

EFEK KONFIGURASI MONOPOLAR DAN BIPOLAR PADA PROSES ELEKTROKOAGULASI ALIRAN KONTINYU TERHADAP PENGOLAHAN LIMBAH LAUNDRY

EFFECT OF MONOPOLAR AND BIPOLAR CONFIGURATION TO THE CONTINUOUS FLOW ELECTROCOAGULATION PROCESS FOR LAUNDRY WASTEWATER TREATMENT

Evy Hendriarianti¹⁾ dan Nanik Astuti Rahman²⁾

Institut Teknologi Nasional Malang

Jalan Bendungan Sigura-gura, Malang

Email: ¹⁾hendriarianti@yahoo.com; ²⁾nanik_ar29@yahoo.com

Abstrak: Industri laundry menimbulkan dampak lingkungan berupa penurunan oksigen perairan. Alternatif pengolahan limbah laundry mempunyai pertimbangan dalam kemudahan operasi, kebutuhan lahan minimal dan reuse effluent. Salah satu alternatif pengolahan dengan elektrokoagulasi. Pada proses elektrokoagulasi terjadi pelepasan Al^{3+} dari pelat anoda sehingga membentuk flok $Al(OH)_3$ yang mampu mengikat zat organik yang merupakan partikel koloid bermuatan negatif (-) penyebab COD, TSS dan Warna tinggi limbah laundry. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh konfigurasi elektroda dalam menurunkan COD, TSS dan Warna limbah laundry pada elektrokoagulasi aliran kontinyu. Jenis elektroda yang digunakan Aluminium dengan konfigurasi monopolar dan bipolar. Sedangkan jarak antar elektroda 2,0 cm. Metode analisa konsentrasi COD dan Warna adalah spektrofotometri, sedangkan TSS menggunakan gravimetric. Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan signifikan untuk COD dan Warna diantara konfigurasi monopolar dan bipolar, tetapi tidak signifikan perbedaannya untuk TSS. Sedangkan pada variasi waktu sampling menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan untuk COD, TSS maupun Warna. Persen penurunan COD selama waktu operasi pada kedua elektroda mengalami penurunan dengan persentase terendah sebesar 0,152 % dan tertinggi sebesar 4,233 % pada bipolar. Persen penurunan TSS cenderung meningkat dengan nilai tertinggi sebesar 27,164 % pada bipolar. Persen penurunan Warna cenderung berfluktuatif pada bipolar dan cenderung menurun pada monopolar. Persentase penurunan Warna tertinggi sebesar 48,878 % pada monopolar.

Kata kunci: COD, warna, elektrokoagulasi, laundry, dan TSS.

Abstract: Laundry wastewater with high concentration of COD and TSS cause the dissolved oxygen deficiency at receiving water. So, study of using electrocoagulation is needed. In the electrocoagulation process, Al^{3+} ion is released from the anode plate forming $Al(OH)_3$ floc then combine with negatively charge of colloidal particles that making COD and TSS is high in laundry wastewater. Using electrocoagulation process expected can improve removal colour, COD and TSS. This research have aimed to know the difference of colour, COD and TSS removal between monopolar and bipolar of configuration variation with the Aluminium electrodes. Laboratory quantitative analysis method for Colours and COD is spectrophotometric, and for TSS used gravimetry methods. The result show differences significantly effect for removal efficiency of colours and COD but no differences significantly effect for removal efficiency of TSS, between monopolar and bipolar configuration. COD removal at two configuration of electrodes decrease with the lowest value as 0,152 % and the highest value as 4,233 % in the bipolar. TSS removal has increasing trend with the highest of 27,164 % at the bipolar. Colour removal has fluctuative trend at the bipolar and has decrease trend at the monopolar. The highest removal of colour as 48,878 % at the monopolar configuration.

Keywords: COD, colours, electrocoagulation, laundry, and TSS.

PENDAHULUAN

Salah satu bagian dari industri tekstil adalah industri pencucian pakaian atau *laundry*, yaitu industri yang melakukan kegiatan pencucian pakaian. Jasa pencucian pakaian atau *laundry* berkembang dimana-mana terutama di daerah pemukiman. Limbah cair industri *laundry* mengandung zat tersuspensi, bahan organik, dan warna yang cukup tinggi.

COD, TSS dan Warna pada limbah *laundry* disebabkan oleh kandungan bahan organik yang merupakan partikel koloid bermuatan negatif (-) dan sulit dipisahkan dari cairan karena ukurannya sangat kecil dan mempunyai sifat muatan listrik pada permukaannya yang menyebabkan koloid ini stabil (Suaib, 1994).

