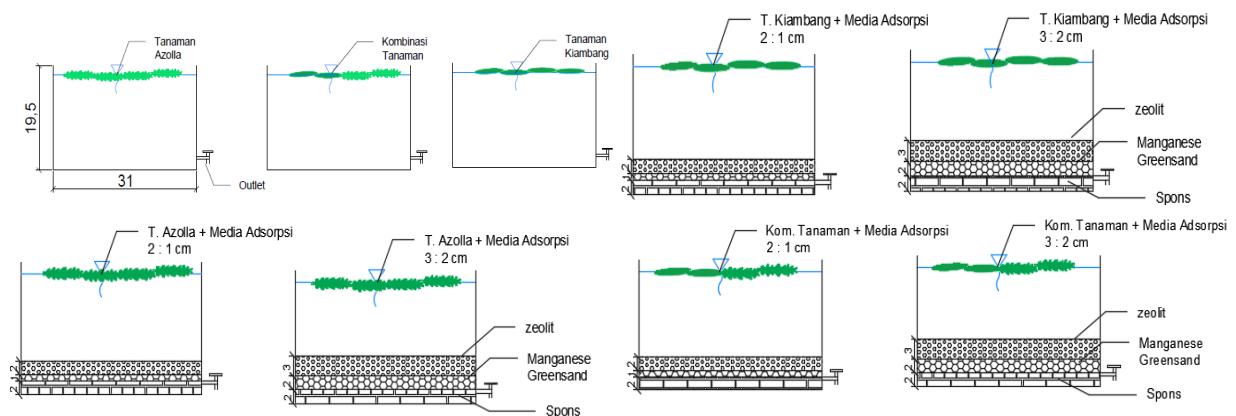
Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain ayakan, reaktor ukuran 15 L, jerigen dan selang air. Bahan yang digunakan adalah tanaman kiambang (*Salvinia molesta*), paku air (*Azolla pinnata*), zeolit, *manganese greensand*, spons, akuades dan air limbah.

Rancangan dan Variabel Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan variabel jenis tanaman yaitu tanaman kiambang (*Salvinia molesta*), paku air (*Azolla pinnata*) dan kombinasi keduanya, variabel ketebalan media adsorpsi yaitu zeolit dan *manganese greensand* perbandingan tebalnya 2:1 cm dan perbandingan 3:2 cm. Susunan medianya dari bawah ke atas: spons sebagai media penyangga, *manganese greensand* dan zeolit berada di atas. Serta dengan variasi waktu kontak 2, 4 dan 6 hari. Air limbah yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak 12 L tiap reaktor. Rancangan dan variabel penelitian ditampilkan pada Tabel 1 dan Gambar 1.

Tabel 1. Rincian Variabel Penelitian

Kode Sampel	Keterangan
TK	Perlakuan dengan tanaman kiambang (<i>Salvinia molesta</i>)
TA	Perlakuan dengan tanaman paku air (<i>Azolla pinnata</i>)
KT	Perlakuan dengan kombinasi kedua tanaman
TKA1	Perlakuan tanaman kiambang (<i>Salvinia molesta</i>) + adsorben (<i>Zeolite</i> dan <i>Manganese greensand</i>) ketebalan 2:1 cm
TKA2	Perlakuan tanaman kiambang (<i>Salvinia molesta</i>) + adsorben (<i>Zeolite</i> dan <i>Manganese greensand</i>) ketebalan 3:2 cm
TAA1	Perlakuan tanaman paku air (<i>Azolla pinnata</i>) + adsorben (<i>Zeolite</i> dan <i>Manganese greensand</i>) ketebalan 2:1 cm
TAA2	Perlakuan tanaman paku air (<i>Azolla pinnata</i>) + adsorben (<i>Zeolite</i> dan <i>Manganese greensand</i>) ketebalan 3:2 cm
KTA1	Perlakuan kombinasi tanaman + adsorben (<i>Zeolite</i> dan <i>Manganese greensand</i>) ketebalan 2:1 cm
KTA2	Perlakuan kombinasi tanaman + adsorben (<i>Zeolite</i> dan <i>Manganese greensand</i>) ketebalan 3:2 cm



Gambar 1. Rancangan Reaktor.

