

## Elektrodestruksi Zat Warna *Remazol Black B* dalam Limbah Artifisial dengan Elektroda Timbal Dioksida

Wahyu Adi Kristanto, Didik Setiyo Widodo dan Gunawan  
Jurusan Kimia FMIPA Universitas Diponegoro, Semarang

### ABSTRAK

Penelitian tentang destruksi larutan zat warna—*remazol black B*—dalam upaya penghilangan warna larutan limbah dengan metode elektrolisis menggunakan anoda timbal dioksida telah dilakukan. *Remazol black B* merupakan pewarna batik dan tekstil yang banyak digunakan pada proses perwarnaan. Pada proses produksi, zat warna ini terbuang ke lingkungan dan mencemari perairan, sehingga diperlukan upaya untuk memperbaiki lingkungan perairan. Pendekatan elektrokimia merupakan metode alternatif bagi upaya pemecahan masalah lingkungan yang tercemar zat warna seperti *remazol black B*. Bahan elektroda merupakan faktor penting pada keberhasilan proses. Pemilihan timbal dioksida (dari aki) sebagai elektroda dilakukan dengan mempertimbangkan sifat bahan ini dalam sistem elektrolisis, stabil (*inert*) dan diharapkan memiliki efek katalisis dalam proses destruksi sehingga menghasilkan sinergi pada upaya remediasi perairan tercemar dengan pendekatan elektrokimia. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan larutan tak berwarna setelah perlakuan destruksi elektrokimia sampel yang mengandung *remazol black B* menggunakan elektroda  $PbO_2$ . Metode ini dilakukan dengan mengelektrolisis larutan *remazol black B* sebanyak 50 mL dengan potensial 5,5 V selama 120 menit. Setelah elektrolisis larutan sampel dianalisis dengan spektrometri UV-Visibel. Untuk memperoleh data awal, elektrolisis dilakukan terhadap larutan sampel dengan variasi potensial aplikasi dan variasi waktu elektrolisis hingga 120 menit. Pada variasi waktu tersebut, dilakukan pencatatan arus yang mengalir dan pengujian tingkat pengurangan kepekatan zat warna dengan metode Spektrometri UV-Visibel. Sebagai pembandingan dan untuk memperoleh daerah kerja dilakukan juga elektrolisis terhadap sistem pelarut. Data penelitian menunjukkan bahwa elektrolisis dengan penggunaan  $PbO_2$  sebagai anoda pada elektrodestruksi larutan *remazol black B* telah berhasil menurunkan intensitas zat warna tersebut hingga 99,69 %. Penurunan intensitas ini menunjukkan bahwa elektrodestruksi larutan zat warna *remazol black B* telah berlangsung. Perubahan intensitas warna ini disebabkan oleh proses destruksi oksidatif (elektrodestruksi) *remazol black B* menjadi molekul-molekul yang lebih sederhana, sehingga larutan menjadi tidak berwarna..

*Keywords: elektrolisis, elektrodestruksi, remazol black B, elektroda  $PbO_2$ , spektrometri UV-Visibel*

### PENDAHULUAN

Limbah cair produksi batik mengandung zat warna yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan jika dibuang tanpa pengolahan terlebih dahulu, sementara lingkungan mempunyai kemampuan terbatas untuk mendegradasi zat warna tersebut. Akibat langsung adalah air menjadi berwarna dan kualitas air menjadi tidak layak untuk sumber air bersih maupun sistem pendukung kehidupan perairan.

Zat warna merupakan senyawa organik yang mengandung gugus kromofor terkonjugasi. Zat warna reaktif merupakan zat warna yang banyak digunakan untuk pewarnaan tekstil. Beberapa zat warna reaktif yang sering digunakan antara lain *Remazol Brilliant Orange 3R*, *Remazol Golden Yellow RNL* dan *Remazol Black B* (Catanho,

2006). Zat warna reaktif sangat larut dalam air dan tidak terdegradasi pada kondisi aerob biasa (Pavlostathis, 2001). Dampak negatif yang ditimbulkan terhadap kesehatan antara lain adalah iritasi pada kulit dan sakit perut.

