

RANCANG BANGUN ALAT BIOSORPSI LOGAM BERAT PADA LABORATORIUM PENGOLAHAN LIMBAH

Indrawati Alhas^{1,*}, Syahrul Amin², Rahmi³, Darmawansyah Bandoe⁴
¹ Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar
^{2,3,4} Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

ABSTRACT

Heavy metal pollution caused by industrial activities is a serious environmental issue due to its toxic, persistent, and bioaccumulative nature. One potential approach to address this problem is biosorption, which utilizes natural biomass as an adsorbent. This study aims to design and develop a simple, economical, and applicable laboratory-scale biosorption prototype for wastewater treatment, which can also serve as a learning medium. The prototype consists of a storage tank, peristaltic pump, filter column, biosorbent column, and product tank. The adsorbents used were cocoa pod husk and activated carbon. The concentration of Fe was determined using a UV-Vis Spectrophotometer, where the initial sample had an absorbance value of 0.758 A. Product A showed an absorbance of 0.656 A with a biosorbent height of 12 cm, Product B had 0.720 A at 27 cm, and Product C had 0.580 A at 31 cm. Performance testing indicated that increasing the proportion of biosorbent in the column led to higher removal efficiency of metal ions. The designed biosorption prototype proved effective in reducing Fe concentration in wastewater samples and has potential for use as an educational and research tool in chemical engineering and environmental treatment fields.

Keywords: *Biosorption, Heavy Metals, Activated Charcoal, Cocoa Pod Husk, Wastewater*

ABSTRAK

Pencemaran logam berat akibat aktivitas industri merupakan masalah serius karena bersifat toksik, sulit terurai, dan dapat terakumulasi dalam organisme hidup. Salah satu pendekatan potensial untuk menanggulangnya adalah biosorpsi, yaitu pemanfaatan biomassa alami sebagai adsorben. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun prototipe alat biosorpsi skala laboratorium yang sederhana, ekonomis, dan aplikatif untuk pengolahan air limbah sekaligus sebagai media pembelajaran. Prototipe terdiri atas tangki penampungan, pompa peristaltik, kolom penyaring, kolom biosorben, dan tangki produk. Adsorben yang digunakan adalah kulit buah kakao dan arang aktif. Hasil pengukuran kadar logam Fe menggunakan Spektrofotometer Uv-Vis dimana sampel awal nilai absorbansi 0,758A, Produk A nilai absorbansi 0,656A dengan ketinggian biosorben 12 cm, Produk B nilai absorbansi 0,720A dengan ketinggian biosorben 27 cm dan Produk C nilai absorbansi 0,580A dengan ketinggian biosorben 31 cm. Uji kinerja alat menunjukkan bahwa semakin besar proporsi biosorben dalam kolom maka semakin tinggi efisiensi penurunan konsentrasi logam. Rancang bangun alat biosorpsi ini tidak hanya efektif untuk mengurangi kadar logam Fe pada sampel air limbah, tetapi juga memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai sarana pembelajaran dan penelitian di bidang teknik kimia serta pengolahan lingkungan

Kata Kunci: *Biosorpsi, Logam Berat, Arang Aktif, Kulit Buah Kakao, Air Limbah*

1. PENDAHULUAN

Pencemaran logam berat di lingkungan perairan merupakan salah satu masalah lingkungan yang serius di berbagai belahan dunia, termasuk di Indonesia [1]. Limbah industri yang mengandung logam berat sering kali terbuang ke lingkungan tanpa pengolahan yang memadai, menyebabkan akumulasi logam di ekosistem air [2]. Akumulasi dari limbah logam berat dapat berdampak buruk terhadap kesehatan manusia, organisme air, dan kestabilan lingkungan. Sifat toksik, bioakumulatif, dan sulit terdegradasi dari logam berat membuat kebutuhan akan metode pengolahan limbah yang efektif menjadi sangat mendesak [3].

Saat ini, biosorpsi merupakan salah satu teknologi yang banyak dikembangkan untuk menurunkan kadar kandungan logam berat yang ada pada air limbah. Metode ini memanfaatkan bahan-bahan yang berasal dari alam atau lebih dikenal dengan biomassa seperti limbah pertanian, mikroalga, atau biomaterial lainnya. Biomassa ini dinilai memiliki beberapa keunggulan seperti biaya produksi yang relatif rendah, ketersediannya yang melimpah dan mempunyai kapasitas adsorpsi yang cukup tinggi terhadap logam berat. Oleh karena itu, metode biosorpsi dapat dipilih sebagai salah satu metode yang efektif dan efisien dalam pengolahan limbah industri [4].

