

**DEGRADASI ZAT WARNA KONGO MERAH LIMBAH CAIR INDUSTRI
TEKSTIL DI KABUPATEN PEKALONGAN MENGGUNAKAN
METODE ELEKTRODEKOLORISASI**

Suyata dan Mardiyah Kurniasih

Program Studi Kimia, MIPA, Fakultas Sains dan Teknik, Unsoed, Purwokerto
email: suyatab@gmail.com

ABSTRAK

Degradasi zat warna kongo merah limbah cair industri tekstil menggunakan metode elektrokolorisasi telah dilakukan. Eksperimen dilakukan dengan mengelektrolisis kongo merah menggunakan katoda karbon dan anoda besi. Analisis konsentrasi kongo merah dilakukan menggunakan metode spektrofotometri. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dibawah kondisi optimum pada voltase 12 V- jarak elektroda 1 cm-pH 4- konsentrasi H₂O₂ 500 mg/L selama 12 menit, zat warna kongo red limbah cair industri tekstil dapat didegradasi 99,83 %. Metode ini dapat digunakan untuk mendegradasi zat warna kongo merah.

Kata kunci : kongo merah, metode elektrokolorisasi, limbah cair industri tekstil

**DEGRADATION OF CONGO RED DYE OF TEXTILE INDUSTRIAL
WASTEWATER AT PEKALONGAN REGENCY USING
ELECTRODECOLORIZATION METHOD**

ABSTRACT

Degradation of congo red dye of textile industrial wastewater using electrodecolorization method has been done. The experiment have been performed by electrolysis of congo red using carbon cathode and iron anode. Analysis of congo red concentration using spectrophotometric method. The result of the research showed that under the optimum conditions of 12V voltage – 1 cm electrode distance – pH 4 – 500 mg/L H₂O₂ for 12 minutes, congo red dye of textile industrial wastewater can be degraded 99.83%. This method can be applied to degradation of congo red dye.

Keywords: congo red, electrodecolorization method, textile industrial wastewater

PENDAHULUAN

Salah satu sumber pendapatan daerah Pekalongan berasal dari industri tekstil. Keberadaan industri tekstil ini disamping mempunyai dampak positif terhadap daerah, berupa peningkatan pendapatan daerah, juga mempunyai

dampak negatif, yaitu timbulnya pencemaran lingkungan.

Limbah cair industri tekstil terutama dihasilkan dari proses pewarnaan (*dyeing*). Limbah cair yang dihasilkan dari proses ini menyebabkan pencemaran lingkungan karena dibuang ke badan perairan tanpa pengolahan

terlebih dahulu. Badan perairan tidak mampu mendegradasi zat warna tersebut sehingga daerah aliran sungai menjadi berwarna dan tidak dapat mendukung sistem kehidupan perairan.

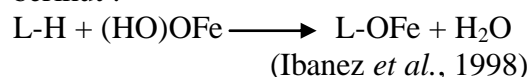
Zat warna reaktif merupakan zat warna yang banyak digunakan untuk pewarnaan tekstil (Robinson *et al.*, 2001). Kongo merah merupakan salah satu zat warna reaktif yang sering digunakan industri tekstil. Zat warna tersebut sangat larut dalam air dan tidak dapat terdegradasi secara biologi (*recalcitrance*) (Catanho, 2006).

Beberapa metode degradasi zat warna telah dikembangkan, misalnya dengan cara fotokatalisis dengan TiO₂ (Rashed dan El-Amin, 2007). Secara biologi, koagulasi, adsorpsi dengan karbon aktif (Mondal, 2008). Namun, masing-masing metode penggunaannya terbatas dan kurang menguntungkan. Sebagai contoh, penggunaan reaksi fotokatalisis membutuhkan biaya yang cukup tinggi karena harga TiO₂ cukup mahal, selain itu diperlukan perlakuan lebih lanjut terhadap TiO₂ setelah proses dekolonisasi zat warna selesai. Degradasi zat warna dengan proses biologi seringkali tidak memuaskan karena zat warna mempunyai sifat tahan terhadap degradasi biologi. Cara koagulasi memiliki efisiensi yang baik dalam pengolahan limbah tetapi juga menimbulkan limbah baru yaitu koagulan yang tidak dapat digunakan lagi. Penggunaan karbon aktif untuk degradasi zat warna juga memerlukan biaya yang cukup tinggi karena harga karbon aktif relatif mahal. Suatu metode degradasi zat warna yang lebih efektif, efisien dan murah perlu dikembangkan, yaitu metode elektrodekolorisasi.

Metode elektrodekolorisasi merupakan suatu proses elektrokimia untuk menghilangkan zat warna dengan menggunakan arus listrik searah. Katoda

sel elektrokimia ini adalah batang karbon yang berasal dari baterai bekas dan anodanya dari besi. Besi hidroksida terhidrat yang terbentuk sebagai hasil oksidasi anoda besi selama proses elektrolisis dapat mengadsorpsi zat warna melalui pembentukan kompleks antara permukaan besi hidroksida dengan zat warna. Zat warna diasumsikan sebagai ligan (L) yang terikat pada besi hidroksida, produk elektrodekolorisasi berupa senyawa kompleks dan air (H₂O) yang ramah terhadap lingkungan.

Adapun mekanismenya sebagai berikut :



Berdasarkan hasil penelitian Ibanez *et al.* (1998), metode elektrodekolorisasi dapat digunakan untuk mendegradasi zat warna Timol Biru hingga 100%. Gupta *et al.* (2007), menggunakan metode elektrodekolorisasi untuk mendegradasi zat warna berbahaya Rektofix Merah 3. Hasil penelitian Suyata dkk. (2010), metode elektrodekolorisasi dapat mendegradasi zat warna Proksion Merah MX-8B hingga 98,58%.

Berdasarkan hal tersebut, telah dilakukan penelitian untuk mendegradasi zat warna kongo merah limbah cair industri tekstil dengan menggunakan metode elektrodekolorisasi.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: besi spiral, karbon dari batu baterai ukuran AA, alat gelas, filler, kertas saring, aluminium foil, timbangan analitik, pH-meter, adaptor, spektrofotometer UV-Vis 1601 SA.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: natrium hidroksida,

natrium bisulfat, asam sulfat pekat, zat warna kongo merah, hidrogen peroksida 30% dan akuades.

Prosedur Penelitian

Penentuan panjang gelombang maksimum

Larutan kongo merah 5 mgL^{-1} diukur pada panjang gelombang 410 sampai 700 nm. Panjang gelombang pada serapan maksimum digunakan untuk pengukuran dalam penelitian ini.

Pembuatan kurva kalibrasi standar

Larutan standar zat warna kongo merah 5; 10; 15; 20 dan 25 mgL^{-1} diukur absorbansinya dengan spektrofotometer *visible*. Kurva kalibrasi dibuat dengan memplotkan antara konsentrasi (X) dengan absorbansi (Y). Dari kurva kalibrasi diperoleh persamaan regresi $y = a + bx$. Persamaan regresi ini digunakan untuk menentukan konsentrasi dari zat warna kongo merah.

Penentuan voltase optimum

Sebanyak 40 mL larutan zat warna kongo merah 20 mg/L dimasukkan ke dalam gelas piala, kemudian ditambah $0,71 \text{ g Na}_2\text{SO}_4$, $4 \text{ mL H}_2\text{O}_2$ 300 mg/L dan H_2SO_4 $0,8 \text{ N}$ sampai pH 3. Absorbansi diukur untuk mendapatkan nilai absorbansi sebelum elektrolisis. Besi spiral dimasukkan ke dalam sel elektrolisis sebagai anoda dan batang karbon sebagai katoda dengan jarak 1 cm dan dihubungkan dengan sumber arus DC dimulai pada voltase yang paling kecil sampai besar yaitu 3, 5, 7, 9, 11, 12 dan 13 volt, kemudian dielektrolisis selama 5 menit. Larutan disaring dan diukur absorbansinya setelah proses elektrolisis selesai. Voltase yang menunjukkan persentase dekolorisasi maksimal digunakan dalam penelitian ini.

Penentuan waktu optimum

Penentuan waktu optimum dilakukan dengan kondisi larutan sama seperti penentuan voltase optimum, dengan memvariasikan waktu elektrolisis. Variasi waktu adalah 1, 3, 5, 7, 9, 11, 12, 13 dan 15 menit. Waktu yang menghasilkan persentase dekolorisasi maksimum digunakan dalam penelitian.

Penentuan jarak elektroda optimum

Sebanyak 40 mL larutan zat warna kongo merah 20 mg/L dimasukkan ke dalam gelas piala; kemudian ditambah $0,71 \text{ g Na}_2\text{SO}_4$; $4 \text{ mL H}_2\text{O}_2$ 300 mg/L dan H_2SO_4 $0,8 \text{ N}$ sampai pH 3, setelah itu absorbansi larutan diukur. Besi spiral dimasukkan ke dalam sel elektrolisis sebagai anoda dan batang karbon sebagai katoda dengan jarak antara anoda dan katoda $0,5 \text{ cm}$, kemudian dielektrolisis pada waktu dan voltase optimum. Larutan hasil elektrolisis disaring dan ditentukan absorbansinya dengan menggunakan spektrofotometer *visible*. Perlakuan diulangi untuk jarak elektroda 1, $1,5 \text{ cm}$ dan 2 cm .

Penentuan pH optimum

Larutan zat warna kongo merah 20 mg/L , sebanyak 40 mL dimasukkan ke dalam gelas piala, kemudian ditambah $0,71 \text{ g Na}_2\text{SO}_4$; $4 \text{ mL H}_2\text{O}_2$ 300 mg/L dan H_2SO_4 $0,8 \text{ N}$ sampai pH 3, setelah itu absorbansi larutan diukur. Larutan dipindahkan ke dalam sel elektrolisis dengan jarak elektroda optimum, kemudian dielektrolisis pada waktu dan voltase optimum. Larutan hasil elektrolisis disaring dan ditentukan absorbansinya dengan menggunakan spektrofotometer *visible*. Perlakuan diulang untuk larutan kongo merah dengan pH 2, 3, 4, 5, 7 dan 9.

Penentuan konsentrasi hidrogen peroksida optimum

Sebanyak 40 mL larutan zat warna kongo merah 20 mg/L dimasukkan ke dalam gelas piala. Kemudian ditambah 0,71 g Na₂SO₄; 4 mL H₂O₂ 300 mg/L dan H₂SO₄ 0,8 N sampai pH optimum, kemudian diukur absorbansinya. Larutan dipindahkan ke dalam sel elektrolisis dengan jarak elektroda optimum, kemudian dielektrolisis pada waktu dan voltase optimum. Larutan hasil elektrolisis disaring dan ditentukan absorbansinya dengan menggunakan spektrofotometer *visible*. Cara yang sama dilakukan juga untuk larutan kongo merah dengan konsentrasi H₂O₂ 200 mg/L; 400 mg/L; 500 mg/L; 700 mg/L dan 900 mg/L.

Penentuan persentase dekolorisasi sampel limbah cair tekstil

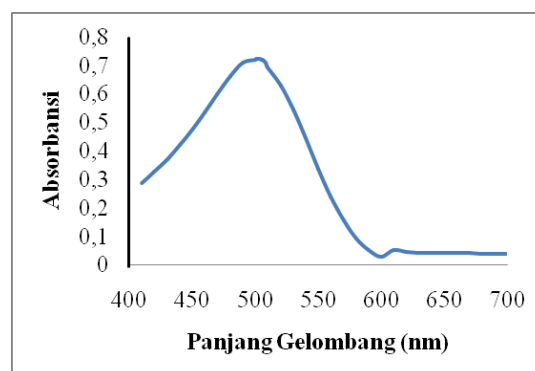
Sebanyak 40 mL sampel limbah cair tekstil dimasukkan ke dalam gelas piala, kemudian ditambah dengan 0,71 g Na₂SO₄; 4 mL H₂O₂ dengan konsentrasi optimum dan H₂SO₄ 0,8 N sampai pH optimum, kemudian diukur absorbansinya pada panjang gelombang maksimum. Larutan dipindahkan ke dalam sel elektrolisis dengan jarak elektroda optimum, kemudian dielektrolisis pada waktu optimum dan voltase optimum. Larutan hasil elektrolisis disaring dan ditentukan absorbansinya dengan menggunakan spektrofotometer *visible*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan Panjang Gelombang Maksimum

Panjang gelombang maksimum larutan zat warna kongo merah pada 503 nm. Hal ini disebabkan warna merah adalah warna komplementer dari warna hijau yang diserap pada panjang

gelombang antara 490-560 nm (Skoog *et al.*, 2004).

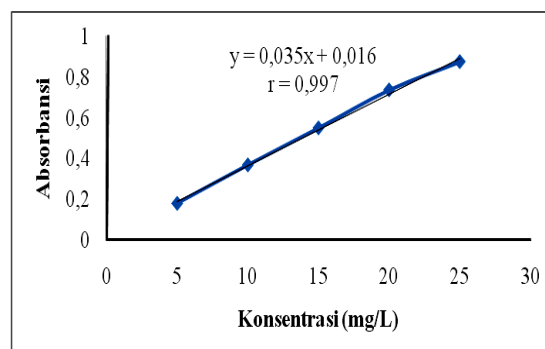


Gambar 1. Spektrum absorpsi kongo merah

Panjang gelombang maksimum dari zat warna kongo merah ini kemudian digunakan untuk pengukuran absorbansi larutan sampel sebelum dan sesudah proses elektrokolorisasi.

Pembuatan Kurva Kalibrasi

Kurva kalibrasi dibuat dengan cara memplotkan antara konsentrasi larutan standar (sumbu X) dengan absorbansi (sumbu Y), kemudian dari kurva kalibrasi akan didapatkan suatu persamaan regresi yang digunakan untuk menghitung konsentrasi sampel yang tersaji pada Gambar 2.



Gambar 2. Kurva kalibrasi larutan zat warna kongo merah

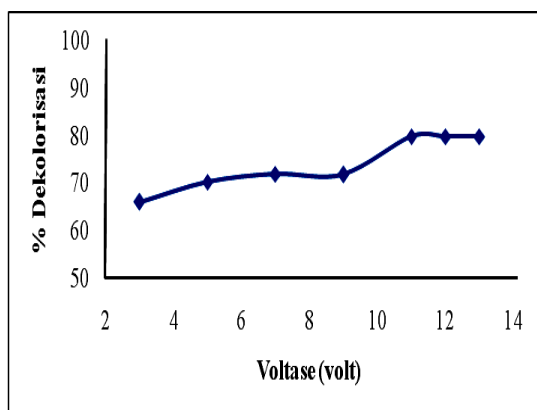
Persamaan regresi yang diperoleh untuk zat warna kongo merah adalah

$y = 0,035x + 0,016$ dengan koefisien korelasi 0,997.

Penentuan Voltase Optimum

Voltase optimum merupakan voltase dimana persentase dekolorisasi larutan zat warna kongo merah mencapai nilai maksimal. Proses elektrolisis larutan dikerjakan dengan melakukan variasi voltase tiap larutan. Rentang potensial ini menggambarkan jumlah besar energi yang setara dengan energi yang diperlukan untuk proses transfer elektron berlangsung. Besar dan lebar rentang potensial ini bersifat khusus untuk setiap pelarut dan dalam penerapannya bergantung pula pada komposisi sistem elektrolit pendukung dan sifat alami elektroda kerja besi (Ibanez *et al.*, 1998).

Voltase optimum dekolorisasi kongo merah dapat dilihat pada Gambar 3.



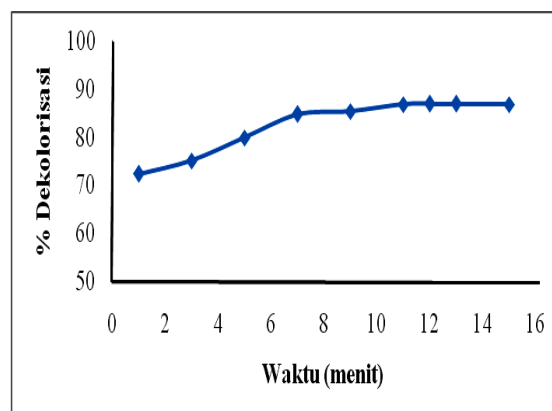
Gambar 3. Grafik pengaruh voltase terhadap % dekolorisasi kongo merah

Persentase dekolorisasi kongo merah mencapai optimum pada voltase 12 volt dengan nilai persentase dekolorisasi 79,83%. Menurut Ibanez *et al.* (1998), kondisi optimum disebabkan oleh pemberian ion Fe^{3+} dari anoda ke katoda sangat besar sehingga terjadi kesetimbangan pembentukan ion kompleks antara zat warna dengan besi

hidroksida ($Fe(OH)_3$) yang akan menyebabkan kekuatan ion dan kepekatan larutan mencapai maksimal.

Penentuan Waktu Optimum

Waktu optimum merupakan waktu yang diperlukan untuk proses dekolorisasi zat warna kongo merah secara maksimal. Waktu optimum dekolorisasi kongo merah dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik pengaruh waktu terhadap % dekolorisasi kongo merah

Berdasarkan Gambar 4 menunjukkan bahwa persentase dekolorisasi kongo merah mencapai optimum pada waktu 12 menit dengan nilai persentase dekolorisasi mencapai 86,90%. Hal ini terjadi karena radikal OH tidak terbentuk lagi pada waktu dekolorisasi lebih dari waktu dekolorisasi optimum (Suprijono, 2004).

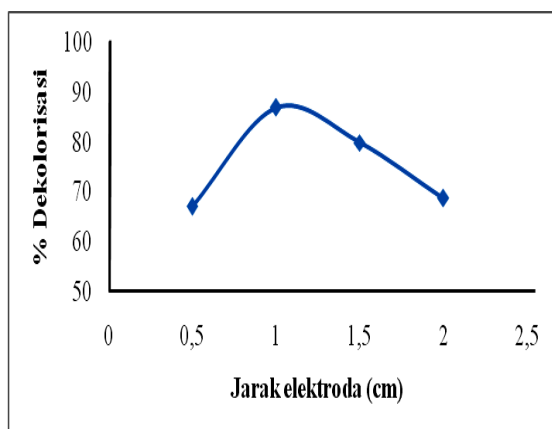
Penentuan Jarak Elektroda Optimum

Jarak elektroda optimum adalah jarak antara anoda dan katoda yang dapat mendekolorisasi zat warna kongo merah secara maksimum. Elektrolisis dilakukan dengan menggunakan anoda besi dan katoda karbon dengan berbagai macam variasi jarak elektroda yaitu 0,5; 1; 1,5; dan 2 cm pada voltase optimum

Berdasarkan hasil penelitian seperti terlihat pada Gambar 5

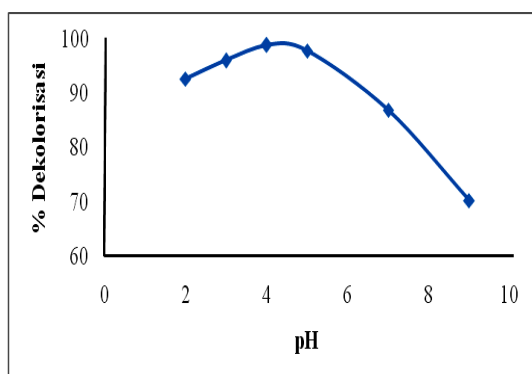
menunjukkan bahwa jarak elektroda optimum dari kongo merah dicapai pada jarak 1 cm dengan persentase dekolorisasi sebesar 86,90%.

Pada jarak elektroda optimum, gas hidrogen (H_2) yang dihasilkan oleh katoda selama proses elektrolisis mengenai permukaan anoda lebih merata, hal ini dapat mempercepat proses pengapungan dan pengumpulan flok-flok besi hidroksida $Fe(OH)_3$ yang dihasilkan selama proses elektrolisis sehingga proses dekolorisasi mencapai maksimal (Ibanez *et al.*, 1998).



Gambar 5. Grafik pengaruh jarak elektroda dengan persentase dekolorisasi kongo merah

Penentuan pH Optimum



Gambar 6. Grafik pengaruh pH terhadap % dekolorisasi kongo merah

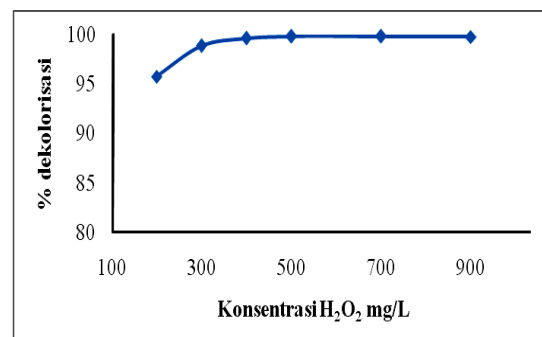
Penentuan pH optimum pada dekolorisasi kongo merah dilakukan

dengan memvariasikan pH larutan pada voltase dan jarak elektroda optimum. pH larutan mempengaruhi keefektifan H_2O_2 dalam menghasilkan radikal OH yang dikatalisis oleh Fe^{2+} . pH optimum dekolorisasi kongo merah dapat dilihat pada Gambar 6.

Berdasarkan Gambar 6 terlihat bahwa persentase dekolorisasi kongo merah mencapai kondisi optimum pada pH 4 dengan persentase dekolorisasi sebesar 98,87%. Hal ini menunjukkan bahwa degradasi zat warna kongo merah mencapai kondisi optimum pada pH asam. Hal ini terjadi karena pada pH yang tinggi (basa) hidrogen peroksida akan terdekomposisi menjadi H_2O dan O_2 . Besi dalam suasana asam lebih mudah teroksidasi dibandingkan dalam suasana basa. Semakin banyak besi yang teroksidasi, maka semakin banyak H_2O_2 yang tereduksi menjadi radikal OH. Semakin banyak radikal OH yang terbentuk, maka semakin banyak zat warna terdegradasi (Peters *et al.*, 2001).

Penentuan Konsentrasi H_2O_2 Optimum

Penentuan konsentrasi H_2O_2 optimum dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi H_2O_2 pada voltase, jarak elektroda, dan pH optimum. Konsentrasi H_2O_2 optimum untuk mendekolorisasi kongo merah seperti terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik pengaruh konsentrasi H_2O_2 terhadap % dekolorisasi kongo merah

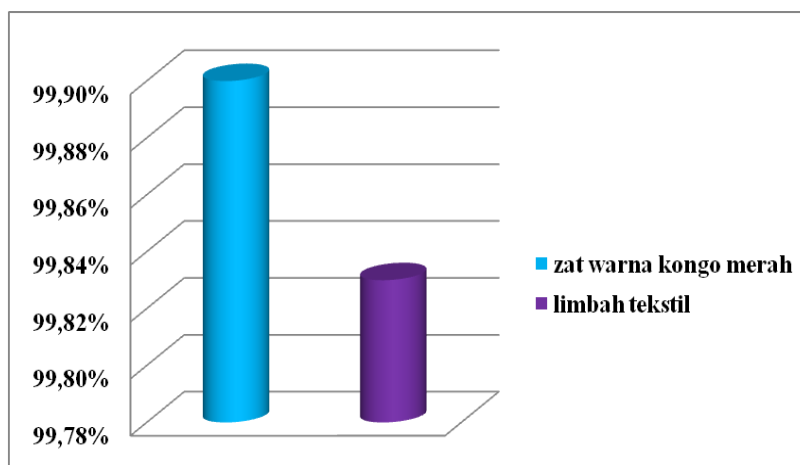
Berdasarkan Gambar 7 terlihat bahwa konsentrasi H_2O_2 optimum adalah 500 mg/L dengan persentase dekolorisasi sebesar 99,90%. Hal ini menunjukkan bahwa pembentukan radikal OH dari H_2O_2 mencapai keadaan maksimum sehingga radikal OH yang dihasilkan dapat mendegradasi zat warna kongo merah secara maksimal.

Penentuan Persentase Dekolorisasi Sampel Limbah Cair Tekstil

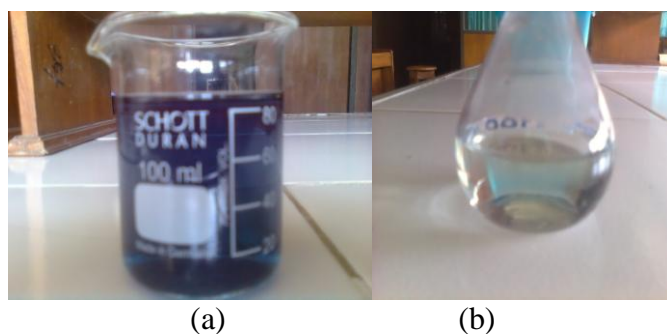
Limbah cair industri tekstil terutama dihasilkan dari proses pewarnaan (*dyeing*). Limbah cair yang dihasilkan dari proses ini menyebabkan pencemaran lingkungan karena dibuang ke badan perairan tanpa pengolahan terlebih dahulu. Badan perairan tidak mampu mendegradasi zat warna tersebut

sehingga daerah aliran sungai menjadi berwarna dan tidak dapat mendukung sistem kehidupan perairan.

Zat warna reaktif merupakan zat warna yang banyak digunakan untuk pewarnaan tekstil (Robinson *et al.*, 2001). Kongo merah merupakan salah satu zat warna reaktif yang sering digunakan industri tekstil. Zat warna tersebut sangat larut dalam air dan tidak dapat terdegradasi secara biologi (*recalcitrance*) (Catanho, 2006). Oleh karena itu, suatu teknik yang efektif dan efisien untuk mendegradasi zat warna tersebut sangat dibutuhkan segera. Suatu metode degradasi zat warna kongo merah limbah cair industri tekstil yang lebih efektif, efisien dan murah telah dikembangkan, yaitu metode elektrotekolorisasi.



Gambar 8. Grafik dekolorisasi kongo merah limbah cair tekstil



Gambar 9. Foto limbah cair tekstil sebelum dielektrotekolorisasi (a) dan setelah dielektrotekolorisasi (b)

Dekolorisasi zat warna kongo merah limbah cair tekstil ini dilakukan pada voltase 12 volt, waktu 12 menit, jarak elektroda 1 cm, pH 4 dan konsentrasi H_2O_2 500 mgL^{-1} . Hasil pengukuran seperti terlihat pada Gambar 8.

Berdasarkan Gambar 8 terlihat bahwa penurunan persentase dekolourisasi zat warna kongo merah dalam limbah cair tekstil sangat signifikan yaitu 99,83 %. Secara visual juga terlihat warna limbah cair tekstil menjadi bening setelah proses elektrokolorisasi seperti pada Gambar 9.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa zat warna kongo merah limbah cair industri tekstil dapat didegradasi hingga 99,83% pada voltase 12 V, waktu 12 menit, jarak elektroda 1 cm, pH 4 dan konsentrasi H_2O_2 500 mg/L dengan menggunakan metode elektrokolorisasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Catanho, M., 2006, Avaliacao Dos Tratamentos Eletroquimico Fotoeletroquimico Na Degradacao De Corantes Texteis, *Quim.Nova*, Vol 29, No.5.
- Gupta, V.K., R., Jain, & S., Varshney, 2007, Electrochemical Removal of the Hazardous Dye Reactofix Red 3 BFN from Industrial Effluents, *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol 312, No.2, 292-296
- Ibanez, G.J., 1998, Electrochemical Remediation of The Environment Fundamentals and Microscale Laboratory Experiment, *Chemical Education*, Vol. 75, No. 8, 1040-1041
- Mondal, S., 2008, *Methods of Dye Removal from Dye House Effluent*, Ellis Horwood Limited, Chichester
- Pala, A., E., Tokat, & H., Erkayu, 2003, Removal of Some Reactive Dyes From Textile Processing Waste Water Using Powdered Activated Carbon, *Proceeding of The First International Conference on Environmental Research and Assesment*, Bucharest, Rumania
- Peters, S.M., T.T., Wong, & J.H., Agar, 2001, A laboratory Study on The Degradation of Gasoline Contamination Using Fenton Reagent, *Proceeding 54th Canadian Geotechnical Conference*, Calgary, 1170-1177.
- Rashed, M.N. & A.A., El-Amin, 2007, Photocatalytic Degradation of Metil Orange in Aqueous TiO_2 Under Different Solar Irradiation Source, *Int.J.Physical.Sci*, Vol 2, No. 3, 73-81
- Skoog, D.A., D.M., West, F.J., Holler, & S.R., Crouch, 2004, *Fundamentals of Analytical Chemistry*, 8th Edition, Thomson Learning Inc, United States of America.
- Suprijono, 2004, Degradasi Anilin dengan Reagen Fenton, *Jurnal IPTEK*, Vol 7, No. 2, Surabaya.
- Suyata, D.W., Dwiasi, Irmanto, & M., Kurniasih, 2010, *Studi Optimasi Elektrokolorisasi Zat Warna Proksion Merah Mx-8B*, Laporan Penelitian, Fakultas Sains dan Teknik Unsoed, Purwokerto