

# Kinetika Reaksi pada Pengolahan Limbah Fe Sintesis dengan Metode Elektrokoagulasi

Emi Erawati<sup>1</sup> dan Naura Nazhifah<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dosen Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

<sup>2</sup>Progam Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

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

\*Email: [emi.erawati@ums.ac.id](mailto:emi.erawati@ums.ac.id)

## Abstrak

**Keywords:** Limbah Fe; elektrokoagulasi; konstanta kecepatan reaksi; orde reaksi

Proses industri seperti pertambangan, pelapisan logam, atau pembuatan baterai menghasilkan logam berat yang dibuang ke lingkungan, tentunya hal ini dapat mencemari lingkungan. Dalam jumlah tertentu logam Fe adalah salah satu jenis logam yang dibutuhkan manusia. Namun hal ini akan berdampak buruk bagi lingkungan dan kesehatan manusia apabila kadar Fe melebihi konsentrasi 1 g/L. Metode elektrokoagulasi merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengolah limbah Fe. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari efisiensi penurunan limbah, konstanta kecepatan reaksi, dan reaksi dengan menggunakan variabel jenis elektroda dan jarak antar elektroda. Limbah Fe sintesis dibuat dengan mencampur (FeSO<sub>4</sub>).7H<sub>2</sub>O dengan 500 mL aquadest diaduk selama 25 menit dengan kecepatan 400 rpm. Proses elektrokoagulasi dilakukan dengan memasukkan limbah Fe sintesis sebanyak 500 mL kedalam rangkaian alat elektrokoagulasi dengan tegangan 10V dengan menggunakan variasi jenis elektroda yaitu Al, Fe, dan Cu dan jarak antar elektroda (4,5, dan 6). Setelah proses elektrokoagulasi sampel limbah diambil setiap 0; 25 ;50; 75; 100; dan 125 menit dan diuji menggunakan AAS. Berdasarkan penelitian efisiensi penurunan limbah tertinggi adalah sebesar 99,99% pada variasi elektroda Cu. Hasil penelitian menunjukkan orde reaksi yang sesuai untuk elektrokoagulasi limbah sintesis Fe adalah orde dua dengan konstanta kecepatan reaksi sebesar 2,4535 ppm<sup>-1</sup>menit<sup>-1</sup>.

## 1. PENDAHULUAN

Proses industri seperti pertambangan, pelapisan logam atau pembuatan baterai menyisakan logam berat yang dibuang ke lingkungan [1], tentunya hal ini dapat mencemari lingkungan karena logam berat dapat menyebabkan penyakit serius atau bahkan kematian akibat bioakumulasi mereka di vital organ tubuh yang hidup melalui rantai makanan[2]. Ion logam berat tidak dapat terurai di lingkungan sehingga perlu pengolahan lebih lanjut supaya aman ketika dibuang ke lingkungan [1].

Dalam jumlah tertentu logam Fe adalah salah satu jenis logam berat yang dibutuhkan manusia. Namun hal ini akan berdampak buruk bagi lingkungan dan kesehatan masyarakat apabila kadar Fe melebihi baku mutu. Konsentrasi Fe yang lebih dari 1 g/L akan menyebabkan terjadinya iritasi pada mata dan kulit. Apabila kelarutan besi dalam air melebihi 1 g/L akan menyebabkan air berbau seperti telur busuk [3].

Elektrokoagulasi adalah proses elektrokimia yang melibatkan penggunaan arus searah *in situ* untuk meningkatkan oksidasi dari anoda logam yang terbuat dari

besi (Fe), aluminium (Al), atau logam lain untuk menghasilkan secara positif ion yang dibebankan [4]. Elektrokoagulasi adalah teknologi elektrokimia dengan jangkauan luas dapat digunakan untuk menghilangkan kontaminan dan digunakan untuk mengolah air yang mengandung COD, limbah minyak, atau logam [5].

Pada katoda terjadi reaksi reduksi, yaitu kation ion positif ditarik oleh katode dan menerima tambahan elektron sehingga bilangan oksidasinya berkurang. Ketentuan reaksi pada katode sebagai berikut [6];

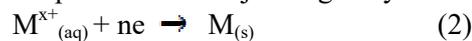
1. Ion logam alkali (IA) dan alkali tanah (IIA) tidak direduksi, yang tereduksi air maka H<sub>2</sub>O tereduksi menjadi H<sub>2</sub>.



