

EFEKTIVITAS PERUBAHAN NILAI FE DAN MN MENGGUNAKAN METODE ELEKTROKOAGULASI DALAM PENGOLAHAN AIR ASAM TAMBANG

EFFECTIVENESS OF CHANGES IN Fe AND Mn USING THE ELECTROCOAGULATION METHOD IN ACID MINE DRAINAGE

Muchtar Arifin¹⁾, Lina Rianti²⁾, Meisa Maharani³⁾

^{1,2,3)}Program Studi Teknik Pertambangan Batubara, Politeknik Akamigas Palembang, 30257, Indonesia

Corresponding Author E-mail: muchtararifin@pap.ac.id, linarianti@pap.ac.id dan meisamaharani12@gmail.com

Abstract: Metals that are heavy including iron (Fe) and manganese (Mn), which can contaminate the environment and endanger life, are found in acid mine drainage debris. The aim of this study are to ascertain changes in the Fe and Mn values of acid mine drainage using the electrocoagulation method, to ascertain the impact of voltage variations on changes in Fe and Mn values by employing the electrocoagulation technique, and to assess the efficacy of the electrocoagulation process method in changing Fe and Mn values. This work employs a quantitative approach, specifically direct research through experimentation at the Palembang Akamigas Polytechnic Laboratory. The findings of this investigation, which employed the same time and current, namely 30 minutes and a current of 2 amperes, Fe (iron) levels at a voltage of 12 V (1,25 mg/l), a voltage of 20 V (1,10 mg/l), a voltage of 24 V (1,17 mg/l) and a voltage of 30 V (0,86 mg/l) while the results of Mn (manganese) levels were all the same, namely <0,01 mg/l. The most effective voltage to lower the amounts of Fe was 30 Volts for 30 minutes, resulting in a final Fe level of 0,86 mg/l. Meanwhile, Mn levels were successfully reduced to <0,01 mg/l at all voltage variations, indicating that all voltage treatments had the same effectiveness on Mn. Thus, the electrocoagulation method has proven effective in reducing heavy metal content in the draining of acid mines.

Keywords: Drainage from Acid Mines, Iron (Fe), Manganese (Mn), Electrocoagulation.

Abstrak: Logam berat, misalnya besi (Fe) dan mangan (Mn), terkandung dalam limbah air asam tambang, yang dapat mencemari lingkungan dan membahayakan makhluk hidup. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan bagaimana nilai besi dan magnesium berubah ketika metode menggunakan elektrokoagulasi diterapkan pada air asam tambang, mengetahui bagaimana variasi tegangan memengaruhi perubahan nilai tersebut, dan mengetahui seberapa efektif metode elektrokoagulasi dalam mengubah nilai besi dan magnesium. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif yaitu dengan proses penelitiannya langsung dengan melakukan eksperimental di Laboratorium Politeknik Akamigas Palembang. Hasil dari penelitian ini yang mana penelitian ini menggunakan waktu dan arus yang sama yaitu 30 menit dan arus listrik 2 ampere. Kadar Fe (besi) pada tegangan 12 V (1,25 mg/l), tegangan 20 V (1,10 mg/l), tegangan 24 V (1,17 mg/l) dan tegangan 30 V (0,86 mg/l) sedangkan hasil kadar Mn (mangan) semuanya sama yaitu < 0.01 mg/l. Tegangan paling efektif untuk menurunkan kadar Fe adalah 30 V selama 30 menit, menghasilkan kadar Fe akhir sebesar 0,86 mg/l. Pada saat yang sama, kadar Mn dapat diturunkan dengan sukses hingga kurang dari 0,01 mg/l pada seluruh variasi tegangan. Ini menunjukkan bahwa perawatan tegangan apa pun memiliki tingkat keberhasilan yang sama terhadap Mn. Oleh karena itu, kandungan logam berat dalam air asam yang berasal dari tambang dapat dikurangi dengan metode elektrokoagulasi.

Kata Kunci: elektrokoagulasi, air asam dari tambang, besi (Fe), serta mangan (Mn).

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Masalah pencemaran lingkungan yang sedang berlangsung telah berubah menjadi masalah global yang terjadi hampir di mana-mana di dunia. Salah satu dari penyumbang utama pencemaran tersebut berasal dari aktivitas industri, khususnya pertambangan. Kegiatan pertambangan batubara menghasilkan air asam sebagai limbah tambang (AAT), yang termasuk dalam

penyebab utama pencemaran perairan (Maulida, 2023).