Salah satu proses pengolahan limbah yang efisien, ekonomis, dan aplikatif adalah elektrokoagulasi. Metode elektrokoagulasi mempunyai dua konfigurasi yaitu monopolar dan bipolar. Pada proses elektrokoagulasi akan terjadi pelepasan Al^{3+} dari pelat anoda sehingga membentuk flok $Al(OH)_3$ yang mampu mengikat zat organik yang merupakan partikel koloid bermuatan negatif (-) penyebab TSS dan COD yang tinggi pada limbah *laundry*.

Penurunan parameter kualitas air limbah *laundry* dalam hal ini COD dan TSS pada proses elektrokoagulasi dipengaruhi beberapa faktor. Adapun beberapa faktor tersebut meliputi jenis elektroda, jumlah elektroda, kuat arus yang mengalir, jarak antar elektroda dan waktu proses. Namun dalam perkembangannya, pengolahan air limbah dengan metode elektrokoagulasi terbentur dengan permasalahan umum proses elektrokoagulasi yaitu elektroda yang digunakan dalam proses pengolahan ini harus diganti secara teratur, penggunaan listrik kadang kala lebih mahal pada beberapa daerah, dan terbentuknya lapisan di elektroda dapat mengurangi efisiensi pengolahan.

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui perbedaan tingkat penurunan TSS, warna dan COD pada proses elektrokoagulasi konfigurasi monopolar dan bipolar. Disamping itu diharapkan akan diketahui pula pengaruh waktu optimal penurunan TSS, warna dan COD pada proses elektrokoagulasi monopolar dan bipolar.

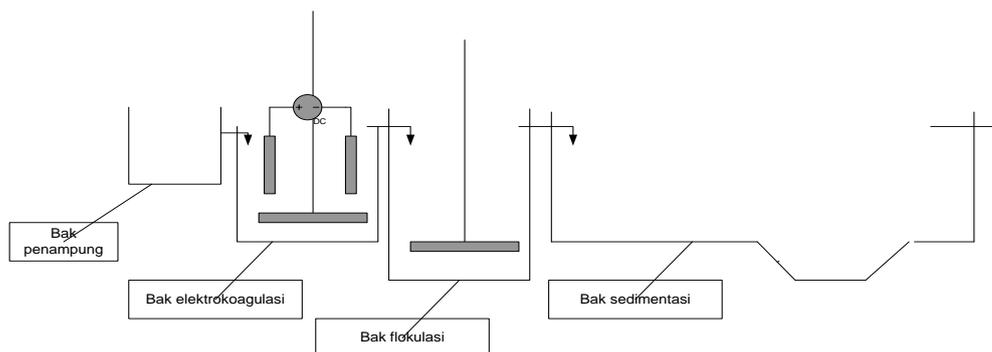
Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium. Sampel limbah yang digunakan adalah limbah industri *laundry* di Kelurahan Sumbersari Kota Malang. Aliran yang digunakan dalam proses adalah aliran kontinyu. Variasi penelitian yang dilakukan adalah konfigurasi elektroda dan waktu operasi.

DATA DAN METODE

Penelitian ini dilakukan dengan variabel respon yang diukur adalah konsentrasi TSS, warna dan COD. Variabel prediktornya adalah konfigurasi elektroda (monopolar dan bipolar), dan waktu operasional reaktor elektrokoagulasi selama 135 menit dengan pengambilan sampel setiap 45 menit, Variabel tetap dalam penelitian adalah nilai tegangan sebesar 9 V dengan konfigurasi elektroda monopolar.

Peralatan yang digunakan berupa bak penampung yang berfungsi untuk menampung dan menyetarakan debit sesuai dengan yang direncanakan. Perlengkapan utama berupa reaktor elektrokoagulasi menggunakan tiga bak yaitu bak pengaduk cepat dengan elektroda (elektrokoagulasi), bak pengaduk lambat (flokulasi) dan bak sedimentasi. Perlengkapan tambahan dalam reaktor elektokoagulasi berupa adaptor regulator, stavolt dan elektroda negatif (katoda) serta elektroda positif (anoda).

Peralatan lain yang digunakan, untuk analisa pH dengan pH meter dan suhu dengan thermometer serta stopwatch. Skema gambar reaktor elektrokoagulasi dapat dilihat pada gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Reaktor elektrokoagulasi.

