



Terbit online pada laman web jurnal : <http://jurnaldampak.ft.unand.ac.id/>

Dampak: Jurnal Teknik Lingkungan Universitas Andalas

| ISSN (Print) 1829-6084 | ISSN (Online) 2597-5129 |



Artikel Penelitian

Elektrokoagulasi untuk Penurunan Kadar Kromium (Cr), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Total Suspended Solid* (TSS) pada Limbah Industri Penyamakan Kulit di Singosari Kabupaten Malang

Tunggul Sutanhaji^a, Bambang Suharto^a, Shofiyunniswah^a

^aTeknik Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya

Email : tunggulsutanhaji@yahoo.com

A B S T R A C T

The chromium compounds in the leather tannery wastewater come from the leather tanning process, which is uses 60-70% chromium sulphate compound. Electrocoagulation process generally uses aluminum or iron electrode which can act as sacrificial electrode (electrode acting as anode and cathode). The purposes of this research were to investigate the the removal of Chromium (total Cr), Chemical Oxygen Demand (COD) and Total Suspended Solid (TSS), to find the optimum voltage and contact time in Total Chromium, COD and TSS in tannery wastewater. Method used was the laboratorial method with descriptive data analysis. Mathematical model used was experimental model. Aluminium the plate with 15 cm length and 7 cm width electrodes with voltage variation that are 6, 12, and 24 Volt. The contact time variation were 20, 40, and 60 second. The observation parameter were Total Chromium, COD and TSS in triplicate. The results showed the quality standards parameter Total Chromium, COD and TSS reached at contact time 70 second by extrapolation. The most optimal electrocoagulation process of tannery wastewater in reducing total Total Chromium, COD and TSS concentrations occurred at 24 Volt with contact time 70 second. The removal efficiency of Total Chromium, COD and TSS were 99,99%; 97,33%; and 84,89%. The energy requirement at the time of 24 Volt voltage and contact time of 70 second, was 0.056 KWH. Determination test value (R^2) for each parameter by to the voltage has a value range from 0.961314 to 1.

Keywords : COD, Electrocoagulation Method, Tannery Wastewater, Total Chromium, TSS

A B S T R A K

Industri penyamakan kulit yang proses produksinya menggunakan kromium sulfat 60-70% berpotensi mencemari lingkungan sekitar pabrik melalui pembuangan limbah cairnya. Salah satu metode yang efektif untuk pengolahan limbah cair penyamakan kulit adalah dengan metode elektrokoagulasi. Proses elektrokoagulasi umumnya menggunakan elektroda aluminium ataupun besi yang dapat berperan sebagai *sacrificial electrode* (elektroda yang berperan sebagai anoda dan katoda). Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui penurunan kadar Kromium (Cr total), *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Total Suspended Solid* (TSS) pada limbah cair penyamakan kulit dengan menggunakan metode elektrokoagulasi, serta mengetahui tegangan dan waktu kontak yang optimum dalam menurunkan kadar logam Kromium (Cr total), *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Total Suspended Solid* (TSS). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode laboratorik dengan menggunakan analisis data grafik nomograf. Metode elektrokoagulasi menggunakan aluminium sebagai plat elektroda dengan variasi tegangan 6 Volt, 12 Volt, dan 24 Volt, serta variasi waktu kontak 20 menit, 40 menit, dan 60 menit. Parameter yang diamati, yaitu logam krom total (Cr total), TSS, dan COD dengan 3 kali pengulangan. Proses elektrokoagulasi limbah cair penyamakan kulit paling optimal dalam menurunkankonsentrasi logam krom total (Cr total), TSS, dan COD terjadi pada tegangan 24 Volt dengan waktu kontak 70 menit. Persentase efisiensi *removal* pada logam krom total (Cr total) sebesar 99,99%. Persentase efisiensi *removal* pada TSS sebesar 84,89%; sedangkan % (persen) efisiensi *removal* pada COD sebesar 97,33%. Kebutuhan energi yang dibutuhkan pada saat tegangan 24 Volt dengan waktu kontak 70, yaitu 0,056 KWH. Nilai uji determinasi (R^2) untuk masing-masing parameter yang di uji dengan variasi besarnya tegangan memiliki nilai range 0.961314 hingga 1.

