

ISSN No. 2088-4818

# Penelitian Masalah Lingkungan di Indonesia

2012

**Editor**  
Priana Sudjono  
Darmanto  
Sunjoto

## **PENERAPAN METODE ELEKTROKOAGULASI DALAM PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI PENYAMAKAN KULIT**

### **APPLICATION OF ELECTROCOAGULATION METHOD FOR LEATHER TANNING INDUSTRIAL WASTE WATER TREATMENT**

**Eka Wardhani, Mila Dirgawati, Karina Putri Valyana**

Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Itenas, Bandung

e-mail: ekw\_wardhani@yahoo.com

**Abstrak:** Limbah industri penyamakan kulit di Sukaregang, Kabupaten Garut, Jawa Barat telah mencemari lingkungan sejak tahun 1920. Bahan pencemar yang dihasilkan yaitu: Cr total, TSS, COD dan BOD<sub>5</sub>. Upaya menghasilkan kualitas air limbah yang memenuhi persyaratan diperlukan suatu pengolahan limbah yang inovatif, murah dan efektif. Metode elektrokoagulasi digunakan untuk mengolah limbah cair penyamakan kulit yang memiliki keuntungan dibandingkan dengan koagulasi konvensional, yaitu flok yang memiliki kandungan air lebih sedikit. Penelitian dilakukan pada skala laboratorium secara batch dengan menggunakan plat besi (Fe) sebagai elektrodanya, sehingga diperoleh efisiensi tertinggi terjadi pada voltase 3 Volt dengan waktu operasi 3 jam. Hasil penelitian, proses elektrokoagulasi mampu menurunkan Cr dengan efisiensi 99,19% dari 86,08 mg/L menjadi 0,7 mg/L yang diikuti dengan COD 96,06% dari 811,19 mg/L menjadi 32 mg/L, BOD<sub>5</sub> 88,20% dari 475 mg/L menjadi 56,07 mg/L dan TSS 19,55% dari 6.528 mg/L menjadi 5.252 mg/L. Hasil penyisihan membuktikan bahwa metode elektrokoagulasi mampu menurunkan kadar logam Cr total, BOD<sub>5</sub>, dan COD yang terdapat dalam limbah penyamakan kulit hingga memenuhi baku mutu SK Gubernur TK 1 Jawa Barat No. 6 Tahun 1999. Parameter TSS masih melebihi standar baku mutu yang dipersyaratkan sehingga perlu adanya tambahan unit lain yang mendampingi metode elektrokoagulasi agar mampu menyisihkan parameter tersebut hingga memenuhi standar baku mutu.

**Kata kunci :** Elektrokoagulasi, Sukaregang, Garut, penyamakan kulit, Cr total.

**Abstract:** Wastes of leather tanning industry in Sukaregang, Garut Regency, West Java, has been polluting the environment since 1920. Pollutants that generated are Cr total, TSS, COD, and BOD<sub>5</sub>. To produce wastewater that meet quality standard and reducing the amount of pollutants, a method of waste processing that innovative, low cost, and effective is needed. Research is conducted in laboratory scale in a batch by using iron plate (Fe) as its electrode thus highest efficiency obtained at 3 volt with 3 hours operation. Research result showed that electrocoagulation can reduce Cr with efficiency 99,19% from 86.08 mg/L into 0.7 mg/L, followed by reducing COD 96,06% from 811,19 mg/L into 32 mg/L, BOD<sub>5</sub> 88,20% from 475 mg/L until 56,07 mg/L, and TSS 19,55% from 6.528 mg/L into 5.252 mg/L. Those results prove that electrocoagulation method is able to reduce the level of Cr total, BOD<sub>5</sub>, and COD found in leather tanning waste to acceptable level according to SK Gubernur TK 1 Jawa Barat No. 6 Tahun 1999. However, TSS parameter still exceeding the quality standard so it is necessary to add additional unit that accompany electrocoagulation method in order to be able to eliminate the parameter to meet the quality standard.

**Keywords :** Electrocoagulation, Sukaregang, Garut, leather tanning, total Cr.

## **1. PENDAHULUAN**

Sejak tahun 1920 telah terjadi pencemaran Sungai Cigulampeng dan Sungai Ciwalen di Sukaregang, Kabupaten Garut, Jawa Barat. Salah satu penyebab terjadinya pencemaran berasal dari limbah industri penyamakan kulit yang dapat menyebabkan rasa gatal pada kulit

manusia, disamping itu limbah yang dihasilkan menimbulkan bau yang kurang sedap dan sangat menyengat hidung.

Bahan pencemar yang dihasilkan industri penyamakan kulit antara lain Krom total (Cr), *Total Suspended Solid* (TSS), Amoniak, *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biochemical Oxygen Demands* (BOD<sub>5</sub>). Secara fisik air Sungai Ciwalen berwarna kehitaman, berbau dan banyak limbah padat terlarut. Industri penyamakan kulit banyak menggunakan bahan-bahan pembantu berupa bahan kimia dan air dalam proses produksinya. Selain itu industri penyamakan kulit juga menghasilkan limbah berbagai bahan kimia berbahaya.

Air limbah industri yang dibuang ke badan air berdampak pada menurunnya kualitas air sungai yang dapat merugikan masyarakat, terutama masyarakat yang tinggal di sekitar aliran sungai. Dampak negatif tersebut diantaranya adalah mengganggu kesehatan manusia, mengganggu estetika akibat bau yang muncul dari limbah, berkurangnya hasil pertanian, menurunnya hasil tambak dan berkurangnya pemanfaatan air sungai oleh penduduk (Joko, 2002).

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 cair tersebut dibuang ke lingkungan. Penelitian ini mencoba menerapkan Metode Elektrokoagulasi untuk mengetahui pengaruhnya terhadap efisiensi penurunan parameter pencemar supaya dihasilkan air limbah yang sesuai dengan standar baku mutu limbah cair (BMLC) sesuai dengan Surat Keputusan Gubernur Tingkat I Jawa Barat No. 6 Tahun 1999 mengenai baku mutu limbah cair bagi kegiatan industri di Jawa Barat.

Metode Elektrokoagulasi dikenal juga sebagai “Elektrolisis Gelombang Pendek” merupakan gabungan dari proses elektrokimia dan proses koagulasi-flokulasi. Proses ini diduga dapat menjadi pilihan metode pengolahan limbah radioaktif dan limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) cair fase alternatif mendampingi metode-metode pengolahan yang lain yang telah dilaksanakan. Kelebihan proses pengolahan limbah dengan elektrokoagulasi antara lain (Purwaningsih, 2008): flok yang dihasilkan elektrokoagulasi ini sama dengan flok yang dihasilkan koagulasi biasa, lebih cepat mereduksi kandungan koloid/partikel yang paling kecil, hal ini disebabkan pengaplikasian listrik kedalam air akan mempercepat pergerakan mereka didalam air dengan demikian akan memudahkan proses, gelembung-gelembung gas yang dihasilkan pada proses elektrokoagulasi ini dapat membawa polutan ke atas air sehingga dapat dengan mudah dihilangkan, mampu memberikan efisiensi proses yang cukup tinggi untuk berbagai kondisi, dikarenakan tidak dipengaruhi temperatur, tidak memerlukan pengaturan pH, serta tidak perlu menggunakan bahan kimia tambahan.

