



Pengaruh Waktu Kontak serta Jenis Elektroda Al-Al dan Al-Fe pada Elektrokoagulasi dalam Penyisihan Fe dan Mn Air Asam Tambang

Andini Adi Putri, Ika Meicahayanti*, Searphin Nugroho, Ibrahim, Febrina Zulya

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Samarinda, Kalimantan Timur

Email Korespondensi : ika.meica@ft.unmul.ac.id

Diterima: 13 September 2023

Disetujui: 27 September 2023

Diterbitkan: 30 Oktober 2023

Kata Kunci:

Air asam tambang, Elektrokoagulasi, Fe, Jenis elektroda, Mn, Waktu kontak

ABSTRAK

Kandungan besi (Fe) dan mangan (Mn) dalam air asam tambang perlu diperhatikan agar tidak berpotensi sebagai zat pencemar di badan air penerima. Elektrokoagulasi dapat digunakan sebagai alternatif untuk penurunan logam dalam air limbah. Penelitian ini dilakukan dengan menganalisis pengaruh jenis elektroda dan waktu kontak pada metode elektrokoagulasi menggunakan plat aluminium (Al) dan besi (Fe), sehingga dapat mengetahui efektivitas metode elektrokoagulasi dalam mengolah air asam tambang. Penelitian dilakukan dengan variasi waktu kontak selama 45, 90, 120, 150, 180 menit dan jenis plat Al-Al dan Al-Fe. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kenaikan waktu kontak diikuti dengan kenaikan efektifitas penyisihan parameter besi (Fe) dan mangan (Mn) pada air asam tambang. Jenis plat Al-Al lebih efisien dibandingkan jenis plat Al-Fe dikarenakan pada kombinasi Al-Al flok yang terbentuk lebih banyak. Jenis plat aluminium (Al-Al) pada waktu kontak 180 menit merupakan variasi yang paling efektif untuk pengolahan air asam tambang dengan hasil penyisihan parameter besi (Fe) sebesar 100% dari konsentrasi awal 1,25 mg/L dan penyisihan kadar mangan (Mn) sebesar 96% dari konsentrasi awal 2,58 mg/L.

Received: 13 September 2023

Accepted: 27 September 2023

Published: 30 October 2023

Keywords:

Acid mine drainage, Contact time, Electrocoagulation, Electrode type, Fe, Mn

ABSTRACT

The content of iron (Fe) and manganese Mn in acid mine drainage needs to be treated to prevent it from potentially becoming a pollutant in the receiving water body. Electrocoagulation can be used as an alternative for removing metals in wastewater. This research was conducted by analyzing the effect of electrode types and contact time in the electrocoagulation method using aluminum (Al) and iron (Fe) plates, in order to determine the effectiveness of the electrocoagulation method in treating acid mine drainage. The research was conducted with variations in contact time for 45, 90, 120, 150, and 180 minutes, using Al-Al and Al-Fe plate types. The results of the study showed that the longer the contact time, the greater the effectiveness in removing iron (Fe) and manganese (Mn) parameters from acid mine drainage. The Al-Al plate type was more efficient compared to the Al-Fe plate type because it resulted in the formation of more flocs. The aluminum (Al-Al) plate type with a contact time of 180 minutes was the most effective variation for treating acid mine drainage, with a removal rate of 100% for the initial concentration of 1.25 mg/L for iron (Fe) and a removal rate of 96% for the initial concentration of 2.58 mg/L for manganese (Mn).

1. PENDAHULUAN

Batu bara adalah batuan sedimen yang telah mengalami proses fisik dan kimia sejak diendapkan (Pramaditya, 2023). Salah satu negara dengan sumber daya energi berbasis batu bara yang melimpah adalah Indonesia (Handayani et al., 2017). Investor pertambangan asing dan peningkatan jumlah spesialis pertambangan Indonesia menyebabkan peningkatan yang cukup besar dalam aktivitas pertambangan di Indonesia

pada awal 1970-an. Batu bara adalah sumber energi vital dan strategis. Kegiatan yang berhubungan dengan lingkungan termasuk proses pertambangan batu bara. Produksi air asam tambang tidak lepas dari aktivitas pertambangan, khususnya pertambangan batu bara (E. Suoth & Nazir, 2014).

