

PENGARUH TEGANGAN LISTRIK, JARAK ANTAR ELEKTRODA DAN WAKTU KONTAK TERHADAP PENURUNAN ZAT WARNA *REMAZOL RED RB* MENGGUNAKAN METODE ELEKTROKOAGULASI

Novie Putri Setianingrum, Agus Prasetya, Sarto
Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika No. 2, Yogyakarta, 55281
beeputri17@gmail.com

ABSTRAK

Batik merupakan salah satu ciri budaya khas bangsa Indonesia yang telah mendapatkan pengakuan dari UNESCO. Industri batik mengalami pertumbuhan cukup pesat. Aktivitas produksi dalam industri semakin meningkat menyebabkan limbah cair terutama dari proses pewarnaan semakin banyak. Metode konvensional untuk pengolahan limbah cair masih memiliki kekurangan sehingga memerlukan metode pengolahan limbah alternatif, yaitu metode elektrokoagulasi. Proses elektrokoagulasi merupakan suatu proses koagulasi dengan menggunakan arus listrik searah melalui proses elektrokimia. Proses elektrokoagulasi dilakukan dengan memvariasikan tegangan listrik sebesar 10 volt dan 15 volt, jarak antar elektroda yaitu 2 cm dan 3 cm dan waktu kontak yaitu 0, 10 menit, 20 menit, 40 menit dan 60 menit. Untuk mengetahui pengaruh tegangan listrik, jarak antar elektroda dan waktu kontak maka dilakukan pengukuran COD, TSS dan Warna dimana sampel diambil setiap 10 menit, 20 menit, 40 menit dan 60 menit lalu dianalisis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tegangan listrik dan jarak antar elektroda memberikan pengaruh terhadap penurunan COD, TSS dan Warna pada limbah cair sintesis *Remazol Red RB*. Jarak antar elektroda dan tegangan listrik yang optimum pada penelitian ini yaitu 2 cm dan 10 volt dengan waktu kontak 10 menit hasil penurunan konsentrasi COD yang pada awalnya 428 mg/L menjadi 54 mg/L, penurunan TSS yang pada awalnya 850 mg/L menjadi 277 mg/L dan penurunan Warna yang pada awalnya sebesar 2733 PtCo menjadi 75,5 PtCo.

Kata Kunci : elektrokoagulasi, aluminium, jarak antar elektroda, tegangan listrik, limbah cair sintesis

ABSTRACT

Batik is one of the distinctive cultural characteristic of the Indonesian national that has gained recognition from UNESCO. Batik industry have grown rapidly. The higher activity in industrial production causes of sewage, especially on batik's dyeing process. The conventional method which is used for processing wastewater still has flow so that need other method of wastewater treatment as an alternative, that is electrocoagulation. Electrocoagulation represent a process of coagulation using unidirectional electric current through electro-chemical process. Electrocoagulation process is done by varying the range between electrode and electrical voltage. Variation of distance between electrode range of 2cm and 3 cm. Variation of electrical voltage range of 10 volt and 15 volt. To determine the effect of range electrode and electrical voltage to the reduction of COD, TSS and Color sewage than the samples taken 10 minutes, 20 minutes, 40 minutes and 60 minutes during the process were analyzed. The research result showed that the range of the electrode and the voltage are give effect to reduction in COD, TSS and Color in synthetic dyes remazol red rb wastewater. The optimum electrode range, contact time and voltage are 2 cm, 10 volt and 10 minutes. The decrease in COD concentration originally 428 mg/L to 54 mg/L, the decrease in TSS concentration originally 850 mg/L to 277 mg/L and the decrease in Color originally 2733 PtCo to 75,5 PtCo.

Keywords : electrocoagulation, aluminum, distance between electrode, electrical voltage, wastewater

PENDAHULUAN

Istilah batik digunakan untuk menyebut kain bermotif yang dibuat dengan menggunakan material lilin (malam). Batik salah satu ciri budaya khas bangsa Indonesia yang telah mendapatkan pengakuan dari UNESCO serta ditetapkan sebagai Warisan Kemanusiaan untuk Budaya Lisan dan Non-bendawi (*Masterpiece of the Oral and Intangible Heritage of Human*) sejak 2 Oktober 2009. Batik selain menjadi produk budaya dan identitas bangsa, juga dapat menjadi bagian dari kegiatan ekonomi sehingga diharapkan mampu meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Industri batik mengalami pertumbuhan yang pesat sehingga mempengaruhi

pertumbuhan perekonomian nasional. Data Kementerian Perindustrian (2015) industri batik dalam negeri telah naik daun yang ditandai meningkatnya produksi batik setiap tahun. Pada tahun 2010 produksi industri batik menembus angka Rp 732,67 miliar atau naik 13% dari periode sebelumnya sebesar Rp 648,94 miliar. Peningkatan jumlah unit usaha batik selama tahun 2011-2015 tumbuh 14,7% dari 41.623 unit menjadi 47.755 unit. Terjadi juga peningkatan tenaga kerja selama 2011-2015 tumbuh 14,7% dari 173.829 orang menjadi 199.444 orang. Peminat batik dari mancanegara meningkat ini tercermin dari nilai ekspor batik yang naik 14,7% dari tahun 2011 senilai Rp 43,96 triliun menjadi Rp 50,44 triliun pada tahun 2015.

