



Pengurangan Zat Warna Remazol Red Rb Menggunakan Metode Elektrokoagulasi secara *Batch*

Novie Putri Setianingrum^{1*}, Agus Prasetya², dan Sarto³

¹Magister Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

^{2,3}Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika No. 2, Yogyakarta, 552834

* Alamat korespondensi: novie.putri.s@mail.ugm.ac.id

(Submisi: 25 Juli 2017; Revisi: 12 Oktober 2017; Penerimaan: 27 Oktober 2017)

ABSTRACT

Batik is one of the distinctive cultural characteristics of Indonesia that has gained recognition from UNESCO. Batik industries have grown rapidly. However, batik industry produces liquid waste, especially from the dyeing process. The conventional method which is used for processing wastewater still has limitation so that an innovative method wastewater treatment is needed, one of which is electrocoagulation. Electrocoagulation is a process of coagulation using direct current through electro-chemical process. In this work, electrocoagulation was employed to treat wastewater (synthetic dyes remazol red (Rb) as wastewater model). The method was carried out by varying the distance between electrodes and varying the electrical voltages. Variations of distance between electrode range were chosen as 2 cm and 3 cm while variations of electrical voltage were 10 volt and 15 volt. To determine the effect of electrode distance and electrical voltage on the effectiveness of treatment, the chemical oxygen demand (COD), total suspended solid (TSS), and waste color were measured. The samples were taken at 10 minutes, 20 minutes, 40 minutes and 60 minutes during the process. The results showed that the distance of the electrodes and the voltage affected to the reduction of COD, TSS, and waste color. The optimum electrode distance and voltage in this research were 2 cm and 10 volt. The research showed the decrease in COD concentration from 428 mg/L to 54 mg/L, TSS concentration from 850 mg/L to 277 mg/L and the decrease in waste color from 2733 PtCo to 75.5 PtCo.

Keywords: *electrocoagulation, aluminum, electrode distance, electrical voltage, wastewater.*

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 dan jarak antar elektrode yaitu 10 volt dan 15 volt serta 2 cm dan 3 cm. Untuk mengetahui pengaruh tegangan listrik dan jarak antar elektrode maka dilakukan pengukuran *chemical oxygen demand* (COD), *total suspended solid* (TSS) dan warna dengan pengambilan sampel setiap 10, 20, 40 dan 60 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tegangan listrik dan jarak antar elektrode memberikan pengaruh terhadap penurunan COD, TSS, dan warna pada limbah cair sintesis *remazol red Rb*. Jarak antar elektrode dan tegangan listrik optimum pada penelitian ini yaitu 2 cm dan 10 volt dengan penurunan konsentrasi COD mula-mula 428 mg/L menjadi 54 mg/L, penurunan TSS mula-mula 850 mg/L menjadi 277 mg/L dan penurunan warna mula-mula sebesar 2733 PtCo menjadi 75,5 PtCo.

Kata kunci: elektrokoagulasi, aluminium, jarak antar elektrode, tegangan listrik, limbah cair sintesis

1. Pendahuluan

Istilah batik digunakan untuk menyebut kain bermotif yang dibuat dengan menggunakan material lilin (malam). Batik merupakan 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 dengan adanya peningkatan produksi batik setiap tahun. Pada tahun 2010 produksi 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 (Rully, 2015).

Menurut Al-kdasi dkk. (2004), proses produksi pada 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 dapat menurunkan kualitas lingkungan. Saptarini (2009) telah melakukan pengujian kandungan buangan limbah cair industri Batik Indah Yogyakarta dengan melakukan pengujian parameter *biological oxygen demand* (BOD), *chemical oxygen demand* (COD), *total suspended solid* (TSS) dan pH. Sampel limbah pewarna yang digunakan adalah zat warna remazol. Hasil pengujian buangan limbah cair batik Indah Yogyakarta menunjukkan nilai TSS 720 mg/L, TDS 14.030 mg/L, BOD 142 mg/L, COD 269 mg/L, kekeruhan 17 NTU, warna 324 Pt-Co, dan pH sebesar 10,2.

