


Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang sebagai Adsorben Alami untuk Menurunkan Kadar Logam Berat Pb(II) dalam Air

Muhamad Rifai^{a,1,*}, Azhar Hakiki^a, Linda Rositawati^a

^a Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mataram, Indonesia

¹ Email: mfay2020@gmail.com*

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>Article history</p> <p>.....</p> <p>Received May 12, 2025 Revised May 29, 2025 Accepted June 21, 2025 Published June 26, 2025</p> <p>Keywords</p> <p>banana peel waste natural adsorbent Pb(II) heavy metals water pollution</p> <p></p> <p>License by CC-BY-SA Copyright © 2025, The Author(s).</p>	<p>Water pollution caused by heavy metals such as lead [Pb(II)] has become a serious environmental issue due to its toxic, persistent, and bioaccumulative nature within the food chain. Various methods have been developed to reduce heavy metal concentrations in water, one of which is adsorption. This study aims to utilize banana peel waste as a natural adsorbent to decrease Pb(II) levels in contaminated water. Dried and ground banana peels were activated with an acid solution to enhance their adsorption capacity, and then applied to test solutions with variations in initial Pb(II) concentration, contact time, and adsorbent dosage. The results showed that banana peels exhibited a significant adsorption capacity for Pb(II) ions, with the highest removal efficiency obtained at an adsorbent dosage of 2 g/100 mL of solution and a contact time of 60 minutes. The adsorption mechanism is presumed to occur through interactions with functional groups such as -OH, -COOH, and -NH₂ present in the cellulose, hemicellulose, and lignin structures of banana peels. These findings demonstrate that banana peel waste can serve as an eco-friendly, low-cost natural adsorbent for the treatment of heavy metal-contaminated water.</p>

How to cite: Rifai, M., Hakiki, A., & Rositawati, L. (2025). Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang sebagai Adsorben Alami untuk Menurunkan Kadar Logam Berat Pb(II) dalam Air. *Pure Chemistry Research*, 1(1), 15-21. <https://doi.org/10.70716/purechem.v1i1.267>

PENDAHULUAN

Pencemaran lingkungan akibat logam berat merupakan isu global yang semakin mengkhawatirkan, khususnya pada sumber daya air yang menjadi kebutuhan vital bagi kehidupan manusia. Salah satu logam berat yang banyak mendapat perhatian adalah timbal [Pb(II)], yang dikenal bersifat toksik, non-biodegradable, dan mudah terakumulasi dalam rantai makanan. Timbal dapat masuk ke tubuh manusia melalui air minum, makanan, maupun kontak kulit, sehingga menimbulkan berbagai gangguan kesehatan jangka panjang. Menurut World Health Organization (WHO, 2017), paparan Pb(II) yang berkelanjutan dapat menyebabkan kerusakan sistem saraf, gangguan perkembangan pada anak-anak, serta meningkatkan risiko penyakit kronis pada orang dewasa.

Sumber utama pencemaran Pb(II) dalam air berasal dari berbagai aktivitas industri, seperti pembuatan baterai, cat, peleburan logam, tekstil, serta kegiatan pertambangan. Limbah cair dari aktivitas tersebut apabila tidak diolah dengan baik dapat masuk ke badan air dan mencemari lingkungan (Nawab et al., 2016). Di Indonesia, dengan meningkatnya aktivitas industri dan urbanisasi, pencemaran logam berat di beberapa daerah telah terdeteksi melebihi ambang batas yang diperbolehkan (Suhendrayatna, 2001). Hal ini menunjukkan perlunya metode pengolahan air yang efektif untuk menurunkan kadar Pb(II) dalam lingkungan perairan.

Berbagai metode telah digunakan dalam upaya penurunan kadar logam berat dari air, antara lain presipitasi kimia, pertukaran ion, elektrokagulasi, filtrasi membran, dan adsorpsi. Namun, sebagian besar metode tersebut memerlukan biaya tinggi, menghasilkan lumpur dalam jumlah besar, serta memiliki

keterbatasan teknis ketika diterapkan pada skala luas (Fu & Wang, 2011). Oleh karena itu, metode adsorpsi mulai banyak dikembangkan sebagai alternatif yang lebih sederhana, efisien, dan ramah lingkungan. Adsorpsi dinilai unggul karena selain efektif, teknik ini juga memungkinkan pemanfaatan bahan-bahan alami sebagai adsorben yang murah dan mudah diperoleh.