Dalam proses produksi industri batik banyak menggunakan bahan kimia dan air. Bahan kimia biasanya digunakan pada proses pencelupan atau pewarnaan. Pada umumnya polutan yang terkandung pada limbah batik berupa logam berat, padatan tersuspensi, atau zat organik. Oleh karena itu, apabila buangan limbah batik dibuang secara langsung ke lingkungan tanpa adanya pengolahan maka dapat menurunkan kualitas lingkungan. Saptarini (2009) telah melakukan pengujian kandungan buangan limbah cair industri batik Indah Yogyakarta dengan melakukan pengujian parameter BOD, COD, TSS dan pH. Sampel limbah pewarna yang digunakan adalah zat warna remazol. Hasil pengujian buangan limbah cair batik Indah Yogyakarta menunjukkan nilai TSS sebesar 720 mg/L, TDS sebesar 14.030 mg/L, BOD sebesar 142 mg/L, COD sebesar 269 mg/L, kekeruhan sebesar 17 NTU, Warna sebesar 324 Pt-Co dan pH sebesar 10,2.

Metode elektrokoagulasi merupakan suatu proses koagulasi kontinyu dengan menggunakan arus listrik searah melalui proses elektrokimia. Dalam proses ini akan terjadi proses reaksi reduksi oksidasi yaitu limbah yang mengandung logam-logam akan direduksi dan diendapkan di kutub negatif (Al) sedangkan elektroda positif (Al) akan teroksidasi menjadi $[Al(OH)_3]$. Teknologi ini pernah diterapkan di instalasi pengolahan air bersih yang cukup besar di London pada akhir abad 19 (Matteson dkk, 1995 dalam Holtdkk, 2004).

Phalakornkule dkk (2010) melakukan penelitian tentang pengolahan limbah tekstil asli dan buatan untuk menghilangkan warna dengan menggunakan metode elektrokoagulasi. Penelitian dilakukan dengan menggunakan sistem batch dengan menggunakan elektroda besi dan aluminium sebanyak 5 pasang. Penelitian ini menunjukkan dengan menggunakan elektroda aluminium dengan prosentase penghilangan warna pada limbah tekstil sebesar 96% - 99%, dengan jarak antar elektroda sebesar 8 mm dan kuat arus 30 A dilakukan selama 5 menit.

Yulianto dkk. (2009) telah melakukan penelitian pengolahan limbah batik menggunakan metode elektrokoagulasi dengan mengamati perubahan konsentrasi COD, warna, TSS dan Minyak Lemak, dan diperoleh hasil penyisihan COD sebesar 30%, Warna sebesar 64%, TSS sebesar 77% dan Minyak Lemak sebesar 88 % dengan menggunakan tegangan

sebesar 25 volt, jarak elektroda 1,5 cm dalam waktu 60 menit.

Pada penelitian ini akan diusulkan pengolahan limbah cair batik sintesis yang mengandung warna remazol ($-SO_2-CH_2-CH_2-O-SO_3H$) menggunakan metode elektrokoagulasi dengan melakukan variasi terhadap jarak antar elektroda, tegangan listrik dan waktu kontak sehingga mendapatkan hasil yang optimal untuk melakukan pengolahan limbah zat warna khususnya warna *remazol red rb*.

METODOLOGI

2.1 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: zat warna remazol red rb, *aquadest*, H_2SO_4 (Merck), $K_2Cr_2O_7$ (Merck), batu didih, FAS, Indikator ferroin, Ag_2SO_4 (Merck), Hg_2SO_4 (Merck).

2.2 Alat Penelitian

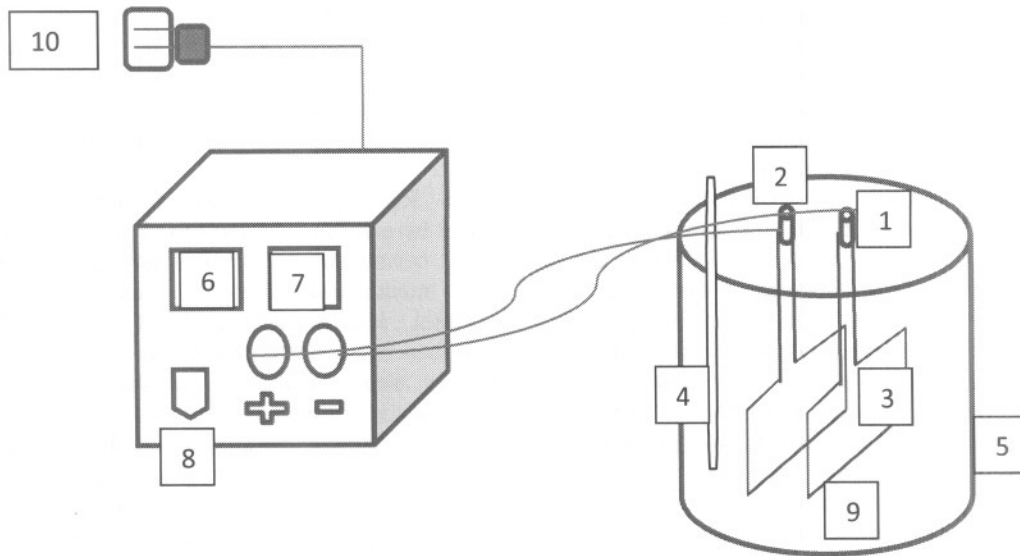
Alat yang digunakan dalam penelitian berupa gelas beaker 500 mL dengan bantuan static head dan plat aluminium dengan ukuran 6 cm x 8cm x 0,1 cm. Gelas beaker tersebut disambungkan ke sumber arus listrik berupa adaptor. Rangkaian alat disajikan pada Gambar 1.