Metode elektrokoagulasi merupakan suatu proses koagulasi kontinu 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 elektrode positif (Al) akan teroksidasi menjadi $[Al(OH)_3]$. Pada akhir abad 19 teknologi ini pernah diterapkan pada instalasi pengolahan air bersih yang cukup besar di London (Holt, 2002).

Phalakornkule dkk. (2010) melakukan penelitian tentang pengolahan limbah tekstil asli dan buatan untuk menghilangkan warna dengan menggunakan metode elektrokoagulasi.

Penelitian dilakukan *batch* menggunakan elektrode besi dan aluminium sebanyak 5 pasang. Penelitian ini menunjukkan bahwa pada penggunaan elektrode aluminium dengan jarak antar elektrode sebesar 8 mm dan kuat arus 30 A dilakukan selama 5 menit memberikan hasil penghilangan warna pada limbah tekstil sebesar 96% - 99%.

Yulianto dkk. (2009) telah melakukan penelitian pengolahan limbah batik menggunakan metode elektrokoagulasi dengan mengamati perubahan konsentrasi COD, warna, TSS, dan minyak lemak. Pada penelitian ini diperoleh hasil penurunan konsentrasi COD 30%, warna 64%, TSS 77% dan minyak lemak sebesar 88% dengan menggunakan tegangan sebesar 25 volt, jarak elektrode 1,5 cm dalam waktu 60 menit.

Pada penelitian ini pengolahan limbah cair batik sintetis yang mengandung warna remazol red Rb menggunakan metode elektrokoagulasi. Air limbah sintetis yang digunakan dikondisikan dalam beberapa variabel yaitu variabel tegangan listrik, jarak antar elektrode dan waktu kontak sehingga diperoleh hasil yang optimal dan diharapkan dapat diaplikasikan ke pengolahan limbah industri batik.

2. Metode Penelitian

2.1 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini: zat warna remazol red Rb, *aquadest*, H_2SO_4 (Merck, kemurnian 98%), $K_2Cr_2O_7$ (Merck), batu didih, *ferrous ammonium sulfate* (FAS), indikator feroin, Ag_2SO_4 (Merck), Hg_2SO_4 (Merck).

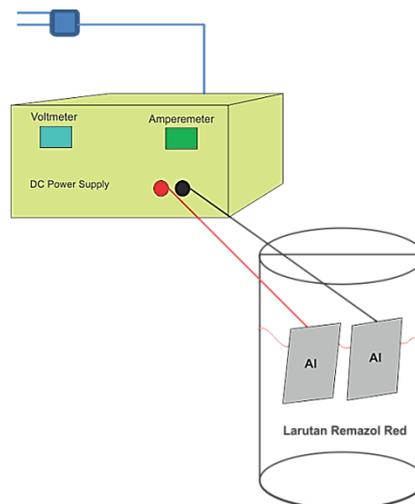
2.2 Alat Penelitian

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

2.3 Cara Penelitian

Pemeriksaan alat elektrokoagulasi, persiapan alat dan bahan penelitian perlu dilakukan terlebih dahulu sebelum penelitian dimulai. Kemudian

dilakukan pembuatan sampel induk berupa larutan *remazol red RB* dengan konsentrasi 100 ppm. Larutan sampel tersebut diberi variasi tegangan sebesar 10 volt dan 15 volt dengan jarak antar elektrode 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 diperoleh hasil analisis dilakukan perhitungan.



Gambar 1. Rangkaian alat (*reactor*) dan sumber listrik (*adaptor*)

2.4 Analisis hasil

Analisis COD digunakan adalah metode refluks tertutup, sedangkan analisis TSS menggunakan metode gravimetri dan analisis warna menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis (Shimadzu UV Mini 1240).