Aklimatisasi dan Range Finding Test

Aklimatisasi tanaman kiambang dan paku air dilakukan supaya tanaman mampu beradaptasi pada kondisi lingkungan baru sebelum penelitian dilakukan. Tanaman yang akan digunakan dibersihkan terlebih dahulu dari kotoran (Fariha, dkk., 2023). Pada penelitian ini tahapan aklimatisasi dilakukan selama 7 hari dengan penambahan air bersih sebanyak 12 L. Pada tahap aklimatisasi, apabila tanaman tidak mengalami perubahan pada kondisi fisik atau morfologi dan masih hidup, maka dapat disimpulkan tanaman tersebut dapat bertahan hidup pada kondisi yang baru, sehingga tanaman dapat digunakan untuk penelitian. *Range finding test* (RFT) merupakan tahapan untuk menentukan konsentrasi optimal limbah yang diinginkan tanaman, sehingga tanaman dapat tumbuh dengan baik selama proses fitoremediasi. Proses pengenceran limbah dapat digunakan untuk mendapatkan tahapan RFT (Ruzzi, dkk., 2023). Tahap RFT melibatkan variasi konsentrasi limbah yaitu 0-100% Pada tahapan ini menggunakan volume sebanyak 12 L dengan waktu selama 7 hari.

Aktivasi Media

Proses aktivasi media zeolit dilakukan melalui dua cara, yaitu pertama dengan mengoven zeolit pada suhu 220°C selama 2 jam. Setelah dipanaskan lanjut ke proses kedua, yakni dengan merendam zeolit dengan HCl 2 M selama 60 menit, kemudian dibilas dengan akuades dan dikeringkan (Ali, dkk., 2020). *Manganese greensand* diaktivasi dengan direndam ke dalam akuades dengan pH 7 kemudian dikeringkan (Halim, dkk., 2022). Setelah diaktivasi, media adsorpsi tersebut dimasukkan ke dalam bak reaktor.

Pengumpulan Data

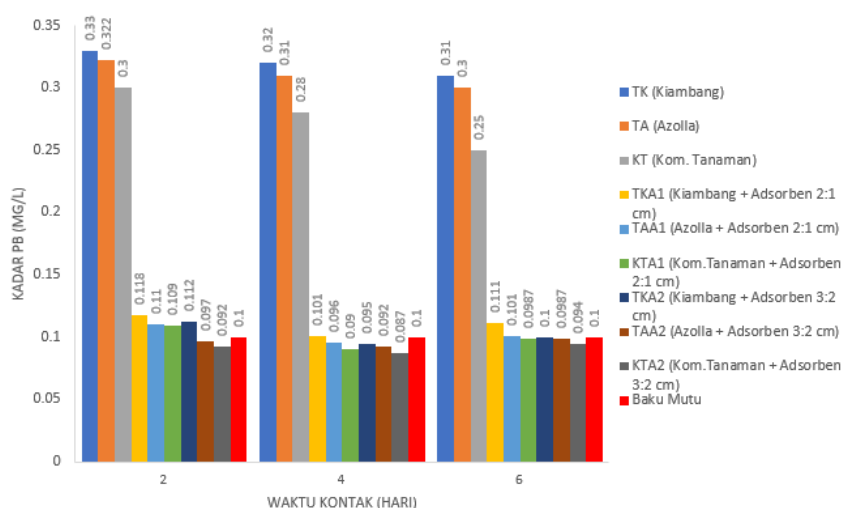
Data kadar Pb awal dan akhir dari hasil pengujian di UPT Dinas Lingkungan Hidup Pemprov Jatim dengan acuan metode SM APHA 24th, 303E, 3111B, 2023. Pengukuran pH menggunakan pH meter dan suhu menggunakan termometer digital. Pengukuran oksigen terlarut dilakukan di Laboratorium Air Teknik Lingkungan, UPN “Veteran Jawa Timur dengan mengacu pada SNI 6989.14:2004.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji limbah cair laboratorium klinik di UPT Dinas Lingkungan Hidup Pemprov Jatim. Selama proses *Range finding test* (RFT), didapatkan konsentrasi air limbah sebesar 50% ditandai dengan tanaman yang tidak layu. Kadar Pb dalam air limbah laboratorium klinik yang diencerkan sebesar 0.459 mg/l. Kadar tersebut melampaui batas yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014.