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel asli industri *laundry* yang mengandung COD dan TSS. Pada awal tahap penelitian dilakukan analisis pendahuluan untuk mengetahui kondisi awal sampel yang akan diolah. Parameter yang dianalisis adalah TSS, warna dan COD. Selanjutnya dilakukan uji kualitas sampel awal, kemudian dilakukan proses elektrokoagulasi dengan menggunakan variasi jenis dan jarak antar elektroda dengan tahapan proses sebagai berikut: (1) melakukan kalibrasi alat sebanyak 3 kali pengulangan yaitu pada motor pengaduk unit pengadukan cepat dengan elektroda dan flokulasi serta debit yang dialirkan oleh bak penampung; (2) memasang katoda dan anoda serta rangkaian listrik pada elektroda; (3) menyiapkan sampel limbah cair yang akan diolah, kemudian memasukkannya ke dalam bak penampung limbah; (4) menyalakan suplai listrik dari adaptor dengan arus listrik 5 A dan tegangan 9 V. Serta menyalakan alat pengaduk pada bak pengaduk cepat dengan elektrokoagulasi dan bak pengaduk lambat; (5) Setiap 45 menit diambil sampel dari outlet bak sedimentasi untuk dianalisa meliputi parameter TSS, warna dan COD; (6) Melakukan pergantian variasi antara konfigurasi monopolar dan bipolar.

HASIL DAN DISKUSI

Karakteristik Awal Limbah Industri *Laundry*

Air limbah industri *laundry* yang digunakan dalam penelitian diambil dari industri *laundry* di Kelurahan Sumbersari Kota Malang. Hasil analisa karakteristik awal air limbah dapat dilihat pada tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Hasil analisis awal limbah industri *laundry*.

No	Parameter	Konsentrasi (mg/l) pada Konfigurasi Monopolar	Konsentrasi (mg/l) pada Konfigurasi Bipolar
1	TSS(mg/l)	32,233	63,767
2	COD (mg/l)	60,952	53,073
3	Warna(Pt.Co)	4,471	5,712
4	pH	7,28	7,24
5	Suhu ($^{\circ}$ C)	24,87	24,67

Dari hasil analisa awal kualitas air limbah laundry yang diambil pada lokasi sampling dapat dilihat adanya perbedaan nilai terutama pada kualitas TSS. Hal ini menunjukkan adanya fluktuasi konsentrasi TSS air limbah laundry pada lokasi sampling. Disamping itu

nilai konsentrasi TSS, COD dan Warna yang rendah menunjukkan sample air limbah laundry diambil setelah proses pembilasan.

Pengaruh Waktu dan Konfigurasi Elektroda Terhadap Penurunan Konsentrasi COD

Hasil analisa konsentrasi COD pada setiap waktu sampling pada outlet bak sedimentasi dapat dilihat pada tabel 2 berikut ini:

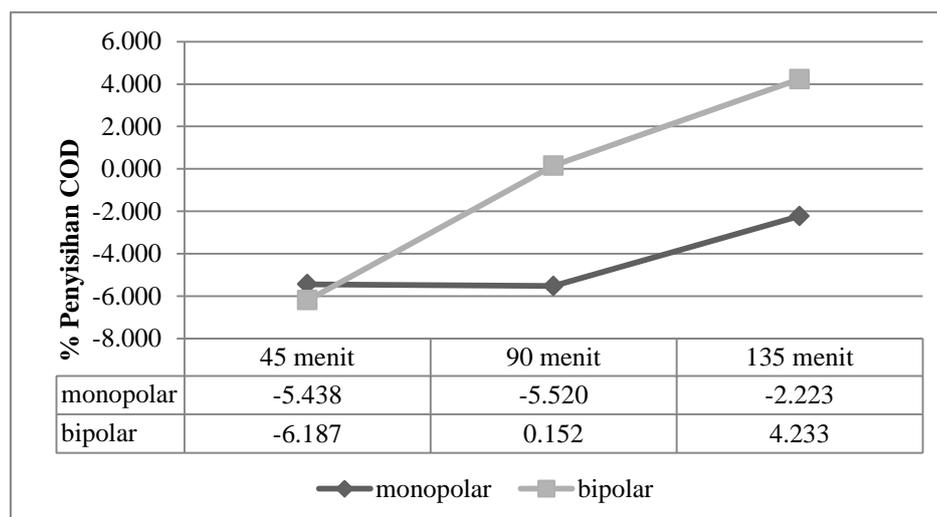
Tabel 2. Data konsentrasi COD (mg/l).

Konfigurasi	t(menit)	1	2	3	rata2
Monopolar	0	61.563	61.322	59.971	60.952
	45	65.422	61.611	65.712	64.248
	90	64.554	64.650	63.734	64.313
	135	63.107	63.782	63.830	63.573
Bipolar	0	54.375	51.770	53.073	53.073
	45	56.594	56.208	56.208	56.337
	90	55.340	56.594	54.568	55.501
	135	54.375	49.358	54.616	52.783

Selanjutnya hasil perhitungan persen penyisihan COD dapat dilihat pada tabel 4.3 dan gambar 2.

Tabel 3. Data persen penyisihan COD.

Konfigurasi	t (Menit)	1	2	3	rata2
Monopolar	45	-6.268	-0.471	-9.573	-5.438
	90	-4.858	-5.427	-6.275	-5.520
	135	-2.508	-4.012	-0.151	-2.223
Bipolar	45	-4.081	-8.573	-5.907	-6.187
	90	-1.775	-0.687	2.918	0.152
	135	0.000	12.786	-0.088	4.233



Gambar 2. Persentase penyisihan COD.

