

## EFISIENSI PENURUNAN KADAR LOGAM TEMBAGA (Cu) PADA LIMBAH CAIR INDUSTRI *ELECTROPLATING* MENGUNAKAN METODE ELEKTROKOAGULASI

YUSUF ROHMATULLOH<sup>1\*</sup>, NURSITA MAWADAH<sup>1</sup>,  
DAN EKO PRABOWO HADISANTOSO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Prodkk Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati Bandung,  
Jl. AH. Nasution No. 105 Kota Bandung, Indonesia

\*alamat email korespondensi: [yusufrohmatullah@uinsgd.ac.id](mailto:yusufrohmatullah@uinsgd.ac.id)

---

### Informasi Artikel

### Abstrak/Abstract

Kata Kunci:  
*electroplating*; logam  
berat; tembaga;  
elektrokoagulasi;  
limbah cair.

Industri pelapisan logam atau *electroplating* merupakan sektor penting dalam dunia manufaktur yang banyak digunakan untuk memberikan lapisan pelindung dan estetika pada berbagai produk logam, seperti bahan bangunan, konstruksi, dan suku cadang kendaraan. Namun, industri ini juga menghasilkan limbah cair yang mengandung logam berat, salah satunya tembaga (Cu), yang bersifat beracun sehingga dapat mencemari lingkungan perairan jika tidak diolah dengan baik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penurunan kadar logam Cu dalam limbah cair industri *electroplating*. Penurunan kadar logam Cu pada limbah *electroplating* menggunakan metode elektrokoagulasi dengan variasi tegangan, waktu, bentuk elektroda, dan massa elektrolit. Proses dilakukan pada kondisi optimum yaitu tegangan sebesar 12 volt, waktu elektrokoagulasi selama 90 menit, elektroda aluminium berbentuk silinder berlubang, dan penambahan elektrolit NH<sub>4</sub>Cl sebanyak 1,25 g. Sampel limbah dianalisis menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Hasil penelitian menunjukkan efisiensi penurunan kadar logam Cu mencapai 99,79% dengan konsentrasi logam tembaga sebelum dan setelah proses elektrokoagulasi sebesar 1000 ppm menjadi 2,45 ppm. Hasil ini menunjukkan bahwa metode elektrokoagulasi efektif dalam menurunkan kadar logam tembaga pada limbah cair industri *electroplating*.

Keywords:  
*electroplating*; heavy  
metals; copper;  
*electrocoagulation*;  
wastewater.

*The electroplating industry is an important sector in the manufacturing world that is widely used to provide a protective and aesthetic layer on various metal products, such as building materials, construction, and vehicle spare parts. However, this industry also produces liquid waste containing heavy metals, one of which is copper (Cu), which is toxic and can pollute the aquatic environment if not treated properly. This study aims to analyze the reduction of Cu metal levels in electroplating industrial liquid waste. The reduction of Cu metal levels in electroplating waste uses the electrocoagulation method with variations in voltage, time, electrode shape, and electrolyte mass. The process is carried out under optimum conditions, namely a voltage of 12 volts, an electrocoagulation time of 90 minutes, a hollow cylindrical aluminium electrode, and the addition of 1.25 g of NH<sub>4</sub>Cl electrolyte. Waste samples were analyzed using an Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). The results showed that the efficiency of reducing Cu metal levels reached 99.79% with copper metal concentrations before and after the electrocoagulation process of 1000 ppm to 2.45 ppm. These results show that the electrocoagulation method is effective in reducing copper metal levels in electroplating industrial wastewater.*

---

### PENDAHULUAN

Industri pelapisan logam atau *electroplating* merupakan sektor penting dalam dunia manufaktur yang banyak digunakan untuk memberikan lapisan pelindung dan estetika pada berbagai produk logam, seperti pada bahan bangunan, bahan konstruksi, suku cadang

kendaraan. *Electroplating* memiliki definisi, yaitu proses pelapisan logam pada benda dengan menggunakan arus listrik dan senyawa kimia tertentu, sehingga dapat menyebabkan adanya perpindahan ion pelapis ke permukaan material. Proses ini menghasilkan ketebalan lapisan sesuai dengan parameter seperti tegangan, waktu, dan konsentrasi larutan [1].