* Korespondensi penulis: Indrawati Alhas, email Indrawati.alhas@poliupg.ac.id

Selain penggunaan biosorben, salah satu bahan yang banyak diteliti sebagai media adsorben adalah arang aktif, yang memiliki luas permukaan sangat besar dan struktur berpori sehingga memungkinkan ion logam berat seperti Pb^{2+} , Cu^{2+} , dan Fe^{3+} untuk diadsorpsi secara efisien. Penelitian terkini menunjukkan bahwa arang aktif dapat dibuat dari berbagai prekursor dan modi-fikasi kimia untuk meningkatkan gugus fungsional di permukaannya yang meningkatkan daya tarik terhadap ion logam [5]. Di sisi lain, dalam lingkup akademik dan pendidikan tinggi, kebutuhan akan fasilitas laboratorium yang memadai untuk mendukung praktikum dan penelitian di bidang pengolahan limbah semakin meningkat [6].

Berbagai praktikum seperti analisis pencemaran air, pengolahan air limbah, perancangan instalasi pengolahan air limbah (IPAL), serta rancangan proyek penelitian (RPP), membutuhkan sarana pendukung berupa alat yang dapat difungsikan pada proses pengolahan limbah secara nyata dan aplikatif. Selain itu, untuk mendukung tugas akhir mahasiswa dalam bidang teknik kimia diperlukan media atau alat laboratorium yang mampu merepresentasikan serta mendemonstrasikan prinsip biosorpsi secara praktis dan sederhana [7].

Namun, saat ini ketersediaan alat biosorpsi di laboratorium masih terbatas, khususnya alat yang didesain khusus untuk kebutuhan edukasi dan penelitian skala laboratorium. Hal ini mendorong perlunya pengembangan alat biosorpsi yang dirancang dengan memperhatikan aspek sederhana, efektif, ekonomis, serta mudah dioperasikan oleh mahasiswa dan peneliti pemula. Rancang bangun alat biosorpsi diharapkan mampu memenuhi kebutuhan tersebut, sehingga dapat menjadi media pembelajaran sekaligus sarana penelitian yang aplikatif.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun alat biosorpsi berbasis kolom reaktor sederhana yang dapat digunakan untuk mengadsorpsi logam berat dari sampel air limbah. Alat ini dirancang menggunakan komponen utama seperti reaktor kolom berbahan akrilik, pompa peristaltik untuk mengalirkan limbah dengan debit terkontrol, tangki penampung air limbah, dan waktu kontak. Media biosorben yang digunakan berasal dari biomassa alami yang memiliki kemampuan adsorpsi ion logam berat [8].

Melalui penelitian ini, diharapkan alat yang rancang dapat menjadi sarana edukasi untuk mendukung berbagai kegiatan praktikum yang akan digunakan pada laboratorium untuk menurunkan kadar logam berat dalam air limbah secara signifikan, selain itu juga mampu mendukung penelitian mahasiswa maupun sebagai laboratorium uji. Dengan demikian, rancang bangun alat biosorpsi ini diharapkan mampu memberikan kontribusi dalam upaya pengembangan teknologi pengolahan limbah yang ramah lingkungan sekaligus meningkatkan kualitas pendidikan di bidang teknik dan lingkungan serta sebagai alat yang dapat dimanfaatkan pada laboratorium uji untuk mendukung kebijakan pemerintah sebagai kampus dengan status Badan Layanan Umum (BLU).

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian awal dari Rancang Bangun alat biosorpsi logam berat pada Laboratorium Pengolahan Limbah. Metode penelitian ini terdiri dari tahap perancangan, tahap perakitan dan tahap uji coba alat serta analisis hasil adsorpsi logam berat dari alat biosorpsi yang telah dibuat. Tahap perancangan berupa gambar atau desain alat. Selanjutnya, dilakukan penentuan spesifikasi alat yang akan dibuat. Adapun desain alat meliputi tempat sampel yang berfungsi sebagai tangki penampungan sampel air limbah yang akan di uji dan juga tangki produk yang berfungsi sebagai tempat air hasil proses biosorpsi. Selanjutnya, pompa peristaltik sebagai alat penggerak utama untuk mengalirkan air limbah dari tempat sampel menuju reaktor kolom biosorben. Pompa peristaltik dipilih karena memiliki keunggulan dalam mengontrol laju aliran secara presisi. Selanjutnya dibuat reaktor kolom sederhana berbahan akrilik atau kaca borosilikat yang tahan bahan kimia dan tekanan, reaktor kolom ini terdiri dari penyaring sampel berfungsi untuk menyaring partikel kasar dan menjaga kelancaran aliran pada sampel air limbah yang akan melewati biosorben dan sebagai tempat terjadinya proses utama biosorpsi logam berat. Ion logam berat dalam air limbah akan dijerap pada permukaan biosorben sehingga dapat mengurangi konsentrasi logam berat pada sampel air limbah.

