



Pengambilan Logam Pb dengan Metode Elektrokoagulasi dalam Sistem Al_(s) | Pb(NO₃)_{2(aq)}, EDTA_(aq) || H₂O_(aq) | C_(s)

Ajeng Dyah Rianasari¹, Linda Suyati^{1*}, Gunawan¹

¹Department of Chemistry, Faculty of Sciences and Mathematics, Diponegoro University, Semarang, Indonesia

*Corresponding author: linda_suyati@live.undip.ac.id

Received: 26 Mei 2025 / Accepted: 10 Juni 2025

Available online: 16 Juni 2025

Abstrak

Timbal adalah logam berat yang sering digunakan dalam industri otomotif yang mencemari lingkungan yang berbahaya pada manusia karena toksik dan karsinogenik. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan proses elektrokoagulasi terhadap timbal untuk mengurangi limbahnya pada lingkungan perairan. Elektrokoagulasi menggunakan elektroda alumunium pada anoda dan karbon pada katoda. Penelitian ini dilakukan variasi tegangan, pH, waktu serta penambahan ligan EDTA untuk menentukan kondisi optimum. Konsentrasi timbal dianalisa menggunakan spektroskopi serapan atom (SSA). Hasil yang didapatkan pada penelitian ini menunjukkan bahwa elektrokoagulasi mampu untuk mengurangi limbah timbal di perairan dengan efisiensi pengurangan timbal sebesar 91,53% dengan kondisi optimum elektrokoagulasi yaitu pada tegangan 9 Volt, pH 7, selama 60 menit tanpa penambahan ligan EDTA. Berdasarkan hasil yang didapatkan, elektrokoagulasi memiliki potensi untuk mengurangi timbal dari air limbah dengan biaya operasi yang ekonomis dan mempunyai efisiensi penghilangan logam timbal yang tinggi.

Kata Kunci: Elektrokoagulasi, timbal, alumunium.

1. Pendahuluan

Perkembangan industri yang semakin pesat di era modern ini menimbulkan limbah yang semakin banyak dan berbahaya bagi lingkungan, termasuk pada air dan tanah (1). Air limbah yang dibuang tanpa diolah terlebih dahulu yang pada umumnya mengandung senyawa karsinogen seperti Pb menyebabkan pencemaran air dan tanah (2). Hal ini sangat berbahaya apabila logam Pb yang masuk ke dalam tubuh kita yang berasal dari pencemaran air dan makanan yang kita konsumsi lebih banyak dari 10 µg/dL yang dapat menyebabkan kerusakan hati, ginjal, sistem reproduksi, sistem saraf dan otak (3).

Beberapa metode dalam penurunan kadar logam timbal dalam air telah dilakukan, seperti adsorpsi, ekstraksi pelarut, pertukaran ion dan presipitasi kimiawi. Adsorpsi telah diakui sebagai metode yang efektif dan ekonomis untuk pengolahan air limbah logam berat konsentrasi rendah tetapi selektivitas rendah, memakan waktu, pemisahan adsorbat dan adsorben sulit (4), ekstraksi pelarut tidak cocok untuk limbah yang mengandung kurang dari 1 g/L logam berat yang ditargetkan. Presipitasi kimiawi dinilai cukup efisien dan ekonomis pada kasus ini, namun kelemahan metode ini yaitu menghasilkan endapan yang banyak sehingga menimbulkan limbah padatan yang baru dan proses

pertukaran ion terlalu mahal karena mahalnya resin sintesis (5).

