

## PENGOLAHAN PRIMER LIMBAH TEKSTIL DENGAN ELEKTROKOAGULASI DAN ANALISA BIAYA OPERASI

Lieke Riadi<sup>\*)</sup>, Whenny Ferydhiwati, dan Liok Dimas Sanjaya Loeman

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Surabaya

Jl. Raya Kalirungkut, Surabaya, 60292

<sup>\*)</sup>Penulis korespondensi: lieke@ubaya.ac.id

### Abstract

**PRIMARY TREATMENT FOR TEXTILE WASTE WATER BY ELECTROCOAGULATION AND OPERATING COST ANALYSIS.** *Waste water from textile industry which is located in one suburb of Surabaya city has characteristic which the ratio of COD to BOD was 5.57. This type of waste water is difficult to be biodegraded. This study investigated electrocoagulation technology to treat textile waste water by removing color, total suspended solid, and Chemical Oxygen Demand. Batch experiment at room temperature was carried out to study the effect of pH, electrode distance on color, TSS, and COD removal. This study also tried to compare the operation cost between electrocoagulation and chemical processes. The best removal efficiencies by Al electrodes was 91.96% for color, 49.17% for TSS and 29.67% for COD which were under initial pH 4.0 and electrodes distance 2 cm. The optimum operation time for color removal was found 10 minutes. The COD degradation rate was  $r_{COD} = -0.0053 C$ , with  $C = \text{COD concentration}$ . Sludge result from electrocoagulation was 3.4% less than that by chemical treatment. The operation cost for electrocoagulation is 52.35% less than that for chemical coagulation.*

**Keywords :** *color removal; degradation rate of COD; electrocoagulation; textile waste water; TSS removal*

### Abstrak

*Limbah industri tekstil di area pinggir kota Surabaya mempunyai karakteristik dengan perbandingan COD dan BOD = 5.57. Limbah jenis ini sulit untuk dibiodegradasi. Studi ini mempelajari teknologi elektrokoagulasi untuk mengolah limbah tekstil dengan menghilangkan warna, Total Suspended Solid (TSS) dan Chemical Oxygen Demand (COD). Percobaan Batch pada suhu kamar dilakukan untuk mempelajari pengaruh pH, jarak elektroda pada penghilangan warna, TSS dan COD dan membandingkan biaya operasinya jika menggunakan pengolahan kimia. Efisiensi penghilangan tertinggi untuk warna (91,96%), TSS (49,17%), dan COD (29,67%) terjadi pada pH awal 4.0 dan jarak elektroda 2 cm dengan elektroda Al/Al. Waktu optimum penghilangan warna adalah 10 menit. Laju penurunan COD adalah  $r_{COD} = - 0,0053 C$ , dengan C adalah konsentrasi COD. Jumlah sludge yang dihasilkan dari pengolahan elektrokoagulasi 3,4% lebih sedikit dibandingkan menggunakan bahan kimia. Biaya yang digunakan untuk pengolahan dengan elektrokoagulasi 52,35% lebih murah dibandingkan jika menggunakan koagulasi dengan bahan kimia (tawas).*

**Kata kunci :** *penurunan warna; laju degradasi COD; elektrokoagulasi; limbah tekstil; penurunan TSS*

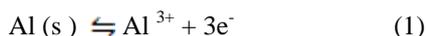
**How to Cite This Article:** Riadi, L., Ferydhiwati, W., dan Loeman, L.D.S., (2014), Pengolahan Primer Limbah Tekstil dengan Elektrokoagulasi, Reaktor, 15(2), 73-78, <http://dx.doi.org/10.14710/reaktor.15.2.73-78>