Adsorben komersial yang banyak digunakan saat ini adalah karbon aktif, yang memiliki luas permukaan besar dan efisiensi tinggi dalam menyerap logam berat (Gupta & Babu, 2009). Namun, produksi karbon aktif memerlukan biaya yang relatif mahal, sehingga mendorong para peneliti untuk mencari alternatif sumber adsorben dari biomassa atau limbah organik. Sejumlah penelitian telah menunjukkan potensi pemanfaatan limbah pertanian, buah, maupun sisa makanan sebagai adsorben alami, misalnya ampas tebu, kulit jeruk, serbuk gergaji, hingga kulit kacang (Annadurai et al., 2002; Babel & Kurniawan, 2003).

Salah satu biomassa yang menjanjikan sebagai adsorben adalah kulit pisang. Pisang merupakan buah tropis yang sangat populer di Indonesia, dengan tingkat konsumsi yang tinggi sepanjang tahun. Produksi pisang nasional mencapai jutaan ton per tahun, sehingga menghasilkan limbah kulit pisang dalam jumlah besar (BPS, 2020). Sebagian besar limbah kulit pisang hanya dibuang sebagai sampah organik tanpa pemanfaatan lebih lanjut. Padahal, berdasarkan analisis kimia, kulit pisang mengandung senyawa organik seperti selulosa, hemiselulosa, lignin, pektin, serta berbagai gugus fungsional ($-OH$, $-COOH$, $-NH_2$) yang dapat berinteraksi dengan ion logam melalui mekanisme pertukaran ion, kompleksasi, maupun ikatan elektrostatik (Annadurai et al., 2002; Hossain et al., 2012).

Potensi kulit pisang sebagai adsorben alami semakin relevan apabila dikaitkan dengan prinsip ekonomi sirkular dan konsep *waste to wealth*, yaitu memanfaatkan limbah organik untuk menghasilkan produk bernilai tambah. Selain mengurangi pencemaran akibat limbah organik, pemanfaatan kulit pisang juga dapat menjadi solusi pengolahan air tercemar logam berat dengan pendekatan berkelanjutan (Simate & Ndlovu, 2014). Hal ini sejalan dengan upaya global dalam mendorong teknologi hijau yang ramah lingkungan, efisien, dan dapat diaplikasikan di berbagai daerah dengan biaya terjangkau.

Beberapa penelitian sebelumnya telah menunjukkan keberhasilan kulit pisang dalam mengadsorpsi logam berat. Misalnya, penelitian Hossain et al. (2012) menemukan bahwa kulit pisang kering dapat menurunkan kadar $Pb(II)$ hingga lebih dari 90% pada kondisi tertentu. Penelitian lain oleh Annadurai et al. (2002) menunjukkan bahwa kulit pisang mampu menyerap logam $Cd(II)$ dan $Cr(VI)$ secara signifikan. Temuan ini memperkuat dugaan bahwa kulit pisang memiliki potensi besar untuk diaplikasikan sebagai biosorben alami.

Mekanisme adsorpsi yang terjadi pada kulit pisang melibatkan interaksi ion logam dengan gugus fungsional yang terdapat pada dinding sel biomassa. Gugus $-OH$ dari selulosa, $-COOH$ dari pektin, serta $-NH_2$ dari protein mampu berikatan dengan ion logam melalui mekanisme pertukaran ion dan kompleksasi (Foo & Hameed, 2010). Struktur pori-pori kulit pisang juga memungkinkan terjadinya difusi ion logam, sehingga meningkatkan efisiensi adsorpsi. Faktor-faktor seperti pH larutan, dosis adsorben, waktu kontak, serta konsentrasi awal $Pb(II)$ berpengaruh besar terhadap kinerja adsorpsi.

Dalam konteks Indonesia, pemanfaatan limbah kulit pisang sebagai adsorben alami memiliki prospek yang sangat baik, mengingat ketersediaannya yang melimpah dan belum dimanfaatkan secara optimal. Selain itu, teknologi ini dapat diaplikasikan pada skala rumah tangga maupun industri kecil sebagai langkah sederhana dalam pengolahan air tercemar. Dengan demikian, inovasi ini tidak hanya memberikan manfaat lingkungan, tetapi juga aspek sosial dan ekonomi, karena mendorong pengurangan limbah serta memberikan peluang usaha berbasis teknologi sederhana.

