

Effectiveness of Kepok Banana Peel Bioadsorbent for Workshop-Contaminated Water

Efektivitas Bioadsorben Kulit Pisang Kepok pada Air Tercemar Limbah Bengkel

Christien Linlona¹, Rudy Yoga Lesmana^{1*}, Diharyo¹

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Palangkaraya, Palangka Raya, Indonesia

*surel: christien@gmail.com

ABSTRACT

Motor vehicle workshop wastewater may contain persistent heavy metals. This study evaluated kepok banana peel bioadsorbent for treating workshop-contaminated water using a laboratory experiment and descriptive quantitative approach. The bioadsorbent was prepared by sun-drying, heating at 150 °C for 2 hours, sieving to 100 mesh, and activation with 3% NaOH. Adsorbent doses of 10, 15, and 20 g were mixed with 500 mL samples through coagulation, flocculation, and sedimentation. Initial pH was 6.72 and increased to 8.48–8.62 after treatment. Pb and Cu were reported as <0.024 mg/L and <0.007 mg/L before and after treatment. Because all Pb and Cu results were below the thresholds reported by the laboratory, their removal efficiencies could not be calculated. Under the tested conditions, pH increased after treatment, whereas its effectiveness for Pb and Cu removal remained undetermined.

Keywords:

bioadsorbent; kepok banana peel; workshop wastewater; lead; copper

Received: September 2026

Reviewed: September 2026

Issue: July 2025

ABSTRAK

Air tercemar limbah bengkel kendaraan bermotor berpotensi mengandung logam berat yang persisten. Penelitian ini mengevaluasi bioadsorben kulit pisang kepok melalui eksperimen laboratorium dengan pendekatan kuantitatif deskriptif. Bioadsorben dibuat dengan penjemuran, pemanasan pada 150 °C selama dua jam, pengayakan 100 mesh, dan aktivasi NaOH 3%. Dosis 10, 15, dan 20 gram dicampurkan dengan 500 mL sampel melalui koagulasi, flokulasi, dan sedimentasi. pH awal 6,72 meningkat menjadi 8,48–8,62. Pb dan Cu masing-masing dilaporkan <0,024 mg/L dan <0,007 mg/L sebelum dan sesudah perlakuan. Karena seluruh hasil Pb dan Cu berada di bawah ambang yang dilaporkan laboratorium, efisiensi penyisihan kedua logam tidak dapat dihitung. Pada kondisi pengujian, pH meningkat setelah perlakuan, sedangkan efektivitas penyisihan Pb dan Cu belum dapat ditentukan.

Kata Kunci:

bioadsorben; kulit pisang kepok; limbah bengkel; timbal; tembaga

Diterima: September 2026

Direview: September 2026

Edisi: Juli 2025



© 2025 The Authors. Published by Researches and Community Services JANTOS CV. Open Access under CC BY-SA 4.0. Lisensi: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>. DOI: —

PENDAHULUAN

Aktivitas bengkel kendaraan bermotor mencakup servis mesin, pemeriksaan sistem kelistrikan, rem dan suspensi, penggantian oli, pencucian komponen, serta perbaikan bodi. Rangkaian kegiatan tersebut menghasilkan air tercemar yang dapat membawa oli bekas, bahan bakar, pelumas, cairan radiator, pelarut, dan sisa bahan dari komponen kendaraan menuju saluran drainase. Perkembangan aktivitas otomotif dan jumlah kendaraan di Kota Palangka Raya membuat pengelolaan buangan bengkel penting diperhatikan. Apabila air tercemar dibuang tanpa pengolahan, bahan kontaminan yang terbawa aliran dapat menyebar ke lingkungan perairan di sekitar bengkel. Kondisi tersebut menjadi latar bagi penelitian pengolahan air tercemar limbah bengkel dengan bahan penyerap yang berasal dari limbah organik.