Tahap perakitan dilakukan di bengkel Teknik Kimia. Tahap awal dalam pembuatan alat ini adalah menyiapkan tangki penampungan air limbah dan tangki produk serta kolom biosorpsi yang dirancang dengan dimensi lebar 9 cm, panjang 13 cm dan tinggi 60 cm. Tangki ini berfungsi sebagai wadah awal untuk menyimpan sampel air limbah yang mengandung logam berat. Dari tangki penampungan, air limbah dialirkan menggunakan pompa peristaltik. Selang pompa dihubungkan dari outlet tangki penampungan ke kolom biosorpsi. Lapisan atas pada kolom biosorpsi adalah penyaring ini akan diisi bioball yang berfungsi untuk menghilangkan kotoran kasar dalam air limbah dan mencegah penyumbatan saat masuk ke biosorben. Biosorben alami yang digunakan adalah kulit buah kakao dan arang aktif. Di dalam kolom ini terjadi proses biosorpsi, setelah melewati biosorben, air limbah yang telah mengalami proses adsorpsi dialirkan ke tangki

produk. Tangki ini berfungsi untuk menampung air hasil biosorpsi sebelum dilakukan analisis lebih lanjut seperti pengujian konsentrasi logam berat menggunakan Spektrofotometer Uv-Vis.

Tahap uji coba alat dilakukan dengan memompa air masuk ke kolom adsorpsi dengan parameter ketinggian air, jika volume air mencapai puncak maka pompa akan berhenti secara otomatis. Pada uji coba alat ini menggunakan 3 variasi ketinggian biosorben ketinggian 12 cm (Produk A), ketinggian 27 (Produk B) cm dan ketinggian 31 cm (Produk C). Produk A, B dan C adalah hasil dari adsorpsi sampel air limbah yang selanjutnya akan dilakukan pengujian kandungan logam Fe menggunakan Spektrofotometer Uv-Vis. Hasil adsorpsi juga diuji secara fisik yaitu warna air secara visual.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini merupakan tahap awal dari rancang bangun alat biosorpsi logam berat pada Laboratorium Pengolahan Limbah. Pelaksanaan penelitian dilakukan melalui tiga tahapan utama, yaitu perancangan alat, perakitan, serta uji coba dan analisis kinerja biosorpsi.

Tahap Perancangan. Pada tahap ini telah dibuat desain konseptual alat biosorpsi berupa skema tangki penampung, pompa peristaltik, kolom yang terdiri dari bahan penyaring dan biosorben, serta tangki produk. Perancangan didasarkan pada kebutuhan laboratorium untuk melakukan pengolahan air limbah skala kecil dengan sistem portable. Spesifikasi teknis ditentukan agar alat mampu mengalirkan air limbah secara stabil dengan kontrol laju aliran yang presisi, serta tahan terhadap bahan kimia dan tekanan.

Tahap Perakitan. Perakitan alat dilakukan di bengkel Teknik Kimia dengan menggunakan material utama berupa akrilik transparan, pipa PVC, dan pompa peristaltik. Alat terdiri atas: (a) Tangki penampungan limbah, berfungsi sebagai wadah awal air limbah. (b) Pompa peristaltik, sebagai penggerak utama untuk mengalirkan air dengan kontrol laju alir. (c) Kolom adsorpsi yang terdiri dari bagian penyaring yang berisi bioball untuk menyaring partikel kasar dan mencegah penyumbatan dan bagian biosorben yang berfungsi sebagai inti proses biosorpsi yang akan diisi dengan biosorben. (d) Tangki produk, sebagai penampungan air hasil biosorpsi. Hasil perakitan alat ditunjukkan pada Gambar 1. di bawah yang memperlihatkan prototipe alat biosorpsi dengan sistem aliran dari tangki penampungan sampel air limbah menuju kolom biosorpsi yang terdiri dari bagian penyaring, dilanjutkan ke bagian biosorben, dan yang terakhir ke tangki produk.