Kata Kunci : Elektrokoagulasi, Limbah Cair Penyamakan Kulit, Logam Krom, COD, TSS

1. PENDAHULUAN

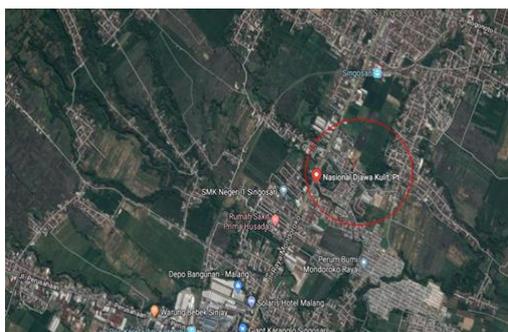
Air merupakan kebutuhan yang utama bagi semua makhluk hidup. Namun, seiring dengan kemajuan teknologi yang meningkat dan kegiatan industri yang berkembang akan membawa dampak positif dan dampak negatif bagi lingkungan maupun manusia. Limbah industri mengandung beberapa racun dan senyawa kimia yang sangat berbahaya apabila dibuang pada lingkungan dan menyebabkan pencemaran pada air. Salah satunya adalah industri penyamakan kulit yang dapat menyebabkan penurunan kualitas air karena tercemar oleh logam berat yang terkandung dalam limbah industri tersebut. Salah satu logam berat yang terkandung dalam limbah industri penyamakan kulit adalah kromium (Cr). Senyawa kromium (Cr) dalam limbah cair penyamakan kulit berasal dari proses penyamakan kulit, dimana dalam proses penyamakan kulit menggunakan senyawa kromium sulfat berkisar antara 60-70 %.

Berdasarkan permasalahan tersebut perlu dilakukan suatu penelitian untuk menghasilkan kualitas air limbah yang memenuhi baku mutu, sehingga diperlukan suatu metode pengolahan limbah yang inovatif, murah dan efektif dalam menurunkan parameter-parameter pencemar sebelum limbah industri tersebut dibuang ke lingkungan. Salah satu metode pengolahannya adalah metode elektrokoagulasi. Elektrokoagulasi dengan prinsip mengalirkan arus listrik dari anoda menuju katoda, dimana kedua elektroda ini akan menarik zat pencemar menjadi flok yang dengan mudah dapat diendapkan dan dipisahkan.

2. METODOLOGI

Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan dari bulan Februari 2018 - Mei 2018. Lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 1. Lokasi penelitian berada di Laboratorium Teknik Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya, Malang, yang berada pada 7057'11" LS dan 112036'55" BT. Lokasi pengujian berada di Perusahaan Umum (PERUM) Jasa Tirta I, Jalan Surabaya No 2A, Malang.



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Sampel Limbah Cair Penyamakan Kulit.

Alat dan Bahan

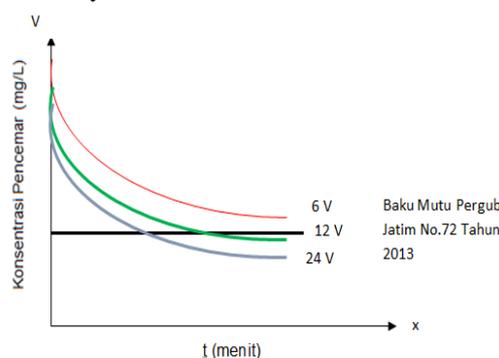
Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah jerigen, stop kontak, adaptor universal 2 A, plat elektroda (15 cm x 7 cm), beaker glass 1 L, penjepit buaya, botol sampel, kertas saring whatmann no 41, stopwatch, limbah cair penyamakan kulit.

Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental laboratorik dengan menggunakan analisis data grafik nomograf. Penelitian ini menggunakan perlakuan besaran tegangan 6 V, 12 V dan 24 V yang diberikan pada reaktor dengan waktu pengamatan 20 menit, 40 menit, dan 60 menit. Parameter yang akan diuji, yaitu COD, TSS, dan logam krom total. Proses pengolahan limbah cair penyamakan kulit menggunakan metode elektrokoagulasi dengan sistem *batch* (aliran diam). Penelitian kali ini dilakukan dalam skala laboratorium dengan tiga kali pengulangan. Penurunan parameter (COD, TSS, dan logam krom total) pada penelitian ini dapat dibuat dalam suatu model persamaan yang menghubungkan perubahan konsentrasi polutan terhadap perubahan arus listrik yang secara matematik diperoleh dengan menggunakan rumus :

$$y = b + (y_0 - b)e^{-kt} \quad (1)$$

Berdasarkan Persamaan 1 dapat diketahui kadar presentase pencemar (COD, TSS, dan logam krom total) di setiap waktunya. Konstanta kinematik didapatkan dari Persamaan 1 yang telah diketahui konsentrasi pencemar, kemudian pengolahan (x) pada waktu di tegangan yang telah ditentukan. Maka, dapat diketahui konstanta kinematik (k) pada masing-masing tegangan listrik yang telah ditentukan (6 V, 12 V dan 24 V) untuk digunakan sebagai bentuk dari masing-masing kurva tegangan pada grafik nomograf (Gambar 2) yang berada dibawah batas baku mutu dengan nilai toleransinya 10% dibawah baku mutu.