Teknologi pengolahan limbah cair baik secara biologi, kimia, fisika, maupun kombinasi antara ketiga proses tersebut banyak digunakan untuk mengolah limbah serupa. Beberapa penelitian penghilangan warna dan senyawa organik yang ada dalam limbah cair industri batik telah banyak dilakukan, misalnya dengan cara kimia antara lain degradasi warna dengan reaksi oksidasi, reaksi anaerob dan reaksi fotokatalisis (Rashed, 2007). Secara fisika dengan adsorpsi menggunakan karbon aktif, silika, dan biomaterial (Mondal, 2008). Pengolahan limbah cair dengan proses biologi misalnya dengan menggunakan

mikroorganisme juga banyak diterapkan untuk menurunkan kandungan senyawa organik di dalam limbah cair industri (Mazmanci, 2005).

Metode-metode baru penanganan kasus serupa terus diteliti dan dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi dan efektifitas proses remediasi lingkungan perairan. Diantara pendekatan alternatif adalah dengan metode elektrolisis (proses elektrodetruksi), sebagaimana telah dilaporkan oleh Szpyrkowicz, dkk. (2001), Roesslera, dkk. (2001), Carneiro, dkk. (2003), Esteves (2004), Martínez-Huitle dan Ferro (2006), Gupta (2007). Beberapa yang telah dilaporkan menunjukkan bahwa pendekatan ini memiliki potensi baik dalam upaya penanganan limbah cair yang mengandung zat warna, baik dari parameter penurunan kandungan bahan pencemar maupun parameter fisik perairan. Keunggulan tersebut masih dapat ditingkatkan, misalnya dari segi penggunaan bahan-bahan (reagen) atau pemilihan material elektroda.

Pemilihan bahan elektroda dilakukan untuk mendukung proses yang diinginkan dengan meningkatkan kinerja dalam fungsi elektroda sebagai tempat proses oksidasi atau reduksi berlangsung. Ketidakterdediaan suatu kutub positif (anoda) ideal dengan stabilitas dan aktivitas sempurna merupakan suatu masalah yang kritis dalam suatu proses elektrooksidasi air limbah yang mengandung zat organik. Penggunaan timbal dioksida sebagai anoda diharapkan dapat menjawab masalah di atas. Ueda, dkk. (1986) telah mematenkan penggunaan  $PbO_2$  sebagai bahan elektroda. Bahan ini memiliki kekuatan dan ketahanan fisik yang baik, tidak mengalami pasivasi, dan dapat digunakan dalam waktu yang lama pada densitas arus tinggi. Penelitian-penelitian berikutnya memanfaatkan bahan ini untuk berbagai keperluan, seperti sebagai elektroda dalam oksidasi ion  $CN^-$  (Tissot, 2006), oksidasi asam sulfat (Randle, 2001), oksidasi EDTA (Yoshimura, 1981) dan oksidasi limbah organik (Li, 2006). Fakta tersebut menunjukkan bahwa timbal dioksida dapat digunakan sebagai elektroda dan akan dicobakan untuk elektrolisis dalam rangka elektrodetruksi zat warna.

## CARA PENELITIAN

### Alat dan bahan

**Alat.** Peralatan yang digunakan untuk mendukung proses elektrolisis larutan *remazol black B*

meliputi peralatan gelas, timbangan elektrik (merk KERN), elektroanaliser, multitester, Spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu). Sel elektrolisis terdiri atas wadah gelas, elektroda kerja ( $PbO_2$ ) sebagai anoda dan elektroda *counter* (karbon) sebagai katoda yang dihubungkan dengan sumber pada alat elektroanaliser.

**Bahan.** Bahan-bahan yang diperlukan meliputi  $Na_2SO_4$  serbuk, lempeng timbal dioksida (dari aki motor), batang karbon, zat warna *remazol black B*, dan akuades.

### Prosedur Kerja

**Elektrolisis Pendahuluan.** Larutan sampel sebanyak 50 mL ditambah elektrolit pendukung  $Na_2SO_4$  kemudian larutan dielektrolisis dengan memvariasi potensial aplikasi (1–15 volt). Arus yang mengalir dicatat secara periodik tiap selang waktu 3 menit. Perlakuan yang sama dilakukan terhadap larutan blanko, kemudian data yang didapat dibuat kurva arus terhadap potensial.

