



Pengambilan Logam Pb dengan Metode Elektrokoagulasi dalam Sistem $Al(s)|Pb(NO_3)_2(aq), KCl(aq) | H_2O(l)$

Umi Fadilah, Linda Suyati*, Gunawan, Didik Setiyo Widodo dan Rahmad Nuryanto

¹Departemen Kimia, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Soedarto S.H, Tembalang, Semarang 50275

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

Received: 17 April 2023 / Accepted: 22 Mei 2023

Available online: 30 Mei 2023

Abstrak

Pengambilan logam Pb dengan metode elektrokoagulasi dalam sistem $Al(s)|Pb(NO_3)_2(aq), KCl(aq) | H_2O(l)$. Tujuan penelitian ini adalah menentukan kondisi optimum (tegangan, konsentrasi KCl, pH dan waktu elektrokoagulasi) dalam pengambilan Pb^{2+} , menentukan kinetika elektrokoagulasi pengambilan Pb dan mengetahui komposisi unsur yang terkandung pada endapan hasil elektrokoagulasi Pb dengan sistem $Al(s)|Pb(NO_3)_2(aq), KCl(aq) | H_2O(l)$. Pada penelitian ini elektroda Al sebagai anoda dan elektroda C sebagai katoda. Larutan timbal nitrat sebagai limbah artifisial yang mengandung ion timbal dengan elektrolit pendukung KCl. Proses elektrokoagulasi dilakukan pada variasi tegangan 1, 2, 3, 4, dan 5 V, konsentrasi KCl 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 1,00 dan 1,50 M, variasi pH 3, 5, 7, 9 dan 11 serta variasi waktu yang digunakan yaitu 15, 30, 60, 90 dan 120 menit. Analisis konsentrasi Pb^{2+} setelah elektrokoagulasi dengan menggunakan instrumen Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Endapan hasil elektrokoagulasi dikarakterisasi dengan EDX mapping dan FTIR. Hasil penelitian didapatkan kondisi optimum untuk pengambilan Pb^{2+} dalam sistem ini adalah pada tegangan 3 V, konsentrasi KCl 0,10 M, pH larutan 9 dan waktu elektrolisis 120 menit. Kinetika elektrokoagulasi pengambilan Pb mengikuti pseudo orde dua, dengan $k = 0,9984 \text{ g.mg}^{-1}.\text{menit}^{-1}$, sedangkan unsur yang terkandung pada endapan adalah oksigen, aluminium, timbal, kalium dan klorida. Hal ini menunjukkan bahwa Pb berhasil dikoagulasi oleh $Al(OH)_3$ diperkuat dengan spektra FTIR yang menunjukkan adanya vibrasi Pb-O, Al-O dan O-H.

Kata Kunci: elektrokoagulasi, Pb^{2+} , kinetika, laju reaksi

1. Pendahuluan

Logam berat Pb termasuk unsur yang beracun keberadaan di lingkungan industry sangatlah merugikan oleh karena itu keberadaannya harus dikurangi. salah satu cara dengan metode elektrokoagulasi yaitu gabungan dari elektrokimia dan proses koagulasi [1] [2] [3] [4]. Penelitian yang terkait dilakukan oleh Assadi dkk, 2016 menggunakan aluminium sebagai anoda menghasilkan Pb^{2+} yang terambil 94% dengan parameter rapat arus, pH dan waktu elektrolisis, sedangkan oleh Bouguerra dkk, 2015 menggunakan elektrolit NaCl menghasilkan 99% [5].

Pada penelitian ini menggunakan elektroda karbon sebagai katoda dan aluminium sebagai anoda. Karbon digunakan sebagai katoda karena bersifat *inert*, sehingga akan mengalami reduksi di dalam air menghasilkan gas hidrogen dan ion hidroksida [6]. Pemilihan aluminium sebagai anoda karena saat proses elektrokoagulasi, aluminium akan membentuk koagulan $Al(OH)_3$ yang mampu mengikat kontaminan dan partikel dalam limbah [7]. Timbal nitrat digunakan

sebagai larutan simulasi karena mengandung ion timbal (II). Pada proses ini juga dilakukan penambahan larutan KCl sebagai elektrolit pendukung, agar proses elektrokoagulasi berlangsung dengan cepat.

