



Integrasi Proses Elektrokoagulasi-Elektrooksidasi sebagai Alternatif dalam Pengolahan Limbah Cair Batik Zat Warna Naftol

Fikry Nashrullah K*, Muslikhin Hidayat* dan Moh. Fahrurrozi
Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jl Grafika No. 2 Kampus UGM, 55281 Yogyakarta

*Alamat korespondensi: fikrynashrullahk@gmail.com; mhidayat@ugm.ac.id

(Submisi:: Revisi:: Penerimaan:)

ABSTRACT

The production of batik produces wastewater which contains mixture of complex organic macromolecules. In this study, a sequential process of electrocoagulation-electrooxidation (EC-EO) using electrodes of aluminium-graphite and PbO₂-graphite was proposed as an alternative method for treating wastewater of naphthol from batik dyeing process. The effects of parameter of current density of in the range of 3.7-7.90 mA/cm², and the effect of electrical voltage to the decrease of color intensity. The electrocoagulation-electrooxidation method was carried out in a batch reactor with a capacity of 1.3 L, where the first 20 minutes is the electrocoagulation process and the next 100 minutes is the electrooxidation process. The samples were drawn at 10, 20, 40, 60, 80, 100 and 120 minutes and their color intensity was analyzed using spectrophotometric method. The results showed that the highest decreased value was at 99,78% at the current density (7,53 mA/cm²) during 120 minutes with electricity consumption 14,40 kWh/m³. The higher the density of the current, the greater the decrease value of color intensity in the liquid naphthol waste.

Keywords: naphthol, electrocoagulation, electrooxidation, batik.

ABSTRAK

Produksi kain batik menghasilkan air limbah yang mengandung campuran makromolekul organik kompleks dengan warna pekat. Dalam penelitian ini, proses elektrokoagulasi-elektrooksidasi (EC-EO) berurutan menggunakan elektroda aluminium-grafit dan PbO₂-grafit, diusulkan sebagai metode alternatif untuk mengolah limbah cair zat warna naftol hasil proses pewarnaan kain batik. Efek dari parameter berupa kerapatan arus (3,77, 5,65, 7,53 dan 7,90 mA/cm²) terhadap penurunan intensitas warna dipelajari dalam penelitian ini. Metode kombinasi ini dilakukan dalam satu reaktor *batch* dengan kapasitas 1,3 L, dimana 20 menit awal adalah proses elektrokoagulasi dan 100 menit berikutnya adalah proses elektrooksidasi. Pengambilan sampel dilakukan pada menit ke-10, 20, 40, 60, 80, 100 dan 120. Uji intensitas warna dilakukan dengan metode spektrofotometri UV/VIS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan intensitas warna tertinggi (99,78%) dapat diperoleh pada densitas arus 7,53 mA/cm² selama 120 menit dengan konsumsi energi listrik 14,40 kWh/m³. Semakin tinggi densitas arus yang diberikan, maka semakin besar pula nilai penurunan intensitas warna dari limbah cair zat warna naftol.

Kata kunci: zat warna naftol, elektrokoagulasi, elektrooksidasi, batik

1. Pendahuluan

Batik merupakan warisan budaya Indonesia yang telah ditetapkan oleh UNESCO mulai 2 Oktober 2009 (Kepres no. 33 thn. 2009). Kain batik sangat diminati dan perkembangan industri batik saat ini cukup pesat. Ketika memproduksi batik, pabrik menghasilkan limbah cair berupa zat warna, misalnya, industri batik Sekar Arum di Yogyakarta yang menggunakan zat warna naftol sebagai bahan pewarna kain batiknya. Limbah cair batik zat warna naftol ini harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan.

Teknologi pengolahan limbah cair baik secara biologi, kimia, fisika, maupun kombinasi antara ketiga proses tersebut dapat digunakan untuk mengolah limbah cair zat warna naftol. Beberapa penelitian penghilangan warna dan senyawa organik yang ada dalam limbah cair industri batik telah banyak dilakukan, misalnya dengan cara kimia antara lain degradasi warna dengan reaksi oksidasi, reaksi anaerob dan reaksi fotokatalisis (Rashed dkk., 2007). Secara fisika dengan koagulasi, sedimentasi, adsorpsi menggunakan karbon aktif, silika dan biomaterial. Cara pengolahan limbah dengan cara koagulasi, sedimentasi maupun adsorpsi memiliki efisiensi yang baik dalam pengolahan limbah tetapi juga menimbulkan limbah baru, yaitu flok/koagulan yang tidak dapat digunakan lagi. Penggunaan karbon aktif untuk menghilangkan warna juga memerlukan biaya yang cukup tinggi karena harga karbon aktif relatif mahal. Pengolahan limbah cair dengan menggunakan proses biologi juga banyak diterapkan untuk mereduksi senyawa organik limbah cair industri batik. Namun efisiensi penghilangan warna melalui proses biologi ini seringkali tidak memuaskan, karena zat warna mempunyai sifat tahan terhadap degradasi biologi.

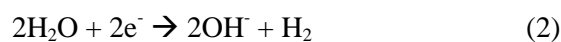
Zat warna merupakan senyawa organik yang mengandung gugus kromofor terkonjugasi. Zat warna naftol merupakan zat warna yang banyak digunakan dalam pewarnaan kain batik. Zat warna ini merupakan gabungan dari senyawa naftolat dan garam pembangkit (diaz). Auksokrom (zat pengikat) berupa anion OH⁻,

sedangkan kromofornya berupa grup azo -N=N- (Sunarto, 2008). Limbah cair zat warna naftol terdiri dari senyawa yang dapat terendapkan dan tidak dapat terendapkan. Dalam penelitian ini metode pengolahan integrasi antara proses elektrokoagulasi dan elektrooksidasi digunakan untuk mengolah limbah batik. Kombinasi elektrokoagulasi-elektrooksidasi ini dilakukan dalam satu sel elektrolisis secara berurutan, dengan tujuan pengembangan sistem kompak dan memiliki manfaat seperti kompatibilitas lingkungan, fleksibilitas, dan efisiensi energi.

Aluminium dan grafit dipilih sebagai bahan elektroda dalam proses elektrokoagulasi karena biaya relatif murah, ketersediaan melimpah dan efisiensi tinggi. Dalam proses elektrokoagulasi, anoda akan terlarut dan menghasilkan koagulan aktif (dalam hal ini, ion aluminium) (Kabdas dkk., 2012), mengikuti persamaan reaksi 1:



Pada katoda, ion hidroksida dan H₂ diproduksi sesuai persamaan reaksi 2:



Selanjutnya, ion Al³⁺ dan ion OH⁻ bereaksi membentuk berbagai spesies Al, termasuk monomer seperti: (Al(OH)⁺₂, Al₂(OH)⁴⁺₂, Al₃(OH)⁵⁺₄) dan polimer kompleks (Hu dkk., 2016). Pada pH yang tepat, mereka mendestabilisasi partikel tersuspensi untuk kemudian mengubahnya menjadi flok yang mudah larut (Mollah dkk., 2010). Spesies monomer dan polimer yang larut juga dapat menyebabkan endapan logam hidroksida amorf dengan mekanisme presipitasi yang kompleks. Akhirnya, logam hidroksida dan flok mudah dipisahkan dari media berair dengan sedimentasi atau flotasi (Barrera-Díaz dkk., 2011).

Elektrooksidasi juga menggunakan arus listrik, seperti halnya elektrokoagulasi, untuk dapat digunakan mengolah limbah organik. Oksidasi senyawa organik dapat terjadi dengan dua cara: (1) oksidasi langsung, yaitu oksidasi yang terjadi pada permukaan anoda untuk menghasilkan air dan CO₂ dan (2) oksidasi tidak langsung, yaitu oksidasi oleh adanya oksidator kuat yang dihasilkan secara elektrokimia (klor,

hipoklorit, peroksodisulfat dan ozon), yang bereaksi dengan senyawa organik dan dimungkinkan menyebabkan degradasi senyawa menjadi CO_2 , H_2O dan/ atau komponen anorganik lainnya (Radjenovic dan Sedlak, 2015).

2. Metode Penelitian dan Bahan

2.1 Bahan Penelitian

Sampel yang digunakan adalah zat warna naftol cair yang merupakan limbah pewarnaan kain batik dari industri Sekar Arum Imogiri. Sebelum dilakukan pengujian, sampel dianalisis terlebih dahulu berupa uji pH dan nilai intensitas warna. pH sampel diuji menggunakan pH meter sedangkan nilai intensitas warna diukur menggunakan spektrofotometer UV-VIS (Shimadzu, Jepang). Hasil analisis karakteristik limbah cair zat warna naftol dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik limbah cair zat warna naftol merah

No	Parameter	Satuan	Nilai	
			Limbah cair zat warna naftol	Baku Mutu*
1	COD	mg/L	918	250
2	Warna	PtCo/TCU	7746	-
3	TDS	mg/L	2210	2000
4	pH		6,0 - 7,0	6,0 - 9,0
5	Suhu	°C	25-30	± 3 dari suhu ruang

2.2 Cara Penelitian

Percobaan dilakukan dalam skala laboratorium menggunakan reaktor *batch* dengan volume 1,3 L. Di dalamnya terpasang elektroda yang dipasang vertikal yaitu karbon, PbO_2 dan aluminium. Sumber arus DC yang digunakan memiliki *range* volt antara 0 dan 15 V dan kuat arus antara 0 dan 2 A. Bahan elektroda yang digunakan berupa 4 batang grafit/ karbon yang berasal dari baterai bekas. Plat PbO_2 berasal dari aki motor 12 V dan plat aluminium. Percobaan dilakukan dalam temperatur ruang.

Sebanyak 4 gr NaCl per 1 L limbah ditambahkan ke sampel limbah zat warna naftol sebagai elektrolit. pH yang digunakan adalah sebagaimana pH larutan limbah, tanpa penambahan larutan pengontrol pH. Dalam percobaan ini juga tidak menggunakan *stirrer* sebagai pengaduk.

Proses integrasi elektrokimia diawali dengan proses elektrokoagulasi selama 20 menit. Aluminium digunakan sebagai anoda dan grafit sebagai katoda. Selanjutnya adalah proses elektrooksidasi selama 100 menit, dimana PbO_2 sebagai anoda dan grafit/ karbon sebagai katoda. Sehingga total proses percobaan selama 120 menit.

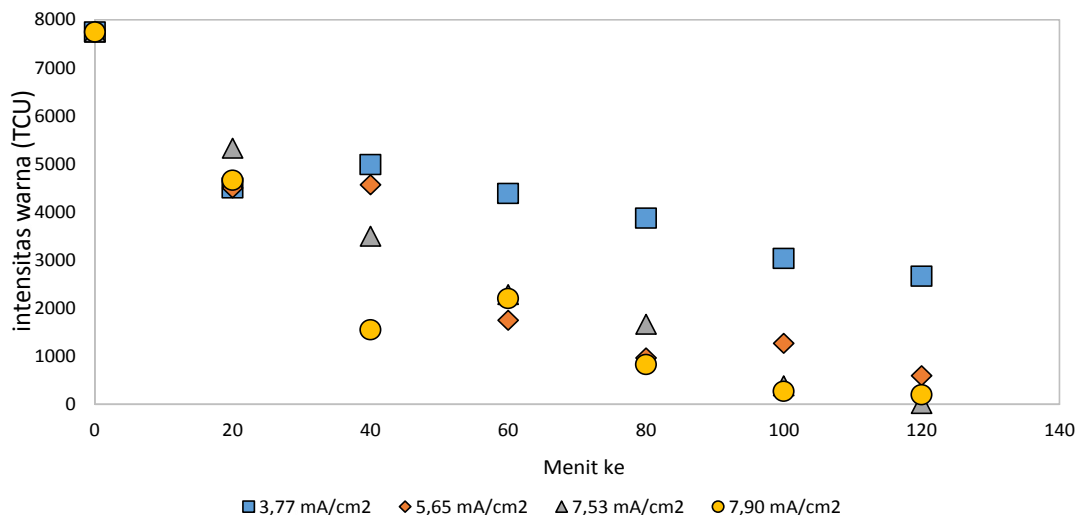
2.3 Variabel dan Metode Analisis

Penelitian ini dilakukan dalam reaktor *batch* dengan volume kerja 1,3 L, jenis zat warna naftol As Red, pH sampel 6-7 dan penambahan elektrolit berupa garam dapur sebanyak 4 gr/L. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah densitas arus sebesar $3,77 \text{ mA/cm}^2$, $5,65 \text{ mA/cm}^2$, $7,53 \text{ mA/cm}^2$ dan $7,90 \text{ mA/cm}^2$ serta waktu operasi selama (0, 10, 20, 40, 60, 80, 100 dan 120) menit. Sampel zat warna naftol dianalisis, nilai intensitas warna dihitung menggunakan spektrofotometer UV-VIS (Shimadzu, Jepang).

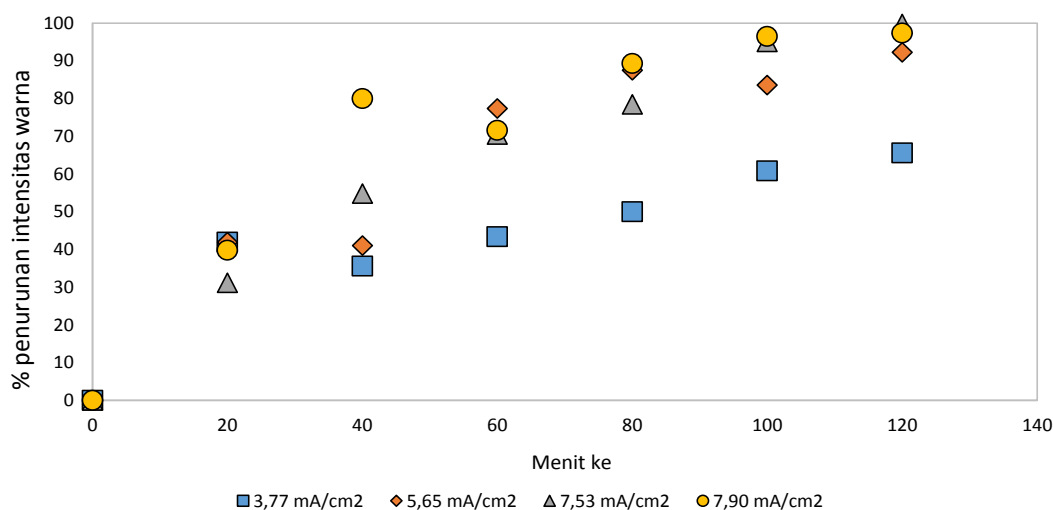
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengaruh Densitas Arus terhadap Intensitas Warna

Gambar 1 menunjukkan intensitas warna hasil proses integrasi elektrokoagulasi-elektrooksidasi dengan densitas arus pada rentang $3,5\text{-}8 \text{ mA/cm}^2$. Penurunan intensitas warna yang signifikan dapat dilihat dengan jelas. Hasil akhir intensitas yang teramati pada menit ke 120 adalah 2665 TCU ($3,77 \text{ mA/cm}^2$), 598 TCU ($5,65 \text{ mA/cm}^2$), 17 TCU ($7,53 \text{ mA/cm}^2$) dan 202,65 TCU ($7,90 \text{ mA/cm}^2$).



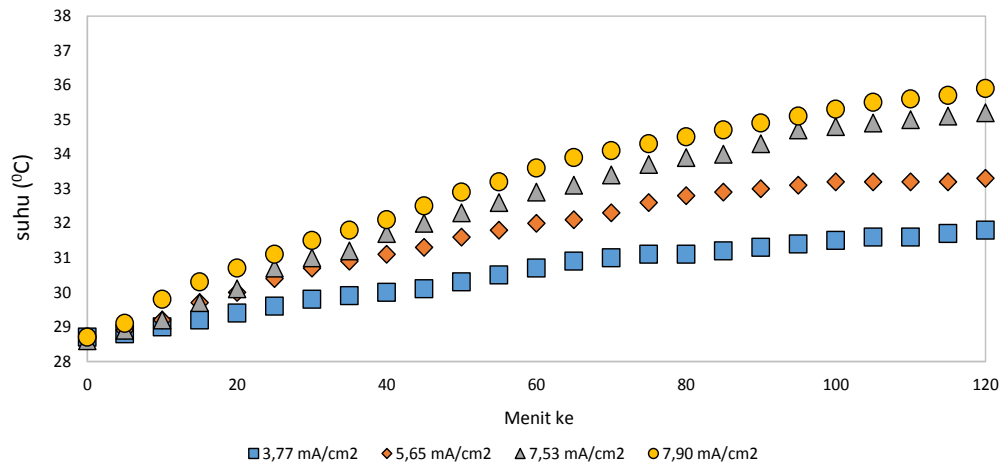
Gambar 1. Pengaruh densitas arus terhadap penurunan intensitas warna



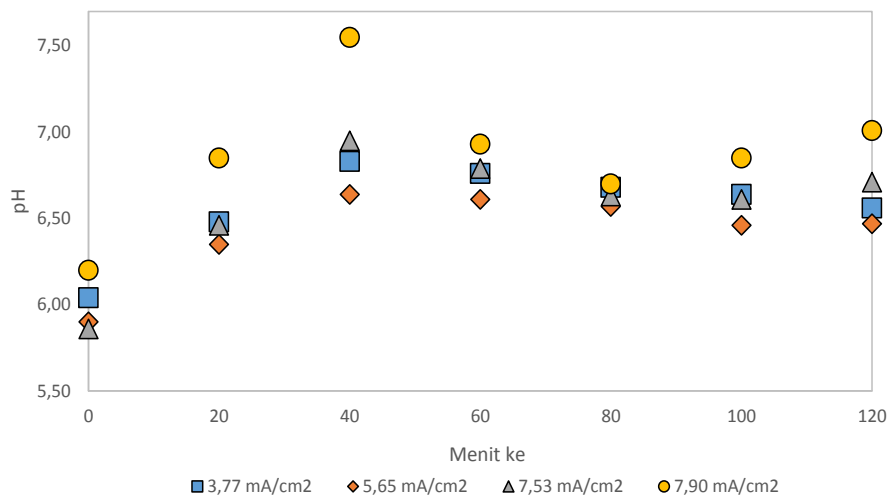
Gambar 2. Pengaruh densitas arus terhadap % penurunan intensitas warna

Untuk lebih menunjukkan perubahan intensitas zat warna, nilai penurunan intensitas tiap waktu dibagi dengan intensitas awal. Hasilnya dibuat dalam persentase dan ditunjukkan pada Gambar 2. Penggunaan densitas arus 3,77 mA/cm² selama 120 menit menghasilkan % penurunan intensitas warna sebesar 65,59%. Sedangkan untuk densitas arus 5,65 mA/cm², 7,53 mA/cm² dan 7,90 mA/cm² menghasilkan % penurunan intensitas warna masing-masing sebesar 92,29%, 99,78% dan 97,38% pada 120 menit perlakuan. Seperti yang kita ketahui bahwa zat warna naftol terdiri dari 3 senyawa utama yaitu senyawa organik, senyawa auksokrom (pengikat) dan senyawa kromofor (pemberi warna). Selama 120 menit proses

elektrolisis dengan kondisi percobaan terbukti dapat mendegradasi senyawa kromofor. Setelah proses integrasi elektrokoagulasi-elektrooksidasi selama 120 menit, hasil observasi kurva serapan UV/VIS menunjukkan bahwa tidak ditemukannya puncak serapan pada panjang gelombang antara 340-700 nm sedangkan puncak serapan pada panjang gelombang di bawah 320 nm masih ditemukan. Hal ini menunjukkan bahwa untuk senyawa kromofor (pemberi warna) telah terjadi degradasi sempurna, sedangkan untuk senyawa organik masih ada (pada panjang gelombang di bawah 320 nm).



Gambar 3. Pengaruh kuat arus terhadap peningkatan suhu proses



Gambar 4. Pengaruh densitas arus terhadap perubahan pH

3.2 Pengaruh Densitas Arus Terhadap pH dan Suhu

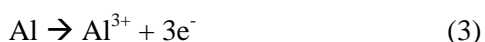
Hasil dari pengamatan nilai pH dan suhu pada integrasi proses elektrokoagulasi dan elektrooksidasi dengan densitas arus sebesar 3,77 mA/cm²; 5,65 mA/cm²; 7,53 mA/cm² dan 7,90 mA/cm² dapat dilihat pada Gambar 4. Proses yang dilakukan menyebabkan peningkatan suhu dimana semakin besar nilai densitas arus yang diberikan menyebabkan peningkatan suhu yang semakin cepat. Proses dengan densitas arus sebesar 3,77 mA/cm² selama 120 menghasilkan kenaikan suhu sebesar 3,1 °C atau 0,124 °C tiap 5 menit. Sedangkan untuk proses dengan densitas arus sebesar 7,90 mA/cm² selama 120 menit menghasilkan kenaikan suhu sebesar 7,2 °C atau 0,288 °C tiap 5 menit. Pada densitas arus di antara 3,7-7,9 mA/cm², kenaikan suhu berada di antara

3,1 °C dan 7,2 °C atau 0,124 dan 0,288 °C tiap 5 menit.

Pengaruh densitas arus terhadap perubahan pH dapat dilihat pada Gambar 5 dimana tren perubahan nilai pH pada berbagai densitas arus relatif sama. Pada 40 menit pertama terjadi peningkatan nilai pH, kemudian terjadi penurunan nilai pH pada menit berikutnya.

Fenomena perubahan pH dapat dijelaskan karena adanya perubahan reaksi selama proses integrasi elektrokoagulasi-elektrooksidasi. Proses elektrokoagulasi selama 20 menit dan selanjutnya proses elektrooksidasi selama 100 menit. Secara lengkap, reaksi yang ada proses elektrokoagulasi-elektrooksidasi adalah sebagai berikut.

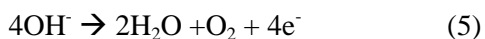
- Selama proses elektrokoagulasi, pada anoda aluminium terjadi reaksi sebagai berikut:
 - Elektroda aluminium (non inert), sehingga yang teroksidasi logam Al



- Terdapat ion halogen (Cl^-), sehingga yang teroksidasi Cl^-



- Terdapat ion hidroksida hasil reduksi di katoda, sehingga yang teroksidasi OH^-

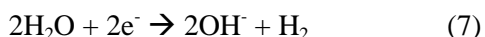


Pada katoda grafit, reaksi yang terjadi adalah:

- Elektroda inert, sehingga yang tereduksi adalah air

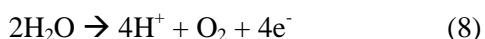


- Terdapat kation Al^{3+} hasil oksidasi di anoda, sehingga yang tereduksi adalah air



b. Proses yang terjadi selama elektrooksidasi, pada anoda PbO_2 , reaksi yang terjadi adalah:

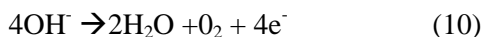
- Elektroda stabil/semi inert, sehingga yang teroksidasi air



- Terdapat ion halogen (Cl^-), sehingga yang teroksidasi Cl^-

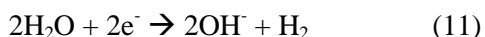


- Terdapat ion hidroksida, sehingga yang teroksidasi OH^-

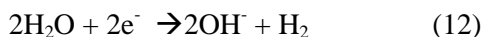


Pada katoda grafit, reaksi yang terjadi adalah:

- Elektroda inert, sehingga yang tereduksi air



- Terdapat kation Al^{3+} hasil oksidasi di anoda, sehingga yang tereduksi air



Dari reaksi yang terjadi, dapat dilihat bahwa terjadi perubahan senyawa yang diproduksi pada proses elektrokoagulasi di awal dan proses elektrooksidasi di akhir. Senyawa-senyawa inilah yang diprediksi menyebabkan perubahan pH selama proses berlangsung.

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Intensitas warna dari limbah cair zat warna naftol dapat dikurangi menggunakan integrasi proses elektrokoagulasi-elektrooksidasi.
2. Penurunan intensitas warna tertinggi sebesar 99,78% pada proses dengan densitas arus 7,53 mA/cm² selama 120 menit.
3. Kombinasi elektrokoagulasi-elektrooksidasi menyebabkan suhu naik dan adanya fluktuasi pH di rentang 6-8.

Daftar Pustaka

- Barrera-Díaz, C., Bilyeu, B., Roa, G., Bernal-Martinez, L., 2011, Physicochemical aspects of electrocoagulation, *Sep. Purif. Rev.*, 40, 1-24
- Hu, C., Wang, S., Sun, J., Liu, H., Qu, J., 2016, An effective method for improving electrocoagulation process: optimization of Al13 polymer formation, *Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp.*, 489, 234-240.
- Kabdasi, I., Arslan-Alaton, I., Olmez-Hanci, T., Tunay, O., 2012, Electrocoagulation applications for industrial wastewaters: A critical review, *Environ. Technol. Rev.*, 1, 2-45.
- Mollah, M.Y.A., Gomes, J.A.G., Das, K.K., Cocke, D.L., 2010, Electrochemical treatment of Orange II dye solution-Use of aluminum sacrificial electrodes and floc characterization, *J. Hazard. Mater.*, 174, 851-858.
- Radjenovic, J., Sedlak, D.L., 2015, Challenges and opportunities for electrochemical processes as next-generation technologies for the treatment of contaminated water, *Environ. Sci. Technol.*, 49, 11292-11302.
- Rashed, MN, dan AA El-Amin, 2007, Photocatalytic Degradation of Methyl Orange in Aqueous TiO₂ Under Different Solar Irradiation Source, *Int.J.Phys.Sci.*, Vol. 2 (3), 73- 81.
- Republik Indonesia, 2009, Keputusan Presiden No. 33 Tahun 2009 Tentang Hari Batik Nasional, Presiden Republik Indonesia, Jakarta.
- Sunarto, 2008, Teknik Pencelupan dan Pencapan Jilid 2, Depdiknas, Jakarta.