Pada gambar 2 dapat dilihat bahwa persen penyisihan COD terendah terjadi pada konfigurasi bipolar sebesar 0,152 % dan tertinggi pada konfigurasi bipolar juga sebesar 4,233 %. Beberapa data penyisihan menunjukkan nilai negatif yang artinya terjadi peningkatan konsentrasi COD. Kondisi ini terjadi pada konfigurasi monopolar untuk semua waktu sampling dan konfigurasi bipolar pada waktu sampling ke 45 menit.

Dari hasil analisa korelasi antara waktu dengan konsentrasi COD pada konfigurasi monopolar menunjukkan hubungan yang sedang dan searah ($r = 0,647$), sedangkan dari nilai probabilitas menunjukkan hubungan yang tidak signifikan ($P\text{-value} = 0,353$). Pada konfigurasi bipolar, hubungan antara waktu dengan konsentrasi COD menunjukkan hubungan yang lemah dan berlawanan arah ($r = -0,125$), sedangkan dari nilai probabilitas menunjukkan hubungan yang tidak signifikan pula ($P\text{-value} = 0,875$). Dari hasil uji Anova menunjukkan tidak adanya perbedaan yang signifikan untuk konsentrasi akhir COD dalam setiap variasi waktu, baik pada konfigurasi monopolar ($P\text{-value} = 0,883$) maupun bipolar ($P\text{-value} = 0,669$). Hasil uji Anova untuk variasi konfigurasi elektroda menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan dalam konsentrasi akhir COD yang dihasilkan ($P\text{-value} = 0,00$).

Peningkatan konsentrasi COD disebabkan karena kemungkinan terkontaminasinya bak penampung yang digunakan dari deterjen pencucinya. Pembilasan bak penampung yang kurang sempurna akan meninggalkan sisa deterjen yang merupakan material organik penyebab COD. COD dalam limbah *laundry* disebabkan oleh material organik dalam limbah tersebut yang sebagian besar berupa material LAS (surfaktan), *carboxyl methyl cellulose* (CMC) dan minyak tumbuhan (Seo, dkk., 2001). COD merupakan bahan organik kompleks yang sulit untuk diuraikan sehingga dalam pengolahannya juga diperlukan suatu pengolahan yang khusus. Pada proses elektrokoagulasi penelitian ini terjadi pelepasan Al^{3+} dari pelat anoda sehingga membentuk flok $Al(OH)_3$ yang mampu mengikat zat organik yang merupakan partikel koloid bermuatan negatif (-) penyebab COD dan TSS yang tinggi pada limbah *laundry* (Suaib, 1994). Selain itu penurunan bahan organik dalam hal ini COD pada proses elektrokoagulasi, dapat teradsorpsi pada permukaan partikel sehingga terbentuk permukaan yang hidropobik yang menyebabkan partikel dalam air limbah akan naik ke permukaan dengan bantuan gelembung gas yang terbentuk (Hudori, 2008).

Persentase penurunan COD pada konfigurasi bipolar yang rendah kemungkinan disebabkan proses elektrolisis yang tidak maksimal. Proses elektrolisis menentukan jumlah koagulan yang dihasilkan. Jumlah logam Aluminium yang larut tergantung pada jumlah arus listrik yang mengalir pada elektroda. Hukum Faraday membuat hubungan antara kuat arus (I)

yang mengalir dengan jumlah massa yang terlepas ke larutan, hal ini merupakan pendekatan secara teoritis untuk menghitung jumlah aluminium yang terlepas ke larutan. Adapun rumus dari hukum Faraday adalah sebagai berikut:

$$m = \frac{I.t.MW}{Z.F} \quad (1)$$

Dimana:

- m = berat aluminium yang larut (g)
- I = kuat arus yang digunakan (A)
- t = waktu detensi (detik)
- MW = berat molekul aluminium, yaitu 27 g mol
- Z = valensi aluminium, yaitu 3
- F = konstanta Faraday, 96500 C/mol

(Sumber: Chang, 2002)

Salah satu yang dapat menimbulkan ketidaktepatan pengukuran adalah tegangan/potensial yang digunakan pada reaktor elektrokoagulasi. Tegangan yang diukur merupakan gabungan dari tiga komponen (Rajesshwar dan Ibanes, 2005), yaitu:

$$\eta AP = \eta K + \eta Mt + \eta IR \quad (2)$$

Dimana:

- ηAP = overpotensial yang digunakan (V)
- ηK = overpotensial kinetik (V)
- ηMt = overpotensial konsentrasi (V)
- ηIR = overpotensial yang disebabkan hambatan larutan atau IR-drop(V)

IR-drop berkaitan dengan jarak (d dalam cm) antara elektroda, luas permukaan (A dalam m²) dari katoda dan konduktivitas spesifik dari larutan (K dalam $\mu S/cm$) dan kuat arus (I dalam A) yang dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$\eta IR = \frac{Id}{AK} \quad (3)$$

Nilai IR- drop dapat diminimalkan dengan cara mengurangi jarak antara elektrodadan meningkatkan luas penampang elektroda serta menaikkan konduktivitas spesifik dari larutan.