2. Jika kation tidak sukar tereduksi maka kation logam tersebut yang tereduksi menjadi logamnya.

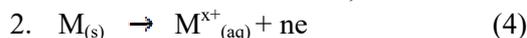


3. Jika elektrolit berupa lelehan/leburan/cairan (tidak mengandung air) maka kation apapun tetap tereduksi menjadi logamnya.



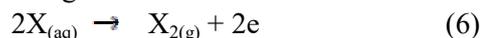
Oksidasi anoda memperhatikan jenis elektrode dengan ketentuan [7]:

1. Jika elektroda tidak inert maka yang teroksidasi adalah anoda,



3. Ion OH<sup>-</sup> dari basa teroksidasi menjadi O<sub>2</sub>.

4. Ion halida teroksidasi menjadi gas halogen.

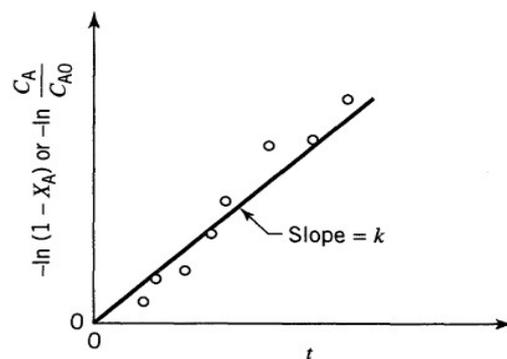


Keuntungan elektrokoagulasi dibandingkan koagulasi konvensional yaitu aspek ekonomi (biaya perawatan lebih rendah), volume lumpur yang dihasilkan lebih rendah, kualitas lumpur yang lebih baik (kadar air yang lebih rendah, flok yang jauh lebih besar dan lebih stabil dengan *settability* yang lebih baik, efisiensi yang serupa atau sedikit lebih baik, menghindari penambahan bahan kimia, kemudahan operasi, peralatan sederhana, dan ukuran sistem elektrokoagulasi yang ringkas (memungkinkan desentralisasi pengobatan), rentang pH fungsional yang lebih besar dan efek netralisasi pH, dan adanya electroflotation [8,9].

Metode elektrokoagulasi telah berhasil digunakan dalam pemurnian air limbah minyak

zaitun, limbah domestik, lindi TPA, dan tekstil [10].

Pada banyak kasus, konstanta kecepatan reaksi hanya dapat diperoleh melalui percobaan. Reaktor yang digunakan adalah *batch* yang merupakan wadah sederhana untuk menampung zat-zat yang terlibat dalam reaksi selama reaksi berlangsung. Alat tersebut digunakan untuk menentukan kemajuan reaksi atau sudah seberapa banyak zat mengalami reaksi terhadap waktu dengan cara salah satunya mengamati perubahan konsentrasi komponennya [11].



Gambar 1. Kurva ilustrasi persamaan reaksi orde satu

Metode yang digunakan untuk mencari nilai konstanta kecepatan reaksi dengan metode integral. Jika kita menganggap bahwa reaksi antara Al(OH)<sub>3</sub> bereaksi dengan kontaminan ferro sulfat itu orde satu maka dapat diasumsikan bahwa Al(OH)<sub>3</sub> terbentuk dan bereaksi dengan kontaminan tetap atau konstan sehingga persamaan kecepatannya adalah [6]:

$$-r_A = \frac{dC_A}{dt} = kC_A \quad (7)$$

Untuk persamaan ini, pemisahan dan integrasi menghasilkan:

$$-\int_{C_{A0}}^{C_A} \frac{dC_A}{C_A} = kC_A \quad (8)$$

Untuk persamaan ini, pemisahan dan integrasi menghasilkan:

$$\int_{C_{A0}}^{C_A} \frac{dC_A}{C_A} = k \int_0^t dt \quad (9)$$

Atau

$$-\ln \frac{C_A}{C_{A0}} = kt \quad (10)$$

Atau

$$C_A = C_{A0} \cdot e^{-kt} \quad (11)$$

Dengan  $r_A$  adalah kecepatan penurunan limbah Fe sintetis dalam (ppm) dan  $k$  merupakan konstanta kecepatan orde satu dengan satuan  $\text{min}^{-1}$ .

