

Elektrodekolorisasi Limbah Cair Pabrik Tekstil di Wilayah Semarang dengan Elektroda PbO₂/Pb

Ilyas Bachtiar^a, Didik Setiyo Widodo^{a*}

^a Analytical Chemistry Laboratory, Chemistry Department, Faculty of Sciences and Mathematics, Diponegoro University, Jalan Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang

* Corresponding author: widodo.ds@live.undip.ac.id

Article Info

Keywords:
electrodecolorisation,
textile waste,
PbO₂/Pb,
environmental
parameters

Kata Kunci:
elektrodekolorisasi,
elektroda PbO₂/Pb

Abstract

Research on electrodecolorisation of liquid waste of textile industry with PbO₂/Pb has been done. This research aims to evaluate the effectiveness of electrodecolorization in degrading liquid waste and obtaining the information of the efficiency and effectiveness of such methods as well as decreasing value in some environment parameter such as BOD, COD, TSS, TOC. Electrolysis was chosen as one of the alternative method in waste handling due to its advantages over other methods and simplicity. One factors affecting this method was electrode material. Electrode used was PbO₂/Pb that were obtained from used battery electrode. The method was carried out toward the sample of at potential electrode of 4 volts with PbO₂/Pb electrode within 120 minutes. Samples were quantitatively and qualitatively analyzed with UV-VIS Spectrophotometry. The COD, TSS, TOC and BOD were then evaluated. Results showed that electrolysis within 2 hours with pH of 1 toward 50 mL sample volume with addition of Na₂SO₄ utilizing Pb/PbO₂ electrode reduced the waste color until 95.7 % , decreased the value of BOD, COD, TSS, hardness, TOC up to 44.6%, 70.2%, 83.2% and 48.3%, respectively.

Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang elektrodekolorisasi limbah cair pabrik tekstil dengan elektroda Pb/PbO₂. Tujuan penelitian ini adalah megkaji efektifitas metode dekolorisasi untuk mendegradasi zat warna pada limbah cair pabrik tekstil, memperoleh informasi tentang efesiensi dan efektifitas penggunaan metode tersebut, serta melihat perubahan parameter kualitas limbah seperti BOD, COD, TSS, TOC. Elektrolisis dipilih sebagai salah satu alternatif penanganan limbah zat warna, karena mempunyai keuntungan dibandingkan metode lain adalah efektivitas dan sederhana. Salah satu faktor pendukung metode ini adalah elektroda. Pada penelitian ini elektroda yang digunakan adalah PbO₂/Pb yang diperoleh dari limbah elektroda aki. Metode tersebut dilakukan dengan mengelektrolisis sampel zat warna pada potensial 4 volt dengan elektroda PbO₂/Pb aki bekas dan pengaturan waktu elektrolisis selama 120 menit. Hasil akhir elektrolisis di analisis secara kualitatif dan kuantitatif dengan Spektrofotometer UV-VIS dan analisis COD, serta TSS, TOC, BOD. Hasil penelitian menunjukkan bahwa elektrolisis selama 2 jam dengan pH 1 terhadap 50 mL sampel limbah dan penambahan Na₂SO₄, elektroda PbO₂/Pb dari aki bekas dapat mengurangi intensitas warna, dengan persentase dekolorisasi sebesar 95,7 % dan penurunan nilai parameter BOD, COD, TSS, TOC berturut- turut sebesar 44,6%, 70,2%, 83,2%, dan 48,3%.

1. Pendahuluan

Peningkatan populasi manusia di dunia yang disertai dengan pertumbuhan industri menyebabkan tuntutan perlindungan lingkungan menjadi pembicaraan utama dan penting dalam proses perkembangan industri. Limbah cair merupakan masalah utama dalam lingkungan karena karakteristik fisika dan pembuangan air limbah ke lingkungan perairan dapat mengakibatkan masalah pencemaran lingkungan [1, 2].

Industri tekstil merupakan salah satu penghasil limbah cair yang berasal dari proses pewarnaan. Selain kandungan zat warnanya tinggi, limbah industri tekstil juga mengandung bahan-bahan sintetik yang sukar larut atau sukar diuraikan. Setelah proses pewarnaan selesai, akan dihasilkan limbah cair yang berwarna keruh dan pekat. Biasanya warna air limbah tergantung pada zat warna yang digunakan. Limbah air yang berwarna-warni ini yang menyebabkan masalah terhadap lingkungan. Limbah zat warna yang dihasilkan dari industri tekstil umumnya merupakan senyawa organik *non-biodegradable*, yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan terutama lingkungan perairan [3].