Akan tetapi, limbah yang dihasilkan industri *electroplating* berbahaya bagi lingkungan dan beracun bagi organisme air jika tidak dikelola dengan baik karena adanya kandungan logam berat. Logam-logam berat yang biasanya terdapat pada limbah tersebut yaitu, tembaga (Cu), mangan (Mn), kromium (Cr), seng (Zn), dan nikel (Ni) [2]. Logam tembaga (Cu) menjadi salah satu logam berat yang memang banyak digunakan dalam berbagai bidang industri seperti industri *electroplating* ini. Maka seiring berkembangnya teknologi, kebutuhan logam ini meningkat secara signifikan, sehingga limbah dengan kandungan logam tembaga yang dihasilkan industri-industri tersebut juga semakin tinggi [3]. Oleh sebab itu, diperlukan pengelolaan limbah cair industri *electroplating* sebagai salah satu upaya pencegahan pencemaran lingkungan sekaligus penggunaan kembali logam tembaga yang dihasilkan untuk dijadikan suatu produk.

Salah satu metode yang digunakan untuk pengelolaan limbah cair industri *electroplating* ialah metode elektrokoagulasi. Elektrokoagulasi merupakan salah satu metode pengolahan limbah cair yang efektif, khususnya untuk menurunkan kadar logam berat pada limbah. Metode ini bekerja berdasarkan prinsip elektrolisis, yaitu penggunaan energi listrik arus searah (DC) untuk memicu reaksi elektrodik. Reaksi ini menyebabkan dekomposisi material pada elektroda, terutama anoda, yang kemudian melepaskan ion koagulan ke dalam larutan untuk membantu proses pemisahan kontaminan. Selain itu, elektrokoagulasi memiliki beberapa keunggulan diantaranya efisiensi penurunan kadar logam yang tinggi, biaya operasional yang relatif rendah, serta mudah diterapkan. Keunggulan lain dari metode ini adalah volume lumpur yang terbentuk lebih sedikit dibandingkan metode koagulasi kimia dan tidak memerlukan penambahan bahan kimia tambahan sehingga lebih ramah lingkungan [4] [5] [6].

Beberapa penelitian yang telah dilakukan membuktikan efektivitas metode tersebut, diantaranya penelitian yang dilakukan oleh Suwanto *et al.* (2017) dengan metode elektrokoagulasi pada air gambut menggunakan elektrolit  $\text{NH}_4\text{Cl}$  0,01 M dapat menyisihkan logam besi dengan efisiensi mencapai 90,92% [7]. Adapun penelitian yang dilakukan oleh Kurniati

(2020) dengan metode elektrokoagulasi pada air lindi menggunakan variasi tegangan yaitu 4; 8; 12 volt menunjukkan hasil penurunan logam tembaga tertinggi sebesar 99,364% [8]. Pada tahun 2023, Marlina juga melakukan penelitian mengenai metode elektrokoagulasi pada limbah batik dengan variasi massa elektrolit KCl yaitu 0,25; 0,5; 0,75; 1; 1,25 g menghasilkan penurunan kadar logam Zn pada keadaan optimum sebesar 97,44% [9]. Selain itu, Mubarak (2024) juga melakukan penelitian dengan metode *leaching* untuk *recovery* logam tembaga dari limbah *electroplating* dan hasil *recovery* logam tembaga mencapai 91,61%, tetapi hasilnya kurang optimal jika dibandingkan dengan metode elektrokoagulasi [10]. Penelitian lainnya oleh Indriati (2024) menggunakan metode elektrokoagulasi pada limbah laboratorium teknik kimia dengan variasi waktu 30; 45; 60; 75; dan 90 menit dapat menurunkan kadar logam tembaga tertinggi yaitu dari 7,084 ppm menjadi 0,12 ppm [11].

Berdasarkan uraian yang telah dijabarkan, maka diperlukan tindakan untuk menganalisis logam berat tembaga (Cu) dalam limbah cair industri *electroplating* menggunakan metode elektrokoagulasi dengan variasi tegangan, waktu, bentuk elektroda, serta massa elektrolit  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . Sehingga melalui penelitian ini akan diketahui kondisi yang terbaik dalam penurunan atau penyisihan kadar logam tembaga (Cu) dengan variasi-variasi tersebut.