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Putri dkk (2023), terkait dengan penelitian tentang pengelolaan air asam tambang menggunakan pendekatan elektrokoagulasi. Dimana penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana berbagai bentuk plat dan waktu kontak berdampak pada prosedur elektrokoagulasi yang melibatkan logam besi (Fe) dan mangan (Mn) yang ada dalam air asam tambang. Hasil

penelitian menunjukkan bahwa waktu kontak meningkatkan penyisihan parameter besi (Fe) dan mangan (Mn) dalam air asam tambang. Plat aluminium Al-Al mencapai kondisi terbaik pada variasi waktu kontak 180 menit dan menghasilkan kadar besi (Fe) sebesar 100% dengan konsentrasi awal 1,25 mg/l dan kadar mangan (Mn) sebesar 96% dengan konsentrasi awal 2,58 mg/l. Ini menunjukkan bahwa Plat Al-Al lebih efisien daripada Al-Fe. karena menghasilkan lebih banyak partikel flokulen.

Berdasarkan beberapa penelitian yang sudah pernah dilakukan dan dilandasi pemanfaatan air asam tambang yang lebih efisien, maka peneliti mencoba untuk melakukan penelitian tentang pengelolaan maupun penentralkan air asam tambang menggunakan metode elektrokoagulasi dalam skala laboratorium. Penelitian ini menggunakan plat elektroda aluminium tebal 0,6 mm. Penelitian dilakukan pada tegangan 12 volt, 15 volt, 20 volt, 24 volt, dan 30 volt adalah voltase yang tersedia. Kondisi waktu kontak dan arus yang sama dengan waktu 30 menit dan arus 2 *ampere*. Penelitian ini juga dapat bermanfaat untuk perusahaan maupun masyarakat disekitar area tambang.

1.2 Batasan Masalah

Batasan yang terkait dengan topik penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sampel diambil di PT Banjasari Pribumi.
2. Uji dilakukan di Laboratorium Politeknik Akamigas Palembang
3. Parameter besi dan mangan digunakan untuk menguji air asam tambang ini, metode elektrokoagulasi digunakan.

1.2 Tujuan Penelitian

Berikut ini adalah tujuan penelitian :

1. Menentukan perubahan nilai besi dan mangan menggunakan metode elektrokoagulasi.
2. Mengetahui pengaruh dari variasi tegangan terhadap perubahan nilai besi dan mangan menggunakan metode elektrokoagulasi.
3. Mengetahui seberapa efektif metode elektrokoagulasi dalam perubahan nilai besi dan mangan.

1.3 Manfaat Penelitian

Salah satu manfaat dari penelitian ini meliputi hal-hal berikut:

1. Meningkatkan pengalaman mahasiswa mengenai pengolahan air asam tambang;
2. Mendapatkan pemahaman tentang metode pengolahan air asam tambang yang berbeda dengan berbagai variasi tegangan; dan
3. Membantu membangun kebijakan pengelolaan lingkungan yang lebih baik untuk industri pertambangan dengan meningkatkan kesadaran akan pentingnya proses pengolahan air asam dari tambang menggunakan metode elektro.

2. TEORI DASAR

2.1 Air Asam Tambang

Air asam dari pertambangan adalah air rembesan dengan memiliki pH di bawah 6. Ini memiliki konsentrasi logam terlarut, sulfat, dan keasaman yang tinggi sekaligus memiliki konsentrasi oksigen terlarut yang rendah. Namun, ada batuan yang mengandung mineral oksida yang teroksidasi, menyebabkan air asam tambang terbentuk. Kemudian, reaksi oksidasi dapat terjadi, menurunkan pH dan meningkatkan sulfat. Aliran air kemudian dapat mengikis dan membawa logam ke batuan. Air asam tambang dapat terbentuk melalui reaksi kimia atau biologi. Ketika logam-logam berinteraksi, terjadi reaksi kimia yang reaksi terjadi pada zat terlarut hidrologis yang dapat menciptakan H^+ , yang memungkinkan *pyrite* mengalami reaksi yang menghasilkan oksidasi yang menghasilkan air asam dari tambang tersebut. (Kusdarini, dkk., 2024).

2.2 Pembentukan Air Asam Tambang

Dalam pertambangan batubara, mineral *pyrite* dan *marcasite*, yang memiliki komposisi kimia serupa, mengandung 53,4% belerang dalam bentuk besi, adalah penyebab utama kemungkinan terbentuk air asam. Perbedaannya hanya terletak pada struktur kristalnya. Pembentukan mineral sulfat terjadi sebagai produk sekunder dari pelapukan akibat oksidasi pirit. Sementara itu, sulfur organik dari tumbuhan atau hasil diagenesis senyawa

organik tidak berkontribusi besar terhadap pembentukan keasaman. Alkalinitas berperan sebagai penetral terhadap keasaman. Sumber utama alkalinitas biasanya berasal dari mineral yang mengandung karbonat, seperti dolomit dan kalsit. Walaupun mineral silikat juga mampu menetralkan keasaman, Jika dibandingkan dengan karbonat, reaksinya lebih lambat. Beberapa lapisan batuan sedimen di bawah lapisan batubara juga dapat mengandung batuan yang berpotensi menghasilkan air asam dari batuan asam (drainase batuan asam / ARD), terutama ketika terpapar oksigen dan air di permukaan (Said, 2014).