2.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan pertama kali dengan cara melakukan pemeriksaan alat elektrokoagulasi, persiapan alat dan bahan penelitian, kemudian melakukan persiapan sampel induk dengan membuat larutan *Remazol Red Rb* konsentrasi 100 ppm. Kemudian sampel dilakukan percobaan dengan melakukan variasi tegangan sebesar 10 volt dan 15 volt dengan jarak antar elektroda sebesar 2 dan 3 cm serta waktu percobaan selama 0, 10, 20 40 dan 60 menit. Kemudian sampel diambil untuk dianalisis konsentrasi COD, TSS dan Warna. Setelah analisis di dapat baru dilakukan perhitungan.

2.4 Analisis hasil

Sampel air limbah dari reaktor untuk dilakukan analisis konsentrasi COD dengan menggunakan analisis COD dengan refluks tertutup, konsentrasi TSS dengan menggunakan metode gravimetri dan Warna dengan menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis.



Gambar 1. Rangkaian Alat Penelitian

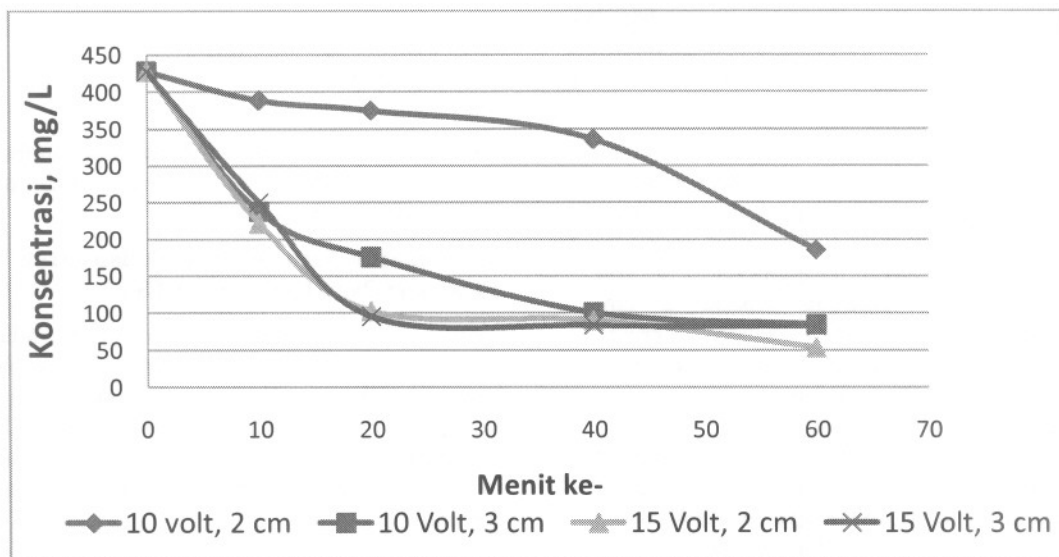
Keterangan:

1. Kabel arus positif
2. Kabel arus negatif
3. Plat aluminium
4. Termometer
5. Gelas beaker 2L
6. Voltmeter
7. Amperemeter
8. Tombol on/off
9. Limbah zat warna
10. Sumber arus listrik

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh Tegangan Listrik dan Jarak Elektroda Pada Konsentrasi COD

COD merupakan salah satu parameter penting pada air limbah. COD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan-bahan organik yang terdapat dalam air secara kimia. Oleh karena itu penurunan konsentrasi COD dalam penelitian ini sangat berpengaruh. Hasil penurunan COD dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Penurunan Konsentrasi COD

Pada Gambar 2 memperlihatkan bahwa konsentrasi COD menurun dari waktu ke waktu. Pada tegangan 10 volt dengan jarak antar elektroda 2 cm terlihat penurunan konsentrasi COD dari menit ke-0 sebesar 428 mg/L menjadi 186 mg/L pada menit ke-60. Pada tegangan 10 volt jarak elektroda 3 cm terlihat penurunan konsentrasi COD dari menit ke-0 sebesar 428 mg/L menjadi 85 mg/L pada menit ke 60. Pada tegangan 15 volt jarak elektroda 2 cm terlihat penurunan konsentrasi COD dari menit ke-0 sebesar 428 mg/L menjadi 54 mg/L pada menit ke 60. Pada tegangan 15 volt jarak elektroda 3 cm terlihat penurunan konsentrasi COD dari menit ke-0 sebesar 428 mg/L menjadi 82,4 mg/L pada menit ke 60.