Hasil Penurunan Kadar Pb

Penelitian ini menggunakan 12 L air limbah ke dalam reaktor dengan 3 variasi jenis tanaman yaitu tanaman kiambang (*Salvinia molesta*), tanaman paku air (*Azolla pinata*) dan tanaman kombinasi. 6 reaktor dengan gabungan variasi jenis tanaman dan variasi ketebalan media adsorpsi. Penelitian ini dilakukan dengan pengambilan sampel setiap 2 hari sekali selama 6 hari. Hasil yang diperoleh berbeda antara satu jenis tanaman dan kombinasi tanaman, ketebalan media adsorpsi serta perbedaan antara tanaman saja dengan gabungan tanaman dan media adsorpsi yang dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3 berikut.

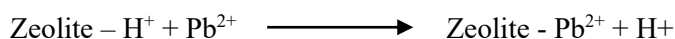


Gambar 2. Penurunan Kadar Pb.

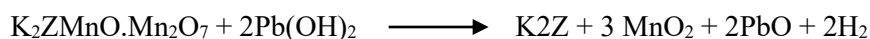
Perlakuan TK menunjukkan penurunan kadar Pb secara bertahap yaitu 0.33 mg/L pada hari ke-2, 0.32 mg/L pada hari ke-4, dan kembali menjadi 0.33 mg/L pada hari ke-6. Sementara itu, TA mengalami penurunan berturut-turut sebesar 0.322 mg/L di hari ke-2, 0.31 mg/L di hari ke-4, dan 0.3

mg/L di hari ke-6. KT menghasilkan penurunan kadar Pb sebesar 0.3 mg/L pada hari ke-2, 0.28 mg/L pada hari ke-4, dan 0.25 mg/L pada hari ke-6. Perlakuan TKA1 menghasilkan penurunan kadar Pb masing-masing sebesar 0.118 mg/L, 0.101 mg/L, dan 0.111 mg/L pada hari ke-2, ke-4, dan ke-6. TAA1 menunjukkan hasil penurunan sebesar 0.11 mg/L pada hari ke-2, 0.096 mg/L pada hari ke-4, dan 0.101 mg/L pada hari ke-6. KTA1 memberikan hasil penurunan berturut-turut sebesar 0.109 mg/L, 0.09 mg/L, dan 0.0987 mg/L. TKA2 mencatat penurunan kadar Pb sebesar 0.112 mg/L pada hari ke-2, 0.095 mg/L pada hari ke-4, dan 0.1 mg/L pada hari ke-6. Untuk TAA2, penurunan yang terjadi adalah 0.097 mg/L, 0.092 mg/L, dan 0.0987 mg/L secara berurutan. Sementara itu, KTA2 menunjukkan penurunan paling signifikan yaitu 0.092 mg/L pada hari ke-2, 0.087 mg/L pada hari ke-4, dan 0.094 mg/L pada hari ke-6. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa perlakuan menggunakan tanaman dengan penambahan media adsorpsi memberikan pengaruh dalam menurunkan Pb dibandingkan dengan tanaman saja. Kombinasi tanaman memberikan pengaruh yang lebih besar dibandingkan tanaman *Salvinia molesta* maupun *Azolla pinnata* dan tanaman *Azolla pinnata* juga memberikan pengaruh yang cukup besar dibandingkan dengan tanaman *Salvinia molesta* dalam menurunkan Pb. Kombinasi tanaman tersebut jauh lebih tinggi dalam menurunkan polutan dibandingkan dengan tanaman *Salvinia molesta* atau *Azolla pinnata* saja, hal ini dikarenakan proses fitoremediasi dapat bekerja secara sinergis yang mampu mengurangi polutan secara lebih efektif dan menyeluruh.