Overpotensial konsentrasi (Mt) juga dikenal sebagai tegangan transfer massa atau difusi yang disebabkan perubahan konsentrasi analit yang terjadi dipermukaan elektroda akibat reaksi di elektroda tersebut. Overpotensial ini disebabkan terjadinya perbedaan konsentrasi spesies elektroaktif antara bulk larutan dan permukaan elektroda. Kondisi ini terjadi ketika reaksi elektrokimia yang cukup cepat menurunkan konsentrasi permukaan spesies elektroaktif dibawah larutan bulk. Overpotensial tegangan ini dapat diabaikan ketika konstantalaju reaksi lebih kecil dari koefisien transfer massa. Overpotensial transfer massadapat dikurangi dengan cara meningkatkan transportasi ion logam dari permukaan anoda ke larutan dan hal ini dapat dicapai dengan meningkatkan turbulensi dari larutan.

Overpotensial kinetik atau juga disebut potensial aktivasi merupakan penghalangalami energi aktivasi dari reaksi transfer elektron. Overpotensial aktivasi akan menjadi tinggi ketika timbul gas pada elektroda. Selain itu overpotensial kinetik dan konsentrasi akan mengalami peningkatan ketika arus listrik yang mengalir juga meningkat.

Menurut Mollah (2001) untuk menghasilkan efisiensi pengolahan yang maksimum maka dalam mendesain reaktor elektrokoagulasi perlu mempertimbangkan beberapa faktor berikut ini:

- IR-drop antar elektroda harus diminimalkan
- Akumulasi gas O₂ dan H₂ dipermukaan elektroda harus diminimalkan
- Penghalang proses transfer massa melewati daerah antar elektroda harus diminimalkan.

Sedangkan nilai IR-drop tergantung pada:

- Konduktivitas dari larutan elektrolit
- Jarak antar dua elektroda
- Bentuk geometri dari elektroda

Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka dapat dilakukan beberapa cara, seperti: menggunakan larutan dengan konduktivitas yang tinggi, dan mengurangkan jarak antar elektroda. Dari uraian diatas, kemungkinan jarak antar elektroda sebesar 2 cm dalam penelitian ini terlalu besar sehingga memperbesar IR-drop. Akibatnya jumlah arus yang dihasilkan akan terbatas dalam elektrolisis logam Aluminium pada elektroda.

Untuk menghasilkan koagulan diperlukan beda potensial diantara elektroda. Perbedaan potensial ini diperlukan untuk menimbulkan reaksi elektrokimia pada masing-masing elektroda.

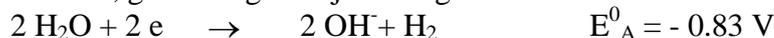
Pada proses elektrokoagulasi dengan elektroda Aluminium, terjadi proses pelarutan anodik yang reaksinya adalah sebagai berikut:



Pembentukan oksigen juga terjadi di anoda (Hudori, 2008) walaupun tidak terdeteksi oleh analisa Przhgorlinskii et al., 1987, reaksinya adalah:



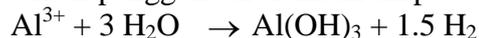
Selain itu secara simultan terjadi reaksi di kutub katoda, biasanya pembentukan gas hidrogen. Reaksi yang terjadi di katoda tergantung pada pH air yang diolah. Pada kondisi netral atau basa, gas hidrogen terjadi dengan reaksi:



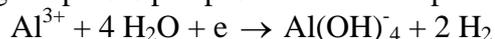
Sedangkan pada kondisi asam, reaksi pembentukan gas hidrogen adalah sebagai berikut:



Untuk penggunaan aluminium pada kedua elektroda, reaksinya adalah sebagai berikut:



Sedangkan proses pelepasan aluminium pada kutub katoda adalah sebagai berikut:



Persamaan 2.1 sampai 2.4 merupakan reaksi separuh sel yang dominan terjadi pada reaktor dengan anoda aluminium dan katoda logam inert. Potensial dari reaksi yang terjadi tergantung pada bahan yang digunakan pada elektroda dan kondisi larutan.

Penyisihan COD terjadi akibat proses flotasi, dimana pada katoda akan terbentuk gas H₂ dan pada anoda akan terbentuk gas O₂. Pembentukan oksigen di anoda menyebabkan meningkatnya suplai oksigen pada air limbah (Hudori, 2008). Suplai oksigen merupakan faktor yang sangat berperan dalam penurunan konsentrasi COD (Alaerts dan Santika, 1987). Pembentukan gas H₂ dan O₂ dipengaruhi oleh jarak antar elektroda, dimana semakin dekat jarak antar elektroda maka semakin banyak pembentukan gas H₂ dan O₂ (Hudori, 2008).

Dari uraian diatas, rendahnya persen penurunan COD kemungkinan juga disebabkan karena terbatasnya pembentukan gas H₂ pada katoda dan gas O₂ pada anoda sehingga proses flotasi COD juga terbatas.

A. Pengaruh Waktu dan Konfigurasi Elektroda Terhadap Penurunan Konsentrasi TSS

Data konsentrasi akhir TSS dan persentase penyisihannya pada kedua konfigurasi dapat dilihat pada tabel 4.

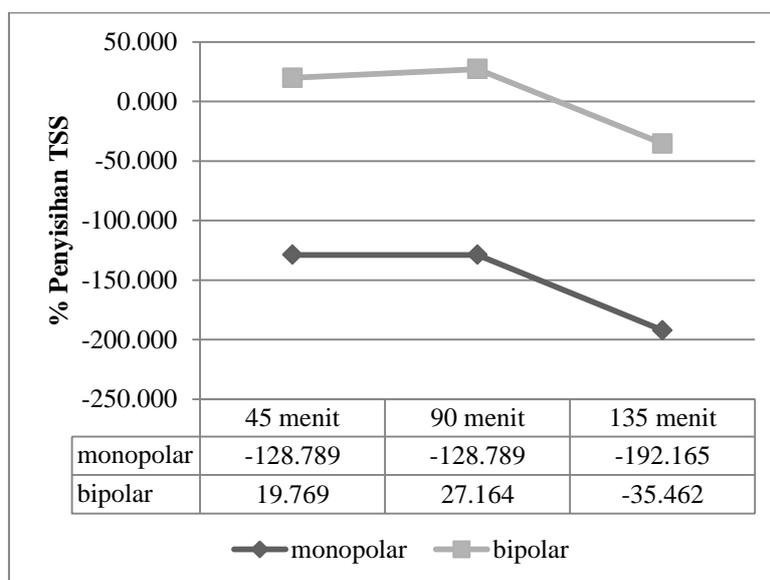
Tabel 4. Data konsentrasi akhir TSS (mg/l).

Konfigurasi	t(menit)	1	2	3	rata2
Monopolar	0	37.100	32.400	27.200	32.233
	45	94.600	40.900	83.000	72.833
	90	88.200	109.200	84.600	94.000
	135	83.300	100.100	93.300	92.233
Bipolar	0	82.200	35.200	73.900	63.767
	45	70.600	35.200	40.500	48.767
	90	33.100	34.400	59.500	42.333
	135	33.500	121.700	14.700	56.633

Untuk selanjutnya hasil perhitungan % penyisihan TSS dapat dilihat pada tabel 5 dan gambar 3

Tabel 5. Data persentase penyisihan TSS.

Konfigurasi	t (Menit)	1	2	3	rata2
Monopolar	45	-154.987	-26.235	-205.147	128.789
	90	-154.987	-26.235	-205.147	128.789
	135	-124.528	-208.951	-243.015	192.165
Bipolar	45	14.112	0.000	45.196	19.769
	90	59.732	2.273	19.486	27.164
	135	59.246	-245.739	80.108	-35.462



Gambar 3. Persentase penyisihan TSS.

Pada gambar 3. di atas, dapat dilihat bahwa persen penyisihan TSS terendah dan tertinggi terjadi pada konfigurasi bipolar sebesar berturut-turut 19,769 % dan 27,164 %. Persentase penyisihan TSS bernilai negatif pada semua waktu sampling konfigurasi monopolar. Sedangkan pada konfigurasi bipolar, persentase penyisihan negatif terjadi pada waktu sampling menit ke 135. Hal ini disebabkan karena terjadinya peningkatan konsentrasi TSS yang kemungkinan disebabkan karena keterbatasan kinerja proses koagulasi-flokulasidan sedimentasi.

Dari hasil analisa korelasi antara waktu dengan konsentrasi TSS pada konfigurasi monopolar menunjukkan hubungan yang kuat dan searah ($r = 0,905$), sedangkan dari nilai probabilitas menunjukkan hubungan yang tidak signifikan ($P\text{-value} = 0,095$). Pada konfigurasi bipolar, hubungan antara waktu dengan konsentrasi COD menunjukkan hubungan yang lemah dan berlawanan arah ($r = -0,385$), sedangkan dari nilai probabilitas menunjukkan hubungan yang tidak signifikan pula ($P\text{-value} = 0,615$). Dari hasil uji Anova menunjukkan tidak adanya perbedaan yang signifikan untuk konsentrasi akhir COD dalam setiap variasi waktu, baik pada konfigurasi monopolar ($P\text{-value} = 0,875$) maupun bipolar ($P\text{-value} = 0,637$). Hasil uji Anova untuk variasi konfigurasi elektroda menunjukkan tidak adanya perbedaan yang signifikan dalam konsentrasi akhir TSS yang dihasilkan ($P\text{-value} = 0,234$).

