



## Potential Oxidative Treatment Using Pb-PbO<sub>2</sub> Electrode in Electrodecolorizing Batik Wastewater

Didik Setiyo Widodo <sup>a\*</sup>, Rahmat Nuryanto <sup>a</sup>, Abdul Haris <sup>a</sup>, Prihastuti S. L. Dewi <sup>a</sup>, Lutfia Apipah <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Chemistry Department, Faculty of Sciences and Mathematics, Diponegoro University, Jalan Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang

\* Corresponding author: [widodo.ds@live.undip.ac.id](mailto:widodo.ds@live.undip.ac.id)

<https://doi.org/10.14710/jksa.21.3.118-123>

Article Info	Abstract
<p><i>Article history:</i>            Received: 6 July 2018            Revised: 21 July 2018            Accepted: 22 July 2018            Online: 31 July 2018</p> <p><i>Keywords:</i>            Batik wastewater,            electrodecolorization,            indigozol, PbO<sub>2</sub>,            remazole black B</p>	<p>Electrodecolorization of batik wastewater has been done. Study was performed to remediate aquatic environment containing dyes of batik industry by electrolysis, decreasing COD and some metal ions as well. Research was conducted by electrolyzing sample from Buaran Pekalongan and Semarang using Pb and PbO<sub>2</sub> as electrodes at a constant applied potential. Solution after treating were analysed, zeolite sieving treatment, and final analysis by UV-Vis spectrophotometer for measuring decolorization percentages, atomic absorption spectrophotometer (AAS) for evaluating metal ions of Cu<sup>2+</sup>, total Fe and Na<sup>+</sup>, and COD analysis. Results show that electrolysis of batik wastewater using PbO<sub>2</sub> as anode effectively decolorize and decreasing COD values. Sample containing indigozol and remazol black B (RBB) were decolorized up to 100%. CODs were reduced to 98.6% and 95.4%, respectively. Zeolite treatment enhancing water quality by reducing ion concentration of Cu<sup>2+</sup>, total Fe ions and Na<sup>+</sup>.</p>
<p><i>Kata Kunci:</i>            Limbah cair batik,            elektrokolorisasi,            indigozol, PbO<sub>2</sub>,            remazol black B</p>	<p><b>Abstrak</b></p> <p>Elektrokolorisasi limbah cair batik telah dilakukan. Kajian dimaksudkan untuk meremediasi perairan yang tercemar zat warna industri batik, batik dengan cara elektrolisis dan menurunkan nilai COD dan kandungan ion-ion logam. Remediasi dilakukan dengan mengelektrolisis larutan sampel limbah zat warna batik dari Buaran Pekalongan dan Semarang dengan elektroda Pb-PbO<sub>2</sub>. Larutan pascaelektrolisis diberi perlakuan zeolit, disaring dan dianalisis kembali. Analisis keberadaan produk elektrolisis meliputi spektrometri UV-Vis sampel sebelum dan sesudah elektrolisis untuk penentuan persentase dekolorisasi, <i>atomic absorption spectrophotometry</i> (AAS) untuk pengukuran kadar ion-ion logam Cu<sup>2+</sup>, Fe total, dan Na<sup>+</sup> dan analisis COD. Hasil menunjukkan bahwa elektrokolorisasi limbah zat warna industri batik dengan menggunakan PbO<sub>2</sub> efektif mendekolorisasi dan mengurangi nilai COD limbah. Sampel A (indigozol) dan B (RBB) berhasil didekolorisasi hingga 100%, dengan penurunan COD sebesar 98,6% dan (5,4%. Perlakuan zeolit alam dapat meningkatkan kualitas air dengan pengurangan kandungan ion logam-logam Cu<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>/Fe<sup>2+</sup> dan Na<sup>+</sup> yang tidak dapat hilang sempurna selama elektrolisis.</p>

## 1. Pendahuluan

Intensifikasi produksi batik nasional belum sepenuhnya diiringi upaya pengelolaan buangan limbah cair hingga tuntas. Polutan dari industri batik terus terakumulasi secara cepat di lingkungan perairan dan mempercepat kerusakan lingkungan, mencemari dan membahayakan ekosistem [1]. Limbah cair yang dihasilkan dari industri batik mengandung zat warna. Limbah ini berasal dari proses pewarnaan batik yang langsung dibuang ke perairan. Limbah zat warna dari industri batik yang dibuang ke perairan menghalangi sinar matahari untuk masuk ke dalam perairan sehingga kandungan oksigen di dalam air menurun yang dapat menyebabkan kematian ekosistem perairan. Bahaya ini juga memiliki potensi ancaman bagi manusia yang dapat karena zat warna bersifat iritatif dan dapat memicu kanker jika terakumulasi dalam tubuh [2], sehingga pengolahan limbah menjadi sangat penting untuk dilakukan.