Penurunan kadar Pb dalam air limbah oleh kedua jenis tanaman tersebut disebabkan adanya akumulasi timbal (Pb) oleh tanaman yang terjadi di akar melalui mekanisme rhizofiltrasi. Proses penyerapan logam Pb oleh akar tanaman juga didukung oleh keberadaan mikroorganisme di sekitar sistem perakaran. Mikroorganisme tersebut membentuk hubungan simbiosis dengan tanaman, dimana akar mengeluarkan eksudat yang berguna sebagai sumber nutrisi bagi mikroorganisme tersebut. Pada gilirannya, mikroorganisme membantu menguraikan molekul kompleks menjadi molekul yang lebih sederhana sehingga lebih mudah diserap oleh akar tanaman (Ramadhani, 2020). Perlakuan menggunakan media adsorpsi memiliki pengaruh dalam menurunkan Pb dibandingkan hanya dengan menggunakan tanaman saja. Serta ketebalan media adsorpsi 4:3 cm memiliki pengaruh yang lebih besar daripada 3:2 cm dan 2:1 cm dalam menurunkan Pb. Semakin tebal media yang digunakan, maka semakin banyak bahan penyerap yang tersedia untuk menghilangkan polutan. Ketebalan media juga memengaruhi luas permukaan total. Semakin tebal media, maka semakin luas pula permukaan yang tersedia untuk terjadinya proses penyerapan (Wowor, dkk., 2023). Penurunan kadar Pb juga dikaitkan dengan peran zeolit sebagai penyerap yang efektif. Aktivasi zeolit bertujuan untuk meningkatkan luas permukaan dan membuka pori-pori internal, sehingga daya serapnya meningkat. Luas permukaan pori-pori yang lebih besar memungkinkan lebih banyak zat untuk diadsorpsi (Ali, dkk., 2020). Dalam proses penyerapannya dengan menggunakan zeolit, ion-ion logam Pb^{2+} yang ada dalam air limbah laboratorium ditangkap oleh pori-pori permukaan zeolit dan dipertukarkan dengan kation H^+ yang awalnya pada permukaan zeolit mengikuti reaksi berikut:



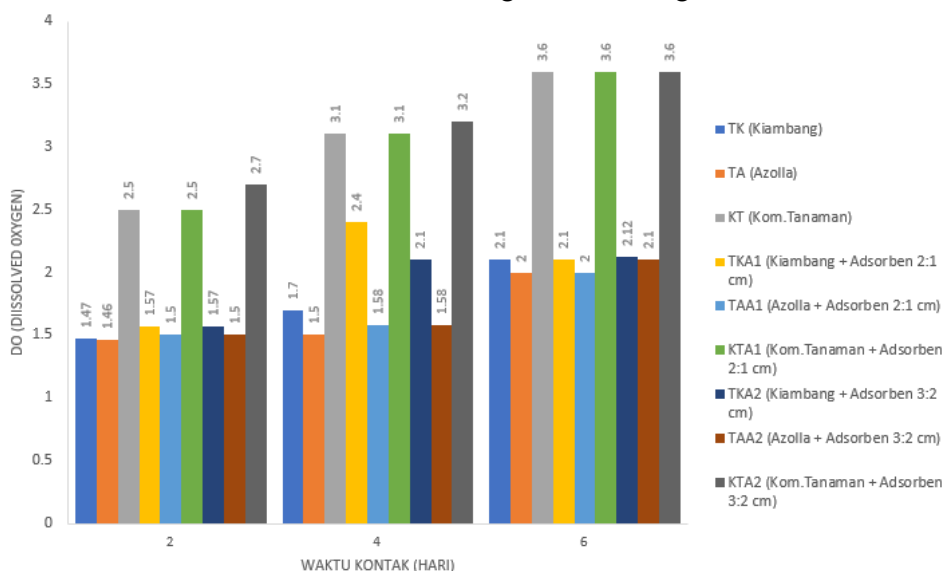
Proses pertukaran ion terjadi antara ion logam Pb^{2+} dengan kation H^+ yang mengakibatkan ion Pb^{2+} terperangkap dalam pori zeolit. Ion H^+ mudah tergeser dan ikatannya yang lebih lemah, sehingga ion logam Pb^{2+} dapat melekat dan diserap secara efektif (Ali, dkk., 2020). Aktivasi dengan HCl dapat menghilangkan Ca, Mg, Na, K, Al dan Fe dari struktur zeolit, yang dapat digantikan dengan ion H^+ sehingga dapat bertukar ion dengan Pb (Senila & Cadar, 2024). *Manganese greensand* memiliki kemampuan adsorpsi dimana partikel timbal (Pb^{2+}) diikat dengan cara pertukaran ion terhadap partikel mangan. Berikut adalah reaksi pertukaran ion oleh *manganese greensand*:



Dalam proses ini, sebagian MnO yang terdapat pada *manganese greensand* akan bertukar dengan ion Pb^{2+} di dalam pori-pori permukaan (Badriyah, dkk., 2025). Jika dilihat berdasarkan waktu kontak, variasi jenis tanaman tanpa media adsorpsi memiliki hasil yang tinggi hingga hari ke-6 dalam menurunkan Pb. Penurunan ke empat parameter tersebut juga dipengaruhi oleh waktu kontak, semakin lama terpapar polutan, semakin banyak kontaminan yang diserapnya. Namun, hal ini hanya berlaku selama tanaman air belum mencapai kondisi jenuh (layu). Jika tanaman sudah jenuh meskipun waktu kontak diperpanjang, tanaman tak lagi mampu menyerap polutan (Alya & Haryanto, 2022). Namun, media adsorpsi ini memiliki waktu kontak yang efektif hanya pada 4 hari dibandingkan dengan 6 hari, efektivitas penyerapan cenderung menurun karena pori-pori adsorben menjadi jenuh dan terisi oleh zat polutan yang sebelumnya telah diserap (Zaharah, dkk., 2023). Penurunan Pb paling efektif terdapat pada perlakuan tanaman + media adsorpsi dibandingkan dengan perlakuan tanaman saja. Variasi terbaik adalah variasi kombinasi tanaman + media adsorpsi ketebalan 3:2 cm dengan waktu kontak 4 hari sebesar 0.087 mg/L dan berada di bawah baku mutu yakni 0,1 mg/L menurut Permen LH No. 5 Tahun 2014.

Parameter Oksigen Terlarut (*Dissolved Oxygen, DO*)

Oksigen terlarut merupakan parameter utama dalam menilai kualitas air, karena sangat penting dalam memfasilitasi reaksi oksidasi dan reduksi zat organik dan anorganik.



Gambar 2. Grafik Oksigen Terlarut.

Berdasarkan grafik pada Gambar 2 di atas, perlakuan variasi jenis tanaman dan kombinasi antara jenis tanaman dengan media adsorpsi dapat meningkatkan kadar DO dalam perairan meskipun tidak terlalu berbeda. Parameter DO dengan rata-rata pada hari ke-2 yaitu 1.46-2.7 mg/L, hari ke-4 yaitu 1.5-3.2 mg/L, hari ke-6 yaitu 2-3.6 mg/L. Peningkatan kadar DO terbesar terjadi pada kombinasi variasi tanaman yaitu sebesar 3.6 mg/L. Oksigen berperan sebagai indikator penting kualitas air karena DO terlibat dalam proses redoks yang secara alami membantu mengurangi kadar polutan. Konsentrasi oksigen terlarut dapat ditingkatkan melalui penggunaan tanaman air yang melepaskan oksigen ke dalam air selama fotosintesis. Hal tersebut menunjukkan bahwa tanaman dapat berperan baik dalam penyerapan kontaminan yang ada. Oksigen terlarut yang tinggi disebabkan oleh meningkatnya aktivitas fotosintesis yang mendukung kinerja mikroorganisme (Fitriana & Kuntjoro, 2020). Menurunnya kadar logam berat berkontribusi terhadap peningkatan oksigen terlarut, seiring terpenuhinya kebutuhan oksigen bagi tanaman untuk menyerap logam berat melalui akar, yang