Jika kita menganggap bahwa reaksi itu orde dua maka reaksinya sebagai berikut [6]:



$$\text{saat } t=0 \quad C_{A0} \quad C_{B0} \quad 0 \quad (12)$$

$$t=t \quad C_{A0-X} \quad C_{B0-X} \quad X \quad (13)$$

maka:

$$-\frac{dC_A}{dt} = kC_A C_B \quad (14)$$

$$-\frac{dC_A}{dt} = k(C_{A0-X})(C_{B0-X}) \quad (15)$$

Jika diasumsikan  $C_{A0} = C_{B0}$

Maka persamaan kecepatannya sebagai berikut:

$$-r_A = -\frac{dC_A}{dt} = kC_A^2 = kC_{A0}^2(1-X_A)^2 \quad (16)$$

Dan hasil integrasinya adalah

$$\frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_{A0}} = \frac{1}{C_{A0}} \frac{X_A}{1-X_A} = kt \quad (17)$$

Konsentrasi tergantung dari waktu sehingga dirumuskan:

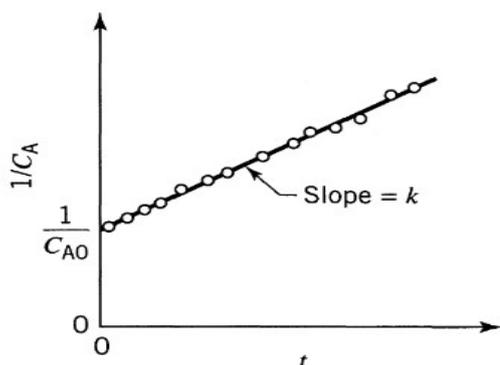
$$\frac{1}{C_A} = \frac{1}{C_{A0}} + kt \quad (18)$$

Analisis data dilakukan dengan perhitungan efisiensi reduksi Fe dalam limbah cair yang dihitung dengan persamaan [12]:

$$\eta \% = \frac{C_0 - C(t)}{C_0} \times 100\% \quad (19)$$

Dengan  $k$  merupakan konstanta kecepatan orde dua, satuan  $\text{ppm}^{-1}\text{min}^{-1}$ .

Penelitian ini bertujuan mengetahui variasi jenis elektroda dan jarak antar elektroda terhadap efisiensi penurunan konsentrasi limbah Fe sintetis, selain itu menentukan orde reaksi dan konstanta kecepatan reaksi.



Gambar 2. Kurva ilustrasi persamaan reaksi orde dua

## 2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini bahan yang digunakan adalah  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  sebagai bahan pembuatan limbah sintesis,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , dan aquades.

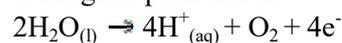
Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah rangkaian alat elektrokoagulasi dan plat logam aluminium, besi serta tembaga berukuran  $7 \times 15$  cm sebagai elektroda. Proses elektrokoagulasi limbah cair simulasi dibuat dengan melarutkan  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  dalam 500 mL aquades dan diaduk selama 25 menit dengan kecepatan 400 rpm. Setelah itu aliran arus listrik searah dihidupkan dengan menghidupkan *power supply* dengan tegangan 10V pada variasi jenis elektroda (Al, Cu, dan Fe) dan jarak antar elektroda (4,5 dan 6) pada setiap variasi waktu 0; 25; 50; 75; 100; 125 menit sampel diambil untuk di uji kadar Fe dengan AAS. Efisiensi penurunan limbah optimum pada variasi jenis elektroda Al, Fe, dan Cu digunakan untuk menentukan variasi jarak antar elektroda 4 cm, 5 cm, dan 6 cm.

Larutan standar dibuat dengan variasi 0,1; 0,5; 1; 5; 10; 20 ppm. Setelah itu larutan standar dan sampel diuji menggunakan AAS untuk mengetahui kadar logam Fe yang tersisa setelah proses elektrokoagulasi.