Berbagai upaya yang dapat ditempuh dapat disebutkan, antara lain adalah pendekatan kimiawi. Upaya perlakuan limbah cair proses pewarnaan ini telah di dekati dengan banyak cara, seperti koagulasi, adsorpsi, pengendapan, dan elektrodekorisasi (elektrolisis). Metode koagulasi dan adsorpsi memerlukan waktu lebih lama dan menyisakan zat warna tinggal pada padatan. Metode pengendapan memerlukan penanganan lanjutan lumpur endapan. Metode elektrolisis sangat efisien dan mampu mereduksi cemaran zat warna tanpa menyisakan limbah baru [3]. Salah satu faktor penting keberhasilan proses elektrolisis adalah pemilihan material elektoda. Penggunaan  $PbO_2$  sebagai anoda dapat memaksimalkan proses elektrodekorisasi [4] yang penggunaan sebagai bahan elektroda telah dipatenkan [5]. Dalam penelitian ini pemilihan  $PbO_2$  sebagai material anoda *inert*, semikonduktif, dan stabil [6-8].

$PbO_2$  dapat disintesis atau dapat dipilih dari  $PbO_2$  sisa elektroda aki. Sebagai bagian limbah aki, pemanfaatan bahan ini harus dipikirkan sehingga masalah cemaran limbah padat dapat dikurangi.  $PbO_2$  dapat digunakan sebagai elektroda untuk mengatasi limbah zat warna proses pewarnaan batik [3, 9, 10]. Penggunaan elektroda ini setelah elektrolisis diduga menyisakan cemaran baru berupa ion logam, seperti ion  $Cu^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ . Sementara metode elektrolisis menyisakan ion  $Na^+$  sebagai material elektrolit pendukung yang dapat diatasi dengan penyaringan, adsorpsi atau pertukaran ion. Pada penelitian ini dilakukan penyaringan menggunakan zeolit. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa disamping karbon aktif, zeolit dapat menurunkan kandungan ion dalam sampel [11-13]. Hal tersebut sejalan dengan penelitian lain yang menunjukkan zeolit efektif untuk penanganan masalah lingkungan perairan tercemar [14, 15]

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Alat dan Bahan

Bahan  $PbO_2$  sebagai anoda,  $Na_2SO_4$  sebagai elektrolit pendukung dalam proses elektrodekorisasi serta limbah zat warna batik sebagai sampel yang

mengandung indigosol (sampel A) dan *remazol black B* (sampel B), dan akuades. Zeolit alam juga digunakan diambil dari Bayat Klaten.

**Alat-alat.** Peralatan yang diperlukan meliputi seperangkat peralatan gelas, kertas saring, multimeter, *stopwatch*, neraca analitik, Adaptor GW Instek GPR-3060D, spektrometer UV-Vis (simadzu), dan *Atomic Absorption Spectrophotometry* PE 3110

### 2.2. Analisis Pendahuluan Sampel.

Analisis awal sampel meliputi pengujian spektrometri UV-Vis, analisis AAS dan pengukuran COD. Analisis menggunakan spektrometri UV-Vis bertujuan untuk membandingkan spektra dan informasi panjang gelombang maksimum sampel sebelum dan sesudah elektrolisis. Analisis AAS ditujukan untuk memperoleh data kandungan logam sebagai cemaran ikutan zat warna.

### 2.3 Elektrolisis pada Variasi Potensial.

Sampel sebanyak 150 mL yang telah ditambah 0,71 g  $Na_2SO_4$  dan dielektrolisis pada berbagai harga potensial, antara 1-15 volt. Arus yang mengalir dicatat tiap periode 10 menit. Elektrolisis juga dilakukan pada larutan blanko, kemudian data yang didapat dibuat kurva hubungan antara arus terhadap potensial.