Penurunan konsentrasi COD ini disebabkan adanya reaksi oksidasi dan reduksi yang berlangsung pada anoda dan katoda, menghasilkan reaksi sebagai berikut :

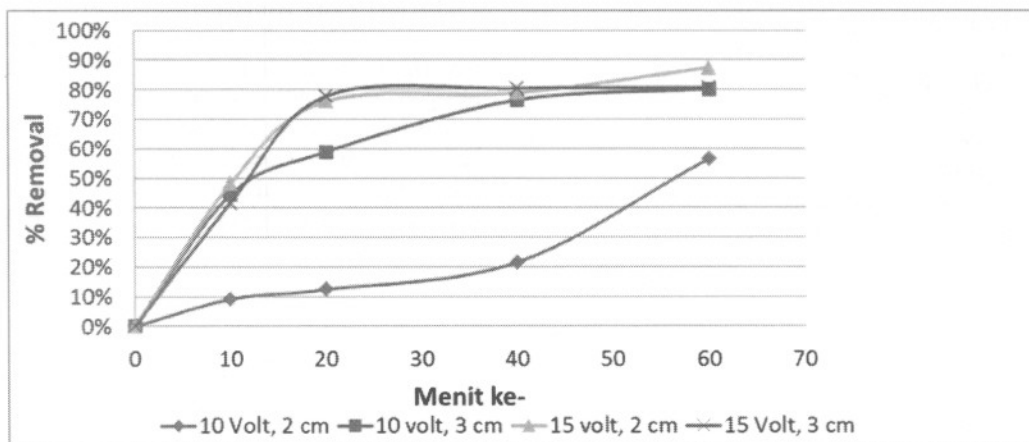
- Pada Anoda :

$$\text{Al}_{(s)} \longrightarrow \text{Al}^{3+}_{(aq)} + 3e^- \quad (1)$$

$$\text{Al}^{3+}_{(aq)} + 3\text{OH}^{-}_{(aq)} \longrightarrow \text{Al}(\text{OH})_{3(s)} \quad (2)$$
- Pada Katoda :

$$3\text{H}_2\text{O}_{(l)} + 3e^- \longrightarrow 3/2 \text{H}_2(g) + 3\text{OH}^- \quad (3)$$

Ion Al^{3+} yang dilepaskan pada anoda dapat bereaksi dengan ion OH^- dan koloid-koloid yang bermuatan negatif membentuk $\text{Al}(\text{OH})_3$ dan membentuk flok-flok dengan partikel-partikel koloid dari limbah. Flok-flok ini perlahan-lahan akan mengendap di dasar gelas beaker. Sedangkan reaksi reduksi yang terjadi pada katoda menghasilkan gas hidrogen (H_2) yang akan membawa koloid-koloid zat pengotor akan naik ke permukaan gelas beaker (proses flotasi). Ini ditandai dengan adanya gelembung/buih yang banyak. Semakin lama proses elektrokoagulasi berlangsung maka akan semakin banyak koloid-koloid yang terikat membentuk flok-flok berukuran besar. Akibat banyaknya flok-flok yang terbentuk terjadi proses penurunan konsentrasi COD.



