

Kinetika Reaksi Reduksi Ion Logam Tembaga pada Limbah Industri Elektroplating dengan Proses Elektrokoagulasi

Emi Erawati*, Kesi Marfiana

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani Tromol Pos I Pabelan, Kartasura, Surakarta, 57102, Indonesia

Artikel histori :

Diterima 8 September 2020
Diterima dalam revisi 12
September 2020
Diterima 20 Oktober 2020
Online 31 Oktober 2020

ABSTRAK: Proses elektroplating selain menghasilkan produk yang berguna juga menghasilkan limbah. Tembaga merupakan salah satu unsur yang terkandung di dalam limbah. Limbah yang mengandung tembaga berdampak besar bagi lingkungan dan kesehatan manusia jika tidak ada pengolahan sebelumnya. Salah satu cara untuk menurunkan kadar tembaga pada limbah elektroplating yaitu dengan proses elektrokoagulasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi penurunan konsentrasi limbah pada variasi konsentrasi dan jenis elektroda serta mengetahui konstanta laju reaksi orde satu dan dua. Limbah elektroplating diambil sebanyak 60, 80 dan 100 mL diencerkan dengan aquadest dilabu ukur 500 mL. Kedua plat dijepit menggunakan statif dan plat tercelup 3/4 air limbah. Katoda dan anoda dihubungkan dengan *power supply* bertegangan 12 volt dengan jarak antar elektroda 2 cm dan kecepatan pengadukan 200 rpm. Sampel diambil setiap 0; 40; 80; 120; dan 160 menit untuk diuji kadar Cu dengan AAS. Mengulangi langkah yang sama pada variasi jenis elektroda yaitu Al, Fe, dan CuZn. Efisiensi tertinggi pada variasi konsentrasi dan jenis elektroda sebesar 67,66% pada konsentrasi limbah 80 mg/L dan 92,82% pada plat besi (Fe). Konstanta laju reaksi orde satu dan dua secara berurutan adalah $0,0096 \text{ s}^{-1}$ dan $0,0058 \text{ ppm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$.

Kata Kunci: elektroplating; limbah cair; elektrokoagulasi; tembaga

ABSTRACT: The electroplating process not only produces useful products but also produces waste. Copper is one of the elements contained in waste. Waste containing copper has a major impact on the environment and human health if there is no prior treatment. One way to reduce copper levels in electroplating waste is the electrocoagulation process. This study aims to investigate the efficiency of reducing the concentration of waste at various concentrations and types of electrodes and to determine the reaction rate constants of the first and second order reactions. 60, 80 and 100 mL electroplating waste were diluted with distilled water in a 500 mL measuring flask. The two plates were clamped using a statif and a 3/4 plate immersed in wastewater. The cathode and anode are connected to a 12 volt power supply with a distance between the electrodes of 2 cm and a stirring speed of 200 rpm. Samples were taken every 0; 40; 80; 120; and 160 minutes to test Cu content with AAS. Repeating the same steps for various types of electrodes, namely Al, Fe, and CuZn. The highest efficiency at various concentrations of 80 mg/L and types of electrodes of Fe were 67.66% and 92.82% in that order. The rate constants of the first and second order reactions are 0.0096 s^{-1} and $0.0058 \text{ ppm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ respectively.

Keywords: electroplating; liquid waste; electrocoagulation; cuprum

1. Pendahuluan

Industri elektroplating di Indonesia mengalami perkembangan yang sangat pesat beberapa tahun terakhir, polusi air limbah elektroplating semakin meningkat (Nurhasni et al., 2018). Perkembangan industri logam yang semakin pesat tidak hanya memberikan manfaat tetapi juga memberikan dampak negatif dari limbah yang dihasilkan (Haroon, 2018). Industri elektroplating berpotensi menghasilkan limbah yang terdiri dari logam berat seperti

kromium, tembaga, seng, kadmium, nikel, dan mangan (Mirsoleimani-Azizi, 2018).