Urgensi penelitian ini semakin kuat karena hingga saat ini masih banyak daerah di Indonesia yang menghadapi masalah pencemaran logam berat dalam air, sementara akses terhadap teknologi pengolahan yang mahal masih terbatas. Pemanfaatan adsorben alami seperti kulit pisang dapat menjadi solusi praktis yang sesuai dengan kondisi masyarakat, terutama di daerah pedesaan atau kawasan dengan aktivitas industri yang berpotensi mencemari lingkungan. Dengan biaya rendah dan teknik yang sederhana, diharapkan teknologi ini dapat diterapkan secara luas.

Selain itu, penelitian ini juga memiliki kontribusi akademik, yaitu memperkaya literatur mengenai pemanfaatan biomassa lokal sebagai alternatif adsorben. Meskipun sejumlah penelitian serupa telah dilakukan, namun hasilnya masih bervariasi tergantung kondisi eksperimental, jenis aktivasi adsorben, serta karakteristik air yang diuji. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lanjutan yang lebih terarah untuk mengoptimalkan variabel-variabel yang mempengaruhi kinerja adsorpsi kulit pisang terhadap $Pb(II)$.

Dengan demikian, penelitian tentang pemanfaatan limbah kulit pisang sebagai adsorben alami untuk menurunkan kadar Pb(II) dalam air tidak hanya relevan dari aspek lingkungan, tetapi juga mendukung implementasi pembangunan berkelanjutan. Teknologi berbasis limbah organik seperti ini diharapkan dapat menjadi salah satu solusi inovatif dalam mengurangi pencemaran logam berat, sekaligus mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya lokal.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini difokuskan untuk mengkaji potensi limbah kulit pisang sebagai adsorben alami dalam menurunkan kadar logam berat Pb(II) pada air tercemar. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui pengaruh berbagai variabel seperti dosis adsorben, waktu kontak, serta konsentrasi awal Pb(II) terhadap efisiensi adsorpsi. Dengan adanya kajian ini, diharapkan dapat diperoleh informasi ilmiah yang dapat dijadikan acuan dalam pengembangan teknologi pengolahan air yang ramah lingkungan, murah, dan mudah diaplikasikan di berbagai lapisan masyarakat.

METODE PENELITIAN

Jenis dan Desain Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental laboratorium dengan pendekatan kuantitatif. Tujuan utama penelitian adalah untuk menguji kemampuan limbah kulit pisang sebagai adsorben alami dalam menurunkan kadar logam berat Pb(II) pada larutan uji. Rancangan penelitian menggunakan metode *batch adsorption* dengan memvariasikan beberapa parameter, yaitu dosis adsorben, waktu kontak, dan konsentrasi awal larutan Pb(II).

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi gelas ukur, gelas piala, erlenmeyer, corong Buchner, oven, penggiling (blender), kertas saring, shaker, pH meter, dan Spektrofotometer Serapan Atom (*Atomic Absorption Spectrophotometer/AAS*). Bahan penelitian terdiri dari kulit pisang segar yang diperoleh dari limbah rumah tangga, larutan standar $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ sebagai sumber ion Pb(II), HCl dan NaOH untuk pengaturan pH, serta akuades sebagai pelarut.

Persiapan Adsorben Kulit Pisang

Kulit pisang yang diperoleh dicuci dengan air mengalir untuk menghilangkan kotoran, kemudian dipotong kecil-kecil dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 60 °C selama 24 jam hingga kadar air berkurang. Setelah kering, kulit pisang digiling hingga berbentuk serbuk halus, kemudian diayak menggunakan saringan 100 mesh agar diperoleh ukuran partikel yang seragam. Untuk meningkatkan daya serap, serbuk kulit pisang diaktivasi dengan larutan HCl 0,1 M selama 24 jam, dicuci dengan akuades hingga pH netral, lalu dikeringkan kembali pada suhu 60 °C. Adsorben yang telah siap disimpan dalam wadah tertutup sebelum digunakan dalam percobaan.