Air, udara, dan bahan yang mengandung mineral sulfida, merupakan faktor utama yang diperkirakan berkontribusi pada pengembangan air asam tambang (Hasma et al., 2023). Limbah pertambangan asam dapat melarutkan logam dan menimbulkan korosi, membuat air beracun dan berpotensi mematikan (Suryani et al., 2022). Air asam tambang dapat

memberikan dampak buruk bagi lingkungan dengan mengubah komposisi atau kadar air daerah yang terdampak. Hal ini akan menimbulkan dampak sekunder berupa penurunan kesuburan tanah, penyebab korosi pada alat-alat pertanian, serta dapat mengurangi kesuburan tanah (Pranata, 2018).

Metode alternatif untuk mengolah air asam tambang dalam mengurangi logam berat dan kekeruhan yaitu dengan menggunakan metode elektrokoagulasi. Penggunaan energi listrik untuk menggumpalkan dan mengendapkan partikel terlarut dalam air dikenal sebagai elektrokoagulasi. Metode ini mampu melakukan penjernihan air tanpa penambahan koagulan dan mampu menghilangkan logam yang terkandung di dalamnya, seperti Fe dan Mn. Elektrokoagulasi dapat mengendapkan partikel yang terlarut dalam air dengan menggunakan energi listrik arus searah. Terdapat dua mekanisme penyisihan dalam elektrokoagulasi, dimana logam terlarut dalam air asam tambang yang memiliki densitas lebih besar dari air akan mengendap dan yang memiliki densitas lebih rendah dari air mengapung. Metode elektrokoagulasi ini mampu menurunkan kadar logam Fe dari 2,909 mg/L menjadi 0,322 mg/L dan Mn dari 0,232 mg/L menjadi 0,019 mg/L (Fadillah et al., 2018). Elektrokoagulasi merupakan alternatif teknologi yang tepat karena mampu menghasilkan partikel flokulen tanpa ada penambahan koagulan (Hidayah et al., 2020).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dan kondisi optimum dari variasi jenis plat serta waktu kontak pada metode elektrokoagulasi terhadap logam besi (Fe) dan mangan (Mn) yang terkandung dalam air asam tambang. Metode alternatif untuk mengolah air asam tambang dalam mengurangi logam berat yaitu dengan menggunakan metode elektrokoagulasi.

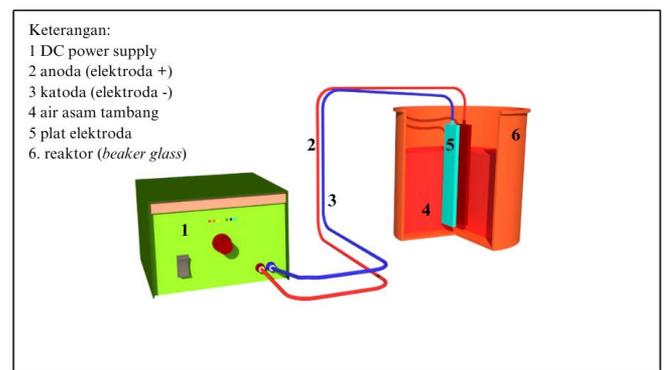
2. METODE

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah DC power supply Wanptek, Atomic Absorption Spectroscopy (AAS), beaker glass 600 mL sebagai negatif, pH Meter AMTAST-KL-016, oven Memmert UN 55 53L, pompa vakum, penjepit besi, neraca analitik Denver TP-214, desikator, kabel penghantar listrik, dan stop kontak. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah air asam tambang, plat Al (Aluminium) 10 x 2,5 cm, plat Fe (Besi) 10 x 2,5 cm, dan kertas saring Whatman No.42.

