

Pengolahan Limbah Industri Tekstil Berbasis *Green Technology* Menggunakan Metode Gabungan Elektrodegradasi dan Elektrodekolorisasi dalam Satu Sel Elektrolisis

Zaina Rohayati^{1,*}, Mega M. Fajrin¹, Jumardin Rua¹, Yulan¹, Riyanto^{1,2}

¹Departemen Kimia Universitas Islam Indonesia, Jl Kaliurang KM 14,5 Yogyakarta 55584

²Pusat Studi Penelitian Elektrokimia & Pengolahan Limbah Universitas Islam Indonesia, Jl Kaliurang KM 14,5 Yogyakarta 55584

*Penulis korespondensi: zaina.rohayati@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.24198/cna.v5.n2.14702>

Abstrak: Limbah tekstil mengandung berbagai bahan kimia berbahaya jika langsung dibuang ke lingkungan. Metode lain penanganan limbah memiliki kelemahan yaitu menghasilkan banyak lumpur, serta biaya operasional yang mahal. Metode penanganan limbah cair yang lebih menguntungkan adalah elektrolisis yang merupakan metode ramah lingkungan karena tidak memerlukan bahan kimia tambahan. Pada metode elektrolisis degradasi anode akan mudah terjadi sehingga mengurangi konsentrasi senyawa organik (elektrodegradasi) dan kepekatan warna limbah (elektrodekolorisasi). Penelitian ini terdiri beberapa tahap, yaitu analisis komposisi elektrode, elektrolisis limbah tekstil pada variasi waktu serta analisis persentase degradasi dan penurunan nilai Kebutuhan Oksigen Kimia (COD) limbah tekstil secara spektrofotometri. Hasil penelitian menunjukkan bahwa elektrode stainless steel memiliki komposisi kadar besi (72,2%), krom (18,9%), nikel (7,6%) dan silika (1,4%). Setelah dielektrolisis pada variasi waktu dan analisis persentase degradasi secara spektrofotometri didapatkan waktu optimum selama 60 menit dengan degradasi sebesar 98,56%. Persentase penurunan nilai COD limbah tekstil yang dielektrolisis pada waktu optimum adalah sebesar 50,3834%.

Kata kunci: elektrolisis, green technology, limbah tekstil, stainless steel, spektrofotometri

Abstract: Industrial waste has many dangerous if directly discharged water channels to the environment. Waste handling methods that have been used previously have weaknesses such as generating other waste and costs become more expensive. More favorable is by electrolysis method. The method is an environmentally friendly method because it does not require additional chemicals. The electrolysis method is very suitable for treating many organic compounds, because the degradation in the anode will be easy to occur so that it will reduce the concentration of organic compound (electrodegradation) and the density of waste (electrodecolorization). Concentration of organic compounds (electrodegradation) and concentration of waste color (electrodecolorization). This research consists of several stages, namely analysis of electrode composition, electrolysis of textile waste on time variation and percentage analysis of degradation and degradation value of Chemical Oxygen Needs (COD) of textile waste. The results showed that the stainless steel electrode used had the composition and the iron content (72.2%), chromium (18.9%), nickel (7.6%) and silica (1.4%). The optimum time for 60 minutes with degradation percentage was 98.56%. The percentage decrease of COD value which was electrolyzed at optimum time was 50.3834%.

Keywords: electrolysis, green technology, textile waste, stainless steel, spectrometry

PENDAHULUAN

Tekstil merupakan bahan atau material fleksibel yang dibuat dari proses penenunan benang. Proses pembentukan bahan tersebut akan melalui beberapa tahapan yaitu penyulaman, penjahitan, pengikatan, dan cara penekanan. Bahan tersebut merupakan salah satu sektor andalan Indonesia sebagai penyumbang devisa. Industri pada sektor tersebut telah “menjamur” di Indonesia baik untuk skala rumahan ataupun industri.