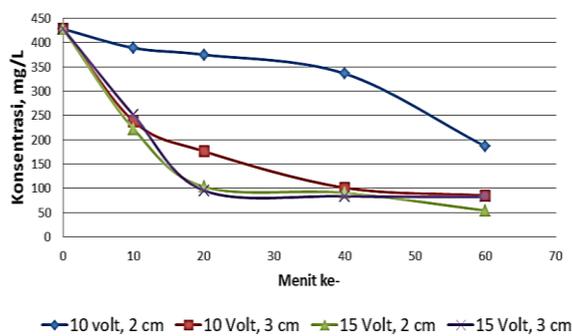
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengaruh Tegangan Listrik dan Jarak Elektrode terhadap Konsentrasi COD

Menurut Dewi (2009), konsentrasi COD merupakan salah satu parameter penting pada air limbah. Nilai COD yang diperoleh menunjukkan 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 ditunjukkan pada Gambar 2.

Gambar 2 menunjukkan bahwa konsentrasi COD menurun dari waktu ke waktu. Pada tegangan 10 volt dengan jarak antar elektrode 2

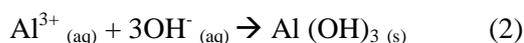
cm terlihat penurunan konsentrasi COD dari menit ke -0 sebesar 428 mg/L menjadi 186 mg/L pada menit ke-60. Pada tegangan 10 volt jarak elektoda 3 cm terlihat penurunan konsentrasi COD dari menit ke-0 sebesar 428 mg/L menjadi 85 mg/L pada menit ke 60. Pada tegangan 15 volt jarak elektoda 2 cm terlihat penurunan konsentrasi COD dari menit ke-0 sebesar 428 mg/L menjadi 54 mg/L pada menit ke 60. Pada tegangan 15 volt jarak elektoda 3 cm terlihat penurunan konsentrasi COD dari menit ke-0 sebesar 428 mg/L menjadi 82,4 mg/L pada menit ke 60.



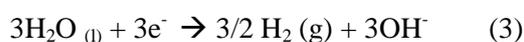
Gambar 2. Penurunan konsentrasi COD

Can˜izares dkk. (2007) menjelaskan bahwa penurunan konsentrasi COD ini disebabkan adanya reaksi oksidasi dan reduksi yang berlangsung pada anode dan katode, mengikuti persamaan reaksi 1 sampai 3:

Pada Anode :

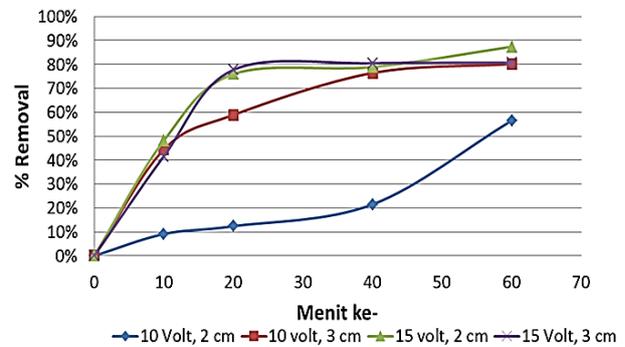


Pada Katode :



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 membawa koloid-koloid zat pengotor naik ke permukaan gelas beaker (proses flotasi) (Heri dan Harsanti, 2010). Hal ini ditandai dengan adanya

gelembung atau 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. Persentase penurunan konsentrasi COD

Gambar 3 menunjukkan persentase efisiensi penurunan zat warna remazol red RB, dengan persen penurunan konsentrasi COD mencapai 87% pada menit ke 60 pada tegangan listrik 15 volt dan jarak antar elektrode 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*.

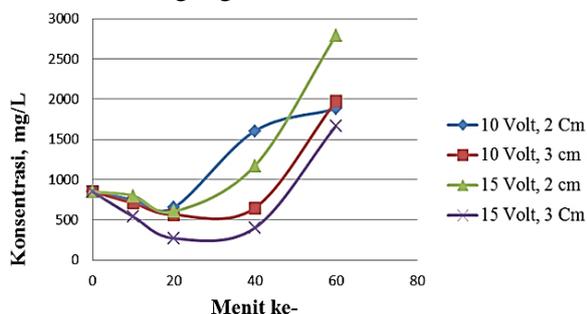
3.2 Pengaruh Tegangan Listrik dan Jarak Elektrode terhadap Konsentrasi TSS

Total suspended solid (TSS) adalah jumlah bahan tersuspensi dalam suatu volume tertentu. Nilai TSS menunjukkan jumlah kepekatan padatan dalam sampel air. Nilai TSS dalam penelitian ini mengalami hasil yang turun kemudian naik kembali seperti ditunjukkan pada Gambar 4.