Metode penelitian menggunakan *true experiment* yang dianalisis secara deskriptif dengan melakukan percobaan di laboratorium. Perlakuan percobaan dilakukan berdasarkan variabel bebas yang digunakan dan kemudian memberikan hasil untuk dapat digunakan sebagai bahan penarikan kesimpulan. Eksperimen dilakukan dengan memberikan perlakuan terhadap variabel yang diteliti sehingga dampak perlakuan tersebut dapat ditarik kesimpulan. Pada penelitian digunakan plat Fe (besi) sebagai katoda dan Al (Aluminium) sebagai anoda dengan metode elektrokoagulasi (Ashari et al., 2015). Penelitian ini digunakan waktu kontak 45, 90, 120, 150 dan 180 menit. Hal ini ditentukan berdasarkan bahwa logam berat dapat efektif diturunkan pada waktu kontak 45 menit (Fitriah et al., 2022); efektif pada waktu 120 menit (Fadillah et al., 2018); dan penyisihan logam Fe air gambut waktu yang paling efektif 120 menit (Suswanto et al., 2017).

Adapun variabel 125egativ pada penelitian kali ini adalah jarak antar elektroda dalam proses elektrokoagulasi pada air asam tambang yang digunakan sebesar 1 cm dan tegangan sebesar 20 V. Jarak 1 cm adalah jarak yang optimum dapat menyisihkan parameter Fe sebesar 99,95%, dan parameter Mn sebesar 99,85% (Fadhila & Purnama, 2022), sedangkan tegangan 20 V dapat menurunkan kadar besi (Fe) yang paling optimum, yaitu sebesar 99,74% (Rasman & Firdaus, 2018).

Rangkaian 125 egativ elektrokoagulasi dengan 125 egati *batch* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 1. Air sampel berupa air asam tambang dimasukkan ke dalam *beaker glass* sebanyak 500 mL kemudian dimasukkan plat yang digunakan. Elektroda dihubungkan dengan *power supply* DC menggunakan penjepit buaya pada kutub positif dan 125egative dengan variasi jenis plat Al-Al dan Al-Fe. *Power supply* DC diatur pada voltase 20 V.



Gambar 1. Rangkaian Alat Elektrokoagulasi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis terhadap hasil penelitian dibahas untuk masing-masing parameter yang dikaji, yaitu Fe dan Mn.

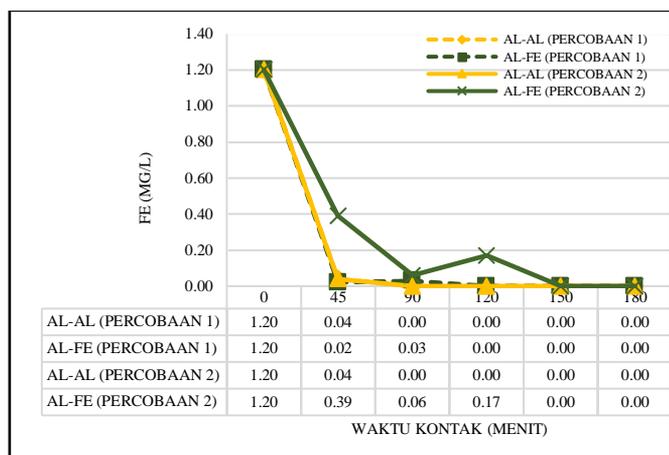
3.1 Analisis pada Parameter Fe

Hasil analisis data yang didapatkan, menunjukkan bahwa pengolahan air asam tambang dengan metode elektrokoagulasi untuk parameter Fe dapat dikatakan berhasil. Hal ini didukung oleh konsentrasi Fe yang terlihat mengalami penurunan dari konsentrasi awal sebesar 1,25 mg/L. Grafik penurunan konsentrasi besi (Fe) air asam tambang setelah pengolahan dapat dilihat pada Gambar 2.