### PENDAHULUAN

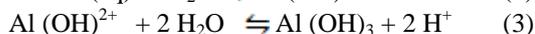
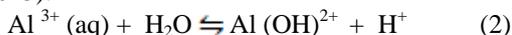
Air limbah industri tekstil yang banyak melibatkan proses pewarnaan benang mempunyai kandungan warna yang cukup besar dan sangat mengganggu lingkungan jika dibuang ke badan air. Limbah jenis ini umumnya mempunyai perbandingan COD/BOD lebih besar dari 6. Perbandingan COD/BOD yang cukup besar ini menyebabkan limbah

jenis ini sulit dibiodegradasi. Limbah cair di salah satu industri pewarnaan benang di area pinggiran kota Surabaya memiliki kandungan COD sebesar 1700 ppm dalam pH 8,62-11,4 dengan kandungan TSS (*Total Suspended Solid*) sebesar 17180 ppm dan memiliki BOD sebesar 250 ppm (Riadi, 2013). Limbah yang banyak mengandung zat warna tekstil ini beracun, karsinogen dan dapat menyebabkan mutagen

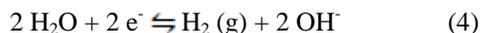
pada biota air (Yuksel dkk., 2012). Kandungan COD pada limbah industri tekstil yang diijinkan untuk dibuang ke badan air menurut Keputusan Gubernur Jawa Timur nomor 45 tahun 2002 dalam air yaitu, untuk COD : 150 mg/l sedangkan BOD : 50 mg/l. Beberapa metode yang dilakukan untuk mengolah limbah industri tekstil seperti adsorpsi, koagulasi dan flokulasi, dan oksidasi kimiawi (Jia dkk., 1999). Akhir-akhir ini, banyak penelitian yang menggunakan elektrokoagulasi untuk mengolah air limbah sintesis (Yuksel dkk., 2012; Alaton dkk., 2002) yang digunakan sebagai *primary treatment*. Elektrokoagulasi mulai dipilih karena mengurangi jumlah *sludge* yang dihasilkan dan efektif untuk menghilangkan warna dan COD, dan dipertimbangkan lebih murah dibandingkan pengolahan secara kimiawi pada pengolahan primer. Pengendapan secara kimiawi sebagai pengolahan awal ini menimbulkan *sludge* dalam jumlah cukup besar, juga air limbah akan mengandung bahan kimia yang berbahaya bila masuk ke badan air (Siregar, 2005). Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh pH dan jarak elektroda Al/Al pada efisiensi penghilangan TSS (*Total Suspended Solid*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), dan warna untuk limbah tekstil. Di samping itu, laju penurunan COD pada proses elektrokoagulasi dipelajari dan biaya operasi antara elektrokoagulasi dan koagulasi dengan bahan kimia juga dianalisa. Bahan elektroda yang umum digunakan pada elektrokoagulasi adalah alumunium dan besi. Jika Alumunium digunakan, oksidasi alumunium menghasilkan  $Al^{3+}$  yang terhidrolisa membentuk hidroksida dan ini tergantung pada pH (Yuksel dkk., 2012). Reaksi yang terjadi (dengan logam Al/Al sebagai anoda dan katoda) adalah sebagai berikut :  
Anoda - Al :



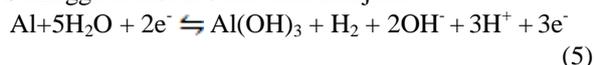
karena  $Al^{3+}$  punya kelarutan yang rendah pada pH netral, maka  $Al(OH)_3$  akan mengendap secara homogen melalui proses sebagai berikut (Mochelhoff dkk., 2013):



Katoda- Al :



Sehingga reaksi keseluruhan menjadi:



Ion-ion  $Al^{3+}$  dan  $OH^{-}$  yang dihasilkan dari reaksi elektroda (reaksi 1 dan 4), bereaksi untuk membentuk berbagai species polimer hydroxo dan monomer hydroxo, yang akhirnya diubah menjadi  $Al(OH)_3$  sesuai dengan kinetika pengendapan yang kompleks. Dari reaksi tersebut akan dihasilkan gas, buih, dan flok  $Al(OH)_3$  pada anoda. Metode *electrocoagulation* ini sudah dilakukan untuk zat warna pada industri tekstil dengan 81% penghilangan COD dan 97% penghilangan TSS yang menggunakan

elektroda Al/Al (Yuksel dkk., 2012). Metode ini juga digunakan pada air buangan hasil pencucian *container* yang mengangkut bahan kimia cair, dengan 80% penghilangan COD dan 92% penghilangan warna yang menggunakan elektroda Fe/Al (Kara, 2013).