Proses elektrokoagulasi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti tegangan, konsentrasi elektrolit, pH, dan waktu proses elektrokoagulasi. Oleh karena itu perlu dilakukan variasi studi pengambilan Pb dalam larutan untuk mendapatkan kondisi yang optimum. Penghitungan laju reaksi dan karakterisasi hasil endapan memakai instrumen *Energy Dispersive X-Ray* (EDX) untuk menentukan komposisi unsur dan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) untuk menentukan gugus fungsi yang terdapat pada endapan.

2. Metode Penelitian

2.1. Alat dan Bahan

Alat: Peralatan gelas standar, reaktor elektrolisis, timbangan elektrik (S/N P 1 835442),

Doi:

kertas saring , power supply, multimeter Digital (Merk Sanwa CD800a), indikator pH ,kabel dan jepit buaya ,spektrofotometri Serapan Atom Model PinAAcle 900F, Scanning Electron Microscope Hitachi Flexsem 1000 with ultra variable Pressure Detector dan FTIR (PerkinElmer Spectrum Version)

Bahan: Pb(NO₃)₂ (p.a) ,KCl (p.a) , Akuades, NaOH (p.a), HNO₃ (p.a., 65%), Elektroda C dan Elektroda Al.

2.2. Cara Kerja

2.2.1 Elektrokoagulasi Logam Pb

Dua kompartemen dengan ukuran 10 cm x 4 cm x 6 cm diletakkan sejajar dan dihubungkan dengan jembatan garam. Sebanyak 100 mL larutan Pb(NO₃)₂ dimasukkan ke kompartemen anoda dan ditambah 10 mL KCl sebagai elektrolit pendukung. Sebanyak 100 mL akuades dimasukkan ke kompartemen katoda. Proses elektrokoagulasi dilakukan dengan variasi konsentrasi elektrolit KCl 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 1,00; dan 1,50 M selama 60 menit pada tegangan 3 V. Konsentrasi terbaik dipakai untuk penelitian selanjutnya dengan variasi pH 3, 5, 7, 9 dan 11 dengan penambahan HNO₃ 1N dan NaOH 0,5M. Proses terakhir dengan variasi waktu 15, 30, 60, 90, dan 120 menit. Semua hasil elektrolisis dianalisis dengan AAS, kemudian hasil yang terbaik dianalisis dengan EDX dan FTIR.

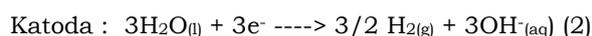
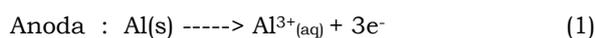
2.2.2 Kinetika Elektrokoagulasi

Kinetika elektrokoagulasi dilakukan dengan variasi waktu tersebut dan dihitung dengan persamaan $\frac{t}{q_t} = \frac{1}{kqe^2} + \frac{1}{qe}$, Dibuat diagram t/q_t vs t sehingga didapatkan hubungan yang linier dan q_e (banyaknya logam yang diadsorpsi pada saat seimbang) serta k₂ dapat ditentukan dari nilai slope (m) dan intersep (c) melalui persamaan garis y = mx + c.

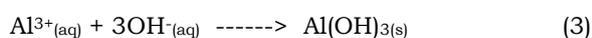
3. Hasil Dan Pembahasan

3.1 Proses Elektrokoagulasi

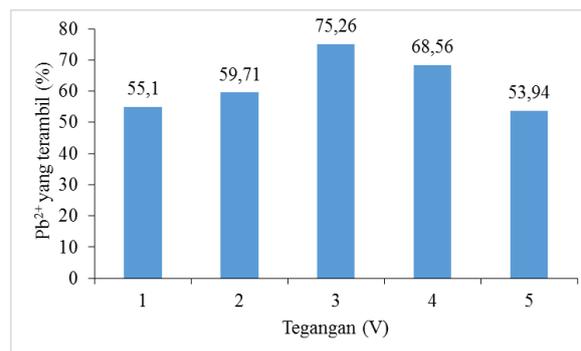
Pada proses elektrokoagulasi terjadi pelepasan ion logam pada anoda, sedangkan pada katoda karbon akan dihasilkan gelembung berupa gas hidrogen dan ion hidroksida [8]. Reaksi yang terjadi pada proses elektrokoagulasi adalah :



