SEMNAS RETRO
SEMINAR NASIONAL REKAYASA TROPIS
"Rekayasa tropis dan Kampus berdampak : Mendorong inovasi hijau untuk pembangunan nasional"
https://e-journals.unmul.ac.id/index.php/SEMNASTEK/index

Pengaruh pH terhadap Biosorpsi Timbal Pb(II) oleh *Pseudomonas putida* Terimobilisasi pada Matriks Kalsium Alginat

Khairunnisa[1)*], Aulia Almag Fira[1] dan Putri Aldeani[1)]
[1)] Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Mulawarman
E-mail: khairunnisa@ft.unmul.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini mengevaluasi pengaruh pH terhadap biosorpsi Pb(II) menggunakan Pseudomonas putida yang diimobilisasi dalam matriks kalsium alginat. Biosorben disiapkan dengan mencampurkan suspensi sel (±10^8 CFU/mL) ke dalam larutan alginat steril dan meneteskan campuran ke larutan $CaCl_2$ 0,1 M untuk membentuk bead, diikuti pengeringan dan pengayakan. Uji batch dilakukan pada C_0=25 mg/L (100 mL), massa biosorben 0,15 g, pengadukan 60 menit pada suhu kamar, dan variasi pH 3–8 konsentrasi akhir diukur dengan AAS. Karakterisasi dilakukan menggunakan FTIR dan SEM-EDX sebelum dan sesudah adsorpsi. Hasil menunjukkan kapasitas meningkat dari pH 3–4 dan optimum pada pH sekitar 5, kemudian menurun/menetap pada pH lebih tinggi. FTIR mengindikasikan pergeseran/peluruhan pita $–COO^-$ dan –OH/–NH yang konsisten dengan kompleksasi dan pertukaran ion pada matriks alginat/biomassa, sedangkan SEM memperlihatkan permukaan yang lebih kasar pasca-adsorpsi. Temuan ini menegaskan bahwa imobilisasi P. putida pada kalsium alginat efektif untuk penghilangan Pb(II), dengan pH sebagai variabel kunci untuk mengoptimalkan kinerja.

Kata kunci: Biosorpsi; Pseudomonas putida;Imobilisasi; pH; Pb(II).

ABSTRACT

This study examines the effect of pH on Pb(II) biosorption by calcium–alginate–immobilized Pseudomonas putida. The biosorbent was prepared by mixing a cell suspension (≈10^8 CFU/mL) with sterile alginate and dripping the mixture into 0.1 M $CaCl_2$ to form beads, followed by drying and sieving. Batch tests used an initial Pb(II) concentration of 25 mg/L (100 mL), biosorbent mass of 0.15 g, 60 min contact at room temperature, and pH variation from 3 to 7; residual Pb(II) was quantified by AAS. FTIR and SEM-EDX characterizations were performed before and after adsorption. Results show increasing capacity from acidic conditions to a maximum at around pH 5, followed by a decrease/plateau at higher pH. FTIR reveals shifts/intensity changes of $–COO^-$ and –OH/–NH bands indicative of complexation and ion-exchange within the alginate/biomass matrix, while SEM images show roughened, heterogeneous surfaces after adsorption. These findings confirm that immobilized P. putida is effective for Pb(II) removal and that pH control is critical to optimize performance.

Keywords: Biosorption; *Pseudomonas putida*; Immobilization; pH; Pb(II).

1. Pendahuluan

Timbal (Pb) tetap menjadi polutan prioritas karena efeknya yang merusak sistem saraf, kardiovaskular, dan ginjal—even pada pajanan rendah. WHO menegaskan tidak ada kadar Pb dalam darah yang aman**,** dan regulator seperti US-EPA menempatkan target kesehatan air minum (MCLG) untuk Pb pada nol karena toksisitas pada kadar rendah. Ini menuntut teknologi penghilangan Pb yang efektif pada konsentrasi renik dan layak diterapkan.Tujuan pelaksanaan kegiatan penelitian sesuai topik judul diuraikan dalam bagian ini. Sertakan tinjauan Pustaka berupa pernyataan dari sumber di buku, jurnal, prosiding, website, atau sumber data yang dapat dijadikan referensi untuk penguat kegiatan penelitian.(who)