## METODE PENELITIAN

### Percobaan *Batch* dengan Elektrokoagulasi

Percobaan elektrokoagulasi dilakukan pada sebuah reaktor *flexi glass* dengan dimensi reaktor adalah 120 x 120 x 100 mm<sup>3</sup>. Elektroda (anoda dan katoda) yang digunakan adalah Al/Al (tipe Al 1100) dengan ukuran 8 cm x 8 cm dan tebal 2 mm. Elektroda dihubungkan dengan DC *Power Supply* dengan voltase alat dijaga pada 10 volt. pH percobaan diamati dengan pH *probe*. *Conductivity meter* digunakan untuk mengukur konduktivitas limbah. Reaktor yang berisi limbah 800 mL diaduk dengan *magnetic bar* yang berukuran 40 mm. Percobaan dilakukan pada suhu kamar. Jarak elektroda diatur pada 2, 3, dan 4 cm dan pH awal diatur untuk pH 4, 5, 6, dan 7.

### Analisa Warna, TSS, dan COD

Analisa untuk warna dilakukan dengan menggunakan UV-Vis *spectrophotometer* pada panjang gelombang 655 nm. Analisa untuk *total suspended solid* (TSS) dilakukan dengan metode berat kering di dalam oven pada suhu 105°C selama 2 jam. Analisa COD dilakukan dengan menggunakan reagen pereaksi COD yang terdiri dari kalium bikromat dan larutan asam sulfat yang sudah dicampur dengan  $Ag_2SO_4$  dan dipanaskan pada reaktor COD 148°C selama 2 jam (Clesceri dkk., 1998). Pengukuran COD dilakukan dengan menggunakan *spectrophotometer* dengan panjang gelombang 620 nm.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Limbah tekstil yang digunakan mempunyai karakteristik limbah seperti terlihat pada Tabel 1.

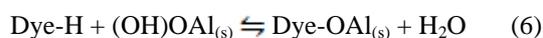
Tabel 1. Karakteristik limbah tekstil yang digunakan pada percobaan

Parameter	Besaran
pH	10,7
COD	1280 ppm
BOD	230 ppm
TSS	7200 ppm
Konduktivitas	7,12-7,77 mS/cm

### Pengaruh Jarak Elektroda (Al-Al) pada Penghilangan TSS (*Total Suspended Solid*), COD dan Warna

Ada 3 proses yang terjadi selama proses elektrokoagulasi : 1) reaksi elektrolitik pada permukaan elektroda; 2) pembentukan koagulan pada fasa *aqueous*; 3) adsorpsi polutan terlarut atau koloidal ke koagulan dan penghilangannya menggunakan sedimentasi atau flotasi dari flok-flok ketika gelembung  $H_2$  dihasilkan oleh katoda. Reaksi (1) adalah reaksi oksidasi yang terjadi pada anoda, reaksi (4) merupakan reaksi reduksi yang dihasilkan dari