Gambar 2. Grafik Nomograf

Tahapan Pelaksanaan

Bak elektrokoagulasi pada saat penelitian menggunakan *beaker glass* dengan volume 1 Liter. Plat elektroda terdiri dari 1 buah anoda dan 1 buah katoda yang masing-masing

terbuat dari bahan aluminium (panjang 15 cm dan lebar 7 cm). Jarak antar elektroda yang digunakan adalah 2 cm. Tahap pelaksanaan, dimulai dengan limbah cair penyamakan kulit diencerkan dengan perbandingan 1:4. Setelah limbah cair penyamakan kulit diencerkan, kemudian dihomogenkan terlebih dahulu ke dalam *beaker glass* volume 1 Liter sebanyak 27 buah (sudah termasuk 3 kali pengulangan) untuk dilakukan proses elektrokoagulasi. Setiap *beaker glass* masing-masing terisi 800 mL limbah cair penyamakan kulit. Proses elektrokoagulasi ini dilakukan dengan variasi waktu pengamatan 20 menit, 40 menit, dan 60 menit, serta variasi tegangan 6 V, 12 V dan 24 V. Air limbah dari hasil proses elektrokoagulasi, kemudian disaring dengan menggunakan kertas saring (whatman no 41) dan diambil sebanyak 400 mL air hasil pengolahan tersebut untuk dilakukan pengujian kualitas air (COD, TSS, dan logam krom total). Gambar 3 menunjukkan diagram alir proses elektrokoagulasi limbah cair penyamakan kulit.

Tahap Pengolahan Data

Efisiensi penurunan kadar parameter TSS, COD, dan logam Cr total dengan menggunakan rumus berikut :

$$Efisiensi = \frac{C_0 - C}{C_0} \times 100\% \quad (2)$$

Uji determinasi dapat dilakukan dengan Persamaan 3.

$$R^2 = \left(\frac{\sum y \text{ model}^2 - \sum (y \text{ model} - y \text{ eksp})^2}{\sum y \text{ model}^2} \right) \quad (3)$$

Plat elektroda yang larut dapat dihitung dengan Persamaan 4:

$$W = \frac{I \times t \times Mr}{n \times F} \quad (4)$$

Dimana :

Energi listrik yang dibutuhkan (W) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 5 dan 6.

$$\text{Daya (P)} = V \times I \quad (5)$$

$$W = P \times t \quad (6)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Limbah Cair Penyamakan Kulit

Pada penelitian ini, limbah cair penyamakan kulit yang digunakan berasal dari *effluent* poses *tanning* (penyamakan). Konsentrasi awal limbah cair penyamakan kulit hasil pengujian awal dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kualitas Limbah Cair Penyamakan Kulit

No.	Parameter	Satuan	Konsentrasi	Baku Mutu	Keterangan
1.	Logam Kom Total	mg/L	5028	0.6	TM
2.	TSS	mg/L	448.6	60	TM
3.	COD	mg/L	2977	110	TM
4.	Suhu	°C	28	-	-
5.	pH	-	3.73	6-9	TM

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium Kualitas Air PERUM Jasa Tirta I Malang.

Keterangan : TM = Tidak memenuhi baku mutu.

Pre-Treatment

Proses *pre-treatment* yang dilakukan terhadap pengolahan limbah cair penyamakan kulit dengan menggunakan pengenceran 1:4. Hasil nilai konsentrasi setelah perlakuan *pre-treatment* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kualitas Limbah Cair Penyamakan Kulit setelah *Pre-Treatment*

No.	Parameter	Satuan	Konsentrasi	Baku Mutu	Keterangan
1.	Logam Kom Total	mg/L	734.2	0.6	TM
2.	TSS	mg/L	350.2	60	TM
3.	COD	mg/L	632.8	110	TM
4.	Suhu	°C	27	-	-
5.	pH	-	4.8	6-9	TM

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium Kualitas Air PERUM Jasa Tirta I Malang.

Keterangan : TM = Tidak memenuhi baku mutu.

Proses Elektrokoagulasi Limbah Cair Penyamakan Kulit

Menurut Ringo (2013), apabila dalam suatu larutan elektrolit ditempatkan 2 elektroda dan dialiri oleh arus listrik searah, maka akan terjadi peristiwa elektrokimia (gejala dekomposisi elektrolit) yaitu ion positif (kation) bergerak ke katoda dan menerima elektron yang direduksi dan ion negatif (anion) bergerak ke anoda dan menyerahkan elektron yang dioksidasi, sehingga membentuk flok yang mampu mengikat kontaminan dan partikel-partikel dalam limbah.