### 2.4 Elektrodekorisasi sampel dan Perlakuan Lanjutan.

Sebanyak 0,71 g  $Na_2SO_4$  ditambahkan ke dalam 150 mL sampel dan dielektrolisis pada potensial 9 V dengan variasi waktu. Setiap 10 menit, larutan disampling dan absorbansi diukur pada panjang gelombang 682 nm (larutan indigozol) dan 640 nm (larutan *remazol black B*). Proses elektrolisis dihentikan ketika absorbansi sampel mendekati atau sama dengan nol atau bernilai tetap. Tingkat dekorisasi sampel ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\text{Persentase Dekolorisasi (\%)} = \frac{(A_0 - A_t)}{A_0} \times 100$$

dengan  $A_0$  = absorbansi sampel awal

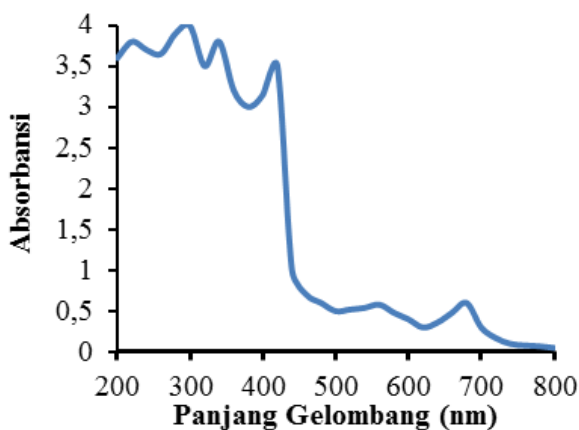
$A_t$  = absorbansi pada waktu tertentu

### 2.5 Elektrodekorisasi Sampel dan Perlakuan Lanjutan.

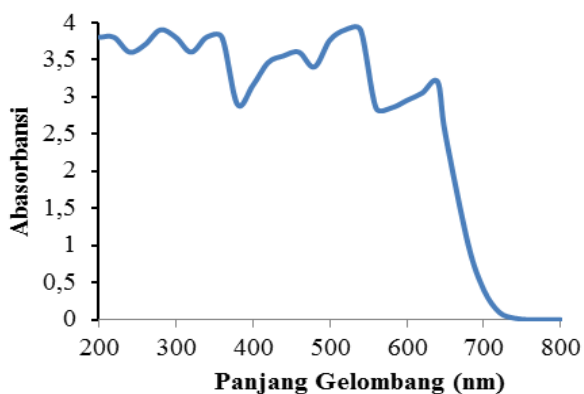
Larutan sampel sebanyak 150 mL ditambah 0,71 g  $Na_2SO_4$  kemudian larutan dielektrolisis pada potensial 9 V selama waktu elektrolisis minimum tiap larutan limbah zat warna. Kandungan ion-ion logam ( $Cu^{2+}$ , Fe total dan  $Na^+$  larutan pascaelektrolisis dianalisis dengan AAS dan pemberian perlakuan pencampuran dan pengadukan 10 menit dengan 1 g zeolit alam. Setelah pengadukan dilakukan penyaringan dengan kertas saring whatman 42. Pengukuran dengan AAS dilakukan kembali berikut absorbansi larutan dianalisis secara spektrometri UV-Vis, dan COD ditetapkan.

### 3. Hasil dan Diskusi

Kajian remediasi limbah zat warna industri batik dilakukan dengan mengelektrolisis sampel dengan keberadaan elektroda  $PbO_2$  sebagai anoda dan penambahan  $Na_2SO_4$ . Larutan sampel adalah limbah cair batik yang dibuang setelah proses pewarnaan dengan indigosol (sampel A) dan *remazol* (sampel B). Analisis pendahuluan menunjukkan sampel memiliki puncak panjang gelombang 682 nm menandai gugus kromofor indigozol dalam matriks limbah dan 640 nm untuk *remazol black B* sebagaimana ditunjukkan pada gambar-gambar 1 dan 2. Harga ini bergeser menuju panjang gelombang lebih besar dibanding panjang gelombang maksimum larutan murni. Pergeseran berhubungan dengan sistem matriks yang berbeda antara larutan zat warna murni dan limbah proses pewarnaan. Pengukuran dekolorisasi secara kuantitatif dilakukan pada panjang gelombang ini.