Industri tekstil berkembang setiap tahunnya sebesar 0,85% dan memegang peranan yang cukup penting di Indonesia (Christian dkk. 2007). Perkembangan tentu akan diikuti terjadinya

peningkatan risiko kerusakan lingkungan yang ditimbulkan dari pembuangan limbah, karena dalam prosesnya menggunakan air dan bahan kimia yang cukup besar (Esteves & Silva 2004 dalam Riyanto 2013).

Limbah yang dihasilkan industri tekstil mengandung amoniak dan senyawa-senyawa organik (Sun *et al.* 2015). Kandungan senyawa-senyawa yang sangat kompleks dalam bentuk partikel zat padat yang tidak larut, garam, zat warna dan logam berat menyebabkan limbah tekstil sangat sulit untuk didegradasi. Kasus yang sering terjadi adalah reaksi antara zat warna satu dengan lainnya sehingga kondisi limbah menjadi lebih kompleks

(Chatzisyneon *et al.* 2006). Limbah yang dibuang ke lingkungan dapat menyebabkan pencemaran air dan bersifat toksik bagi bioindikator (ganggang dan ikan) serta menurunkan koefisien nilai nutrisi (syarat kelayakan konsumsi) dari ikan (Pratiwi 2010). Selain terhadap lingkungan limbah tekstil juga akan berdampak terhadap kesehatan masyarakat karena didalamnya juga mengandung logam berat seperti cadmium (Cd) yang dapat menyebabkan penyakit paru-paru, hati, tekanan darah tinggi, gangguan pada sistem ginjal dan kelenjar pencernaan serta mengakibatkan kerapuhan pada tulang.

Pengolahan limbah tersebut telah dilakukan dengan menggunakan metode kimia, fisika maupun biologi. Beberapa penelitian sebelumnya telah melaporkan metode yang digunakan untuk mengolah limbah tekstil diantaranya dengan menggunakan metode fotodegradasi (Prasetya dkk. 2012), absorpsi menggunakan lumpur aktif (Yuanita dkk. 2014), penggunaan jamur pendegradasi (Sastrawidana dkk. 2012), proses oksidasi menggunakan oksidator kuat seperti ozon dan hidrogen peroksida atau yang lebih dikenal dengan *Advance Oxidation Processes* (Nugroho & Iqbal 2005).

Beberapa metode yang digunakan tersebut memiliki kelemahan diantaranya menghasilkan limbah lain berupa lumpur (*sludge*) dalam jumlah banyak, hanya mengendapkan, memerlukan waktu yang cukup lama, sehingga biaya operasional menjadi semakin mahal serta kurang efektif dan efisien. Berdasarkan permasalahan tersebut maka perlu digunakan suatu metode pengolahan yang tidak menghasilkan limbah lain dan atau menghasilkan lumpur yang lebih sedikit dan relatif aman jika dibuang ke lingkungan. Suatu metode alternatif pengolahan limbah industri seperti tekstil yang dianggap lebih menguntungkan dan semakin banyak digunakan adalah proses pengolahan limbah dengan menggunakan metode elektrolisis. Metode ini dianggap sangat sesuai untuk mengolah limbah tekstil yang banyak mengandung zat warna organik, karena degradasi di anode akan mudah terjadi. Selain itu, metode elektrolisis tidak memerlukan bahan-bahan kimia tambahan, tidak memerlukan proses pemisahan katalis dan cara penggunaan yang mudah (Riyanto 2013)

Pada penelitian ini dilakukan pengolahan limbah tekstil menggunakan metode elektrolisis dengan elektrode *stainless steel*. Pada prosesnya akan dilakukan variasi waktu, massa elektrolit natrium klorida yang digunakan serta besar arus. Pemilihan elektrode *stainless steel* didasarkan pada alloy yang terdiri atas tiga logam yaitu Cr, Ni dan Mg. Penggunaan tiga logam sekaligus akan lebih baik bila dibandingkan dengan satu logam. Hal ini disebabkan karena akan terjadi efek sinergis diantara ketiga logam. Selain itu elektrode yang mengandung dua logam atau lebih akan memiliki dua atau lebih tempat aktif yang berperan sebagai katalis elektrokimia (Riyanto 2013).