Pada saat proses elektrokoagulasi, partikel-partikel dalam limbah cair penyamakan kulit berkumpul menjadi satu dan kemudian membentuk gumpalan-gumpalan kecil yang disebut dengan flok. Flok yang sudah terbentuk kemudian akan bergerak ke atas permukaan dan volume flok akan bertambah besar selama waktu kontak yang dilakukan pada saat proses elektrokoagulasi. Setelah proses elektrokoagulasi selesai, maka dilakukan pengambilan flok yang sudah terbentuk dan kemudian dilakukan penyaringan/filtrasi menggunakan kertas saring *whatman* yang digunakan untuk memisahkan flok yang masih tertinggal di dalam limbah cair penyamakan kulit tersebut. Proses elektrokoagulasi yang sedang berlangsung dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Proses Elektrokoagulasi yang Sedang Berlangsung

Logam Krom Total (Cr Total)

Pengujian nilai konsentrasi logam krom total (Cr total) dilakukan di PERUM Jasa Tirta I dengan metode APHA.2540 B-2005. Peneliti mendapatkan data rata-rata nilai konsentrasi logam krom total (Cr total) yang berasal dari 3 kali pengulangan proses elektrokoagulasi. Hasil nilai konsentrasi logam krom total (Cr total) setelah proses elektrokoagulasi dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Nilai Konsentrasi Logam Krom Total (Cr Total) setelah Proses Elektrokoagulasi

Waktu	Satuan	Tegangan		
		6 Volt	12 Volt	24 Volt
0 menit	mg/L	734,200	734,200	734,200
20 menit	mg/L	26,873	12,460	0,293
40 menit	mg/L	4,079	0,140	0,053
60 menit	mg/L	0,021	0,017	0,017

Berdasarkan hasil perhitungan nilai koefisien kinematik (k), maka diketahui persamaan model matematik pada setiap tegangan yang digunakan yaitu :

a. 6 Volt

$$y = 0,021 + 734,179 e^{-0,165 t} . \quad (7)$$

b. 12 Volt

$$y = 0,017 + 734,183 e^{-0,204 t} . \quad (8)$$

c. 24 Volt

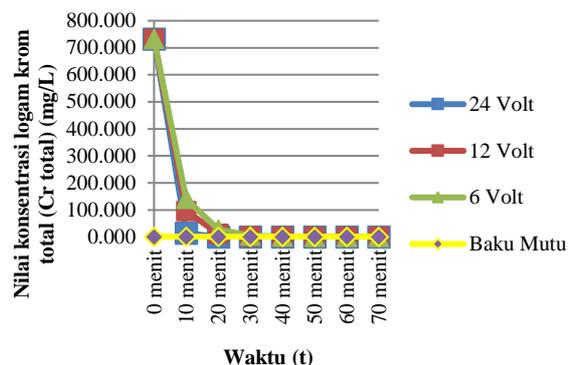
$$y = 0,017 + 734,183 e^{-0,394 t} . \quad (9)$$

Berdasarkan persamaan model matematik di atas, maka nilai konsentrasi logam krom total (Cr total) dapat diketahui di luar waktu penelitian. Nilai konsentrasi logam krom total (Cr total) limbah cair penyamakan kulit di luar waktu penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Konsentrasi Logam Krom Total (Cr Total) Limbah Cair Penyamakan Kulit berdasarkan Persamaan Model Matematik di luar Waktu Penelitian

Waktu	Satuan	Tegangan		
		6 Volt	12 Volt	24 Volt
0 menit	mg/L	734.200	734.200	734200
10 menit	mg/L	141.020	95.482	14.296
20 menit	mg/L	27.100	12.430	0.295
Waktu	Satuan	Tegangan		
		6 Volt	12 Volt	24 Volt
30 menit	mg/L	5.221	1.631	0.022
40 menit	mg/L	1.020	0.227	0.017
50 menit	mg/L	0.213	0.044	0.017
60 menit	mg/L	0.058	0.021	0.017
70 menit	mg/L	0.028	0.018	0.017

Selanjutnya, dari nilai konsentrasi tersebut dapat diketahui hubungan grafik nomograf dengan penurunan nilai konsentrasi logam krom total (Cr total) di luar waktu penelitian (Gambar 5).



Gambar 5. Hubungan Antara Konsentrasi Logam Krom Total (Cr Total) Terhadap Variasi Tegangan dan Waktu Kontak

Berdasarkan grafik nomograf pada Gambar 5, diketahui bahwa semakin lama waktu kontak dan semakin tinggi tegangan yang digunakan maka penurunan nilai konsentrasi logam krom total (Cr total) akan semakin menurun. Hal ini sesuai dengan pernyataan Yunitasari (2017) yakni pengaruh waktu dan tegangan pada metode elektrokoagulasi ini adalah semakin lama waktu kontak dan semakin besar tegangan dalam proses elektrokoagulasi, maka semakin banyak Al^{3+} yang dihasilkan dan semakin banyak $Al(OH)_3$ yang terbentuk dan bisa mengikat polutan lebih banyak. Efisiensi penurunan nilai konsentrasi logam krom total (Cr total) menggunakan metode elektrokoagulasi pada limbah cair penyamakan kulit dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Efisiensi Penurunan Konsentrasi Logam Krom Total (Cr Total) pada Limbah Cair Penyamakan Kulit