Selama ini banyak metode yang digunakan untuk degradasi zat warna telah dikembangkan, yaitu dengan cara fotokatalisis dengan TiO_2 [4, 5]. Sedangkan metode lain yang di pakai Secara biologi yaitu dengan koagulasi, adsorpsi dengan karbon aktif [6]. Namun, masing-masing metode penggunaannya terbatas dan kurang menguntungkan. Sebagai contoh, penggunaan reaksi fotokatalisis membutuhkan biaya yang cukup besar karena harga TiO_2 cukup mahal, selain itu diperlukan perlakuan lebih lanjut terhadap TiO_2 setelah proses dekolonisasi zat warna selesai. Suatu metode degradasi zat warna yang lebih efektif, efisien dan murah perlu dikembangkan, yaitu metode elektrodekolonisasi [2, 7].

Pada penelitian ini, elektrolisis dipilih sebagai alternatif metode dengan memanfaatkan bahan elektroda PbO_2/Pb yang akan dilakukan untuk mengukur efektifitas dekolonisasi limbah cair pabrik tekstil di Semarang yang bermanfaat untuk mengatasi dampak negatif dari pencemaran air yang disebabkan limbah cair pabrik tekstil dengan memanfaatkan PbO_2 (timbal dioksida) sebagai elektroda dalam sistem elektrolisis yang berperan untuk menurunkan kadar zat warna tekstil seperti BOD, COD, TSS, dan TOC. Sehingga nantinya dapat digunakan untuk metode pengolahan limbah tekstil di Kota Semarang.

Konsentrasi COD yang tinggi dalam air menunjukkan adanya bahan pencemar organik dalam jumlah banyak, sehingga sangat perlu untuk dianalisis, sedangkan BOD, COD, TSS sebagai pendukung analisis untuk mengetahui tingkat pencemaran limbah yang di analisis sebelum dan sesudah proses elektrodekolonisasi.

2. Metode Penelitian

Bahan dan Alat

Limbah Pabrik tekstil di kota Semarang (sampel), Na_2SO_4 serbuk, Akuades, H_2SO_4 dan NaOH . Gelas beker, Gelas ukur, Spatula, Batang pengaduk, Pipet tetes, Timbangan elektrik, Elektro-analizer, Multitester, Kertas saring, corong, Elektroda PbO_2 dan Pb , Spektrofotometri UV-Vis dan pH meter.

Penentuan Potensial Kerja

Akuades dan sampel limbah 50 mL dengan penambahan elektrolit 0,71 g Na_2SO_4 dielektrolisis dengan voltase 0 hingga 7 volt, dinaikkan 1volt setiap 10 menit. Elektrolisis dilakukan dengan elektroda PbO_2/Pb . Arus yang mengalir dicatat dan diinterpretasikan pada kurva E vs I.

Penentuan pH optimum Elektrolisis

Larutan sampel limbah 50 mL dengan pH 1, 3, 5, dan 13 dengan penambahan elektrolit 0,71 g Na_2SO_4 dielektrolisis dengan potensial tetap selama beberapa jam Elektrolisis dihentikan apabila tak ada lagi perubahan warna.

Penentuan waktu optimum Elektrolisis

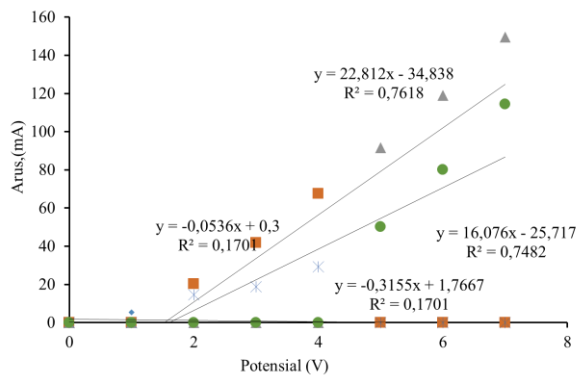
Larutan sampel 50 mL dengan pH optimum dengan penambahan elektrolit 0,71 g dielektrolisis pada potensial tetap dengan variasi waktu dengan rentang 15 menit selama 2,5 jam.