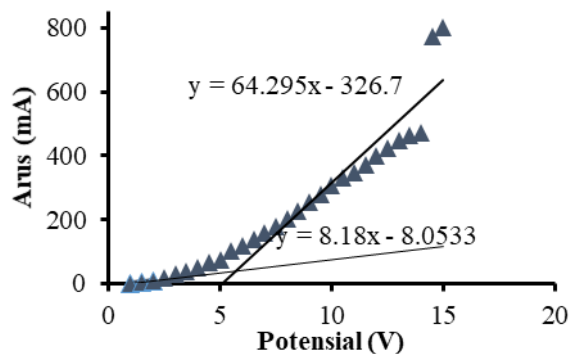
Gambar 1. Grafik spektra UV-Vis sampel A (indigozol) sebelum elektrolisis



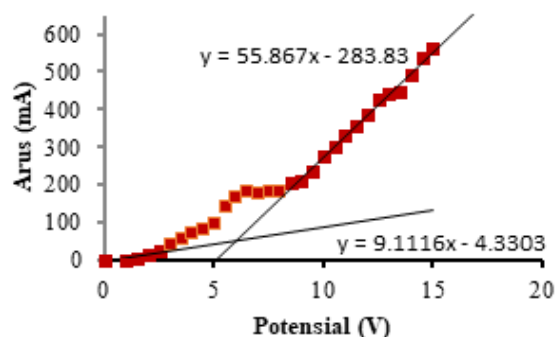
Gambar 2. Deskripsi spektroskopik UV-Vis sampel B sebelum elektrolisis

Gambar 1 dan 2 menyajikan kurva yang terlihat adanya puncak serapan pada panjang gelombang sinar tampak yang merupakan karakteristik gugus kromofor terkonjugasi, yang menunjukkan bahwa limbah berpotensi menyebabkan perairan menjadi berwarna. Pada analisis pascaperlakuan, absorbansi kedua sampel limbah ditentukan kembali untuk melihat level penurunan (degradasi) warna limbah (dekolorisasi).

Eksperimen awal penentuan potensial aplikasi dengan elektrolisis pada variasi potensial disajikan pada gambar 3 berikut.



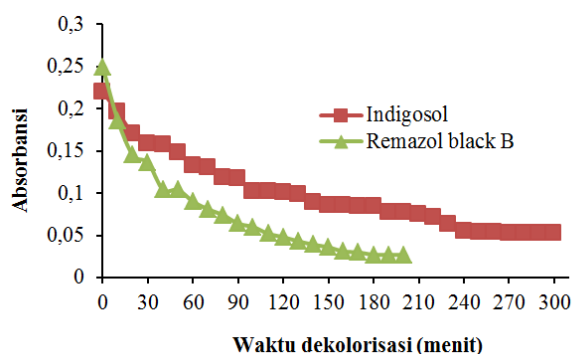
Gambar 3. Data elektrolisis sampel A (indigozol) pada variasi potensial aplikasi



Gambar 4. Data elektrolisis sampel (B) *remazol black B* pada variasi potensial aplikasi

Perubahan arah grafik (pada titik belok) gambar 3 dan 4 dari daerah landai bawah ke daerah kenaikan lebih vertikal terjadi pada titik yang ditentukan dengan Program Microsoft Excel melalui pembentukan *trendline* linear kedua daerah grafik. Titik tersebut merupakan perpotongan dua garis linear bawah dan atas. Titik belok grafik tersebut menandai potensial minimal untuk proses elektrolisis sistem. Potensial kerja (aplikasi) ditetapkan lebih besar dari titik belok grafik. Pada perhitungan, perpotongan dua garis pada gambar 3 terjadi pada potensial 5,7 V dan 6,0 V pada gambar 4, dengan potensial kerja ditetapkan sebesar 9 V.

Proses dekolorisasi memerlukan waktu tertentu untuk mencapai tingkat remediasi yang baik. Waktu minimal elektrokolorisasi ditentukan dengan mengelektrolisis larutan sampel pada potensial tetap 9 V dan pada waktu tertentu absorbansi larutan indigozol dan *remazol black B* diukur secara spektrometri UV-Vis. Absorbansi larutan pada berbagai waktu tampak pada grafik berikut.