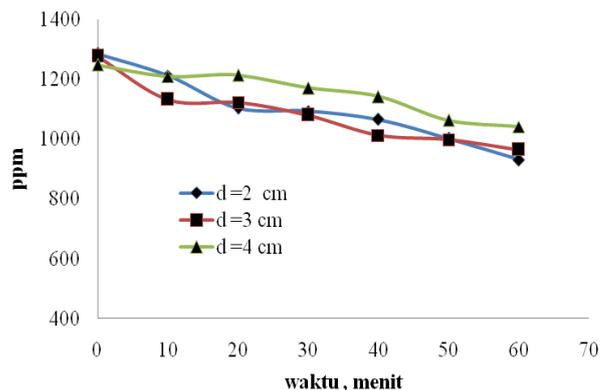
reduksi air pada katoda. Ion ion yang dihasilkan oleh reaksi (1) dan (4) akan menetralkan muatan muatan polutan dan menginisiasi koagulasi.  $Al^{3+}$  juga bereaksi dengan ion ion hidrogen, yang membentuk spesies spesies monomer dan polimer dari Al-hidroksida. Apabila jarak elektroda (d) semakin kecil, arus listrik akan semakin besar. Dengan semakin besar arus listrik, larutnya anoda akan naik, sehingga jumlah kompleks “*hydroxo cationic*” akan naik dan menyebabkan TSS dan zat warna yang ada akan membentuk gumpalan yang lebih besar dengan terbentuk flok yang lebih banyak dan mengakibatkan jumlah *sludge* akan lebih banyak, sehingga TSS yang dihilangkan juga lebih banyak (Tabel 2). Polutan yang merupakan zat warna tersebut akan membentuk ligands yang mengikat pada aluminium hidroksida dengan reaksi sebagai berikut (Dalvand dkk., 2011) :



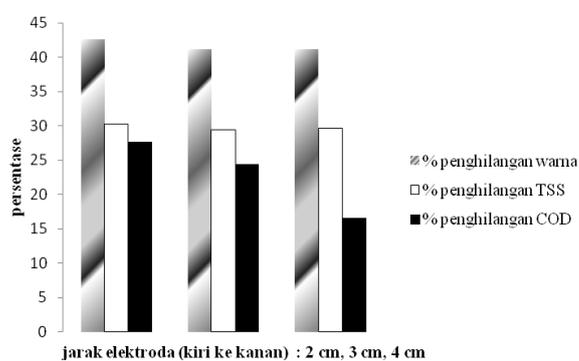
Dengan terikatnya zat warna pada proses elektrokogulasi, maka konsentrasi COD yang terdapat pada limbah juga akan menurun.

Penghilangan warna, TSS, dan COD mempunyai pola yang sama, semakin dekat jarak elektroda, penghilangan warna, TSS dan COD semakin tinggi (Gambar 1 dan Gambar 2). Karena semakin jauh jarak antara elektroda maka reaksi ionisasi antar elektroda akan semakin lambat sehingga penurunan COD tidak akan efektif (Khandegar dan Saroha, 2013). Dengan pH awal limbah diatur pada pH 7,0, efisiensi penghilangan TSS, warna dan COD yang terbaik dilakukan dengan jarak elektroda 2 cm.

Dari Gambar 2 dapat dijelaskan bahwa elektrokoagulasi yang paling efektif adalah pada penghilangan warna, diikuti dengan TSS dan COD. Dengan demikian zat warna akan berfungsi sebagai ligands dan melakukan ikatan kimiawi dengan “*hydrous aluminium*” seperti pada reaksi (6).



Gambar 1. Profil penurunan COD pada berbagai jarak elektroda dan pH awal 7



Gambar 2. Persentase penurunan intensitas warna, TSS, dan COD pada pH awal 7.0

### Pengaruh pH pada Penghilangan TSS (Total Suspended Solid), COD, dan Warna

Pada proses elektrokoagulasi terbentuk  $Al(OH)_3$  yang bersifat basa pada reaksi oksidasi dan reduksi secara keseluruhan, maka pH limbah mengalami kenaikan. Untuk limbah dengan pH awal 4, 5, 6, dan 7 mengalami kenaikan berturut turut sampai pH 8, 9, 1, 10, 6, dan 12 dalam waktu 60 menit.