### Penentuan waktu elektrolisis minimum.

Larutan sampel sebanyak 50 mL ditambah larutan elektrolit pendukung  $Na_2SO_4$  kemudian dielektrolisis dengan variasi waktu. Setiap 10 menit, absorbansi larutan sampel diukur pada panjang gelombang maksimum (595 nm). Elektrolisis dihentikan ketika absorbansi sampel mendekati/sama dengan nol atau nilai absorbansi diperoleh tetap.

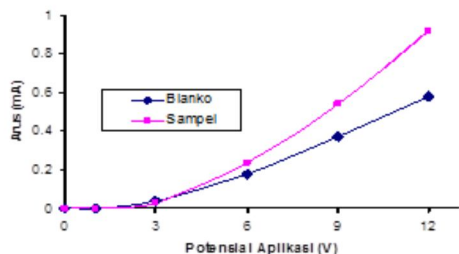
**Elektrolisis sampel.** Sampel zat warna *remazol black B* sebanyak 50 mL ditambah  $Na_2SO_4$  kemudian absorbansi larutan diukur dengan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum, kemudian larutan dielektrolisis pada potensial tetap yang selama 120 menit. Absorbansi larutan hasil elektrolisis diukur kembali dengan Spektrofotometer UV-Vis.

**Metode analisis.** Analisis kualitatif meliputi pengamatan warna larutan sampel sebelum elektrolisis dan sesudah elektrolisis, dan pengukuran absorbansi dengan Spektrofotometer UV-Vis. Analisis kuantitatif dilakukan dengan mengolah data pengukuran absorbansi pada panjang gelombang maksimum dengan spektrofotometer UV-Vis sebelum dan sesudah elektrolisis.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

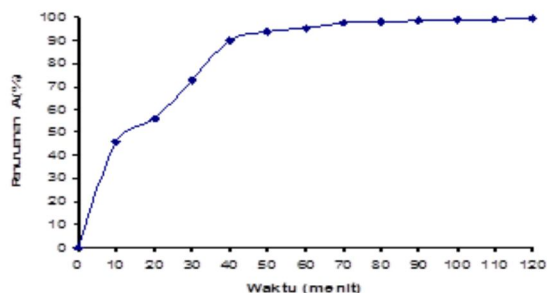
Kajian ini diarahkan pada diskusi penghilangan warna *remazol black B* dengan pendekatan

elektrolisis. Media elektrolisis adalah akuades dengan elektrolit pendukung,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Kajian ini dimulai dengan menentukan potensial kerja yang digunakan untuk aplikasi elektrolisis pada larutan sampel selama waktu tertentu. Data penentuan potensial kerja ini ditampilkan pada gambar 1 berikut. Kurva tersebut memberikan informasi tentang ranah elektroaktif sistem pelarut berair pada pH tertentu. Sistem ini terdiri atas akuades dan elektrolit pendukung,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Rentang potensial ini menggambarkan tingkat energi yang setara dengan energi yang diperlukan untuk berlangsungnya proses transfer elektron. 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  $\text{PbO}_2$ . Sistem elektrolisis dengan elektroda  $\text{PbO}_2$ -karbon diperoleh rentang potensial 0-5,8 volt (sebagaimana diindikasikan oleh posisi titik belok kurva pada gambar 1, kurva blanko). Rentang potensial ini memberikan batas terbesar pemberian potensial pada tahap elektrolisis selanjutnya. Potensial aplikasi sebagai potensial kerja minimal diperoleh sebesar 5,2 volt dan selanjutnya potensial aplikasi untuk elektroda  $\text{PbO}_2$ -karbon ditetapkan sebesar 5,5 volt.