## EKSPERIMEN

### *Material*

Bahan-bahan yang digunakan adalah limbah cair industri *electroplating*,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  p.a merk Germany,  $\text{NH}_4\text{Cl}$  p.a Emerck Germany,  $\text{HNO}_3$  pekat, HCl 1 M, aqua dm dan akuades.

### *Instrumentasi*

Instrumen yang digunakan adalah Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) merk Agilent Technologies 200 series AA, 240FS-AA untuk pengujian konsentrasi logam tembaga (Cu).

### *Prosedur*

Penelitian ini terdapat beberapa prosedur yang dilakukan, diantaranya pembuatan kurva

kalibrasi standar Cu, proses elektrokoagulasi dengan variasi tegangan dan waktu, proses elektrokoagulasi dengan variasi bentuk elektroda, dan proses elektrokoagulasi dengan variasi massa elektrolit  $\text{NH}_4\text{Cl}$ .

#### *Pembuatan dan Preparasi Elektroda Aluminium*

Elektroda berbentuk lempengan dibuat dengan ukuran  $4 \times 4$  cm dan ketebalan 1 mm. Lalu elektroda silinder berlubang dibuat dengan ukuran yang sama dengan elektroda berbentuk lempengan, namun dibuat lubang pada bagian bawahnya sebanyak 4 buah. Setelah itu, elektroda tersebut dibentuk menjadi silinder. Kemudian elektroda berbentuk lempengan dan silinder berlubang dibersihkan menggunakan larutan HCl 1 M yang diambil dari HCl pekat sebanyak 8,36 mL dan diencerkan dengan akuades pada labu 100 mL, kemudian dibilas menggunakan akuades.

#### *Pembuatan Kurva Kalibrasi Cu*

Larutan deret standar tembaga (Cu) dengan konsentrasi 2; 4; 6; 8; dan 10 ppm disiapkan dalam botol vial 100 mL dan kemudian dianalisis menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) pada panjang gelombang 327,4 nm. Kurva kalibrasi dari larutan deret standar tembaga (Cu) digunakan untuk menentukan konsentrasi logam tembaga (Cu) dalam sampel.

Untuk menghitung konsentrasi sampel, dapat menggunakan persamaan linear dari kurva kalibrasi larutan deret standar tembaga (Cu), yang dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$y = mx + c \dots\dots\dots (1)$$

#### *Pembuatan Limbah Buatan Cu 1000 ppm*

Pembuatan limbah buatan Cu 1000 ppm dengan cara serbuk  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  ditimbang sebanyak 3,9289 g dan dilarutkan dengan aqua dm. Kemudian diaduk hingga homogen dan dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL. Lalu ditanda bataskan dengan aqua dm dan dihomogenkan.

#### *Proses Elektrokoagulasi Dengan Variasi Tegangan dan Waktu*

Pertama-tama limbah buatan Cu 1000

ppm dimasukkan ke dalam gelas kimia sebanyak 50 mL dan ditambahkan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  sebanyak 0,0267 g serta diaduk hingga homogen. Kemudian rangkai alat elektrolisis dengan elektroda Al-Al yang dimasukkan ke dalam larutan. Lalu power supply dinyalakan dan pengujian dilakukan dengan variasi beda potensial 4; 8 dan 12 volt, serta variasi waktu elektrolisis selama 30; 45; 60; 75 dan 90 menit. Selanjutnya filtrat hasil proses elektrokoagulasi disaring dan hasil penyaringannya diencerkan dengan larutan pengencer sebanyak 100x. Setelahnya dianalisis dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) dan dihitung efisiensi penurunan kadar.