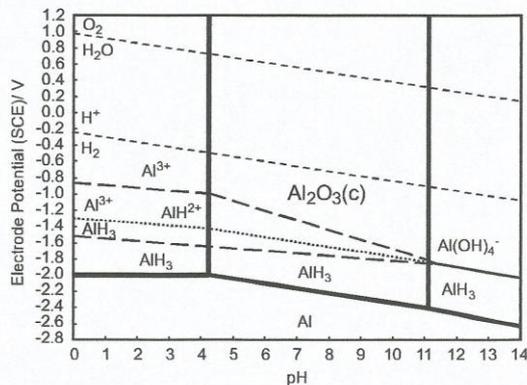
Tabel 2. Persentase penghilangan TSS, intensitas warna dan COD pada berbagai jarak elektroda dengan pH awal 7

Jarak elektroda (cm)	Persentase penurunan TSS (%)	TSS akhir (mg/L)	Sludge yang terbentuk (g)	Persentase penurunan intensitas warna (%)	Persentase penurunan COD (%)
2	30,28	5020	1,985	42,57	27,65
3	29,4	5080	1,953	41,14	24,47
4	29,72	5060	1,979	41,17	16,56

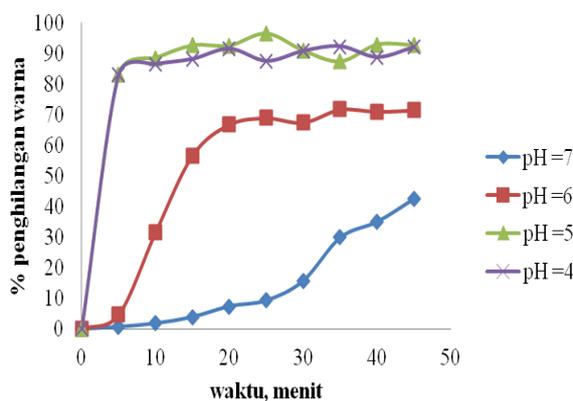
Tabel 3. Persentase penghilangan TSS, intensitas warna dan COD pada berbagai pH awal dengan jarak elektroda 2 cm

pH awal	Persentase penurunan TSS (%)	TSS akhir (mg/L)	Sludge yang terbentuk (g)	Persentase penurunan warna (%)	Persentase penurunan COD (%)
4	49,17	3660	2,043	91,96	29,67
5	47,22	3800	2,024	92,74	28,32
6	33,61	4780	2,013	71,51	26,78
7	30,28	5020	1,985	42,57	27,65

Dari Tabel 3 dapat dilihat jika pH semakin kecil, maka penghilangan TSS, warna, dan COD semakin baik. Hal ini dapat dijelaskan bahwa pada pH yang lebih kecil dari 4,7,  $Al^{3+}$  akan banyak terbentuk sesuai dengan diagram potensial pH untuk Al-H<sub>2</sub>O seperti nampak pada Gambar 3. Efisiensi tertinggi untuk penghilangan TSS, warna dan COD ditemukan pada pH 4.0 dengan jarak elektroda 2 cm, dengan penghilangan TSS, warna dan COD berturut turut adalah 49,17%; 91,96% dan 29,67%. Profil persentase penghilangan warna untuk jarak elektroda 2 cm pada berbagai pH awal dapat dilihat pada Gambar 4. Dalam waktu 10 menit pertama, proses penghilangan warna sudah terjadi dengan % penghilangan mencapai hampir 90%, kondisi ini terjadi pada pH 4 dan 5 dengan jarak elektroda 2 cm. Pola penghilangan yang paling efektif dengan metoda elektrokoagulasi ini adalah penghilangan warna, yang diikuti dengan penghilangan TSS dan baru kemudian penghilangan COD seperti nampak pada Gambar 5.



Gambar 3. Hubungan pH dan potensial untuk Al-H<sub>2</sub>O (Mechelhoff dkk, 2013)

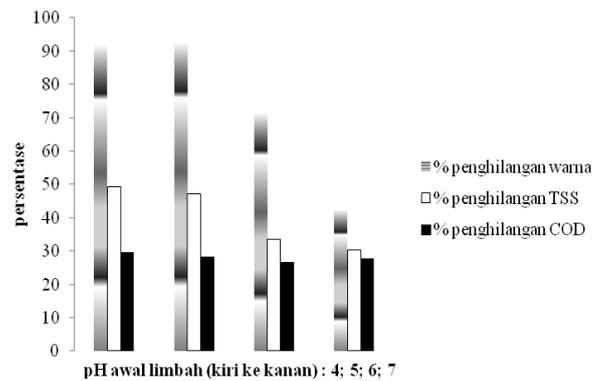


Gambar 4. Profil penghilangan warna pada berbagai variasi pH dan jarak elektroda 2 cm

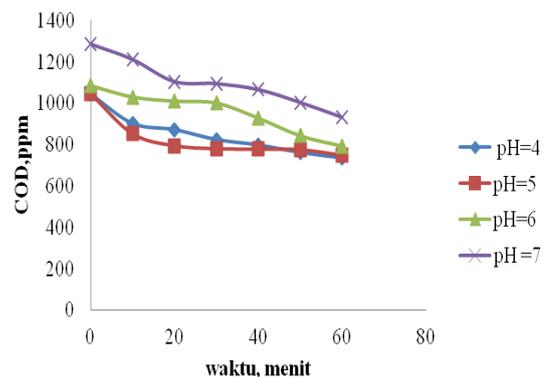
**Laju Penurunan COD (Chemical Oxygen Demand)**

Jika reaksi degradasi COD diasumsikan orde satu, maka konstanta laju penurunan COD dapat dicari dengan model reaksi orde satu sistem batch :  $dC/dt = -kd.C$ , dengan C = konsentrasi COD. Dengan menggunakan metode integrasi, dapat dilakukan plotting kurva  $\ln C/Co$  sebagai sumbu y dan t sebagai

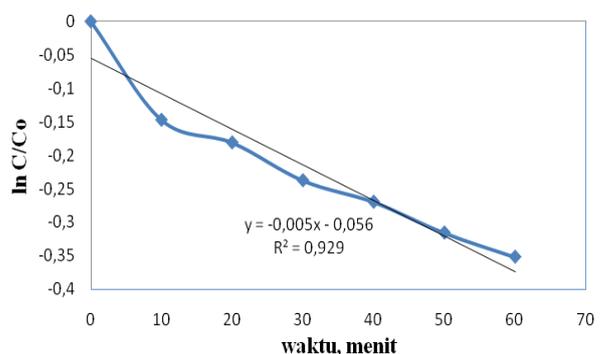
sumbu x. Dari hasil plotting akan didapat persamaan  $y = ax + b$  dimana nilai a merupakan nilai kd (konstanta laju degradasi). Gambar 6 menunjukkan bahwa penurunan COD yang terbaik terjadi pada pH awal 4, dan Gambar 7 menunjukkan hasil plotting kurva  $\ln C/Co$  terhadap waktu bahwa kinetika degradasi COD dengan pH awal 4, mengikuti orde satu.



Gambar 5. Profil penghilangan warna, TSS dan COD pada berbagai pH awal dengan jarak elektroda 2 cm



Gambar 6. Profil penurunan COD pada berbagai pH awal



Gambar 7. Profil laju penurunan COD, d =2 cm dan pH awal=4

Dengan menggunakan model regresi diperoleh besarnya konstanta degradasi COD limbah tekstil pada pH awal = 4 dan jarak elektroda 2 cm adalah 0,0053 (1/menit), dengan laju degradasi adalah :  $r_{COD} = [-0,0053C]$  (mg)/(liter menit), dengan C adalah

konsentrasi COD. Laju penurunan COD dihitung pada kondisi penghilangan COD yang terbaik, seperti tertulis pada Tabel 3.

**Perhitungan Biaya Operasi pada Penghilangan TSS dengan Elektrokoagulasi Dibandingkan dengan Chemical Treatment**

Total Suspended Solid yang dihilangkan dengan metode elektrokoagulasi berupa sludge yang terbaik diperoleh pada kondisi pH awal 4,0 dan jarak elektroda 2 cm dengan jumlah 2,043 gram. Perbedaan sludge yang dihasilkan untuk mengolah limbah dengan volume yang sama (800 mL) antara metode elektrokoagulasi dan metode kimiawi (menggunakan tawas) 3,4% lebih sedikit jika menggunakan metode elektrokoagulasi. Jumlah sludge yang dihasilkan jika menggunakan tawas sebagai koagulan adalah 2,115 gram. Perbedaan ini disebabkan karena sludge yang dihasilkan dengan elektrokoagulasi mengandung ikatan air yang lebih sedikit dan tidak ada sulfat yang ikut mengendap sebagai sludge. Pada penelitian ini, jumlah alumunium yang digunakan juga diamati. Penurunan massa alumunium dipengaruhi oleh besarnya arus listrik dan lamanya waktu elektrokoagulasi. Dari persamaan (7) dapat diketahui bahwa semakin besar jarak elektroda (d) maka jumlah alumunium yang terlarut semakin kecil.

$$w = \frac{V.A.t.Mr}{n.F.d.\rho} \quad (7)$$

Tabel 4 menunjukkan jumlah alumunium terlarut (yang terpakai) untuk koagulasi total suspended solid dengan kondisi operasi jarak antar elektroda 4 cm jumlahnya lebih sedikit dibandingkan pada jarak antar elektroda 2 dan 3 cm. Demikian juga dengan pH yang lebih rendah, jumlah Alumunium yang membentuk Al<sup>3+</sup> akan lebih banyak (Gambar 3). Arus yang digunakan pada elektrokoagulasi pada kondisi pH awal 4,0 dan jarak elektroda 2 cm, adalah 1,78 Ampere. Konsumsi listrik yang digunakan adalah 1,78 ampere x 10 volt = 17,8 VA = 0,018 KVA = 0,018 KW. Dengan waktu operasi optimum untuk menghilangkan warna 10 menit, maka besaran energi yang digunakan adalah 0,003 KWh. Dengan tarif Rp. 1496 per KWh, maka biaya yang digunakan untuk menghilangkan TSS dan warna sebesar Rp. 4,5,- untuk 800 mL limbah. Pemakaian energi listrik yang digunakan adalah 0,003 KWh/2,043 gram suspended solid atau 0,0015 KWh/gram suspended solid yang dihilangkan. Alumunium yang digunakan adalah 1,2 gram untuk 800 mL limbah, harga Alumunium per gram Rp. 50,-. Biaya yang dikeluarkan Rp. 60,-. Jumlah HCl 1 M yang digunakan untuk membuat pH =4 dari pH awal limbah 10 adalah sebanyak 0,8 mL untuk 800 mL limbah. Biaya yang dibutuhkan untuk menurunkan pH sampai pH = 4,0 adalah Rp. 0,3,-. Total biaya yang dibutuhkan untuk mengolah limbah (800 mL) dengan elektrokoagulasi Rp. 64,8,-

Tabel 4 Massa alumunium yang terpakai

Jarak antar elektroda (cm)	pH awal	Massa Alumunium yang terpakai (gram)
2	4	1,1990
	5	1,1187
	6	1,0221
	7	1,1302
3	7	0,7438
	4	0,7128

Jika dibandingkan dengan menggunakan koagulasi (Alumunium sulfat/tawas), dibutuhkan 40 ml tawas 10 % untuk limbah 800 ml pada kondisi operasi yang sama, sludge yang terbentuk sebesar 1,321 gram. Dengan harga tawas Rp 3000/kg, maka biaya pemakaian tawas Rp. 12,- untuk 800 mL limbah. Biaya listrik yang digunakan untuk pengadukan 800 mL limbah selama 20 menit untuk 250 watt (0,083 KWh) adalah sebesar Rp. 124,-. Total biaya yang dibutuhkan untuk mengolah 800 mL limbah adalah Rp. 136,-

Dengan demikian biaya yang digunakan untuk menghilangkan warna dan TSS untuk limbah tekstil jika menggunakan pengolahan kimiawi 52,35% lebih mahal jika dibandingkan dengan menggunakan elektrokoagulasi.

**KESIMPULAN**

Metode elektrokoagulasi yang paling efektif untuk pengolahan limbah tekstil adalah penghilangan warna, kemudian diikuti dengan penghilangan TSS dan COD. Efisiensi penghilangan yang terbesar terjadi pada penghilangan warna, dan diikuti dengan penghilangan TSS dan penghilangan COD. Proses ini terjadi pada berbagai pH awal percobaan yaitu : 4, 5, 6, dan 7. Urutan efektifitas penghilangan warna, TSS dan COD ini juga terjadi konsisten pada berbagai jarak elektroda yang digunakan sebagai parameter percobaan. Kondisi operasi yang terbaik untuk penghilangan warna, TSS, dan COD terjadi pada pH awal 4,0 dan jarak elektroda 2 cm. Waktu operasi optimum untuk penghilangan warna adalah 10 menit. Laju penurunan COD pada kondisi pH awal 4,0 dan jarak elektroda 2 cm adalah : r<sub>COD</sub> = [- 0.0053C] (mg)/(liter menit). Jumlah sludge yang terbentuk dari pengolahan 800 mL limbah tekstil dengan teknologi elektrokoagulasi 3,4% lebih sedikit jika dibandingkan dengan koagulasi menggunakan bahan kimia. Biaya operasi untuk mengolah limbah dengan elektrokoagulasi 52,35% lebih murah dibandingkan dengan koagulasi dengan bahan kimia.

**Daftar Notasi**

- w = berat alumunium yang larut (gram)
- V = tegangan (Volt)
- t = waktu proses (detik)
- Mr = berat molekul alumunium, yaitu 27 g/mol
- n = valensi alumunium, yaitu 3
- F = konstanta Faraday, 96500 coulomb/mol
- D = jarak antara elektroda
- ρ = tahanan jenis (ohm.cm)

A = luas elektroda (cm<sup>2</sup>)

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas hibah penelitian internal yang diberikan oleh Universitas Surabaya melalui surat tugas 036/Lit/LPPM-01/FT/IV/2014.

#### DAFTAR PUSTAKA

Alaton, I.A., Balcioglu, I.A., and Bahnewann, D.W., (2002), Advanced Oxidation of Reactive Dye bath Effluent: Comparison of O<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O/UV-C and TiO<sub>2</sub>/UV-A process, *Water Research*, 36, pp. 1143-1154.

Clesceri, L.S., Arnold, A., Greenberg E., and Eaton, D., (1998), *Standard Method for the Examination of Water and Waste Water*, 20<sup>th</sup> ed., pp.5-17.

Dalvand, A., Gholami, M., Joneidi, A., and Mahmoodi, N.M., (2011), Dye Removal, Energy Consumption and Operating Cost of Electrocoagulation of Textile Wastewater as A Clean Process, *Clean-Soil, Air, Water*, 39(7), pp. 665-672.

Jia, J., Yang, J., Liao, J., Wang, W., and Wang, Z., (1999), Treatment of Dyeing Wastewater with ACF Electrodes, *Water Research*, 33, pp. 881-884.

Kara, S., (2013), Treatment of transport container washing wastewater by electrocoagulation, *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 32 (2), pp. 249-256.

Khandegar, V. and Saroha, A.K., (2013), Elektrocoagulation for The Treatment of Textile Industry Effluent – A review, *Journal of Environmental Management*, 128, pp. 949-963.

Mochelhoff, M., Kelsall, G.H., and Graham, N.J.D., (2013), Electrochemical Behavior of Aluminium in Electrocoagulation Process, *Chemical Engineering Science*, 95, pp. 301-312.

Riadi, L., (2013), Pengolahan Limbah Pewarnaan Benang, *Laporan Pengabdian pada Masyarakat*, Universitas Surabaya, pp.1-11.

Siregar, S.A., (2005), *Instalasi Pengolahan Air Limbah*, ed. 1, Kanisius, Yogyakarta, pp. 94-95.

Yuksel, E., Gurbulak, E., and Eyvaz, M., (2012), Decolorization of a Reactive Dye Solution and Treatment of a Textile Wastewater by Electrocoagulation and Chemical Coagulation: Techno-Economic Comparison, *Environmental Progress and Sustainable Energy*, 31(4), pp. 524-535.