Timbal (Pb) dan tembaga (Cu) dipilih sebagai parameter kimia karena keduanya dapat berhubungan dengan aktivitas bengkel. Timbal dapat berasal dari sisa oli dan pelumas, aki, cat, serta komponen kendaraan. Unsur ini tidak dapat terurai secara hayati, bersifat persisten, dan dapat terakumulasi di lingkungan. Tembaga merupakan logam esensial pada konsentrasi sangat kecil, tetapi dapat bersifat toksik pada konsentrasi tinggi. Karena itu, meskipun pengukuran suatu sampel menunjukkan kadar rendah, pembuangan berulang tanpa pengolahan tetap perlu dicermati sebagai potensi pencemaran jangka panjang. [1][2]

Derajat keasaman atau pH digunakan sebagai parameter fisikokimia untuk menggambarkan konsentrasi ion hidrogen dan kondisi asam, netral, atau basa suatu perairan. pH dapat memengaruhi reaksi kimia yang berlangsung di air dan karena itu diukur bersama konsentrasi Pb dan Cu. Penelitian ini tidak menguji seluruh parameter air limbah; ruang lingkupnya dibatasi pada pH, Pb, dan Cu dalam sampel air dari drainase di sekitar satu bengkel. Batasan tersebut berarti hasilnya menggambarkan sampel dan lokasi penelitian, bukan seluruh bengkel atau seluruh mutu air limbah di daerah lain. [3]

Adsorpsi merupakan proses pengikatan partikel kimia dari larutan pada permukaan padatan penyerap. Bioadsorben dapat dibuat dari limbah pertanian yang mengandung selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Gugus karboksil dan hidroksil pada komponen selulosa dan pektin dapat berperan dalam pengikatan ion logam. Kulit pisang termasuk bahan yang telah digunakan sebagai bioadsorben. Kulit pisang kepok dipilih karena tersedia sebagai limbah organik. Pektin dan selulosa menyediakan gugus karboksil ($-\text{COOH}$) dan hidroksil ($-\text{OH}$) yang dibahas sebagai pengikat ion logam sehingga mendukung pemanfaatannya sebagai bahan penyerap. Pemanfaatan ini sekaligus memberi jalur penggunaan bagi kulit yang sebelumnya dibuang atau hanya dimanfaatkan secara terbatas. [4][5]

Kemampuan kulit pisang kepok menyerap logam telah dilaporkan dalam penelitian terdahulu, tetapi kondisi uji setiap penelitian berbeda. Penelitian terdahulu mencakup sistem kolom untuk Pb [10], larutan Pb [5], Cr dalam air limbah batik [6], serta Fe dalam larutan artifisial [7]. Temuan-temuan tersebut menunjukkan potensi bahan, bukan jaminan bahwa hasil yang sama akan muncul pada sampel drainase bengkel. Penelitian ini menerapkan bioadsorben kulit pisang kepok matang teraktivasi NaOH untuk mengamati pH, Pb, dan Cu pada air tercemar dari drainase sekitar bengkel di Kota Palangka Raya dengan variasi massa adsorben.

Tujuan penelitian adalah mengetahui kondisi awal pH, Pb, dan Cu pada air tercemar limbah bengkel; mengevaluasi kondisi ketiga parameter sesudah perlakuan bioadsorben kulit pisang kepok; serta mengamati hasil pada variasi massa 10, 15, dan 20 gram terhadap perubahan pH dan kemungkinan penyisihan Pb dan Cu. Hasil bertanda kurang dari ambang yang dilaporkan laboratorium merupakan data tersensor. Notasi $<0,024$ mg/L untuk Pb dan $<0,007$ mg/L untuk Cu tidak diubah menjadi angka tepat, karena konsentrasi sebenarnya sebelum dan sesudah perlakuan tidak diketahui. Oleh karena itu, tujuan evaluasi logam dibaca sesuai kemampuan pengukuran, tanpa menyatakan efisiensi nol atau besaran penyisihan yang tidak dapat dihitung.

METODOLOGI

Rancangan, lokasi, dan pengambilan sampel

Penelitian ini merupakan eksperimen laboratorium dengan pendekatan kuantitatif deskriptif. Sampel berasal dari drainase sekitar satu bengkel sepeda motor di Kota Palangka Raya. Pembuatan dan percobaan bioadsorben dilakukan di Laboratorium Lingkungan Universitas

Muhammadiyah Palangkaraya, sedangkan analisis logam dilakukan di Laboratorium Kesehatan Provinsi Kalimantan Tengah.

Sampel diambil secara grab sampling mengacu pada SNI 8995:2021 dari permukaan drainase, bukan langsung dari outlet. pH, Pb, dan Cu diuji sebelum perlakuan dan diuji kembali setelah setiap perlakuan serta pemisahan sedimen.