Kekurangan dari proses pengolahan limbah dengan Metode Elektrokoagulasi adalah (Purwaningsih, 2008): tidak dapat digunakan untuk mengolah limbah cair yang mempunyai sifat elektrolit cukup tinggi dikarenakan akan terjadi hubungan singkat antar elektroda, besarnya reduksi logam berat dalam limbah cair dipengaruhi oleh besar kecilnya arus voltase listrik searah pada elektroda, luas sempitnya bidang kontak elektroda dan jarak antar elektroda, penggunaan listrik yang mungkin mahal, dan batangan anoda yang mudah mengalami korosi sehingga harus selalu diganti.

Guna mencapai efektifitas dalam pengolahan yang lebih baik, perlu kajian lebih lanjut mengenai elektrokoagulasi dalam menurunkan parameter pencemar pada air limbah

penyamakan kulit. Diharapkan hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai metode pengolahan untuk limbah cair industri penyamakan kulit yang lebih efektif dan efisien.

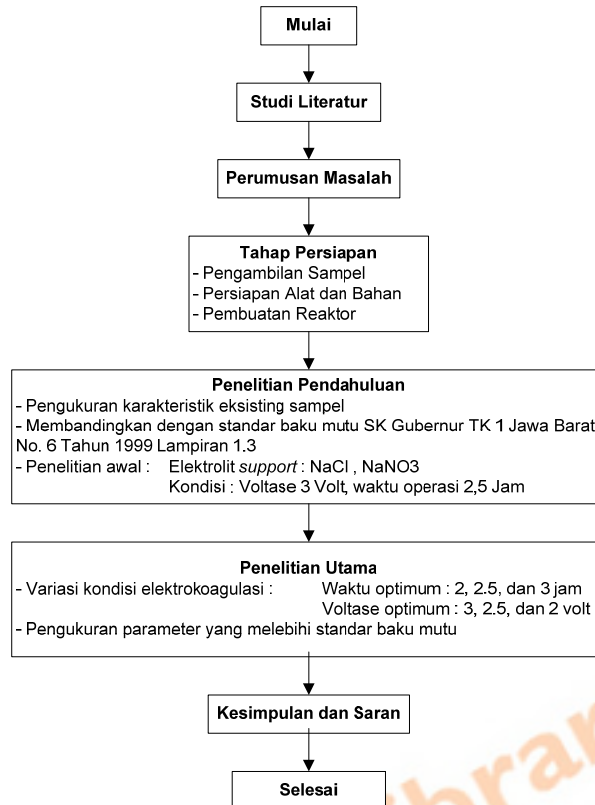
Berdasarkan uraian diatas, maka dapat dirumuskan hipotesis penelitian sebagai berikut :

- 1) Metode elektrokoagulasi dapat menurunkan konsentrasi parameter pencemar pada limbah cair proses penyamakan kulit.
- 2) Tegangan listrik dan waktu kontak elektroda pada Metode Elektrokoagulasi yang paling berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi parameter pencemar dengan cara elektrokoagulasi.

## **2. METODOLOGI**

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Air Jurusan Teknik Lingkungan Itenas yang pelaksanaannya mengacu kepada metode yang berlaku. Tahapan penelitian dimulai dengan melakukan studi pustaka. Studi pustaka merupakan dasar informasi untuk penelitian ini, adapun studi pustaka yang dilakukan meliputi proses yang terjadi di industri penyamakan kulit, teknologi pengolahan limbah dengan metode elektrokoagulasi juga studi mengenai analisa dan pengambilan sampel serta hal lain yang berhubungan dengan penelitian ini.

Setelah dibuat perancangan penelitian, dilanjutkan kepada persiapan alat dan bahan. Penelitian yang dilakukan terdiri dari tiga tahap. Tahap pertama yaitu tahap penelitian pendahuluan kemudian dilanjutkan dengan tahap kedua yaitu tahap penelitian utama. Tahap penelitian pendahuluan sampel limbah diambil dari industri penyamakan kulit PT. X sehingga didapat karakteristik eksisting dari limbah tersebut berupa parameter-parameter pencemar. Parameter pencemar tersebut kemudian dibandingkan dengan standar baku mutu SK Gubernur TK 1 Jawa Barat No. 6 Tahun 1999. Data parameter yang melebihi baku mutu selanjutnya digunakan sebagai data penunjang untuk penelitian utama. Pada tahap penelitian utama akan dilakukan variasi waktu dan voltase dengan menggunakan air sampel limbah asli yang berasal dari industri penyamakan kulit PT. X di Sukaregang, Kabupaten Garut, Jawa Barat. Data hasil penelitian utama akan disajikan berupa tabel dan grafik sehingga dapat ditentukan kondisi optimum terhadap penurunan kadar parameter pencemar pada sampel serta dihasilkan efisiensi penyisihan agar memenuhi baku mutu limbah cair (BMLC) yang ditetapkan. Tahap pelaksanaan penelitian dapat dilihat dalam bentuk bagan alir metodologi penelitian pada Gambar 1.



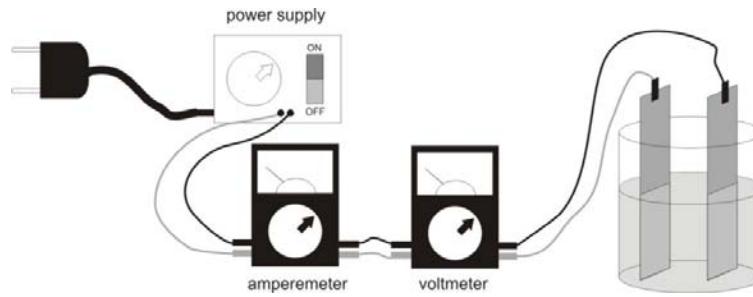
**Gambar 1. Bagan Alir Metodologi Penelitian**

Tahap persiapan penelitian meliputi pengambilan sampel, persiapan alat dan bahan dan perancangan reaktor elektrokoagulasi. Persiapan alat dan bahan harus dilakukan sebelum memulai penelitian agar dapat berjalan lancar. Peralatan dan bahan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1. Alat dan Bahan Penelitian**

Alat		Bahan
Gelas kimia 1 L	Timbangan Analitik	Aquadest
Gelas kimia 150 ml	Stopwatch	Limbah Penyamakan Kulit
Botol semprot	Batang Pengaduk	NaNO <sub>3</sub>
Power Supply	Corong Gelas	NaCl
Capit Buaya	Spektrofotometer	
pH meter	Pipet Tetes	
Conductivitymeter	Plat Besi (2 buah)	
Turbidimeter	Atomic Absorption	
Thermometer	Spektrofotometer (AAS)	

Reaktor elektrokoagulasi perlu dibuat sebelum dilakukannya penelitian. Elektrokoagulasi yang digunakan dengan sistem *batch*, sehingga reaktor akan disusun dengan gelas kimia sebagai bejana dan plat besi sebagai elektrodanya. Masing-masing plat dihubungkan dengan kutub positif (anoda) dan yang lainnya dengan kutub negatif (katoda) pada *power supply*.