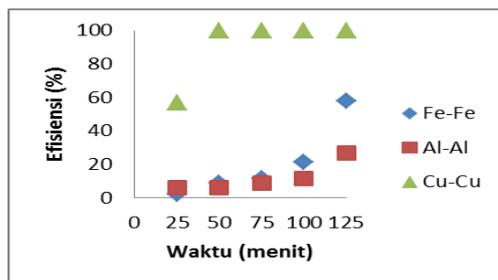
## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Pengaruh Jenis Plat dan Jarak antar Elektroda terhadap Efisiensi Penurunan Limbah pada Proses Elektrokoagulasi

Efisiensi penurunan limbah Fe sintesis pada variasi jenis elektroda diperoleh efisiensi secara berurutan pada plat Cu, Fe, dan Al adalah yaitu 99,99%; 58,09%, dan 26,69%. Hal ini kemungkinan disebabkan larutan besi (II) Sulfat ( $\text{FeSO}_4$ ) dengan elektroda  $\text{Al}^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow \text{Al}_{(s)2}$  (Al tereduksi sendiri) sedangkan pada anoda



dimana  $\text{SO}_4$  mengandung oksigen, jadi yang teroksidasi adalah air sehingga plat elektroda aluminium dalam pembentukan  $\text{Al}(\text{OH})_3$  kurang sehingga proses elektrokoagulasi kurang efektif. Selain itu kemungkinan pada saat proses elektrokoagulasi tegangan 10V elektrode anoda mengalami pasififikasi sehingga membentuk  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .



**Gambar 3.** Efisiensi reduksi limbah sintesis Fe variasi jenis elektroda

**Tabel 1.** Efisiensi penurunan kadar besi variasi jenis elektroda

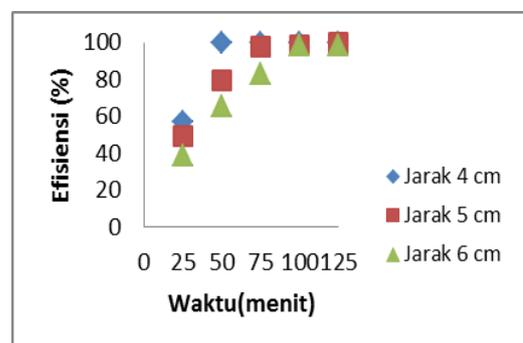
Wakt	Efisiensi Penurunan Fe (%)		
	Fe	Al	Cu
0	0	0	0
25	2,573	6,03	56,95
50	8,955	6,30	99,81
75	11,48	8,91	99,99
100	21,17	11,34	99,99
125	58,09	26,69	99,99

Efisiensi penurunan kadar besi menggunakan elektroda tembaga dan besi lebih tinggi dibandingkan elektroda aluminium, hal ini karena elektroda aluminium melepaskan partikel yang lebih kecil daripada besi dan tembaga akibatnya efisiensi besi dan tembaga akan lebih tinggi dari aluminium [5]. Sifat kation logam pada konsentrasi rendah tidak berdampak nyata [2]. Lapisan tersebut mencegah pelarutan logam dan transfer elektron pada anoda sehingga ion  $Al^{3+}$  yang dihasilkan di anoda berkurang yang berdampak efisiensi proses elektrokoagulasi menurun [6].

Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui bahwa efisiensi tertinggi adalah sebesar 99,99% dicapai saat waktu 125 menit pada variasi elektroda Cu. Hal ini terjadi karena semakin lama waktu reaksi maka elektroda yang terlarut semakin banyak sehingga proses pembentukan koagulan semakin meningkat dan efisiensi penurunan kontaminan semakin baik. Dalam proses elektrokimia, elektrolit pendukung juga diperlukan untuk meningkatkan konduktivitas, elektrolit memiliki efek yang cukup besar, kinetika *electrodissolution* dari anoda, hal ini dapat mempengaruhi koagulan dalam pembentukan flok [9,15].