3. Hasil dan Pembahasan

Penentuan Potensial Kerja

Data awal yang didapatkan pada penelitian ini berupa rentang potensial kerja untuk elektrolisis sampel dan larutan blanko. Data ini diperoleh dengan mengelektrolisis 50 mL sampel dan sistem pelarut dengan penambahan 0,71 gram serbuk Na_2SO_4 , pada berbagai variasi potensial yaitu, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 V. Tiap potensial yang diberikan ini proses dilangsungkan selama 10 menit, dan arus yang mengalir dicatat.

Arus tersebut dialurkan terhadap potensial. Titik belok kurva elektrolisis sampel adalah titik saat proses redoks mulai berlangsung, sebagai titik awal daerah potensial kerja dan titik belok kurva elektrolisis sistem pelarut sebagai titik akhir rentang potensial kerja. Rentang tersebut merupakan daerah elektroaktif elektrolisis sebagaimana disajikan pada gambar

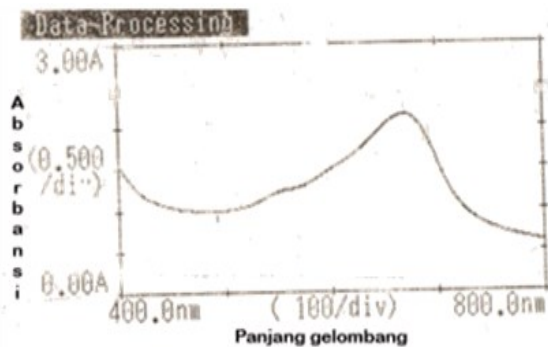


Gambar 1. Kurva hubungan antara potensial arus elektrolisis sistem pelarut dan sampel

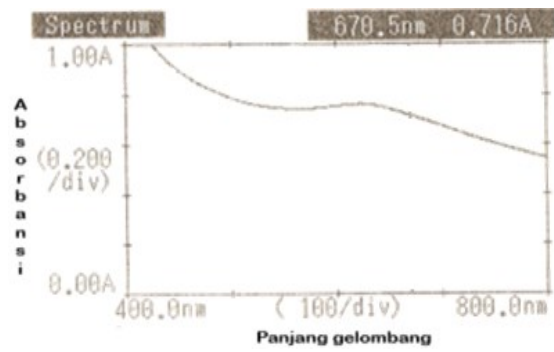
Berdasarkan kurva di atas, diperoleh informasi rentang potensial yang menggambarkan tingkat energi yang setara dengan energi yang diperlukan untuk berlangsungnya proses transfer elektron (proses redoks). Besar dan lebar rentang potensial ini bersifat khusus untuk setiap larutan dan bergantung pada komposisi sistem elektrolit pendukung dan elektroda PbO₂/Pb. Rentang potensial ini digunakan untuk proses elektrolisis selanjutnya, dengan memilih suatu harga potensial aplikasi di antara rentang tersebut. Berdasarkan kurva di atas didapatkan rentang 1,92-4,2 dan potensial aplikasi pada penelitian ini ditetapkan sebesar 4 volt dan dijaga stabil selama proses kerja.

Analisis Spektrometri UV-Vis Sampel

Analisis spektrometri sampel dilakukan untuk memperoleh data panjang gelombang maksimum, absorbansi sampel pada panjang gelombang maksimum dan puncak-puncak spektra yang terkait dengan keberadaan gugus-gugus pembawa warna. Panjang gelombang maksimum adalah panjang gelombang yang berhubungan dengan transisi elektron yang memberikan absorbansi maksimum pada spektra. Analisis ini dilakukan pada rentang panjang gelombang visibel 400-800 nm menggunakan spektroskopi UV-Vis.



Gambar 2. Spektra UV-Vis sampel limbah sebelum pengenceran

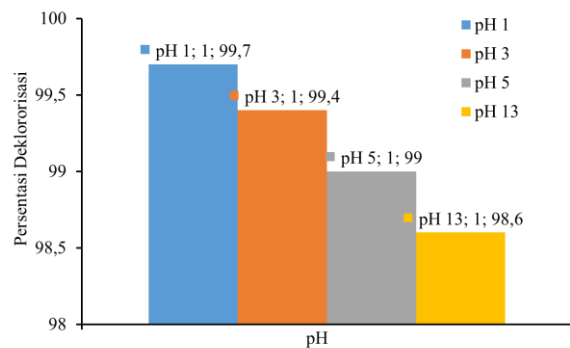


Gambar 3. Spektra UV-Vis sampel limbah setelah pengenceran

Spektra UV-Vis menunjukkan absorbansi maksimum sebesar 0,716 setelah limbah diencerkan 3 kali. Panjang gelombang yang menunjukkan absorbansi tertinggi adalah 670,5 nm dan merupakan panjang gelombang maksimum sampel.