Kuantitas limbah yang dihasilkan dalam proses elektroplating tidak terlampau besar tetapi tingkat toksisitasnya sangat berbahaya (El-Sheikh et al., 2018). Daya racun yang dimiliki menjadi penghalang kerja enzim, akibatnya proses metabolisme dalam tubuh akan terputus, penyebab alergi, mutagen, karsinogen bagi manusia yang biasanya masuk melalui kulit, pernapasan, dan pencernaan (Said, 2010). Pembuangan limbah secara langsung dari proses elektroplating ke lingkungan mengakibatkan

*Corresponding Author: +62-877-0920-2535; fax : +62-715-448
Email: emi.erawati@ums.ac.id

pencemaran lingkungan dan juga pencemaran mikroorganisme (Fanani et al., 2017). Penurunan ion logam berat dari limbah cair dapat menggunakan metode elektrokoagulasi, elektrokimia, presipitasi kimia, ekstraksi pelarut, pertukaran ion, filtrasi membran, dan adsorpsi biomaterial (De Carvalho et al., 2015).

Pada penelitian ini menggunakan metode elektrokoagulasi. Metode elektrokoagulasi adalah sebuah proses elektrokimia, yang menggunakan arus listrik untuk menghilangkan logam dari larutan (Rafiq et al., 2014). Proses ini telah berhasil diterapkan untuk menghilangkan spesies ionik yang larut dalam suatu limbah dan penghilangan logam berat (Hasibuan, 2013). Metode ini merupakan metode yang efisien dan sederhana yang telah digunakan untuk pengolahan berbagai jenis air limbah seperti limbah elektroplating, limbah laundry, dan limbah pemotongan unggas (Bazrafshan et al., 2015). Proses elektrokoagulasi juga efektif untuk menghilangkan padatan tersuspensi, logam terlarut, tannin, dan pewarna (Liu, 2017)

Kelebihan metode elektrokoagulasi adalah peralatannya sederhana dan mudah dioperasikan serta efisiensi pengolahan yang dihasilkan cukup tinggi (Nofitasari and Samudro, 2014). Energi yang diperlukan rendah, volume yang dihasilkan relatif kecil, dan kualitas endapan sangat baik karena menghasilkan sedikit air (Kabuk, 2014). Teknologi elektrokoagulasi dapat meminimalisasi penggunaan bahan kimia (Jati, 2015).

Kinetika reaksi mempelajari laju reaksi secara kuantitatif. Laju reaksi kimia adalah jumlah mol reaktan per satuan volume yang bereaksi dalam waktu tertentu. Jika dibuat sebuah kurva penurunan konsentrasi reaktan sebagai fungsi waktu, maka akan diperoleh kurva bahwa slope kurvanya pada setiap titik selalu negatif, karena konsentrasi reaktan selalu menurun (Nath et al., 2015). Laju reaksi sepanjang kurva dapat dihitung dengan menggunakan persamaan $-dC/dt$.

$$-\frac{d[A]}{dt} = k [A] \quad (1)$$

$$\ln \frac{[A]_0}{[A]} = k \cdot t \quad (2)$$

$$-\frac{d[A]}{dt} = k[A]^2 \quad (3)$$

$$\frac{1}{[A]} - \frac{1}{[A]_0} = k \cdot t \quad (4)$$

Keterangan :

- (1) Persamaan reaksi orde satu
 - (2) Hasil integral dari persamaan (1) untuk memperoleh hubungan antara konsentrasi dengan waktu
 - (3) Persamaan reaksi orde dua
 - (4) Hasil integral dari persamaan (2) untuk memperoleh hubungan antara konsentrasi dengan waktu
- Berdasarkan uraian tersebut peneliti tertarik untuk melakukan penelitian tentang penurunan kadar logam Cu dengan metode elektrokoagulasi dengan menggunakan variasi konsentrasi limbah dan jenis elektroda. Juga menentukan konstanta kecepatan reaksi reduksi limbah elektroplating dengan menggunakan orde satu dan orde dua.

2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini bahan yang digunakan yaitu limbah elektroplating dan aquadest. Sedangkan H_2SO_4 dan $CuSO_4$ untuk pembuatan larutan standar.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah rangkaian alat elektrokoagulasi, plat logam aluminium (Al), besi (Fe), dan plat kuning sebagai elektroda proses elektrokoagulasi.

Limbah elektroplating diambil sebanyak 60, 80 dan 100 mL diencerkan dengan aquadest dilabu ukur 500 mL. Limbah yang sudah diencerkan dimasukkan ke gelas beker 500 mL dan gelas beker sebagai bak elektrokoagulasi. Kedua plat dijepit menggunakan statif dan plat tercelup 3/4 air limbah. Katoda dan anoda dihubungkan dengan power supply bertegangan 12 volt dengan jarak antar elektroda 2 cm dan kecepatan pengadukan 200 rpm. Jenis elektroda divariasikan yakni plat aluminium, besi, dan kuning. Sampel diambil setiap 0; 40; 80; 120; dan 160 menit untuk diuji kadar Cu dengan AAS. Mengulangi langkah yang sama pada variasi jenis elektroda yaitu Al, Fe, dan CuZn.