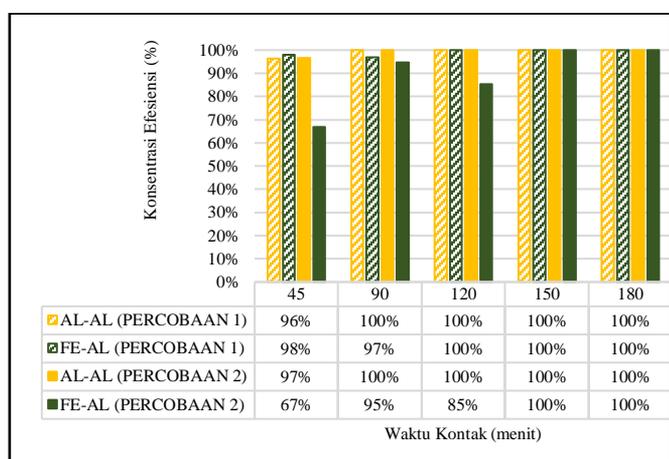
Pada Gambar 2 terlihat tren penurunan yang hampir sama, dimana pada waktu kontak 45 menit logam Fe telah mengalami penurunan yang tinggi. Kondisi pada Al-Fe percobaan kedua sedikit berbeda. Penurunan telah terjadi di waktu 45 menit namun penurunan tertinggi terjadi pada waktu 90 menit. Hal ini menunjukkan bahwa pada plat ini memberikan penurunan yang sedikit lebih lambat dibandingkan dengan plat Al-Al. Grafik persentase efisiensi penurunan konsentrasi besi (Fe) air asam tambang dapat dilihat pada Gambar 3.

Hasil efisiensi penyisihan pada Gambar 3 terlihat bahwa hasil dari percobaan kedua dengan pertama pada plat Al-Al tidak berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa parameter polutan dalam limbah cair juga menurun semakin lama proses elektrokoagulasi berjalan. Ini sesuai dengan Hukum Faraday,

yang menetapkan bahwa semakin banyak waktu sesuatu diproses, semakin banyak koagulan yang akan dihasilkan. (Ramadhan et al., 2021).



Gambar 2. Perubahan Nilai Fe pada Elektrokoagulasi



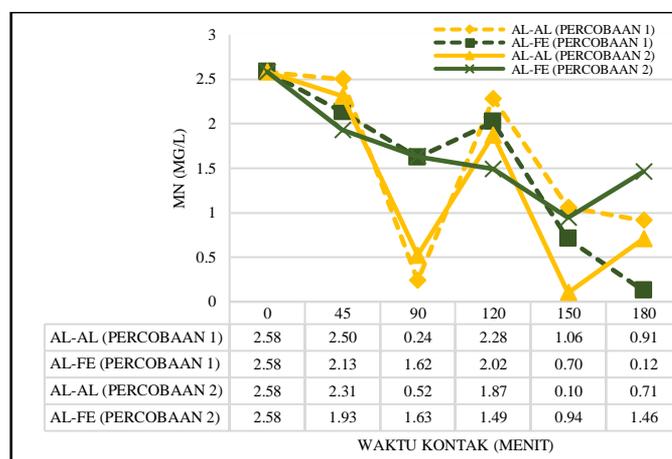
Gambar 3. Efisiensi Penurunan Fe pada Elektrokoagulasi

