

Studi Penurunan Konsentrasi Limbah *Artificial* Fe dengan Metode Elektrokoagulasi

Elsa Mariza¹ dan Emi Erawati¹

¹Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A.Yani, Tromol Pos I, Pabelan, Kartasura, Surakarta, 57102
Email: emi.erawati@ums.ac.id

Abstrak

Keywords:
Elektrokoagulasi,
Limbah, *Artificial*,
Fe, Kinetika

Limbah logam berat seperti logam Fe dapat membahayakan kesehatan manusia, hewan, maupun tumbuhan. Metode elektrokoagulasi adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk menghilangkan logam Fe. Pada penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh konsentrasi limbah dan tegangan terhadap konstanta kecepatan reaksi dan efisiensi penurunan konsentrasi limbah artificial Fe. Limbah Fe artificial dibuat dengan mencampur (FeSO₄).7H₂O dengan 500 mL aquadest diaduk selama 25 menit dengan kecepatan 600 rpm. Proses elektrokoagulasi dilakukan dengan mengambil sampel limbah dan dimasukkan ke rangkain alat elektrokoagulasi dengan menggunakan variasi konsentrasi (200, 300, dan 400 ppm) dan tegangan (10, 15, dan 20 volt) setiap selang waktu 25 menit sampel tersebut diambil kemudian diuji dengan menggunakan AAS. Berdasarkan penelitian efisiensi tertinggi adalah sebesar 81,20% pada variasi tegangan 15 volt. Konstanta kecepatan reaksi orde satu adalah 0,008 ppm⁻¹ dan R² sebesar 0,9485 sedangkan konstanta kecepatan reaksi orde dua adalah 0,00007 min⁻¹ppm⁻¹ dengan R² sebesar 0,8916.

1. PENDAHULUAN

Kontaminasi organik dan anorganik dari air limbah karena pengelolaan tempat pembuangan akhir yang buruk dapat menyebabkan air limbah yang tidak diolah, meresap ke air tanah atau bercampur dengan air permukaan dan berkontribusi pada pencemaran tanah, air tanah dan air permukaan. [1, 2]

Kontaminasi logam Fe ada dalam aliran limbah berair dari banyak industri seperti pelapisan logam, operasi penambangan, peleburan logam, mikroelektronik, radiator, paduan, baterai penyimpanan, *electroplating*, produsen plastik dan tekstil, industri penghasil kayu, serta sumber pertanian di mana pupuk, pestisida dan semprotan fungisida digunakan secara intensif [3–8]

Dalam beberapa tahun terakhir, berbagai teknik digunakan untuk menghilangkan logam berat Fe dari air dan air limbah yang meliputi pertukaran ion, adsorpsi, presipitasi kimia, filtrasi membran, flokulasi, koagulasi, flotasi dan metode elektrokimia. [9–11]

Elektrokoagulasi adalah pendekatan elektrokimia, yang menggunakan arus listrik untuk menghilangkan logam dari larutan. Sistem elektrokoagulasi juga efektif dalam menghilangkan padatan tersuspensi, logam terlarut, tanin dan pewarna. Elektrokoagulasi dapat menjadi teknik yang efektif untuk mempercepat pengolahan air limbah industri. Kelebihan dari proses ini adalah konsumsi energi yang rendah, pengurangan atau tidak adanya peralatan untuk menambahkan bahan kimia, efluen berkualitas tinggi,

pembentukan lumpur rendah dan padatan terlarut rendah menjadikan elektrokoagulasi metode perawatan yang diinginkan [11 – 17]

Untuk studi kinetika, model kinetika orde satu dan dua digunakan untuk melihat laju reaksi reduksi logam Fe dinyatakan dengan persamaan 1-13 [11]

Dari persamaan laju reaksi orde satu :

$$-\frac{d[C]}{dt} = k [C] \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{d[C]}{[C]} = -k dt \dots\dots\dots (2)$$