Gambar 1. Alat Biosorpsi Logam Berat

Tahap Uji Coba. Tahapan ini terdiri dari dua tahapan pengujian yang pertama adalah tahapan uji coba awal: Uji coba awal dilakukan untuk memastikan sistem peredaran air berjalan dengan baik. Aliran dari pompa peristaltik berhasil mengalirkan sampel air limbah menuju kolom biosorpsi yang terdiri dari bagian penyaring dan biosorben tanpa hambatan. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa alat dapat beroperasi secara stabil, dengan distribusi aliran yang merata di sepanjang kolom biosorben. Prototipe alat biosorpsi skala laboratorium telah selesai dirakit dan di uji coba tahap awal. Hasil yang telah diperoleh sesuai dengan tahapan penelitian yang direncanakan dalam proposal, yakni perancangan, dan perakitan serta uji coba awal. Dokumentasi desain dan konstruksi alat, sebagai dasar untuk pengembangan tahap berikutnya.

Tahap kedua adalah uji coba lanjutan. tahap selanjutnya adalah pengambilan data. Pengujian lanjutan pada prototipe alat biosorpsi dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam menurunkan kadar logam Fe pada sampel air limbah. Pengujian lanjutan dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas kinerja alat dalam

menurunkan konsentrasi larutan dalam hal ini adalah larutan sampel yang mengandung logam Fe pada sampel air limbah.



Gambar 2. Proses Biosorpsi Sampel Limbah Logam Fe

Pada gambar 2. Aliran dari tangki penampungan menuju kolom biosorpsi yang terdiri dari bagian penyaring yang berisi bioball yang berfungsi untuk menyaring pengotor-pengotor kasar yang ada pada air limbah, kemudian bagian adsorben yaitu kulit buah kakao dan arang aktif ditambakan spons dan kapas yang berfungsi untuk menyaring air limbah agar menghasilkan produk yang lebih jernih. Sistem dijalankan secara kontinu dengan air limbah yang mengandung logam Fe sebagai sampel, dialirkan melalui kolom biosorpsi. Secara visual terlihat perbedaan antara sampel awal dan produk, di mana produk tampak lebih jernih. Hal ini menjadi indikasi awal bahwa proses biosorpsi telah berlangsung di dalam kolom biosorben, Pengukuran absorbansi sampel dilakukan dengan analisa kuantitatif menggunakan Spektrofotometer Uv-Vis, alat Spektrofotometer Uv-Vis ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Alat Spektrofotometer Uv-Vis

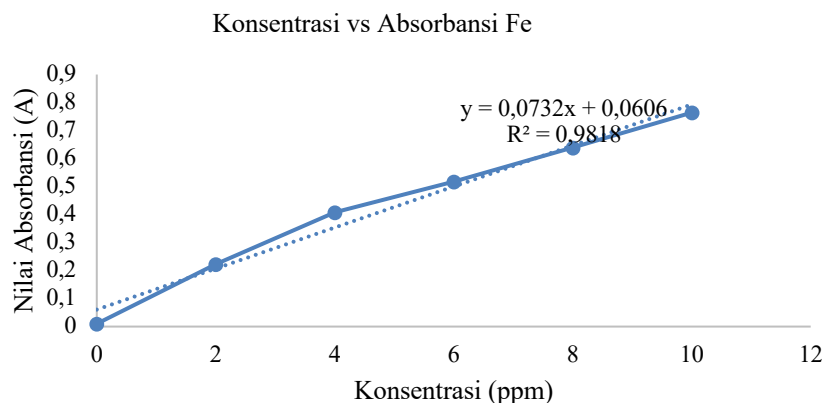
Data hasil pengujian sampel dengan variasi ketinggian adsorben pada sampel air limbah yang mengandung logam Fe ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pembacaan Nilai Adsorben Untuk Deret Standar Dan Sampel Uji

Jenis Sampel	Nilai Absorbansi	Keterangan
0 ppm	0,010 A	Bening
2 ppm	0,223 A	Merah
4 ppm	0,408 A	Merah
6 ppm	0,517 A	Merah
8 ppm	0,639 A	Merah
10 ppm	0,764 A	Merah
Sampel Awal	0,758 A	Merah
Produk A	0,720 A	Merah

Jenis Sampel	Nilai Absorbansi	Keterangan
Produk B	0,656 A	Merah
Produk C	0,580 A	Merah