Efisiensi penurunan limbah logam bisa dihitung dengan rumus

$$\frac{\text{konsentrasi awal} - \text{konsentrasi akhir}}{\text{konsentrasi awal}} \times 100\%$$

3. Pembahasan

3.1 Pengaruh Variasi Konsentrasi Limbah Terhadap Penurunan Logam Cu

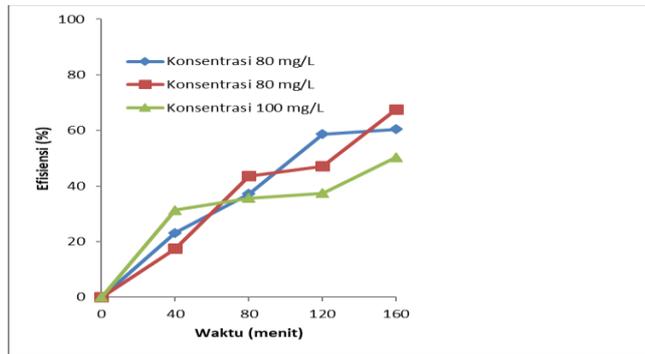
Penurunan efisiensi logam Cu pada variasi konsentrasi 60, 80, dan 100 mg/L dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengaruh Konsentrasi terhadap % Efisiensi Penurunan Logam Cu

Waktu (menit)	Efisiensi penurunan Cu (%)		
	60 mg/L	80 mg/L	100 mg/L
0	0	0	0
40	23,16	17,54	31,27
80	37,22	43,64	35,69
120	58,7	47,09	37,38
160	60,37	67,66	50,34

Pada Tabel 1 merupakan tabel nilai penurunan konsentrasi dan besar efisiensi tiap pengambilan sampel 40 menit. Terlihat bahwa semakin lama waktu proses elektrokoagulasi maka akan semakin besar pula efisiensi terkoagulasi yang dihasilkan. Pada konsentrasi limbah 80 mg/L dan pada menit ke-160 dapat dilihat bahwa efisiensinya paling tinggi yaitu 67,66%. Pada variasi konsentrasi limbah 60 mg/L dengan kecepatan pengadukan konstan yaitu 200 rpm didapat efisiensi yang semakin tinggi, yaitu dari 0; 23,16; 37,22; 58,70; dan 60,37%. Namun ketika konsentrasi limbah dinaikkan menjadi 80 mg/L maka efisiensi penurunannya adalah 0; 17,54; 43,64; 47,06; dan 67,66%. Begitu juga pada konsentrasi limbah 100 mg/L semakin lama waktu kontak efisiensi penurunannya juga

semakin tinggi yaitu dari 0; 31,27; 35,69; 37,38; dan 50,35%.



Gambar 1. Efisiensi pada variasi konsentrasi. *Note:* ♦ = 60, ■ = 80, ▲ = 100 mg/L

Apabila ditinjau dari Hukum Faraday yang menyatakan bahwa semakin lama waktu elektrokoagulasi maka logam yang terendap akan semakin banyak (Wahyulis et al., 2014). Hal ini terjadi karena adanya proses terbentuknya koagulan yang mempengaruhi tereduksinya logam yang terkandung dalam sampel. Jika elektrokoagulasi dilakukan dalam waktu yang lama maka akan terjadi pengeroposan elektroda yang dapat menambah konsentrasi logam dalam sampel. Efisiensi tertinggi yang didapat dari ketiga variasi konsentrasi tersebut yaitu pada konsentrasi 80 mg/L dengan waktu kontak selama 160 menit.