#### *Proses Elektrokoagulasi Dengan Variasi Bentuk Elektroda*

Limbah buatan Cu 1000 ppm dimasukkan ke dalam gelas kimia sebanyak 50 mL dan ditambahkan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  sebanyak 0,0267 g serta diaduk hingga homogen. Lalu dimasukkan elektroda aluminium dengan variasi bentuk berupa lempengan dan silinder berlubang. Kemudian dilakukan proses elektrokoagulasi menggunakan tegangan dan waktu optimum yang telah ditentukan pada prosedur sebelumnya. Selanjutnya filtrat hasil proses elektrokoagulasi disaring dan hasil penyaringannya diencerkan dengan larutan pengencer sebanyak 100x. Setelahnya dianalisis dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) dan dihitung efisiensi penurunan kadar.

#### *Proses Elektrokoagulasi Dengan Variasi Massa Elektrolit $\text{NH}_4\text{Cl}$*

Limbah buatan Cu 1000 ppm dimasukkan ke dalam gelas kimia sebanyak 50 mL dan ditambahkan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  dengan variasi massa 0,25; 0,5; 0,75; 1; 1,25 g dan diaduk hingga homogen. Kemudian dilakukan proses elektrokoagulasi dengan elektroda aluminium berbentuk silinder berlubang yang dimasukkan ke dalam larutan menggunakan tegangan dan waktu optimum yang telah ditentukan pada prosedur sebelumnya. Selanjutnya filtrat hasil proses elektrokoagulasi disaring dan hasil penyaringannya diencerkan dengan larutan pengencer sebanyak 100x. Setelahnya dianalisis dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) dan dihitung efisiensi penurunan kadar.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### *Proses Elektrokoagulasi Variasi Tegangan dan Waktu*

Pengujian ini dilakukan dengan sampel berupa larutan Cu 1000 ppm serta variasi tegangan yaitu 4; 8; 12 volt dan variasi waktu yaitu 30; 45; 60; 75; 90 menit yang dapat dilihat pada **Tabel 1**. Dengan penambahan elektrolit sebanyak 0,0267 g dan elektroda aluminium.

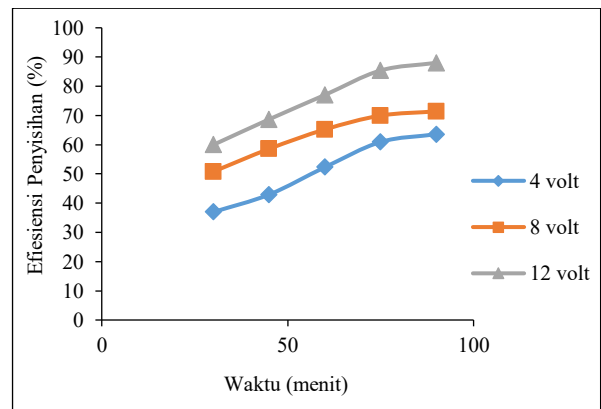
**Tabel 1.** Konsentrasi logam Cu hasil elektrokoagulasi dan % efisiensi penyisihan berdasarkan variasi tegangan dan waktu.

Tegangan (volt)	Waktu (menit)	Konsentrasi Awal (ppm)	Konsentrasi Akhir (ppm)	% Efisiensi Penyisihan
4	30	1000	630,60	36,93
	45	1000	570,75	42,92
	60	1000	477,27	52,27
	75	1000	390,75	60,92
	90	1000	364,24	63,57
8	30	1000	492,27	50,77
	45	1000	414,39	58,56
	60	1000	348,03	65,19
	75	1000	300,45	69,95
	90	1000	286,06	71,39
12	30	1000	400,60	59,93
	45	1000	313,33	68,66
	60	1000	229,84	77,01
	75	1000	146,06	85,39
	90	1000	119,84	88,01

Berdasarkan data yang diperoleh pada **Tabel 1**, hasilnya menunjukkan bahwa semakin besar tegangan dan semakin lama waktu elektrokoagulasi maka efisiensi penyisihan logam tembaga meningkat secara signifikan. Konsentrasi akhir logam Cu pada tegangan 4 volt selama 90 menit sebesar 364,24 ppm dan efisiensi penyisihan mencapai 63,57%. Lalu konsentrasi akhir logam Cu pada tegangan 8 volt dengan waktu yang sama diperoleh sebesar 286,06 ppm dan efisiensi penyisihan mencapai 71,39%. Kemudian konsentrasi akhir logam Cu pada 12 volt dengan waktu yang sama diperoleh sebesar 119,84 ppm dan efisiensi penyisihan yang meningkat hingga 88,01%, sehingga kondisi optimum untuk variasi

tersebut berada pada tegangan 12 volt dan waktu 90 menit.