Dari data pada tabel 1 ini dibuatkan grafik untuk menentukan konsentrasi sampel awal dan produk hasil proses adsorpsi biosorben, ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik konsentrasi Fe terhadap nilai Absorbansi

Dari persamaan $y=0.0732x + 0,0606$, maka dapat diperoleh konsentrasi sampel awal, produk A, produk B dan produk C. Untuk sampel awal nilai absorbansi yaitu 0,758, maka untuk persamaan $y=0,0732x + 0,0606$ sebagai berikut: $0,758 = 0,0732x + 0,0606$; nilai x diperoleh sebesar 9,9573 ppm. Pada pengujian sampel dilakukan pengenceran 10 kali, maka konsentrasi sampel awal itu sebesar 99,573 ppm. Produk A memiliki konsentrasi 9,9082 ppm karena dilakukan pengenceran 10 kali maka konsentrasi produk A yaitu 99,08 ppm, begitu juga produk B memiliki konsentrasi 81,34 ppm serta produk C memiliki konsentrasi 70,96 ppm.

Kurva kalibrasi yang dibuat pada rentang 0–10 ppm menunjukkan hubungan antara konsentrasi standar dan absorbansi yang berada dalam rentang linier dengan koefisien absorbansi yang konsisten, sehingga dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi logam sisa dalam sampel uji. Sampel awal dengan konsentrasi 100 ppm yang diencerkan 10 kali menunjukkan absorbansi sebesar 0,758 A. Setelah melewati alat biosorpsi, nilai absorbansi menurun pada setiap produk keluaran: 0,720 A (Produk A), 0,656 A (Produk B), dan 0,580 A (Produk C). Penurunan absorbansi ini konsisten dengan reduksi konsentrasi terukur setelah proses biosorpsi artinya kolom biosorben pada prototipe alat biosorpsi berhasil menurunkan kadar logam Fe pada sampel air limbah.

Perbedaan kinerja pada prototipe alat biosorpsi antar produk dapat dijelaskan melalui komposisi kolom yang digunakan. Produk A terdiri dari lapisan bioball (11 cm), kain (8 cm), biosorben (12 cm), spons (2,5 cm), dan kapas (4,5 cm). Produk B memiliki komposisi bioball (3 cm), kain (1 cm), biosorben (27 cm), spons (2,5 cm), dan kapas (4,5 cm). Sementara itu, Produk C hanya terdiri dari biosorben (31 cm), spons (2,5 cm), dan kapas (4,5 cm), tanpa adanya lapisan bioball dan kain.

Hasil ini menunjukkan bahwa semakin besar proporsi biosorben dalam kolom, semakin tinggi efisiensi penurunan konsentrasi logam. Produk C memiliki nilai absorbansi 0,580A dengan kolom biosorben terpanjang yakni 31 cm menunjukkan penurunan absorbansi paling signifikan, jika dibandingkan Produk B nilai absorbansi 0,720A dengan ketinggian biosorben 27 cm dan Produk A nilai absorbansi 0,656A dengan ketinggian biosorben 12 cm. Persentase penurunan konsentrasi logam Fe pada Produk A sebesar 5 %, Produk B sebesar 14,62 % dan Produk C sebesar 25,52 %.

Penurunan absorbansi ini mengindikasikan bahwa rancang bangun alat biosorpsi yang dibuat mampu mengadsorpsi menurunkan kadar logam Fe dari sampel air limbah. Produk C memberikan hasil terbaik dimana memiliki penurunan paling signifikan dibandingkan Produk A dan B, yang mengindikasikan bahwa laju kontak dan panjang jalur biosorben merupakan faktor penentu dalam kinerja biosorpsi.

Produk A yang memiliki lapisan bioball dan kain cukup tebal justru menunjukkan efisiensi paling rendah, kemungkinan karena berkurangnya volume efektif biosorben yang tersedia untuk proses adsorpsi. Sementara Produk B dengan kombinasi biosorben 27 cm menunjukkan kinerja menengah, lebih baik dari A

namun masih di bawah C. Temuan ini sejalan dengan prinsip biosorpsi, di mana peningkatan luas permukaan dan volume biosorben akan meningkatkan kapasitas ikatan ion logam. Secara kuantitatif, hasil ini menegaskan bahwa sistem biosorben yang dirancang dapat bekerja efektif dalam menurunkan konsentrasi logam berat.

Dengan demikian, tahap pengujian lanjutan ini tidak hanya membuktikan bahwa alat dapat berfungsi secara mekanis, tetapi juga menunjukkan efektivitasnya secara analitis berdasarkan data pengukuran Spektrofotometer UV-Vis. Hasil ini menjadi dasar untuk optimasi lebih lanjut, seperti variasi waktu kontak, debit aliran komposisi biosorben maupun variasi jenis biosorben agar diperoleh kondisi adsorpsi yang lebih efisien.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan membangun prototipe alat biosorpsi logam berat skala laboratorium dengan komponen utama berupa tangki penampungan sampel air limbah, pompa peristaltik, kolom biosorpsi, dan tangki produk. Pengukuran kadar logam Fe menggunakan Spektrofotometer Uv-Vis, dimana sampel awal nilai absorbansinya sebesar 0,758. Produk C memiliki nilai absorbansi 0,580A dengan kolom biosorben terpanjang yakni 31 cm menunjukkan penurunan absorbansi paling signifikan, jika dibandingkan Produk B nilai absorbansi 0,720A dengan ketinggian biosorben 27 cm dan Produk A nilai absorbansi 0,656A dengan ketinggian biosorben 12 cm. Uji kinerja alat menunjukkan bahwa semakin besar proporsi biosorben dalam kolom maka semakin tinggi efisiensi penurunan konsentrasi logam. Penelitian ini hanya difokuskan pada pengujian efektivitas alat biosorpsi skala laboratorium untuk penurunan kadar logam Fe (besi) dalam sampel air limbah, Analisis hasil didasarkan pada nilai absorbansi Fe menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Pengembangan berikutnya pada rancang bangun alat biosorpsi ini dapat diarahkan pada optimalisasi desain alat dengan penambahan sensor digital untuk pemantauan otomatis laju alir air, dan penerapan pada skala lapangan dan kegiatan pembelajaran di bidang teknik kimia maupun pengolahan lingkungan

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diucapkan kepada Direktur PNUP dan kepala P3M PNUP atas bantuan dana penelitian tahun anggaran 2025.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Angraini, "Pengolahan Air Limbah Laboratorium dengan Metode Adsorpsi untuk Penurunan Kadar Logam Berat Pb, Cu, dan Cd," *Tesis*, Universitas Sriwijaya, 2022.
- [2] A. Setiawan, F. Basyiruddin, and D. Dermawan, "Biosorpsi Logam Berat Cu(II) Menggunakan Limbah *Saccharomyces cerevisiae*," *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, vol. 16, no. 1, pp. 1–7, 2019.
- [3] N. Noverita and D. P. Sari, "Tinjauan Biosorpsi Logam Berat Pb dan Cd oleh Jamur Makro," *Kaunia: Integration and Interconnection Islam and Science*, vol. 18, no. 2, pp. 123–130, 2022.
- [4] D. Arifiyana and V. A. Devianti, "Biosorpsi Logam Besi (Fe) dalam Media Limbah Cair Artifisial Menggunakan Adsorben Kulit Pisang Kepok (*Musa acuminata*)," *Jurnal Kimia Riset*, vol. 5, no. 1, pp. 1–8, 2020. doi: <https://doi.org/10.20473/jkr.v5i1.20245>
- [5] M. Machida, Y. Amano, and M. Aikawa, "Adsorptive removal of heavy metal ions by activated carbons," *TANSO (Journal of the Carbon Society of Japan)*, no. 251, pp. 62–68, 2011. doi: <https://doi.org/10.7209/tanso.2011.62>
- [6] Z. Arifin, E. Destiansari, and S. Amizera, "Pengembangan Mobile Virtual Laboratorium pada Pembelajaran Praktikum Materi Pencemaran Air," *Asian Journal of Multidisciplinary Research*, vol. 3, no. 1, pp. 45–52, 2023.
- [7] S. Bahri and A. Pertiwi, "Prototipe Alat Olah Limbah Cair Laboratorium dengan Prinsip Koagulasi, Elektrokoagulasi, dan Adsorpsi," *Jurnal Interest*, vol. 8, no. 1, pp. 65–72, 2019.
- [8] R. A. Nisya, Y. Yusrianti, A. Pribadi, S. W. Auvaria, and L. P. Widayanti, "Penyisihan Kadar Seng (Zn) dengan Bioadsorben Kulit Singkong Menggunakan Sistem Kontinyu," *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, vol. 14, no. 1, pp. 95–107, 2022.