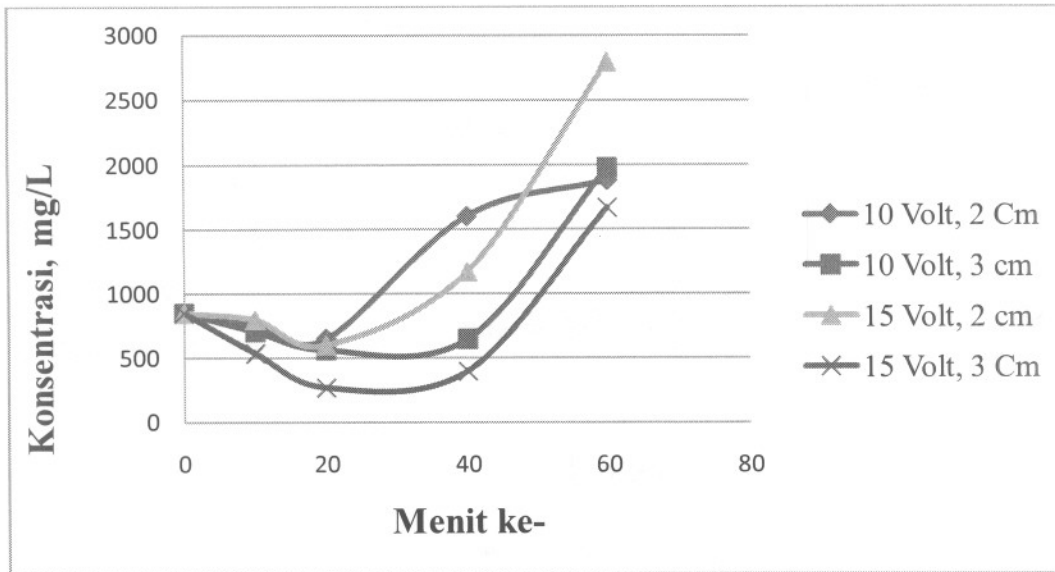
Gambar 3. % removal konsentrasi COD

Dari Gambar 3 memperlihatkan peningkatan persen removal zat warna remazol red rb, dimana persen removal penurunan konsentrasi COD mencapai 87% pada menit ke 60 dengan menggunakan tegangan listrik 15 volt dan jarak antar elektroda sebesar 2 cm. Terbentuknya ion Al^{3+} selama proses elektrokoagulasi berlangsung akan berfungsi sebagai koagulan. Sesuai dengan yang dikemukakan oleh *Michael Faraday*, bahwa semakin lama waktu elektrolisis hasil dari suatu reaksi kimia yang dikehendaki juga akan semakin bertambah. Sehingga semakin lama waktu elektrolisis semakin banyak polutan yang

teroksidasi, hal ini diperlihatkan pada gambar 3 adanya peningkatan % removal COD pada limbah warna *remazol red rb*.

3.2 Pengaruh Tegangan Listrik dan Jarak Elektroda Pada Konsentrasi TSS

Total Suspended Solid (TSS) adalah jumlah bahan tersuspensi dalam suatu volume tertentu. TSS sendiri mencerminkan jumlah kepekatan padatan dalam sampel air. Nilai TSS dalam penelitian ini mengalami hasil yang turun kemudian naik kembali, ini dapat dilihat pada gambar 3.



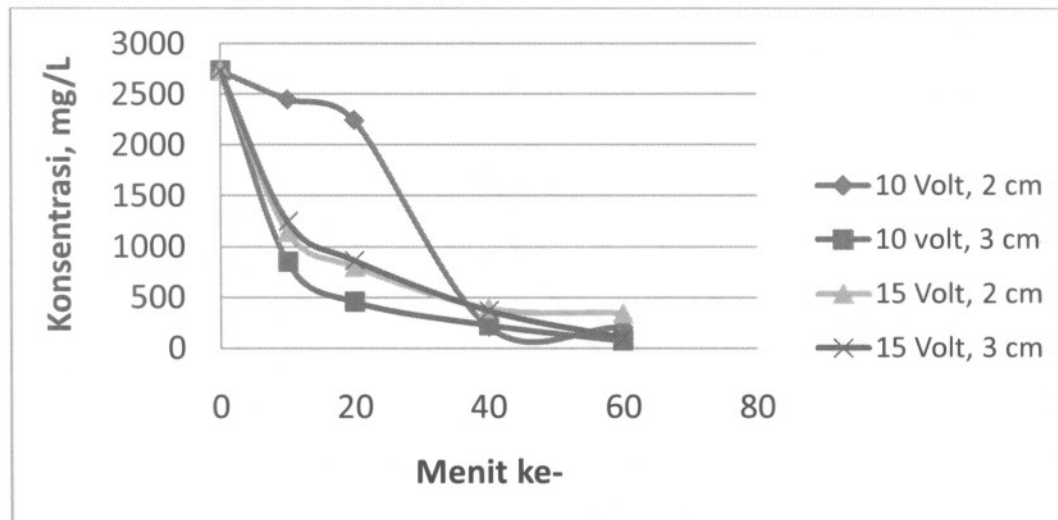
Gambar.4 Penurunan dan kenaikan konsentrasi TSS

Penurunan konsentrasi TSS juga dipengaruhi oleh tegangan listrik dan waktu kontak, dimana semakin besar tegangan listrik dan semakin lama waktu kontak yang digunakan mengakibatkan penurunan konsentrasi TSS semakin besar. Turunnya konsentrasi TSS disebabkan pada anoda terjadi reaksi oksidasi anion (ion negatif). Anoda yang terbuat dari logam akan mengalami reaksi oksidasi yang membentuk $Al(OH)_3$. Sedangkan reaksi reduksi yang terjadi pada katoda menghasilkan gas hidrogen (H_2) yang akan membawa koloid-koloid zat pengotor akan naik ke permukaan gelas beaker (proses flotasi). Prinsip proses kerja penurunan konsentrasi TSS secara umum sama seperti proses kerja penurunan kadar COD, dimana adanya pertambahan massa flok sehingga berat jenis flok menjadi lebih besar dan akhirnya mengendap pada dasar reaktor.

Berdasarkan Gambar 4 terlihat adanya kenaikan nilai konsentrasi TSS seiring dengan bertambahnya waktu proses dan tegangan yang diberikan. Hal ini berhubungan dengan besarnya kuat arus dan tegangan listrik yang diberikan pada saat proses elektrokoagulasi berlangsung. Semakin besar tegangan listrik yang diberikan semakin banyak pula dihasilkan flok-flok yang berfungsi untuk mengikat kontaminan yang berada pada air limbah. Flok-flok yang dihasilkan sebagian dapat mengendap dan sebagian terflotasi ke permukaan.