2.3 Proses Pembentukan Air Asam dari Tambang

Air asam tambang mungkin berasal dari berbagai sumber. Ini termasuk air yang diperoleh dari tambang terbuka; air yang diperoleh dari unit pengolahan batuan dan buangan; air dari tempat penimbunan batuan; air dari unit pengolahan limbah *tailing*; dan air dari sumber bahan galian atau *stockpile*.

2.4 Karakteristik Air Asam Tambang

Tiga Air asam tambang disebabkan oleh beberapa komponen utama :

1. Mineral sulfida adalah ikatan yang terdiri dari sulfur dan logam yang teroksidasi dan terlarut ketika terpapar udara bebas.
2. Oksigen ada di udara, dan ketika udara terpapar langsung ke tanah dan batuan menggabungkan dengan air, menghasilkan air asam tambang terbentuk.
3. Air juga memainkan peran penting dalam terbentuknya reaksi pembentukan air asam tambang.

2.5 Proses Air Asam Tambang (AAT)

Air asam dari tambang dapat diolah melalui proses mentralisasi, di mana bahan kimia yang sifatnya basa ditambahkan. Kapur cair (CaCO_3), *lime hydrated* (Ca(OH)_2), ash of soda (Na_2CO_3), atau NaOH, *caustic soda* adalah beberapa bahan kimia yang biasanya digunakan dalam proses mentralisasi (Said, 2014).

Air asam dari tambang dapat diolah dengan dua metode: pengolahan aktif (menggunakan proses netralisasi, aerasi, dan pengendapan) atau pengolahan pasif. (Said, 2014).

2.5.1 Pengolahan Aktif Air Asam

Pengolahan air asam tambang yang aktif (AAT) adalah teknik di mana bahan kimia yang bersifat alkali digunakan untuk menetralkan keasaman, meningkatkan pH, dan mengendapkan logam-logam terlarut. Terlepas dari metode ini terbukti efektif, biaya yang dikeluarkan relatif tinggi karena mencakup peralatan, bahan kimia, dan karyawan. Jika permasalahan AAT berlangsung dalam jangka panjang, baik selama masa operasi tambang maupun setelah proses reklamasi, maka strategi pengolahan yang lebih komprehensif perlu dirancang kembali.

2.5.2 Pengolahan Air Asam Tambang Secara Pasif

Secara diatur oleh geokimia, biologi, dan proses gravitasi tidak membutuhkan pengawasan dan perawatan teratur seperti pada sistem proses pengolahan air asam dari tambang secara aktif, jadi harga yang diperlukan cukup lebih hemat dan tidak memiliki kebutuhan perawat tinggi. Teknik pengolahan pasif sangat populer dan terus berkembang. Ada beberapa langkah yang dapat diambil pengolahan lahan basah aerobik, sistem saluran batukapur terbuka, saluran batu kapur anoksik dan sistem anaerobik dan pembentukan alkalinitas sukspektif adalah jenis air asam pasif yang sering digunakan di tambang.

2.6 Flokulasi dan Koagulasi

Flokulasi dan koagulasi adalah dua tahapan penting dalam pengolahan air yang bertujuan untuk menghilangkan partikel tersuspensi, kotoran, dan polutan. Kedua proses ini sangat efektif dalam menghilangkan polutan seperti:

1. Bakteri,
2. Virus,
3. Parasit,
4. Bahan organik, dan

5. Logam berat.

2.6.1 Mekanisme Koagulasi

Berikut merupakan hal penting terkait mekanisme koagulasi dan flokulasi :

1. Koagulan merupakan zat kimia yang memainkan peran utama dalam tahapan koagulasi dan flokulasi, yang menjadi bagian krusial dalam proses pengolahan air.
2. Flokulan adalah zat kimia yang berperan penting dalam tahap flokulasi yang merupakan lanjutan dari proses koagulasi dalam pengolahan air.
3. Partikel tersuspensi merupakan partikel-partikel kecil yang terdapat dalam air, seperti tanah liat, pasir, dan bahan organik.
4. Flok merupakan gumpalan yang terbentuk dari partikel-partikel tersuspensi yang telah mengalami proses koagulasi. Dalam koagulasi, bahan kimia koagulan ditambahkan ke dalam air untuk menetralkan muatan listrik partikel-partikel kecil, sehingga mereka dapat saling menarik dan membentuk flok.