Penentuan pH optimum Dekolorisasi

Elektrodecolorisasi dilakukan dengan elektrolisis menggunakan anoda PbO₂ dan katoda Pb pada potensial 4 V dengan variasi pH awal, 1, 3, 5. Pada pH awal larutan limbah memiliki pH sebesar 13 selama 2,5 jam. Variasi pH pada proses dilakukan untuk mengetahui pengaruh pH yang dapat diterapkan dalam proses dengan H₂SO₄ untuk pengkondisian asam dan NaOH untuk pengkondisian basa. Data yang di dapat digambarkan sebagai kurva absorbansi terhadap pH.



Gambar 4. Persentase dekolorisasi limbah pada berbagai pH

Penentuan waktu Dekolorisasi

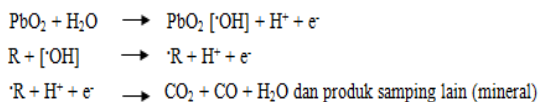
Waktu dekolorisasi zat warna ditentukan dengan variasi waktu pada potensial kerja tetap dan absorbansi yang di ukur sebagai parameter setiap 15 menit sampai 2 jam. Elektrolisis dilakukan menggunakan PbO₂/Pb dari elektroda bekas dengan luas permukaan yang tercelup menggunakan luas yang sama pada setiap proses berlangsung, menghasilkan data yang digambarkan sebagai kurva waktu terhadap absorbansi, yang akan digunakan sebagai informasi waktu optimum untuk proses elektro-dekolorisasi. Waktu dekolore-risasi yang digunakan adalah 120 menit.

Elektrodeklororisasi Sampel Zat Warna pada Potensial, waktu, dan pH Terkontrol

Proses elektrodeklororisasi dilakukan dengan menggunakan PbO₂/Pb dari aki bekas dengan menggunakan waktu optimum selama 2 jam, pH 1 sebagai kondisi pH optimum dan menggunakan potensial sebesar 4 volt, yang diperhatikan supaya tetap konstan sehingga dapat menurunkan intensitas warna.

Larutan sampel yang bewarna menjadi tidak bewarna serta ditunjukkan penurunan absorbansi dengan menggunakan spektroskopi UV-Vis. Prinsip dasar spektrofotometri adalah ketika molekul mengadsorpsi radiasi UV-Vis dengan panjang gelombang tertentu, elektron dalam molekul akan mengalami transisi (terekitasi) dari tingkat energi yang lebih rendah ke energi yang lebih tinggi [8].

Penurunan warna pada sampel disebabkan oleh proses destruksi dan dampak interaksi PbO₂ dengan pelarut dan sampel yang diinisiasi energi listrik sehingga menghasilkan elektron yang meningkat menyebabkan reaksi deklororisasi menjadi lebih cepat. Efektivitas penggunaan PbO₂ diperkirakan berhubungan dengan kemampuan PbO₂ memproduksi radikal hidroksil yang dihasilkan dari pemecahan air. Radikal hidroksil tersebut mampu mengoksidasi sampel (dalam skema di bawah ini disimbolkan dengan R) dan menghasilkan suatu radikal baru dengan senyawa tersebut sehingga menyebabkan suatu reaksi berantai yang mendegradasi senyawa tersebut, sebagaimana diilustrasikan dengan skema berikut.



R pada reaksi merupakan substrat organik yang mengandung C, H, O dan N. Substrat-substrat organik akan berikatan dengan oksigen pada gugus hidroksi; dan peran H⁺ dari pengkondisian asam, membuat reaksi oksidasi (reaksi ke kanan) lebih optimal. Sehingga dari reaksi ini akan menghasilkan produk berupa CO₂, CO dan H₂O, namun pada gas CO tidak terbentuk bila reaksi oksidasi berlangsung sempurna. Pada pembentukan radikal hidroksil dihasilkan energi sebesar 2,8 volt [9].

