

## Elektroremediasi Perairan Tercemar: 3. Elektrokolorisasi Larutan *Remazol black B* dengan Elektroda Timbal Dioksida/Karbon dan Analisis Larutan Sisa Dekolorisasi

Didik Setiyo Widodo<sup>a\*</sup>, Ismiyanto<sup>a</sup>, Fithri Noorikhlas<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Chemistry Department, Faculty of Sciences and Mathematics, Diponegoro University, Jalan Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang 50275

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

### Article Info

#### Keywords:

Eugenol, 3-(3,4-dimethoxyphenyl) - propanal and antibiotic derivatives C-9154

### Abstract

A research and advanced analysis of decolorize residual electrolysis dye solution - *Remazol black B* - using electrolysis method (electrodecolorization) with a lead dioxide anode, UV-Vis spectrometry analysis and GC-MS have been conducted. *Remazol black B* is a reactive dye that is widely used in textile, batik, and weaving industries. In the process of production and coloring, these dyes can be wasted into the environment and contaminate the waters, hence an effort is needed to improve the aquatic environment. Selection of methods considers the selection of electrode materials. Lead dioxide was taking into account as selected electrode due to the nature of this material in electrolysis system which is stable (inert) and expected electrocatalysis effect which provided synergies in polluted waters remediation with electrochemical approach. This study aims were to decolorize and analyze residual electrolysis solution and to confirm the destruction products. This study was performed by electrolyzing a 50 mL remazol solution of B in potential of 5.5 V for 90 min. After electrolysis, the sample solution was analyzed by UV-Vis spectrometry. The qualitative analysis included sample solution color observation before and after the electrolysis by measuring the absorbance with UV-Vis spectrophotometer. Quantitative analysis was performed by absorbance measurement data processing at maximum wavelength. GC-MS analysis was performed on the sample after extraction. A total of 5 mL residual electrolysis solution was added by 10 mL diethyl ether and then extracted. The obtained filtrate was analyzed using GC-MS. Research data shows that the solution of the dye *Remazol black B* can be decolorized by electrolysis method using electrodes PbO<sub>2</sub>/Pb and PbO<sub>2</sub>/carbon. The PbO<sub>2</sub>/Pb system provided a more effective result in the electrodestruction process of black B remazol dye compared to the PbO<sub>2</sub>/carbon system. At room temperature, electrodecolorization of *Remazol black B* using the anode PbO<sub>2</sub>/Pb converted 100% into CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O and/or short chain carbon compounds and has no chromophore group (color former), while electrodecolorization using PbO<sub>2</sub>/carbon has decolorize dye perfectly and leaving a benzene-ringed compound which can be removed well with the adding electrolysis time

### Abstrak

#### Kata kunci:

elektrolisis, elektrokolorisasi/elektrodestruksi, *Remazol black B*, elektroda PbO<sub>2</sub>, spektrometri UV-Visible

Telah dilakukan penelitian dekolorisasi dan analisis lanjutan sisa elektrolisis larutan zat warna—*Remazol black B*—dengan metode elektrolisis (elektrokolorisasi) menggunakan anoda timbal dioksida, analisis spektrometri UV-Vis dan GC-MS. *Remazol black B* merupakan zat warna reaktif yang banyak digunakan pada industri tekstil, batik, dan tenun. Pada proses produksi dan pewarnaan, zat warna ini dapat terbuang ke lingkungan dan mencemari perairan, sehingga diperlukan upaya untuk memperbaiki lingkungan perairan. Pemilihan metode mempertimbangkan pemilihan bahan elektroda.

Timbal dioksida sebagai elektroda dipilih dengan mempertimbangkan sifat bahan ini dalam sistem elektrolisis, stabil (inert) dan efek elektrokatalisis yang diharapkan memberikan sinergi pada upaya remediasi perairan tercemar dengan pendekatan elektrokimia. Penelitian ini bertujuan untuk mendekolorisasi dan menganalisis larutan sisa elektrolisis untuk memperoleh konfirmasi produk destruksi. Kajian ini dilakukan dengan mengelektrolisis larutan *Remazol black B* sebanyak 50 mL dengan potensial 5,5 V selama 90 menit. Setelah elektrolisis larutan sampel dianalisis dengan spektrometri *UV-Vis*. Analisis kualitatif meliputi pengamatan warna larutan sampel sebelum dan sesudah elektrolisis, dan pengukuran absorbansi dengan Spektrofotometer *UV-Vis*. Analisis kuantitatif dilakukan dengan mengolah data pengukuran absorbansi pada panjang gelombang maksimum. Analisis *GC-MS* dikerjakan pada sampel setelah ekstraksi. Sebanyak 5 mL larutan sisa elektrolisis ditambah 10 mL dietil eter kemudian diekstraksi. Filtrat yang diperoleh dianalisis dengan menggunakan *GC-MS*. Data riset menunjukkan bahwa larutan zat warna *Remazol black B* dapat didekolorisasi dengan metode elektrolisis menggunakan elektroda  $PbO_2/Pb$  dan  $PbO_2/karbon$ . Sistem  $PbO_2/Pb$  memberikan hasil yang lebih efektif dalam proses elektrodestruksi zat warna *Remazol black B* dibandingkan sistem  $PbO_2/karbon$ . Pada temperatur kamar, elektrodecolorisasi *Remazol black B* menggunakan anoda  $PbO_2/Pb$  mencapai 100% menjadi  $CO_2$ ,  $H_2O$  dan/atau senyawa karbon rantai pendek dan tidak mempunyai gugus kromofor (pemberi warna), sedangkan elektrodecolorisasi menggunakan  $PbO_2/karbon$  telah mendekolorisasi zat warna dengan sempurna dan menyisakan senyawa yang bercincin benzena yang dapat dihilangkan dengan baik dengan penambahan waktu elektrolisis