**Gambar 2. Rangkaian Alat Elektrokoagulasi *Batch***

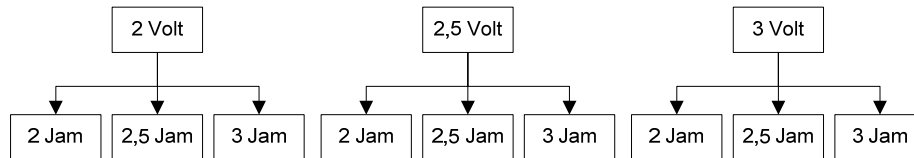
Penelitian yang dilakukan yaitu pengukuran karakteristik sampel untuk mengetahui karakteristik fisik maupun kimia dari limbah. Hasil dari pengukuran tersebut kemudian dibandingkan dengan baku mutu limbah cair (BMLC) yaitu SK Gubernur TK 1 Jawa Barat No. 6 Tahun 1999. Data parameter yang berada di atas baku mutu selanjutnya digunakan sebagai parameter acuan pada penelitian utama yaitu sebagai dasar penentuan objek penelitian untuk menurunkan konsentrasinya. Selain itu data tersebut nantinya akan digunakan untuk evaluasi dari efisiensi penyisihan parameter pencemar yang menjadi objek penelitian.

Analisa karakteristik sampel dilakukan 11 (sebelas) parameter yaitu: pH, suhu, Daya Hantar Listrik, Krom Total, Minyak dan Lemak, Ammonia Total, BOD<sub>5</sub>, COD, Sulfida sebagai H<sub>2</sub>S dan TSS. Tabel 2. menjelaskan metode pemeriksaan yang digunakan dalam analisa karakteristik sampel limbah. Penelitian pendahuluan melakukan penelitian awal dengan metode elektrokoagulasi yang bertujuan untuk menentukan *elektrolit support* dan variasi waktu yang selanjutnya akan digunakan pada penelitian utama. Penentuan tersebut dipilih berdasarkan efisiensi tertinggi yang terjadi pada parameter chrom (Cr).

**Tabel 2. Metode Pemeriksaan Karakteristik Sampel**

No	Parameter	Metode Pemeriksaan	Keterangan
1	pH	pH meter	-
2	Suhu	Thermometer	-
3	Daya Hantar Listrik	Conductivimetri	SNI 06-6989.1-2004
4	Krom Total (Cr)	AAS	SNI 6989.17:2009
5	Minyak Lemak	-	SNI 06-6989.10:2004
6	Ammonia Total (NH <sub>3</sub> )	-	SNI 06-6989.30-2005
7	BOD <sub>5</sub>	Titration Winkler	SNI 6989.72:2009
8	COD	Reflux Tertutup	SNI 6989.2:2009
9	Sulfida sebagai H <sub>2</sub> S	-	SNI 6989.70:2009
10	TSS	Gravimetri	SNI 06-6989.3-2004
11	Debit	-	Perhitungan

Penelitian utama dilakukan dengan metode *batch* menggunakan gelas kimia dengan volume 1 Liter. Hal utama dalam penelitian ini adalah menentukan kondisi optimum dalam elektrokoagulasi yaitu waktu optimum dan voltase optimum. Karena waktu kontak antara plat elektroda dengan limbah serta besarnya voltase yang diberikan dapat mempengaruhi proses elektrolisis yang terjadi di dalamnya. Secara rinci, variasi kondisi dalam penentuan kondisi dalam penentuan kondisi optimum dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 2. Gambar Variasi Kondisi**

Hasil dan pembahasan penelitian dilakukan meliputi pengujian parameter yang melebihi standar baku mutu serta parameter pendukung lainnya yaitu pH dan massa elektroda. Analisa ini dilakukan dengan membandingkan antara karakteristik awal dengan hasil pengolahan menggunakan elektrokoagulasi sehingga diperoleh presentase penyisihan parameter pencemar yang melebihi baku mutu pada sampel.

Data hasil penelitian akan dianalisa dalam bentuk tabel dan grafik. Efisiensi penyisihan setiap parameter dihitung dengan persamaan :

$$\% \text{ Penyisihan} = \frac{(\text{konsentrasi awal} - \text{konsentrasi akhir})}{\text{Konsentrasi awal}} \times 100\%$$

Hasil dari perhitungan efisiensi penyisihan, didapat kondisi dengan efisiensi penyisihan yang optimum. Sedangkan untuk perhitungan penurunan berat elektroda dapat dihitung dengan persamaan Hukum Faraday sebagai berikut :

$$W = \frac{Q \cdot E}{F \cdot n}$$

Keterangan :

W = Massa zat yang dihasilkan (gram)

e = Berat ekuivalen

I = Kuat arus listrik (Ampere)

t = Waktu (detik)

n = Valensi

Berdasarkan perhitungan Hukum Faraday dapat digunakan untuk memprediksi umur pakai elektroda dengan cara membagi berat plat tercelup dengan berat plat yang berubah menjadi ion (Hukum Faraday).

## 2. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian pendahuluan dilakukan dengan mengidentifikasi parameter pencemar yang terdapat pada limbah penyamakan kulit PT. X kemudian membandingkannya terhadap standar BMLC SK Gub TK. 1 Jawa Barat No 6 Tahun 1999 sehingga didapat data parameter pencemar yang melebihi baku mutu. Data dapat dilihat pada Tabel 3.

Hasil penelitian pendahuluan yang didapat berupa parameter pencemar yang melebihi baku mutu yaitu BOD<sub>5</sub> 475 mg/L, COD 811,19 mg/L, TSS 6.528 mg/L dan Cr total 86,076 mg/L. Data tersebut selanjutnya akan digunakan sebagai data penunjang untuk penelitian utama. Pengukuran parameter pencemar dalam penelitian pendahuluan dilakukan di Laboratorium PDAM Kota Bandung. Laboratorium PDAM dipilih agar data hasil parameter pencemar dapat teridentifikasi dengan akurat.