Metode fisika-kimia (presipitasi/koagulasi, membran, pertukaran ion) memang efektif, tetapi pada kadar renik dan memunculkan lumpur sekunder. Salah satu pendekatan yang menjanjikan adalah biosorpsi, yaitu penyerapan ion logam oleh biomassa (hidup atau mati) melalui mekanisme permukaan

seperti pertukaran ion (ion exchange), kompleksasi, adsorpsi elektrostatik dan mikropresipitasi. Biosorpsi memiliki keunggulan seperti biaya yang relatif rendah, regenerabilitas, dan kemampuannya bekerja pada kondisi lingkungan yang bervariasi. Pada konteks ini**,** biosorpsi pemanfaatan biomassa mikroba/komponennya sebagai penyerap menjadi alternatif yang ekonomis, ramah lingkungan, dan operasionalnya sederhana, terlebih bila biomassa diimobilisasi sehingga mudah dipisahkan dan digunakan ulang. Tinjauan mutakhir dan studi eksperimental menunjukkan *immobilized microbial biosorbent* dalam matriks kalsium alginat stabil dan efisien untuk ion logam berat yang meningkatkan stabilitas mekanik, memudahkan pemisahan/reuse, dan mempertahankan kapasitas penjerapan (Velkova et al. 2018) (Torres 2020)

Pseudomonas putida dikenal mampu mengikat kation logam berat melalui gugus karboksilat/fosfat/hidroksil pada dinding sel/EPS, beberapa studi menunjukkan sorpsi Pb(II) oleh *P. putida* (bahkan dengan kapasitas tinggi) dan ketergantungan kuat pada pH (Pardo et al. 2003).

Berdasarkan uraian tersebut maka tujuan penelitian ini adalah ini bertujuan untuk menelaah secara spesifik bagaimana pengaruh pH terhadap kapasitas biosorpsi Pb(II) oleh *Pseudomonas putida* yang terimmobilisasi dalam matriks kalsium alginat. Serta Mengidentifikasi karakterisasi pada biosorben.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan *Pseudomonas putida*. Bahan kimia yang digunakan meliputi $Pb(NO_3)_2$, natrium alginate, $CaCl_2$, *Nutrien Broth*, Agar, NaOH, HCl, HNO_3 dan akuades. Peralatan yang digunakan meliputi cawan petri, jarum ose, pipet tetes, pipet ukur, labu ukur, gelas kimia, Erlenmeyer, oven, *hot plate stirrer*, pH meter, inkubator shaker, autoklaf dan sentrifus, Spektrofotometer Serapan Atom (AAS), FT-IR,dan SEM.

A. Pembuatan Larutan Sintetis

Larutan stok Pb(II) 1000 mg/L dibuat dengan melarutkan 1,5985 g $Pb(NO_3)_2$ dalam akuades hingga volume 1000 mL. Penambahan 1 mL HNO_3 pekat dilakukan untuk mencegah hidrolisis dan presipitasi ion logam. Perhitungan massa $Pb(NO_3)_2$ didasarkan pada rumus stoikiometri dengan mempertimbangkan berat molekul $Pb(NO_3)_2$.

B. Imobilisasi *Pseudomonas Putida* dalam Matriks Alginat

Larutan natrium alginat 2% (w/v) disiapkan dengan melarutkan 2 g alginat dalam 100 mL akuades steril, diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 2 jam pada suhu ruang, kemudian disterilisasi dengan autoklaf (121°C, 15 menit). Larutan $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ 0,1 M dibuat dengan melarutkan 1,47 g garam dalam 100 mL akuades steril dan disterilisasi dengan cara yang sama. Suspensi sel *Pseudomonas putida* (10^8 CFU/mL) dicampurkan dengan larutan alginat steril (1:1 v/v), dihomogenkan perlahan, lalu diteteskan menggunakan jarum suntik (diameter 1,2 mm) ke dalam larutan $CaCl_2$ 0,1 M dari ketinggian ±10 cm. Bead yang terbentuk dikeraskan selama 30 menit, dicuci tiga kali dengan akuades, dikeringkan pada suhu 80°C selama 2 jam, kemudian digerus dan diayak menggunakan ayakan 80 mesh.