Banyak faktor dapat mempengaruhi proses elektro-deklororisasi pewarna, seperti kondisi pH dan waktu elektrolisis pada sampel larutan. pH mempunyai pengaruh pada sistem reaksi. Pada percobaan ini dilakukan dengan pengkondisian pH asam proses elektrolisis sampel berlangsung lebih cepat dan lebih jernih, karena pada pH asam, tersebut larutan memiliki banyak ion H⁺. Hal ini dapat dibuktikan dengan melihat kurva absorpsi terhadap variasi pH (normal, 1, 3, 5), kemudian selain pH waktu juga dapat mempengaruhi proses deklororisasi yaitu semakin lama waktu digunakan dalam proses maka semakin lama reaksi degradasi yang berlangsung pada sistem.

Elektroda yang digunakan pada proses ini adalah elektroda PbO₂ sebagai anoda dan Pb sebagai katoda yang diperoleh dari aki bekas, yang digunakan PbO₂ karena PbO₂ bersifat stabil dan sangat baik digunakan sebagai elektroda dalam proses elektrolisis, sedangkan penggunaan Pb dalam katoda karena Pb bersifat stabil

(pada posisi katoda) selama proses transfer elektron yang terjadi di dalam sistem

Penggunaan PbO₂ sebagai elektroda dalam sistem dapat memberikan proses yang efektif, hal tersebut disebabkan beberapa faktor, yaitu:

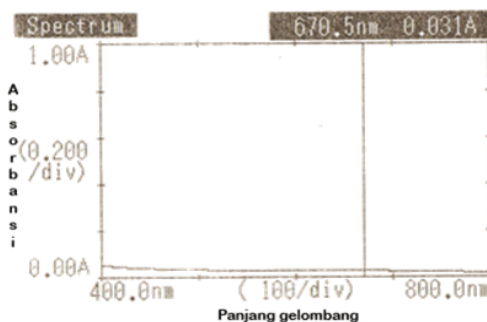
PbO₂ sebagai anoda mampu berinteraksi dengan pelarut dan sampel interaksi tersebut mampu menghasilkan suatu radikal bebas pada saat listrik dialirkan yang membantu dalam proses oksidasi sampel

Interaksi PbO₂ tersebut juga menghasilkan elektron sehingga mengalami peningkatan jumlah elektron yang terlibat dalam reaksi. Peningkatan jumlah elektron tersebut sebanding dengan tingkat elektrodeklororisasi yang di alami oleh sampel sewaktu proses berlangsung.

Analisis Sampel setelah Proses Elektrodeklororisasi

Pada spektra UV-Vis masing masing zat warna menggambarkan spektra yang spesifik yang dipengaruhi oleh adanya gugus kromofor pada senyawa tersebut. Pada pengenceran 3 kali panjang gelombang maksimum teramati pada 670,5 nm dengan absorbansi sebesar 0,716, panjang gelombang ini diletakan sebagai panjang gelombang maksimum, pada gelombang maksimum terjadi transisi elektron pada gugus kromofor.

Pengujian parameter warna larutan sebelum dan sesudah elektrolisis dilakukan pada gelombang maksimum. Berdasarkan data spektra dapat dilihat gambar 6 dan 3, penurunan intensitas warna limbah air encer adalah sebesar 95,7%, Perhitungan persentase deklororisasi disajikan pada lampiran 4.b, penurunan intensitas warna berkaitan dengan degradasi dari zat warna akibat elektrolisis dan elektrokalatalis pada permukaan elektroda Pb/PbO₂, penjelasan ini telah dituliskan pada bagian 5.



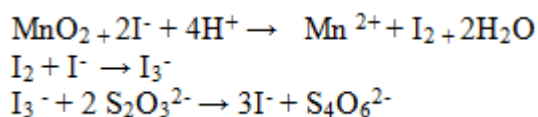
Gambar 6. Spektra UV-Vis sampel sesudah di elektrolisis

Pada hasil penelitian ini juga mengukur penurunan COD, BOD, TSS dan TOC yang merupakan parameter penting untuk mengetahui tingkat pencemaran air yang disebabkan oleh limbah organik, konsentrasi COD yang tinggi dalam air menunjukkan adanya bahan pencemar organik dalam jumlah banyak. COD digunakan sebagai parameter jumlah oksigen yang digunakan untuk menguraikan bahan organik secara kimiawi menggunakan kalium dikromat berlebih dalam suasana asam, sesuai reaksi [1].