Pada plat Al-Fe efisiensi mengalami peningkatan dan penurunan selama proses elektrokoagulasi. Hal ini disebabkan plat menjadi jenuh dengan flok yang telah melekat pada permukaannya, yang mencegah ion logam terbentuk di anoda dan OH⁻ terbentuk di katoda. Lebih sedikit koagulan yang diproduksi sebagai akibat dari penurunan ion Al³⁺ dan OH⁻ (Prayitno et al., 2018). Semakin banyak flok dihasilkan dan bertabrakan satu sama lain, maka densitas flok akan semakin besar. Hal ini menyebabkan sebagian partikel flokulen yang terbentuk akan jatuh dan mengendap. Waktu pengendapan dibutuhkan setelah proses elektrokoagulasi. Jika waktu pengendapan semakin lama, maka semakin besar partikel flokulen yang terbentuk yang pada akhirnya dapat mengendap di dasar bak (Ni'am et al., 2018). Partikel-partikel padat ini dengan cepat meresap ke dalam koagulan Al(OH)₃ atau gelembung udara, di mana mereka dipisahkan ke atas, menyebabkan konsentrasi partikel-partikel ini menurun (Saputra, 2018). Kondisi ini sama dengan penelitian sebelumnya yaitu pada pengolahan dengan variasi waktu kontak 30 menit terjadi penurunan efisiensi sedangkan pada pengolahan dengan variasi waktu kontak 45 menit terjadi kenaikan efisiensi kembali (Romero et al., 2018).

Dibandingkan dengan plat Al-Fe, kombinasi Al-Al menghasilkan lebih banyak flok karena pelat Al-Al (Aluminium) mudah membuat Al (OH)₃ atau hidroksida dan polimer hidroksil kompleks. Hal ini lebih efektif dalam mengurangi polutan dalam air asam tambang semakin banyak flok yang dihasilkan karena lebih banyak kotoran yang terperangkap.

3.2 Analisis pada Parameter Mn

Dari hasil analisis data yang didapatkan, pengolahan air asam tambang dengan metode elektrokoagulasi untuk parameter mangan (Mn) dapat dikatakan berhasil, hal ini dikarenakan nilai Mn sesudah pengolahan berhasil menurun. Meskipun hasil berfluktuatif di semua variasi waktu kontak dan jenis plat yang digunakan, hasil akhir pengolahan menunjukkan penurunan yang sangat tinggi. Nilai kadar Mn sebelum dilakukan pengolahan sebesar 2,58 mg/L kemudian terjadi fluktuasi penurunan seperti terlihat pada Gambar 4.