Nilai TSS mula-mula sebesar 850 mg/L pada tegangan listrik 10 volt dengan jarak antar elektrode sebesar 2 cm diperoleh hasil penurunan maksimum sebesar 652 mg/L pada menit ke-20.

Namun pada menit ke- 40 dan 60 mengalami kenaikan mencapai 1880 mg/L. Pada variasi tegangan 10 volt dengan jarak antar elektrode 3 cm diperoleh hasil penurunan maksimal mencapai 564 mg/L pada menit ke-20. Pada menit ke-40 dan 60 mengalami kenaikan mencapai 1976 mg/L. Untuk variasi tegangan listrik 15 volt dengan jarak antar elektrode 2 cm diperoleh hasil penurunan maksimum sebesar 604 mg/L pada ke- 20, mengalami kenaikan kembali sampai menit ke-60 mencapai 2792 mg/L. Untuk jarak antar elektrode 3 cm, penurunan TSS maksimum mencapai 272 mg/L pada menit ke 2, mengalami kenaikan kembali sampai menit ke-60 mencapai 1668 mg/L

Penurunan konsentrasi TSS juga dipengaruhi oleh tegangan listrik dan waktu kontak. Semakin besar tegangan listrik dan semakin lama waktu kontak yang digunakan mengakibatkan penurunan konsentrasi TSS semakin besar (Hendrianti dan Sandy, 2010). Penurunan konsentrasi TSS disebabkan pada anode terjadi reaksi oksidasi anion (ion negatif). Anode 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 kerja penurunan konsentrasi TSS secara umum sama seperti proses kerja penurunan kadar COD, yaitu dengan adanya penambahan massa flok sehingga berat jenis flok menjadi lebih besar dan akhirnya mengendap pada dasar reaktor (Lestari dan Agung, 2014).



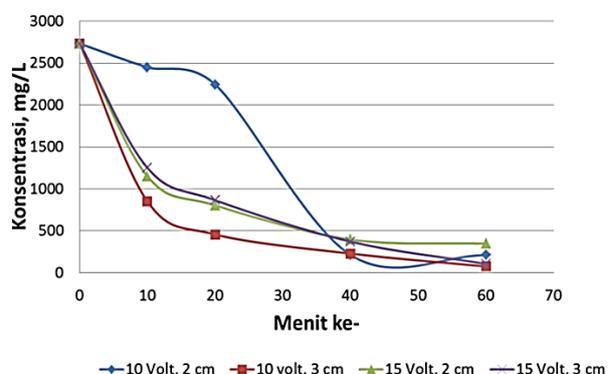
Gambar 4. Profil konsentrasi TSS

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 (Prayitno dkk., 2012). Flok-flok yang dihasilkan sebagian dapat mengendap dan sebagian terflotasi ke permukaan. Kenaikan nilai TSS juga dapat disebabkan kenaikan nilai kekeruhan dalam larutan sampel limbah. Naiknya nilai kekeruhan dapat disebabkan adanya proses oksidasi reduksi yang dihasilkan dari plat aluminium (Ringo dkk., 2013).

3.3 Pengaruh Tegangan Listrik dan Jarak Elektrode terhadap Warna

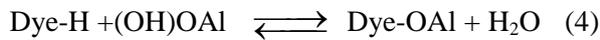
Warna merupakan senyawa yang dapat digunakan dalam bentuk larutan sehingga penampangnya berwarna. Dalam industri batik, warna yang digunakan adalah warna sintesis seperti naphthol, indigosol dan remazol.