Ion Al³⁺ dari anoda akan bereaksi dengan OH⁻ dari katoda sehingga membentuk flok Al(OH)₃ yang mampu mengikat kontaminan di dalam larutan. Reaksi yang terjadi sesuai dengan persamaan 1 dan 2 yaitu :

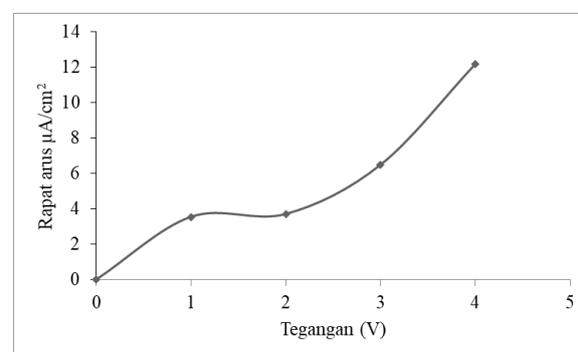


Menurut Eiband (2014) adsorpsi Pb²⁺ pada Al(OH)₃ dapat dijelaskan oleh reaksi berikut:



Gambar 1. Pengaruh tegangan terhadap persentase Pb²⁺ yang terambil

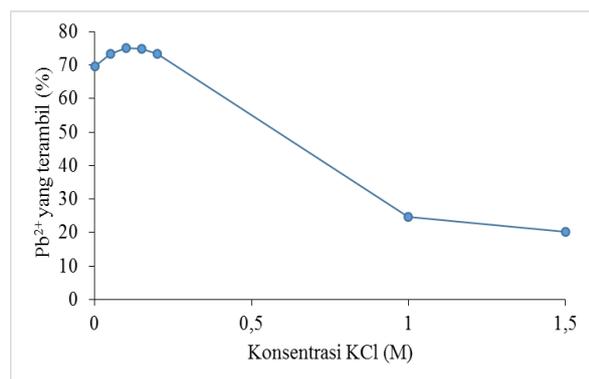
Pengambilan logam Pb terhadap variasi tegangan, dapat dilihat pada **Gambar 1**. Pada variasi (1-3) V terjadi kenaikan tegangan. Hal ini disebabkan oleh bertambahnya tegangan maka flok yang terbentuk semakin besar dan menambah efisiensi penjerapan polutan [9], akan tetapi suplai tegangan yang terlalu tinggi justru menurunkan jumlah flok. Hal ini menyebabkan konsumsi energi untuk elektrokoagulasi semakin meningkat yang mengakibatkan jumlah ion OH⁻ semakin banyak di dalam larutan. Jumlah ion OH⁻ yang terlalu banyak akan menyebabkan Al(OH)₃ yang telah terbentuk akan terlarut menjadi Al(OH)₄⁻ sehingga persentase Pb²⁺ yang terambil menurun. [10]. Hubungan antara rapat arus dengan tegangan yang diberikan dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Kurva hubungan antara tegangan dan rapat arus

Tegangan 2,5V diperoleh dengan adanya perubahan yang cukup signifikan dari rapat arus yang dihasilkan pada tegangan 2 V menuju 3 V, sehingga diperoleh suatu titik perpotongan antara kedua tegangan tersebut. Tegangan yang digunakan untuk elektrokoagulasi tahap selanjutnya adalah 3V dengan persentase Pb²⁺ yang terambil sebesar 75,26%. Proses selanjutnya dilakukan pada tegangan 3 V selama 60 menit. Pengaruh variasi KCl terhadap pengambilan Pb dapat dilihat pada **Gambar 3**.