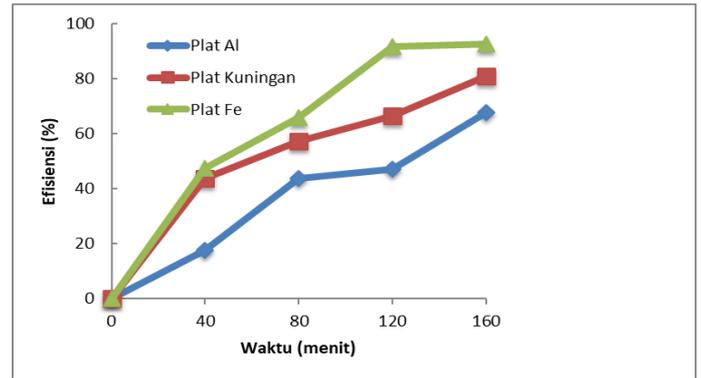
3.2 Pengaruh Variasi Jenis Elektroda terhadap Penurunan Logam Cu

Tabel 2 menunjukkan efisiensi penurunan Cu pada variasi jenis elektroda yaitu Al, CuZn, dan Fe.

Tabel 2. Pengaruh Konsentrasi terhadap % Efisiensi Penurunan Logam Cu

Waktu (menit)	Efisiensi Penurunan Cu (%)		
	Al	CuZn	Fe
0	0	0	0
40	17,54	43,82	47,41
80	43,64	57,27	65,94
120	47,09	66,36	91,82
160	67,66	80,91	92,82

Dipilihnya plat aluminium karena sifatnya yang baik dalam menghantarkan listrik dan anti korosi. Plat Al juga berikatan dengan OH⁻ sehingga akan membentuk koagulan yang baik. Pada variasi elektroda Al di peroleh efisiensi tertinggi sebesar 67,66%. Efisiensi menggunakan elektroda Al paling rendah karena tegangan yang digunakan rendah yaitu 12 volt. Karena tegangan rendah maka mengakibatkan suplai tegangan untuk pembentukan Al(OH)₃ kurang efektif.



Gambar 2. Efisiensi pada variasi jenis elektroda. *Note:* ♦ = Plat Al, ■ = CuZn, ▲ = Fe

Pada variasi elektroda Fe menghasilkan efisiensi yang paling tinggi sebesar 92,82% sehingga elektroda yang paling efektif yaitu elektroda Fe. Pada proses elektrokoagulasi ini terjadi flok-flok yang terapung, hal ini sebagai indikasi bahwa ion Fe³⁺ mengikat polutan atau pengotor sangat efektif. Jumlah flok semakin bertambah membuat sebagian flok menutupi plat elektroda dan menghalangi kemampuan elektroda untuk menarik ion tembaga dari limbah, sehingga terjadi penurunan kuat medan magnet yang berdampak terjadinya penurunan efisiensi. Begitu juga dengan menggunakan elektroda kuningan, efisiensi yang tertinggi terdapat pada waktu kontak ke 160 menit dengan % efisiensi sebesar 80,91%. Dari pengaruh waktu saat diketahui bahwa waktu terbaik yang menghasilkan efisiensi penurunan konsentrasi tembaga adalah 160 menit. Waktu kontak antara limbah dan elektroda dalam proses elektrokoagulasi mempengaruhi penurunan kadar tembaga. Semakin lama waktu kontak maka semakin lama air limbah bereaksi dengan elektroda sehingga mempengaruhi efisiensi removalnya. Tetapi kemampuan elektroda dalam mereduksi air limbah terbatas, meskipun waktu kontak diperlama apabila reaksi antara elektroda dengan air limbah sudah jenuh kemampuan elektrodanya berkurang.

3.3 Kinetika Reaksi

Untuk mencari orde reaksi dibuat sebuah tabel yang menghitung besarnya konstanta laju reaksi (k) untuk setiap orde reaksi, kemudian dari hasil ini dihitung *error* atau kesalahan dari konstanta laju reaksi. Berikut merupakan orde reaksi pada variasi konsentrasi 60,80,100 mg/L dan jenis elektroda aluminium (Al), kuningan (CuZn), besi (Fe).

Sebuah kurva penurunan konsentrasi reaktan sebagai fungsi waktu, maka akan diperoleh kurva bahwa *slope* kurvanya pada setiap titik selalu negatif, karena konsentrasi reaktan selalu menurun. Jadi laju reaksi pada setiap titik sepanjang kurva = - dC/dt. Tetapi apabila laju reaksi dituliskan sebagai laju pembentukan produk, maka laju reaksi akan bernilai positif. Orde reaksi adalah jumlah pangkat konsentrasi dalam bentuk diferensial. Secara teoritis orde reaksi merupakan bilangan bulat kecil, namun dalam beberapa hal pecahan atau nol. Pada umumnya orde reaksi terhadap suatu zat tertentu tidak sama dengan