### 3.2 Pengaruh Jarak Antar Elektroda terhadap Efisiensi Penurunan Limbah pada Proses Elektrokoagulasi

Efisiensi penurunan limbah Fe sintesis ditunjukkan oleh Gambar 5 menunjukkan pada saat jarak elektrode 4, 5, dan 6 cm diperoleh efisiensi limbah secara berurutan adalah 99,99%, 98,34%, dan 99,44%. Dari percobaan untuk limbah sintesis Fe dapat diketahui bahwa limbah Fe sintesis untuk variasi jarak elektrode mempunyai kecenderungan yang sama, yakni efisiensi tertinggi dicapai pada saat jarak elektrode 4 cm, diikuti dengan 5 cm, dan yang paling rendah pada jarak elektrode 6 cm. Hal ini terjadi karena semakin jauh jarak antar elektroda, hambatan akan semakin besar sehingga produksi koagulan dalam hal ini  $Al(OH)_3$  juga akan berkurang yang menyebabkan efisiensi penurunan kontaminan berkurang. Efisiensi penurunan kontaminan meningkat seiring semakin pendeknya jarak elektroda [12]. Jarak yang pendek antar elektrode anoda dan katoda dapat mengurangi hambatan ion dalam transportasinya.



**Gambar 5.** Efisiensi reduksi pada limbah Fe pada variasi jarak elektroda

**Tabel 2.** Data efisiensi penurunan kadar Fe variasi jarak antar elektroda

Waktu	Efisiensi Penurunan Fe (%)		
	4 cm	5 cm	6 cm
0	0	0	0
25	56,95	49,00	38,88
50	99,81	79,34	65,15
75	99,99	97,64	83,10
100	99,99	98,34	98,04
125	99,99	99,44	98,34

### 3.3 Penentuan konstanta kecepatan reaksi kimia

Kinetika reaksi mempelajari laju reaksi kimia secara kuantitatif dan mempelajari faktor-faktor yang mempengaruhi laju reaksi tersebut. Laju reaksi kimia adalah jumlah mol reaktan per satuan volume yang bereaksi dalam satuan waktu tertentu. Dalam setiap reaksi elektrokimia seperti elektrokoagulasi, elektroplating, *electrorefining* faktor-faktor yang mempengaruhi reaksi adalah kuat arus dan densitas yang akan mengendalikan laju reaksi [13]. Bila 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. 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 [14]. Konstanta kecepatan reaksi pada elektrokoagulasi limbah Fe sintesis ditampilkan pada **Tabel 4**.

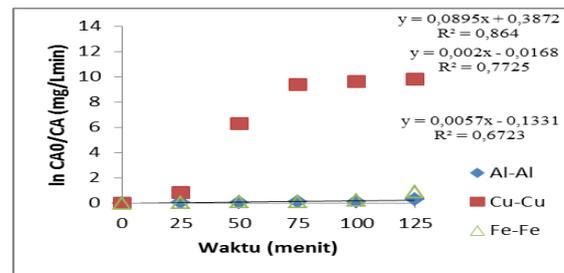
**Tabel 4.** Data konstanta kecepatan kinetika reaksi reduksi orde satu variasi plat elektroda dan jarak.

Variasi		k (menit <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>
Plat	Fe-Fe	0,0057	0,6723
	Al-Al	0,002	0,7725
Elektroda	Cu-Cu	0,0895	0,864
Jarak	4 cm	0,0895	0,864
	5 cm	0,0439	0,9675
	6 cm	0,0361	0,9295

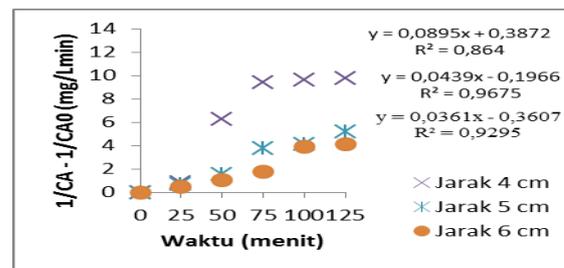
Menurut [15] pada penurunan COD limbah tekstil dengan proses elektrokoagulasi lebih sesuai didekati dengan menggunakan orde satu. Sedangkan proses elektrokoagulasi limbah cair stronsium dan cesium merupakan orde dua dan studi kinetika pemindahan total organik karbon pada limbah litografi merupakan reaksi orde 2 [16].

Jika kita menganggap bahwa reaksi antara Al(OH)<sub>3</sub> yang terbentuk dari proses elektrokoagulasi bereaksi dengan kontaminan ferro sulfat diasumsikan orde satu maka dapat diasumsikan bahwa Al(OH)<sub>3</sub> yang terbentuk dan bereaksi dengan kontaminan tetap atau konstan sehingga dari persamaan kecepatannya adalah dapat dilihat pada persamaan (7) sampai (18) [6].