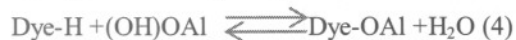
3.3 Pengaruh Tegangan Listrik dan Jarak Elektroda Pada Warna

Warna merupakan senyawa yang dapat digunakan dalam bentuk larutan sehingga penampangnya berwarna. Dalam industri batik, warna yang digunakan adalah warna sintetis seperti naphthol, indigosol dan remazol.



Gambar.5. Penurunan Warna

Pada Gambar 5 terlihat penurunan warna seiring dengan bertambahnya waktu proses elektrokoagulasi. Penurunan warna disebabkan adanya proses adsorpsi. Proses adsorpsi berfungsi untuk menyisihkan senyawa-senyawa aromatik dan senyawa terlarut. Semakin besar tegangan listrik, menyebabkan larutnya anoda semakin tinggi sehingga jumlah kompleks *hydroxo cationic* akan naik dan menyebabkan zat warna yang ada akan membentuk gumpalan yang lebih besar. Dengan terbentuknya flok yang lebih besar mengakibatkan jumlah sludge yang dihasilkan akan banyak, sehingga zat warna yang dihilangkan semakin banyak. Polutan yang merupakan zat warna akan membentuk ligands yang mengikat pada $Al(OH)_3$ dengan reaksi berikut (Dalvand dkk, 2011) :

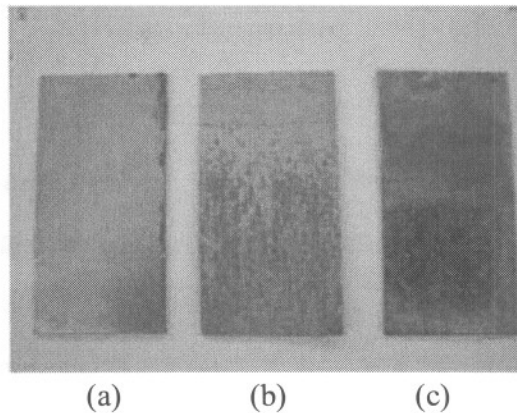


Dengan terikatnya zat warna pada proses elektrokoagulasi, maka konsentrasi COD yang terdapat pada air limbah akan mengalami penurunan. Penghilangan warna, TSS dan COD memiliki pola yang sama, semakin kecil jarak elektroda maka penghilangan warna, TSS dan COD semakin tinggi, karena reaksi ionisasi antar elektroda akan semakin cepat sehingga penurunan COD, TSS dan warna lebih cepat terjadi.

3.4 Pelarutan Plat Aluminium

Berdasarkan teori $E^0_{Al} < E^0_{H_2O} < E^0_{O_2}$ sehingga aluminium cenderung mengalami oksidasi sedangkan spesi lainnya lebih cenderung mengalami reduksi. Oksidasi aluminium menyebabkan terjadinya peluruhan yang menghasilkan ion Al^{3+} yang berfungsi sebagai agent koagulan. Percobaan elektrokoagulasi ini menggunakan dua plat elektroda jenis aluminium, yang dipotong dengan ukuran yang sama yaitu 6 cm x 10 cm x 0,1 cm. Kedua plat tersebut dimasukkan ke dalam sampel air limbah cair pewarna *Remazol Red Rb* dan dialirkan arus listrik selama proses elektrokoagulasi dilakukan dengan voltase tertentu. Penggunaan aluminium didasarkan atas beberapa penelitian yang telah ada dimana dinyatakan bahwa reaktor yang menggunakan aluminium pada kedua elektroda yaitu anoda dan katoda dilaporkan proses pelarutan aluminium melebihi 100% (Przegorlinski dkk, 1978; Donini dkk, 1994; Mameri dkk, 1998; Bozin dan Mikhailov, 1990 dalam Holt, 2002).

Berdasarkan Hukum Faraday akan terjadi dekomposisi massa aluminium berbanding lurus dengan tegangan dan waktu. Secara teoritis pelepasan ion aluminium selama elektrokoagulasi dihitung dengan menggunakan *Hukum Faraday*.