Doi:



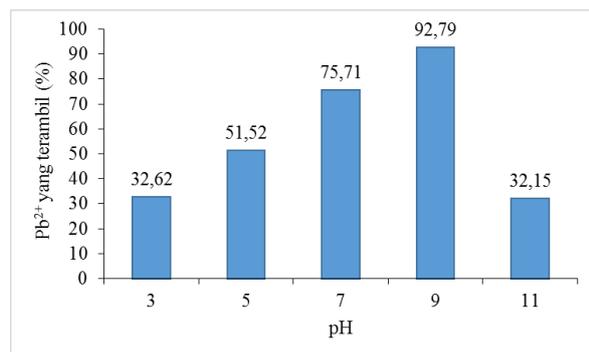
Gambar 3 Pengaruh konsentrasi KCl terhadap persentase Pb²⁺ yang terambil

Pengaruh konsentrasi KCl. Pada konsentrasi 0-0,10 M terjadi kenaikan Pb²⁺. Penambahan KCl digunakan untuk meningkatkan kinerja dalam proses elektrokoagulasi. Semakin besar konsentrasi elektrolit yang ditambahkan dalam proses elektrokoagulasi akan menyebabkan koagulan yang terbentuk semakin banyak, akan tetapi jika terlalu berlebih maka elektroda akan terkikis dan larut dalam larutan [11].

Ion Cl⁻ dalam larutan yang mengandung Al(OH)₃ akan membentuk beberapa senyawa, seperti Al(OH)₂Cl, Al(OH)Cl₂, AlCl₃ dan AlCl₄⁻. Senyawa AlCl₄⁻ akan terbentuk apabila jumlah Cl yang ditambahkan berlebih, sehingga menyebabkan terjadinya penurunan logam yang terambil [12].

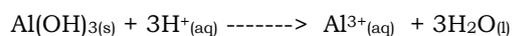
3.2 Elektrokoagulasi dengan Variasi pH

Pada elektrokoagulasi, pH merupakan faktor penting yang mempengaruhi kinerja proses elektrokoagulasi [13]. Pengaruh pH awal larutan Pb secara elektrokoagulasi dapat dilihat pada **Gambar 4**.



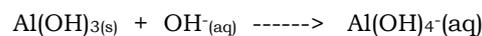
Gambar 4. Pengaruh pH terhadap persentase Pb²⁺ yang terambil

Berdasarkan **Gambar 4** dapat dilihat bahwa pada pH 3- 9 kenaikan persentase pengambilan Pb²⁺. Reaksi yang terjadi pada pH asam adalah:



Pada pH 11 terjadi penurunan Pb²⁺ yang terambil menghasilkan [Al(OH)₄]⁻ yang mendominasi larutan sebagai akibat dari pelarutan Al(OH)₃ sehingga proses koagulasi kurang disukai [13].

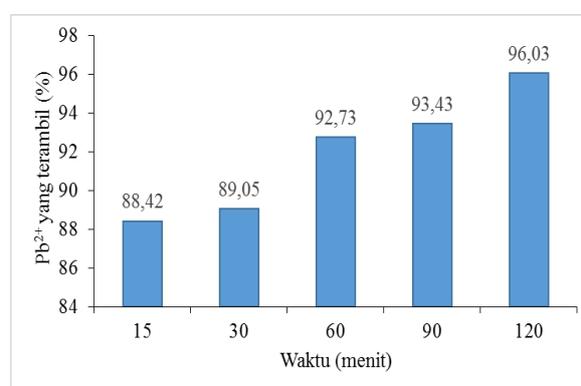
Aluminat ini bersifat larut dalam air, sehingga kurang baik digunakan untuk pengolahan air. Hal tersebut berdampak terhadap menurunnya Pb yang terambil pada kondisi pH tinggi [14]. Reaksi pembentukan Al(OH)₄⁻ adalah:



Berdasarkan uraian tersebut, pada penelitian ini pH optimal untuk elektrokoagulasi Pb pada tahap selanjutnya adalah 9.

3.3 Elektrokoagulasi dengan Variasi Waktu

Proses selanjutnya dilakukan pada tegangan 3 V, konsentrasi KCl 0,10 M dan pH 9. Pengaruh waktu terhadap pengambilan logam Pb secara elektrokoagulasi dapat dilihat pada **Gambar 5**.