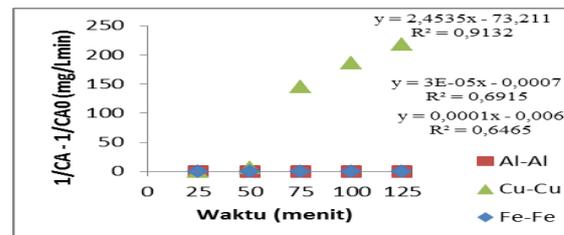
Prediksi penentuan konstanta kecepatan reaksi dapat dilihat dari nilai harga R<sup>2</sup> pada reaksi orde 1 antara dengan 0,08604-0,9675 sedangkan pada orde 2 harga R<sup>2</sup> antara 0,6465-0,9132. Sehingga pada reaksi elektrokoagulasi limbah Fe sintesis orde reaksi yang lebih sesuai adalah orde dua. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh [9] menggunakan proses elektrokoagulasi mengikuti orde dua [9].



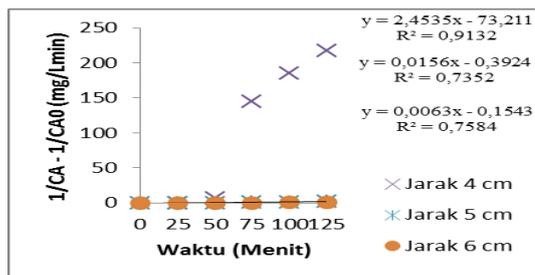
**Gambar 6.** Kurva proses elektrokoagulasi kadar besi variasi plat elektroda orde satu



**Gambar 7.** Kurva proses elektrokoagulasi kadar besi variasi jarak orde satu



**Gambar 8.** Kurva proses elektrokoagulasi kadar besi variasi plat elektroda orde dua



**Gambar 9.** Kurva proses elektrokoagulasi kadar Fe sintesis orde dua

Berdasarkan **Gambar 9** maka diperoleh konstanta kinetika reaksi reduksi orde dua yang ditampilkan pada **Tabel 5**.

**Tabel 5** Konstanta kinetika reaksi reduksi orde dua variasi plat elektroda dan jarak antar elektroda.

Variasi		K (ppm <sup>-1</sup> menit <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>
Plat	Fe-Fe	0,0001	0,6465
Elektroda	AlAl	0,00003	0,6915
	Cu-Cu	24,535	0,9132
Jarak	4 cm	24,535	0,9132
	5 cm	0,0156	0,7352
	6 cm	0,0063	0,7584

Pada penelitian [17] diperoleh konstanta kecepatan reaksi model kinetika untuk menurunkan polutan menggunakan elektrokoagulasi sebagai berikut:

**Tabel 6.** Parameter model kinetika untuk menurunkan polutan mineral sulfida menggunakan elektrokoagulasi.

Variasi		K	R <sup>2</sup>
Orde satu	COD	0,08	0,84
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,39	0,72
	Ca	0,18	0,90
Orde dua	COD	0,0013	0,998
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,0043	0,997
	Ca	0,0010	0,992

## KESIMPULAN

Efisiensi penurunan limbah Fe sintesis adalah 99,99% pada tegangan 10 V, jarak antar elektroda 4 cm, dengan menggunakan elektroda Cu pada waktu 125 menit. Penurunan limbah Fe sintesis lebih sesuai

didekati dengan reaksi orde 2 dengan kecepatan reaksi sebesar 2,4535 ppm<sup>-1</sup> menit<sup>-1</sup>

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai dengan skim Penelitian Individu Dosen Universitas Muhammadiyah Surakarta.