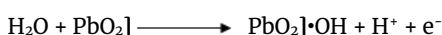
Gambar 5. Pola dekolorisasi sampel pada berbagai waktu elektrolisis

Persentase dekolorasi larutan sampel limbah zat warna indigosol sebesar 75,9% selama 300 menit sedangkan pada larutan sampel limbah zat warna remazol black B sebesar 89,15% selama 200 menit. Data analisis parameter lain sebelum dan sesudah perlakuan disajikan pada tabel berikut. Pada perpanjangan waktu elektrolisis hingga 6,3 jam (sampel A) dan 4 jam (sampel B) persentase dekolorisasi mencapai 100%, dari data absorbansi yang mencapai nol (tak terukur) sebagaimana disajikan pada gambar 6 dan 7.

Tabel 1 Hasil analisis larutan sampel sebelum dan sesudah elektrolisis

Parameter	Sampel Pekat	
	Sampel A	Sampel B
Warna	Sebelum	Merah muda-kecoklatan
	Sesudah	Tak berwarna
COD (mg/L)	Sebelum	1.213
	Sesudah	16,8 (98,6%)
Waktu Elektrolisis	6,3 jam	4 jam

Tabel 1 menjelaskan bahwa masing-masing larutan sampel menjadi tidak berwarna yang berkaitan dengan penurunan konsentrasi zat warna dalam sampel. Perubahan tersebut berhubungan dengan perlakuan elektrolisis dan penggunaan PbO<sub>2</sub> sebagai anoda. Selama elektrolisis, elektroda memediasi proses oksidasi sampel dan karena terlibat dalam produksi radikal hidroksil akibat pemecahan air di permukaan anoda. Radikal hidroksil bereaksi dengan substrat dan mengoksidasi analit, menghasilkan radikal baru. Reaksi radikal berlangsung berantai dan terus menerus merusak struktur senyawa. Produk perusakan struktur adalah H<sub>2</sub>O dan CO<sub>2</sub> di akhir proses dan senyawa kecil (C pendek) yang transparan pada daerah sinar tampak. Produk destruksi elektrolitik (elektroremediasi limbah) ini telah dianalisis pada penelitian terdahulu [3]. Peran PbO<sub>2</sub> terhadap dekolorisasi dapat dijelaskan melalui skema berikut [16, 17]:



$R^* + H^+ + e^- \longrightarrow CO_2 + CO + H_2O + \text{produk anorganik}$   
dengan ] = pelambangan permukaan material

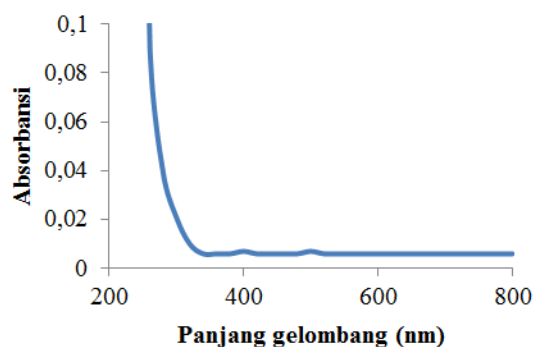
R = substrat analit (zat warna indigosol dan remazol black B)

R\* = R yang telah diserang ·OH menjadi produk antara mengandung O.

Radikal hidroksil melakukan penyerangan pada substrat zat warna. Hingga akhir, proses ini merupakan reaksi oksidasi. Oksidasi sempurna senyawa organik tersebut berujung pada pembentukan CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. Produk ini lebih ramah bagi ekosistem perairan maupun daratan. Produk anorganik dapat berupa NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> yang tidak dibicarakan pada kajian ini.