Proses pengadukan cepat dengan elektroda merupakan faktor kunci dalam elektrokoagulasi, proses ini menggambarkan interaksi antara koagulan dengan bahan polutan yang hendak diolah. Prinsip dari pengadukan cepat dengan elektroda adalah destabilisasi partikel koloid dengan caramengurangi semua gaya yang mengikat, kemudian menurunkan energi penghalang dan membuat partikel menjadi bentuk flok. Pada penelitian ini keterbatasan proses destabilisasi koloid bisa terjadi karena terbatasnya koagulan karena keterbatasan proses elektrolisa yang telah dijelaskan sebelumnya.

Pada elektrokoagulasi, stabilitas polutan diukur dari karakteristik fisik kimia dari polutan tersebut. Polutan tersusun atas partikel bermuatan yang sama yang terikat satu dengan lainnya dan dengan gaya repulsive menyebabkan menjadi stabil. Proses perubahan ion yang berlawanan menjadi polutan yang bermuatan akan membentuk lapisan ganda elektrik (*electric double layer*) yang disebut lapisan diffuse dan Stern (Holt, 2002). Repulsif elektrostatis diantara lapisan ganda elektrik akan membuat partikel terpisah, sedangkan gaya van der Waals akan menyatukan partikel tersebut.

Dalam proses elektrokoagulasi dengan elektroda Aluminium, ion positif (kation) aluminium yang terlepas (tergantung pada kondisi polutan, pH dan konsentrasi larutan) secara langsung akan berinteraksi dengan polutan dan akan terjadi hidrolisa membentuk kompleks hidro-aluminium atau juga terjadi presipitasi. Proses pembentukan kation ini sangat penting untuk dapat memahami mekanisme elektrokoagulasi.

B. Pengaruh Waktu dan Konfigurasi Elektroda Terhadap Penurunan Konsentrasi Warna

Data konsentrasi akhir Warna dan persentase penyisihannya pada kedua konfigurasi dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Data konsentrasi akhir warna (Pt.Co).

Konfigurasi	t(menit)	1	2	3	rata2
Monopolar	0	3.904	4.858	4.651	4.471
	45	2.365	1.418	2.958	2.247
	90	2.859	2.912	3.061	2.944
	135	4.055	3.353	3.337	3.582
Bipolar	0	5.673	5.399	6.064	5.712
	45	5.013	5.282	5.264	5.186
	90	5.587	5.444	5.394	5.475
	135	4.055	3.241	3.948	3.748

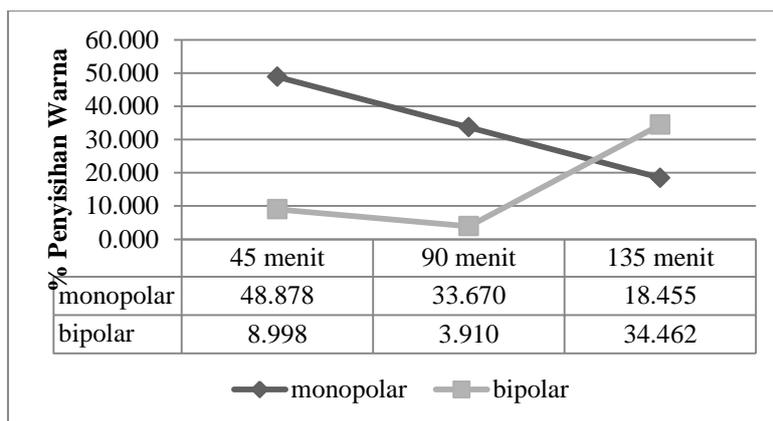
Untuk selanjutnya hasil perhitungan % penyisihan Warna dapat dilihat pada tabel 7 dan gambar 4.

Tabel 7. Data persentase penyisihan warna.