Waktu	Tegangan		
	6 Volt	12 Volt	24 Volt
10 menit	80.79%	86.99%	98.05%
20 menit	96.31%	98.31%	99.96%
30 menit	99.29%	99.77%	99.99%
40 menit	99.86%	99.96%	99.99%
50 menit	99.97%	99.99%	99.99%
60 menit	99.99%	99.99%	99.99%
70 menit	99.99%	99.99%	99.99%

Efisiensi *removal* konsentrasi logam krom total (Cr total) terbesar ditunjukkan pada tegangan 24 Volt dengan waktu kontak 70 menit, yaitu 99.99%. Efisiensi *removal* konsentrasi logam krom total (Cr total) terkecil yang dapat dicapai pada limbah cair penyamakan kulit ditunjukkan pada tegangan 6 volt dengan waktu kontak 10 menit, yaitu 80.79%. Berdasarkan data yang di dapat pada saat penelitian, efisiensi yang optimal dalam menurunkan konsentrasi logam krom total (Cr total) yaitu terdapat pada tegangan 24 volt dengan waktu kontak 70 menit. Dapat disimpulkan bahwa,

pengolahan limbah cair penyamakan kulit dengan metode elektrokoagulasi untuk menurunkan konsentrasi logam krom total (Cr total) dapat dikatakan berhasil.

Total Suspended Solid (TSS)

Pengujian nilai TSS dilakukan di PERUM Jasa Tirta I dengan metode APHA.2540 D-2005. Peneliti mendapatkan data rata-rata nilai TSS yang berasal dari 3 kali pengulangan proses elektrokoagulasi. Hasil nilai TSS setelah proses elektrokoagulasi dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Nilai TSS setelah Proses Elektrokoagulasi

Waktu	Satuan	Tegangan		
		6 Volt	12 Volt	24 Volt
0 menit	mg/L	350.200	350.200	350.200
20 menit	mg/L	307.633	239.100	165.000
40 menit	mg/L	241.333	179.667	156.367
60 menit	mg/L	132.933	65.800	39.600

Berdasarkan hasil perhitungan nilai koefisien kinematik (k), maka diketahui persamaan model matematik pada setiap tegangan yang digunakan yaitu :

a. 6 Volt

$$y = 132,933 + 217,267 e^{-0,011 t} . \quad (10)$$

b. 12 Volt

$$y = 65,800 + 284,4 e^{-0,025 t} . \quad (11)$$

c. 24 Volt

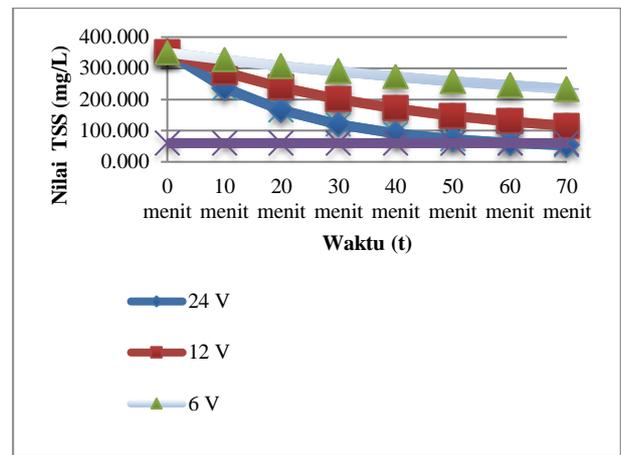
$$y = 39,600 + 310,6 e^{-0,045 t} . \quad (12)$$

Berdasarkan persamaan model matematik di atas, maka nilai TSS dapat diketahui di luar waktu penelitian. Nilai TSS limbah cair penyamakan kulit di luar waktu penelitian dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Nilai TSS limbah cair penyamakan kulit berdasarkan persamaan model matematik di luar waktu penelitian

Waktu	Satuan	Tegangan		
		6 Volt	12 Volt	24 Volt
0 menit	mg/L	350.200	350.200	350.200
10 menit	mg/L	327.568	287.291	237.647
20 menit	mg/L	307.294	238.297	165.881
30 menit	mg/L	289.131	200.141	120.120
40 menit	mg/L	272.861	170.425	90.942
50 menit	mg/L	258.285	147.282	72.337
60 menit	mg/L	245.228	129.258	60.474
70 menit	mg/L	233.530	115.221	52.910

Selanjutnya, dari nilai konsentrasi tersebut dapat diketahui hubungan grafik nomograf dengan penurunan nilai TSS di luar waktu penelitian (Gambar 6).