## REFERENSI

- [1] Sadeek, S. A., Negm, N. A., Hefni, H. H. H., Abdel, M. M. International Journal of Biological Macromolecules Metal adsorption by agricultural biosorbents : Adsorption isotherm , kinetic and biosorbents chemical structures. *International Journal of Biological Macromolecules*; 2015; 81: 400–409.
- [2] Doggaz, A., Attour, A., Le, M., Mostefa, P., Tlili, M., Lopicque, F. Iron removal from waters by electrocoagulation : Investigations of the various physicochemical phenomena involved Separation and Purification Technology Iron removal from waters by electrocoagulation : Investigations of the various physicochemical phenomena involved. *Separation and Purification Technology*; 2018; 217–225.
- [3] Febrina, L. A. A. (2017). Studi Penurunan Kadar Besi (Fe) dan Mangan ( Mn ) dalam Air Studi Penurunan Kadar Besi (Fe) dan Mangan (Mn) Dalam Air. *Jurnal Teknologi*; 2015; 1
- [4] Al-qodah, Z., Al-shannag, M. (2017). Heavy metal ions removal from wastewater using electrocoagulation processes : A comprehensive review Heavy metal ions removal from wastewater using electrocoagulation processes : A comprehensive review. *Separation Science and Technology*; 2017; 52(17): 2649–2676.
- [5] Nariyan, E., Sillanpää, M., & Wolkersdorfer, C. Electrocoagulation treatment of mine water from the deepest working European metal mine – Performance, isotherm and kinetic studies Electrocoagulation treatment of mine water from the deepest working European metal mine – Performance , isotherm and kinetic studies. *Separation*

- and Purification Technology*; 2017; 363–373.
- [6] Prayitno, Rindatami, V. Model Matematik Reduksi Thorium dalam Proses Elektrokoagulasi Thorium Reduction Mathematical Model on Electrocoagulation Process. *Eksplorium*; 2017; 121–132.
- [7] Abideen Idowu Adeogun. Abs tract. Removal of Basic Dye Bromophenol Blue from aqueous solution by Electrocoagulation using Al – Fe Electrodes: Kinetics, Equilibrium and Thermodynamics Studies. *Journal of Physical and Theoretical Chemistry*; 2018; 15: 87–103.
- [8] Prabowo. S, Nurlaili, Muflihah, R A Tindangen, S. The Application of Electrolysis Method to Reduce Ammonia Content in Liquid Waste of Tofu The Application of Electrolysis Method to Reduce Ammonia Content in Liquid Waste of Tofu; 2018; 1–6.
- [9] Prasetyaningrum, A., Jos, B., Dharmawan, Y., Prabowo, B. T., Fathurrazan, M., & Fyrouzabadi. The influence of electrode type on electrocoagulation process for removal of chromium (VI) metal in plating industrial wastewater. *Journal of Physics: Conference Series*; 2018; 1025(1): 1-2
- [10] Thangamani, R., Velayutham, K., Amudha, T., & Dhanasekaran, A. *Degradation of Synthetic Agro wastewater (Fipronil) using Electro Coagulation Process by Iron Electrodes*; 2018; 1–6.
- [11] Garcia-segura, S., Maesia, M., Eiband, S. G., Vieira, J., Melo, D., & Martínez-huitle, C. A. Electrocoagulation and advanced electrocoagulation processes: A general review about the fundamentals, emerging applications and its association with other technologies. *Journal of Electroanalytical Chemistry*; 2017; 267–299.
- [12] Chen, X., Ren, P., Li, T., Trembly, J. P., & Liu, X. Zinc removal from model wastewater by electrocoagulation: Processing, kinetics and mechanism. *Chemical Engineering Journal*; 2018; 358–367.
- [13] A.S. Naje, S.A. Abbas, Combination of electrocoagulation and electro-oxidation processes of textile waste waters treatment, *Civ. Environ. Res*; 2013; 63-73.
- [14] Nath, B., Fabrication, F., Project, F., & Complex, N. F. (2015). Study On Thorium Removal Effuleny Thorium Removal R. Removal From Effluent. *International Thorium Energy; 2019; Conference – ThEC15*.
- [15] Ilhan, F., Ulucan-altuntas, K., Avsar, Y., Kurt, U., & Saral, A. Electrocoagulation process for the treatment of metal-plating wastewater: Kinetic modeling and energy consumption; *Front. Environ. Sci. Eng*; 2019; 13(5): 73
- [16] Nath, B., Fabrication, F., Project, F., & Complex, N. F. Study On Thorium Removal From Effluent By Electrocoagulation. *International Thorium Energi; 2015; Conference – ThEC15*.
- [17] Wu, M., Hu, Y., Liu, R., Lin, S., Sun, W., & Lu, H. Science of the Total Environment Electrocoagulation method for treatment and reuse of sulphide mineral processing wastewater: Characterization and kinetics. *Science of the Total Environment*; 2019; 696. 134063.