C. Biosorpsi Logam Pb(II)

Percobaan biosorpsi dilakukan secara batch untuk penentuan pH optimum. Larutan awal Pb(II) disiapkan dengan konsentrasi C_0 = 25 mg/L (100 mL). pH awal divariasikan: 3, 4, 5, 6, 7,8(penyesuaian pH menggunakan HCl/NaOH 0,1 M). Biosorben ditimbang m = 0,15 g, kemudian campuran diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 60 menit pada suhu kamar. Setelah itu, sampel disaring/disentrifugasi dan konsentrasi akhir Pb(II) (C_e) diukur menggunakan AAS. pH optimum ditetapkan dari nilai q_e tertinggi.

$$qe = \frac{C_o - C_e}{m} \mathrm{V} \quad (1)$$

C_0 adalah konsentrasi awal larutan (mg/L), sedangkan C_t merupakan konsentrasi larutan pada waktu t menit (mg/L). V menunjukkan volume larutan (L) dan m adalah massa adsorben (g) (Setiawan et al. 2024)

D. Karakterisasi Adsorben

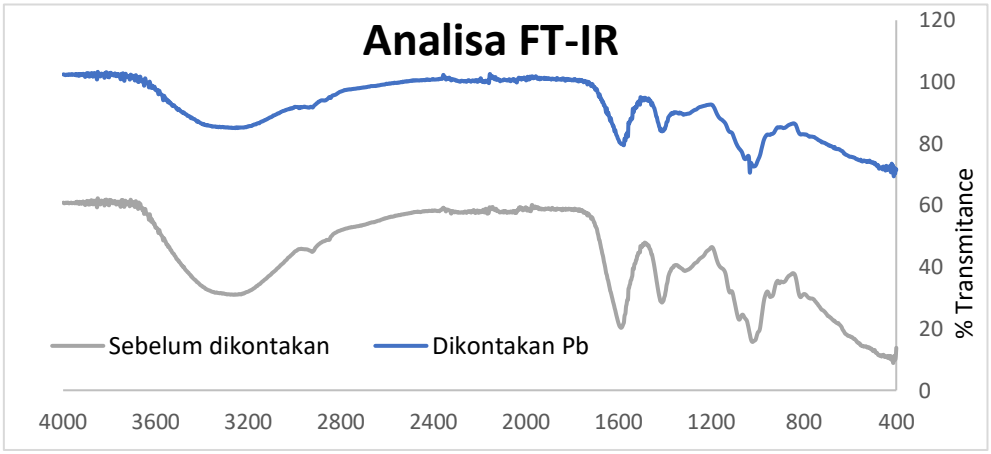
Karakterisasi morfologi serta identifikasi gugus fungsi biosorben terimobilisasi dilakukan menggunakan teknik SEM-EDX dan FTIR. Analisis FTIR dan SEM-EDX diterapkan baik pada biosorben terimobilisasi sebelum maupun sesudah proses adsorpsi. Sampel biosorben pasca-adsorpsi diperoleh melalui uji adsorpsi pada kondisi optimum.