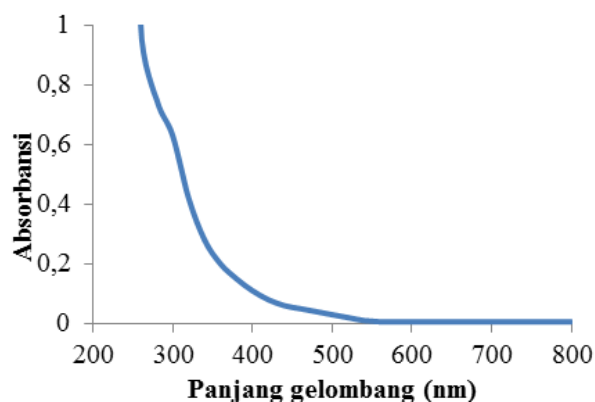
Angka COD yang tinggi pada larutan sampel awal diturunkan secara efektif melalui proses elektrolisis. Nilai COD merupakan ukuran tingkat pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasikan melalui proses mikrobiologis, dan mengakibatkan jumlah oksigen terlarut di dalam air menurun. Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup tahun 2010 angka COD maksimal untuk air limbah industri sebesar 150 mg/L. Sampel limbah zat warna indigosol setelah elektrolisis memiliki angka COD sebesar 16,8 mg/L (terjadi penurunan 98,6%) dan pada larutan sampel limbah zat warna remazol black B sebesar 52,6 mg/L (penurunan 95,4%). Angka COD larutan zat warna setelah proses elektrolisis telah memenuhi dan di bawah ambang batas COD sesuai aturan yang diterapkan.

Elektrolisis larutan sampel limbah zat warna indigosol berlangsung selama 6,3 jam dan larutan sampel limbah zat warna remazol black B selama 4 jam. Waktu elektrolisis ini mampu memaksimalkan proses dekolorisasi larutan sampel limbah zat warna karena terjadi penurunan absorbansi larutan sampel yang dapat dibuktikan dengan analisis larutan hasil elektrolisis dengan spektrometer UV-Vis.

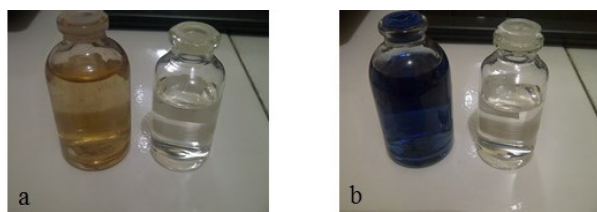


Gambar 6. Spektra UV-Vis larutan sampel zat warna indigosol setelah elektrodekolorisasi selama 6,3 jam

Spektra Spektra pada gambar 6 di atas menunjukkan bahwa puncak spektra pada  $\lambda$  682 nm berhubungan dengan gugus kromofor tak ada lagi. Ketiadaan puncak membuktikan bahwa gugus kromofor pada zat warna indigosol telah terdestruksi sehingga larutan hasil elektrolisis menjadi tidak berwarna.



Gambar 7. Spektra UV-Vis larutan sampel zat warna remazol black B setelah elektrodecolorisasi selama 4 jam



Gambar 8. Foto larutan sampel yang mengandung indigozol (a), dan remazol black B (b) sebelum dan sesudah perlakuan elektrodecolorisasi

Gambar 7 mendeskripsikan spektra UV-Vis larutan limbah zat warna remazol black B setelah elektrolisis tidak ada lagi puncak spektra pada panjang gelombang 640 nm. Proses elektrolisis yang berlangsung selama 4 jam terbukti efektif mendegradasi gugus kromofor pada struktur zat warna remazol black B sehingga mengalami penurunan absorbansi, sehingga larutan menjadi tidak berwarna. Perubahan warna ini sebagaimana disajikan pada gambar 8.

Setelah dilakukan elektrodecolorisasi, dilakukan analisis dan penyaringan larutan sampel dengan menggunakan zeolit dengan tujuan untuk mengefektifkan penurunan konsentrasi ion logam dalam larutan sampel setelah elektrolisis. Hal ini dikarenakan zeolit memiliki fungsi menjebak ion-ion logam dalam struktur pori melalui mekanisme pertukaran ion. Struktur zeolit yang berpori dan bersifat aktif adalah alasan penggunaan zeolit media penurun kadar ion logam dalam larutan. Kemampuan melakukan pertukaran kation [18], berkaitan dengan ion-ion pada rongga atau kerangka zeolit yang secara alamiah berguna untuk menjaga kenetralan zeolit. Ion ini dapat dipertukarkan dengan ion dalam larutan. Larutan pascaelektrolisis yang telah diberi perlakuan zeolit dianalisis AAS untuk mengamati tingkat penurunan kandungan ion logam yang tersisa. Berikut adalah data pengukuran tingkat penurunan ion logam yang ada.

Tabel 2. Hasil pengukuran konsentrasi ion logam dan COD sampel sebelum dan sesudah elektrolisis

Parameter	Sampel awal (mg/L)		Sesudah Elektrolisis (mg/L)		Setelah perlakuan Zeolit	
	Sam pel A	Sam pel B	Sam pel A	Sam pel B	Sam pel A	Sam pel B
Na <sup>+</sup>	270	550	6.330	6.200	930	1.280
Cu <sup>2+</sup>	0,36	0,06	0	0	0	0
Fe total	0,32	0,12	9,7	9,4	6,8	6,8
COD	1.213,4	1.154,5	16,8	52,6		

Tabel 2 memberikan informasi kandungan ion-ion Cu<sup>2+</sup>, Fe total, dan Na<sup>+</sup> sebelum dan setelah elektrolisis dan tingkat penurunan COD. Konsentrasi ion logam yang ada di dalam larutan setelah elektrolisis, diperkirakan berasal dari oksidasi kerangka elektroda PbO<sub>2</sub> berbahan logam tersebut yang teroksidasi pada elektrolisis. Kaadar ion Na<sup>+</sup> mengalami peningkatan dimungkinkan berasal dari penambahan elektrolit pendukung yang dimaksudkan untuk mempertahankan daya hantar sampel selama elektrolisis agar decolorisasi berlangsung cepat. Penurunan kadar ion Na<sup>+</sup> dilakukan adsorpsi menggunakan zeolit. COD sampel pascaeperlakuan telah diturunkan secara efektif hingga di bawah ambang batas yang diijikan, sehingga sampel limbah telah menjadi lebih bersih untuk dibuang.

#### 4. Kesimpulan

Elektroremediasi limbah yang mengandung zat warna batik dengan menggunakan PbO<sub>2</sub> sebagai anoda efektif mendekolorisasi limbah hingga 100% dan mengurangi nilai COD hingga 98,6% (limbah indigozol) dan 95,4% (limbah remazol black B). Perlakuan tambahan zeolit alam membantu menurunkan konsentrasi Na<sup>+</sup> Cu<sup>2+</sup> dan Fe total.

#### 5. Persantunan

Penelitian ini dilaksanakan dengan pembiayaan DIPA Undip tahun 2012 sebagai bagian penelitian Hibah Pembinaan dengan no. kontrak 258.9/UN7.5/PG/2012 tanggal 23 April 2012, dan dilanjutkan dengan Penelitian Pembinaan FSM 2017, untuk itu peneliti mengucapkan terimakasih kepada Pemerintah Republik Indonesia c.q. Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, Direktorat Pendidikan Tinggi melalui Universitas Diponegoro Semarang.

#### 6. Daftar Pustaka

[1] Margareth Elisa Karina Purba, Analisa Kadar Total Suspended Solid (TSS), Amonia (NH<sub>3</sub>), Sianida (CN<sup>-</sup>), dan Sulfida (S<sup>2-</sup>) pada Limbah Cair Bapedaldas, Diploma-3 Kimia Analis, Universitas Sumatera Utara, Medan

[2] C. Chompuchan, T. Satapanajaru, P. Suntornchot, P. Pengthamkeerati, Decolorization of Reactive Black 5 and Reactive Red 198 using nanoscale zerovalent