Hal ini menunjukkan bahwa semakin bertambahnya tegangan maka logam Cu yang teradsorpsi akan semakin meningkat, dimana terjadi peningkatan laju ion  $Al^{3+}$  yang dilepaskan dari anoda. Sehingga flok  $Al(OH)_3$ , yang berfungsi untuk mengadsorpsi ion  $Cu^{2+}$ , akan lebih banyak terbentuk [6]. Selain itu, peningkatan tegangan juga memengaruhi laju pembentukan gas hidrogen di katoda yang berkontribusi dalam proses flotasi partikel terkoagulasi, sehingga dapat mempercepat pengendapan dan pemisahan fase padat [12]. Jika tegangan yang disuplai terlalu tinggi, maka akan membuat jumlah flok menurun. Tegangan yang terlalu tinggi membuat konsumsi energi pada saat elektrokoagulasi semakin meningkat, juga pasivasi elektroda intensif, dan ketidakstabilan proses. Sehingga akan berpengaruh pada penurunan efisiensi penyisihan logam Cu [13].



**Gambar 1.** Grafik hubungan antara waktu elektrokoagulasi dengan % efisiensi penyisihan logam Cu variasi tegangan.

Peningkatan waktu reaksi juga berpengaruh terhadap efisiensi penyisihan seperti yang terlihat pada **Gambar 1**, di mana semakin lama waktu proses elektrokoagulasi maka efisiensi penyisihan logam Cu semakin besar. Hal tersebut dikarenakan peluang flok yang terbentuk dan kontak antara flok  $Al(OH)_3$  dengan ion  $Cu^{2+}$  yang terjadi di dalam larutan akan semakin besar. Dengan demikian jumlah polutan dalam limbah akan berkurang. Hal ini menyebabkan peningkatan efisiensi penyisihan, terutama pada 30–60 menit pertama. Namun mendekati waktu

75-90 menit peningkatan efisiensi cenderung melambat.

Hal tersebut dikarenakan beberapa aspek diantaranya passivasi pada elektroda aluminium, dimana adanya lapisan oksida yang menutup permukaan elektroda sehingga membuat laju pelepasan ion  $Al^{3+}$  terhambat. Lalu peningkatan resistansi listrik (IR-drop) yang terjadi dalam larutan dapat menyebabkan peningkatan konsumsi energi, namun tidak disertai oleh peningkatan efisiensi yang seimbang. Kemudian ketika proses elektrokoagulasi sudah berjalan cukup lama, maka sisa ion  $Cu^{2+}$  dalam larutan mulai menipis. Sehingga sebagian besar flok yang terbentuk tidak lagi menemukan target untuk diikat, atau sistem mulai mencapai keadaan jenuh, dengan kata lain sudah mendekati kesetimbangan flokulasi [4].

### *Proses Elektrokoagulasi Variasi Bentuk Elektroda*

Pengujian ini dilakukan dengan variasi bentuk elektroda yaitu lempengan dan silinder berlubang serta menggunakan tegangan dan waktu optimum yang telah didapatkan dari pengujian sebelumnya, maka diperoleh data hasil pengujian yang dapat dilihat pada **Tabel 2**.

**Tabel 2.** Konsentrasi logam Cu hasil elektrokoagulasi dan % efisiensi penyisihan berdasarkan variasi bentuk elektroda.