**Tabel 3. Effluent Limbah Cair Penyamakan Kulit**

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Hasil Pengujian	Metoda Acuan
<b>FISIKA</b>					
1	Daya Hantar Listrik	$\mu\text{mhos/Cm}$		45.02	SNI 06-6989.1-2004
2	TSS	mg/L	150	6.528 <sup>^</sup>	SNI 06-6989.3-2004
<b>KIMIA</b>					
1	Ammonia Total (NH <sub>3</sub> )	mg/L	10,0	0,25	SNI 06-6989.30-2005
2	BOD <sub>5</sub>	mg/L	150	475 <sup>^</sup>	SNI 6989.72:2009
3	COD	mg/L	300	811,19 <sup>^</sup>	SNI 6989.2:2009
4	Krom Total (Cr)	mg/L	2,0	86,076 <sup>^</sup>	SNI 6989.17:2009
6	Minyak Lemak	mg/L	5,0	2,55	SNI 06-6989.10:2004
7	Sulfida sebagai H <sub>2</sub> S	mg/L	1,0	0,3	SNI 6989.70:2009
8	pH		6-9	5	Pengukuran

Ket : <sup>^</sup> = Melebihi standar baku mutu SK Gub TK. 1 Jawa Barat No 6 Tahun 1999

Penelitian awal dilakukan dengan menentukan elektrolit *support* dan variasi waktu yang akan digunakan pada penelitian utama. Pengambilan keputusan dilakukan berdasarkan kemampuan suatu elektrolit *support* dalam menyisihkan Cr yang terdapat pada limbah karena Cr merupakan unsur logam sehingga lebih sulit untuk disisihkan. Variasi elektrolit *support* yang digunakan yaitu NaNO<sub>3</sub> dan NaCl. Pada penelitian sebelumnya (Wijaya, 2011) menyatakan bahwa NaNO<sub>3</sub> terbukti baik dalam menyisihkan unsur logam pada limbah. Sedangkan garam mineral (NaCl) dipilih karena selain harganya murah dan mudah didapat juga mampu menyisihkan logam. NaCl memiliki tingkat DHL yang cukup tinggi sehingga dapat berfungsi sebagai peningkat DHL optimum yang dapat mempercepat pengikatan koloid menjadi flok-flok oleh ion-ion elektroda (Galunggung, 2006).

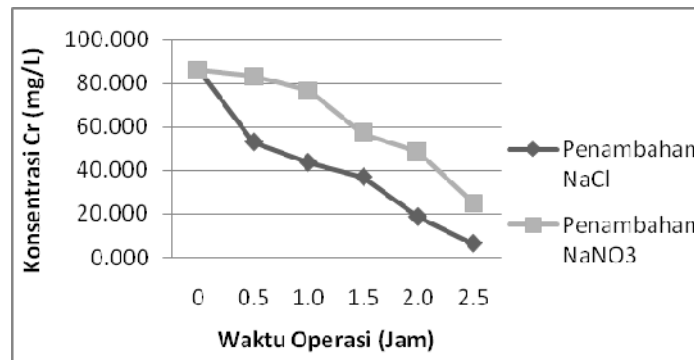
Penentuan elektrolit *support* dan variasi waktu dilakukan dengan voltase 3 volt dan dengan waktu operasi 2,5 jam. Dalam 2,5 jam tersebut, diambil sampel untuk pengukuran kadar Cr setiap setengah jam. Voltase 3 volt dipilih karena dapat menghasilkan arus terbesar dari limbah. Diharapkan pada arus yang besar dapat menghasilkan efisiensi yang tinggi sehingga didapat operasi waktu yang singkat. Apabila dalam waktu operasi yang singkat sudah dihasilkan efisiensi yang tinggi maka biaya pengolahan menjadi rendah. Hasil percobaan terdapat pada Tabel 4.

**Tabel 4. Konsentrasi Cr Terhadap Elektrolit Support**

No	Waktu Operasi (Jam)	NaNO <sub>3</sub>		NaCl	
		Konsentrasi (mg/L)	Efisiensi Penyisihan (%)	Konsentrasi (mg/L)	Efisiensi Penyisihan (%)
1	0,0	86,076	0,00	86,076	0
2	0,5	83,245	3,29	53,143	38,26
3	1,0	76,714	10,88	43,547	49,41
4	1,5	56,896	33,90	37,023	56,99
5	2,0	48,199	44,00	18,724	78,25
6	2,5	25,034	70,92	6,397	92,57



Berdasarkan hasil penelitian awal seperti disajikan pada Gambar 4, diperoleh waktu operasi dimana penurunan konsentrasi Cr tertinggi terjadi pada waktu operasi 2,5 jam dengan NaCl sebagai elektrolit support. Berdasarkan data tersebut, terbukti bahwa NaCl dapat mempercepat pengikatan koloid menjadi flok-flok oleh ion-ion elektroda bila dibandingkan dengan NaNO<sub>3</sub>. Sehingga elektrolit *support* dan variasi waktu yang akan dilakukan pada penelitian utama yaitu 2 jam, 2,5 jam, dan 3 jam dengan NaCl sebagai elektrolit *support*. Penentuan variasi waktu yang dipilih diharapkan dapat menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi untuk seluruh parameter yang akan diamati pada penelitian utama.



Gambar 4. Grafik Waktu Operasi Terhadap Konsentrasi Cr

Penelitian utama dilakukan dengan mengukur parameter BOD<sub>5</sub>, COD, TSS, dan Cr total sesuai dengan hasil penelitian pendahuluan. Variasi voltase yang dipakai adalah 2 volt, 2,5 volt, dan 3 volt dengan variasi waktu 2 jam, 2,5 jam, dan 3 jam. Supernatan akhir sampel dianalisa kadar BOD<sub>5</sub> dengan metode titrasi *winkler*, COD dengan *reflux* tertutup, TSS dengan *gravimetri* dan Cr total diukur dengan AAS (*Atomic Adsorption Spectrofotometer*). Setelah mengetahui kadar masing-masing parameter pada air yang telah diolah, dilakukan perhitungan presentase efisiensinya dengan persamaan sebagai berikut :

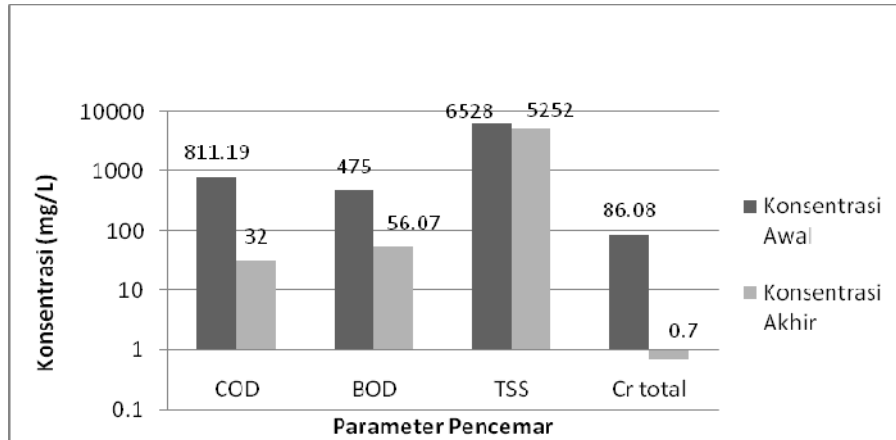
$$\% \text{ Penyisihan} = \frac{(\text{konsentrasi awal} - \text{konsentrasi akhir})}{\text{Konsentrasi awal}} \times 100\%$$

Hasil persentase penyisihan parameter pencemar dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Efisiensi Penyisihan Parameter Pencemar Terhadap Waktu dan Voltase

No	Voltase (Volt)	Waktu (Jam)	Efisiensi Penyisihan (%)			
			COD	BOD <sub>5</sub>	TSS	Cr Total
1	2,0	2,0	80,28	93,24	40,20	10,17
2		2,5	90,14	92,85	44,79	13,62
3		3,0	88,17	95,12	45,50	15,85
4	2,5	2,0	90,14	93,4	49,33	29,00
5		2,5	92,11	92,85	26,69	56,03
6		3,0	90,14	95,12	38,42	84,11
7	3,0	2,0	94,08	92,62	15,26	56,99
8		2,5	94,08	90,04	22,24	92,57
9		3,0	96,06	86,74	19,55	99,19

Penentuan kondisi optimum pada penelitian ini ditentukan berdasarkan efisiensi tertinggi untuk parameter Cr total. Parameter Cr mendapatkan bobot yang lebih tinggi dalam pemilihan karena untuk parameter COD, BOD<sub>5</sub> dan TSS dapat disisihkan pada unit pengolahan primer.