Elektrokoagulasi dapat digunakan untuk mengurangi endapan yang terbentuk melalui terbentuknya flokulasi. Elektrokoagulasi mengolah air limbah yang mengandung timbal dengan cepat, terkontrol dengan baik dan membutuhkan lebih sedikit bahan kimia sehingga lebih ramah lingkungan. Elektrokoagulasi juga menghasilkan produk akhir reduksi yang baik dan menghasilkan jumlah endapan yang berkurang dengan peralatan yang sederhana dan mudah dioperasikan (4). Pada elektrokoagulasi ini menggunakan ligan etilendiamin tetraasetat (EDTA) karena selain dapat menghantarkan elektron, EDTA juga memiliki manfaat untuk menurunkan potensial sel, sehingga dapat menurunkan tegangan yang dibutuhkan untuk elektrokoagulasi (6).

2. Metode dan Bahan

2.1 Bahan dan Alat

Pb(NO₃)₂ (p.a), akuades, NaOH (p.a), EDTA, plat alumunium (TLC Silica gel 60 F254), karbon (grafit), alat gelas standar penelitian, timbangan elektrik (S/N P 1 835442), pH meter, teaktor elektrolisis, power supply, jepit buaya dan kabel, multimeter

Doi:

digital (Merk Sanswa CD800a), Spektrofotometri Serapan Atom Model PinAAcle 900F, SEM-EDX (Thermo Scientific Phenom ProX).

2.2 Preparasi Larutan

Padatan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ sebanyak 0,1599 gram dilarutkan dalam akuades hingga volume 100 mL agar diperoleh larutan induk Pb^{2+} dengan konsentrasi 1000 ppm. Larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 1000 ppm diencerkan menjadi 10 ppm ke dalam labu ukur 500 mL. Pembuatan larutan NaOH dan HNO_3 dengan masing-masing konsentrasi 0,1M serta 7 mL EDTA 0,2 M. Semua reagen ditempatkan dalam botol gelas pada tempat yang gelap.

2.3 Elektrokoagulasi

Elektrolisis dilakukan dengan sistem 2 kompartemen yang terdiri dari anoda dan katoda. Pada katoda menggunakan 4 karbon sedangkan pada anoda menggunakan 4 plat aluminium dengan ukuran 5 x 1,5 cm, yang dikaitkan dengan papan silika yang dihubungkan sumber tegangan (power supply). Dua kompartemen tersebut dipisahkan dengan jembatan garam. Kompartemen katoda diisi dengan akuades, sedangkan anoda diisi dengan larutan timbal nitrat ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) dan ligan EDTA.

2.4 Elektrokoagulasi Variasi Tegangan

Larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ sebanyak 100 mL dielektrokoagulasi dengan variasi tegangan 3, 6, 9, 12 Volt selama 60 menit dengan 100 mL akuades. Setelah proses elektrokoagulasi selesai kemudian disaring dan filtrat yang diperoleh dianalisis menggunakan SSA.

2.5 Elektrokoagulasi Variasi pH

Larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ sebanyak 100 mL dielektrokoagulasi dengan variasi pH 3, 5, 7, 9 dan 11 dengan tegangan optimum yang telah didapat selama 60 menit dengan 100 mL akuades. Setelah proses elektrokoagulasi selesai kemudian disaring dan filtrat yang diperoleh dianalisis menggunakan SSA.

2.6 Elektrokoagulasi Variasi Waktu

Larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ sebanyak 100 mL dielektrokoagulasi dengan variasi waktu 15, 30, 45 dan 60 menit pada tegangan dan pH optimum yang telah didapat dengan 100 mL akuades. Setelah proses elektrokoagulasi selesai kemudian disaring dan filtrat yang diperoleh dianalisis menggunakan SSA.

2.7 Elektrokoagulasi Variasi Penambahan EDTA

Larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ sebanyak 100 mL ditambahkan 7 mL EDTA 0,2M dielektrokoagulasi dengan tegangan, pH dan waktu optimum yang telah didapat dengan 107 mL akuades. Setelah proses elektrokoagulasi selesai kemudian disaring dan filtrat yang diperoleh dianalisis menggunakan SSA.