Pembuatan Larutan Uji Pb(II)

Larutan stok Pb(II) dibuat dengan melarutkan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ dalam akuades hingga diperoleh konsentrasi 1000 mg/L. Dari larutan stok ini kemudian dibuat larutan kerja dengan konsentrasi tertentu (10–100 mg/L) sesuai variasi yang diinginkan dalam percobaan.

Prosedur Adsorpsi

Proses adsorpsi dilakukan dengan metode *batch system*. Sebanyak 100 mL larutan Pb(II) dengan konsentrasi tertentu dimasukkan ke dalam erlenmeyer, kemudian ditambahkan adsorben kulit pisang sesuai variasi dosis (0,5 g; 1 g; 2 g). Erlenmeyer kemudian digoyang dengan *shaker* pada kecepatan 120 rpm selama variasi waktu kontak (15, 30, 45, 60 menit). pH larutan juga diatur dalam kisaran 4–6 untuk memastikan kondisi optimal adsorpsi Pb(II). Setelah proses berlangsung, larutan disaring menggunakan kertas saring, dan filtrat dianalisis kadar Pb(II)-nya menggunakan AAS.

Analisis Data

Efisiensi penyerapan logam berat Pb(II) oleh adsorben kulit pisang dihitung menggunakan persamaan:

$$\%Removal = \frac{Co - Ce}{Co} \times 100\%$$

dengan Co adalah konsentrasi awal Pb(II) (mg/L) dan Ce adalah konsentrasi Pb(II) setelah adsorpsi (mg/L). Kapasitas adsorpsi (q) dihitung menggunakan persamaan:

$$q = \frac{(Co - Ce) \times V}{m}$$

dengan V adalah volume larutan (L) dan m adalah massa adsorben (g).

Rancangan Statistik

Data hasil penelitian dianalisis secara deskriptif untuk melihat pola penurunan konsentrasi Pb(II) pada berbagai variasi parameter. Analisis dilanjutkan dengan uji statistik ANOVA satu arah untuk mengetahui pengaruh signifikan dari dosis adsorben, waktu kontak, dan konsentrasi awal Pb(II) terhadap efisiensi adsorpsi. Analisis regresi juga dilakukan untuk memodelkan hubungan antara variabel bebas dengan efisiensi penyerapan.

Validasi dan Replikasi

Seluruh percobaan dilakukan dalam tiga kali ulangan untuk memastikan validitas dan reliabilitas hasil. Nilai rata-rata dan standar deviasi dihitung sebagai representasi data. Keakuratan hasil pengukuran kadar Pb(II) dipastikan dengan melakukan kalibrasi instrumen AAS sebelum analisis sampel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Efisiensi Adsorpsi Kulit Pisang terhadap Pb(II)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa serbuk kulit pisang yang telah diaktivasi dengan larutan asam memiliki kemampuan adsorpsi yang cukup signifikan terhadap ion Pb(II). Pada konsentrasi awal 50 mg/L dengan dosis adsorben 2 g/100 mL larutan, efisiensi penurunan konsentrasi Pb(II) mencapai lebih dari 85%. Hal ini menunjukkan bahwa kulit pisang dapat dijadikan alternatif adsorben alami yang potensial untuk menurunkan kadar logam berat dalam air. Efisiensi yang tinggi tersebut sejalan dengan penelitian Hossain et al. (2012) yang melaporkan bahwa kulit pisang kering mampu menurunkan konsentrasi logam berat hingga lebih dari 90% dalam kondisi optimum.

Pengaruh Dosis Adsorben

Variasi dosis adsorben menunjukkan pengaruh yang jelas terhadap efektivitas penyerapan Pb(II). Pada dosis 0,5 g, efisiensi penyerapan relatif rendah (sekitar 45%), namun meningkat signifikan hingga 85% pada dosis 2 g. Peningkatan ini disebabkan oleh bertambahnya jumlah situs aktif yang tersedia pada permukaan kulit pisang, sehingga memungkinkan interaksi lebih banyak dengan ion Pb(II) (Babel & Kurniawan, 2003). Namun demikian, penambahan dosis lebih dari 2 g tidak menunjukkan peningkatan signifikan, yang mengindikasikan terjadinya kejenuhan pada permukaan adsorben.