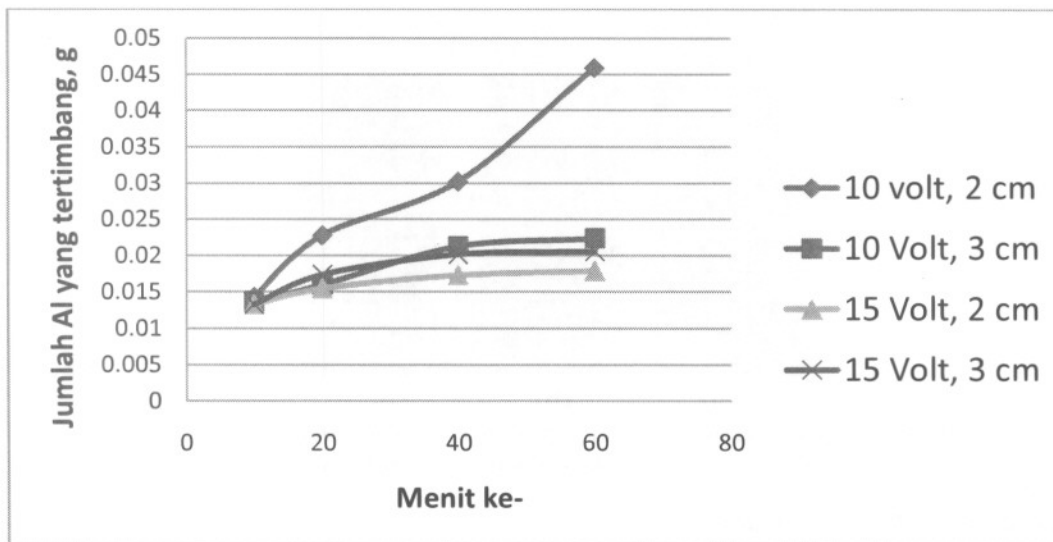
Gambar 6. Kondisi permukaan elektroda selama proses elektrokoagulasi
 (a) Sebelum digunakan (b) pertama kali pemakaian (c) pemakaian berulang kali

Tabel.1. Hasil Pelarutan Plat Aluminium Pada Anoda

No	FaktorPengukur			ElektrodaAwal (gram)	Elektroda Akhir (gram)	Jumlah Al yang tertimbang (gram)
	Voltase (Volt)	JarakElektroda (cm)	WaktuKontak (Menit)			
1	10	2	0	4,5241	0	0
			10	4,5241	4,5098	0,01430
			20	4,5108	4,4870	0,02280
			40	4,4945	4,4568	0,03020
			60	4,4765	4,4109	0,04590
		3	0	4,5241	0	0
			10	4,5241	4,5105	0,01365
			20	4,5098	4,4945	0,01600
			40	4,4934	4,4732	0,02130
			60	4,4745	4,4508	0,02240
2	15	2	0	4,5241	0	0
			10	4,5241	4,5108	0,0133
			20	4,5107	4,4953	0,0174
			40	4,4958	4,4780	0,0202
			60	4,4773	4,4601	0,0206
		3	0	4,5241	0	0
			10	4,5241	4,5108	0,0133
			20	4,51097	4,4934	0,0174
			40	4,4942	4,4732	0,0202
			60	4,4703	4,4526	0,0206

Dari Gambar 7 dan Tabel 1 dapat terlihat pelarutan aluminium yang meningkat dari menit ke -0 sampai menit ke- 60. Jumlah Al yang terlarut paling tinggi pada tegangan 10 volt

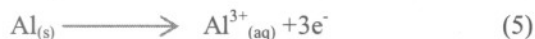
dengan jarak antar elektroda sebesar 2 cm pada menit ke 60 dengan jumlah pelarutan mencapai 0,4590 gram.



Gambar.7. Jumlah Aluminium yang tertimbang

Pelarutan aluminium terjadi pada elektroda baik anoda. Pada proses pelarutan aluminium ini terjadi reaksi kimia yang berbeda pada permukaan kedua elektroda. Pada bagian katoda terjadi penyerapan permukaan elektroda atau yang biasa disebut absorpsi sedangkan pada anoda terjadi penurunan ion positif.

Anoda melepaskan ion-ion positif sehingga ion-ion positif ini akan terus berkurang saat dialiri arus listrik, reaksi dari proses ini sebagai berikut :



Sedangkan pada katoda akan menghasilkan lapisan baru di atas permukaan plat. Ini terjadi karena adanya absorpsi dari interaksi antara ion-ion yang ada pada air limbah berwarna remazol red. Lapisan baru ini akan mengubah permukaan plat elektroda secara signifikan dan meningkatkan daya potensial listrik untuk mengalirkan arus listrik sebelum percobaan berlangsung.

Menurut Phalakornkule, dkk (2010) menyatakan besarnya massa yang terdekomposisi bergantung pada kuat arus dan waktu kontak yang digunakan. Tegangan yang digunakan berbanding lurus dengan arus listrik yang mengalir. Semakin tinggi tegangan listrik yang digunakan dan semakin lama waktu kontak yang diberikan maka semakin banyak Al^{3+} yang terurai sebagai koagulan. Semakin banyak massa elektroda yang terurai maka efektivitas penurunan pencemar.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil optimum untuk pengurangan zat warna *remazol red* yaitu tegangan listrik 10 volt, jarak antar elektroda 2 cm dan waktu kontak 60 menit.
2. Pada penelitian ini efektifitas pengurangan mencapai 80 % dengan hasil akhir konsentrasi COD 54 mg/L, TSS sebesar 277 mg/L dan warna 75,5 PtCo.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Allah SWT, Ir. Agus Prasetya M.Sc.,Ph.D, Dr. Sarto.,M.Sc, Teman-teman MTPPL UGM 2014, Orang Tua saya, Fajar Rubiyanto, Adhyastha Pramudya, Pihak Laboratorium UII Yogyakarta dan berbagai pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.