2.7 Standar Mutu Limbah Cair yang Digunakan dalam Pertambangan Batubara

Tabel 2.1 Parameter Baku untuk Manfaat Air Limbah dari Kegiatan yang Dilakukan Dalam Penambangan Batubara

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
pH	-	6 – 9
Residu Tersuspensi	mg/l	300
Besi (Fe)	mg/l	7
Mangan (Mn)	mg/l	4

Sumber: Pergub Provinsi Sumatera Selatan No. 8 tahun 2012

Keputusan No. 492/Menkes/Per/IV/2010 dari Menteri Kesehatan menetapkan standar kualitas air minum, termasuk batas maksimum yang diperbolehkan, yaitu :

Tabel 2.2 Persyaratan Kualitas Air yang Diperlukan Minum

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
pH	-	6,5 – 8,5
Residu Tersuspensi	mg/l	500
Besi (Fe)	mg/l	0,3
Mangan (Mn)	mg/l	0,4

Sumber: Menteri Kesehatan Nomor 492/Menteri Kesehatan/per/IV/2010

2.8 Metode Elektrokoagulasi

Metode elektrokoagulasi merupakan teknik yang efektif dan cepat dalam mengolah air asam tambang, serta mampu mengatasi keterbatasan metode konvensional seperti koagulasi kimia. Teknologi ini untuk pertama kalinya diperkenalkan di Inggris pada tahun 1889 dan kini telah diterapkan secara luas untuk pengolahan berbagai jenis limbah cair, baik organik maupun anorganik. Dalam proses elektrokoagulasi, ion logam aktif (seperti Al atau Fe) dilepaskan dari anoda ke dalam larutan, sementara di katoda terbentuk gas hidrogen melalui reaksi elektrolisis. (Ibrahim, dkk., 2024).

2.8.1 Reaksi Kimia Elektrokoagulasi

Berikut adalah hasilnya :

- a. Reaksi dengan anoda: $\text{Al} \rightarrow \text{Al}^{+3} + 3\text{e}$
Dalam proses anodik, larutan logam dan aluminium menjadi molekul yang berisi ion Al^{+3} . Ion ini kemudian mengalami reaksi hidrolisis di dalam larutan, menghasilkan $\text{Al}(\text{OH})_3$ sebagai padatan H_2O yang tidak dapat larut dalam air lagi. Reaksi ini disebut sebagai $\text{Al}(\text{OH})_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$.

- b. Reaksi katoda : $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}$ menghasilkan $\text{H}_2 + 2\text{OH}^-$.

Reaksi sel adalah hasil dari proses katodik dan anodik, yang terjadi secara bersamaan dengan laju mol yang sama di masing-masing elektroda. Hasil reaksi sel sangat berbeda. Bisa berupa padatan yang tidak dapat larut, seperti Al_2O_3 , $\text{Al}(\text{OH})_3$, dan menghasilkan H_2 , atau Ion dan bahan yang terlarut, seperti Al^{+3} dan OH^- ,

2.9 Regresi Linier

Analisis uji regresi menyelidiki hubungan antar satu variabel yang memiliki satu variabel lainnya atau lebih banyak. Karena hanya ada satu variabel bebas, metode analisis regresi yang digunakan disebut regresi linear yang mudah. Regresi linear berganda adalah metode analisis regresi yang digunakan jika variabel bebasnya lebih dari satu. Karena ada variabel tidak bebas dipengaruhi oleh dua atau lebih variabel bebas, model ini dianggap sebagai linier berganda. Perhitungan penelitian biasanya menggunakan uji regresi dan analisis. Hasil uji regresi dan analisis akan dimasukkan ke dalam kesimpulan penelitian untuk menentukan keberhasilan penelitian.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Klasifikasi Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian yang dilaksanakan oleh peneliti dengan metode ini kuantitatif tepatnya dengan metode penelitiannya secara langsung dengan melakukan eksperimental di Laboratorium.

3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada tanggal 10 Februari 2025 hingga dengan 18 Maret 2025. Penelitian ini telah dilakukan di Laboratorium Politeknik Akamigas Palembang dan tempat pemilihan sampel berasal dari PT Banjarsari Pribumi berada di Kecamatan Merapi Timur, Kabupaten Lahat, Sumatera Selatan. PT. Banjarsari Pribumi memiliki koordinat antara $103^{\circ} 42' 391,4''$ T hingga $130^{\circ} 43' 4''$ BT dan $3^{\circ} 40' 2''$ LS hingga $3^{\circ} 40' 2''$ LS dengan dibatasi koordinat IUP seluas 519,7422 ha.

3.3 Bahan dan Peralatan Penelitian

Bahan yang digunakan dan peralatan yang digunakan untuk penelitian ini, yaitu :

1. *Power Supplay* 30 volt,
2. *Magnetic Strirrer*,
3. *Aquadest*,
4. Plat Elektroda Aluminium 0,6 mm,
5. *Beaker Glass*,
6. Kertas Saring,
7. Botol Sampel,
8. Corong Gelas,
9. Ember,

10. Gelas Ukur 1.000 ml,
11. Botol Sampel,
12. Tisu,
13. *Microsoft Excel*,
14. *Microsoft Word*,
15. Kertas Label,
16. Alat Tulis,
17. *Stopwatch Handphone*,
18. Buku tulis,
19. Gunting, dan
20. Kabel Panjang.