Gambar 5. Profil 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 kelarutan anode semakin tinggi sehingga jumlah kompleks *hydroxo cationic* akan meningkat dan menyebabkan zat warna yang ada membentuk gumpalan yang lebih besar (Mollah, 2004). Dengan terbentuknya flok yang lebih besar mengakibatkan jumlah *sludge* yang dihasilkan banyak, sehingga zat warna yang

dihilangkan semakin banyak. Polutan berupa zat warna akan membentuk *ligands* yang mengikat pada $Al(OH)_3$ mengikuti persamaan reaksi 4 (Dalvand dkk., 2011) :



Dengan terikatnya zat warna pada proses elektrokoagulasi, maka konsentrasi COD yang terdapat pada air limbah akan mengalami penurunan. Profil penghilangan warna, TSS, dan COD memiliki pola yang sama. Semakin kecil jarak elektrode maka penghilangan warna, TSS dan COD semakin cepat karena reaksi ionisasi antar elektrode akan semakin cepat sehingga penurunan COD, TSS, dan warna lebih cepat terjadi (Yunitasari, 2017).

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 agen koagulan. Percobaan elektrokoagulasi ini menggunakan dua plat elektrode 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 berwarna *remazol red RB* dan dialirkan arus listrik selama proses elektrokoagulasi dilakukan dengan voltase tertentu. Penggunaan aluminium didasarkan atas beberapa penelitian yang telah ada dan dinyatakan bahwa reaktor yang menggunakan aluminium pada kedua elektrode yaitu anode dan katode dilaporkan proses pelarutan aluminium melebihi 100% (Holt, 2002).

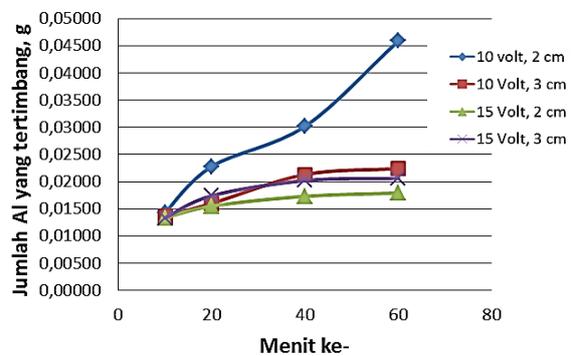
Berdasarkan Hukum Faraday akan terjadi dekomposisi massa aluminium berbanding lurus dengan tegangan dan waktu. Secara teoritis pelepasan ion aluminium selama elektrokoagulasi dihitung dengan menggunakan Hukum Faraday.

Gambar 7 menunjukkan bahwa pelarutan aluminium yang meningkat dari menit ke-0 sampai menit ke-60. Jumlah Al yang terlarut paling tertinggi pada tegangan 10 volt dengan jarak antar elektrode sebesar 2 cm pada menit ke

60 dengan jumlah pelarutan mencapai 0,459 gram.



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



Gambar 7. Jumlah aluminium yang terlarut

Menurut Zuhria (2014), pelarutan aluminium terjadi baik pada katode maupun anode. Pada proses pelarutan aluminium ini terjadi reaksi kimia yang berbeda pada permukaan kedua elektrode. Pada bagian katode terjadi penyerapan permukaan elektrode atau absorpsi sedangkan pada anode terjadi penurunan ion positif.

Anode melepaskan ion-ion positif sehingga ion-ion positif ini akan terus berkurang saat dialiri arus listrik, reaksi dari proses ini mengikuti persamaan reaksi 5 :



Di lain pihak, katode akan menghasilkan lapisan baru di atas permukaan plat. Hal 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 elektrode secara signifikan dan meningkatkan daya potensial listrik untuk mengalirkan arus listrik sebelum percobaan berlangsung.