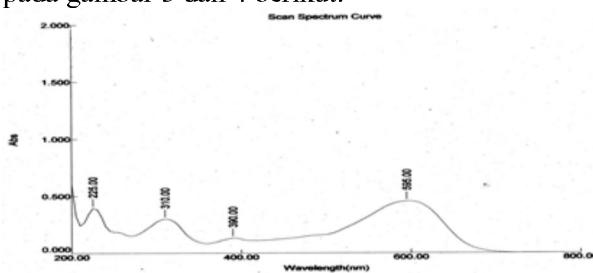
**Gambar 1.** Kurva hubungan antara arus dan potensial pada elektrolisis larutan sampel dan blanko

Elektrolisis sampel *remazol black B* pada potensial terkontrol 5,5 V dengan variasi waktu diperoleh waktu minimal proses ini adalah 70 menit. Peyimpulan ini didasarkan pada data pengukuran sebagaimana disajikan pada gambar 2.

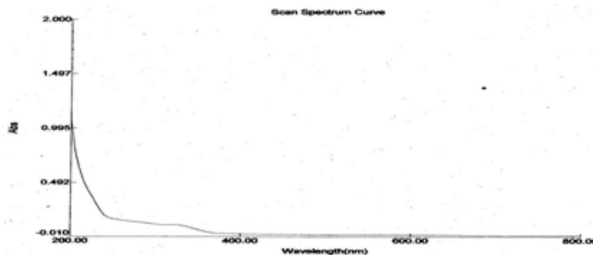


**Gambar 2.** Kurva hubungan antara waktu dan persentase penurunan absorbansi larutan setelah elektrolisis sampel 50 mL remazol black B 50 ppm pada potensial 5,5 volt

Dari kurva tersebut didapat informasi bahwa penggunaan  $\text{PbO}_2$  sebagai anoda memerlukan waktu minimal 70 menit untuk dekolonisasi 50 mL larutan sampel 50 ppm sampai tingkat 97,40 %. Gambar 2 menunjukkan bahwa pada akhir elektrolisis selama 120 menit, persentase penurunan absorbansi sebesar 99,69% telah dicapai. Penurunan absorbansi pada penggunaan  $\text{PbO}_2$  sebagai anoda menyebabkan sistem benzena pada sampel terdegradasi, gugus-gugus pengkontribusi warna zat juga telah hilang menjadi molekul lebih sederhana, sebagaimana diindikasikan pada perbandingan spektra UV-Vis pada gambar 3 dan 4 berikut.

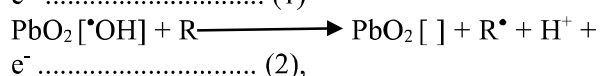
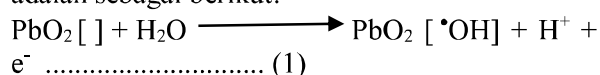


**Gambar 3.** Spektra UV-Vis sampel remazol black B sebelum dielektrolisis



**Gambar 4.** Spektra UV-Vis sampel remazol black B sesudah dielektrolisis selama 120 menit

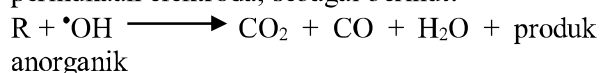
Kemampuan bahan elektroda ini dalam menopang sistem dekolorisasi sampel dapat dijelaskan sebagai berikut. Penggunaan PbO<sub>2</sub> sebagai anoda melibatkan suatu reaksi dengan pelarut dan sampel yang menghasilkan elektron. Elektron yang dihasilkan dapat mensinergikan bahan ini dalam proses oksidasi lebih dari sekedar anoda empat oksidasi terjadi. Menurut Li, dkk. (2006), reaksi yang juga terjadi di permukaan anoda PbO<sub>2</sub> adalah sebagai berikut:



dengan R adalah molekul *remazol black B*.

Keterlibatan reaksi radikal tersebut semakin mempercepat dan mengefektifkan dekolorisasi zat warna, disamping menyebabkan reaksi destruksi zat warna menjadi semakin bervariasi.

Hasil destruksi diperkirakan adalah molekul-molekul yang lebih sederhana sehingga lebih aman berada di lingkungan perairan daripada keberadaan zat warna. Untuk penjelasan ini masih memerlukan kajian dan analisis lanjutan terhadap larutan setelah dielektrolisis. Induksi di atas didasarkan pada proses remediasi serupa yang berlangsung dengan mekanisme oksidasi sebagaimana telah dilaporkan pada penelitian Martono dan Aisyah, (2000) bahwa oksidasi melibatkan radikal OH yang terbentuk pada permukaan elektroda, sebagai berikut:



Berdasarkan gambar 4 diperkirakan reaksi oksidasi telah berlangsung sempurna, sehingga reaksi samping pembentukan CO akan segera disempurnakan menghasilkan CO<sub>2</sub>.