- iron, *International Journal of Environmental Science and Engineering*, 2, 3, (2010) 123-127
- [3] Didik Setiyo Widodo, Ismiyanto Ismiyanto, Fithri Noorikhlas, Elektoremediasi Perairan Tercemar: 3. Elektrokolorisasi Larutan Remazol black B dengan Elektroda Timbal Dioksida/Karbon dan Analisis Larutan Sisa Dekolorisasi, *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 12, 1, (2009) 6  
<http://dx.doi.org/10.14710/jksa.12.1.1-6>
- [4] Jiangtao Kong, Shaoyuan Shi, Lingcai Kong, Xiuping Zhu, Jinren Ni, Preparation and characterization of PbO<sub>2</sub> electrodes doped with different rare earth oxides, *Electrochimica Acta*, 53, 4, (2007) 2048-2054  
<https://doi.org/10.1016/j.electacta.2007.09.003>
- [5] M. Ueda, A. Watanabe, T. Kameyama, Y. Matsumoto, M. Sekimoto, T. Shimamune, Performance characteristics of a new type of lead dioxide-coated titanium anode, *Journal of Applied Electrochemistry*, 25, 9, (1995) 817-822  
<http://dx.doi.org/10.1007/bf00233899>
- [6] I. Sirés, C. T. J. Low, C. Ponce-de-León, F. C. Walsh, The characterisation of PbO<sub>2</sub>-coated electrodes prepared from aqueous methanesulfonic acid under controlled deposition conditions, *Electrochimica Acta*, 55, 6, (2010) 2163-2172  
<https://doi.org/10.1016/j.electacta.2009.11.051>
- [7] H. Y. Peng, H. Y. Chen, W. S. Li, S. J. Hu, H. Li, J. M. Nan, Z. H. Xu, A study on the reversibility of Pb(II)/PbO<sub>2</sub> conversion for the application of flow liquid battery, *Journal of Power Sources*, 168, 1, (2007) 105-109  
<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2006.11.016>
- [8] Weiqing Han, Yong Chen, Lianjun Wang, Xiuyun Sun, Jiansheng Li, Mechanism and kinetics of electrochemical degradation of isothiazolin-ones using Ti/SnO<sub>2</sub>-Sb/PbO<sub>2</sub> anode, *Desalination*, 276, 1, (2011) 82-88  
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.03.027>
- [9] Ilyas Bachtiar, Didik Setiyo Widodo, Elektrokolorisasi Limbah Cair Pabrik Tekstil di Wilayah Semarang dengan Elektroda PbO<sub>2</sub>/Pb, *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 18, 3, (2015) 85-90  
<http://dx.doi.org/10.14710/jksa.18.3.85-90>
- [10] Ina Triavia, Didik Setiyo Widodo, Abdul Haris, Elektrokolorisasi Limbah Cair Zat Warna Batik di Kota Solo dengan Elektroda PbO<sub>2</sub>/Cu, *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 19, 1, (2016) 4  
<http://dx.doi.org/10.14710/jksa.19.1.11-14>
- [11] Kelly B. Payne, Tarek M. Abdel-Fattah, Adsorption of divalent lead ions by zeolites and activated carbon: effects of pH, temperature, and ionic strength, *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 39, 9, (2004) 2275-2291  
<https://doi.org/10.1081/ESE-200026265>
- [12] Abdur Rahman, Budi Hartono, Penyaringan Air Tanah dengan Zeolit Alami untuk Menurunkan Kadar Besi dan Mangan, *Makara Kesehatan*, 8, 1, (2004) 1-6
- [13] Didik Setiyo Widodo, Eko Sugiharto, Endang Tri Wahyuni, Pengambilan Ion Logam Mn<sup>2+</sup> dan Ni<sup>2+</sup> Menggunakan Na-Zeolit: Suatu Usaha Pengkajian Pemanfaatan Sumber Daya Alam Indonesia, *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 7, 2, (2004) 4  
<http://dx.doi.org/10.14710/jksa.7.2.35-38>
- [14] Aušra Mažeikiene, Marina Valentukevičienė, Juozas Jankauskas, Laboratory study of ammonium ion removal by using zeolite (clinoptilolite) to treat drinking water, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 18, 1, (2010) 54-61  
<https://doi.org/10.3846/jjeilm.2010.07>
- [15] Edison Muzenda, John Kabuba, Freeman Ntuli, Mansoor Mollagee, Antoine F Mulaba-Bafubiandi, Cu (II) removal from synthetic waste water by ion exchange process, the World Congress on Engineering and Computer Science, San Francisco, USA, (2011).
- [16] Herlan Martono, Aisyah Aisyah, Studi Pengolahan Limbah Organik Secara Elektrokimia, in, Pusat Pengembangan Pengelolaan Limbah Radioaktif - BATAN, Jakarta, 2000.
- [17] Li Jiaqing, Zheng Lei, Li Luoping, Shi Guoyue, Xian Yuezong, Jin Litong, Photoelectro-Synergistic Catalysis at Ti/TiO<sub>2</sub>/PbO<sub>2</sub> Electrode and Its Application on Determination of Chemical Oxygen Demand, *Electroanalysis*, 18, 22, (2006) 2251-2256  
<https://doi.org/10.1002/elan.200603644>
- [18] Claudia Belviso, Francesco Cavalcante, Saverio Fiore, Synthesis of zeolite from Italian coal fly ash: Differences in crystallization temperature using seawater instead of distilled water, *Waste Management*, 30, 5, (2010) 839-847  
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.11.015>