Diintegrasikan dua sisi persamaan :

$$\int_{C_0}^C \frac{d[C]}{[C]} = - \int_{t_0}^t k dt \dots\dots\dots (3)$$

$$\int_{C_0}^C \frac{1}{[C]} d[C] = - \int_{t_0}^t k dt \dots\dots\dots (4)$$

Persamaan kalkulus diintegrasikan :

$$\int \frac{1}{x} = \ln(x) \dots\dots\dots (5)$$

Setelah diintegrasikan:

$$\ln Ct - \ln C_0 = -kt \dots\dots\dots (6)$$

$$\ln Ct = \ln C_0 - kt \dots\dots\dots (7)$$

$$\ln \frac{C_0}{Ct} = kt \dots\dots\dots (8)$$

Dari persamaan laju reaksi orde dua :

$$-\frac{d[C]}{dt} = k [C]^2 \dots\dots\dots (9)$$

$$-\frac{d[C]}{[C]^2} = k dt \dots\dots\dots (10)$$

Diintegrasikan dua sisi persamaan :

$$\int_{C_0}^C \frac{d[C]}{[C]^2} = -k \int_{t_0}^t dt \dots\dots\dots (11)$$

$$\int \frac{dx}{x^2} = \frac{1}{x} \dots\dots\dots (12)$$

Setelah diintegrasikan:

$$\frac{1}{C_0} - \frac{1}{Ct} = kt \dots\dots\dots (13)$$

Berdasarkan uraian tersebut, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian untuk menurunkan limbah *artificial* Fe dengan menggunakan metode elektrokoagulasi dengan menggunakan variasi konsentrasi limbah *artificial* Fe dan tegangan listrik. Dan juga mempelajari kinetika reaksi reduksi penurunan limbah *artificial* Fe orde satu dan orde dua.

2. METODE

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi corong kaca, erlenmeyer 50 mL, gelas beker 500 dan

100 mL, kaca arloji, kertas saring, labu ukur 100 mL, pengaduk kaca, pipet tetes, pipet ukur 25 mL, pipet volume 10 mL, plat besi, *power supply*, Spektrofotometri Serapan Atom (AAS), *stopwatch*, serta timbangan analitik. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah aquades, FeSO₄, dan H₂SO₄.

Variabel tetap dalam penelitian ini adalah elektroda Al – Al, kecepatan pengadukan 600 rpm, dan kuat arus 0,4 A. Sedangkan, variabel bebas yang digunakan adalah tegangan listrik 10, 15, 20 volt dan konsentrasi limbah 200, 300, 400 ppm.

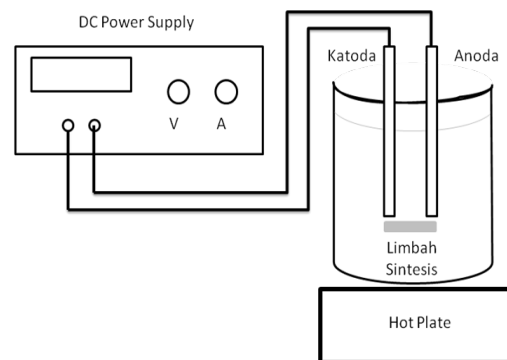
Prosedur penelitian yang digunakan antara lain pembuatan limbah *artificial* logam Fe, metode elektrokoagulasi, dan pengujian sampel.

a. Pembuatan limbah *artificial* logam Fe

Limbah *artificial* yang digunakan adalah FeSO₄·7H₂O padat yang dilarutkan dengan 500 mL aquades diaduk selama 25 menit dengan kecepatan 600 rpm.

b. Metode Elektrokoagulasi

Rangkaian alat elektrokoagulasi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian Alat Elektrokoagulasi

Limbah *artificial* Fe dimasukkan ke dalam alat elektrokoagulasi. Limbah *artificial* Fe diaduk dengan kecepatan 600 rpm dengan variasi konsentrasi (200, 300, dan 400 ppm) dan tegangan (10, 15, dan 20V). Sampel diambil setiap 0, 25, 50, 75, 100, dan 125 menit. Sampel diuji kadar Fe dengan menggunakan AAS.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penurunan kadar logam Fe menggunakan proses elektrokoagulasi. Proses elektrokoagulasi dilakukan dengan variabel yang beda yaitu konsentrasi (200, 300, dan 400 ppm) dan tegangan (10, 15, dan 20 volt). Hasil analisa menggunakan AAS dapat dilihat pada tabel berikut:

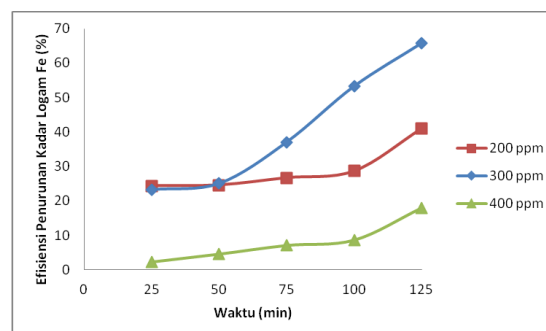
Tabel 1. Hasil Pengujian Sampel

Variasi	Waktu (Menit)	Konsentrasi (mg/L)
Konsentrasi 200 ppm	0	101,061
	25	76,436
	50	76,216
	75	74,092
	100	72,115
	125	59,627
Konsentrasi 300 ppm	0	159,21
	25	122,218
	50	119,343
	75	100,255
	100	74,458
	125	54,571
Konsentrasi 400 ppm	0	235,484
	25	230,211
	50	224,827
	75	218,931
	100	215,342
	125	193,516
Tegangan 10 volt	0	101,061
	25	76,436
	50	76,216
	75	74,092
	100	72,115
	125	59,627
Tegangan 15 volt	0	101,061
	25	72,88
	50	62,195
	75	54,65
	100	45,922
	125	19,005
Tegangan 20 volt	0	101,061
	25	81,343
	50	79,528

75	75,286
100	62,847
125	50,245

3.1. Prosentase penurunan konsentrasi limbah *artificial* Fe pada variasi konsentrasi

Efisiensi penurunan konsentrasi limbah pada variasi konsentrasi 200, 300, dan 400 ppm dengan kuat arus 0,4 A serta kecepatan pengadukan 600 rpm ditampilkan pada Gambar 2.



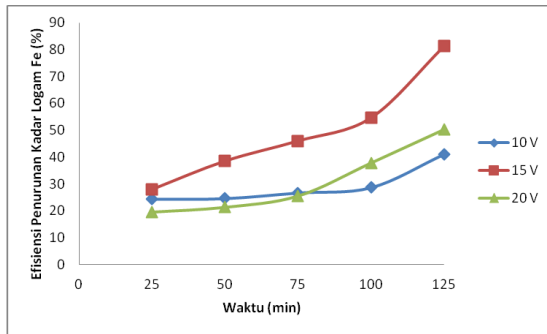
Gambar 2. Efisiensi Penurunan Konsentrasi Limbah *Artificial* Fe Terhadap Waktu Pada Variasi Konsentrasi

Efisiensi penurunan limbah *artificial* Fe pada variasi konsentrasi 200, 300, dan 400 ppm adalah 41 %, 65,73 %, dan 17,82 %.

Karena semakin besar konsentrasi yang diturunkan pengaruh dari plat akan semakin kecil. Plat yang digunakan pada penelitian adalah Al-Al.

3.2. Prosentase penurunan konsentrasi limbah *artificial* Fe pada variasi tegangan

Gambar 3 adalah efisiensi penurunan limbah Fe pada variasi 10, 15, dan 20 V pada kuat arus 0,4 V, kecepatan pengadukan 600 rpm, dan plat Al.

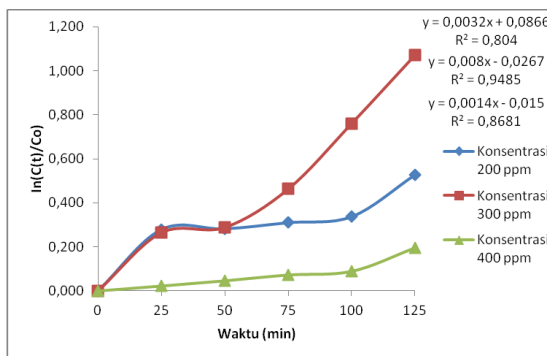


Gambar 3. Efisiensi Penurunan Konsentrasi Limbah *Artificial* Fe Terhadap Waktu pada Variasi Tegangan

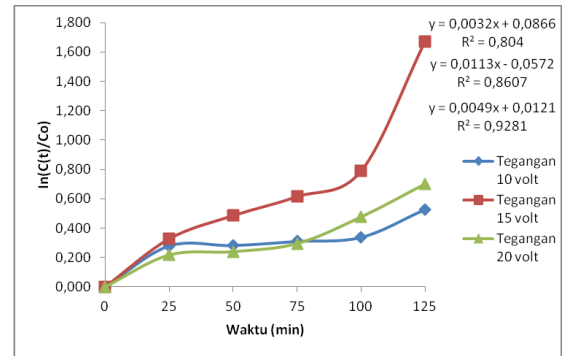
Berdasarkan Gambar 3 pada variasi tegangan 10, 15, dan 20 V diperoleh efisiensi secara berurutan adalah 41%, 81,20 %, dan 50,28%. Efisiensi tertinggi terjadi pada variasi tegangan 15 V. Semakin tinggi tegangan maka efisiensi penurunan konsentrasi limbah semakin meningkat karena ada hubungan antara arus dan tegangan pada proses elektrokoagulasi. Karena arus berbanding lurus dengan tegangan [18].

