

EFEKTIVITAS ELEKTROKOAGULASI DENGAN ELEKTRODA Al, Zn, DAN Ni DALAM MENGOLAH LIMBAH CAIR INDUSTRI KERTAS: PENGURANGAN COD DAN TURBIDITAS

Joko Sutrisno¹⁾, Moch. Shofwan²⁾, dan Dian Majid¹⁾

¹Teknik Lingkungan, Universitas PGRI Adi Buana, Surabaya, 60234

²Perencanaan Wilayah dan Kota, Universitas PGRI Adi Buana, Surabaya, 60234

E-mail: majid@unipasby.ac.id

Abstract

The aim of this research is to assess the effectiveness of electrocoagulation in reducing COD (Chemical Oxygen Demand) and turbidity in wastewater from the paper industry using Al, Zn, and Ni electrodes. Wastewater from the paper industry was treated with electrocoagulation using Al, Zn, and Ni electrodes at a voltage of 10 volts. Contact times tested were 30, 45, 60, and 90 minutes. Measured parameters included COD, pH, and turbidity both before and after treatment. The initial wastewater conditions showed a COD value of 2950 mg/L, pH 8.48, and turbidity of 315.4 NTU. The Al electrode performed the best in reducing COD and turbidity. At a 90-minute contact time, the Al electrode successfully reduced COD to 970 mg/L and turbidity to 155 NTU with a final pH of 7.3. Meanwhile, the Zn and Ni electrodes resulted in COD reductions of 970 mg/L and 910 mg/L, as well as turbidity values of 155 NTU and 125 NTU. Electrocoagulation with the Al electrode proved to be more effective in treating wastewater from the paper industry compared to the Zn and Ni electrodes. The results of this study demonstrate the significant potential of electrocoagulation, especially with the Al electrode, as an environmentally friendly and effective method for treating wastewater from the paper industry. The adoption of this technique could reduce wastewater treatment costs by improving efficiency and reducing chemical consumption.

Keywords: degradation, electrocoagulation, wastewater

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menilai efektivitas elektrokoagulasi dalam mengurangi COD (Chemical Oxygen Demand) dan turbiditas dari limbah cair industri kertas dengan menggunakan elektroda Al, Zn, dan Ni. Limbah cair industri kertas diperlakukan dengan elektrokoagulasi menggunakan elektroda Al, Zn, dan Ni pada tegangan 10 Volt. Waktu kontak yang diuji adalah 30, 45, 60, dan 90 menit. Parameter yang diukur meliputi COD, pH, dan turbiditas baik sebelum maupun setelah perlakuan. Kondisi awal limbah menunjukkan nilai COD 2950 mg/L, pH 8,48, dan turbiditas 315,4 NTU. Elektroda Al memberikan performa terbaik dalam mengurangi COD dan turbiditas. Pada waktu kontak 90 menit, elektroda Al berhasil mengurangi COD hingga 970 mg/L dan turbiditas menjadi 155 NTU dengan pH akhir 7,3. Sementara itu, elektroda Zn dan Ni menghasilkan reduksi COD hingga 970 mg/L dan 910 mg/L serta turbiditas 155 NTU dan 125 NTU. Elektrokoagulasi dengan elektroda Al lebih efektif dalam mengolah limbah cair industri kertas dibandingkan dengan elektroda Zn dan Ni. Hasil dari penelitian ini menunjukkan potensi besar elektrokoagulasi, khususnya dengan elektroda Al, sebagai metode pengolahan limbah cair industri kertas yang ramah lingkungan dan efektif. Adopsi teknik ini bisa mengurangi biaya pengolahan limbah dengan meningkatkan efisiensi dan mengurangi konsumsi bahan kimia