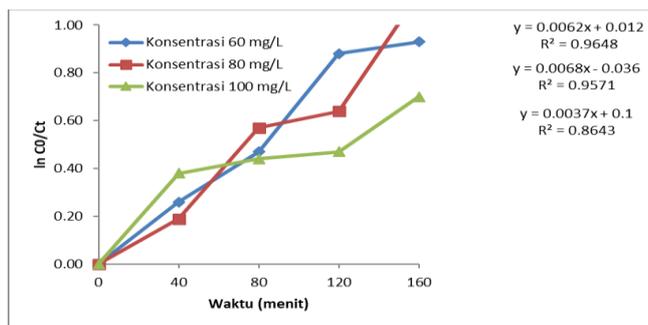
koefisien dalam persamaan stoikiometri reaksi (Nath, et al., 2015).

Reaksi orde 1 dapat dihitung dengan menggunakan rumus $\ln C_0/C_t$ dimana C_0 merupakan konsentrasi mula-mula sebelum diberi perlakuan apapun, dan C_t merupakan konsentrasi diwaktu tertentu.

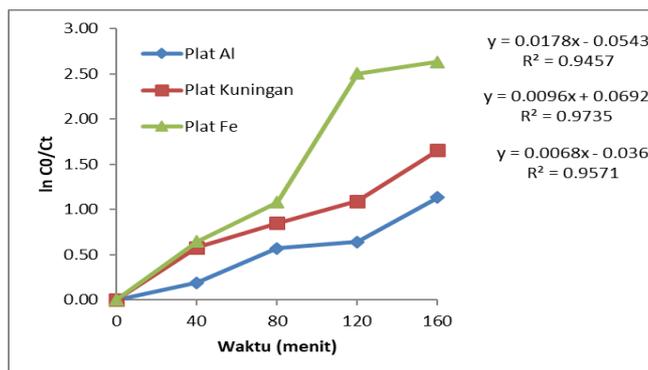
Tabel 3. Parameter Kinetika Reaksi Reduksi Orde Satu

Variasi		k (s ⁻¹)	R ²
Konsentrasi	60 mg/L	0,0062	0,965
	80 mg/L	0,0068	0,957
	100 mg/L	0,0037	0,864
Jenis Elektroda	Al-Al	0,0068	0,957
	CuZn-CuZn	0,0096	0,974
	Fe-Fe	0,0178	0,946

Dari data Tabel 3 diperoleh nilai R² yang mendekati 1 yaitu pada variasi konsentrasi 60 mg/L dengan konstanta laju reaksi (k) sebesar 0,0062 s⁻¹ dan pada variasi jenis elektroda plat kuningan (CuZn) dengan konstanta laju reaksi (k) sebesar 0,0096 s⁻¹.



Gambar 3. Kurva proses elektrokoagulasi kadar tembaga variasi konsentrasi orde satu. Note: ◆ = 60, ■ = 80, ▲ = 100 mg/L.



Gambar 4. Kurva proses elektrokoagulasi kadar tembaga variasi jenis elektroda orde satu. Note: ◆ = Plat Al, ■ = CuZn, ▲ = Fe.

Pengujian model kinetika dengan metode grafik dari persamaan (2) untuk orde satu dan persamaan (4) untuk orde dua, serta dilinierkan dapat diketahui hasil percobaan

dengan variasi konsentrasi dan jenis elektroda dilihat pada (Gambar 3 dan Gambar 4) untuk orde satu dan (Gambar 5 dan Gambar 6) untuk orde dua. Prediksi penentuan konstanta reaksi dapat dilihat dari nilai R² dengan nilai yang saling mendekati dan seragam (Prasetyaningrum, et al., 2018)

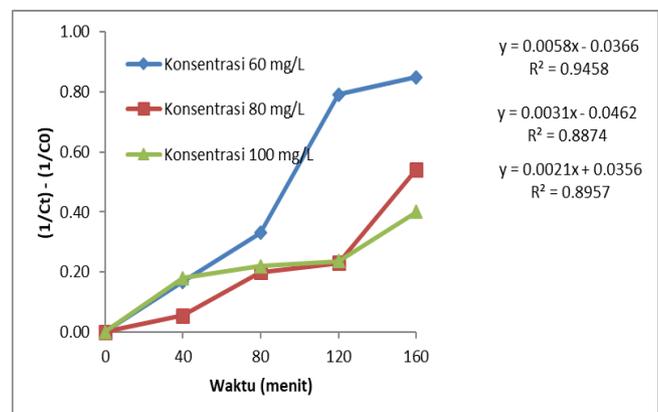
Bagitu pula pada reaksi orde 2 dapat dihitung dengan menggunakan rumus $1/C_t - 1/C_0$ dimana C_0 merupakan konsentrasi mula-mula sebelum diberi perlakuan apapun dan C_t adalah konsentrasi limbah pada waktu tertentu.