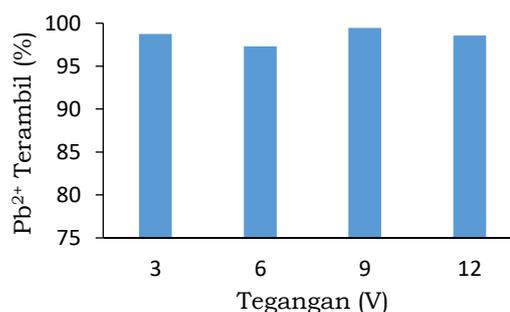
2.8 Analisa

Konsentrasi timbal dianalisa menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) Model PinAAcle 900F. Hasil pengukuran data logam timbal ada pada tabel 1. Karakterisasi morfologi dan komposisi unsur pada plat anoda menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Energy-Dispersive X-Ray* (EDX) (Thermo Scientific Phenom ProX).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Variasi Tegangan

Variasi ini bertujuan untuk menentukan tegangan optimum untuk melakukan proses penghapusan logam Pb secara elektrokoagulasi dialiri tegangan variasi 3, 6, 9, dan 12 volt selama 1 jam. Setelah proses selesai, dilakukan penyaringan untuk memisahkan antara filtrat dan flok yang terbentuk selama proses. Filtrat selanjutnya diukur konsentrasinya menggunakan instrumen SSA yang digunakan untuk menghitung persentase pengurangan Pb^{2+} . Berdasarkan hasil perhitungan, persen Pb^{2+} terambil variasi tegangan dapat dilihat pada Gambar 1.



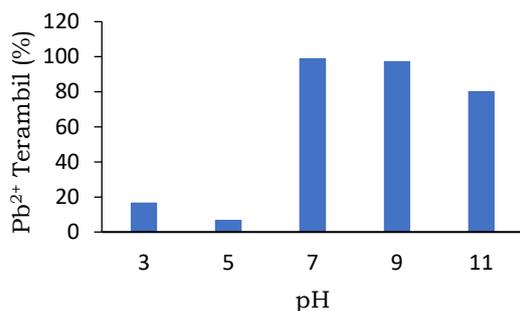
Gambar 1. Persentase Pb^{2+} yang terambil (%) terhadap variasi tegangan.

Hasil optimum didapatkan pada tegangan 9 Volt sebesar 99,46%. Terjadi penurunan persentase dari tegangan 3 Volt ke 6 Volt disebabkan akibat kurang meratanya pengamplasan plat anoda aluminium yang teroksidasi, maka perlu adanya penggantian anoda (7), namun jika tegangan yang diberikan terlalu besar, maka rapat arus yang dihasilkan akan semakin besar sehingga akan meningkatkan konsumsi energi (8), hal ini dapat menyebabkan jumlah ion Al^{3+} dan OH^- semakin banyak di dalam larutan. Jumlah ion OH^- yang terlalu banyak akan menyebabkan $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang telah terbentuk terlarut menjadi $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ sehingga berdampak pada penurunan Pb (II) yang terambil.

3.2. Hasil Variasi pH

Pengaruh pH awal larutan Pb (II) bertujuan untuk menentukan kondisi pH awal larutan Pb (II) sebelum proses elektrokoagulasi secara optimal. Variasi pH yang digunakan yaitu 3, 5, 7, 9 dan 11. Pengaruh pH awal larutan Pb (II) terhadap pengambilan Pb (II) dapat dilihat pada Gambar 2.

Doi:

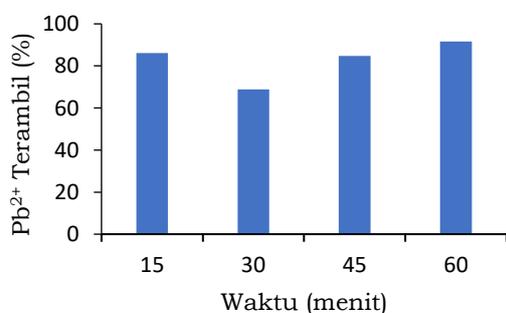


Gambar 2. Persentasi Pb²⁺ yang terambil (%) terhadap variasi pH.