didukung oleh proses perombakan oleh mikroorganisme. Mikroorganisme aerob memerlukan oksigen untuk memecah senyawa kompleks logam menjadi senyawa sederhana seperti amoniak dan nitrogen yang dapat diserap oleh tanaman, juga merupakan salah satu sumber nutrisi bagi pertumbuhan tanaman sehingga secara tidak langsung dapat berkontribusi dalam peningkatan oksigen (Silviana & Rachmadiarti, 2023). Perbedaan ketebalan media memengaruhi kadar DO, karena semakin tebal media maka semakin besar luas permukaan kontak antara air dengan oksigen, sehingga jumlah oksigen terlarut dalam air akan semakin meningkat.

KESIMPULAN

Variasi jenis tanaman dengan media adsorpsi dan waktu kontak berpengaruh terhadap penurunan kadar Pb. Pada variasi jenis tanaman waktu kontak efektif pada hari ke-6, variasi jenis tanaman + ketebalan media pada waktu kontak hari ke-4. Efektivitas metode fitoremediasi dengan penambahan media adsorpsi berdasarkan ketiga variasi tersebut diperoleh pada variasi kombinasi tanaman + ketebalan media adsorpsi 3:2 cm waktu kontak hari ke-4 dalam menurunkan Pb sebesar 0.087 mg/L dan jika dibandingkan dengan baku mutu menurut Permen LH No. 5 Tahun 2014 yakni 0.1 mg/L hasil tersebut sudah memenuhi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, R.M., Hendrawati, T.Y., Ismiyati, dan Fithriyah, N.H., 2020. *Pengaruh Jenis Adsorben terhadap Efektifitas Penurunan Kadar Timbal Limbah Cair Recycle Aki Bekas*. Jurnal Teknologi Universitas Muhammadiyah Jakarta. 12(1): 87–92. DOI: <https://dx.doi.org/10.24853/jurtek.12.1.87-92>.
- Alya, F., dan Haryanto. 2022. *Pengaruh Waktu Kontak dan Bobot Biomassa Kangkung Air (Ipomoea aquatica) Terhadap Penurunan Kadar Total Suspended Solid (TSS) Air Limbah Rumah Sakit dengan Metode Fitoremediasi*. Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL). 4(2):1-8. DOI: <https://doi.org/10.35970/jppl.v4i2.1469>.
- Badriyah, L., Hanif, M., Savira, M., dan Putri, A., 2025. *Pemanfaatan Pasir Silika, Manganese Greensand, dan Karbon Aktif sebagai Bahan Filter Air Telaga Desa Rancang Kencono Lamongan untuk keperluan sehari-hari yang kualitasnya berbeda dengan kualitas air minum Berdasarkan survei awal lapangan*. Envitats. 5(1).
- Damayanti, A., Khasanah, N., Kholifah, S.N., 2023. *Efektivitas Tanaman Salvinia molesta Sebagai Agen Fitoremediasi*. Jurnal Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. 1: 74-78.
- Fariha, N., Suprayogi, D., dan Amrullah, A., 2023. *Perbedaan Efisiensi Massa Tanaman Azolla Microphylla Terhadap Penurunan Logam Berat Cr6+ dengan Sistem Batch*. Jurnal Ilmiah Lingkungan Kebumihan. 6(1): 31. DOI: <https://doi.org/10.31315/jilk.v6i1.10989>.
- Fitriana, N., dan Kuntjoro, S., 2020. *Kemampuan Lemna minor dalam Menurunkan Kadar Linear Alkyl Benzene Sulphonate*. LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi. 9: 109–114.
- Halim, A., Hermawan, A., dan Prasetyo, A., 2022. *Penyisihan Kadar Besi (Fe) dan Mangan (Mn) Dalam Air Sumur Dengan Media Pasir Terlapis Mangan Dioksida*. Bhuwana. 2(1):45–56.
- Irawansyah, D., Sukmana, I., dan Despa, D., 2022. *Proses Koagulasi Flokulasi Pada Redesain Instalasi Pengolahan Limbah Cair Pramita Utama Diagnostic Center Yogyakarta*. Jurnal Rekayasa Lampung. 1(2):1–5. DOI: <https://doi.org/10.23960/jrl.v1i2.9>.
- Nurhayati, I., Vigiani, S., dan Majid, D., 2020. *Kromium (Cr), COD dan BOD Limbah Cair Laboratorium dengan Pengenceran, Koagulasi, dan Adsorpsi*. Ecotrophic. 14(1): 74–87.
- Putra, A., Fitri, W.E., dan Febria, F.A., 2023. *Toksistas Logam Timbal Terhadap Kesehatan dan Lingkungan*. Jurnal Kesehatan Medika Saintika. 14(1): 158–174.
- Ramadhani, N.S., 2020. *Efektivitas Kombinasi Vegetasi Salvinia molesta Mitchell dan Eichhornia crassipes (Mart.) Solms*. Artikel Pemakalah Paralel: 354–361.