Pada reaksi memerlukan pemanasan dan penambahan katalisator perak sulfat untuk mempercepat reaksi, jika di dalam sampel limbah organik tersebut diperkirakan mengandung klorida maka perlu ditambahkan merkuri sulfat untuk menghilangkan gangguan tersebut, karena ion Hg^{2+} yang terdapat dalam merkuri dapat membuat konsentrasi ion Cl^- menjadi sangat kecil dan tidak mengganggu oksidasi pada zat organik. Selanjutnya sisa kalium dikromat yang tidak bereaksi dititrasi dengan besi ammonium sulfat (FAS) untuk menentukan kalium dikromat yang dibutuhkan.

Biological oxygen demand (BOD) atau kebutuhan oksigen biologis adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme di dalam air lingkungan untuk memecah atau mendegradasi atau mengoksidasi limbah organik yang degradable yang terdapat di dalam air. Prinsip yang digunakan yaitu sejumlah contoh uji ditambahkan ke dalam larutan pengencer jenuh oksigen yang telah ditambah larutan nutrisi dan bibit mikroba, kemudian diinkubasi dalam ruang gelap pada suhu $20\text{ }^\circ\text{C} \pm 1\text{ }^\circ\text{C}$ selama 5 hari. Nilai BOD dihitung berdasarkan selisih konsentrasi oksigen terlarut 0 (nol) hari dan 5 (lima) hari, yang menunjukkan tingkat konsumsi oksigen yang tinggi oleh mikroorganisme, jika ditunjukkan dengan semakin kecilnya sisa oksigen terlarut, maka berarti kandungan limbah atau sampel cukup tercemar karena membutuhkan oksigen tinggi yang di uji dengan analisa kualitatif menggunakan titrasi iodometri yang mengacu pada jumlah O_2 yang ekuivalen dengan banyaknya I_2 yang dilepaskan. Banyaknya I_2 yang dilepaskan adalah ekuivalen dengan banyak larutan baku $Na_2S_2O_3$ yang diperlukan untuk titrasi. Oleh karena itu kadar oksigen dalam larutan contoh dapat dihitung dari banyaknya larutan baku tiosulfat yang terpakai untuk titrasi. Reaksi yang terjadi.



Total suspended solid atau padatan tersuspensi tptal (TSS) adalah residu dari padatan total yang tertahan oleh saringan dengan ukuran partikel maksimal 2 μm atau lebih besar dari ukuran partikel koloid. TSS menyebabkan kekeruhan pada air akibat padatan tidak terlarut dan tidak dapat langsung mengendap. TSS terdiri dari partikel-partikel yang ukuran maupun beratnya lebih kecil dari sedimen, misalnya tanah liat, bahan-bahan organik tertentu, sel-sel mikroorganisme, dan sebagainya. Estimasi nilai TSS diperoleh dengan cara menghitung perbedaan antara padatan terlarut total dan padatan total menggunakan rumus:

$$TSS\text{ (mg/L)} = (A-B) \times 1000 / V$$

Keterangan:

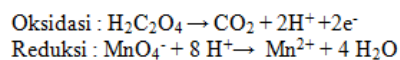
A = berat kertas saring + residu kering (mg)

B = berat kertas saring (mg)

V = volume contoh (mL)

Padatan tersuspensi bisa bersifat toksik bila dioksidasi berlebih oleh organisme sehingga dapat menurunkan konsentrasi oksigen terlarut sampai dapat menyebabkan kematian pada ikan.

Total Organic Carbon (TOC) adalah jumlah carbon yang menempel/ terkandung di dalam senyawa organik dan digunakan sebagai salah satu indikator kualitas air (air bersih maupun air limbah). TOC diukur dengan menggunakan titrasi permanganometri yang didasarkan dengan reaksi redoks, terjadi antara $KMnO_4$ dengan bahan baku tertentu. $KMnO_4$ direduksi oleh asam oksalat dan $KMnO_4$ mengoksidasi zat organik dalam air dalam suasana asam, Karena ion MnO_4^- akan tereduksi menjadi Mn^{2+} dalam suasana asam oleh reaksi dengan atom H. Selain itu, asam sulfat cukup baik karena tidak bereaksi dengan permanganat. Dalam titrasi permanganometri, tidak dibutuhkan indikator karena perubahan warna yang berawal dari tidak berwarna menjadi merah muda menunjukkan titik akhir suatu titrasi warna yang diperoleh pun harus sudah dalam keadaan tetap, artinya saat melakukan pengadukan, warna merah muda yang muncul tidak hilang, hal ini menunjukkan titik kestabilan. Dalam hal ini terjadi reaksi oksidasi dan reduksi [10]:



Tabel 1: Penurunan angka COD, BOD, TSS, TOC sebelum dan sesudah Elektrolisis

Parameter	Sebelum (mg/L)	Sesudah (mg/L)
COD	859,9	476,40
BOD	361	107,76
TSS	204	34,17
TOC	510	269,39

Tabel 1 menunjukkan telah terjadi penurunan nilai COD, BOD, TSS, COD sebelum dan sesudah elektrolisis pada sampel limbah tekstil berturut-turut sebesar 44,6%, 70,2%, 83,2%, 48,3%, namun penurunan ini belum mampu menghilangkan sama sekali parameter-parameter tersebut secara total. Upaya ini dapat dilakukan dengan mengoptimasi sistem elektrolisis yang dapat dilakukan pada penelitian lanjutan.

4. Kesimpulan

Limbah tekstil dari salah satu industri tekstil Semarang dapat didegradasi sehingga terjadi dekolorisasi dengan baik, mengurangi intensitas warna biru pekat menjadi bening, menggunakan metode elektrolisis dengan menggunakan elektroda PbO_2 sebagai katoda dan Pb sebagai anoda. Persentase dekolorisasi sebesar 95,7 % dan penurunan persentase parameter BOD, COD, TSS, TOC masing-masing penurunan angka COD, BOD, TSS, COD pada sampel limbah tekstil berturut-turut adalah 44,6%, 70,2%, 83,2%, 48,3% pada aplikasi elektrolisis terhadap sampel 50 mL selama 120 menit dengan penggunaan elektroda PbO_2/Pb .

5. Daftar Pustaka

- [1] G Alaerts, Sri Sumestri Santika, Metode penelitian air, Usaha Nasional, Surabaya, 1987.
- [2] Sulistias Mustika, Abdul Haris, Nor Basid Adiwibawa Prasetya, Kajian Metode Elektrofotokatalisis, Elektrolisis dan Fotokatalisis pada Dekolorisasi Larutan Zat Warna Remazol Black B yang

- Mengandung Ion Logam Cu²⁺, *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 16, 1, (2013) 17-22
- [3] Dae-Hee Ahn, Won-Seok Chang, Tai-Il Yoon, Dyestuff wastewater treatment using chemical oxidation, physical adsorption and fixed bed biofilm process, *Process Biochemistry*, 34, 5, (1999) 429-439
[http://dx.doi.org/10.1016/S0032-9592\(98\)00111-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0032-9592(98)00111-3)
- [4] MN Rashed, AA El-Amin, Photocatalytic degradation of methyl orange in aqueous TiO₂ under different solar irradiation sources, *International Journal of Physical Sciences*, 2, 3, (2007) 73-81
- [5] Siti Fatimah, Abdul Haris, Pengaruh Dopan Zink Oksida pada TiO₂ terhadap Penurunan Kadar Limbah Fenol dan Cr (VI) secara Simultan dengan Metode Fotokatalisis, *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 17, 3, (2014) 86-89
- [6] S. Mondal, Methods of Dye Removal from Dye House Effluent—An Overview, *Environmental Engineering Science*, 25, 3, (2008) 383-396
<http://dx.doi.org/10.1089/ees.2007.0049>
- [7] Arthias Cita Febriyani, Rum Hastuti, Abdul Haris, Kajian Metode Elektrofotokatalisis, Elektrolisis dan Fotokatalisis pada Dekolorisasi Larutan Zat Warna Remazol Brilliant Orange 3R yang Mengandung Ion Logam Cu²⁺, *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 15, 1, (2012) 7-12
- [8] Douglas A Skoog, F James Holler, Stanley R Crouch, Principles of instrumental analysis, Cengage learning, 1994.
- [9] Jarnuzi Gunlazuardi, Fotokatalisis pada Permukaan TiO₂: Aspek Fundamental dan Aplikasinya, Seminar Nasional Kimia Fisika II, (2001).
- [10] Willibrordus Harjadi, Ilmu Kimia Analitik Dasar, Jakarta: PT. Gramedia, (1993)