3. Hasil dan Pembahasan

A. Hasil Karakterisasi Adsorben

1) FTIR

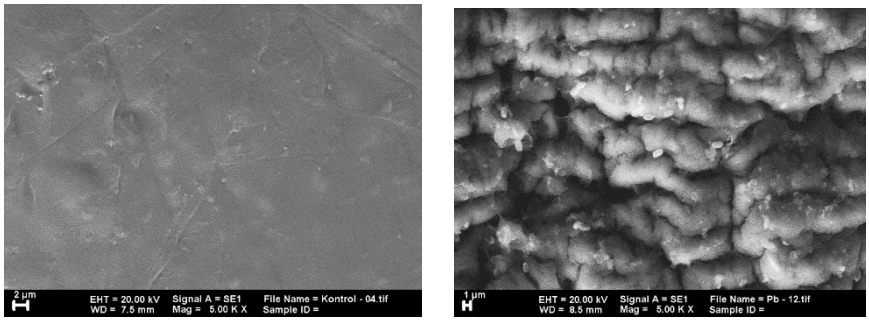
Untuk mengidentifikasi gugus fungsional yang terkandung pada biosorben maka dianalisa menggunakan FTIR pada panjang gelombang 400-4000 cm^{-1} dengan menggunakan FTIR tipe *Thermo Scientific Nocolet*. Dari analisa ini diharapkan dapat diidentifikasi gugus fungsional apa saja yang terdapat pada biosorben.
Hasil identifikasi gugus fungsional imobilisasi *Pseudomonas putida* sebelum dan sesudah dikontakkan ion logam disajikan pada gambar berikut.



Gambar 1 Analisa FTIR pada biosorben imobilisasi *Pseudomonas Putida* sebelum dan sesudah dikontakkan ion Pb

Dari gambar 1 terlihat bahwa –OH/–NH (~3200–3500 cm^{-1}) tampak melemah dan sedikit bergeser setelah kontak Pb(II), menandakan penguatan ikatan H/ koordinasi pada gugus donor elektron di matriks polisakarida–protein.(Kassem et al. 2023). Karboksilat alginat (COO^-) (~1590–1650 cm^{-1}) dan (COO^-) (~1390–1425 cm^{-1}) menunjukkan pergeseran dan penurunan transmittansi ini adalah penanda klasik kompleksasi Pb(II) pada $–COO^-$ serta pertukaran ion $Ca^{2+} \rightarrow Pb^{2+}$ (Papageorgiou et al. 2010). Perubahan di Amida I/II (~1650/~1540 cm^{-1}) dan/atau fosfat (~1230–1260; 1080–1100 cm^{-1}) menunjukkan kontribusi protein/EPS dan gugus fosfat dinding sel bakteri dalam pengikatan logam (Khashei, Etemadifar, and Rahmani 2018). Daerah C–O–C/C–O polisakarida (~1150–1020 cm^{-1}) biasanya ikut berubah ringan, selaras dengan interaksi rangka polisakarida terhadap Pb(II) (Nastaj, Przewłocka, and Rajkowska-Myśliwiec 2016).
Analisis FT-IR menunjukkan terjadinya interaksi yang signifikan antara material dengan ion Pb^{2+}. Perubahan paling mencolok teramati pada wilayah 1600-1400 cm^{-1} dimana transmitansi menurun drastis dari 60% menjadi 20%, mengindikasikan pembentukan ikatan koordinasi antara gugus karboksil ($-COO^-$) dengan ion Pb^{2+}. Perubahan intensitas pada gugus hidroksil (4000-3000 cm^{-1}) dan gugus C-O (1200-800 cm^{-1}) mengkonfirmasi keterlibatan multiple situs aktif dalam proses adsorpsi. Hasil ini membuktikan bahwa material dapat mengadsorpsi ion timbal secara efektif melalui mekanisme kemisorpsi dengan pembentukan kompleks logam-ligan.