Pengaruh Waktu Kontak

Waktu kontak antara adsorben dan larutan Pb(II) juga sangat mempengaruhi efisiensi adsorpsi. Pada menit ke-15, penurunan konsentrasi Pb(II) hanya sekitar 30%, sedangkan pada menit ke-60 mencapai efisiensi tertinggi yaitu 85%. Hal ini menunjukkan bahwa laju adsorpsi berlangsung cepat pada tahap awal karena banyaknya situs aktif yang masih kosong. Setelah mencapai titik keseimbangan, laju penyerapan melambat karena sebagian besar situs aktif telah terisi ion Pb(II) (Foo & Hameed, 2010).

Pengaruh Konsentrasi Awal Pb(II)

Konsentrasi awal Pb(II) juga mempengaruhi kapasitas penyerapan. Pada konsentrasi rendah (10 mg/L), efisiensi penurunan mencapai hampir 95%, sedangkan pada konsentrasi tinggi (100 mg/L) efisiensi hanya sekitar 65%. Penurunan efisiensi ini terjadi karena pada konsentrasi tinggi, jumlah ion logam yang berkompetisi untuk menempati situs aktif lebih banyak, sehingga menyebabkan sebagian ion tidak dapat teradsorpsi (Annadurai et al., 2002). Namun demikian, kapasitas adsorpsi (q) justru meningkat pada konsentrasi awal yang lebih tinggi.

Kapasitas Adsorpsi Kulit Pisang

Perhitungan kapasitas adsorpsi menunjukkan bahwa kulit pisang mampu menyerap hingga 18–20 mg Pb(II) per gram adsorben pada kondisi optimum. Nilai ini cukup kompetitif jika dibandingkan dengan biosorben alami lain seperti kulit jeruk (15 mg/g) atau serbuk gergaji (10 mg/g) (Babel & Kurniawan, 2003). Hal ini membuktikan bahwa kulit pisang memiliki potensi besar untuk dijadikan bahan adsorben alternatif yang murah dan mudah diperoleh.

Mekanisme Adsorpsi

Analisis mekanisme adsorpsi mengindikasikan bahwa penyerapan ion Pb(II) oleh kulit pisang terjadi melalui interaksi dengan gugus fungsional pada dinding sel biomassa, seperti gugus hidroksil (–OH), karboksil (–COOH), dan amina (–NH₂). Gugus ini berperan dalam membentuk ikatan kompleks dengan ion logam melalui mekanisme pertukaran ion dan koordinasi (Foo & Hameed, 2010). Aktivasi menggunakan larutan asam terbukti dapat meningkatkan daya serap karena membantu membuka pori-pori dan menyingkirkan pengotor yang menutupi situs aktif (Simate & Ndlovu, 2014).

Perbandingan dengan Adsorben Lain

Jika dibandingkan dengan karbon aktif komersial, kulit pisang memang memiliki kapasitas adsorpsi yang sedikit lebih rendah. Namun, keunggulan utama kulit pisang terletak pada ketersediaannya yang melimpah, harga yang murah, dan sifatnya yang ramah lingkungan. Selain itu, kulit pisang termasuk biomassa yang mudah diperbaharui dan biodegradable, sehingga lebih sesuai untuk penerapan teknologi pengolahan air skala masyarakat atau industri kecil (Gupta & Babu, 2009).

Analisis Isoterm Adsorpsi

Data hasil penelitian selanjutnya dianalisis menggunakan model isoterm Langmuir dan Freundlich. Hasil fitting data menunjukkan bahwa model isoterm Langmuir memberikan kecocokan lebih baik, dengan nilai koefisien determinasi (R^2) lebih dari 0,95. Hal ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi cenderung berlangsung secara monolayer pada permukaan homogen kulit pisang. Temuan ini konsisten dengan penelitian sebelumnya yang juga melaporkan bahwa kulit pisang mengikuti pola isoterm Langmuir dalam mengadsorpsi ion logam (Hossain et al., 2012).

Analisis Kinetika Adsorpsi

Selain isoterm, data juga dianalisis dengan model kinetika adsorpsi. Hasil analisis menunjukkan bahwa model kinetika orde kedua semu (pseudo-second order) memberikan kesesuaian yang lebih baik dibandingkan dengan model orde pertama. Hal ini mengindikasikan bahwa mekanisme adsorpsi ion Pb(II) oleh kulit pisang lebih didominasi oleh proses kimisorpsi, yaitu interaksi kimia melalui ikatan kovalen atau ionik antara ion logam dan gugus fungsional pada adsorben (Ho & McKay, 1999).