Konfigurasi	t (Menit)	1	2	3	rata2
Monopolar	45	39.421	70.811	36.401	48.878
	90	26.767	40.058	34.186	33.670
	135	-3.868	30.980	28.252	18.455
Bipolar	45	11.634	2.167	13.193	8.998
	90	1.516	-0.833	11.049	3.910
	135	28.521	39.970	34.894	34.462

Pada gambar 4 di bawah ini, dapat dilihat bahwa persen penyisihan Warna terendah terjadi pada konfigurasi bipolar sebesar berturut-turut 3,910 % dan tertinggi terjadi pada konfigurasi monopolar sebesar 48,878 %. Pada konfigurasi monopolar terjadi penurunan persen penyisihan dengan semakin lamanya waktu sampling. Hal ini kemungkinan disebabkan karena terlalu rendahnya konsentrasi warna. Kemungkinan lain disebabkan karena kinerja reactor elektrokoagulasi semakin turun dalam mereduksi warna. Sedangkan dalam reactor elektrokoagulasi konfigurasi bipolar terlihat nilai persen penyisihan warna yang fluktuatif. Selama waktu sampling 45 menit sampai 90 menit terjadi penurunan sebesar 5,087 %, Selanjutnya terjadi peningkatan sebesar 30,552 % sampai waktu sampling 135 menit.

Dari hasil analisa korelasi antara waktu dengan konsentrasi Warna pada konfigurasi monopolar menunjukkan hubungan yang lemah dan berlawanan arah ($r = -0,269$), sedangkan dari nilai probabilitas menunjukkan hubungan yang tidak signifikan ($P\text{-value} = 0,731$). Pada konfigurasi bipolar, hubungan antara waktu dengan konsentrasi Warna menunjukkan hubungan yang kuat dan berlawanan arah ($r = -0,821$), sedangkan dari nilai probabilitas menunjukkan hubungan yang tidak signifikan pula ($P\text{-value} = 0,179$). Dari hasil uji Anova menunjukkan tidak adanya perbedaan yang signifikan untuk konsentrasi akhir Warna dalam setiap variasi waktu, baik pada konfigurasi monopolar ($P\text{-value} = 0,069$) maupun bipolar ($P\text{-value} = 0,075$). Hasil uji Anova untuk variasi konfigurasi elektroda menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan dalam konsentrasi akhir Warna yang dihasilkan ($P\text{-value} = 0,038$).



Gambar 4. Persentase penyisihan warna.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan perlakuan dengan variasi konfigurasi elektroda mempunyai perbedaan signifikan untuk konsentrasi COD dan Warna tetapi tidak signifikan perbedaannya untuk konsentrasi TSS. Sedangkan perlakuan dengan variasi waktu sampling menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan untuk konsentrasi COD, TSS maupun Warna. Persen penurunan konsentrasi COD selama waktu operasi pada kedua elektroda mengalami penurunan dengan persentase terendah sebesar 0,152 % dan tertinggi sebesar 4,233 % pada konfigurasi bipolar. Persen penurunan konsentrasi TSS selama waktu operasi cenderung mengalami peningkatan dengan persentase penurunan terendah sebesar 19,769 % dan tertinggi sebesar 27,164 % pada konfigurasi bipolar. Persen penurunan konsentrasi Warna selama waktu operasi cenderung berfluktuatif pada konfigurasi bipolar dan cenderung menurun pada konfigurasi monopolar. Persentase penurunan Warna terendah sebesar 3,910 % pada konfigurasi bipolar dan tertinggi sebesar 48,878 % pada konfigurasi monopolar.

Saran

Saran yang dapat diusulkan sehubungan dengan penelitian lebih lanjut adalah perlunya mengetahui jumlah koagulan dari proses elektrokoagulasi untuk memastikan ketersediaannya dalam proses penurunan polutan.

Ucapan terima kasih

Terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional yang telah memberikan Hibah Penelitian Dosen Muda No. NOMOR: 0041/023-041/-/2010 sehingga penelitian ini bisa dilaksanakan.

Daftar Pustaka

- Alaerts, G. dan Santika S. S. *Metode Penelitian Air*. Surabaya: Penerbit Usaha Nasional, 1987.
 Chang, R. *Kimia Dasar*. Edisi Ke-3 Jilid 1, Jakarta: Erlangga, 2002.
 Hudori. "Pengolahan Limbah Laundry dengan Menggunakan Elektrokoagulasi." Central Library in Institute Technology Bandung, (2008)

- Mollah, M. Y. A., Morkovsky P., Gomes J. A. G., Kezmez M., Parga J., and Cocke D. L. "Electrocoagulation (EC), Science and Application." Journal of Hazardous Materials (2001).
- Rajesshwar, K. and Ibanez, J. G. Environmental Electrochemistry. Academic Press, 2005.
- Seo, T. G., T. S. Lee, B. H. Moon, and J. H. Lim. "Ultrafiltration Combined with Ozone for Domestic Laundry Wastewater Reclamation and Reuse. Water Supply, (Online) 1 (5-6) (2001): 387-392.
- Suaib, S. B. "Pengaruh Rapat Arus Listrik, Jumlah dan Jenis Elektroda Terhadap Efektifitas Penurunan Warna Pada Air." (1994)