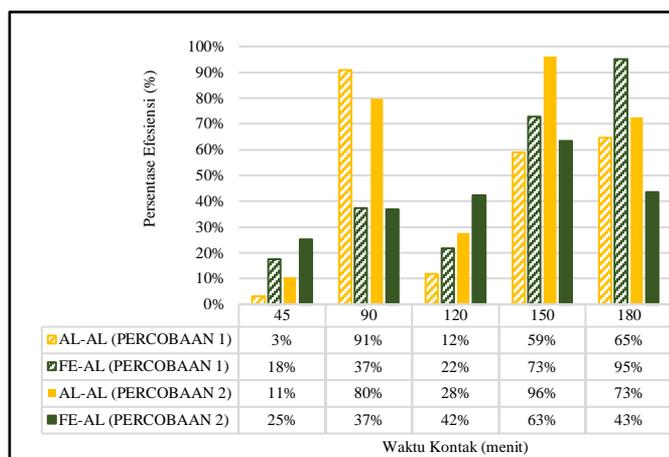


Gambar 4. Perubahan Nilai Mn pada Elektrokoagulasi

Gambar 4 menunjukkan bahwa pada percobaan pertama dengan variasi plat Al-Al, terdapat hasil kadar Mn pada variasi waktu 45 menit merupakan penyisihan terendah yaitu sebesar 3% dengan kadar Mn 0,25 mg/L. Pada variasi 90 menit merupakan penyisihan tertinggi yaitu sebesar 91% dengan kadar Mn 0,23 mg/L. Hal yang terjadi pada percobaan kedua, dimana pada variasi waktu kontak 45 menit merupakan penyisihan terendah yaitu sebesar 11% dengan kadar Mn 2,31 mg/L. Pada variasi 90 menit merupakan penyisihan tertinggi yaitu sebesar 96% dengan kadar Mn 0,09 mg/L. Pada variasi menggunakan plat Al-Fe, hasil kadar Mn setelah pengolahan pertama penyisihan terendah pada waktu kontak 45 menit yaitu sebesar 18% dan nilai penyisihan tertinggi pada waktu kontak 180 menit sebesar 95%. Pada percobaan kedua penyisihan terendah pada waktu kontak 45 menit yaitu sebesar 25% dan nilai penyisihan tertinggi pada waktu kontak 150 menit sebesar 63%. Grafik persentase efisiensi penurunan konsentrasi besi (Fe) air asam tambang setelah pengolahan dapat dilihat pada Gambar 5.

Proses penyisihan kadar mangan (Mn) yang terjadi menunjukkan bahwa elektrokoagulasi dapat mereduksi kadar mangan. Ion positif dan negatif yang dihasilkan oleh elektroda yang terdiri dari logam seperti aluminium selama proses elektrokoagulasi akan mendestabilisasikan partikel di dalam

air (Ramadani et al., 2021). Katoda Al mengalami reduksi asam pada kondisi asam yang menghasilkan gas H₂, sedangkan anoda Al mengalami oksidasi yang menghasilkan ion Al³⁺ (Elhadi, 2020).



Gambar 5. Efisiensi Penurunan Mn pada Elektrokoagulasi

Karena mangan lebih sulit untuk dioksidasi daripada besi dan memiliki laju oksidasi yang lebih lambat, kondisi beroksidasi ini dalam hasil pemrosesan mangan (Mn) terjadi (Fakhrudin et al., 2017). Faktor lainnya dapat dikarenakan perbedaan kedalaman plat terendam pada saat pengolahan, ukuran plat yang digunakan juga berpengaruh pada saat pengolahan dimana Karena peningkatan gaya elektrostatis yang dihasilkan oleh ion logam pereduksi dan pengoksidasi dalam larutan, ukuran plat yang besar juga menghasilkan ikatan yang lebih besar antara partikel logam (Ni'mah et al., 2017). Selama proses elektrokoagulasi, lebih banyak ion hidroksida (OH⁻) terakumulasi (Fendriani et al., 2020).

4. SIMPULAN

Pada penelitian pengaruh dari variasi waktu kontak dan jenis plat yang digunakan dapat disimpulkan bahwa semakin lama waktu kontak maka semakin besar efisiensi penyisihan parameter besi (Fe) dan mangan (Mn) dalam air asam tambang. Jenis plat Al-AI lebih efisien dibandingkan jenis plat Al-Fe dikarenakan pada kombinasi Al-AI lebih banyak dihasilkan partikel flokulen dibandingkan plat Al-Fe. Kondisi optimum dicapai pada variasi waktu kontak 180 menit dan jenis plat aluminium (Al-AI), dengan hasil penyisihan parameter besi (Fe) sebesar 100% dengan konsentrasi awal 1,25 mg/L dan kadar mangan (Mn) sebesar 96% dengan konsentrasi awal 2,58 mg/L.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Fakultas Teknik Universitas Mulawarman yang telah mendanai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Ashari, Budianta, Dedik, & Setiabudidaya, D. (2015). Efektivitas Elektroda pada Proses Elektrokoagulasi untuk Pengolahan Air Asam Tambang. *Jurnal*

Penelitian Sains, 17(2), 45–50. <https://doi.org/10.56064/jps.v17i2.47>

E. Suoth, A., & Nazir, E. (2014). Penaatan Perusahaan Tambang Batubara di Kalimantan Timur Terhadap Peraturan Air Limbah Pertambangan. *Jurnal Ecolab*, 8(2), 61–68. <https://doi.org/10.20886/jklh.2014.8.2.61-68>

Elhadi, M. R. N. (2020). *Elektrokoagulasi Limbah Cair Tepung MOCAF dengan Panel Surya sebagai Sumber Energi* [Skripsi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah]. <https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/bitstream/123456789/55875/1/M.%20RIFQI%20NUR%20EL%20HADI-FST.pdf>

Fadhila, A. N., & Purnama, H. (2022). Pengaruh Jarak Elektroda dan Tegangan terhadap Efektivitas Pengolahan Air Lindi dengan Metode Elektrokoagulasi-Adsorpsi Zeolit. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 11(1), 21–27. <https://doi.org/10.36706/jtk.v27i2.714>

Fadillah, A., Amri, I., & Bahri, S. (2018). Pengolahan Air Gambut untuk Menurunkan Kadar Besi dan Mangan dengan Proses Elektrokoagulasi Secara Kontiniu. *Jom FTEKNIK*, 5(2). <https://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFTEKNIK/article/view/20605/19932>

Fakhrudin, Nurdiana, J., & Wijayanti, D. W. (2017). (Mangan) pada Limbah Cair Laboratorium Teknologi Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Mulawarman Samarinda dengan Menggunakan Metode Elektrolisis. <https://e-journals.unmul.ac.id/index.php/SEMNASTEK/article/view/971/880>

Fendriani, Y., Nurhidayah, Handayani, L., Samsidar, & Rustan. (2020). Pengaruh Variasi Jarak Elektroda dan Waktu Terhadap pH dan TDS Limbah Cair Batik Menggunakan Metode Elektrokoagulasi. *JOURNAL ONLINE OF PHYSICS*, 5(2), 59–64. <https://doi.org/10.22437/jop.v5i2.9869>

Fitriah, G. D., Kasim, K. P., & Purnomo, B. C. (2022). Penurunan Kadar Besi (Fe) dan Mangan (Mn) pada Air Bersih dengan Metode Elektrokoagulasi. *Sulolipu: Media Komunikasi Sivitas Akademika dan Masyarakat*, 22(2), 253. <https://doi.org/10.32382/sulolipu.v22i2.2897>

Handayani, I. R., As'adi, E., & Kharisma, S. B. (2017). Pengelolaan Sumber Daya Energi Berbasis Lingkungan dalam Rangka Mewujudkan Negara Kesejahteraan. *Jurnal Hukum IUS QUIA IUSTUM*, 24(1), 94–112. <https://doi.org/10.20885/iustum.vol24.iss1.art5>

Hasma, N. Y., Ruslan, M., Indrayatie, E. R., Fauzana, N. A., & Saputra, A. (2023). Analisis Penurunan Kadar Logam Besi (Fe) & Mangan (Mn) dengan Penggunaan Koagulan Terhadap Air Tambang Batubara PT. Adaro Indonesia. *EnviroScientiae*, 19(1), 193. <https://doi.org/10.20527/es.v19i1.15760>

Hidayah, R. A., Sutoyo, H. D., Dzakiya, N., & Saputra, Y. A. (2020). Pengolahan Air Asam Tambang di Penambangan Mineral Logam Kabupaten Pacitan Provinsi Jatim dengan Metoda Elektrokoagulasi.

- Newton-Maxwell Journal of Physics*, 1(1), 13–18.
<https://doi.org/10.33369/nmj.v1i1.14291>
- Ni'am, A. C., Caroline, J., & Afandi, M. . H. (2018). Variasi Jumlah Elektroda dan Besar Tegangan dalam Menurunkan Kandungan Cod Dan Tss Limbah Cair Tekstil dengan Metode Elektrokoagulasi. *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan*, 3(1), 21–26.
<https://doi.org/10.29080/alard.v3i1.257>
- Ni'mah, L., Fyanidah, F., & Maulana, M. D. (2017). Pengolahan Limbah Minyak Pelumas dengan Menggunakan Metode Elektrokoagulasi. *CHEMICA: Jurnal Teknik Kimia*, 4(1), 21.
<https://doi.org/10.26555/chemica.v4i1.6645>
- Pramaditya, D. A. (2023). Karakterisasi Sifat Fisik Dan Kimia Tanah pada Lahan Bekas Tambang Batubara yang Telah Direklamasi. *Jurnal Mineral, Energi, dan Lingkungan*, 6(2), 28.
<https://doi.org/10.31315/jmel.v6i2.8022>
- Pranata, L. A. (2018). Analisis Penetrasi Air Asam Tambang Batubara dengan Menggunakan Kapur Tohor di Kolam Pengendapan Lumpur. *Jurnal Teknik Patra Akademika*, 9(1), 4–13.
<https://doi.org/10.52506/jtpa.v9i01.64>
- Prayitno, Ridantami, V., & Mulyani, I. M. (2018). Pengaruh pH Terhadap Penurunan Konsentrasi Thorium dalam Limbah Menggunakan Proses Elektrokoagulasi dengan Elektroda Aluminium dan Tembaga. *Urania*, 24(3), 135–198.
<http://dx.doi.org/10.17146/urania.2018.24.3.4396>
- Ramadani, R., Samsunar, S., & Utami, M. (2021). Analisis Suhu, Derajat Keasaman (pH), Chemical Oxygen Demand (COD), dan Biological Oxygen Demand (BOD) dalam Air Limbah Domestik di Dinas Lingkungan Hidup Sukoharjo. *INDONESIAN JOURNAL OF CHEMICAL RESEARCH*, 6(2), 12–22. <https://doi.org/10.20885/ijcr.vol6.iss1.art2>
- Ramadhan, A. F., Amri, I., & Drastinawati. (2021). Pengaruh Jarak Elektroda Dan Kuat Arus Pada Pengolahan Air Gambut Dengan Proses Elektrokoagulasi Secara Kontinu. *Journal of Bioprocess Chemical and Environmental Engineering Science*, 2(1), 46–55.
<http://dx.doi.org/10.31258/jbchees.2.1.46-55>
- Rasman, R., & Firdaus, Muh. (2018). Kemampuan Elektrokoagulasi dalam Menurunkan Kadar Besi (Fe) pada Air Sumur Bor. *Sulolipu: Media Komunikasi Sivitas Akademika dan Masyarakat*, 18(2), 179.
<https://doi.org/10.32382/sulolipu.v18i2.1154>
- Romero, W. R., Pino, L. V. F.-D., Guerrero-Guevara, J. L., Castro-Torres, J., King, M. E., & Yuli-Posadas, R. (2018). Benefits of Electrocoagulation in Treatment of Wastewater: Removal of Fe and Mn metals, oil and grease and COD: three case studies. *International Journal of Applied Engineering Research*, 13(8), 6450–6462.
<https://doi.org/10.21608/erjm.2017.66349>
- Saputra, A. I. (2018). Penurunan TSS Air Limbah Laboratorium Rumah Sakit Menggunakan Metode Elektrokoagulasi. *Journal of Nursing and Public Health*, 6(2), 6–13.
<https://doi.org/10.37676/jnph.v6i2.638>
- Suryani, M. Y., Paramita, A., Susilo, H., & Maharsih, I. K. (2022). Analisis Penentuan Kadar Besi (Fe) dalam Air Limbah Tambang Batu Bara Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. *Indonesian Journal of Laboratory*, 5(1), 7–15.
<https://doi.org/10.22146/ijl.v0i0.72451>
- Suswanto, N., Sudarno, Sari, A. A., & Harimawan. (2017). Penyisihan Fe, Warna, dan Kekeruhan pada Air Gambut Menggunakan Metode Elektrokoagulasi. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(2), 1–12.
<https://media.neliti.com/media/publications/192423-ID-penyisihan-fe-warna-dan-kekeruhan-pada-a.pdf>