2) Analisis SEM

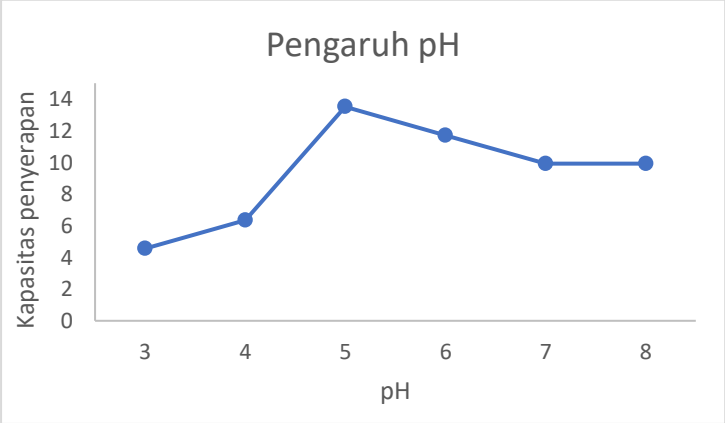


Gambar 2 Hasil analisa SEM pada permukaan biosorben imobilisasi *P.putida* dengan perbesaran 5000X (a) sebelum dikontakkan (b) setelah dikontakkan logam Pb

Imobilisasi *P.putida* sebelum dikontakkan terlihat mulus dan terlihat garis-garis. Setelah dikontakkan ion logam tampak berbeda, permukaan tampak kasar dan heterogen. Hal ini membuktikan terjadinya interaksi antara gugus fungsi yang ada pada permukaan biosorben dan ion logam dengan dilihat dari perubahan struktur pada permukaan biosorben.

3) Pengaruh pH

Derajat keaasaman (pH) merupakan faktor utama yang mempengaruhi proses adsorpsi logam di dalam larutan, karena pH yang bervariasi pada larutan akan berpengaruh pada muatan yang terdapat pada situs aktif permukaan biosorben.



Gambar 3 Pengaruh pH pada adsorpsi ion logam oleh imobilisasi *P.putida*

Kurva menunjukkan kapasitas naik dari pH asam (3–4) ke pH menengah (puncak di pH 5), lalu menurun/menetap pada pH 6–8. Pada pH rendah, banyak gugus aktif biosorben masih terprotonasi sehingga H^+ "berebut" tempat dengan kation logam—akibatnya penjerapan kecil(Chen et al. 2021). Saat pH dinaikkan, gugus asam terdeprotonasi (mis. $–COO^-$) sehingga permukaan menjadi lebih negatif dan ikatan ion-exchange/kompleksasi menguat; karena itu banyak studi melaporkan pH optimum 5–6 (mis. Pb(II) pada *Bacillus subtilis* optimum pH 6(El-Sharkawy et al. 2024), serta Pb(II) pada daun mullein optimum pH 6. Pada pH lebih tinggi, spesiasi logam bergeser ke bentuk hidroksi/awal presipitasi sehingga ion bebas yang bisa terjerap berkurang dan kurva cenderung turun/plateau (El-Sharkawy et al. 2024) Sebagai penguat, tinjauan sistematik 2023 pada biosorpsi multi-logam juga menekankan pH sebagai pengendali utama kinerja adsorben/biosorben(Bayuo et al. 2023).

4. Kesimpulan

Berlandaskan hasil uji batch dan karakterisasi, penelitian ini menegaskan bahwa pH merupakan variabel kunci yang mengendalikan kinerja biosorpsi Pb(II) oleh Pseudomonas putida terimobilisasi. Kapasitas penyerapan meningkat dari kondisi asam ke pH menengah dan mencapai optimum di sekitar pH 5, kemudian cenderung menurun atau stabil pada pH yang lebih tinggi. Analisis FTIR mengindikasikan keterlibatan gugus karboksilat ($–COO^-$) serta –OH/–NH melalui mekanisme kompleksasi dan pertukaran ion pada matriks kalsium alginat dan komponen biomassa, sedangkan citra SEM menunjukkan perubahan morfologi permukaan setelah kontak dengan Pb(II) yang merefleksikan terbentuknya ikatan pada situs aktif. Imobilisasi dalam bead kalsium alginat terbukti memudahkan proses pemisahan dan memungkinkan pemakaian ulang tanpa menurunkan performa secara berarti. Dengan pengendalian pH yang tepat, sistem biosorben ini muncul sebagai solusi sederhana dan efektif untuk menurunkan konsentrasi Pb(II) pada air tercemar serta layak dikembangkan menuju aplikasi skala lebih luas.

5. Daftar Pustaka

Bayuo, Jonas, Mwemezi J. Rwiza, Mika Sillanpää, and Kelvin Mark Mtei. 2023. "Removal of Heavy Metals from Binary and Multicomponent Adsorption Systems Using Various Adsorbents – a Systematic Review." *RSC Advances* 13(19):13052–93. doi:10.1039/D3RA01660A.

Chen, Xinggang, Zhuang Tian, Haina Cheng, Gang Xu, and Hongbo Zhou. 2021. "Adsorption Process and Mechanism of Heavy Metal Ions by Different Components of Cells, Using Yeast (Pichia Pastoris) and Cu2+as Biosorption Models." *RSC Advances* 11(28):17080–91. doi:10.1039/d0ra09744f.

El-Sharkawy, Reyad M., Mohamed Khairy, Mohamed H. H. Abbas, Magdi E. A. Zaki, and Abdalla E. El-Hadary. 2024. "Innovative Optimization for Enhancing Pb2+ Biosorption from Aqueous Solutions Using Bacillus Subtilis." *Frontiers in Microbiology* 15. doi:10.3389/fmicb.2024.1384639.

Kassem, Amin, Lana Abbas, Oliver Coutinho, Somie Opara, Hawraa Najaf, Diana Kasperek, Keshav Pokhrel, Xiaohua Li, and Sonia Tiquia-Arashiro. 2023. "Applications of Fourier Transform-Infrared Spectroscopy in Microbial Cell Biology and Environmental Microbiology: Advances, Challenges, and Future Perspectives." *Frontiers in Microbiology* 14. doi:10.3389/fmicb.2023.1304081.

Khashei, Sanaz, Zahra Etemadifar, and Hamid Reza Rahmani. 2018. "Immobilization of Pseudomonas Putida PT in Resistant Matrices to Environmental Stresses: A Strategy for Continuous Removal of Heavy Metals under Extreme Conditions." *Annals of Microbiology* 68(12):931–42. doi:10.1007/s13213-018-1402-7.

Nastaj, Józef, Agata Przewłocka, and Monika Rajkowska-Myśliwiec. 2016. "Biosorption of Ni(II), Pb(II) and Zn(II) on Calcium Alginate Beads: Equilibrium, Kinetic and Mechanism Studies." *Polish Journal of Chemical Technology* 18(3):81–87. doi:10.1515/pjct-2016-0052.

Papageorgiou, Sergios K., Evangelos P. Kouvelos, Evangelos P. Favvas, Andreas A. Sapalidis, George E. Romanos, and Fotios K. Katsaros. 2010. "Metal–Carboxylate Interactions in Metal–Alginate Complexes Studied with FTIR Spectroscopy." *Carbohydrate Research* 345(4):469–73. doi:10.1016/j.carres.2009.12.010.

Pardo, Rafael, Mar Herguedas, Enrique Barrado, and Marisol Vega. 2003. "Biosorption of Cadmium, Copper, Lead and Zinc by Inactive Biomass of Pseudomonas Putida." *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 376(1):26–32. doi:10.1007/s00216-003-1843-z.

Setiawan, Adhi, Devi Ayu Rahmawati, Nora Amelia Novitrie, and Denny Dermawan. 2024. "Efektivitas Biosorpsi Logam Berat Ni(II) Menggunakan Saccharomyces Cerevisiae Terimobilisasi Pada Natrium Alginat." *METANA* 20(2):69–78. doi:10.14710/metana.v20i2.59250.

Torres, Enrique. 2020. "Biosorption: A Review of the Latest Advances." *Processes* 8(12):1–23.

Velkova, Zdravka, Gergana Kirova, Margarita Stoytcheva, Sonia Kostadinova, Kostadinka Todorova, and Velizar Gochev. 2018. "Immobilized Microbial Biosorbents for Heavy Metals Removal." *Engineering in Life Sciences* 18(12):871–81.