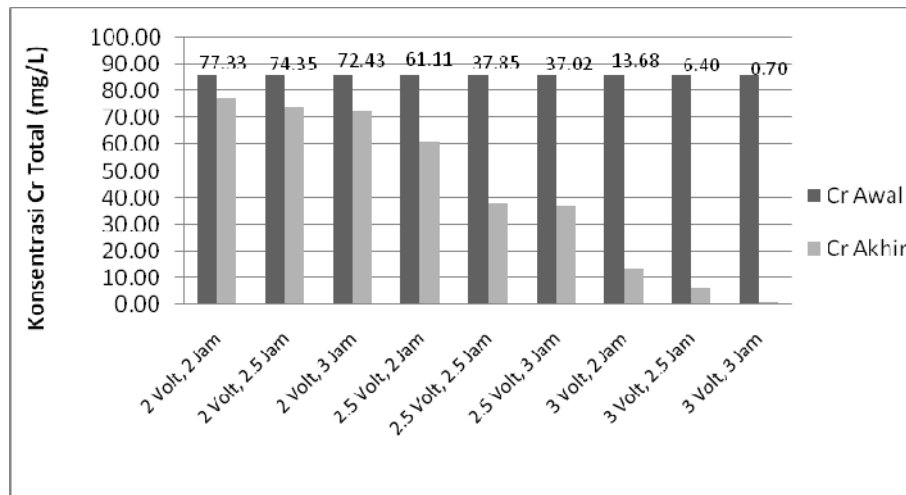
**Gambar 5. Grafik Penurunan Parameter Pencemar Pada Kondisi Optimum**

Pada penelitian yang telah dilakukan dengan data yang disajikan pada Gambar 5, efisiensi tertinggi terjadi pada voltase 3 Volt dengan waktu operasi 3 jam mampu menurunkan konsentrasi Cr dengan efisiensi 99,19% dari 86,08 mg/L menjadi 0,7 mg/L yang diikuti dengan COD 96,06% dari 811,19 mg/L menjadi 32 mg/L, BOD<sub>5</sub> 86,74% dari 475 mg/L menjadi 56,07 mg/L dan TSS 19,55% dari 6.528 mg/L menjadi 5.252 mg/L. Hasil penyisihan yang didapat membuktikan bahwa metode elektrokoagulasi mampu menurunkan kadar logam Cr dan parameter pencemar lainnya (BOD<sub>5</sub> dan COD) yang terdapat dalam limbah penyamakan kulit PT X hingga memenuhi BMLC SK Gubernur TK 1 Jawa Barat No. 6 Tahun 1999 pada Lampiran I.3 tentang baku mutu limbah cair untuk industri penyamakan kulit. Akan tetapi untuk parameter TSS masih melebihi standar baku mutu yang dipersyaratkan, tingginya konsentrasi TSS disebabkan karena banyaknya flok yang terbentuk dan terflotasi keatas. Diduga flok-flok tersebut ikut terbawa pada saat pengukuran. Menurut Galunggung (2006), jika selama proses elektrokoagulasi tegangan yang diberikan semakin besar, maka semakin lama waktu yang diperlukan untuk pengendapan karena flok yang terbentuk akan semakin banyak.

Kandungan Chrom dalam limbah berasal dari Chromosal B ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ) yang merupakan bahan pembantu yang digunakan dalam proses *Wetting Back* agar dapat memberi kadar air pada kulit (kulit menjadi lebih kenyal). Chrom adalah salah satu logam pencemar yang berbahaya bagi makhluk hidup. Sehingga kadar Chrom dalam limbah cair menjadi penting untuk diukur. Hasil yang didapat dari pengolahan secara elektrokoagulasi terdapat pada Tabel 6.

**Tabel 6. Konsentrasi Cr Total Terhadap Waktu dan Voltase**

No	Voltase (Volt)	Waktu (Jam)	Konsentrasi (mg/L)		Efisiensi Penyisihan (%)
			Awal	Akhir	
1	2,0	2,0	86,08	77,33	10,17
2		2,5	86,08	74,35	13,62
3		3,0	86,08	72,43	15,85
4	2,5	2,0	86,08	61,11	29,00
5		2,5	86,08	37,85	56,03
6		3,0	86,08	37,02	56,99
7	3,0	2,0	86,08	13,68	84,11
8		2,5	86,08	6,40	92,57
9		3,0	86,08	0,70	99,19



**Gambar 6. Konsentrasi Cr Total Terhadap Waktu dan Voltase**

Hasil penelitian seperti yang disajikan pada Gambar 6, menunjukkan bahwa konsentrasi Cr yang tersisihkan dapat mencapai 99,19 % dengan konsentrasi awal 86,06 mg/L menjadi 0,70 mg/L. Hal ini sesuai dengan BMLC yang dipersyaratkan. Berdasarkan SK Gubernur TK 1 Jawa Barat No. 6 Tahun 1999 batas baku mutu limbah cair penyamakan kulit untuk parameter chrom total maksimal 2,0 mg/L. Berkurangnya kadar logam chrom pada limbah diduga karena adanya beberapa macam reaksi yang terjadi dalam larutan pada proses elektrokoagulasi, yaitu (*Renk, 1989; Duffey, 1983; Fraco, 1974*): migrasi ke elektroda yang bermuatan berlawanan (*electrophoresis*) dan penggabungan (*aggregation*) untuk membentuk senyawa netral, kation atau ion hidroksi ( $\text{OH}^-$ ) membentuk endapan dengan polutan, logam kation berinteraksi dengan  $\text{OH}^-$  membentuk hidroksi, yang mempunyai sisi yang mengadsorpsi polutan (*bridge coagulation*), hidroksi membentuk struktur besar dan membersihkan polutan (*sweep coagulation*), oksidasi polutan sehingga mengurangi toksitasnya, penyisihan melalui elektroflotasi dan adhesi gelembung udara.

Salah satu reaksi yang berperan dalam penurunan konsentrasi chrom total terjadi dengan persamaan reaksi sebagai berikut :  $6 \text{Fe}^{2+} + 7 \text{H}_2\text{O} + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} \rightarrow 6 \text{Fe}^{3+} (\downarrow) + 2 \text{Cr}^{3+} (\downarrow) + 14 \text{OH}^-$

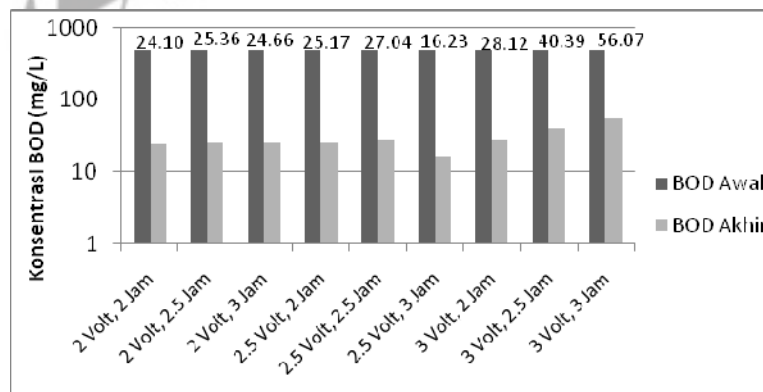
Persamaan redoks yang terjadi menghasilkan  $\text{Cr}^{3+}$  dan  $\text{Fe}^{3+}$  yang cenderung mengendap. Sedangkan ion hidroksi ( $\text{OH}^-$ ) akan berinteraksi membentuk  $(\text{Fe}(\text{OH})_2)$  dan  $(\text{Cr}(\text{OH})_3)$  menjadi sebuah flok-flok yang berinteraksi dengan gelembung udara sehingga dihasilkan flok yang berdensitas rendah dan terflotasi ke permukaan oleh gas hidrogen ( $\text{H}_2$ ) yang dihasilkan katoda. Proses terbentuknya flok tersebut yang akan membantu menurunkan parameter logam berat. (*Mukimin, 2006*)

BOD merupakan salah satu parameter yang sering digunakan pada limbah yang mengandung bahan organik, maka pada penelitian dilakukan pengujian BOD yang dimaksudkan untuk mengukur seberapa banyak oksigen yang digunakan oleh mikroorganisme dalam menguraikan bahan-bahan organik dalam limbah. Berikut adalah hasil penurunan konsentrasi  $\text{BOD}_5$  dengan elektrokoagulasi.

**Tabel 7. Konsentrasi BOD<sub>5</sub> Terhadap Waktu dan Voltase**

No	Voltase (Volt)	Waktu (Jam)	Konsentrasi (mg/L)		Efisiensi Penyisihan (%)
			Awal	Akhir	
1	2,0	2,0	475	24,10	94,93
2		2,5	475	25,36	94,66
3		3,0	475	24,66	94,81
4	2.5	2,0	475	25,17	94,70
5		2,5	475	27,04	94,31
6		3,0	475	16,23	96,58
7	3,0	2,0	475	28,12	94,08
8		2,5	475	40,39	91,50
9		3,0	475	56,07	88,20

Hasil penelitian seperti yang disajikan pada Gambar 7, untuk kondisi optimum pada parameter BOD<sub>5</sub> menunjukkan bahwa terjadi penurunan kadar BOD<sub>5</sub> yang cukup tinggi dengan efisiensi 96,58 %. Semula konsentrasinya adalah 475 mg/L menjadi 16,23 mg/L pada variasi voltase 2,5 Volt dengan waktu operasi 3 Jam. Sehingga dapat dikatakan optimal karena nilai BOD<sub>5</sub> setelah diolah secara elektrokoagulasi sudah memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan. Berdasarkan SK Gubernur TK 1 Jawa Barat No. 6 Tahun 1999 batas baku mutu limbah cair penyamakan kulit untuk parameter BOD<sub>5</sub> maksimal 150 mg/L. Hal tersebut membuktikan kesesuaian terhadap teori *double layer* bahwa lingkaran terdalam akan diisi oleh koagulan bermuatan positif dan akan menyerap ion-ion negatif yang terletak pada lingkaran lebih luar, muatan positif dan negatif bertemu maka terjadi gaya *Van der Waals* (tarik menarik) antar kedua ion tersebut sehingga terjadi ikatan yang sangat kuat dan terbentuklah koagulan yang selanjutnya akan membentuk flok yang dapat menurunkan senyawa organik dalam limbah (Yulianto, 2009).



**Gambar 7. Konsentrasi BOD<sub>5</sub> Terhadap Waktu dan Voltase**

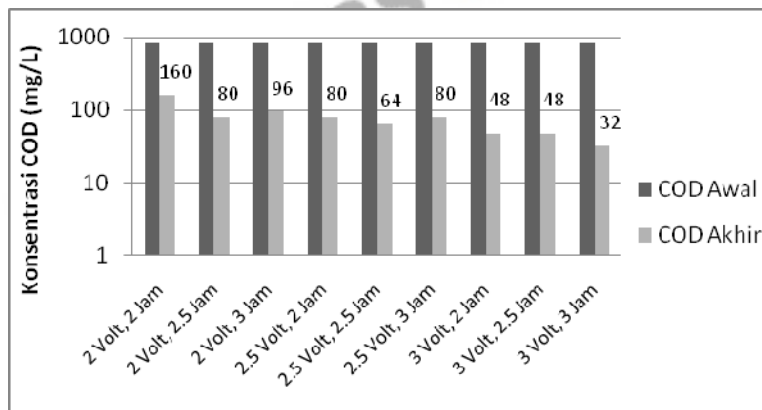
Berdasarkan hasil penelitian mengenai parameter COD yang telah dilakukan, hasil optimum yang didapat pada parameter ini terjadi pada voltase 3 Volt dengan waktu operasi 3 Jam dengan efisiensi tertinggi yaitu 96.06%. Turunnya konsentrasi COD menandakan berkurangnya senyawa organik dalam limbah cair, karena pada dasarnya pengukuran COD bertujuan untuk melihat banyaknya oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi senyawa

organik dalam air (Sofiani, 1999). Berikut hasil penurunan yang terjadi untuk parameter COD dapat dilihat pada Tabel 8.

**Tabel 8. Konsentrasi COD Terhadap Waktu dan Voltase**

No	Voltase (Volt)	Waktu (Jam)	Konsentrasi (mg/L) Awal	Konsentrasi (mg/L) Akhir	Efisiensi Penyisihan (%)
1		2,0	811,19	160	80,28
2	2,0	2.5	811,19	80	90,14
3		3,0	811,19	96	88,17
4		2,0	811,19	80	90,14
5	2.5	2.5	811,19	64	92,11
6		3,0	811,19	80	90,14
7		2,0	811,19	48	94,08
8	3,0	2.5	811,19	48	94,08
9		3,0	811,19	32	96,06

Hasil pengolahan limbah penyamakan kulit secara elektrokoagulasi cukup optimal untuk menurunkan parameter COD, seperti yang terlihat pada Gambar 8, nilai COD setelah diolah secara elektrokoagulasi sudah memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan yaitu dengan konsentrasi awal 811,19 mg/L menjadi 32 mg/L. Berdasarkan SK Gubernur TK 1 Jawa Barat No. 6 Tahun 1999 batas baku mutu limbah cair penyamakan kulit untuk parameter COD maksimal 300 mg/L.



**Gambar 8. Konsentrasi COD Terhadap Waktu dan Voltase**

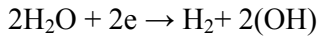
Prinsip proses kerja pereduksian COD secara umum sama seperti prinsip pereduksian pada parameter BOD<sub>5</sub>. Karena keduanya sama-sama dipengaruhi oleh kandungan organik dalam limbah. Penurunan konsentrasi COD dalam elektrokoagulasi ini disebabkan adanya proses oksidasi dan reduksi didalam reaktor elektrokoagulasi tersebut. Berikut adalah reaksi yang terjadi pada proses elektrokoagulasi (Yulianto, 2009) :

1. Pada permukaan elektroda positif (anoda):  

$$\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}$$
2. Sekitar elektroda:  

$$\text{Fe}(\text{OH})_2^+ + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3^0 + \text{H}^+$$
3. Pada permukaan elektroda negatif (katoda):  

$$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e} \rightarrow \text{Fe}$$



Pada permukaan elektroda positif, Fe melepaskan elektronnya menjadi  $\text{Fe}^{2+}$  yang mengikat  $\text{OH}^-$  membentuk  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  menjadi koagulan. Dari persamaan kimia diatas terlihat pembentukan gas oksigen dan hidrogen mempengaruhi pereduksian COD. Gas hidrogen membantu kontaminan mengapung atau terangkat. Hal ini yang menyebabkan tereduksinya *dissolved organic* atau material terlarut termasuk flok  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  yang mengikat limbah organik serta menangkap sebagian limbah organik yang tidak terkumpul pada plat katoda. Produksi  $\text{H}_2$  yang dihasilkan dari reaksi redoks menyebabkan material organik dapat tereduksi. Sebagian molekul yang terdapat pada limbah ditangkap oleh ion  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  kemudian penyisihan oleh  $\text{H}_2$  sebagai senyawa organik membentuk gelembung yang dapat menurunkan COD (Yulianto, 2009). Akibat senyawa organik dalam limbah cair berkurang, sehingga kebutuhan oksigen untuk mengoksidasi juga menjadi berkurang.

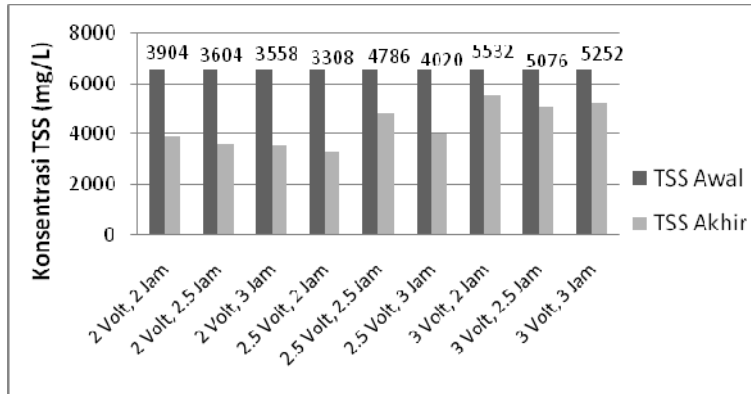
Salah satu penyebab kekeruhan adalah padatan tersuspensi, sehingga keberadaan padatan tersuspensi dalam limbah cair menjadi penting. Disamping itu limbah cair industri penyamakan kulit mengandung TSS yang cukup tinggi dilihat dari hasil awal pemeriksaan laboratorium untuk parameter TSS masih diatas BMLC, sehingga nilai TSS menjadi salah satu parameter dalam baku mutu limbah cair industri penyamakan kulit.

**Tabel 9. Konsentrasi TSS Terhadap Waktu dan Voltase**

No	Voltase (Volt)	Waktu (Jam)	Konsentrasi (mg/L)		Efisiensi Penyisihan (%)
			Awal	Akhir	
1		2,0	6.528	3.904	40,20
2	2,0	2,5	6.528	3.604	44,79
3		3,0	6.528	3.558	45,50
4		2,0	6.528	3.308	49,33
5	2.5	2,5	6.528	4.786	26,69
6		3,0	6.528	4.020	38,42
7		2,0	6.528	5.532	15,26
8	3,0	2,5	6.528	5.076	22,24
9		3,0	6.528	5.252	19,55

Pada proses elektrokoagulasi terbentuk gas hidrogen pada katoda yang menyebabkan terjadinya flotasi terhadap flok-flok yang terakumulasi dipermukaan unit koagulasi (Galunggung, 2006). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar TSS limbah dapat diturunkan secara optimal dengan efisiensi 49,33 % dari 6528 mg/L menjadi 3308 mg/L. Prinsip proses kerja pereduksian TSS secara umum sama seperti prinsip pereduksian pada parameter  $\text{BOD}_5$  dan COD. Yaitu adanya pertumbuhan massa flok sehingga berat jenis flok menjadi besar dan akhirnya mengendap.

Menurut literatur, proses elektrokoagulasi akan optimum pada pH antara 8-9. Akan tetapi jumlah penurunan zat pencemar pada air limbah oleh efek pH adalah tidak besar (Mukimin, 2006). Sehingga pada penelitian ini tidak dilakukan penambahan pH untuk meningkatkan efisiensi pengolahan. Karena seiring dengan berlangsungnya proses elektrokoagulasi yang menghasilkan ion hidroksil ( $\text{OH}^-$ ) akan meningkatkan pH dengan sendirinya. pH akhir limbah adalah 7, maka tidak diperlukan konsumsi bahan kimia untuk pengaturan nilai pH pada awal proses dan netralisasi di akhir prosesnya.



**Gambar 9. Konsentrasi TSS Terhadap Waktu dan Voltase**

Berdasarkan Gambar 9 menunjukkan adanya peningkatan konsentrasi TSS seiring dengan meningkatnya voltase yang diberikan. Hal ini sangat berhubungan dengan besarnya kuat arus dan tegangan listrik yang diberikan pada saat proses elektrokoagulasi berlangsung. Semakin besar kuat arus dan tegangan yang diberikan semakin banyak pula dihasilkan flok-flok yang dapat mengikat kontaminan pada limbah. Flok-flok yang dihasilkan sebagian dapat mengendap dan sebagian lagi ada yang terflotasi ke atas permukaan. Diduga besarnya nilai TSS karena pada saat pengambilan supernatan flok-flok yang sudah terbentuk ikut terbawa pada saat pengukuran. Agar parameter TSS dapat memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan, perlu dilakukan pengendapan (dengan unit sedimentasi) terlebih dahulu sebelum dilakukan pengolahan dengan metode elektrokoagulasi. Berdasarkan SK Gubernur TK 1 Jawa Barat No. 6 Tahun 1999 batas baku mutu limbah cair penyamakan kulit untuk parameter TSS maksimal 150 mg/L.

Besarnya tegangan yang diberikan selama proses elektrokoagulasi akan mempengaruhi besarnya arus yang dihasilkan. Semakin besar tegangan yang diberikan selama proses elektrokoagulasi, maka arus yang dihasilkan akan semakin besar. Hal ini akan mempengaruhi besarnya daya yang diperlukan untuk proses elektrokoagulasi. Penambahan NaCl pada proses elektrokoagulasi ini akan mempengaruhi besarnya arus listrik yang akan dihasilkan. Hubungan antara tegangan dan arus ini sesuai dengan persamaan Hukum Ohm, yaitu :

$$V = I \cdot R$$

Keterangan : V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

R = Hambatan (Ohm)

Jika selama proses elektrokoagulasi tegangan yang diberikan semakin besar, maka semakin lama waktu yang diperlukan untuk pengendapan karena flok yang terbentuk akan semakin banyak. Tegangan yang besar tidak selalu memberikan hasil yang optimum (Galunggung, 2006).