3.4 Metode Kerja

Langkah kerja yang dilakukan sebagai berikut:

1. Siapkan peralatan dan bahan
2. Pasang elektroda secara paralel dan sejajar, berjarak $\pm 1-2$ cm
3. Sambungkan elektroda ke *power supplay* sebagai anoda (+) dan katoda (-)
4. Atur tegangan listrik (misalnya 12, 20, 24, dan 30 Volt) dan arus listrik (2 ampere)
5. Letakkan sampel diatas *magnetic strirrer*
6. Tentukan waktu proses (30 menit)
7. Nyalakan arus listrik dan biarkan proses berlangsung sesuai waktu yang ditentukan. Selama proses, akan terbentuk gelembung gas dan endapan di dalam air.
8. Setelah proses selesai, diamkan selama beberapa menit agar endapan dan kotoran mengendap.
9. Matikan alat, lepaskan plat aluminium dan bersihkan peralatan.
10. Kemudian saring larutan tersebut menggunakan kertas saring yang sudah dilipat, hingga airnya jernih.
11. Setelah selesai, masukkan dalam botol sampel dan beri nama untuk dilakukan pengujian selanjutnya.

3.5 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan untuk menyusun salah satu fungsi terakhir adalah :

1. Data utama

Data utama didefinisikan sebagai informasi yang di ambil secara langsung di tempat kejadian, data utama adalah sampel air asam tambang.

2. Informasi sekunder

Data yang disebut sebagai data sekunder merujuk pada data yang dikumpulkan secara tidak langsung, yakni data tentang perubahan nilai Fe dan Mn dan data tentang metode yang dimaksudkan untuk mengontrol air asam yang dihasilkan dari tambang.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

Setelah mendapatkan data utama dan informasi sekunder, tahap berikutnya adalah penelitian dilakukan di Politeknik Akamigas Palembang. Sumber data diperoleh dari hasil langsung penelitian pengolahan air asam tambang menggunakan metode elektrokoagulasi. Kemudian sampel dibawa ke Laboratorium Politeknik Akamigas Palembang, selanjutnya dilakukan pengujian pada sampel tersebut untuk Fe (besi) dan Mn (mangan).

4.1.1 Hasil Uji Laboratorium Kadar Magnesium dan Besi dalam Air Asam Tambang melalui Elektrokoagulasi

Tabel 4.1 Hasil Uji Laboratorium Sampel Persentase Fe dan Mn Memanfaatkan Teknik Elektrokoagulasi pada proses Pengolahan Air Asam dari Tambang

No.	Nama Sampel	Satuan	Parameter Analisa	
			Besi (Fe)	Mangan (Mn)
1	12 v, 30 menit	mg/l	1,25	< 0,01
2	20 v, 30 menit	mg/l	1,10	< 0,01
3	24 v, 30 menit	mg/l	1,17	< 0,01
4	30 v, 30 menit	mg/l	0,86	< 0,01

4.1.2 Penentuan Kadar Fe

Analisis kadar Fe (besi) ini dilakukan menggunakan analisis regresi linier dasar dan persamaan regresi linear sederhananya adalah sebagai berikut :

$$Y = a + bX$$

Di mana Y adalah nilai peramalan variabel dependen, X adalah nilai observasi dari variabel independen, a adalah *intercept* (titik di mana kurva dipisahkan oleh sumbu Y), dan b adalah gradien garis (slope) kurva linier. Nilai a dan b adalah parameter dari garis regresi yang nilainya diperkirakan berdasarkan data pengamatan.

a. Menghitung nilai *slope* b

Hasil perhitungan nilai *slope* menggunakan rumus :

$$b = \frac{n \cdot \sum XY - (\sum X) \cdot (\sum Y)}{n \cdot \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

Dimana:

X = adalah harga variabel *independent*

Y = adalah nilai variabel *dependen*

N = adalah angka data

maka :

$$b = \frac{4 \times 90,88 - 86 \times 4,38}{4 \times 2020 - 86^2}$$

$$= \frac{363,52 - 376,68}{8.080 - 7.396}$$

$$= \frac{-13,16}{684} = -0,0192$$

b. Menghitung nilai *intercept* a

Hasil perhitungan nilai *intercept* dengan menggunakan rumus :

$$a = \frac{(\sum Y) \cdot (\sum X^2) - (\sum X) \cdot (\sum XY)}{n \cdot \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

Dimana:

X = adalah harga variabel *independent*

Y = adalah harga variabel *dependen*

n = adalah angka data

maka :

$$a = \frac{4,38 \times 2020 - 86 \times 90,88}{4 \times 2020 - 86^2} = \frac{8.847,6 - 7.815,68}{8.080 - 7.396}$$