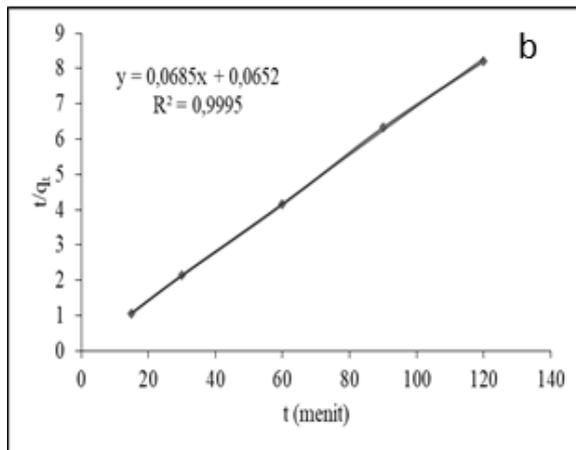
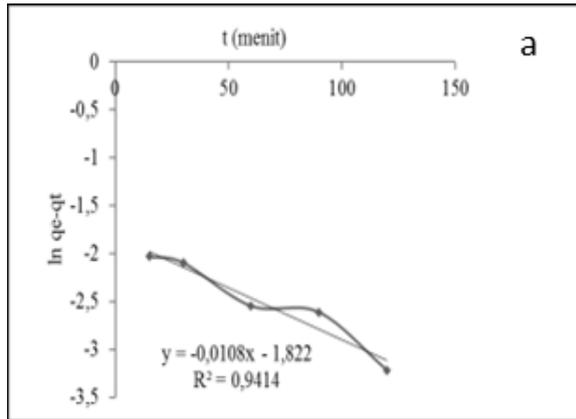


Gambar 5 Pengaruh waktu terhadap persentase Pb²⁺ yang terambil

Berdasarkan **Gambar 5**, semakin lama waktu elektrokoagulasi maka efisiensi pengambilan Pb semakin meningkat serta dengan semakin lamanya waktu yang digunakan dalam proses elektrokoagulasi akan menghasilkan koagulan dalam jumlah yang besar sesuai dengan hukum Faraday [14]. Berdasarkan uraian tersebut waktu yang digunakan untuk elektrokoagulasi Pb dalam sistem ini yaitu pada waktu kontak 120 menit

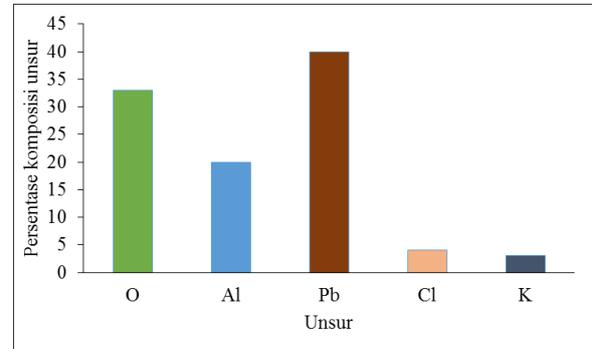
3.4 Kinetika Elektrokoagulasi Pengambilan Pb

Kinetika pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui konstanta pengambilan logam Pb. Kinetika pengambilan logam Pb dapat ditentukan melalui persamaan Lagergren pseudo orde satu dan dua. Dari kedua persamaan laju reaksi tersebut, model pseudo orde dua dapat memberikan kesesuaian yang baik terhadap data eksperimen untuk proses elektrokoagulasi logam Pb. Hasil kinetika proses elektrokoagulasi pengambilan Pb dapat dilihat pada **Gambar 6**.



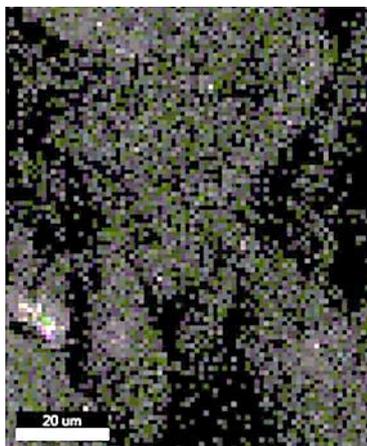
Gambar 6 Kinetika elektrokoagulasi pada pengambilan Pb (a) pseudo orde satu, (b) pseudo orde dua

Berdasarkan **Gambar 6** didapatkan R^2 sebesar 0,9414 untuk pseudo orde satu dan 0.9995 untuk pseudo orde dua, sehingga dari nilai R^2 yang diperoleh kinetika reaksi pengambilan Pb dapat dijelaskan dengan mengikuti persamaan pseudo orde dua dengan konstanta laju yang didapatkan sebesar $0,9984 \text{ g} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{menit}^{-1}$. Hasil karakterisasi Endapan dengan Instrumen EDX dapat dilihat pada **Gambar 7**.

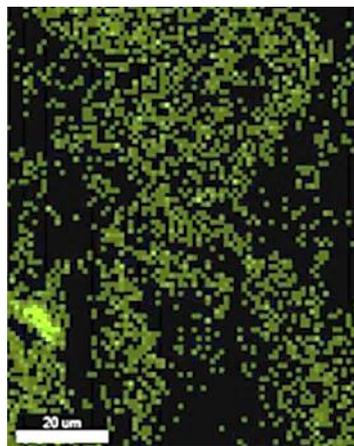


Gambar 7 Persentase unsur yang terkandung pada endapan berdasarkan hasil analisa EDX

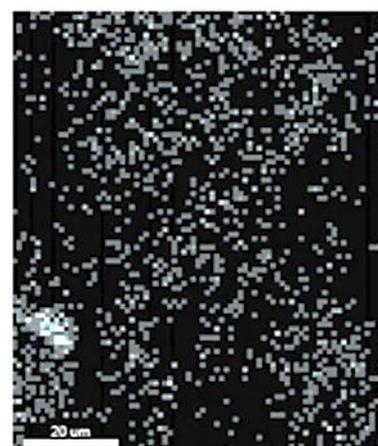
Berdasarkan **Gambar 7** dapat dilihat bahwa endapan yang terbentuk dari hasil elektrokoagulasi tersusun dari unsur O, Al, Pb, Cl dan K, dengan persentase masing-masing tiap unsur berturut-turut adalah 33, 20, 40, 4 dan 3 %. Distribusi dari setiap unsurnya, dapat dilihat pada hasil EDX mapping **Gambar 8**.



a

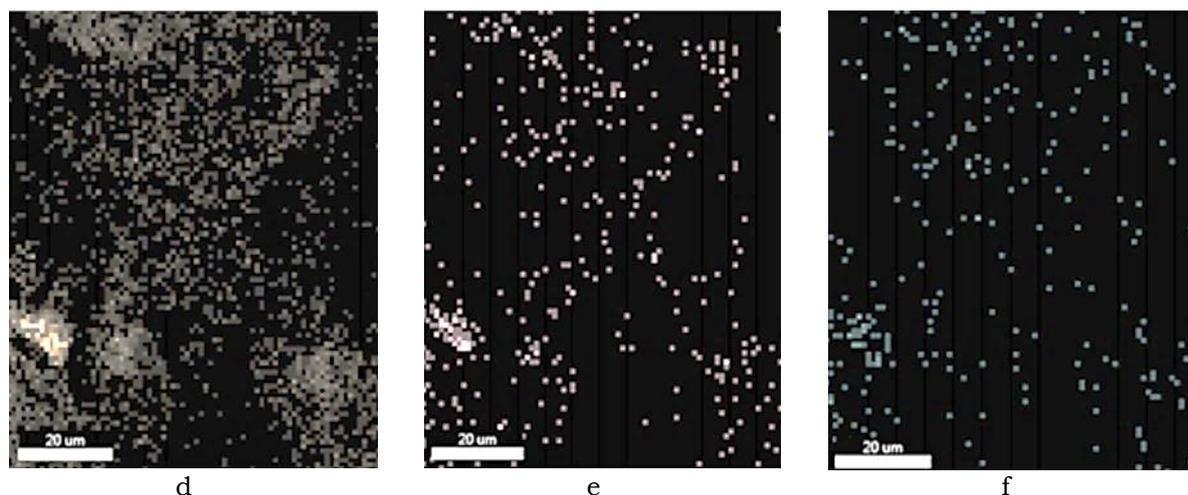


b



c

Doi:

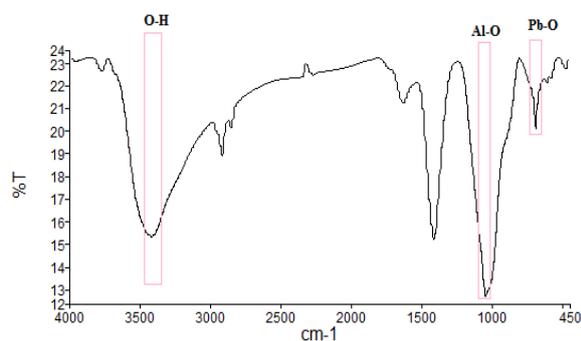


Gambar 8 Hasil EDX mapping dari Al(OH)₃ – Pb (a) keseluruhan element atom, (b) atom oksigen, (c) atom aluminium, (d) atom timbal, (e) atom klorida dan (f) atom kalium.

Berdasarkan **Gambar 8** dapat diketahui hasil distribusi Al(OH)₃-Pb dari masing-masing unsur dengan menggunakan EDX mapping. Semakin banyak warna terang pada masing-masing unsur maka semakin banyak kandungan dari unsur tersebut.

3.6 Karakterisasi Endapan dengan Instrumen FTIR

Hasil analisis spektroskopi infrared dapat dilihat pada **Gambar 9** pada spektra Al(OH)₃-Pb terdapat serapan puncak ikatan Pb-O pada panjang gelombang 682,85 cm⁻¹. Hasil spektra Pb-O pada elektrokoagulasi Pb dapat didukung oleh data literatur serapan puncak Pb-O pada 670 cm⁻¹ [15]. Serapan tersebut membuktikan bahwa logam Pb telah terkoagulasi oleh Al(OH)₃, sehingga proses elektrokoagulasi berjalan dengan baik. Hasil analisa ini diperkuat dengan adanya serapan pada panjang gelombang 3432,08 cm⁻¹ dan 1043,27 cm⁻¹ yang merupakan serapan dari gugus OH dan Al-O.



Gambar 7 Grafik spektra hasil elektrokoagulasi dengan FTIR

Tabel 1 Data puncak spektra FTIR pada elektrokoagulasi Pb

Vibrasi	Bilangan gelombang (cm ⁻¹)
O-H <i>stretching</i>	3432.08
Al-O <i>stretching</i>	1043.27
Pb-O	682.85

4. Kesimpulan

Kondisi optimum untuk pengambilan Pb²⁺ dalam sistem ini adalah pada 3 V, 0,10 M KCl, pH 9 dan waktu elektrolisis 120 menit. Kinetika reaksi elektrokoagulasi timbal (II) mengikuti reaksi pseudo orde dua dengan konstanta laju adsorpsi sebesar 0,9984 g. mg⁻¹. menit⁻¹. Unsur yang terkandung pada flok selama proses elektrokoagulasi Pb(II) yaitu, unsur oksigen, aluminium, timbal, klorida dan kalium. Vibrasi molekul yang terbentuk adalah Pb-O, Al-O dan OH.

Daftar Pustaka

- [1] Nurdiantika, Nabila, Linda Suyati, Gunawan Gunawan, Metode Elektrokoagulasi Sistem Fe (S) | Cd (II)(aq), NaCl (aq) | | H₂O (l) | C untuk Pengambilan Kadmium (II), *Greensphere: Journal of Environmental Chemistry*, 1, 1, (2021), 7-12 <https://doi.org/10.14710/giec.2021.10751>
- [2] Patmawati, Patmawati, Didik Setiyo Widodo, Linda Suyati, Khabibi Khabibi, Abdul Haris, Modifikasi Metode Fenton pada Dekolorisasi Limbah Pewarna Remazol Black B dengan Oksida Timbal Hasil Sintesis pada Variasi Molar Pb²⁺ dan NaOH, *Greensphere: Journal of Environmental Chemistry*, 2, 2, (2023), 23-29 <https://doi.org/10.14710/giec.2022.16776>
- [3] Mansoorian, Hossein Jafari, Amir Hossein Mahvi, Ahmad Jonidi Jafari, Removal of lead and zinc from battery industry wastewater using electrocoagulation process: influence

Doi:

- of direct and alternating current by using iron and stainless steel rod electrodes, *Separation and Purification Technology*, 135, (2014), 165-175
<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2014.08.012>
- [4] Kim, Do-Gun, Ronna Jane S Palacios, Seok-Oh Ko, Characterization of sludge generated by electrocoagulation for the removal of heavy metals, *Desalination and Water Treatment*, 52, 4-6, (2014), 909-919
<https://doi.org/10.1080/19443994.2013.826776>
- [5] Bouguerra, Wided, Afef Barhoumi, Nesrine Ibrahim, Khaled Brahmi, Limam Aloui, Béchir Hamrouni, Optimization of the electrocoagulation process for the removal of lead from water using aluminium as electrode material, *Desalination and Water Treatment*, 56, 10, (2015), 2672-2681
<https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1015308>
- [6] Moreno C, Hector A, David L Cocke, Jewel AG Gomes, Paul Morkovsky, JR Parga, Eric Peterson, Cristina Garcia, Electrochemical reactions for electrocoagulation using iron electrodes, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 48, 4, (2009), 2275-2282
<https://doi.org/10.1021/ie8013007>
- [7] Moussa, Dina T, Muftah H El-Naas, Mustafa Nasser, Mohammed J Al-Marri, A comprehensive review of electrocoagulation for water treatment: Potentials and challenges, *Journal of environmental management*, 186, (2017), 24-41
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.10.032>
- [8] Holt, Peter K, Geoffrey W Barton, Cynthia A Mitchell, The future for electrocoagulation as a localised water treatment technology, *Chemosphere*, 59, 3, (2005), 355-367
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.10.023>
- [9] Zhu, Bintuan, Dennis A Clifford, Shankararaman Chellam, Comparison of electrocoagulation and chemical coagulation pretreatment for enhanced virus removal using microfiltration membranes, *Water research*, 39, 13, (2005), 3098-3108
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.05.020>
- [10] Un, Umran Tezcan, Sadettin Eren Ocal, Removal of heavy metals (Cd, Cu, Ni) by electrocoagulation, *International Journal of Environmental Science and Development*, 6, 6, (2015), 425
[DOI: 10.7763/IJESD.2015.V6.630](https://doi.org/10.7763/IJESD.2015.V6.630)
- [11] Yuksel, Ebubekir, Ercan Gurbulak, Murat Eyvaz, Decolorization of a reactive dye solution and treatment of a textile wastewater by electrocoagulation and chemical coagulation: Techno-economic comparison, *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 31, 4, (2012), 524-535
<https://doi.org/10.1002/ep.10574>
- [12] Shammass, Nazih K, Lawrence K Wang, LK Wang, MHS Wang, YT Hung, NK Shammass, JP Chen, 6 Sulfide Precipitation for Treatment of Metal Wastes, *Remediation of Heavy Metals in the Environment*, (2016), 185
- [13] Kobya, Mehmet, Orhan Taner Can, Mahmut Bayramoglu, Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes, *Journal of hazardous materials*, 100, 1-3, (2003), 163-178
[https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(03\)00102-X](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(03)00102-X)
- [14] Adhoum, Nafaâ, Lotfi Monser, Nizar Bellakhal, Jamel-Eddine Belgaied, Treatment of electroplating wastewater containing Cu²⁺, Zn²⁺ and Cr (VI) by electrocoagulation, *Journal of hazardous materials*, 112, 3, (2004), 207-213
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.04.018>
- [15] Assadi, Ali, Mehran Mohammadian Fazli, Mohammad Mehdi Emamjomeh, Maryam Ghasemi, Optimization of lead removal by electrocoagulation from aqueous solution using response surface methodology, *Desalination and water treatment*, 57, 20, (2016), 9375-9382
<https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1029529>