Tabel 4. Parameter Kinetika Reaksi Reduksi Orde Dua

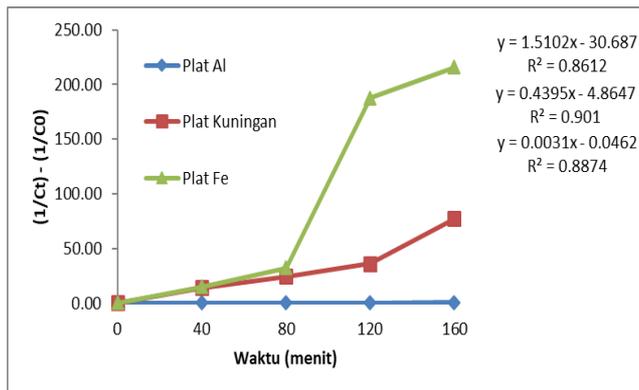
Variasi		k (ppm ⁻¹ .s ⁻¹)	R ²
Konsentrasi	60 mg/L	0,0058	0,946
	80 mg/L	0,0031	0,887
	100 mg/L	0,0021	0,901
Jenis Elektroda	Al-Al	0,0031	0,887
	CuZn-CuZn	0,4395	0,901
	Fe-Fe	1,5102	0,861

Berdasarkan data Tabel 4 diperoleh nilai R² mendekati 1 yaitu pada konsentrasi 60 mg/L dengan konstanta laju reaksi (k) sebesar 0,0058 ppm⁻¹.s⁻¹ dan pada jenis elektroda plat kuningan dengan konstanta laju reaksi (k) sebesar 0,4395 ppm⁻¹.s⁻¹.

Berdasarkan Tabel 3 dan Tabel 4 pada proses elektrokoagulasi limbah industri elektroplating diperoleh harga konstanta kecepatan reaksi sebesar 0,0096 s⁻¹ dengan harga R² 0,974. Sehingga proses elektrokoagulasi limbah industri elektroplating lebih sesuai diprediksi dengan menggunakan orde 1.



Gambar 5. Kurva proses elektrokoagulasi kadar tembaga variasi konsentrasi orde dua. Note: ◆ = 60, ■ = 80, ▲ = 100 mg/L.



Gambar 6. Kurva proses elektrokoagulasi kadar tembaga variasi jenis elektroda orde dua. Note: ◆ = Plat Al, ■ = CuZn, ▲ = Fe.

Harga konstanta laju reaksi pada beberapa penelitian dengan metode elektrokoagulasi ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Konstanta laju reaksi dari beberapa penelitian

Peneliti	Limbah	K (s ⁻¹)	n	R ²
(Prayitno, 2007)	Laundry	0,014	1	0,9983
(Kundari et al., 2009)	Cair Pelapisan Logam	0,0006	1	0,9994
(Santoso et al., 2010)	Laboratorium	0,042	1	0,99
(Ridantami et al., 2017)	Elektroplating	0,005	1	0,996

4. Kesimpulan

Elektrokoagulasi dipengaruhi oleh besarnya konsentrasi limbah dan jenis elektroda. Pada variasi konsentrasi dan jenis elektroda efisiensi tertinggi adalah sebesar 67,66% dan 92,82%. Kinetika reaksi reduksi limbah Cu sesuai dengan kinetika reaksi orde satu dengan konstanta kecepatan reaksi sebesar 0,0096 s⁻¹.

Daftar Pustaka

Bazrafshan, E., Leili, M., Alireza, M., and Amir, H. M., 2015, Environmental health heavy metals removal from aqueous environments by electrocoagulation process – a systematic review, *Journal of Environmental Health Science and Engineering*.

De Carvalho, Helder, P., Jiguo, H., Meixia, Z., Gang, L., Lili, D., and Xingjuan, L., 2015, Improvement of methyl ene blue removal by electrocoagulation/banana peel adsorption coupling in a batch system, *Alexandria Engineering Journal*, Vol. 54. No.3: 777–86.