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini merupakan proses elektrolisis limbah tekstil menggunakan variasi waktu dengan menggunakan elektrode *stainless steel* dan analisis persentase degradasi serta penurunan nilai Kebutuhan Oksigen Kimia (COD) limbah tekstil secara spektrofotometri. Kandungan logam utama yang terdapat pada *stainless steel* seperti Cr, Ni, Mn dan C dianalisis terlebih dahulu menggunakan SEM-EDX.

Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat elektrolisis yang terdiri dari *power supply*, anoda dan katoda yang berbahan *stainless steel*, *magnetic stirrer*, serta alat gelas seperti gelas beker, corong gelas, erlenmeyer, pipet volum, kaca arloji, sendok sungsung, kertas saring, neraca analitik, Spektrofotometer *UV-Visible* serta *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX).

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah tekstil, logam *Stainless Steel*, Natrium Klorida dan akuades.

Analisis Kadar Logam pada Elektrode *Stainless Steel*

Plat *stainless steel* yang digunakan sebagai anode dan katode dibuat dengan ukuran yang sama yaitu $7,5 \times 2 \text{ cm}^2$. Analisis komposisi logam beserta kadarnya menggunakan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX). Pada tahapan ini sampel logam dipotong dengan ukuran $0,5 \times 0,5 \text{ cm}^2$ yang disesuaikan dengan ukuran sample holder pada alat. Selanjutnya logam dianalisis menggunakan SEM-EDX.

Elektrolisis Limbah Tekstil dengan Variasi Waktu

Sebanyak 50 mL limbah tekstil dipipet, kemudian dimasukkan kedalam gelas kimia 100 mL. Selanjutnya ditambahkan elektrolit natrium klorida sebanyak 0,5 g, kemudian dilakukan proses elektrolisis menggunakan elektrode *stainless steel* dengan variasi waktu 5; 15; 25; 35; 45 dan 60 menit dengan menggunakan besar potensial 3 Volt. Hasil elektrolisis dianalisis menggunakan Spektrofotometer *UV-Visible* pada panjang gelombang 200-800 nm untuk mengetahui waktu terbaik.

Analisis COD Limbah Tekstil Sebelum dan Sesudah Elektrolisis

Analisis kebutuhan oksigen kimia (COD) pada limbah tekstil yang telah dielektrolisis menggunakan metode SNI 6989.2-2009. Metode ini digunakan untuk pengujian COD dalam air dan air limbah dengan reduksi $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ secara spektrofotometri.

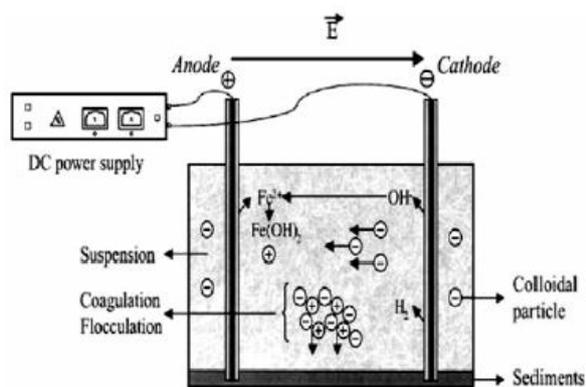
HASIL DAN PEMBAHASAN

Elektrolisis limbah tekstil pada penelitian ini menggunakan elektrode *stainless steel* baik pada

anode maupun katodenya. Elektrode tersebut dalam proses elektrolisis berperan sebagai penghantar arus listrik dalam larutan agar terjadi reaksi oksidasi pada anode dan reduksi pada katode. Kedua reaksi tersebut akan mempercepat degradasi senyawa organik yang terdapat pada limbah tekstil hingga menghasilkan karbondioksida (CO_2) dan air (H_2O). Selain logam *stainless steel* yang berperan sebagai penghantar listrik yang tak kalah penting adalah penggunaan natrium klorida sebagai elektrolit (penghantar listrik) yang baik dalam larutan.

Reaksi kimia pada proses elektrolisis terhadap limbah tekstil terjadi akibat arus yang dialirkan, karena pada sel elektrolisis reaksi tidak berlangsung spontan. Selama proses elektrolisis terdapat beberapa reaksi yang terjadi di anode, katode maupun dalam larutannya. Adapun reaksi-reaksi tersebut yaitu reaksi dari logam-logam yang terdapat pada *stainless steel* yang teroksidasi, reaksi dari basa yang mengalami oksidasi membentuk gas oksigen (O_2) dan ion-ion lain seperti sulfat (SO_4^{2-}) dan sulfat (SO_3^-) yang tidak dapat dioksidasi dari larutan (Hidayatillah 2014).

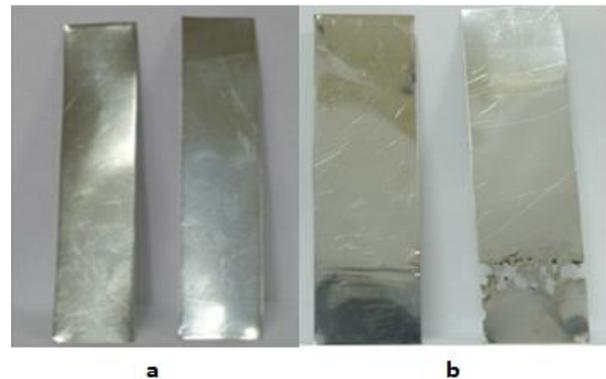
Stainless steel yang digunakan dalam penelitian ini adalah elektrode dengan sifat reaktif, memiliki kandungan utama besi (Fe). Karena sifatnya yang reaktif menyebabkan elektrode tersebut sangat mudah teroksidasi. Ketika proses elektrolisis, besi teroksidasi membentuk Fe^{n+} yang kemudian mengikat ion OH^- membentuk $\text{Fe}(\text{OH})_n$ dengan $n=2$ atau 3 atau disebut sebagai agen koagulan. Koagulan tersebut kemudian menetralkan partikel koloid yang bermuatan negatif sehingga membentuk kumpulan-kumpulan material yang cukup besar untuk mengendap yang tampak seperti lumpur. Proses tersebut secara visual dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses terbentuknya lumpur pada elektrolisis limbah tekstil

Sifat kereaktifan *stainless steel* yang digunakan pada berbagai variasi dalam penelitian ini telah menyebabkan elektrode tersebut sangat mudah teroksidasi. Hal ini menyebabkan terjadinya perubahan pada anode sebagai tempat berlangsungnya reaksi oksidasi. Anode yang digunakan akan terkikis dengan membentuk lubang-lubang kecil sehingga menyebabkan penurunan massa pada elektrode.

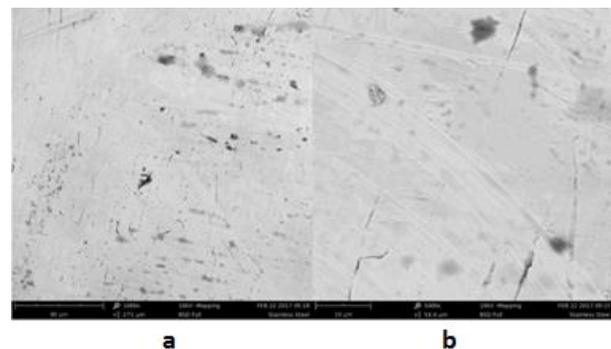
Sedangkan pada katode secara visual tidak terjadi perubahan yang berarti. Hal ini sebagaimana yang dikemukakan oleh Othman (2006) dalam Hidayatillah (2014) bahwa pada katode merupakan tempat terjadinya reaksi reduksi, sehingga logam katode tetap dalam bentuk netral. Perubahan elektrode khususnya anode pada berbagai variasi dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Perubahan elektrode (a) kondisi awal elektrode, (b) variasi waktu

Analisis Kandungan Logam pada Elektrode *Stainless Steel* Menggunakan *Scanning Electron Microscopy (SEM)*

Elektrode *stainless steel* yang digunakan pada penelitian ini berupa plat (Gambar 2) yang memiliki ketebalan 0,1 mm. Sampel elektrode yang digunakan untuk analisis memiliki ukuran $0,5 \times 0,5 \text{ cm}^2$. Adapun struktur morfologi dari elektrode tersebut sebelum digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur morfologi elektrode *stainless steel* (a) perbesaran $1000\times$ dan (b) perbesaran $5000\times$.

Sedangkan berdasarkan hasil analisis komposisi unsur, elektrode *stainless steel* yang digunakan memiliki komposisi dan kadar unsur-unsur logam yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Elektrolisis Limbah Tekstil dengan Variasi Waktu

Proses elektrolisis berkaitan erat dengan interaksi antara elektrode dengan larutan, dalam hal ini limbah tekstil. Salah satu hal yang patut diperhatikan adalah waktu elektrolisis. Waktu yang digunakan pada

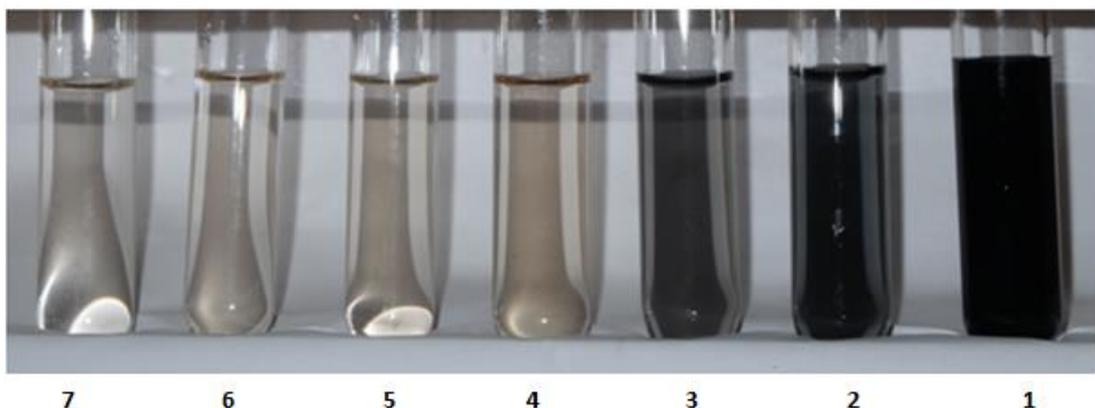
Tabel 1. Komposisi unsur logam dalam elektrode *stainless steel*

Unsur logam	Kadar (%)
Besi (Fe)	72,2
Krom (Cr)	18,9
Nikel (Ni)	7,6
Silika (Si)	1,4

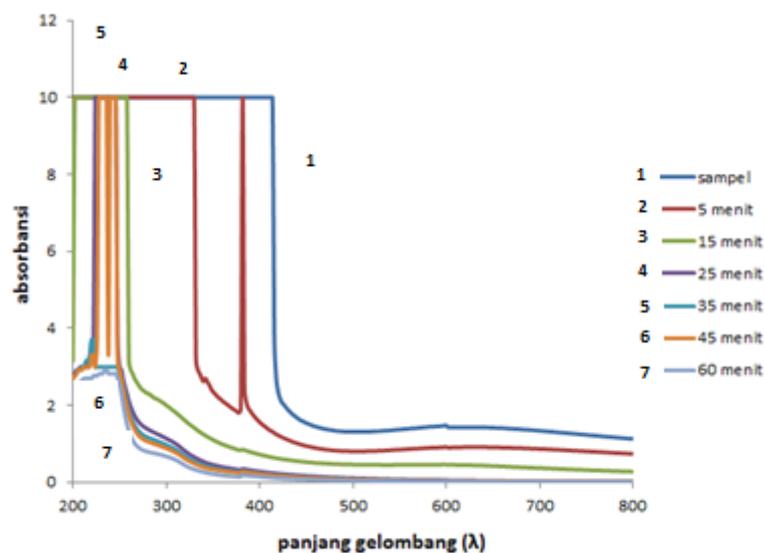
proses elektrolisis yaitu 5, 15, 25, 35, 45, dan 60 menit, dengan massa elektrolit dan besar potensial yang digunakan secara berturut-turut 0,5 g dan 3 V. Variasi waktu yang digunakan pada penelitian bertujuan untuk mengetahui kondisi optimum proses, dengan melihat penurunan absorbansi maksimum dari spektra yang dihasilkan. Secara visual dapat dilihat bahwa waktu elektrolisis memberikan

pengaruh terhadap degradasi warna limbah tekstil. Hal tersebut dengan jelas mulai terlihat ketika waktu elektrolisis yang digunakan selama 25 menit. Selanjutnya semakin lama waktu elektrolisis larutan limbahnya semakin jernih. Larutan limbah yang paling jernih pada variasi ini diperoleh pada waktu 60 menit. Hasil analisis tersebut didukung oleh spektra UV-Vis seperti ditunjukkan pada Gambar 2B. Gambar 2B menunjukkan bahwa semakin lama waktu elektrolisis semakin menurun absorbansi. Nilai absorbansi berbanding lurus dengan konsentrasi senyawa yang terkandung, sehingga semakin rendah nilainya maka semakin kecil konsentrasi senyawa organik yang terkandung di dalamnya. Sehingga pada elektrolisis dengan variasi waktu didapatkan kondisi terbaik yaitu selama 60 menit. Degradasi warna limbah tekstil dari sebelum hingga sesudah elektrolisis dapat dilihat pada Gambar 4.

Selain secara visual, degradasi warna terhadap limbah tekstil dari sebelum hingga sesudah



Gambar 4. Degradasi warna limbah tekstil dari kanan ke kiri: tanpa elektrolisis (1) hingga elektrolisis pada variasi waktu secara berturut-turut (2-7).



Gambar 5. Spektra Uv-Vis Analisis limbah tekstil dengan pada variasi waktu.

elektrolisis dapat juga dilihat dari hasil analisis menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. Pada penelitian ini digunakan panjang gelombang 200-800 nm. Panjang gelombang tersebut mewakili daerah ultraviolet (180-400 nm) dan daerah tampak/visible (400-700 nm). Walaupun pada berbagai variasi yang digunakan telah didapatkan larutan yang jernih, tetapi analisis tetap dapat dilakukan karena larutan tersebut kemungkinan masih mengandung senyawa organik yang memiliki gugus kromofor.

Setelah proses elektrolisis terhadap limbah tekstil yang semula berwarna pekat telah menghasilkan degradasi warna yang dapat dilihat secara visual pada Gambar 4.. Berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat bahwa waktu elektrolisis memberikan pengaruh terhadap degradasi warna limbah tekstil. Hal tersebut dengan jelas mulai terlihat ketika waktu elektrolisis yang digunakan selama 25 menit. Selanjutnya semakin lama waktu elektrolisis larutan limbahnya semakin jernih. Larutan limbah yang paling jernih pada variasi ini diperoleh pada waktu 60 menit. Sedangkan berdasarkan hasil analisis spektra UV- Vis, dapat dilihat pada Gambar 5. Berdasarkan hasil analisis spektra UV- Vis pada Gambar 5 menunjukkan bahwa waktu memberikan pengaruh yang signifikan terhadap degradasi limbah tekstil. Semakin lama waktu elektrolisis menunjukkan semakin berkurangnya konsentrasi senyawa organik. Meskipun tidak secara tepat didapatkan besar penurunan konsentrasinya, namun hal tersebut dilihat dari spektra yang dihasilkan yang menunjukkan semakin turunnya absorbansi. Nilai absorbansi berbanding lurus dengan konsentrasi senyawa organik yang terkandung, sehingga semakin rendah nilainya maka semakin kecil pula konsentrasi senyawa organik yang terkandung di dalamnya. Sehingga pada elektrolisis dengan variasi waktu didapatkan kondisi optimum yaitu selama 60 menit.

Analisis Degradasi Limbah Tekstil Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada Variasi waktu.

Berdasarkan hasil analisis spektrum yang ditunjukkan pada Gambar 5 menunjukkan bahwa

penurunan absorbansi pada proses elektrolisis terhadap limbah tekstil, ditemukan bahwa absorbansi maksimum penurunan pada kondisi waktu 60 menit.

Persentase degradasi limbah pewarna tekstil (Tabel 2) dapat dihitung dengan menggunakan rumus

$$R\% = [100(A_{0,\lambda} - A_{1,\lambda})] / A_{0,\lambda}$$

dimana:

R% = persentase degradasi limbah pewarna

$A_{0,\lambda}$ = Nilai absorbansi limbah pewarna tekstil awal (400 nm)

$A_{1,\lambda}$ = Nilai absorbansi limbah pewarna tekstil setelah di elektrolisis pada variasi waktu (400 nm)

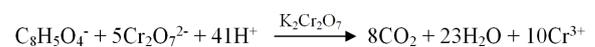
Analisis Kebutuhan Oksigen Kimia (Chemical Oxigen Demand) Limbah Tekstil Sebelum dan Sesudah Elektrolisis

Analisis Chemical Oxigen Demand (COD) dalam penelitian ini dapat menjadi informasi penurunan konsentrasi senyawa organik dalam limbah setelah dielektrolisis. Analisis tersebut disesuaikan dengan SNI 6989.2-2009 yang didasarkan pada oksidasi zat organik oleh larutan $K_2Cr_2O_7$ dalam keadaan asam secara refluks tertutup melalui reaksi:



Jumlah oksigen yang dibutuhkan dinyatakan dalam O_2 mg/L yang diukur pada panjang gelombang maksimum 600 nm dengan spektrofotometer UV-Vis.

Analisis Chemical Oxigen Demand COD secara refluks tertutup dengan spektrofotometer UV-Vis tersebut menggunakan senyawa kalium hidrogen ftalat sebagai larutan standar. Senyawa hidrogen ftalat dianggap mewakili senyawa organik dalam larutan yang dioksidasi oleh larutan kalium dikromat melalui reaksi:



Tabel 2. Persentase degradasi limbah pewarna tekstil pada variasi waktu.

Potensial (V)	Massa elektrolit natrium klorida (g)	Waktu elektrolisis (menit)	Persentase degradasi		
			Absorbansi awal	Absorbansi akhir	% Degradasi
3	0,5	5	10	1,564	84,36
		15	10	0,723	92,77
		25	10	0,283	97,17
		35	10	0,231	97,69
		45	10	0,217	97,83
		60	10	0,144	98,56

Penurunan COD limbah tekstil setelah elektrolisis pada kondisi optimum sebesar 50,3834% yang hasilnya ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil analisis COD limbah tekstil

Sampel	Hasil Analisis COD (mg/L)
Sebelum elektrolisis	2086,667
Sesudah elektrolisis pada kondisi optimum (60 menit, 3 volt dan 0,5 g Natrium Klorida)	1035,333