Bentuk Elektroda	Konsentrasi Awal (ppm)	Konsentrasi Akhir (ppm)	% Efisiensi Penyisihan
Lempengan	1000	211,81	78,81
Silinder Berlubang	1000	118,18	88,18

Berdasarkan data yang telah diperoleh, hasil variasi bentuk elektroda menunjukkan bahwa elektroda berbentuk silinder berlubang lebih baik dalam menyisihkan logam Cu dibandingkan dengan elektroda berbentuk lempengan. Dengan % efisiensi penyisihan logam Cu untuk elektroda silinder berlubang mencapai 88,18%, sedangkan untuk elektroda berbentuk lempengan sebesar 78,18%. Hal tersebut dikarenakan geometri elektroda yang berpengaruh dalam aliran arus dan perpindahan massa, di mana hal tersebut dapat memengaruhi efisiensi proses elektrokoagulasi. Aliran arus pada elektroda silinder berlubang lebih

merata dibandingkan dengan elektroda lempengan. Sehingga hal tersebut dapat mencegah terjadinya kerapatan arus yang tidak stabil dan dapat mengakibatkan pelepasan ion  $Al^{3+}$  terhambat [14]. Oleh karena itu, aliran arus yang lebih stabil memengaruhi pelepasan ion  $Al^{3+}$  dari anoda menjadi lebih cepat dan efisien. Sehingga flok  $Al(OH)_3$  yang terbentuk akan lebih banyak dan bereaksi dengan ion  $Cu^{2+}$  dengan cepat dalam larutan. Selain itu, lubang-lubang di elektroda juga berperan dalam memicu aliran kecil di sekitarnya saat arus listrik mengalir. Aliran kecil tersebut tidak hanya menyebabkan aliran arus lebih merata, tetapi juga meningkatkan perpindahan massa.

Pergerakan ion logam dari larutan ke permukaan elektroda dikenal sebagai perpindahan massa. Salah satu metode perpindahan massa ialah konveksi larutan, yang merupakan pergerakan ion logam dengan bantuan aliran larutan di sekitar elektroda. Dengan mempercepat adanya ion logam di permukaan elektroda, pergerakan larutan ini menurunkan lapisan difusi yang biasanya mencegah perpindahan ion. Konveksi larutan juga krusial untuk menjaga permukaan elektroda bebas dari partikel flok yang terakumulasi. Pasivasi elektroda, atau pembentukan lapisan penghambat yang menurunkan efisiensi reaksi elektrokimia, dapat terjadi akibat partikel flok yang terbentuk selama proses elektrokoagulasi cenderung melekat dan terkumpul di permukaan elektroda. Elektroda tetap aktif dan proses penghilangan logam beroperasi paling optimal berkat aliran larutan aktif yang dihasilkan oleh lubang-lubang elektroda, yang membantu menghilangkan atau mengurangi penumpukan flok [15].

### *Proses Elektrokoagulasi Variasi Massa Elektrolit $NH_4Cl$*

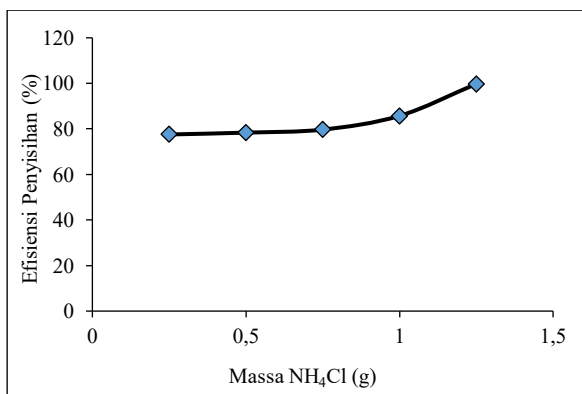
Pengujian variasi massa elektrolit yaitu 0,25; 0,5; 0,75; 1; 1,25 g terhadap limbah buatan dengan elektroda berbentuk silinder berlubang serta tegangan dan waktu optimum yang telah didapatkan dari pengujian sebelumnya, maka diperoleh data hasil pengujian yang dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Berdasarkan data pada **Tabel 3**, hasil penyisihan logam Cu dengan massa elektrolit yang paling maksimum berada pada massa 1,25 g dan efisiensi penyisihannya mencapai 99,75%.

**Tabel 3.** Konsentrasi logam Cu hasil elektrokoagulasi dan % efisiensi penyisihan berdasarkan variasi massa elektrolit.