El-Sheikh, I. F.-S., 2018, Immobilization of citric acid and mangnetite on sawdust for competitive adsorption and extraction of metal ions from environmental waters.

Journal of Environmental Chemical Engineering: 5186-5195.

Fanani, A. S., 2017, Pemanfaatan biomassa alga biru-hijau anabaena cycadae dalam proses bisorpsi logam Cr pada limbah cair industri elektroplating. *Jurnal Fakultas Teknik*: 1-5.

Haroon, M., 2018, Synthesis of carboxymethyl starch-g-polyvinylpyrrolidones and their properties for the adsorption of Rhodamine 6G and ammonia. *Carbohydrate Polymers*: 150-158.

Hasibuan, S., 2013, Improving the quality of tofu waste as a source of feed through fermentation using the bacillus amyloliquefaciens culture: 22-25.

Jati, Bumiarto Nugroho, 2015, Kombinasi teknologi elektrokoagulasi dan fotokatalisis dalam mereduksi limbah berbahaya dan beracun cr (VI), Vol. 37. No. 2:133–40.

Kabuk, H. A., 2014, Investigation of leachate treatment with electrocoagulation and optimization by response surface methodology. *Clean - Soil, Air, Water*: 571-577.

Kundari, N.A., Nurmaya, A., and Kartini, M. Kinetika, 2009, Reduksi Krom (VI) dalam limbah cair industri pelapisan logam. *Seminar Nasional V SDM Teknologi Nuklir, Yogyakarta*.

Liu, S. Simultaneous, 2017, Removal of Ni(II) and fluoride from a real flue gas desulfurization wastewater by electrocoagulation using Fe/C/Al electrode. *Journal of Water Reuse and Desalination*: 288-297.

Mirsoleimani-Azizi, S. M., 2018, Aqueous solution by electrocoagulation process using artificial neural network (ann). *Industrial and Engineering Chemistry Research*: 150-158.

Nath, B., Fabrication, F., Project, F., & Complex, N. F., 2015, Study on thorium removal effluent thorium removal from effluent. *International Thorium Energi. Conference – TheEC15*.

Nofitasari, R., and Ganjar, S., 2014, Studi penurunan konsentrasi nikel dan tembaga pada limbah cair elektroplating dengan metode elektrokoagulasi: 1–8.

Nurhasni, Zainus, S., and Ita, N., 2018, Pengolahan limbah industri elektroplating dengan proses koagulasi flokulasi. *Jurnal Kimia VALENSI*: 41–48.

Prasetyaningrum, A., Dharmawan, Y., Djaeni, M., Eka, E. S., and Eltiara, I. V., 2018, Seminar nasional kolaborasi peningkatan efisiensi pengolahan limbah elektroplating melalui proses koagulasi-flokulasi: 261–63.

Prayitno, P., 2007, Kajian kinetika kimia model matematik reduksi kadmium melalui laju reaksi, konstante dan orde reaksi dalam proses elektrokimia. *GANENDRA Majalah IPTEK Nuklir*: Vol. 10. No.1

Rafiq, Z., Rabia, N., Raza, M., and Shujat, A., 2014, Utilization of magnesium and zinc oxide nano-adsorbents as potential materials for treatment of copper electroplating industry wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering Biochemical Pharmacology*, Vol. 2. No. 1: 642–51.

Ridantami, V., Wasito, B., and Prayitno, P., 2017, Model matematik reduksi thorium dalam proses

- elektrokoagulasi. *Eksplorium: Buletin Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir*: 121-132.
- Said, Nusa, I., 2010, Metoda penghilangan logam berat (As, Cd, Cr, Ag, Cu, Pd, Ni, Dan Zn) di dalam air limbah Industri.” *Jai*, Vol. 6. No. 2: 136–48.
- Santoso, U. T., Herdiansyah, H., Trisunaryanti, W., and Santosa, S. J., 2014, Study on the rate of reduction of Cr (VI) to Cr (III) by humic acid using continuum multicomponent model, *Indonesian Journal of Chemistry*, Vol. 4. No. 1: 12-25.
- Wahyulis., Chanifa, N., Ita, U., and Harmami, 2014, Optimasi tegangan pada proses elektrokoagulasi penurunan kadar kromium dari filtrat hasil hidrolisis limbah padat penyamakan kulit, *Jurnal Sains Dan Seni POMITS*, Vol. 3. No. 2: 9–11.