Gambar 6. Hubungan antara penurunan nilai TSS terhadap variasi tegangan dan waktu kontak

Berdasarkan grafik nomograf di atas, dapat dilihat bahwa semakin lama waktu kontak dan semakin tinggi tegangan yang digunakan pada proses elektrokoagulasi maka akan semakin kecil nilai TSS yang terkandung dalam limbah cair penyamakan kulit. Efisiensi penurunan nilai TSS menggunakan metode elektrokoagulasi pada limbah cair penyamakan kulit dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Efisiensi Penurunan TSS pada Limbah Cair Penyamakan Kulit

Waktu	Tegangan		
	6 Volt	12 Volt	24 Volt
10 menit	6.46%	17.96%	32.14%
20 menit	12.25%	31.95%	52.63%
30 menit	17.44%	42.85%	65.7%
40 menit	22.08%	51.33%	74.03%
50 menit	26.25%	57.94%	79.34%
60 menit	29.97%	63.09%	82.73%
70 menit	33.32%	67.1%	84.89%

Efisiensi *removal* terbesar ditunjukkan pada tegangan 24 Volt dengan waktu kontak 70 menit, yaitu 84.89%. Efisiensi *removal* TSS terkecil yang dapat dicapai pada limbah cair penyamakan kulit ditunjukkan pada tegangan 6 volt dengan waktu kontak 10 menit 6.46%. Berdasarkan data yang di dapat pada saat penelitian, efisiensi yang optimal dalam menurunkan TSS yaitu terdapat pada tegangan 24 volt dengan waktu kontak 70 menit.

Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) atau kebutuhan oksigen kimia (KOK) adalah jumlah oksigen (mg O₂) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam 1 liter air, dimana pengoksidasi K₂Cr₂O₇ digunakan sebagai sumber oksigen (oxidizing agent). Peneliti mendapatkan data rata-rata nilai COD yang berasal dari 3 kali pengulangan proses elektrokoagulasi. Hasil nilai COD setelah proses elektrokoagulasi dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil Nilai COD setelah Proses Elektrokoagulasi

Waktu	Satuan	Tegangan		
		6 Volt	12 Volt	24 Volt
0 menit	mg/L	632.800	632.800	632.800
20 menit	mg/L	124.990	118.903	86.767
40 menit	mg/L	120.170	113.157	84.027
60 menit	mg/L	117.333	30.757	16.580

Berdasarkan hasil perhitungan nilai koefisien kinematik (k), maka diketahui persamaan model matematik pada setiap tegangan yang digunakan yaitu :

a. 6 Volt

$$y = 117,333 + 515,467 e^{-0,210 t} \quad (13)$$

b. 12 Volt

$$y = 30,757 + 602,043 e^{-0,096 t} \quad (14)$$

c. 24 Volt

$$y = 16,580 + 616,22 e^{-0,109 t} \quad (15)$$

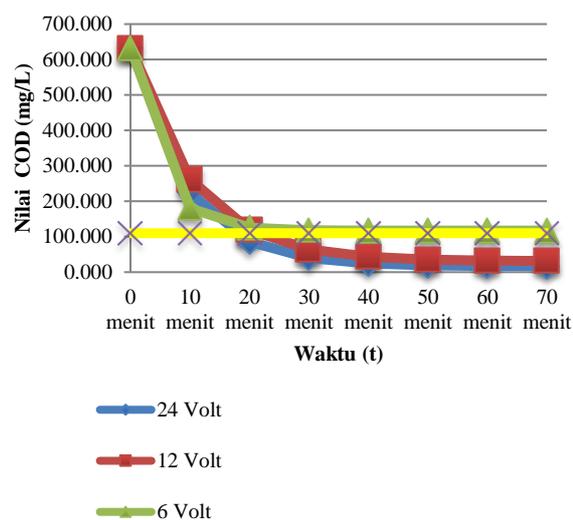
Berdasarkan persamaan model matematik di atas, maka nilai COD dapat diketahui di luar waktu penelitian. Nilai COD limbah cair penyamakan kulit di luar waktu penelitian dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Nilai COD Limbah Cair Penyamakan Kulit Berdasarkan Persamaan Model Matematik di Luar Waktu Penelitian

Waktu	Satuan	Tegangan		
		6 Volt	12 Volt	24 Volt
0 menit	mg/L	632.800	632.800	632.800
10 menit	mg/L	180.455	261.275	223.763
20 menit	mg/L	125.063	119.021	86.238
30 menit	mg/L	118.280	64.553	40
40 menit	mg/L	117.449	43.697	24.454
50 menit	mg/L	117.347	35.712	19.227
60 menit	mg/L	117.335	32.654	17.470
70 menit	mg/L	117.333	31.483	16.879

Selanjutnya, dari nilai konsentrasi tersebut dapat diketahui hubungan grafik nomograf dengan penurunan nilai TSS di luar waktu penelitian (Gambar 7).

Berdasarkan grafik nomograf di atas, dapat dilihat bahwa semakin lama waktu kontak dan semakin tinggi tegangan yang digunakan pada proses elektrokoagulasi maka akan semakin kecil nilai COD yang terkandung dalam limbah cair penyamakan kulit. Efisiensi penurunan nilai COD menggunakan metode elektrokoagulasi pada limbah cair penyamakan kulit dapat dilihat pada Tabel 11.



Gambar 7. Hubungan antara penurunan nilai COD terhadap variasi tegangan dan waktu kontak

Efisiensi *removal* terbesar ditunjukkan pada tegangan 24 Volt dengan waktu kontak 70 menit, yaitu 97.33%. Efisiensi *removal* COD terkecil yang dapat dicapai pada limbah cair penyamakan kulit ditunjukkan pada tegangan 12 volt dengan waktu kontak 10 menit yaitu 58.71%. Berdasarkan data yang di dapat pada saat penelitian, efisiensi yang optimal dalam menurunkan COD yaitu terdapat pada tegangan 24 volt dengan waktu kontak 70 menit.

Tabel 11. Efisiensi Penurunan COD Pada Limbah Cair Penyamakan Kulit

Waktu	Tegangan		
	6 Volt	12 Volt	24 Volt
10 menit	71.48%	58.71%	64.64%
20 menit	80.24%	81.19%	86.37%
30 menit	81.31%	89.80%	93.68%
40 menit	81.44%	93.09%	96.14%
50 menit	81.46%	94.36%	96.96%
60 menit	81.46%	94.83%	97.24%
70 menit	81.46%	95.02%	97.33%

Validasi Data Pemodelan

Validasi data berfungsi untuk mengetahui sejauh mana ketepatan dan kecermatan suatu instrumen pengukuran dalam melakukan fungsi ukurnya yaitu agar data yang diperoleh bisa relevan/sesuai dengan tujuan diadakannya pengukuran tersebut. Validasi data hasil pemodelan konsentrasi logam krom total (Cr total), COD, dan TSS dihitung dengan cara uji determinasi yang tertera pada Persamaan 3.3. Hasil validasi data berturut-turut dapat dilihat pada Tabel 12, Tabel 13 dan Tabel 14.

Tabel 12. Hasil Uji Determinasi Pemodelan Logam Krom Total (Cr total)

Logam Krom Total (Cr Total)	
Tegangan (Volt)	Koefisien Determinasi (R ²)
6	0.999982
12	1
24	1

Tabel 13. Hasil Uji Determinasi Pemodelan TSS

TSS	
Tegangan (Volt)	Koefisien Determinasi (R ²)
6	0.961314
12	0.970898
24	0.981735

Tabel 14. Hasil Uji Determinasi Pemodelan COD

COD	
Tegangan (Volt)	Koefisien Determinasi (R ²)
6	0.9884373
12	0.9913155
24	0.9999833

Kebutuhan Biaya dan Energi

Kebutuhan energi yang dibutuhkan pada saat proses elektrokoagulasi, yaitu 0,056 KWH. Kebutuhan biaya listrik pada saat kondisi optimum yaitu Rp 82,17/L. Harga plat aluminium yang digunakan sebesar Rp 4.500/kg, dan berat plat aluminium yang larut dalam proses elektrokoagulasi sebesar 7,8342x10 kg/L. Dari data tersebut, dapat diperoleh biaya penggunaan plat aluminium yaitu Rp 3,53/L. Jadi, total biaya dalam proses elektrokoagulasi limbah cair penyamakan kulit yaitu Rp 85,7/L.

KESIMPULAN

Persamaan model matematik pada parameter konsentrasi logam krom (Cr total) tegangan 6 volt, yaitu $y = 0,021 + 734,179 e^{-0,165 t}$; tegangan 12 volt, yaitu $y = 0,017 + 734,183 e^{-0,204 t}$; dan untuk tegangan 24 volt, yaitu $y = 0,017 + 734,183 e^{-0,394 t}$.

Persamaan model matematik pada parameter TSS tegangan 6 volt, yaitu $y = 132,933 + 217,267 e^{-0,011 t}$; tegangan 12 volt, yaitu $y = 65,800 + 284,4 e^{-0,025 t}$; dan untuk tegangan 24 volt, yaitu $y = 39,600 + 310,6 e^{-0,045 t}$.

Persamaan model matematik pada parameter COD tegangan 6 volt, yaitu $y = 117,333 + 515,467 e^{-0,210 t}$; tegangan 12 volt, yaitu $y = 30,757 + 602,043 e^{-0,096 t}$; dan untuk tegangan 24 volt, yaitu $y = 16,580 + 616,22 e^{-0,109 t}$.

Hasil pemodelan dan analisa data yang telah memenuhi baku mutu terjadi pada waktu kontak 70 menit secara ekstrapolasi. Tegangan dan waktu kontak yang optimal dalam menurunkan konsentrasi logam krom total (Cr total), TSS, dan COD dalam limbah cair penyamakan kulit dengan menggunakan metode elektrokoagulasi yaitu pada tegangan 24 volt dengan waktu kontak 70 menit.

Metode elektrokoagulasi efektif dalam menurunkan konsentrasi logam krom total (Cr total), TSS, dan COD yang dapat dilihat dari besarnya % (persen) efisiensi *removal*. Persentase efisiensi *removal* pada logam krom total (Cr total) sebesar 99,99%. Persentase efisiensi *removal* pada TSS

sebesar 84,89%; sedangkan % (persen) efisiensi *removal* pada COD sebesar 97,33%.

Nilai uji determinasi (R²) untuk masing-masing parameter yang di uji dengan variasi besarnya tegangan memiliki nilai range 0.961314 hingga 1. Penelitian ini memiliki nilai data yang valid.

REFERENSI

- Fanggi, M. S., Utomo, S., Udiana, I. M. (2015). *Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Rumah Tangga Komunal pada Daerah Pesisir di Kelurahan Metina Kecamatan Lobalain Kabupaten Rote-Ndao*. Jurnal Teknik Sipil, Vol. 4, No. 2. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana. Kupang.
- Fajar, Y. S. T. H. (2018). *Elektrolisis Limbah Cair Industri Pelapisan Logam dengan Menggunakan Elektroda Aluminium untuk Menurunkan Kadar Logam Kromium (Cr), Zink (Zn), dan Kadmium (Cd)*. Progam Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Holt, P.K., Barton, G. W., and Mitchell, C.A. (2005). *The Future for Electrocoagulation as A Localised Water Treatment Technology*. Chemosphere. 59: 335-365.
- Ni'am, M.F., Othman, F., Sohaili, J., Fauzia Z. (2007). *Removal of COD and Turbidity to Improve Wastewater Quality using Electrocoagulation Technique*. Journal of Analytical Science Vol. 11, No. 1.
- Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72. (2013). *Baku Mutu Air Limbah bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya*. Jawa Timur.
- Prayitno. 2010. *Kajian Penerapan Bioteknologi Pengolahan Kulit untuk Mengurangi Limbah*. Balai Besar Kulit, Karet, dan Plastik, Vol. 26, No. 1. Yogyakarta.
- Ringo, E. S., Kusrijadi, A., Sunarya, Y. (2013). *Penggunaan Metode Elektrokoagulasi pada Pengolahan Limbah Industri Penyamakan Kulit Menggunakan Aluminium sebagai Sacrificial Electrode*. Jurnal Sains dan Teknologi Kimia, Vol. 4, No. 2.
- Sutanto, H. B. (2015). *Studi Pengolahan Air Limbah Industri Jasa Laundry menggunakan Kombinasi Biofilter dan Tanaman Bambu Air*. Skripsi. Universitas Kristen Duta Wacana. Yogyakarta.
- Wiharti, Riyanto, Fitri N. (2011). *Aplikasi Metode Elektrolisis menggunakan Elektroda Platina (Pt), Tembaga (Cu) dan Karbon (C) untuk Penurunan Kadar Cr dalam Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit di Desa Sitimulyo, Piyungan, Bantul, Yogyakarta*. Jurusan Ilmu Kimia, FMIP, Universitas Islam Indonesia.

Yunitasari, Y., Elystia, S., Andesgur, I. (2017). *Metode Elektrokoagulasi untuk Mengolah Limbah Cair Batik di Unit Kegiatan Masyarakat Rumah Batik Andalan PT. Riau Andalan Pulp and Paper (RAPP)*. Jurnal Teknik Vol. 4 No. 1.

NOMENKLATUR

- E : Efisiensi (%).
- Co : Nilai konsentrasi awal atau pada influen.
- C : Nilai konsentrasi akhir atau pada effluent.
- R² : uji determinasi
- Σymodel : jumlah nilai konsentrasi pencemar pemodelan (t=20,40,60 menit)
- Σyeksp : jumlah nilai konsentrasi pencemar eksperimental (t=20,40,60 menit).
- W : Massa zat yang dihasilkan (kg).
- t : waktu (hour).
- I : Arus (Ampere).
- Mr : Berat molekul logam alumunium (27).
- n : Banyaknya mol elektron untuk setiap mol zat atau valensi (3).
- F : Tetapan faraday (96500 coulomb).
- y : konsentrasi pencemar setelah perlakuan.
- b : konsentrasi pencemar yang *stagnant*.
- y₀ : konsentrasi awal pencemar.
- k : konstansi kinematic (penentu bentuknya grafik).
- t : waktu (sekon).
- W : Energi listrik yang digunakan (Kwh).
- P : Daya (Watt).
- V : Tegangan (Volt).
- I : Arus (Ampere).
- T : waktu (hour).