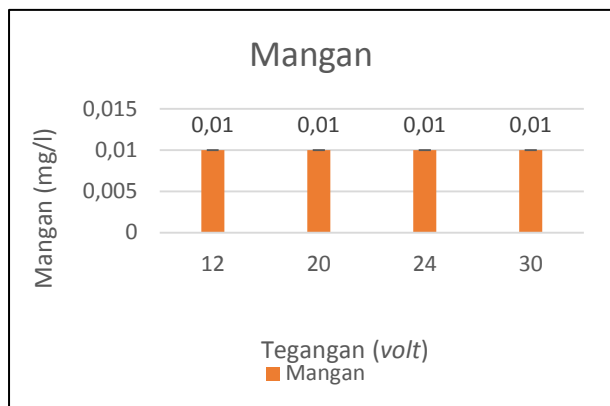
$$= \frac{1.1031,92}{684} = 1,5087$$

Jadi, persamaan regresi linear sederhananya adalah sebagai berikut :

$$Y = a + bX$$

$$Y = 1,5087 - 0,0192X$$

Artinya, setiap peningkatan 1 volt tegangannya menurunkan kadar besi sekitar 0,0192 mg/l. Hasil nilai R^2 yaitu 0,746 (atau 74,6%) yang berarti 74,6% variasi kadar besi dapat diterangkan melalui variasi tegangan secara linier, sisanya sekitar 25,4% dipengaruhi oleh faktor lain seperti waktu kontak, jenis elektroda, pH, atau variasi eksperimental lainnya. Untuk mempermudah dibuatkan grafik yang dimana menunjukkan kondisi penurunan kadar besi seiring peningkatan tegangan sebagai digambarkan pada Gambar 4.1 yang mengindikasikan efektivitas metode elektrokoagulasi dalam mengurangi konsentrasi besi.



Gambar 4.1 Grafik Regresi Linier Besi

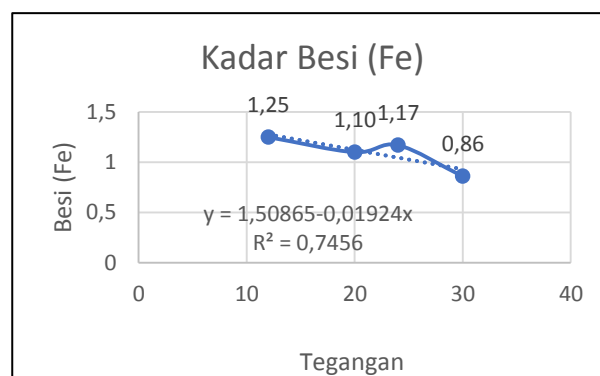
4.1.3 Penentuan Kadar Mn

Kadar mangan pengolahan air asam tambang menggunakan metode elektrokoagulasi tidak berpengaruh terhadap mangan dalam rentang tegangan tersebut. Maka analisis regresi linier tidak dapat dilakukan. Namun demikian, data ini tetap dapat divisualisasikan dalam bentuk diagram batang yang ditunjukkan pada Gambar 4.2.

Dari datanya tersebut dapat menunjukkan bahwa:

1. Peningkatan tegangan dari tegangan 0 hingga 30 Volt tidak mempengaruhi kadar mangan dalam sampel air asam tambang.
2. Kadar mangan tetap berada di bawah 0,01 mg/l pada seluruh variasi tegangan yang diberikan.

3. Ini menunjukkan bahwa mangan sudah berada dalam kadar yang sangat rendah sejak awal tegangan (12 volt) atau bahwa metode pengolahan yang digunakan sudah sangat efektif sejak tegangan awal.
4. Atau bahkan mangan memang tidak terdapat dalam jumlah signifikan di larutan tersebut, sehingga perlakuan dengan variasi tegangan tidak menunjukkan perbedaan pada nilai mangan.



Gambar 4.2 Grafik Batang Kadar Mangan

4.2 Pembahasan

4.2.1 Analisis Perubahan Nilai Pada Air Asam, Fe dan Mn dari Tambang Menggunakan Metode Elektrokoagulasi

Analisa dilakukan sebagai berikut:

1. Perubahan Nilai Fe (Besi)
 - a. Tegangan 12 volt ke Tegangan 20 volt:
 1. Kadar Fe menurun dari 1,25 → 1,10 mg/l (turun 0,15 mg/l).
 2. Artinya, peningkatan tegangan dari 12 ke 20 volt meningkatkan efektivitas elektrokoagulasi.
 - b. Tegangan 20 volt ke Tegangan 24 volt:
 1. Kadar Fe naik dari 1,10 → 1,17 mg/l (naik 0,07 mg/l).
 2. Ini menunjukkan adanya anomali atau gangguan proses, misalnya flok yang tidak stabil atau terganggu oleh gelembung gas.
 - c. Tegangan 24 volt ke Tegangan 30 volt:
 1. Kadar Fe turun secara drastis dari 1,17 → 0,86 mg/l (turun 0,31 mg/l).
 2. Tegangan 30 volt memberikan hasil paling optimal dalam

menurunkan kadar Fe secara signifikan.