DAFTAR PUSTAKA

1. Al-Kdasi, A., Idris, A., Saed, K. and Guan, C.T., "Treatment of textile wastewater by advanced oxidation processes". *Global Nest the Int.J.* 6: 222-230, diakses dalam http://www.gnest.org/journal/Vol6_No3/Al-kdasi-222-230.pdf, (2004).
2. Bukhari, Alaadin.A. 2008. "Investigation of electrocoagulation treatment process for the removal of total suspended solid and turbidity from municipal wastewater". *Journal of Bioresource Technology* 99 914-921, (2008).
3. Canˆızares, P., Jimeˆnez, C., Martıˆnez, F., Saˆez, C., and Manuel A. Rodrigo. 2007. "Study of the Electrocoagulation

- Process Using Aluminum and Iron Electrodes*". SpainInd. Eng. Chem. Res., 46, 6189-6195, (2007).
4. Dewi, Ratna. Kajian Penggunaan Metode Elektrokoagulasi Untuk Penyisihan COD dan Turbidity Dalam Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit. Jurnal Teknik Kimia Politenik Negeri Lhokseumawe Vol. 7 No.16, Desember 2009. ISSN 1693-248X, (2009.)
 5. Golder A.K, Samanta A.N, and Ray.S.. "Removal of trivalent chromium by electrocoagulation". Journal Separation Purification Technology 53 (2007) 33-41.
 6. Hari, B. dan Harsanti, M., "Pengolahan Limbah Cair Tekstil Menggunakan Proses Elektrokoagulasi dengan Sel Al-Al", ISSN 1693-4393, Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" (2010).
 7. Hendrianti, Evy dan Angelina Puspita Sandy.. "Pengaruh Jenis Elektroda dan Jarak Antar Elektroda Dalam Penurunan COD Dan TSS Limbah Laundry Menggunakan Elektrokoagulasi Konfigurasi Monopolar Aliran Kontinyu". Lingkungan Tropis Vol 4 no. 2, September 2010 : 73-80, (2010).
 8. Holt, Peter Kevin. "Electrocoagulation : Unravelling and Synthesising The Mechanisme Behind A Water Treatment Process. Thesis. Chemical Engineering. University of Sydney. Sydney, (2002)..
 9. Irene, Shildia. Penurunan Chemical Oxygen Demand (COD) Pada Berbagai Macam Limbah Melalui Elektrokoagulasi. Kimia. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Padjajaran. Jatinangor., (2014)
 10. Kobya, M., Bayramoglu, M., and Murat Eyvaz. 2007. "Techno-economical evaluation of electrocoagulation for the textile wastewater using different electrode connections". Journal of Hazardous Materials 148 311-318, (2007).
 11. Lestari, Novianti Dwi dan Agung, Tuhu. "Penurunan TSS dan Warna Limbah Industri Batik Secara Elektrokoagulasi. Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan Volume 6 No.1., 2014.
 12. Mollah, Mohammad Y.A et al. *Treatment of orange II azo dye by electrocoagulation (EC) technique in a continuous flow cell using sacrificial iron electrode*. Journal of Hazardous material B109 (2004) 165-171.USA, 2004.
 13. Prayitno, Kismolo, dan Endro. Percobaan Awal Proses Elektrokoagulasi Sebagai Metode Alternatif Pada Pengolahan Limbah Cair. Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah. Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan-Batan. Yogyakarta, (2012).
 14. R.Ramesh Babu, N.S. Bhadrinarayana, K.M.Meera Sheriffa Begum, Anantharaman N. "Treatment Of Tannery Wastewater By Electrocoagulation". Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy. Vol 42 No: 2, 2007 p: 201-206, (2007).
 15. Ringo, Elfridawati Siringo., Ali Kusrijadi & Yayan Sunarya. "Penggunaan metode elektrokoagulasi pada pengolahan limbah industri penyamakan kulit menggunakan aluminium sebagai sacrificial electrode". Jurnal Sains dan Teknologi Kimia Volume 4 No. 2 Halaman 96-107, (2013)..
 16. Saptarini, Dyah. Pengolahan limbah cair industri batik dengan metode koagulasi-flokulasi dan adsorpsi sistem batch. Tesis. Program Studi Magister Sistem Teknik. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta, (2009).
 17. Wiranata, Supratto. Pengolahan limbah elektronik. Makalah. Program Studi Teknik Kimia. Itenas. Bandung, (2014).
 18. Yulianto, Andik, dkk.. Pengolahan Limbah Industri Batik Pada Skala Laboratorium dengan Menggunakan Metode Elektrokoagulasi. Jurnal Volume 5 No. 1, Juni 2009. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta, (2009)
 19. Zuhria, Faida. Penurunan COD, BOD dan TSS Limbah Cair Pewarna Industri Batik Rara Djonggrang dengan Metode Elektrokoagulasi. Tesis. Teknik Kimia. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta, (2014).