KESIMPULAN

Waktu memberikan pengaruh yang signifikan terhadap degradasi limbah tekstil. Semakin lama waktu elektrolisis menunjukkan semakin berkurangnya konsentrasi senyawa organik. Pada elektrolisis dengan variasi waktu didapatkan kondisi optimum yaitu selama 60 menit dengan menggunakan besar potensial 3V. Diperoleh persentase degradasi terbesar yaitu 98,56% dengan reduksi nilai COD sebesar 50,38%. Elektrode stainless steel baik dan efisien digunakan untuk mendegradasi limbah industri tekstil melalui proses elektrokimia yang ekonomis dan ramah lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih dan apresiasi setingginya ditujukan kepada KEMENRISTEK DIKTI yang telah mendanai penelitian ini melalui PKM-PE pendanaan tahun 2017. Apresiasi setingginya juga ditujukan kepada Direktorat Pengembangan Minat/Bakat dan Kesejahteraan Mahasiswa Universitas Islam Indonesia (DPBMKM UII) atas bantuan dana penelitian Serta ucapan Terimakasih kepada Prodi Kimia Fakultas Matematika & Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia yang telah mendukung penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Chatzisyneon, E., Xekoukoulotakis, N.P., Coz, A., Kalogerakis, N. & Mantzavinos, D. (2006). Electrochemical treatment of textile dyes and dyehouse effluents. *Journal of Hazardous Materials*. 137(2): 998-1007.

Chafi, M., Gourich, B., Essadki, A.H., Vial, C. & Fabregat, A. (2011). Comparison of electrocoagulation using iron and aluminium electrodes with chemical coagulation for the removal of a highly soluble acid dye. *Desalination*, 281: 285-292.

Christian, H., Suwito, E., Ferdian, T.A., Setiadi, T. & Suhardi, S.H. (2007). Kemampuan Pengolahan

Warna Limbah Tekstil oleh Berbagai Jenis Fungi dalam Suatu Bioreaktor. *Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia, Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS*, Surabaya. 15 November 2007.

- Fajardo, A.S., Rodrigues, R.F., Martins, R.C., Castro, L.M. & Quinta-Ferreira, R.M. (2015). Phenolic wastewaters treatment by electrocoagulation process using Zn anode. *Chemical Engineering Journal*. 275: 331-341.
- Manenti, D.R., Módenes, A.N., Soares, P.A., Espinoza-Quiñones, F.R., Boaventura, R.A., Bergamasco, R. & Vilar, V.J. (2014). Assessment of a multistage system based on electrocoagulation, solar photo-Fenton and biological oxidation processes for real textile wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal*. 252: 120-130.
- Mukimin, A., Vistanty, H. & Zen, N., 2015. Oxidation of textile wastewater using cylinder Ti/ β -PbO₂ electrode in electrocatalytic tube reactor. *Chemical Engineering Journal*. 259: 430-437.
- Nugroho, R. & Mahmud, I. (2005). Pengolahan air limbah berwarna industri tekstil dengan proses AOPs. *Jurnal Air Indonesia*. 1(2): 163-172
- Prasetya, N.B.A., Haris, A. & Gunawan, G. (2012). Pengaruh ion logam Cd (II) dan pH larutan terhadap efektivitas fotodegradasi zat warna remazol black b menggunakan katalis TiO₂. *Molekul*. 7(2): 143-152.
- Pratiwi, Y. (2010). Penentuan tingkat pencemaran limbah industri tekstil berdasarkan nutrition value coefficient bioindikator. *Jurnal Teknologi*. 3(2): 129-137.
- Riyanto. (2013). *Elektrokimia dan Aplikasinya*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Sastrawidana, I.D., Maryam, S. & Sukarta, I.N., (2012). Perombakan air limbah tekstil menggunakan jamur pendegradasi kayu jenis *Polyporus* Sp teramobil pada serbuk gergaji kayu. *Bumi Lestari*. 12(2): 382-389.
- Sun, F., Sun, B., Hu, J., He, Y. & Wu, W. (2015). Organics and nitrogen removal from textile auxiliaries wastewater with A 2 O-MBR in a pilot-scale. *Journal of Hazardous Materials*. 286: 416-424.
- Yang, B., Han, Y., Yu, G., Zhuo, Q., Deng, S., Wu, J. & Zhang, P. (2016). Efficient removal of perfluoroalkyl acids (PFAAs) from aqueous solution by electrocoagulation using iron electrode. *Chemical Engineering Journal*. 303: 384-390.
- Yuanita, D., Widjajanti, E. & Sulistyani, S. (2014). Penggunaan lumpur aktif sebagai material untuk biosorpsi pewarna remazol. *Molekul*. 9(2): 93-100.