- Ruzzi, F., Irawan, A., dan Lisha, S.Y., 2023. *Uji Efektivitas Tanaman Salvinia molesta dan Eichhornia crassipes dalam Menurunkan Kadar BOD, COD, dan TSS pada Limbah Cair Tahu*. Cived. 10(1): 311. DOI: <https://doi.org/10.24036/cived.v10i1.122681>.
- Salim, E., Leka, K., dan Nasution, R.K., 2024. *Metode Fitoremediasi dalam Pengelolaan Air Asam Tambang Batubara (Fe dan Mn) Berdasarkan Literature Review*. Jurnal Kimia dan Ilmu Lingkungan. 2(1): 97-104.
- Senila, M., and Cadar, O., 2024. *Heliyon Modification of Natural Zeolites and their Applications for Heavy Metal Removal from Polluted Environments : Challenges, Recent Advances, and Perspectives*. Heliyon. 10(3): 25303. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25303>.
- Silviana, L., dan Rachmadiarti, F., 2023. *Fitoremediasi Fosfat dari Detergen Sintetis dengan Menggunakan Lemna minor dan Azolla microphylla*. LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi. 12(3): 281–289. DOI: <https://doi.org/10.26740/lenterabio.v12n3.p281-189>.
- Umar, R.R., Umboh, J. M. L., dan Akili, R.H., 2021. *Analisis Kandungan Timbal (Pb) pada Makanan Jajanan Gorengan di Pinggiran Jalan Raya Kec. Girian Kota Bitung Tahun 2021*. Jurnal Kesmas. 10(5): 84–93.
- Wowor, B.Y., Hanurawaty, N.Y., dan Yulianto, B., 2023. *Perbedaan Variasi Ketebalan Media Filter Arang Aktif Terhadap Penurunan Kadar Total Dissolved Solids (TDS)*. Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia. 22(1): 76–83. DOI: <https://doi.org/10.14710/jkli.22.1.76-83>.
- Zaharah, T.A., Aprilianti, W., dan Wahyuni, N., 2023. *Adsorpsi Ion Besi pada Lindi Menggunakan Zeolit Alam Teraktivasi Asam Klorida (HCl)*. Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah, 11(2): 571. DOI: <https://doi.org/10.26418/jtllb.v11i2.66164>.