Massa NH <sub>4</sub> Cl (g)	Konsentrasi Awal (ppm)	Konsentrasi Akhir (ppm)	% Efisiensi Penyisihan
0,25	1000	224,39	77,56
0,5	1000	216,36	78,36
0,75	1000	203,03	79,69
1	1000	142,72	85,72
1,25	1000	2,45	99,75

Peningkatan massa elektrolit berpengaruh dalam meningkatkan efisiensi penyisihan logam Cu seperti yang terlihat pada **Gambar 2**. Adanya penambahan elektrolit bertujuan untuk meningkatkan konduktivitas larutan sehingga hambatan berkurang dan konsumsi energi listrik menjadi rendah. Konduktivitas larutan yang lebih tinggi memungkinkan aliran arus listrik yang lebih efisien antara elektroda aluminium pada tegangan yang diberikan [16]. Aliran arus yang lebih efisien ini secara langsung meningkatkan laju disolusi anodik elektroda aluminium, yang merupakan sumber utama pembentukan ion aluminium (Al<sup>3+</sup>). Ion Al<sup>3+</sup> ini kemudian bereaksi dengan ion hidroksil (OH<sup>-</sup>) yang terbentuk di katoda untuk menghasilkan flok aluminium hidroksida (Al(OH)<sub>3</sub>).



**Gambar 2.** Grafik hubungan antara massa elektrolit dengan % efisiensi penyisihan logam Cu.

Jika konduktivitas listrik larutan tidak mencukupi maka konsumsi energi akan meningkat sehingga akan lebih banyak energi yang dibutuhkan untuk mengatasi resistensi atau hambatan pada larutan. Elektrolit secara langsung mampu memengaruhi tingkat kelarutan logam dan konsumsi energi dengan mengurangi tegangan sel,

hal ini karena penambahan elektrolit diperkirakan mampu meningkatkan kekuatan ionik larutan yang sedang diolah.

Efektivitas NH<sub>4</sub>Cl ini disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya NH<sub>4</sub>Cl memiliki konduktivitas listrik larutan yang tinggi, sehingga menurunkan hambatan listrik dan membuat konsumsi energi menjadi lebih efisien. Adanya ion NH<sub>4</sub><sup>+</sup> berperan sebagai buffer yang membantu menjaga pH larutan tetap berada pada kisaran netral hingga sedikit basa (pH akhir sekitar 6,9–7,5), yang merupakan kondisi optimal untuk pembentukan flok aluminium hidroksida (Al(OH)<sub>3</sub>) sebagai koagulan. Kemudian kombinasi ion NH<sub>4</sub><sup>+</sup> dan Cl<sup>-</sup> juga memiliki peran dalam mencegah terbentuknya lapisan pasif pada permukaan anoda, sehingga laju pelarutan anoda tetap tinggi dan produksi flok tetap stabil. Selain itu, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> diduga berinteraksi dengan partikel koloid bermuatan negatif sehingga memperbesar flok dan mempermudah pemisahan. Oleh karena itu, penggunaan NH<sub>4</sub>Cl sebagai elektrolit pada proses elektrokoagulasi dengan elektroda aluminium dapat meningkatkan efisiensi penghilangan kontaminan, menjaga pH larutan tetap ideal, menghemat energi, serta meminimalkan masalah pasivasi anoda [17].

## SIMPULAN

Hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kondisi optimum penurunan konsentrasi logam tembaga (Cu) pada limbah cair industri *electroplating* melalui proses elektrokoagulasi yaitu pada tegangan sebesar 12 volt, waktu elektrokoagulasi selama 90 menit, elektroda berbentuk silinder berlubang, dan massa elektrolit NH<sub>4</sub>Cl sebanyak 1,25 g. Efisiensi penurunan kadar logam tembaga pada limbah cair industri *electroplating* mencapai 99,79%. Konsentrasi logam tembaga (Cu) pada sebelum dan setelah proses elektrokoagulasi berdasarkan analisis Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) yaitu dari 1000 ppm menjadi 2,45 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa proses elektrokoagulasi sangat efektif dalam menurunkan kadar logam tembaga (Cu) pada limbah cair tersebut.