Kondisi optimum pH awal larutan Pb (II) sebelum elektrokoagulasi yaitu pada kondisi pH 7 (9). Kondisi pH 3 dan 5 didapatkan hasil persen pengambilan Pb (II) yaitu 16,87% dan 7,05%. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi tersebut kurang efektif dalam pengambilan Pb (II) dalam larutan. Ini disebabkan karena pada kondisi asam, kehadiran H⁺ akan menghambat terbentuknya Pb(OH)₂ dan Al(OH)₃. Kondisi pH 7 dan 9 terjadi peningkatan persen pengambilan Pb (II) sebesar 99,08% dan 97,60%. Hal ini disebabkan karena penambahan basa pada larutan akan meningkatkan jumlah OH⁻ sehingga Pb (II) terendapkan dan membantu proses pengambilan Pb (II) pada saat elektrokoagulasi. Kondisi pH 7-10 Al(OH)₃ yang terbentuk mendominasi sehingga pada kondisi tersebut Pb (II) yang terambil akan optimum. Kondisi pH 11 terjadi penurunan persen pengambilan Pb (II) yaitu sebesar 80,39%. Hal ini disebabkan pada kondisi pH di atas 9 akan menghasilkan Al(OH)₄⁻. Ketika pH semakin meningkat, jumlah ion OH⁻ di dalam larutan semakin banyak karena berbanding lurus dengan larutan basa yang ditambahkan. Jumlah ion OH⁻ yang terlalu banyak akan menyebabkan koagulan Al(OH)₃ yang telah terbentuk terlarut kembali menjadi Al(OH)₄⁻, yang mendominasi dalam larutan sehingga proses koagulasi kurang disukai (9).

3.3 Hasil Variasi Waktu

Variasi waktu yang digunakan yaitu 15, 30, 45 dan 60 menit. Pengaruh variasi waktu pada elektrokoagulasi pengambilan Pb (II) dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Persentasi Pb²⁺ yang terambil (%) terhadap variasi Waktu.

Terjadi penurunan persentase Pb terambil dari menit ke 15 sampai menit ke 30 yaitu dari 86,14%

ke 68,75%, disebabkan karena penggunaan plat Al yang tidak diganti pada saat proses elektrokoagulasi. Menurut Bazrafshan (7), plat Al perlu diganti secara berkala karena plat Al yang digunakan telah teroksidasi. Sedangkan pada menit ke 45 dan 60 terjadi kenaikan persen Pb (II) terambil yaitu 84,72% dan 91,53%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu elektrokoagulasi maka semakin banyak koagulan Al(OH)₃ yang terbentuk sehingga semakin banyak Pb (II) yang terambil (10).

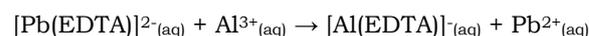
3.4 Hasil Variasi Pengaruh Penambahan Ligan EDTA

Proses elektrokoagulasi dilakukan pada kondisi optimum (tegangan, waktu dan pH optimum) dengan penambahan EDTA berkonsentrasi 0,20 M. Hasil elektrokoagulasi Pb²⁺ dengan dan tanpa penambahan EDTA dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Persentase pengambilan Pb²⁺ dengan dan tanpa penambahan ligan EDTA 0,20 M

Variasi	Persentase Pb ²⁺ terambil (%)
Tanpa penambahan EDTA	91,53
penambahan EDTA	-