Besarnya tegangan listrik yang diterima elektroda mempengaruhi besarnya kemampuan elektroda untuk membentuk koagulan, karena semakin besar arus listrik yang diterima maka jumlah ion  $Fe^{2+}$  yang dilepaskan oleh anion pada elektroda pun semakin besar.

Penurunan massa elektroda dipengaruhi oleh besarnya arus listrik dan lamanya waktu elektrokoagulasi. Massa plat dapat dihitung dengan rumus Hukum Faraday, yaitu jumlah reaksi kimia oleh aliran arus adalah proporsional terhadap jumlah listrik yang mengalir (Frederick, 1978).

Berdasarkan hasil optimum penelitian utama, penurunan massa plat besi untuk variasi voltase 3 Volt menghasilkan arus 3,18 A dengan waktu operasi 3 jam (10.800 detik) dapat diketahui penurunan massa elektroda berdasarkan Hukum Faraday adalah sebanyak 4 kali pemakaian.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian metode elektrokoagulasi mampu menurunkan konsentrasi logam Cr dalam air limbah dan parameter pencemar lainnya (BOD<sub>5</sub> dan COD) yang terdapat dalam limbah penyamakan kulit PT X hingga memenuhi baku mutu SK Gubernur TK 1 Jawa Barat No. 6 Tahun 1999 tentang Baku Mutu Limbah Cair Untuk Industri Penyamakan Kulit. Efisiensi penyisihan parameter pencemar yang dapat dicapai dengan metode ini untuk Cr total sebesar 99,19% dari konsentrasi awal 86,08 mg/L menjadi 0,7 mg/L, efisiensi penyisihan COD sebesar 96,06% atau mampu menyisihkan dari 811,19 mg/L menjadi 32 mg/L, efisiensi penyisihan BOD<sub>5</sub> sebesar 88,20% atau mampu menyisihkan dari 475 mg/L menjadi 56,07 mg/L dan TSS 17,37% dari 6.528 mg/L menjadi 5.394 mg/L.

Parameter TSS yang belum memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan yaitu SK Gubernur TK 1 Jawa Barat No. 6 Tahun 1999 tentang Baku Mutu Limbah Cair Untuk Industri Penyamakan Kulit sehingga diperlukan pengolahan pendahuluan untuk menunjang proses elektrokoagulasi supaya dihasilkan kualitas air yang sesuai baku mutu yang disyaratkan.

Berdasarkan hasil penelitian plat besi yang digunakan memiliki umur pakai sebanyak 4 kali berdasarkan perhitungan Hukum Faraday dengan kondisi optimum yang harus diperhatikan yaitu: voltase 3 Volt, waktu operasi 3 jam, dan penambahan NaCl ke dalam air limbah sebagai *elektrolit support*.

#### DAFTAR PUSTAKA

Benfield, L. D., Judkins J. F. and Weand, B. L: *Process Chemistry for Water and Wastewater Treatment*. Prentice Hall Inc, 1982.

Duffey, J.G.: *Electrochemical Removal of Heavy Metals from Wastewater, Product Finishing*, p. 72, August 1983.

Fraco, N. B: *Electrochemical Removal of Heavy Metal from Acid Mine Drainage*. Enviromental Protection Agency Report EPA-670 12-74-023. May 1974.

Galunggung, Agung: *Pengolahan Limbah Coolant Dengan Elektrokoagulasi Menggunakan Konsep Continue Moveable*. Laporan Tugas Akhir, Teknik Lingkungan Itenas. 2006.

Hadi, Anwar.: *Prinsip Pengelolaan Pengambilan Sampel Lingkungan*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta. 2005

Mukimin, Aris: *Pengolahan Limbah Industri Berbasis Logam Dengan Teknologi Elektrokoagulasi Flotasi*. Tesis Program Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Diponegoro Semarang. 2006

Metcalf, Eddy.: *Wastewater Engineering*. third edition. McGraw - Hill Inc. New York. 1991



- Nurhayati, Siti:.. *Elektrokoagulasi Dengan Al dan Fe*. Laporan Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan. Institut Teknologi Bandung. 1993
- Pallar, H.: *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Rineka Cipta. Jakarta. 1994
- Peter, H. Geoffrey, B and Mitchell, C.: *Electrocoagulation As a Wastewater Treatment, Departement of Chemical Engeneering*. The University of Sydney. New South Wales. 2006
- Purwanto, Syamsul H: *Teknologi Industri Elektroplating*, Badan penerbit Universitas Diponegoro, Semarang. 2005
- Purwaningsih, Indah: *Pengolahan Limbah Cair Industri Batik CV. Batik Indah Raradjonggrang Yogyakarta Dengan Metode Elektrokoagulasi Ditinjau dari Parameter COD dan Warna*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta. 2008
- Rahmawan, Basuki:.. *Pewarna Dasar Kulit Floater Atasan Sepatu PD. Putra Setra Garut*. Laporan Tugas Akhir. Departemen Perindustrian dan Perdagangan Akademi Teknologi Kulit Yogyakarta. 2004
- Renk, R. R.: *Treatment of hazardous wastewater by electrocoagulation*. In: 3rd Annual Conference Proceedings (1989). Colorado Hazardous Waste Management Society. 1989
- Siregar A, Sakti: *Instalasi Pengolahan Air Limbah*. Kanisius, Yogyakarta. 2005
- Sofiani, Rina:.. *Efektifitas Biji Moringa Oleifera Lam. Dalam Memperbaiki Sifat Fisika-Kimia Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit di Sukaregang, Garut*. Tesis Program Pasca Sarjana Bidang Khusus Pengelolaan Sumber Daya Hayati dan Lingkungan Hidup Tropika Program Studi Biologi, Institut Teknologi Bandung. 1999
- SK Gubernur: *Surat Keputusan TK 1 Jawa Barat No. 6 Tahun 1999; Tentang Baku Mutu Limbah Cair Untuk Industri Penyamakan Kulit*.
- Wijaya, Choirul Ariessanti: *Penurunan Kadar Tembaga (Cu) Dalam Air Limbah Elektroplating Artifisial Dengan Metode Elektrokoagulasi*. Laporan Tugas Akhir, Teknik Lingkungan Itenas. 2011
- Woytowich D.L.; Dalrymple C. W.; Britton M. G: *Electrocoagulation (CURE) Treatment of Ship Bilgewater for the U. S. Cost Guard in Alaska*. Marine Technogy Society Journal, Vol. 27. 1p. 62, Spring 1993.
- Yulianto, Andik; Hakim Luqman; Purwaningsih, Indah; Pravitasari, Vidya Ayu: *Pengolahan Limbah Cair Industri Batik Pada Skala Laboratorium Dengan Menggunakan Metode Elektrokoagulasi*. Jurnal Jurusan Teknik lingkungan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. 2009.