## REFERENSI

- [1] N.P. Husnia, B. Prasojo, dan P. Mahardhika, "Pengaruh Waktu dan Tegangan *Electroplating* Nikel terhadap Ketahanan Korosi pada Material A53 Grade

- B”, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, 2020.
- [2] D. Mazumder, D. Ghosh, dan P. Bandyopadhyay. “Treatment of electroplating wastewater by adsorption technique”, *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, 3(2): 101–110, 2011.
- [3] A. Rahmahwati, A.P. Wibowo, dan F.A. Rosyid, “Analysis of the copper industry chain in Indonesia using a system dynamics approach to optimize its added value”, *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 54(5), 540–556, 2022.
- [4] F. Patimah, “Studi Optimasi Penurunan Kadar Tembaga pada Limbah Cair Laboratorium Menggunakan Metode Elektrokoagulasi”, UIN Sunan Gunung Djati Bandung, Bandung, 2016.
- [5] A. Koharruddin, “Studi Penurunan Kadar Ion-Ion Logam ( $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ , dan  $\text{Pb}^{2+}$ ) Dengan Metode Elektrokoagulasi Menggunakan Elektroda Aluminium Dan Karbon”, UIN Sunan Gunung Djati Bandung, Bandung, 2017.
- [6] Najmia, “Efektivitas Elektroda Seng (Zn), Besi (Fe), Dan Aluminium (Al) Untuk Menurunkan Kadar Logam Pb Dalam Air Dengan Metode Elektrokoagulasi, UIN Sunan Gunung Djati Bandung, Bandung, 2018.
- [7] S. Nandar *et al.*, “Penyisihan Fe, Warna, dan Kekeruhan pada Air Gambut Menggunakan Metode Elektrokoagulasi”, *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(2): 1 – 11, 2017.
- [8] S.K. Ami, “Studi Penurunan Kadar Besi (Fe), Tembaga (Cu), Dan Timbal (Pb) Pada Air Lindi Dengan Metode Elektrokoagulasi Menggunakan Elektroda Aluminium (Al)”, Universitas Sumatera Utara, Medan, 2020.
- [9] Marlina, “Penurunan Kadar Logam Seng (Zn) Pada Limbah Cair Industri Batik Dengan Metode Elektrokoagulasi Menggunakan Elektroda Aluminium”, Universitas Muhammadiyah Purwokerto, Purwokerto, 2023.
- [10] H. M, Muhammad, “Studi Recovery Nikel dan Tembaga dari Limbah Electroplating Menggunakan Etching Wafer Silikon Dengan Metode Leaching”, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten, 2024.
- [11] R.I. Dhania, “Penurunan Kadar Logam Berat Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu) Pada Limbah Cair Laboratorium Teknik Kimia Menggunakan Metode Elektrokoagulasi”, Universitas Muhammadiyah Purwokerto, Purwokerto, 2024.
- [12] Moussa, M. H. El-Naas, M. Nasser, dan M. J. Al-Marri, “A Comprehensive Review of Electrocoagulation for Water Treatment: Potentials and Challenges”. *Journal of Environmental Management*, 186, 24–41, 2017.
- [13] B. Merzouk, B. Gourich, A. Sekki, K. Madani, dan M. Chibane, "Removal Turbidity and Separation of Heavy Metals Using Electrocoagulation-Electrofotation Technique A Case Study," *Journal of Hazardous Materials*, 164(1): 215-222, 2009.
- [14] F.A. Syawal, Z. Zulkarnaini, S. Indah, dan F. Fadhila, “Analysis of the effect of aluminum electrode geometry on the removal of polyethylene microbeads using the electrocoagulation method in greywater”, *Elkawanie: Journal of Islamic Science and Technology*, 10(1): 169–183, 2024.
- [15] M.H. Ibrahim, D.T. Moussa, M.H. El-Naas, dan M.S. Nasser, “A perforated electrode design for passivation reduction during the electrochemical treatment of produced water”, *Journal of Water Process Engineering*, 33, 2020.
- [16] A.I. Iskandar, “Penyisihan Cr(VI) dengan elektrokoagulasi pada berbagai konsentrasi Cr(VI) dan kecepatan agitasi”, Universitas Brawijaya, Malang, 2017.
- [17] R. Keyikoglu, O.T. Can, A. Aygun, and A. Tek, “Comparison of the effects of various supporting electrolytes on the treatment of a dye solution by electrocoagulation process”, *Colloid and Interface Science Communications*, 33, 2019.