3.3. Analisis konstanta laju reaksi pada penurunan konsentrasi limbah *artificial* Fe pada variasi tegangan dan konsentrasi orde satu

Gambar 4 dan Gambar 5 menjelaskan profil laju penurunan konsentrasi pada variasi konsentrasi dan tegangan orde 1. adalah Berikut ini merupakan grafik dari laju reaksi terhadap waktu pada reaksi orde satu yang digunakan untuk mencari konstanta laju reaksi terhadap waktu elektrokoagulasi.



Gambar 4. Profil Laju Penurunan Konsentrasi Limbah *Artificial* Fe Pada Variasi Konsentrasi Orde 1



Gambar 5. Profil Penurunan Konsentrasi Limbah *Artificial* Fe Dengan Variasi Tegangan Orde 1

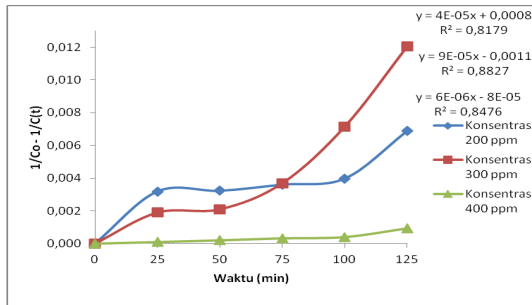
Berdasarkan Gambar 4 dan Gambar 5 konstanta laju reaksi pada variasi konsentrasi dan tegangan dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan Tabel 2 pada variasi konsentrasi dan tegangan orde satu konstanta laju reaksinya adalah $0,008 \text{ min}^{-1}$ dengan R^2 sebesar 0,9485.

Tabel 2. Data Konstanta Laju Reaksi Dan R^2 Orde Satu Pada Variasi Konsentrasi Dan Tegangan

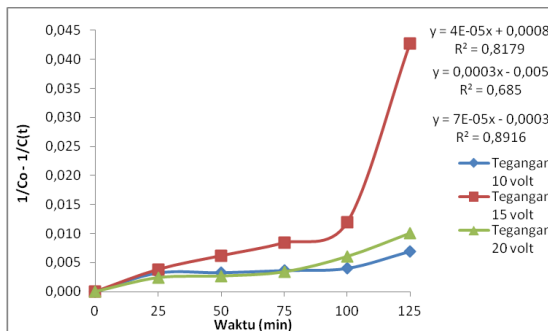
Variasi	$k_1(\text{min}^{-1})$	R^2
Konsentrasi (ppm)	200	0,0032
	300	0,008
	400	0,0014
Tegangan (volt)	10	0,0032
	15	0,0113
	20	0,0049

3.4. Analisis konstanta laju reaksi pada penurunan limbah *artificial* Fe pada variasi tegangan dan konsentrasi orde dua

Berikut ini merupakan grafik dari laju reaksi terhadap waktu pada reaksi orde dua yang digunakan untuk mencari konstanta laju reaksi terhadap waktu elektrokoagulasi.



Gambar 6. Profil Penurunan Konsentrasi Limbah *Artificial* Fe Pada Variasi Konsentrasi Orde Dua



Gambar 7. Profil Penurunan Konsentrasi Limbah *Artificial* Fe Pada Variasi Tegangan Orde Dua

Didapatkan data sebagai berikut dari perhitungan yang sudah dilakukan untuk mengetahui konstanta laju reaksi orde satu. Pada data yang ada untuk R², nilai yang terbesar terdapat pada variasi tegangan 20 volt, yaitu 0,8916 dan konstanta laju reaksi = 0,00007 min⁻¹ppm⁻¹.

Tabel 3. Data Konstanta Laju Reaksi Dan R² Orde Dua Pada Variasi Konsentrasi Dan Tegangan

Variasi	k_1 (min ⁻¹ ppm ⁻¹)	R ²
Konsentrasi (ppm)	200	0,00004
	300	0,00009
	400	0,000006
Tegangan (volt)	10	0,00004
	15	0,0003
	20	0,00007

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat diambil kesimpulan bahwa efisiensi penurunan konsentrasi limbah *artificial* Fe tertinggi adalah 81,20 % pada variasi tegangan 15 volt menit, kuat arus 0,4 A,

kecepatan pengadukan 600 rpm, dan menggunakan plat Al. Penurunan konsentrasi limbah *artificial* Fe adalah reaksi orde satu dengan konstanta laju reaksi sebesar 0,008 min⁻¹ dan R² sebesar 0,9485.

UCAPAN TERIMA KASIH

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

REFERENSI

- [1] Rosli MA, Daud Z, Latiff AAA, Rahman SEA, Oyekanmi AA, Zainorabidin A, Awang H, Halim AA. The Effectiveness of Peat-AC Composite Adsorbent in Removing Color and Fe from Landfill Leachate. *International Journal of Integrated Engineering*; 2017; 9(3):35–38.
- [2] Bazrafshan E, Mohammadi L, Ansari Moghaddam A, Mahvi AH. Heavy metals removal from aqueous environments by electrocoagulation. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*; 2015; 13(1).
- [3] Goher ME, Hassan AM, Abdel-Moniem IA, Fahmy AH, Abdo MH, El-sayed SM. Removal of aluminum, iron and manganese ions from industrial wastes using granular activated carbon and Amberlite IR-120H. *Egyptian Journal of Aquatic Research*; 2015; 41(2) : 155–164.
- [4] Ahmed MJK, Ahmaruzzaman M. A review on potential usage of industrial waste materials for binding heavy metal ions from aqueous solutions. *Journal of Water Process Engineering*; 2016; 10:39–47.
- [5] Dermentzis K, Stergiopoulos D, Giannakoudakis P, Moutzakis A. Removal of copper and COD from electroplating effluents by photovoltaic electrocoagulation / electrooxidation process. *Water Utility Journal*; 2016; 14:55–62.
- [6] Padmaningrum RT, Marwati S, Sunarto, Sulistyani. Application of copper(II) oxide of electrocoagulation products of electroplating waste water as ceramic

- glaze dyes. *Journal of Physics: Conference Series*; 2019; 1:0–7.
- [7] Tripathi A, Rawat RM. Heavy Metal Removal from Wastewater Using Low Cost Adsorbents. *Journal of Bioremediation and Biodegradation*; 2015; 06(06).
- [8] Jaishankar M, Mathew BB, Shah MS, T.P. KM, K.R SG. Biosorption of Few Heavy Metal Ions Using Agricultural Wastes. *Journal of Environment Pollution and Human Health*; 2014; 2(1):1–6.
- [9] Gunatilake SK. Methods of Removing Heavy Metals from Industrial Wastewater. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science Studies*; 2015; 1(1):12-18.
- [10] Jamaly S, Giwa A, Hasan SW. Recent improvements in oily wastewater treatment: Progress, challenges, and future opportunities. *Journal of Environmental Sciences*; 2015; 37:15–30.
- [11] Al-Shannag M, Al-Qodah Z, Bani-Melhem K, Qtaishat MR, Alkasrawi M. Heavy metal ions removal from metal plating wastewater using electrocoagulation: Kinetic study and process performance, *Chemical Engineering Journal*; 2015; 260:749–756.
- [12] Tyagi N, Mathur S, Kumar D. Electrocoagulation process for textile wastewater treatment in continuous upflow reactor. *Journal of Scientific and Industrial Research*; 2014; 73(3):195–198.
- [13] Jack F, Bostock J, Tito D, Harrison B, Brosnan J. Electrocoagulation for the removal of copper from distillery waste streams. *Journal of the Institute of Brewing*; 2014; 120(1):60–64.
- [14] Kobya M, Gengec E, Demirbas E. Operating parameters and costs assessments of a real dyehouse wastewater effluent treated by a continuous electrocoagulation process. In : *Chemical Engineering & Processing: Process Intensification*; . Elsevier.; 2016.p.87–100.
- [15] Tian Y, He W, Zhu X, Yang W, Ren N, Logan BE. Energy efficient electrocoagulation using an air-breathing cathode to remove nutrients from wastewater. *Chemical Engineering Journal*; 2016; 292:308–314.
- [16] Rusdianasari, Jaksen, Taqwa A, Wijarnako Y. Effectiveness of Electrocoagulation Method in Processing Integrated Wastewater Using Aluminum and Stainless Steel Electrodes. In : IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series; IOP.; 2019.
- [17] Elabbas S, Ouazzani N, Mandi L, Berrekhis F, Perdicakis M, Pontvianne S, Leclerc J. Treatment of highly concentrated tannery wastewater using electrocoagulation: Influence of the quality of aluminium used for the electrode. *Journal of Hazardous Materials*; 2015; 319:69–77.
- [18] Ridantami V, Wasito B, Prayitno. Pengaruh Tegangan Dan Waktu Pada Pengolahan Limbah Radioaktif Uranium Dan Torium Dengan Proses Elektrokoagulasi. *Jurnal Forum Nuklir*; 2016; 10(2):102-107.