2. Perubahan Nilai Mn (Mangan)

Pada kadar mangan menunjukkan hasil yang sangat rendah pada seluruh variasi tegangan. Nilai kadar mangan semuanya terdeteksi $< 0,01$ mg/l untuk seluruh perlakuan tegangan (12 V hingga 30 V). Hal ini mengindikasikan bahwa proses elektrokoagulasi sangat efektif dalam menghilangkan kadar mangan bahkan pada tegangan rendah. Tidak terdapat perubahan signifikan yang dapat diamati pada kadar mangan ini karena seluruh nilai sudah berada di bawah batas deteksi alat uji.

4.2.2 Analisis Pengaruh Variasi Tegangan Dalam Metode Elektrokoagulasi Pada Pengolahan Air Asam Tambang

1. Pengaruh Tegangan Terhadap Penurunan Nilai Fe (Besi)

Menunjukkan bahwa Semakin tinggi tegangan, maka semakin tinggi ion logam yang dapat terkoagulasi dan mengendap keluar dari larutan, sehingga efisiensi penurunan meningkat. Secara keseluruhan, peningkatan tegangan memperbesar laju pelepasan ion logam dari elektroda, mempercepat pembentukan endapan, dan meningkatkan proses sedimentasi, yang berkontribusi langsung terhadap penurunan konsentrasi besi.

2. Pengaruh Tegangan Terhadap Penurunan Nilai Mn (Mangan)

Kadar Mangan pada seluruh variasi tegangan (12 V – 30 V) menunjukkan hasil yang sangat rendah, yaitu $< 0,01$ mg/l. Hal ini menunjukkan bahwa tindakan proses elektrokoagulasi sangat efektif dalam menghilangkan mangan bahkan pada tegangan rendah.

4.2.3 Analisis Seberapa Efektif Metode Elektrokoagulasi Dalam Penurunan Nilai Fe dan Mn

Analisis efektifitas dilakukan sebagai berikut:

1. Efektivitas Terhadap Logam Fe

Berdasarkan hasil analisis regresi linier sederhana antara variasi tegangan (X) dan kadar besi (Fe) (Y), diperoleh persamaan regresi linier sebagai berikut:

$$Y = 1,5087 - 0,0192X$$

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa setiap peningkatan tegangan sebesar 1 volt akan menyebabkan penurunan kadar besi hingga sebesar 0,0192 mg/l. Hal ini menunjukkan berarti semakin tinggi tegangan, semakin rendah kadar besi yang tersisa dalam larutan.

2. Efektivitas Terhadap Logam Mn

Efektivitas pada logam mangan, yang dimana hasil menunjukkan bahwa pada semua variasi tegangan (12 V hingga 30 V), kadar Mn selalu $< 0,01$ mg/l. Dengan kata lain, kadar Mn yang semula terlarut dalam air asam tambang berhasil dihilangkan sepenuhnya hingga di bawah batas deteksi alat. Ini menunjukkan efisiensi penghilangan mendekati 100%, bahkan sejak penggunaan tegangan terendah (12 V). Artinya, metode ini sangat efektif untuk mangan, bahkan tanpa memerlukan tegangan tinggi.

5. PENUTUP

Hasil penelitian ini dapat menghasilkan kesimpulan berikut:

1. Pada penelitian ini perubahan nilai besi mengalami penurunan kadar seiring meningkatnya tegangan terutama pada tegangan 30 V, nilai Fe cenderung menurun dengan bertambahnya tegangan, namun sempat naik sedikit pada 24 V sedangkan perubahan nilai Mn, semua nilai Mn berada di bawah ambang deteksi, yaitu $< 0,01$ mg/l yang dimana artinya, pada seluruh variasi tegangan (12 V-30 V), kandungan Mn sangat rendah dan tidak menunjukkan perubahan pada nilainya.
2. Variasi tegangan berpengaruh signifikan terhadap penurunan kadar logam Fe, di mana tegangan tertinggi (30 V) memberikan hasil terbaik dari hasil analisis regresi linier sederhana pengolahan menggunakan elektrokoagulasi terhadap data kadar Fe menunjukkan persamaan regresi yaitu $Y = 1,5078 - 0,0192X$, yang

berarti setiap kenaikan tegangan sebesar 1 Volt dapat menurunkan kadar Fe sekitar 0,0192 mg/l dan juga ditemukan bahwa tingkat determinasi (R^2) adalah seukuran 0,7456. Nilai ini menunjukkan bahwa sebesar 74,6% variasi kadar besi dapat dijelaskan dengan perubahan tegangan, sementara 25,4% terakhir dipengaruhi oleh variabel tambahan. Sementara itu, untuk Mn pengaruh variasi tegangan tidak terlalu terlihat karena seluruh kadar Mn telah berada di bawah ambang deteksi sejak tegangan terendah (12 V). Oleh karena itu, pengaturan tegangan menjadi salah satu faktor penting untuk mengoptimalkan pengolahan Fe menggunakan metode elektrokoagulasi.