Berdasarkan Tabel 1 didapatkan persentase hasil pengambilan Pb²⁺ dengan metode elektrokoagulasi tanpa penambahan ligan EDTA sebesar 91,53% dan dengan kondisi yang sama dengan penambahan ligan EDTA tidak terambil. Hal ini disebabkan karena EDTA berperan sebagai ligan dan terikat dengan logam Pb dan membentuk senyawa kompleks, sehingga flok tidak terbentuk. Menurut Pocięcha (11) mekanisme yang terjadi pada elektrokoagulasi Pb²⁺ dengan penambahan EDTA adalah terjadinya reaksi trans-kompleksasi yaitu dalam hal ini substitusi Pb pada kompleks EDTA dengan logam lain. Logam lain yang mungkin adalah Al³⁺, yang memang memiliki konstanta stabilitas formasi kompleks (Kf) yang lebih rendah daripada Pb yaitu sebesar 1,3.10¹⁶ sedangkan Pb 2.10¹⁸ sehingga Al yang teroksidasi selama proses elektrokoagulasi berikatan dengan ligan EDTA sehingga tidak terbentuknya flok yang dapat mengadsorbi Pb²⁺. Reaksi trans-kompleksasi yang terjadi menurut Pocięcha (11) sebagai berikut:

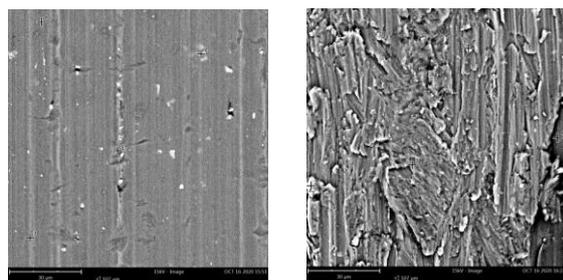


3.5 Karakterisasi Elektroda Aluminium dengan Instrumen SEM - EDX

Pada penelitian ini dilakukan karakterisasi terhadap elektroda plat aluminium atau anoda aluminium menggunakan instrumen *Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive X-ray* atau SEM - EDX yang bertujuan untuk mengetahui morfologi permukaan elektroda plat aluminium sebelum dan sesudah proses elektrokoagulasi dan adanya unsur O yang menandakan bahwa plat aluminium telah teroksidasi. Perbedaan morfologi

Doi:

permukaan elektroda aluminium dapat dilihat pada Gambar 4.

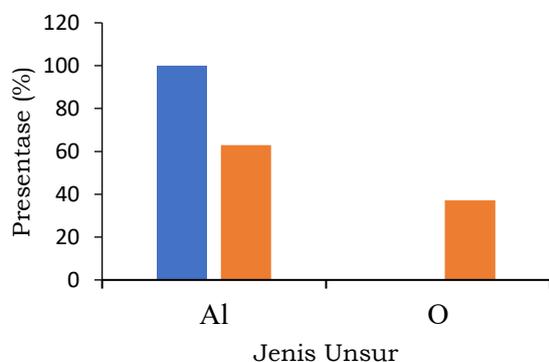


(A) (B)

Gambar 4 Gambar SEM menunjukkan morfologi permukaan elektroda aluminium sebelum proses elektrokoagulasi (A) dan sesudah proses elektrokoagulasi (B)

Gambar 4 (A) menunjukkan permukaan aluminium yang tampak halus, sedangkan Gambar 4 (B) menunjukkan permukaan aluminium yang tampak lebih kasar. Hal ini disebabkan ketika proses elektrokoagulasi sebagian aluminium di permukaan elektroda ikut larut dalam produksi $\text{Al}(\text{OH})_3$, sehingga permukaan elektroda aluminium tersebut menjadi tidak halus lagi (12). Pada proses elektrokimia akan terjadi pelepasan Al^{3+} dari anoda akan bereaksi dengan OH^- dari katoda sehingga membentuk koagulan $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang mampu mengikat ion logam di dalam larutan (7).

Hasil karakterisasi EDX berupa grafik presentase unsur yang terdapat pada elektroda aluminium sebelum dan sesudah proses elektrokoagulasi dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik presentase unsur pada plat elektroda aluminium sebelum dan setelah proses elektrokoagulasi berdasarkan hasil karakterisasi EDX.

Pada Gambar 5 menunjukkan presentase unsur Al pada elektroda aluminium sebelum proses elektrokoagulasi sebesar 100% dan terjadi penurunan presentase setelah proses elektrokoagulasi menjadi 62,88%, sedangkan tidak terdapat unsur O pada elektroda aluminium sebelum proses elektrokoagulasi dan terjadi peningkatan presentase setelah proses elektrokoagulasi sebanyak 37,12%. Hal ini disebabkan oleh elektroda aluminium yang telah teroksidasi akibat proses elektrokoagulasi yang

ditandai oleh adanya unsur oksigen pada elektroda aluminium tersebut (12).

4. Kesimpulan

Hasil penelitian ini yaitu Pb^{2+} dapat terambil dengan proses elektrokoagulasi sebesar 91,53% dengan kondisi optimum pada tegangan 9 Volt, pH larutan 7 dan waktu yang diperlukan selama 60 menit tanpa penambahan ligan EDTA. Unsur logam yang terdapat pada plat anoda Al sebelum dilakukan elektrokoagulasi adalah Al, sedangkan unsur logam pada plat Al sesudah elektrokoagulasi adalah Al sebesar 62,88% dan O sebesar 37,12%.

Daftar Pustaka

- Gnanasundar VM, Akshai Raj R. Remediation of inorganic contaminants in soil using electrokinetics, phytoremediation techniques. *Mater Today Proc* 2021, 45 (2) : 950-956.
- Saleh MGA, Badawy AA, Ghanem AF. Using of titanate nanowires in removal of lead ions from waste water and its biological activity. *Inorg Chem Commun*, 108, 2019, 107508
- Liu YX, Yan JM, Yuan DX, Li QL, Wu XY. The study of lead removal from aqueous solution using an electrochemical method with a stainless steel net electrode coated with single wall carbon nanotubes. *Chem Eng J*. 2013;218:81-8.
- Bouguerra W, Barhoumi A, Ibrahim N, Brahmi K, Aloui L, Hamrouni B. Optimization of the electrocoagulation process for the removal of lead from water using aluminium as electrode material. *Desalin Water Treat*, 2015;56(10):2672-81.
- Kumar M, Chung JS, Hur SH. Graphene composites for lead ions removal from aqueous solutions. *Appl Sci*. 2019;9(14).
- Haris A, Widodo DS, Yuanita L. Pengambilan Tembaga dari Batuan Bornit (Cu_5FeS_4) Variasi Rapat Arus dan Pengompleks EDTA Secara Elektrokimia. *J Kim Sains dan Apl*. 2007;10(2):31-6.
- Bazrafshan E, Mohammadi L, Ansari-moghaddam A, Mahvi AH. Heavy metals removal from aqueous environments by electrocoagulation process – a systematic review. *J Environ Heal Sci Eng* 2015, vol 13 : article 74
- Un UT, Ocal SE. Removal of Heavy Metals (Cd , Cu , Ni) by Electrocoagulation. *IJESD*, 2015 Vol.6(6): 425-429
- Trompette J, Lahitte J. Colloids and Surfaces A : Effects of some ion-specific properties in the electrocoagulation process with aluminum electrodes. *Colloids Surfaces A Physicochem Eng Asp*. 2021;629:127507.
- Bote ME. Studies on electrode combination for COD removal from domestic wastewater using electrocoagulation. *Heliyon*. 2021;7:e08614.
- Pociecha M, Lestan D. Using electrocoagulation for metal and chelant separation from washing

Doi:

solution after EDTA leaching of Pb , Zn and Cd contaminated soil. 2010;174:670-8.

12. Mouedhen G, Feki M, Wery MDP, Ayedi HF. Behaviour of Aluminum Electrodes in Electrocoagulation Behavior of aluminum electrodes in electrocoagulation process. *Journal of Hazardous Materials* 150, 1, 2008, 124-135