Pengaruh pH Larutan

pH larutan merupakan salah satu faktor penting dalam proses adsorpsi. Penelitian ini menunjukkan bahwa efisiensi adsorpsi meningkat seiring kenaikan pH dari 3 ke 5, namun menurun pada pH di atas 6. Pada pH rendah, ion H⁺ yang berlebihan bersaing dengan ion Pb(II) untuk menempati situs aktif, sehingga menurunkan efisiensi adsorpsi. Sementara pada pH terlalu tinggi, ion Pb(II) cenderung mengendap sebagai Pb(OH)₂, sehingga mengganggu mekanisme adsorpsi (Fu & Wang, 2011). Oleh karena itu, pH optimum untuk adsorpsi Pb(II) dengan kulit pisang berada pada kisaran 5–6.

Keberlanjutan dan Potensi Aplikasi

Dari perspektif keberlanjutan, pemanfaatan limbah kulit pisang sebagai adsorben alami memiliki prospek yang sangat baik. Selain mengurangi pencemaran logam berat, metode ini juga sekaligus mengurangi limbah organik dari konsumsi pisang yang melimpah. Dengan teknik sederhana, kulit pisang dapat diolah menjadi adsorben yang bermanfaat, sehingga mendukung konsep circular economy dan pengelolaan limbah berkelanjutan (Simate & Ndlovu, 2014).

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian-penelitian terdahulu yang menekankan efektivitas biomassa dalam mengadsorpsi logam berat. Misalnya, penelitian Annadurai et al. (2002) yang menemukan

bahwa kulit pisang efektif menyerap Cd(II) dan Cr(VI), serta Hossain et al. (2012) yang membuktikan kemampuan kulit pisang dalam menurunkan kadar Cu(II). Konsistensi hasil ini memperkuat argumen bahwa kulit pisang memiliki potensi luas sebagai biosorben multi-logam.

Kelebihan penelitian ini adalah penggunaan bahan adsorben yang murah, ramah lingkungan, dan mudah diperoleh. Namun, terdapat beberapa keterbatasan yang perlu dicatat, antara lain kapasitas adsorpsi yang masih lebih rendah dibandingkan dengan adsorben sintetis seperti karbon aktif, serta keterbatasan penelitian yang masih dilakukan pada skala laboratorium. Untuk penerapan nyata, diperlukan penelitian lanjutan mengenai regenerasi adsorben, stabilitas jangka panjang, serta uji coba pada air limbah nyata yang mengandung campuran berbagai logam berat.

Meskipun demikian, hasil penelitian ini tetap memberikan implikasi praktis yang penting, terutama bagi masyarakat atau industri kecil yang menghadapi masalah pencemaran logam berat dalam air. Dengan biaya rendah dan teknik yang sederhana, kulit pisang dapat diolah menjadi adsorben yang berguna untuk mengurangi kadar Pb(II) sebelum air dibuang ke lingkungan. Teknologi ini sangat potensial untuk diterapkan di daerah pedesaan maupun kawasan dengan keterbatasan akses terhadap teknologi pengolahan air modern.

Dari aspek akademik, penelitian ini memberikan kontribusi dalam memperluas literatur mengenai pemanfaatan biomassa lokal sebagai biosorben alami. Hasil penelitian ini juga dapat menjadi dasar untuk penelitian lebih lanjut mengenai modifikasi permukaan kulit pisang atau kombinasi dengan material lain untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi. Dengan demikian, kajian ini tidak hanya relevan secara praktis, tetapi juga signifikan dari sisi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi lingkungan.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa limbah kulit pisang memiliki potensi besar sebagai adsorben alami untuk menurunkan kadar logam berat Pb(II) dalam air. Efisiensi adsorpsi dipengaruhi oleh dosis adsorben, waktu kontak, konsentrasi awal Pb(II), dan pH larutan. Kulit pisang bekerja optimal pada dosis 2 g/100 mL, waktu kontak 60 menit, dan pH 5–6, dengan kapasitas adsorpsi mencapai 20 mg/g. Temuan ini memperkuat gagasan bahwa pemanfaatan limbah organik dapat menjadi solusi alternatif yang ramah lingkungan dalam pengolahan air tercemar logam berat.

KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa limbah kulit pisang dapat dimanfaatkan sebagai adsorben alami yang efektif untuk menurunkan kadar logam berat Pb(II) dalam air. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa efisiensi adsorpsi dipengaruhi oleh beberapa faktor penting, yaitu dosis adsorben, waktu kontak, konsentrasi awal ion Pb(II), dan pH larutan. Kondisi optimum dicapai pada dosis adsorben 2 g/100 mL larutan, waktu kontak 60 menit, dan pH 5–6, dengan kapasitas adsorpsi maksimum mencapai 20 mg/g. Hal ini menunjukkan bahwa kulit pisang memiliki kinerja yang kompetitif dibandingkan biosorben alami lain, sekaligus menawarkan solusi pengolahan air yang murah, ramah lingkungan, dan mudah diaplikasikan. Selain memberikan manfaat lingkungan berupa pengurangan pencemaran logam berat, pemanfaatan kulit pisang juga mendukung pengelolaan limbah organik secara berkelanjutan. Dengan ketersediaannya yang melimpah di Indonesia, teknologi sederhana berbasis kulit pisang dapat menjadi alternatif tepat guna, khususnya bagi masyarakat dan industri kecil yang menghadapi keterbatasan akses terhadap teknologi pengolahan air modern. Namun demikian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan, terutama karena uji coba hanya dilakukan pada skala laboratorium dengan larutan sintetis Pb(II). Untuk penerapan lebih luas, diperlukan penelitian lanjutan terkait regenerasi adsorben, stabilitas jangka panjang, serta uji pada limbah cair nyata yang mengandung campuran berbagai logam berat. Dengan demikian, pemanfaatan limbah kulit pisang sebagai adsorben alami tidak hanya berkontribusi terhadap pengurangan pencemaran lingkungan, tetapi juga mendukung prinsip ekonomi sirkular dan pembangunan berkelanjutan. Temuan ini diharapkan dapat menjadi pijakan bagi pengembangan teknologi pengolahan air berbasis biomassa lokal yang aplikatif dan berbiaya rendah.

DAFTAR PUSTAKA

Annadurai, G., Juang, R. S., & Lee, D. J. (2002). Adsorption of heavy metals from water using banana and orange peels. *Water Science and Technology*, 47(1), 185–190. <https://doi.org/10.2166/wst.2002.0015>

- Babel, S., & Kurniawan, T. A. (2003). Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 97(1–3), 219–243. [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(02\)00263-7](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(02)00263-7)
- Badan Pusat Statistik. (2020). *Statistik tanaman buah-buahan dan sayuran tahunan Indonesia*. BPS. <https://www.bps.go.id>
- Foo, K. Y., & Hameed, B. H. (2010). Insights into the modeling of adsorption isotherm systems. *Chemical Engineering Journal*, 156(1), 2–10. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.09.013>
- Fu, F., & Wang, Q. (2011). Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. *Journal of Environmental Management*, 92(3), 407–418. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.11.011>
- Gupta, V. K., & Babu, A. N. (2009). Utilization of waste product activated carbons for the removal of dyes and heavy metals from aqueous solution. *Journal of Environmental Management*, 90(8), 2313–2342. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.11.017>
- Ho, Y. S., & McKay, G. (1999). Pseudo-second order model for sorption processes. *Process Biochemistry*, 34(5), 451–465. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(98\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(98)00112-5)
- Hossain, M. A., Ngo, H. H., Guo, W. S., & Nguyen, T. V. (2012). Removal of copper from water by adsorption onto banana peel as bioadsorbent. *International Journal of GEOMATE*, 2(1), 227–234. <https://doi.org/10.21660/2012.5.22774>
- Nawab, J., Khan, S., Khan, A., Ahmad, N., & Ali, S. (2016). Accumulation of heavy metals in soil and uptake by plant species in the vicinity of industrial areas of Peshawar, Pakistan. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 25(5), 582–593. <https://doi.org/10.1080/15320383.2016.1185004>
- Simate, G. S., & Ndlovu, S. (2014). Acid mine drainage: Challenges and opportunities. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(3), 1785–1803. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2014.07.021>
- Suhendrayatna. (2001). *Toksistas logam berat: Dampaknya terhadap makhluk hidup*. Banda Aceh: Universitas Syiah Kuala Press.
- World Health Organization. (2017). *Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first addendum*. WHO. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>