Kata Kunci: degradasi, elektrokoagulasi, limbah

PENDAHULUAN

Industri kertas merupakan industri yang memiliki dampak besar pada lingkungan. Untuk konteks ini, perlu dicatat bahwa "Industri kertas telah lama dikenal sebagai penyumbang polusi air, menghasilkan air limbah yang mengandung senyawa-senyawa organik dan anorganik yang merusak lingkungan perairan" (Gavrilescu, Puitel, Dutuc, & Craciun, 2012). Beberapa metode telah dikembangkan dalam mengatasi limbah industri (Al Kholif, Rohmah, Nurhayati, Adi Walujo, & Dian Majid, 2022; Dian & Il-Kyu, 2018; Laksono, Majid, & Prabowo, 2022; Majid, Kim, Laksono, & Prabowo, 2021; Majid, Prabowo, Al-Kholif, & Sugito, 2019; Majid & Kim, 2019; Nurhayati, Vigiani, & Majid, 2020; Tuye, Sutrisno, & Majid, 2023). Namun metode tersebut belum tepat dan efektif, sehingga dibutuhkan metode yang lebih efektif dalam mengatasi permasalahan tersebut.

Sebagai parameter penting dalam penilaian kualitas air, Chemical Oxygen Demand (COD) adalah indikator yang sering digunakan dalam mengukur tingkat polusi organik dalam limbah cair. Hasil penelitian oleh Kumar et al. (2022) menunjukkan bahwa "tingkat COD yang tinggi dalam limbah industri kertas dapat memiliki dampak serius pada ekosistem air yang sensitif (Kumar & Sharma, 2022).

Sementara itu, turbiditas air juga menjadi perhatian serius, karena partikel-partikel tersuspensi dalam air dapat mengganggu ekosistem perairan. Dalam penelitian terkait, Sahoo & Anandhi et al. (2023) mengungkapkan bahwa turbiditas tinggi dapat mengganggu proses fotosintesis tumbuhan air dan dapat merusak kehidupan akuatik (Sahoo & Anandhi, 2023).

Dalam upaya mengatasi masalah ini, elektrokoagulasi telah menjadi metode yang menjanjikan. Menurut penelitian oleh Chen et al. (2004), elektrokoagulasi adalah teknologi yang efektif dalam mengurangi kadar COD dan turbiditas dalam limbah cair (Chen, 2004)

Dalam konteks pemilihan elektroda untuk elektrokoagulasi, beberapa penelitian telah menunjukkan perbedaan efisiensi antara elektroda berbeda. Menurut Igwegbe et al. (2021), elektroda aluminium (Al) telah terbukti efektif dalam mengurangi COD dan turbiditas dalam berbagai aplikasi elektrokoagulasi (Igwegbe, Onukwuli, O. Ighalo, Umembamalu, & Adeniyi, 2021).

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan pemahaman yang lebih dalam tentang efektivitas elektrokoagulasi dalam mengurangi COD dan turbiditas dalam limbah cair industri kertas, dengan fokus pada perbandingan antara elektroda Al, seng (Zn), dan nikel (Ni).

METODE PENELITIAN

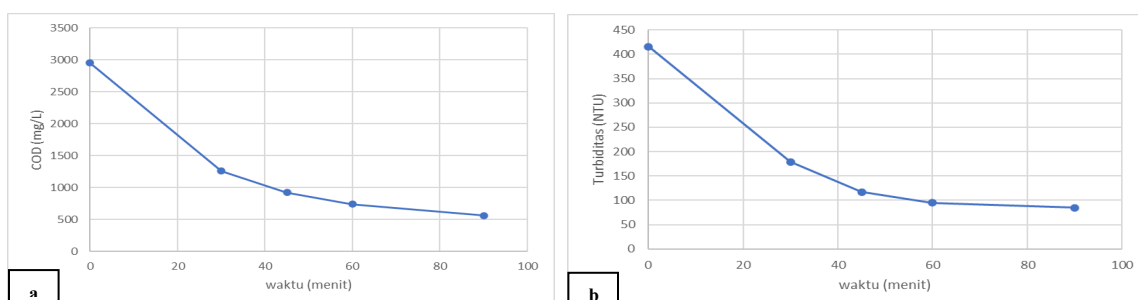
Limbah cair industri kertas diolah dengan elektrokoagulasi menggunakan tiga jenis elektroda: Al, Zn, dan Ni. Setiap elektroda diuji pada tegangan 10 Volt. Waktu kontak yang diuji adalah 30 menit, 45 menit, 60 menit, dan 90 menit untuk setiap jenis elektroda. Dilanjutkan dengan pendiaman selama 30 menit dan penyaringan, sebelum pengukuran dan Analisis Parameter. Pada tiap sampel dilakukan pengukuran sebelum dan sesudah treatment (Analisa COD, pH, dan Turbiditas). Setiap kondisi eksperimen dilakukan dua kali pengulangan untuk memastikan keakuratan dan konsistensi data.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Elektrokoagulasi merupakan teknik pengolahan limbah cair yang menawarkan solusi efektif untuk mengurangi polutan tertentu, termasuk Chemical Oxygen Demand (COD) dan turbiditas. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk membandingkan efektivitas tiga jenis elektroda, yakni Al, Zn, dan Ni, dalam proses elektrokoagulasi untuk mengolah limbah cair industri kertas.