Menurut Phalakornkule dkk. (2010) 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 elektrode yang terurai maka penurunan pencemar semakin efektif.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa:

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

Daftar Pustaka

- Al-Kdasi, A., Idris, A., Saed, K., and Guan, C.T., 2004, Treatment of textile wastewater by advanced oxidation processes, *Global Nest the Int. J.*, 6, 222-230
- Can˜izares, P., Jime´nez, C., Marti´nez, F., Sa´ez, C., and Rodrigo, M. A., 2007, Study of the electrocoagulation process using aluminum and iron electrodes, *Spain Ind. Eng. Chem. Res.* 2007, 46, 6189-6195
- Dalvand, A., Gholami, M., Joneidi, A., dan Mahmoodi, N. M., 2011, Dye removal, energy consumption and operating cost of electrocoagulation of textile wastewater as a clean process, *Wiley online Library, Clean-soil, air, water*, Vol. 39 (7), 665-672
- Dewi, R., 2009, 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
- Hari, B. dan Harsanti, M., 2010, Pengolahan limbah cair tekstil menggunakan proses elektrokoagulasi dengan sel Al-Al, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan”*, ISSN 1693-4393
- Hendriarianti, E. dan Angelina P. S., 2010, Pengaruh jenis elektrode dan jarak antar elektrode dalam penurunan COD dan TSS limbah laundry menggunakan elektrokoagulasi konfigurasi monopolar aliran kontinyu, *Lingkungan Tropis*, Vol 4 No. 2, 73-80
- Holt, P. K., 2002, *Electrocoagulation: Unravelling and Synthesizing the Mechanisms Behind a Water Treatment Process*, Thesis, Chemical Engineering, University of Sydney, Sydney.
- Lestari, N. D. dan Agung, T., 2014, Penurunan TSS dan warna limbah industri batik secara elektrokoagulasi, *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, Vol. 6 No.1.
- Mollah, M.Y.A., Pathak, S. R., Patil, P.K., Vayuvegula, M., Agrawal, T.S., Gomes, J.A.G., Kesmez, M., and Cocke, D. D., 2004, Treatment of orange II Azo dye by electrocoagulation (EC) technique in a continuous flow cell using sacrificial iron electrode, *J. Hazard. Mater.*, B109, 165-171
- Phalakornkule, C. Polgumhang, S., Tongdaun, W., Karaka, B., and Nuyut, T., 2010, Electrocoagulation of blue reactive, red disperse and mixed dyes and application in treating textile effluent, *J. Environ. Manage.*, Vol. 91 Issue 4, 918-926
- Prayitno, K. dan Endro, 2012, Percobaan awal proses elektrokoagulasi sebagai metode alternatif pada pengolahan limbah cair, *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah, Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan-BATAN*, Yogyakarta
- Ringo, E. S., Kusrijadi, A., dan Sunarya, Y., 2013, Penggunaan metode elektrokoagulasi pada pengolahan limbah industri penyamakan kulit menggunakan aluminium sebagai sacrificial electrode, *Jurnal Sains dan Teknologi Kimia*, Vol. 4 No. 2, 96-107.
- Rully, 2015, Industri Batik Dalam Negeri Meningkatkan 14,7% dengan Nilai Ekspor Batik mencapai Rp 50,44 Triliun, artikel, <http://vibizmedia.com/lensa-vibizmedia/>.

- Saptarini, D., 2009, Pengolahan Limbah Cair Industri Batik Dengan Metode Koagulasi-Flokulasi Dan Adsorpsi Sistem Batch, Tesis, Program Studi Magister Sistem Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Yulianto, A. dan Hakim, L., Purwaningsih, I., Pravitasari, V. A., 2009, Pengolahan limbah industri batik pada skala laboratorium dengan menggunakan metode elektrokoagulasi, Jurnal Teknologi Lingkungan, Vol. 5 No. 1, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
- Yunitasari, Y., Elystia, S., dan Ivaini, A., 2017, Metode elektrokoagulasi untuk mengolah limbah cair batik di unit kegiatan masyarakat rumah Batik Andalan PT. Riau Andalan Pulp and Paper (RAPP), Jurnal F. Teknik, Vol. 4, No. 1, Universitas Riau. Riau
- Zuhria, F., 2014, Penurunan COD, BOD dan TSS Limbah Cair Pewarna Industri Batik Rara Djonggrang dengan Metode Elektrokoagulasi, Tesis, Departemen Teknik Kimia, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta