

ELEKTROKOAGULASI LIMBAH INDUSTRI SARUNG TENUN DENGAN ELEKTRODA Al-Zn DISUSUN SERI

Electrocoagulation of Woven Gloves Industry Waste using Serial Al-Zn Electrodes

Erlinda Ningsih¹, Yustia Wulandari Mirzayanti¹, Achmad Chusnun Ni'am², Dita Aulia Fajrin¹, dan Mohammad Andri Imami¹

¹Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Jalan Arief Rahman Hakim no. 100 Surabaya 60117

²Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Jalan Arief Rahman Hakim no. 100 Surabaya 60117

Korespondensi Penulis

Email : erlindaningsih84@itats.ac.id

Naskah Masuk : 4 April 2021

Revisi : 13 Desember 2021

Disetujui : 10 Januari 2022

Kata kunci: elektrokoagulasi, limbah, sarung tenun, Al-Zn, Seri

Keywords: electrocoagulation, waste, woven gloves, Al-Zn, Serial

ABSTRAK

Elektrokoagulasi merupakan teknologi pengolahan limbah cair menggunakan tegangan listrik. Elektrokoagulasi memanfaatkan prinsip elektrokimia untuk mengendapkan berbagai pengotor di dalam limbah baik bahan organik maupun anorganik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi jarak elektroda dan waktu proses elektrokoagulasi terhadap persen *removal* COD, TSS dan intensitas warna. Pada penelitian ini digunakan elektroda Al-Zn dengan ukuran 5 cm x 8 cm dan reaktor elektrokoagulasi berukuran 20 cm x 16 cm x 16 cm. Jarak elektroda pada proses elektrokoagulasi ini divariasikan yaitu pada jarak 2, 4 dan 6 cm. Waktu proses yang digunakan yaitu selama 220, 240, 260, 280 dan 300 menit. Tegangan listrik dalam proses elektrokoagulasi yang digunakan 12 volt. Hasil penelitian menunjukkan persen *removal* COD dan intensitas tertinggi pada lama waktu elektrokoagulasi 300 menit yaitu 93,49% dan 95,50%, sedangkan untuk persen *removal* TSS lama waktu elektrokoagulasi terbaik pada 280 menit sebesar 78,71%. Jarak antar elektroda terbaik untuk parameter persen *removal* COD, TSS, dan intensitas warna ada pada jarak 2 cm.

ABSTRACT

Electrocoagulation is a wastewater treatment technology using electric voltage. Electrocoagulation utilizes electrochemical principles to precipitate various impurities in the waste, organic and inorganic materials. This study aims to determine the effect of variations in electrode distance and time of the electrocoagulation process on the per cent removal of COD, TSS and color intensity. This study uses Al-Zn electrodes with 5 cm x 8 cm and an electrocoagulation reactor of 20 cm x 16 cm x 16 cm. The electrode distance in this electrocoagulation process was varied, namely at a length of 2, 4 and 6 cm. The processing time used is 220, 240, 260, 280 and 300 minutes. The electric voltage used in the electrocoagulation process is 12 volts. The results showed that the per cent removal of COD and the highest intensity at 300 minutes of electrocoagulation was 93.49% and 95.50%, while for the per cent of TSS removal, the best electrocoagulation time was 280 minutes at 78.71%. The best distance between the electrodes for percent removal of COD, TSS, and color intensity parameters was at 2 cm.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang industri tekstilnya berkembang cukup pesat baik di skala besar, menengah, hingga rumah tangga (Melani dkk., 2017). Dalam proses produksinya, industri tekstil banyak menggunakan bahan kimia dan air sehingga menghasilkan limbah cair yang sulit didegradasi secara alami karena mengandung pewarna sintetik, padatan terlarut, beracun dan senyawa non-biodegradasi (Kusuma & Widodo, 2015; Siddiquia dkk., 2011).

Teknologi yang umumnya digunakan dalam mengolah limbah cair yaitu secara biologi, fisika dan kimia (Murniati dkk., 2015; Siti Zuraida dkk., 2015). Ketiga teknologi tersebut memiliki beberapa keuntungan dan kerugian, di antaranya yaitu kurang efektif dalam menurunkan warna pada limbah tekstil (Alinsafi dkk., 2005). Salah satu alternatif metode yang efisien dan berpotensi untuk mengolah limbah cair industri tekstil adalah elektrokoagulasi (Atikah, 2016; Chen dkk., 2000).

Elektrokoagulasi adalah proses koagulasi dengan menggunakan arus listrik searah melalui proses elektrokimia (G. Chen, 2004). Proses ini merupakan metode yang sederhana, hemat, dan dapat membantu menghilangkan senyawa organik dan anorganik yang terkandung dalam limbah (Celary & Sobik-Szołtysek, 2014). Dalam teknisnya, Aluminium yang berperan sebagai elektroda akan larut membentuk koagulan aktif, Al^{3+} bereaksi membentuk polimer kompleks. Kemudian koagulan ini akan mengikat partikel polutan membentuk flok-flok yang besar, sehingga mudah mengendap (Mollah dkk., 2010). Aluminium merupakan jenis elektroda yang paling

sering digunakan karena memiliki kemampuan efisiensi penyisihan paling tinggi dibandingkan dengan yang lain (Pulkka et al., 2014). Selain Aluminium, seng juga dapat dijadikan sebagai material elektroda, karena ramah lingkungan. Berdasarkan United States Environmental Protection Agency (USEPA) seng memiliki nilai kontaminasi dalam air rendah yaitu sebesar 5 mg L^{-1} dibanding dengan jenis elektroda yang lain (Vasudevan et al., 2013).

Berdasarkan beberapa penelitian, metode elektrokoagulasi telah berhasil diaplikasikan ke berbagai jenis limbah cair, di antaranya air limbah restoran (Mollah dkk., 2010), air limbah industri farmasi (Ningsih dkk., 2019), air sungai (Hashim dkk., 2019) dan limbah industri pelapisan (Prasetyaningrum dkk., 2018).

Beberapa penelitian juga sudah mengaplikasikan metode elektrokoagulasi ini untuk limbah tekstil, di antaranya Bazrafshan dkk. (2014) yang menyimpulkan bahwa metode elektrokoagulasi sangat memuaskan dengan menghasilkan efisiensi maksimum penghilangan warna sebesar 97,70% dengan elektroda Al pada tegangan 50 V, waktu 60 menit, dan pH 7, sedangkan hasil penelitian Lidiawati dkk., (2015) menunjukkan bahwa kondisi optimum elektrokoagulasi terjadi pada jarak elektroda Al 2 cm dan pH awal 5 yaitu dengan efisiensi penghilangan warna sebesar 94,50%. Di samping itu, juga ada yang mengaplikasikan metode ini untuk limbah cair tenun. Melani dkk. (2017) mengaplikasikan metode ini untuk limbah cair industri kain tenun songket dan menghasilkan nilai penurunan sebesar 20,73% untuk pH, 33,01% untuk COD dan 54,45% untuk TSS pada ukuran lempeng 5

cm x 8 cm dan dalam waktu 60 menit. Atikah (2016) juga telah melakukan pengujian terhadap limbah cair industri tenun songket dan hasil yang diperoleh adalah persentase penurunan konsentrasi fenol tertinggi mencapai 75% pada menit 60 dengan rapat arus $62,5 \text{ A/m}^2$. Namun penurunan COD, TSS, dan warna dalam waktu dan jarak elektroda tertentu belum ditinjau.

Pengaturan elektroda memiliki dampak terhadap efisiensi penyisihan polutan dan jumlah biaya yang akan dikeluarkan selama proses elektrokoagulasi (Khandegar & Saroha, 2016). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Kobya et al. (2011), diperoleh kesimpulan bahwa proses elektrokoagulasi dengan efisiensi penyisihan arseni tertinggi diperoleh pada mode MP seri sebesar 99,3% untuk Fe pada pH 6,5 dan 98,9% untuk elektroda Al pada pH 7 dan juga biaya operasinya paling rendah pada kondisi optimum.

Lama waktu proses elektrokoagulasi dan jarak elektroda memiliki peran penting dalam keberhasilan metode ini dan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap hasil limbah setelah diproses.

Berdasarkan kajian literasi yang telah dilakukan, maka perlu diteliti aplikasi metode elektrokoagulasi untuk limbah cair sarung tenun. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh lama waktu proses elektrokoagulasi dan jarak elektroda terhadap persen *removal* COD, TSS, dan intensitas warna, sehingga diharapkan hasil limbah cair yang sudah diolah layak untuk dibuang ke lingkungan.

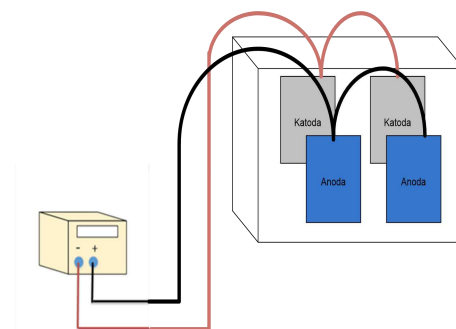
METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimen yang mencari pengaruh waktu elektrokoagulasi (220, 240, 260, 280, dan 300 menit) dan jarak elektroda (2, 4, dan 6 cm) pada proses pengolahan limbah cair sarung tenun. Elektroda disusun secara seri. Diharapkan adanya variasi waktu elektrokoagulasi dan jarak elektroda dapat mengurangi kadar COD, TSS dan intensitas warna sehingga limbah layak untuk dibuang ke lingkungan.

Bahan dan Alat

Limbah cair yang digunakan adalah limbah cair sarung tenun yang diperoleh dari salah satu *home industry* di daerah Kabupaten Gresik. Elektroda yang digunakan adalah Aluminium dan Seng dengan ukuran 5 cm x 8 cm. Pemilihan terhadap Aluminium dan Seng tersebut dilakukan karena merupakan elektroda yang paling efektif, mempunyai efisiensi yang tinggi serta nilai ekonomi terendah (G. Chen, 2004; Heffron & Heffron, 2015; Murniati dkk., 2015).

Peralatan yang digunakan yaitu reaktor elektrolisis dengan ukuran 20 cm x 16 cm x 16 cm yang terhubung dengan sumber daya listrik arus DC seperti terlihat pada Gambar 1. Bahan reaktor adalah *fiber glass*.



Gambar 1. Rangkaian Elektrokoagulasi

Prosedur Kerja

Rangkaian alat elektrokoagulasi disusun seperti yang terlihat pada Gambar 1. Limbah cair sarung tenun sebanyak 1000 mL dimasukkan ke dalam reaktor. Elektroda aluminium dan seng disusun secara seri dengan variasi jarak elektroda (2, 4, dan 6 cm).

Waktu proses elektrokoagulasi divariasikan yaitu 220, 240, 260, 280, 300 menit. Tegangan listrik yang diberikan sebesar 12 volt. Limbah yang sudah diproses kemudian diuji dengan parameter COD, TSS, dan warna. Analisa dilakukan dengan melihat persen *removal* parameter yang diuji dengan menggunakan rumus pada persamaan 1 hingga 3 (Bazrafshan dkk., 2014; Djaenudin dkk., 2018).

$$\text{Removal TSS}(\%) = \frac{(TSS_{\text{awal}} - TSS_{\text{akhir}})}{TSS_{\text{awal}}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{Removal COD}(\%) = \frac{(COD_{\text{awal}} - COD_{\text{akhir}})}{COD_{\text{awal}}} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{Removal warna}(\%) = \frac{(warna_{\text{awal}} - warna_{\text{akhir}})}{warna_{\text{awal}}} \times 100\% \quad (3)$$

Nilai parameter limbah yang telah diolah melalui proses elektrokoagulasi dibandingkan dengan baku mutu pada Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah. Analisis zat organik untuk TSS dilakukan dengan metode pengujian sesuai dengan SNI 06-6989.3-2004, analisis COD sesuai dengan SNI 6989.2:2009, dan analisis intensitas warna menggunakan metode analisa HPLC.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Limbah cair sarung tenun yang dihasilkan dari seluruh proses, mendapatkan perlakuan elektrokoagulasi secara *batch*. Hasil uji Karakteristik awal limbah tersebut disajikan dalam Tabel 1.

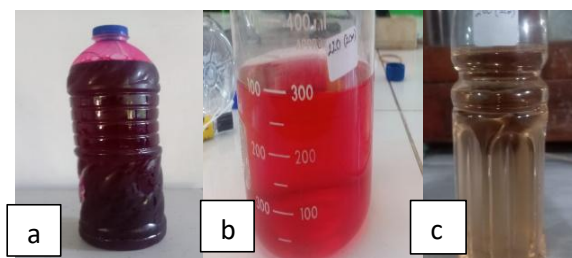
Tabel 1. Karakteristik Awal Limbah Sarung Tenun yang akan digunakan

Parameter	Satuan	Baku Mutu*	Nilai
TSS	mg/L	50	620
Warna	Pt-Co	-	13917.28
pH	-	6.0 - 9.0	12
COD	mg/L	150	1813.33

*PermenLH No. 5 Tahun 2014

Selain diuji karakteristik awalnya, limbah juga diencerkan sampai 3 kali karena terlalu pekat. Degradasi warna limbah batik sarung tenun dari awal dan setelah proses elektrokoagulasi terlihat pada Gambar 2.

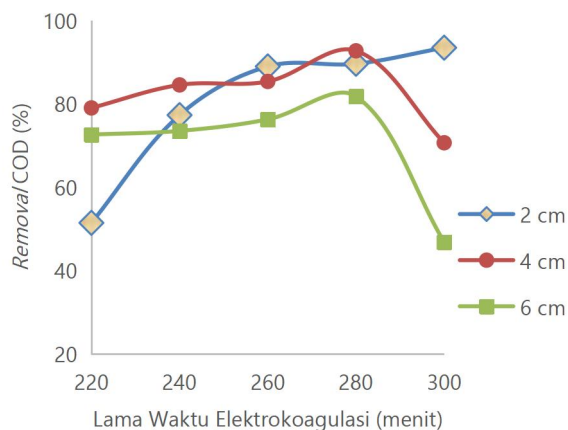
Metode elektrokoagulasi dapat mengakibatkan terjadi proses dekolorisasi, karena adanya proses adsorpsi zat warna oleh senyawa logam hidroksida ($M(OH)_x$). Endapan logam hidroksida akan mengkopresipitasi zat pewarna melalui interaksi elektrostatis sehingga terbentuk flok-flok (Darmawanti et al., 2010). Gambar 2 menunjukkan perubahan warna limbah sebelum diproses elektrokoagulasi (a), setelah proses elektrokoagulasi warna pekat berubah menjadi pink (b), dan setelah lama waktu 300 menit warna limbah menjadi hampir bening (c).



Gambar 2. (a) Limbah awal (b) Limbah setelah proses elektrokoagulasi pada waktu 220 menit pada jarak 2 cm (c) Limbah setelah proses elektrokoagulasi pada waktu 300 menit pada jarak 2 cm

Pengaruh Lama Waktu Elektrokoagulasi

Lama waktu elektrokoagulasi merupakan salah satu parameter yang sangat berperan dalam menurunkan nilai parameter khususnya dalam limbah cair tekstil (Pandia dkk., 2017; Setianingrum dkk., 2018).

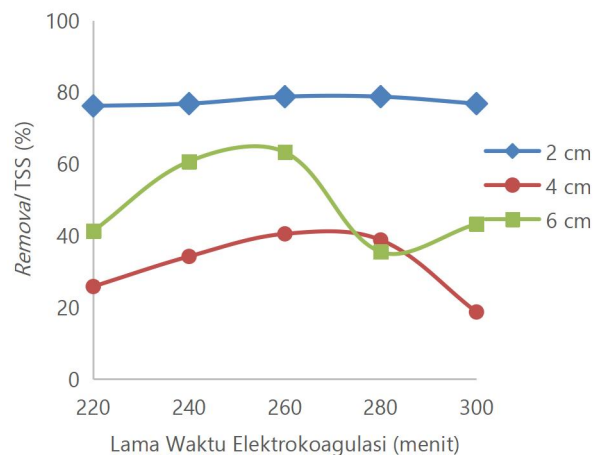


Gambar 3. Pengaruh Lama Waktu Elektrokoagulasi terhadap Persen *Removal* COD dengan Berbagai Jarak Elektroda

Gambar 3 menunjukkan pengaruh lama waktu elektrokoagulasi terhadap penurunan COD. Pada Gambar 3 terlihat bahwa persen *removal* mengalami puncak tertingginya pada menit ke-280. Persen *removal* COD tertinggi sebesar 93,49% dicapai dalam waktu 300 menit. Proses elektrokoagulasi menyebabkan ion aluminium yang keluar dari anoda berperan sebagai koagulan aktif (Taylor dkk., 2012) dan mengalami reaksi oksidasi dan reduksi (Hu dkk., 2016). Namun pada menit ke-300 terjadi penurunan yang disebabkan banyaknya ion aluminium yang terbentuk dan dapat menyebabkan kekeruhan (Nur dkk., 2014). Di samping itu, pada reaksi oksidasi dan reduksi terbentuk gas hidrogen yang dapat membawa koloid

zat pengotor naik ke permukaan (Hari P & Harsanti, 2010; Zaroual dkk., 2006).

Hubungan pengaruh lama waktu elektrokoagulasi terhadap persen *removal* TSS disajikan dalam Gambar 4.

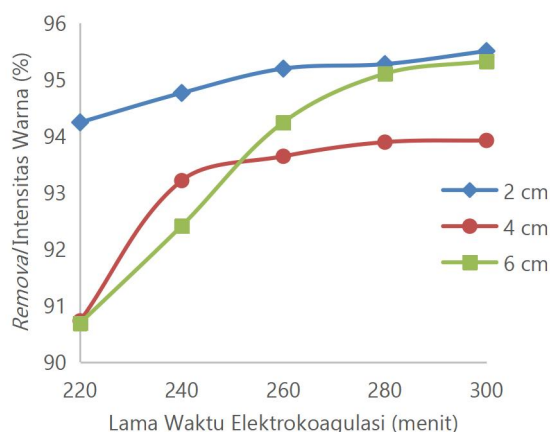


Gambar 4. Pengaruh Lama Waktu Elektrokoagulasi terhadap Persen *Removal* TSS dengan Berbagai Jarak Elektroda

Pada Gambar 4 terlihat bahwa ada kecenderungan persen *removal* TSS meningkat akibat pertambahan lama waktu elektrokoagulasi (Widayanti dkk., 2012). Fenomena ini juga sama dengan hasil yang diperoleh Melani dkk. (2017). Nilai persen *removal* TSS tertinggi mencapai 78,71% pada menit ke-280 pada jarak 2 cm. Pada menit ke 280 dan 300 dengan jarak elektroda 6 cm nilai *removal* TSS bersifat fluktuatif, di mana nilai *removal* TSS mengalami penurunan kemudian meningkat kembali. Hal ini dapat disebabkan oleh kejenuhan elektroda dan sangat kecilnya medan magnet yang terjadi sehingga proses elektrokoagulasi mengalami penurunan (Yolanda, 2015).

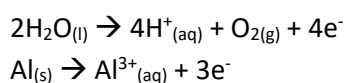
Pewarna dalam industri tekstil yang umumnya dipakai adalah pewarna sintetis seperti naphtol, indigosol, dan Remazol

(Setianingrum dkk., 2018). Gambar 5 menunjukkan bahwa persen *removal* intensitas warna meningkat dengan seiring bertambahnya lama waktu elektrokoagulasi. Hal ini disebabkan karena pada proses elektrolisis terbentuk Aluminium sebagai anoda yang menghasilkan Al(OH)_3 berupa endapan dan akan memflokulasi pewarna melalui kopresipitasi (Atikah, 2016).

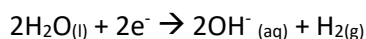


Gambar 5. Pengaruh Lama Waktu Elektrokoagulasi terhadap Persen *Removal* Intensitas Warna dengan Berbagai Jarak Elektroda

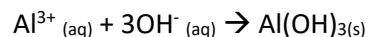
Al(OH)_3 terbentuk menurut reaksi berikut (Martínez-Huitle & Brillas, 2009) :



Pada katoda terbentuk gas H_2 dan ion hidroksida akibat terjadi reaksi reduksi air.



Al^{3+} yang terbentuk akan terlepas dan beraksi dengan ion hidroksida yang menghasilkan endapan Al(OH)_3 (Moussa et al., 2017).



Pada menit ke-300 diperoleh nilai persen *removal* intensitas warna tertinggi yaitu 95,50%.

Profil persen *removal* COD, TSS, dan intensitas warna memiliki kesamaan yaitu semakin lama waktu proses elektrokoagulasi maka dapat meningkatkan persen *removal* COD, TSS dan intensitas warna (Lestari & Agung, 2014). Namun jika melewati batas waktu optimalnya, maka persen *removal* COD, TSS, dan intensitas warna akan kembali turun. Hal ini disebabkan karena larutan mulai jenuh dan adanya gas hidrogen yang menyebabkan terjadinya proses flotasi (Setianingrum dkk., 2018; Tyagi dkk., 2014).

Pengaruh Jarak Elektroda

Beberapa penelitian menyimpulkan bahwa jarak antar elektroda memberikan pengaruh terhadap efisiensi pengurangan polutan pada limbah (Aoudj dkk., 2010; Hashim dkk., 2019; Lidiawati dkk., 2015; Setianingrum dkk., 2018). Pada penelitian ini, jarak elektroda yang digunakan adalah 2, 4, dan 6 cm. Gambar 3, 4, dan 5 menunjukkan bahwa persen *removal* terbaik untuk COD, TSS, dan intensitas warna terjadi pada jarak 2 cm. Jarak elektroda yang semakin jauh akan memperlemah interaksi flok-flok yang terbentuk sehingga sulit membentuk flok yang besar dan juga arus yang dihasilkan akan semakin lemah, sehingga berat aluminium yang terlarut akan berkurang. Hal tersebut sesuai dengan Hukum Faraday (Aoudj dkk., 2010; Dalvand dkk., 2011). Peningkatan jarak berkaitan dengan penurunan arus, di mana pembentukan ion aluminium dan hidroksil akan menurun

yang menyebabkan interaksi zat warna dengan polimer hidroksil berkurang dan efisiensi penghilangan warna menurun (Song et al., 2007). Hal inilah yang menyebabkan nilai persen *removal* yang rendah, hal ini sesuai dengan yang dilakukan (Dalvand et al. (2011). Nilai persen *removal* tertinggi untuk jarak 2 cm untuk COD, TSS, intensitas warna berturut-turut adalah 93.49%, 78,71 % dan 95.5%.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Lama waktu elektrokoagulasi dan jarak antar elektroda mempengaruhi perubahan persen *removal* COD, TSS, dan intensitas warna. Persen *removal* COD tertinggi adalah 93,49% pada waktu 300 menit, TSS sebesar 78,71% pada waktu 280 menit, dan intensitas warna 95,50% pada waktu 300 menit. Jarak antar elektroda mempengaruhi perubahan persen *removal* COD, TSS, dan intensitas warna dengan jarak terbaik pada 2 cm.

Saran

Perlu dikembangkan penelitian berikutnya yaitu aplikasi metode penelitian ini pada jenis limbah yang berbeda. Di samping itu dilakukan konfigurasi paralel untuk penempatan elektroda. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan persen *removal* tertinggi.

KONTRIBUSI PENULIS

Kontributor utama: Erlinda Ningsih, Yustia Wulandari Mirzayanti, dan Achmad Chusnun Ni'am. Kontribusi anggota: Dita Aulia Fajrin, dan Mohammad Andri Imami.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada pemilik *home industry* sarung tenun di kabupaten Gresik sebagai penyedia limbah cair serta pihak-pihak lain yang telah mendukung terwujudnya naskah dan kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alinsafi, A., Khemis, M., Pons, M. N., Leclerc, J. P., Yaacoubi, A., Benhammou, A., & Nejmeddine, A. (2005). Electro-coagulation of reactive textile dyes and textile wastewater. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 44(4), 461–470.
<https://doi.org/10.1016/j.cep.2004.06.010>
- Aoudj, S., Khelifa, A., Drouiche, N., Hecini, M., & Hamitouche, H. (2010). Electrocoagulation process applied to wastewater containing dyes from textile industry. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 49(11), 1176–1182.
<https://doi.org/10.1016/j.cep.2010.08.019>
- Atikah. (2016). *Penurunan Kadar Fenol Dalam Limbah Cair Industri Tenun Songket Dengan Proses Elektrokoagulasi*. 1(2), 6–15.
- Bazrafshan, E., Mahvi, A. H., & Zazouli, M. A. (2014). Textile Wastewater Treatment by Electrocoagulation Process using Aluminum Electrodes. *Iranian Journal Of Health Sciences*, 2(1), 16–29.
<https://doi.org/10.18869/acadpub.jhs.2.1.16>
- Celary, P., & Sobik-Szołtysek, J. (2014). Vitrification as an alternative to landfilling of tannery sewage sludge. *Waste Management*, 34(12), 2520–2527.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.08.022>
- Chen, G. (2004). Electrochemical technologies in wastewater treatment. *Separation and Purification Technology*, 38(1), 11–41.
<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2003.10.006>
- Chen, X., Chen, G., & Yue, P. L. (2000). Separation of pollutants from restaurant wastewater by electrocoagulation. *Separation and Purification Technology*, 19(1–2), 65–76.

- [https://doi.org/10.1016/S1383-5866\(99\)00072-6](https://doi.org/10.1016/S1383-5866(99)00072-6)
- Dalvand, A., Gholami, M., Joneidi, A., Mahmoodi, N. M., & Sciences, M. (2011). *Dye Removal, Energy Consumption and Operating Cost of Electrocoagulation of Textile Wastewater as a Clean Process*. 39(7), 665–672.
<https://doi.org/10.1002/clen.201000233>
- Darmawanti, T., Suhartana, S., & Widodo, D. S. (2010). Pengolahan Limbah Cair Industri Batik dengan Metoda Elektrokoagulasi Menggunakan Besi Bekas Sebagai Elektroda. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 13(1), 18–24.
<https://doi.org/10.14710/jksa.13.1.18-24>
- Djaenudin, Muchlis, & Ardeniswan. (2018). Nickel removal from electroplating wastewater using electrocoagulation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 160(1).
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/160/1/012016>
- Hari P, B., & Harsanti, M. (2010). *PENGOLAHAN LIMBAH CAIR TEKSTIL MENGGUNAKAN PROSES*. 1–7.
- Hashim, K. S., Al Khaddar, R., Jasim, N., Shaw, A., Phipps, D., Kot, P., Pedrola, M. O., Alattabi, A. W., Abdulredha, M., & Alawsh, R. (2019). Electrocoagulation as a green technology for phosphate removal from river water. *Separation and Purification Technology*, 210(July 2018), 135–144.
<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.07.056>
- Heffron, J., & Heffron, J. (2015). *Removal of Trace Heavy Metals from Drinking Water by Electrocoagulation Removal of Trace Heavy Metals from Drinking Water by Electrocoagulation*.
- Hu, C., Wang, S., Sun, J., Liu, H., & Qu, J. (2016). Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects An effective method for improving electrocoagulation process: Optimization of Al 13 polymer formation. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 489, 234–240.
<https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2015.10.063>
- Kusuma, A. R., & Widodo, D. S. (2015). Elektrodekolorisasi Limbah Cair Batik di Pekalongan dengan Elektroda PbO₂/Cu. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 18(2), 57–61. <https://doi.org/10.14710/jksa.18.2.57-61>
- Lestari, N. D., & Agung, T. (2014). *Penurunan TSS Dan Warna Limbah Industri Batik Secara Elektro Koagulasi*. 6(1), 37–44.
- Lidiawati, T., Riadi, L., Sanjaya, L. D., & Ferrydhiwati, W. (2015). Pengolahan Limbah Tekstil Menggunakan Elektrokoagulasi. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan” Pengembanagn Teknologi Kimia Untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*, 21–25. <http://www.elsevier.com/locate/scp>
- Martínez-Huitle, C. A., & Brillas, E. (2009). Decontamination of wastewaters containing synthetic organic dyes by electrochemical methods: A general review. *Applied Catalysis B: Environmental*, 87(3–4), 105–145.
<https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2008.09.017>
- Melani, A., Andre, & Rifdah. (2017). *Kajian Pengaruh Waktu Dan Ukuran Lempengan Terhadap Limbah Cair Industri Kain Tenun Songket Dengan Metode Elektrokoagulasi*. 2(1), 23–34.
- 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*. 174, 851–858.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.09.131>
- Moussa, D. T., El-Naas, M. H., Nasser, M., & Al-Marri, M. J. (2017). A comprehensive review of electrocoagulation for water treatment: Potentials and challenges. *Journal of Environmental Management*, 186, 24–41.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.10.032>
- Murniati, T., Inayati, & Budiastuti, S. (2015). Batik Dengan Metode Elektrolisis Konsentrasi Logam Berat Di Sungai. *Jurnal EKOSAINS*, VII(1), 77–83.
- Ningsih, E., Ayunaningsih, M. C., & P, T. A. B. (2019). *Pengolahan Limbah Industri Farmasi Menggunakan Metode Elektrokoagulasi dengan Elektroda Fe-Fe*. November, 230–235.
- Nur, A., Studi, P., & Lingkungan, T. (2014).

- ALUMINIUM PADA PROSES DAUR ULANG GREY WATER HOTEL THE APPLICATION OF ELECTROCOAGULATION USING ALUMINUM ELECTRODES IN RECYCLE OF HOTEL 'S GREY WATER. 20(907), 58–67.
- Pandia, S., Devi, A., Siahaan, Y., & Hutagalung, A. T. (2017). PEMANFAATAN ADSORBEN DARI KULIT BUAH KAKAO (*Theobroma cacao* L.) UNTUK MENURUNKAN CHEMICAL OXYGEN DEMAND PADA PALM OIL MILL EFFLUENT UTILIZATION OF ADSORBENT FROM COCOA PEEL (*Theobroma cacao* L.) TO REDUCE CHEMICAL OXYGEN DEMAND IN PALM OIL MILL EFFLU. 6(3), 34–40.
- Prasetyaningrum, A., Jos, B., Dharmawan, Y., Prabowo, B. T., Fathurrazan, M., & Fyrouzabadi. (2018). *The influence of electrode type on electrocoagulation process for removal of chromium (VI) metal in plating industrial wastewater The influence of electrode type on electrocoagulation process for removal of chromium (VI) metal in plating industrial wa. Vi*, 1–6.
- Setianingrum, N. P., Prasetya, A., & Sarto, S. (2018). Pengurangan Zat Warna Remazol Red Rb Menggunakan Metode Elektrokoagulasi Secara Batch. *Jurnal Rekayasa Proses*, 11(2), 78. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.26900>
- Siddiquia, M. F., Wahida, Z. A., & Sakinaha, M. (2011). Bioremediation and Biofouling Perspective of Real Batik Effluent by Indigenous Bacteria. *Environmental Engineering*, 2(5).
- Siti Zuraida, M., Nurhaslina, C. R., & Ku Halim, K. H. (2015). Review on Potential Technologies for Decolourisation of Batik Wastewater. *Advanced Materials Research*, 1113(July), 818–822. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.1113.818>
- Song, S., He, Z., Qiu, J., Xu, L., & Chen, J. (2007). Ozone assisted electrocoagulation for decolorization of C.I. Reactive Black 5 in aqueous solution: An investigation of the effect of operational parameters. *Separation and Purification Technology*, 55(2), 238–245. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2006.12.013>
- Taylor, P., Kabda, I., Ölmez-hanc, T., & Tünay, O. (2012). *Electrocoagulation applications for industrial wastewaters: a critical review. May 2013*, 37–41.
- Tyagi, N., Mathur, S., & Kumar, D. (2014). Electrocoagulation process for textile wastewater treatment in continuous upflow reactor. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 73(3), 195–198.
- Widayanti, G., Widodo, D. S., & Haris, A. (2012). Elektrokolorisasi Perairan Tercemar Limbah Cair Industri Batik dan Tekstil di Daerah Batang dan Pekalongan. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 15(2), 62–69. <https://doi.org/10.14710/jksa.15.2.62-69>
- Zaroual, Z., Azzi, M., Saib, N., & Chainet, E. (2006). Contribution to the study of electrocoagulation mechanism in basic textile effluent. *Journal of Hazardous Materials*, 131(1–3), 73–78. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.09.021>