1. Efektivitas Elektroda Aluminium (Al) dalam Proses Elektrokoagulasi

Elektrokoagulasi telah mendapatkan perhatian yang signifikan sebagai metode pengolahan limbah yang ramah lingkungan dan efektif, terutama dalam mengurangi kontaminan seperti COD dan turbiditas. Salah satu faktor penting yang mempengaruhi efisiensi proses ini adalah jenis elektroda yang digunakan. Dalam konteks ini, elektroda Aluminium (Al) telah menunjukkan potensi yang menjanjikan, seperti yang ditunjukkan oleh data yang diperoleh (Gambar 1).



Gambar 1. Elektrokoagulasi menggunakan Al: a) penurunan COD b) penurunan turbiditas

Dari data, pada waktu kontak 30 menit dengan elektroda Al, terjadi penurunan COD dari 2950 mg/L menjadi 560 mg/L dan penurunan turbiditas dari 415,4 NTU menjadi 85 NTU. Perlu dicatat bahwa COD adalah parameter penting yang menunjukkan jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi senyawa organik dalam air limbah (Chen, 2004). Oleh karena itu, penurunan COD menunjukkan efisiensi tinggi dari elektroda Al dalam menghilangkan senyawa organik dari air limbah.

Kemampuan elektroda Al dalam mengurangi turbiditas juga penting. Turbiditas adalah ukuran dari kekeruhan air dan konsentrasi partikel tersuspensi di dalamnya (Gomes et al., 2007). Penurunan yang signifikan dari 415,4 NTU menjadi 85 NTU menunjukkan bahwa elektroda Al mampu mengendapkan sebagian besar partikel tersebut.

Seiring dengan meningkatnya waktu kontak, efektivitas elektroda Al dalam mengurangi COD dan turbiditas semakin meningkat. Ini menunjukkan bahwa waktu kontak yang lebih lama memfasilitasi lebih banyak reaksi koagulasi yang terjadi, menyebabkan penurunan kontaminan yang lebih baik (Shannon et al., 2008). Pada waktu kontak 90 menit, terjadi penurunan COD yang paling tajam, mencapai 560 mg/L, dengan turbiditas hanya 85 NTU.

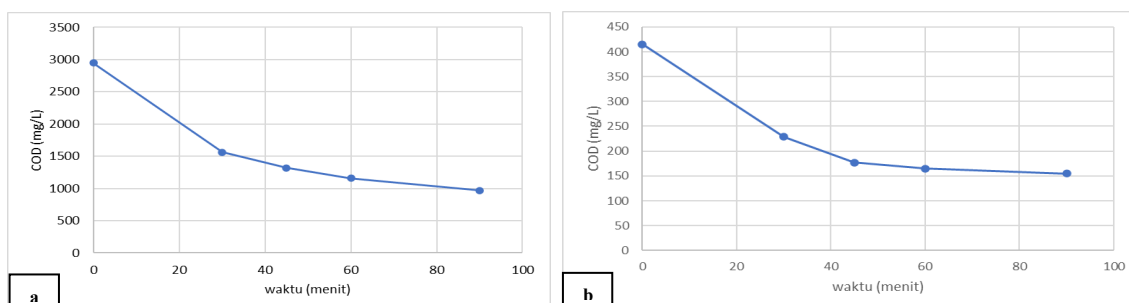
Kemudian, konsistensi pH setelah pengolahan menjadi pertimbangan lain yang penting. Fluktuasi pH yang signifikan dapat menyebabkan berbagai masalah, termasuk korosi dan perubahan sifat kimia air limbah (Chen, 2004). Dalam hal ini, elektroda Al menunjukkan kemampuannya untuk mempertahankan stabilitas pH pada 6,8, menegaskan bahwa air limbah tetap dalam kondisi yang aman dan tidak korosif setelah pengolahan.

2. Efektivitas Elektroda Seng (Zn) dalam Proses Elektrokoagulasi

Elektrokoagulasi dengan elektroda Seng (Zn) telah dianggap sebagai alternatif potensial dalam pengolahan limbah cair. Meskipun keefektifannya belum bisa menyamai performa elektroda Al, ada aspek tertentu yang menjadikan Zn sebagai kandidat menarik (Gambar 2).

Berdasarkan data yang dihasilkan, efisiensi elektroda Zn dalam mengurangi COD adalah sekitar 1560 mg/L setelah waktu kontak 30 menit. Membandingkan dengan elektroda lainnya, terutama Al, penurunan COD ini memang lebih rendah. COD adalah

indikator kualitas air limbah yang merefleksikan tingkat pencemaran organik di dalamnya (Chen, 2004). Meskipun demikian, penurunan ini tetap signifikan dan menunjukkan potensi Zn sebagai elektroda dalam proses elektrokoagulasi.



Gambar 2. Elektrokoagulasi menggunakan Zn: a) penurunan COD b) penurunan turbiditas

Selain COD, turbiditas air limbah juga menurun, walaupun penurunannya tidak seagresif seperti pada elektroda Al. Turbiditas adalah indikator dari keberadaan partikel tersuspensi di dalam air dan tingginya nilai ini bisa menyebabkan gangguan pada proses pengolahan air selanjutnya (Gomes et al., 2007). Pada waktu kontak 30 menit, turbiditas menurun menjadi 228,9 NTU, dan setelah waktu kontak 90 menit, turun lebih jauh menjadi 155 NTU. Meski penurunannya tidak drastis, namun ini menunjukkan bahwa elektroda Zn masih memiliki kapasitas untuk mengendapkan partikel dari air limbah.

Salah satu aspek penting lainnya adalah stabilitas pH setelah proses elektrokoagulasi. Seperti yang ditemukan pada penggunaan elektroda Al, pH air limbah setelah perlakuan dengan Zn cenderung stabil di sekitar 6,7. Kestabilan pH ini sangat penting karena fluktuasi yang signifikan bisa menyebabkan korosi, gangguan pada mikroorganisme pengolahan, dan perubahan karakteristik kimia dari air limbah (Chen, 2004). Meskipun Zn bisa melepaskan ion ke dalam air limbah yang nantinya bisa bereaksi dengan kontaminan, efisiensinya lebih rendah dibandingkan dengan Al (Shannon et al., 2008).

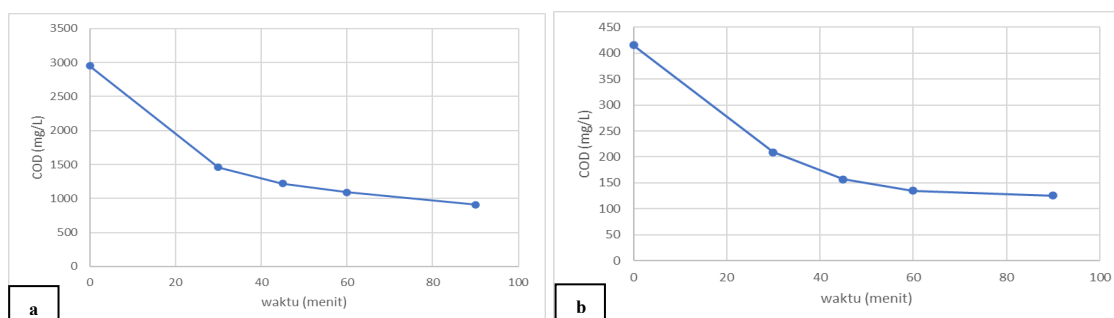
Namun, penting untuk mempertimbangkan bahwa setiap elektroda memiliki kelebihan dan kekurangannya sendiri. Dalam beberapa kondisi atau aplikasi tertentu, Zn menawarkan keuntungan berupa biaya yang lebih rendah, durabilitas yang lebih baik, atau dampak lingkungan yang lebih minimal dibandingkan Al.

3. Efektivitas Elektroda Nikel (Ni) dalam Proses Elektrokoagulasi

Elektrokoagulasi menggunakan elektroda Nikel (Ni) telah menarik perhatian banyak peneliti dalam beberapa dekade terakhir. Meskipun Ni belum sepenuhnya populer

seperti Al atau Zn dalam aplikasi elektrokoagulasi, efektivitasnya dalam mengurangi COD dan turbiditas menunjukkan bahwa ini bukanlah elektroda yang bisa diabaikan.

Berdasarkan data yang diperoleh (Gambar 3), elektroda Ni memiliki kemampuan yang cukup baik dalam mengurangi COD air limbah, dengan penurunan hingga 1460 mg/L setelah waktu kontak selama 30 menit. Ini hampir sebanding dengan apa yang diperoleh dengan elektroda Zn, menegaskan bahwa Ni memang memiliki potensi sebagai elektroda dalam proses elektrokoagulasi (Mouedhen, Feki, Wery, & Ayedi, 2008). Sementara turbiditas, yang mencerminkan konsentrasi partikel tersuspensi di dalam air, menurun menjadi 208,9 NTU dalam jangka waktu yang sama. Sejalan dengan peningkatan waktu kontak menjadi 90 menit, penurunan COD dan turbiditas semakin meningkat, mencapai 910 mg/L dan 125 NTU masing-masing.



Gambar 3. Elektrokoagulasi menggunakan Ni: a) penurunan COD b) penurunan turbiditas

Hal yang menarik untuk dicatat adalah kestabilan pH setelah perlakuan dengan Ni, yang stabil di sekitar 6,7. Kestabilan pH ini sangat penting dalam konteks pengolahan air limbah. Fluktuasi pH yang drastis dapat mempengaruhi biota akuatik, kualitas air dan proses-proses kimia lain yang terjadi di dalam air (Negash, Tibebe, Mulugeta, & Kassa, 2023).

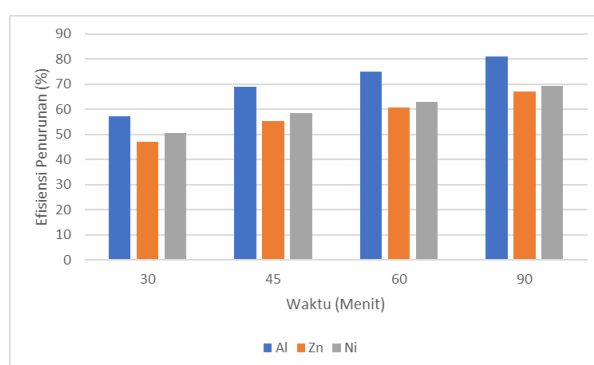
Salah satu faktor yang mempengaruhi adalah sifat elektrokimia dari Ni itu sendiri. Dalam proses elektrokoagulasi, elektroda berfungsi sebagai anoda yang terkorosi dan melepaskan ion ke dalam air limbah. Diperkirakan bahwa Ni, seperti Zn, melepaskan ion yang bereaksi dengan kontaminan di dalam air limbah, membentuk flok yang kemudian dapat dengan mudah diendapkan (Mouedhen et al., 2008).

Namun, meski menunjukkan efektivitas yang menjanjikan, ada beberapa hal yang harus dipertimbangkan ketika menggunakan Ni sebagai elektroda. Salah satunya adalah dampak lingkungan dari Ni itu sendiri. Terlalu banyak pelepasan ion Ni ke dalam air

dapat menjadi masalah karena sifat toksik Nikel yang merugikan bagi biota akuatik (Negash et al., 2023).

4. Analisis Komprehensif Terhadap Efektivitas Elektroda dalam Proses Elektrokoagulasi

Pengolahan limbah cair industri kertas merupakan tantangan yang signifikan. Kontaminan seperti senyawa organik, pigmen, dan bahan kimia lainnya harus dihilangkan untuk memastikan kualitas air yang sesuai dengan standar lingkungan. Dalam konteks ini, elektrokoagulasi telah muncul sebagai teknik yang menjanjikan, dan pemilihan elektroda memegang peranan kunci dalam efektivitas proses ini (Gambar 4).



Gambar 4. Efisiensi Penurunan COD Limbah industri kertas

Dari ketiga elektroda yang diuji, Al, Zn, dan Ni, Al menunjukkan performa terbaik dalam mengurangi COD dan turbiditas limbah cair industri kertas. Salah satu alasan utama di balik keefektifan Al adalah kemampuannya dalam membentuk flok Al-hidroksida. Seperti yang dijelaskan oleh Holt et al. (2005) (Holt, Barton, & Mitchell, 2005), saat elektroda Al berfungsi sebagai anoda dalam proses elektrokoagulasi, elektroda tersebut terkorosi dan melepaskan ion Al^{3+} ke dalam air limbah. Ion ini kemudian bereaksi dengan ion OH^- di dalam air, membentuk flok Al-hidroksida yang memiliki afinitas tinggi untuk mengikat kontaminan, termasuk partikel organik dan anorganik.

Namun, meskipun Al menunjukkan performa yang paling menonjol, penting untuk mempertimbangkan beberapa faktor lain saat memilih elektroda. Salah satu pertimbangan adalah biaya. Meskipun Al menawarkan performa terbaik dalam konteks laboratorium, elektroda berbahan Zn atau Ni menawarkan keuntungan ekonomis dalam aplikasi skala besar, khususnya jika mereka memiliki durabilitas yang lebih tinggi dalam kondisi operasional tertentu (Ma et al., 2023).

Selain itu, dampak lingkungan dari pelepasan ion dari masing-masing elektroda juga harus dipertimbangkan. Misalnya, pelepasan ion Al dalam jumlah berlebihan ke dalam air dapat mengganggu biota akuatik dan kualitas air (Moreira, 2017). Sementara itu, elektroda berbahan Zn atau Ni memiliki dampak lingkungan yang berbeda dan perlu dianalisis lebih lanjut.

SIMPULAN

Proses elektrokoagulasi adalah metode efektif untuk mengurangi kontaminan seperti COD dan turbiditas dalam limbah cair industri kertas. Elektroda Aluminium (Al) memiliki efektivitas tertinggi, menjaga pH air limbah stabil, dan cocok untuk pengolahan limbah cair industri kertas. Elektroda Zinc (Zn) juga berpotensi, terutama dalam aplikasi skala besar dengan pertimbangan ekonomi. Elektroda Nickel (Ni) menjanjikan, meskipun perlu mempertimbangkan dampak lingkungan dan proses optimasi lebih lanjut.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kami ucapkan terimakasih kepada Universitas PGRI Adi Buana Surabaya, atas bantuan pendanaan penelitian melalui Hibah Penelitian Skema Unggulan.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Kholif, M., Rohmah, M., Nurhayati, I., Adi Walujo, D., & Dian Majid, D. (2022). Penurunan Beban Pencemar Rumah Potong Hewan (RPH) Menggunakan Sistem Biofilter Anaerob. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 14(2), 100–113. Retrieved from <https://journal.uii.ac.id/JSTL/article/view/23979>
- Chen, G. (2004). Electrochemical technologies in wastewater treatment. *Separation and Purification Technology*, 38(1), 11–41. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.seppur.2003.10.006>
- Dian, M., & Il-Kyu, K. (2018). Degradation of Toluene by Liquid Ferrate(VI) and Solid Ferrate(VI) in Aqueous Phase. *Journal of Environmental Engineering*, 144(9), 4018093 1-8. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0001440](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001440)
- Gavrilescu, D., Puitel, A., Dutuc, G., & Craciun, G. (2012). Environmental impact of pulp and paper mills. *Environmental Engineering and Management Journal*, 11, 81–86. <https://doi.org/10.30638/eej.2012.012>
- Gomes, J. A. G., Daida, P., Kesmez, M., Weir, M., Moreno, H., Parga, J. R., ... Cocke, D. L. (2007). Arsenic removal by electrocoagulation using combined Al-Fe electrode system and characterization of products. *Journal of Hazardous Materials*, 139(2), 220–231. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.11.108>
- Holt, P. K., Barton, G. W., & Mitchell, C. A. (2005). The future for electrocoagulation as a localised water treatment technology. *Chemosphere*, 59(3), 355–367. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.10.023>
- Igwegbe, C., Onukwuli, O., O. Ighalo, J., Umembamalu, C. J., & Adeniyi, A. (2021).

- Comparative analysis on the electrochemical reduction of colour, COD and turbidity from municipal solid waste leachate using aluminium, iron and hybrid electrodes. *Sustainable Water Resources Management*, 7. <https://doi.org/10.1007/s40899-021-00524-w>
- Kumar, D., & Sharma, C. (2022). Paper industry wastewater treatment by electrocoagulation and aspect of sludge management. *Journal of Cleaner Production*, 360, 131970. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131970>
- Laksono, F. B., Majid, D., & Prabowo, A. R. (2022). System and eco-material design based on slow-release ferrate(vi) combined with ultrasound for ballast water treatment. *12(1)*, 401–408. <https://doi.org/doi:10.1515/eng-2022-0042>
- Ma, X., Ge, P., Wang, L., Sun, W., Bu, Y., Sun, M., & Yang, Y. (2023). The Recycling of Spent Lithium-Ion Batteries: Crucial Flotation for the Separation of Cathode and Anode Materials. *Molecules*, Vol. 28. <https://doi.org/10.3390/molecules28104081>
- Majid, D., Kim, I.-K., Laksono, F. B., & Prabowo, A. R. (2021). Oxidative Degradation of Hazardous Benzene Derivatives by Ferrate(VI): Effect of Initial pH, Molar Ratio and Temperature. *Toxics*, 9(12), 1–10. <https://doi.org/10.3390/toxics9120327>
- Majid, D., & Kim, I. (2019). Sintesis dan Aplikasi Ferrat sebagai Green Chemical dalam Pengolahan Limbah. *SNHRP*, 184–189.
- Majid, D., Prabowo, A. R., Al-Kholif, M., & Sugito, S. (2019). Sintesis Ferrat sebagai Pendegradasi Senyawa Turunan Benzena. *JPSE (Journal of Physical Science and Engineering)*, 3(2), 70–75. <https://doi.org/10.17977/um024v3i22018p070>
- Moreira, F. (2017). Electrochemical advanced oxidation processes: A review on their application to synthetic and real wastewaters. *Applied Catalysis B: Environmental*, Vol. 202, pp. 217–261. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2016.08.037>
- Mouedhen, G., Feki, M., Wery, M. D. P., & Ayedi, H. F. (2008). Behavior of aluminum electrodes in electrocoagulation process. *Journal of Hazardous Materials*, 150(1), 124–135. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.04.090>
- Negash, A., Tibebe, D., Mulugeta, M., & Kassa, Y. (2023). A study of basic and reactive dyes removal from synthetic and industrial wastewater by electrocoagulation process. *South African Journal of Chemical Engineering*, 46, 122–131. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sajce.2023.07.015>
- Nurhayati, I., Vigiani, S., & Majid, D. (2020). Penurunan Kadar Besi (Fe), Kromium (Cr), COD dan BOD Limbah Cair Laboratorium dengan Pengenceran, Kougulasi dan Adsorpsi. *Ecotrophic*, 14(1)(June), 74–87.
- Sahoo, D., & Anandhi, A. (2023). Conceptualizing turbidity for aquatic ecosystems in the context of sustainable development goals. *Environmental Science: Advances*, 2(9), 1220–1234. <https://doi.org/10.1039/D2VA00327A>
- Shannon, M. A., Bohn, P. W., Elimelech, M., Georgiadis, J. G., Mariñas, B. J., & Mayes, A. M. (2008). Science and technology for water purification in the coming decades. *Nature*, 452(7185), 301–310. <https://doi.org/10.1038/nature06599>
- Tuye, I. W., Sutrisno, J., & Majid, D. (2023). Potensi salvinia molesta dan pistia stratiotes dalam penurunan kadar fosfat, BOD, dan COD pada limbah cair laundry. *WAKTU: Jurnal Teknik UNIPA*, 21(02). <https://doi.org/10.36456/waktu.v21i02.7727>