Alat dan bahan

Tabel 1. Alat penelitian

No.	Alat	Jumlah	Satuan	Fungsi
1	Botol sampel	10	buah	Menyimpan sampel air tercemar limbah bengkel
2	Aluminium foil	1	buah	Menyimpan bioadsorben saat pemanasan
3	Blender	1	buah	Menghaluskan kulit pisang
4	Jartest	1	buah	Menghomogenkan bioadsorben dan sampel air
5	Gelas beaker	9	buah	Menampung sampel saat perlakuan
6	Corong	1	buah	Memindahkan sampel air
7	pH meter	1	buah	Mengukur pH air dan bioadsorben
8	Timbangan analitik	1	buah	Menimbang massa bioadsorben
9	Ayakan 100 mesh	1	buah	Menyeragamkan ukuran partikel
10	Cutter	1	buah	Memotong kulit pisang kepok
11	Timer	1	buah	Mengatur waktu koagulasi, flokulasi, dan sedimentasi
12	Alat tulis	1	buah	Memberi label pada sampel

Tabel 2. Bahan penelitian

No.	Bahan	Jumlah	Satuan	Fungsi
1	Air tercemar limbah bengkel	10	liter	Sampel uji
2	NaOH 3%	21	gram	Aktivator
3	Akuades	5	liter	Mencuci alat dan menyesuaikan pH bioadsorben setelah aktivasi
4	Kulit pisang kepok matang	5	kg	Bahan utama bioadsorben

Peralatan dan bahan penelitian disajikan pada dua tabel. Jartest digunakan untuk pengadukan, timer mengendalikan durasi proses, sedangkan timbangan dan ayakan mengendalikan massa serta ukuran adsorben.

Pembuatan dan aktivasi bioadsorben

Kulit pisang kepok matang dari penjual pisang goreng dicuci, dipotong, lalu dijemur sekitar lima hari.

Massa bahan berubah dari 5 kg menjadi sekitar 1 kg setelah penjemuran dan 523 g setelah pemanasan pada 150 °C selama dua jam. Bahan kemudian didinginkan, dihaluskan, diayak 100 mesh, dan sebanyak 350 g digunakan untuk aktivasi. Alur 5 kg → 1 kg → 523 g → 350 g menyatakan massa antartahap, dengan 350 g sebagai bagian yang dipakai untuk aktivasi.

Larutan aktivator dibuat dari 21 g NaOH dan 700 mL akuades, dinyatakan sebagai NaOH 3%. Sebanyak 350 g adsorben direndam dua jam, dicuci berulang hingga mendekati pH 7, lalu dikeringkan pada 105 °C selama dua jam.

Aktivasi dan pengaruh kondisi preparasi terhadap sifat adsorben dibahas dalam literatur [8] [9]. Penelitian ini menggunakan satu kondisi aktivasi, yaitu NaOH yang dinyatakan 3%, perendaman dua jam, dan ukuran 100 mesh; perubahan pori tidak diukur.

Tahapan percobaan jartest

Setiap perlakuan memakai 500 mL sampel dan dosis bioadsorben 10, 15, atau 20 g. Jartest dijalankan pada 140 rpm selama 1 menit, dilanjutkan 30 rpm selama 15 menit dan sedimentasi 30 menit. Air dipisahkan dari sedimen sebelum pengujian pH, Pb, dan Cu.

1. Uji pH, Pb, dan Cu pada sampel sebelum perlakuan untuk menetapkan kondisi awal.
2. Masukkan 500 mL sampel ke wadah perlakuan dan tambahkan bioadsorben sesuai variasi 10 g, 15 g, atau 20 g.
3. Lakukan koagulasi pada 140 rpm selama 1 menit menggunakan jartest.
4. Lanjutkan flokulasi pada 30 rpm selama 15 menit, kemudian sedimentasi selama 30 menit.
5. Pisahkan air dari sedimen, pindahkan air ke botol sampel, lalu uji kembali pH, Pb, dan Cu.

Analisis data

Data dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan pH, Pb, dan Cu sebelum-sesudah perlakuan pada tiap dosis. Tabel pH mempertahankan tiga pengulangan untuk setiap dosis agar rentang hasil tetap terlihat dan tidak digantikan hanya oleh satu nilai ringkasan. Hasil Pb dan Cu juga dipertahankan untuk seluruh variasi dosis dan pengulangan dalam bentuk notasi yang dilaporkan laboratorium. Efisiensi hanya dapat dihitung jika konsentrasi awal dan akhir terukur; notasi di bawah ambang yang dilaporkan laboratorium tidak diperlakukan sebagai angka eksak. Karena tidak dilaporkan adanya kontrol tanpa adsorben, randomisasi, blanko, maupun analisis inferensial, pembahasan tidak menyatakan hubungan sebab-akibat atau perbedaan signifikan antardosis. Perbandingan difokuskan pada pola deskriptif serta keterukuran hasil terhadap ambang yang dilaporkan laboratorium.

$$\text{Efisiensi adsorpsi (\%)} = ((C_0 - C_e) / C_0) \times 100\% \quad (1)$$

C_0 adalah konsentrasi awal dan C_e adalah konsentrasi akhir. Karena Pb <0,024 mg/L dan Cu <0,007 mg/L merupakan data tersensor kiri, nilai aktual C_0 dan C_e tidak tersedia. Kesamaan notasi sebelum dan sesudah perlakuan hanya menunjukkan bahwa keduanya berada di bawah ambang yang dilaporkan; notasi itu tidak menunjukkan bahwa kedua konsentrasi aktual sama. Oleh sebab itu, efisiensi tidak dinyatakan 0% dan ambang yang dilaporkan laboratorium tidak dipakai sebagai pengganti konsentrasi sebenarnya. Interpretasi artikel dibatasi menjadi tiga pernyataan: analit berada di bawah ambang yang dilaporkan laboratorium, perubahan kuantitatif tidak dapat didemonstrasikan, dan efektivitas penyisihan pada kondisi penelitian belum dapat ditentukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik sampel dan kondisi awal

Sampel diambil dari drainase di sekitar bengkel sepeda motor di Kota Palangka Raya. Secara visual, air tampak gelap kehitaman, berbau menyengat, dan memiliki lapisan minyak yang mengapung di permukaan. Karakteristik tersebut konsisten dengan keberadaan bahan dari kegiatan bengkel seperti oli bekas, bahan bakar, dan sisa pelumas. Akan tetapi, pengamatan warna, bau, dan lapisan minyak tidak digunakan untuk menetapkan konsentrasi Pb atau Cu. Konsentrasi kedua logam tetap didasarkan pada hasil analisis laboratorium, sedangkan observasi visual berfungsi menggambarkan kondisi sampel saat pengambilan.

Tabel 3. Karakteristik awal sampel

Parameter	Satuan	Hasil awal
pH	–	6,72
Pb	mg/L	<0,024
Cu	mg/L	<0,007

Tanda < menunjukkan hasil di bawah ambang yang dilaporkan laboratorium, bukan konsentrasi eksak.

Pengujian awal menghasilkan pH 6,72, sehingga sampel berada dekat kondisi netral. Pb dilaporkan <0,024 mg/L dan Cu <0,007 mg/L. Karena hasil logam menggunakan tanda "<", informasi yang tersedia adalah bahwa kadarnya berada di bawah ambang yang dilaporkan laboratorium, bukan bahwa Pb tepat 0,024 mg/L dan Cu tepat 0,007 mg/L.

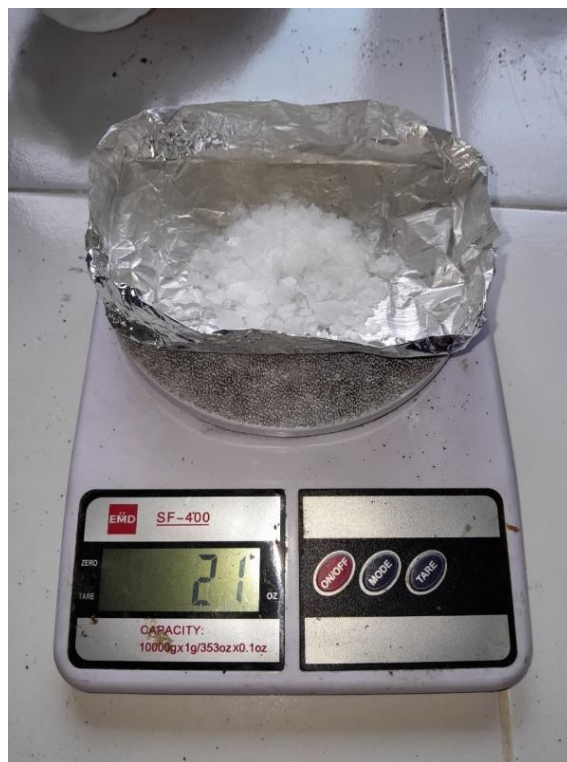


Gambar 1. Proses pemanasan kulit pisang kepok menggunakan oven

Sampel berasal dari permukaan drainase di sekitar bengkel, bukan langsung dari outlet. Hasil penelitian terbatas pada sampel dan lokasi tersebut; data tidak menetapkan konsentrasi logam di outlet atau pada bagian drainase yang tidak diambil.

Perubahan massa selama pembuatan bioadsorben

Kulit pisang kepok matang yang dikumpulkan mempunyai massa awal 5 kg. Setelah dicuci, dipotong, dan dijemur sekitar lima hari, massanya turun menjadi sekitar 1 kg. Setelah pemanasan pada 150 °C selama dua jam, massa bahan turun lagi menjadi 523 gram, disertai warna yang lebih gelap. Angka-angka ini menunjukkan massa pada tahapan preparasi yang diamati; perubahan massa dan warna tidak membuktikan pembentukan struktur karbon.



Gambar 2. Penimbangan bahan aktivator sebelum aktivasi bioadsorben

Bahan pemanasan yang telah dingin dihaluskan dan diayak pada 100 mesh agar ukuran partikel lebih seragam. Sebanyak 350 gram dari 523 gram hasil pemanasan kemudian digunakan pada proses aktivasi. Adsorben direndam selama dua jam dalam larutan yang dibuat dari 21 gram NaOH dan 700 mL akuades. Sesudahnya, bahan dicuci berulang sampai mendekati pH 7 dan dikeringkan kembali pada 105 °C selama dua jam. Urutan 5 kg → 1 kg → 523 g → 350 g dengan demikian harus dibaca sebagai massa awal, massa setelah dehidrasi, massa setelah pemanasan, dan massa yang dialokasikan untuk aktivasi.

Respons pH pada variasi massa adsorben

Tabel 4. Hasil pH sesudah perlakuan

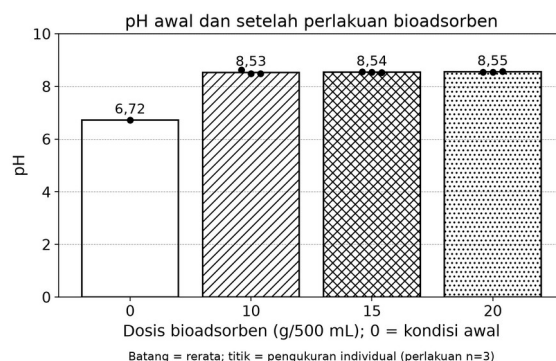
Dosis	Ulangan 1	Ulangan 2	Ulangan 3	Rentang
10 g	8,62	8,49	8,48	8,48–8,62
15 g	8,55	8,54	8,53	8,53–8,55
20 g	8,54	8,54	8,57	8,54–8,57

pH awal 6,72.

Setelah perlakuan, seluruh nilai pH meningkat dibandingkan pH awal 6,72. Pada dosis 10 gram, tiga pengulangan menghasilkan 8,62; 8,49; dan 8,48. Dosis 15 gram menghasilkan 8,55; 8,54; dan 8,53. Dosis 20 gram menghasilkan 8,54; 8,54; dan 8,57. Keseluruhan hasil berada pada kisaran 8,48–8,62. Data memperlihatkan perubahan sampel dari mendekati netral menjadi lebih basa setelah kontak dengan bioadsorben teraktivasi.

Perbedaan antardosis relatif kecil dan tidak membentuk kenaikan pH yang berurutan seiring pertambahan massa. Nilai tertinggi justru terdapat pada salah satu pengulangan dosis 10 gram, yaitu 8,62, sedangkan hasil dosis 15 dan 20 gram terkumpul dalam rentang yang lebih sempit.

Karena itu, data mendukung pernyataan bahwa pH meningkat setelah perlakuan pada semua dosis, tetapi tidak mendukung klaim bahwa semakin besar dosis selalu menghasilkan pH semakin tinggi. Penelitian ini tidak menyajikan pengujian statistik, sehingga istilah pengaruh signifikan tidak digunakan untuk membedakan tiga dosis tersebut.



Gambar 3. Rerata dan rentang pH awal serta pH setelah perlakuan pada dosis 10, 15, dan 20 g per 500 mL

Pb dan Cu di bawah ambang yang dilaporkan laboratorium

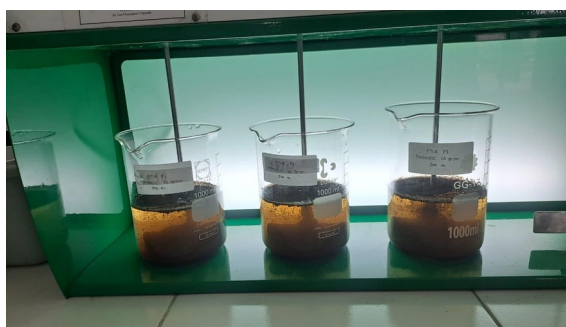
Tabel 5. Ringkasan Pb dan Cu sebelum dan sesudah perlakuan

Para meter	Awal	10 g	15 g	20 g	Interpretasi
Pb	<0,024 mg/L	<0,024 mg/L (3 ulangan)	<0,024 mg/L (3 ulangan)	<0,024 mg/L (3 ulangan)	Seluruh hasil di bawah ambang yang dilaporkan laboratorium
Cu	<0,007 mg/L	<0,007 mg/L (3 ulangan)	<0,007 mg/L (3 ulangan)	<0,007 mg/L (3 ulangan)	Seluruh hasil di bawah ambang yang dilaporkan laboratorium

Notasi < menunjukkan hasil di bawah ambang yang dilaporkan laboratorium, bukan konsentrasi eksak. Jenis ambang (LOD, LOQ, atau batas pelaporan lain) belum dapat dipastikan dari informasi yang tersedia.

Pada Pb, semua pengulangan untuk dosis 10, 15, dan 20 gram dilaporkan <0,024 mg/L, sama dengan bentuk pelaporan kondisi awal. Pada Cu, seluruh pengulangan di ketiga dosis dilaporkan <0,007 mg/L, juga sama dengan bentuk pelaporan awal. Hasil ini tidak memberikan pasangan konsentrasi numerik C_0 dan C_e . Laboratorium hanya menunjukkan bahwa setiap hasil berada di bawah ambang yang dilaporkan laboratorium masing-masing parameter. Oleh sebab itu, tidak dapat ditentukan apakah konsentrasi aktual menurun, tetap, atau berubah di dalam rentang yang tidak terukur oleh metode tersebut.

Perhitungan efisiensi membutuhkan konsentrasi awal dan akhir yang diketahui. Mengganti <0,024 dengan 0,024 atau <0,007 dengan 0,007 akan menghilangkan makna tanda kurang dari dan menciptakan ketepatan yang tidak diberikan hasil laboratorium. Demikian pula, mengurangi dua notasi batas yang sama lalu menyebut hasilnya 0% tidak sah karena nilai aktual di balik masing-masing batas dapat berbeda. Karena konsentrasi sebenarnya tidak dapat diketahui secara pasti, artikel ini menyimpulkan bahwa efisiensi penyisihan Pb dan Cu tidak dapat dihitung, bukan 0%.



Gambar 4. Proses pengujian sampel menggunakan jar test

Perbandingan dengan Nisak: sistem kolom untuk Pb

Nisak (2022) meneliti kulit pisang kepek sebagai bioadsorben Pb dengan sistem kontinyu atau kolom [10]. Penelitian ini memakai sampel drainase dengan Pb <0,024 mg/L dan sistem jar test

batch. Perbedaan sistem pengujian membatasi perbandingan langsung, dan hasil tersensor penelitian ini tidak menyediakan konsentrasi aktual untuk menghitung efisiensi.

Perbandingan dengan Anom Putra: penyisihan Pb 95,6%

Anom Putra dan rekan (2019) menggunakan bioadsorben kulit pisang kepok berbentuk karbon aktif berukuran 100 mesh yang diaktivasi dengan H_2SO_4 2,5 M. Dosis adsorben yang diuji adalah 1, 2, dan 3 gram dalam larutan Pb. Dosis 3 gram menghasilkan penurunan tertinggi 95,6%, dari konsentrasi awal 4,96 mg/L menjadi 0,22 mg/L. Sampel berupa larutan Pb dengan konsentrasi awal terukur jauh di atas batas pelaporan Pb pada penelitian ini. Selain itu, aktivator dan rentang dosis berbeda. Hasil 95,6% menunjukkan kinerja pada kondisi Anom Putra, tetapi tidak membuktikan bahwa dosis 10–20 gram pada sampel drainase penelitian ini gagal atau berhasil, karena hasil penelitian ini tersensor di bawah ambang yang dilaporkan laboratorium. [5]

Perbandingan dengan penelitian Cr pada air limbah batik

Penelitian tahun 2023 menguji kulit pisang kepok untuk menyisihkan krom dan warna pada air limbah batik [6]. Adsorben dikeringkan dan dipanaskan pada 400 °C. Konsentrasi awal Cr dilaporkan 0,4173 mg/L, kemudian diuji dengan waktu kontak 15–90 menit dan pengadukan 100–200 rpm. Penyisihan warna tertinggi dilaporkan 67,94% pada 200 rpm selama 60 menit. Perbandingan ini terbatas karena logam sasaran, matriks air limbah, suhu pemanasan, waktu kontak, dan kecepatan pengadukan berbeda dari penelitian ini.

Perbandingan dengan Arifiyana dan Devianti: adsorpsi Fe

Arifiyana dan Devianti meneliti kulit pisang kepok sebagai biosorben Fe dalam larutan. Hasil pada Fe tidak setara dengan Pb atau Cu pada sampel drainase. [7] Penelitian Christien tidak menyediakan konsentrasi awal-akhir kuantitatif untuk menghitung kapasitas maupun efisiensi logam.

Makna perbedaan sampel sintesis atau berkonsentrasi tinggi dan sampel drainase

Penelitian pembandingan menggunakan matriks dan kondisi pengujian yang berbeda dari penelitian ini. Sampel penelitian ini diambil dari drainase sekitar bengkel, bukan larutan sintesis dengan konsentrasi logam yang ditetapkan. Pb dan Cu sejak awal dilaporkan di bawah ambang laboratorium sehingga efisiensi penyisihan tidak dapat dikuantifikasi.

Hasil di bawah ambang yang dilaporkan laboratorium tidak identik dengan tidak adanya logam dan juga tidak identik dengan konsentrasi nol. Hasil tersebut hanya membatasi informasi pada rentang di bawah ambang yang dilaporkan. Karena kondisi awal dan akhir sama-sama berada dalam rentang tak terkuantifikasi, penambahan massa adsorben tidak dapat dinilai pengaruhnya terhadap penyisihan Pb dan Cu. Pernyataan yang masih didukung data adalah bahwa tidak ada perbedaan notasi laboratorium antarvariasi dosis. Pernyataan yang tidak didukung ialah bahwa semua dosis menghasilkan tepat 0% efisiensi atau bahwa adsorben pasti tidak menyerap logam sama sekali.

Keterbatasan pengukuran juga memisahkan kesimpulan untuk pH dan logam. pH tersedia sebagai angka pada setiap pengulangan sehingga perubahan dari 6,72 menuju 8,48–8,62 dapat dibahas. Untuk Pb dan Cu, tidak tersedia angka aktual sehingga rumus efisiensi tidak dapat diterapkan. Rancangan penelitian tidak menyediakan pembandingan tanpa adsorben atau variasi aktivasi untuk memisahkan mekanisme perubahan pH. Oleh karena itu, hasil artikel dibatasi pada observasi perubahan pH dan ketidakpastian efektivitas penyisihan logam di bawah kondisi pengujian.

Evaluasi efisiensi dan kapasitas adsorpsi memerlukan konsentrasi awal dan akhir yang terukur; ambang laboratorium tidak dapat diperlakukan sebagai konsentrasi pasti.