**KESIMPULAN**

Larutan zat warna *remazol black B* dapat didestruksi dengan baik dengan metode elektrolisis menggunakan elektroda PbO<sub>2</sub>. Pada temperatur kamar, elektrodestruksi 50 mL sampel *remazol black B* 50 ppm dengan anoda PbO<sub>2</sub> dan katoda karbon menghasilkan persen dekolorisasi sebesar 99,69 %.

**DAFTAR PUSTAKA**

[1] Ueda, M., Watanabe, A., dan Shimamune, T. 1986, *Canadian Patents-Patent no. CIPO-Patent-13211979*

[2] Carneiro, P.A., Fugivara, C.S., Nogueira, R.F.P., Boralle, N., dan Zanoni, M.V.B., 2003, A Comparative Study on Chemical and Electrochemical Degradation of Reactive Blue 4 Dye, *Portugaliae Electrochimica Acta*, 21, 49-67

[3] Catanho, M, 2006, Avaliacao Dos Tratamentos Eletroquimico E Fotoeletroquimico Na Degradacao De Corantes Texteis, *Quim.Nova*, Vol.29

[4] Esteves, M.F., dan Silva, J.D., 2004, Electrochemical Degradation Of Reactive Blue 19 Dye In Textile Wastewater, *World Textile Conference-4th Autex Conference Roubaix*

[5] Gupta,V.K., Jain, R., dan Varshney, S., 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

[6] Li, J., Zheng, L., Li, L., Shi, G., Xian, Y, dan Jin, L., 2006, Photoelectro-Synergistic Catalysis at Ti/TiO<sub>2</sub>/PbO<sub>2</sub> Electrode and Its Application on Determination of Chemical Oxygen Demand, *Electroanalysis*, vol. 18, no. 22, 2251–2256

[7] Martínez-Huitle, C.A., dan Ferro, S., 2006, Electrochemical oxidation of organic pollutants for the wastewater treatment: direct and indirect processes, *Chem.Soc.Rev.*, 35, 1324-1340

[8] Mazmanci, M.A, dan Unyayar, A, 2005, Decolourisation of Reactive Black 5 by *Funalia trogii* immobilised on *Luffa cylindrica* sponge, *J.Sci.Direct Biochemistry Process*, Vol.40, Issue 1, 337-342

[9] Mondal, S, 2008, Methods of Dye Removal from Dye House Effluent. *J.Environmental Engineering*, Vol. 25, No.3

- [10] Pavlostathis, G, 2001, Biological Decolorization and Reuse of Spent Reactive Dyebaths, *Annual Report FY 01*
- [11] Rashed, M.N, dan El-Amin, A.A, 2007, Photocatalytic Degradation of Metil Orange in Aqueous  $TiO_2$  Under Different Solar Irradiation Source, *Int.J.Physical.Sci* Vol.2 (3), 73-81
- [12] Roesslera,A., Dossenbacha, O., Meyera, U., Marteb,W., dan Rysa, P., 2001, Direct Electrochemical Reduction of Indigo, *CHIMIA*, 55, No. 10, 879-882
- [13] Song, Y., Wei, G dan Xiong, R., 2007, *Structure and properties of  $PbO_2-CeO_2$  anodes on stainless steel*, College of Materials Science and Engineering, Beijing University of Chemical Technology
- [14] Szpyrkowicz, L., Juzzolino, C., dan Kaul, S.N., 2001, A Comparative study on oxidation of disperse dyes by electrochemical process, ozone, hypochlorite and fenton reagent, *Water Research*, vol. 35, no.9, 2129-2136
- [15] Wang, F.S., Song,B.K., Han X.L., dan Zhang, B.G., 2004, Selection of Anodic Material Used in Electrolytic Process for Producing Hypophosphorous Acid, *Chinese Chemical Letters*, Vol. 15, No. 12, 1487-1490