3. Metode elektrokoagulasi dalam perubahan nilai Fe, efektivitasnya cukup tinggi dalam menurunnya jumlah besi dari 1,25 mg/l menjadi 0,86 mg/l menunjukkan bahwa metode elektrokoagulasi tetap efektif, walaupun hubungan liniernya tidak sempurna pada tegangan 30 V sedangkan untuk perubahan nilai Mn, metode elektrokoagulasi sangat efektif untuk menghilangkan kadar Mangan (Mn) dengan efisiensi hampir sempurna bahkan pada tegangan rendah (12 V).

DAFTAR PUSTAKA

Aityan, S. K. 2022. *Linear Regressio In Business Research Methodology : Research Process and Methods*. Cham : Springer International Publishing.

Akademia. 2024. *Regresi Linier : Pengertian, Jenis, dan Tujuannya*. <https://r.search.yahoo.com>. 30 Juni 2025.

Ashari, A., dkk. 2015. *Efektivitas Elektroda Pada Proses Elektrokoagulasi Untuk Pengolahan Air Asam Tambang*. Jurnal Penelitian Sains. 17 (2), hlm. 45-50.

Hanum, F., dkk 2015. *Aplikasi Elektrokoagulasi Dalam Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit*. Jurnal Teknik Kimia USU. 4 (4), hlm. 13-17.

Hidayat, L. 2017. *Pengelolaan Lingkungan Areal Tambang Batubara (Studi Kasus Pengelolaan Air Asam Tambang (Acid Mining Drainage) di PT Bhumi Rantau Energi Kabupaten Tapin Kalimantan Selatan)*. Jurnal Penelitian dan Pengembangan Ilmu Administrasi dan Humaniora. 7 (1), hlm. 44-5.

Ibrahim, I., Zulya, F., and Azizah, G. L. 2024. *Analisis Metode Elektrokoagulasi Pada Air Asam Tambang Dengan Variasi Tegangan Dan Jarak Elektroda*. Jurnal Reka Lingkungan, 12 (1), hlm. 25-36.

Katamba, P., and Djoh, R. K. 2017. *Prediksi Tingkat Produksi Kopi Menggunakan Regresi Linear*. Jurnal ilmiah FLASH, 3 (1), hlm. 42-51.

Kusdarini, E., dkk. 2024. *Netralisasi Air Asam Tambang Menggunakan Pengolahan Aktif dan Pasif*. Jurnal Ilmu Lingkungan. 22 (3), hlm. 808-815.

Maulida, S. A., and Purwanti, I. F. 2023. *Kajian Pengolahan Air Asam Tambang Industri Pertambangan Batubara dengan Constructed Wetland*. Jurnal Teknik ITS. 12 (1), hlm. D46-D51.

Menteri Kesehatan Republik Indonesia. 2010. *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/Menkes/Per/Iv /2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum Dengan Rahmat Tuhan yang Maha Esa Menteri Kesehatan Republik Indonesia*. Indonesia : Menkes.

Pemerintah Gubernur Sumatera Selatan. 2012. *Peraturan Gubernur Sumatera Selatan Nomor 8 tahun 2012 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri, Hotel, Rumah Sakit, Domestik dan Pertambangan Batubara*. Palembang: Pergub.

Putri, A. A., dkk. 2023. *Pengaruh Waktu Kontak serta Jenis Elektroda Al-Al dan Al-Fe pada Elektrokoagulasi dalam Penyisihan Fe dan Mn Air Asam Tambang*. Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan. 15 (2), hlm. 124-128.

Rianti, L., and Saputra, D. A. A. R. 2022. *Analisis Penetrulan Air Asam Tambang Dengan Metode Aktif Menggunakan Powerbase Di Pit Timur PT Dizamatra Powerindo Kabupaten Lahat Provinsi Sumatera Selatan*. Jurnal Ilmiah Hospitality. 11 (2), hlm. 1421-1426.

Said, N. I. 2014. *Teknologi Pengolahan Air Asam Tambang Batubara*. Jurnal Air Indonesia. 7 (2), hlm. 119-138.

Setiawan, Y., dkk. 2016. *Pengaruh Tegangan Dan Waktu Pada Proses Elektrokoagulasi Pengaduk Pneumatis Terhadap Air*. Jurnal Teknik Mesin. 2 (2), hlm. 23-26.

Wahyudin, I., dkk. 2018. *Analisis Penanganan Air Asam Tambang Batubara*. Jurnal Geomine. 6 (2), hlm. 85-89.