KESIMPULAN

Bioadsorben kulit pisang kepok dibuat melalui pencucian, pemotongan, penjemuran sekitar lima hari, pemanasan 150 °C selama dua jam, penghalusan 100 mesh, serta aktivasi NaOH 3%. Alur massa yang tercatat adalah 5 kg bahan awal, sekitar 1 kg setelah dehidrasi, 523 gram setelah pemanasan, dan 350 gram yang digunakan untuk aktivasi. Pada jarrest dengan dosis 10, 15, dan 20 gram per 500 mL, pH meningkat dari 6,72 menjadi 8,48–8,62 setelah perlakuan. Seluruh hasil Pb tetap dilaporkan <0,024 mg/L dan Cu <0,007 mg/L sebelum dan sesudah perlakuan. Karena nilai aktual berada di bawah ambang yang dilaporkan laboratorium, efisiensi penyisihan kedua logam tidak dapat dihitung dan efektivitas bioadsorben untuk Pb serta Cu belum

dapat ditentukan. Tanpa kontrol tanpa adsorben dan tanpa konsentrasi logam aktual, hasil ini tidak menetapkan sebab perubahan pH maupun efektivitas penyisihan Pb dan Cu.

REFERENSI

- [1] P. Budiastuti, M. Raharjo, and N. A. Y. Dewanti, “Analisis Pencemaran Logam Berat Timbal Di Badan Sungai Babon Kecamatan Genuk Semarang”, *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, vol. 4, p. 7, 2016.
- [2] A. L. Wani, A. Ara, and J. A. Usmani, “Lead toxicity: A review”, *Interdisciplinary Toxicology*, vol. 8, no. 2, pp. 55–64, 2015.
- [3] Setyowati, *Kimia lingkungan*. Yogyakarta: Andi, 2009.
- [4] D. Fatmi and B. H. Putra, “Studi efektifitas limbah kulit pisang (*Musa acuminata*) sebagai biosorben logam berat seng (Zn)”, *Menara Ilmu: Jurnal Penelitian dan Kajian Ilmiah*, vol. 12, no. 9, 2018, URL: <https://jurnal.umsb.ac.id/index.php/menarailmu/article/view/952>.
- [5] I. P. K. Anom Putra, N. Narwati, P. Hermiyanti, and H. Trisyanti, “Bioadsorben Kulit Pisang Kepok (*Musa Acuminata* L.) Dalam Menurunkan Kadar Timbal (Pb) Pada Larutan Pb”, *Jurnal Penelitian Kesehatan SUARA FORIKES*, vol. 10, no. 1, p. 1, 2019, doi: 10.33846/Sf.V10i1.286.
- [6] L. Dini, R. A. Kusumadewi, and R. Hadisoebroto, “Adsorpsi logam berat krom (Cr) dan zat warna dengan adsorben kulit pisang kepok dalam air limbah batik”, *Jurnal Reka Lingkungan*, vol. 11, no. 1, pp. 37–48, 2023.
- [7] Djamilah Arifiyana and Vika Ayu Devianti, “Biosorption of Fe (II) Ions from Aqueous Solution using Kepok Banana Peel (*Musa acuminata*)”, *JKPK (Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia)*, vol. 6, no. 2, p. 206, 2021, doi: 10.20961/jkpk.v6i2.45181, URL: <https://jurnal.uns.ac.id/jkpk/article/view/45181>.
- [8] A. L. Ahmad, S. Sumathi, and B. H. Hameed, “Preparation of activated carbon from biomass by chemical activation: A review”, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 8, no. 1, pp. 103–115, 2020.
- [9] S. Diharyo, Z. Damanik, and S. Gumiri, “Pengaruh lama aktifasi dengan H₃PO₄ dan ukuran butir arang cangkang kelapa sawit terhadap ukuran pori dan luas permukaan butir arang aktif”, in *Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah*, 2020, pp. 48–54.
- [10] Khoiriyatun Nisak, “Pemanfaatan limbah kulit pisang kepok *Musa acuminata* L. sebagai bioadsorben timbal Pb dengan sistem kontinyu”, Undergraduate thesis, UIN Sunan Ampel Surabaya, 2022, URL: <https://digilib.uinsa.ac.id/id/eprint/53982/>.