## 1. Pendahuluan

Industri batik sebagai salah satu bidang pengembangan industri dalam negeri telah cukup berkembang. Terlepas dari peranannya sebagai komoditi ekspor yang diandalkan, industri ini telah menimbulkan masalah yang serius bagi lingkungan terkait dengan penggunaan zat warna dalam produksi dan turut terbuang bersama air limbah sisa proses. Pada beberapa daerah pusat produksi batik telah diupayakan adanya pengolahan limbah yang dihasilkan secara terpadu untuk mengatasi dan mencegah perairan yang berwarna dan parameter lingkungan yang lebih baik. Namun jumlah keluaran limbah jauh lebih besar dibanding kapasitas pengolahan, sehingga masalah limbah berwarna masih menjadi yang perlu penanganan lanjut.

Secara umum pengolahan limbah cair industri dimaksudkan untuk mengurangi tingkat polutan organik, logam berat, padatan tersuspensi dan warna sebelum dibuang ke badan air. Teknologi pengolahan limbah cair baik secara biologi, kimia, fisika, maupun kombinasi ketiga proses tersebut diperkirakan dapat digunakan untuk mengolah limbah cair industri batik. Teknik tersebut telah banyak diteliti dan diaplikasikan pada limbah-limbah industri tekstil di berbagai negara yang menggunakan zat warna sintetik maupun alami pada proses pewarnaan.

Zat warna merupakan senyawa organik yang mengandung gugus kromofor terkonjugasi. Suatu golongan zat warna— zat warna reaktif, merupakan zat warna yang banyak digunakan untuk pewarnaan tekstil, contohnya *remazol brilliant orange 3R*, *remazol golden yellow*, *remazol red*, dan *Remazol black B*. Zat warna tersebut sering digunakan untuk proses pewarnaan batik baik dalam skala industri besar maupun *home industry* [1]. Zat warna reaktif sangat larut dalam air dan tidak terdegradasi pada kondisi aerob biasa [2]. *Remazol black*

*B* merupakan salah satu zat warna yang banyak digunakan dalam industri tekstil termasuk batik [3].

Pengolahan limbah cair mengandung zat warna dengan menggunakan proses biologi banyak diterapkan untuk menurunkan kandungan senyawa organik dari limbah cair industri dengan efisiensi yang kurang memuaskan karena zat warna tertentu bersifat tahan terhadap degradasi biologi [4].

Secara kimia metode penghilangan warna dan senyawa organik dilakukan dengan menggunakan koagulan, adsorpsi dengan menggunakan *clinoptilolite* sebagai adsorben [5] dan penambahan reaktan tertentu. Penghilangan warna menggunakan koagulan akan menghasilkan lumpur (*sludge*) dalam jumlah yang relatif besar setelah proses. Lumpur yang dihasilkan ini akhirnya akan menimbulkan masalah baru bagi unit pengolahan limbah. Menurut Peraturan Pemerintah No. 19 tahun 1994, lumpur yang dihasilkan industri tekstil diklasifikasikan sebagai limbah B3 (bahan berbahaya dan beracun), sehingga membutuhkan pengolahan limbah lebih lanjut terhadap lumpur yang terbentuk. Adanya penanganan lanjutan ini akan menaikkan biaya operasional unit pengolahan limbah.

Alternatif pengolahan limbah yang mengandung zat warna dengan pendekatan elektrolisis (elektrodestruksi) telah ditawarkan oleh [6, 7]. Pengolahan limbah organik secara elektrokimia juga telah dilakukan oleh Martono dan Aisyah [8]. Pada alternatif tersebut dipaparkan bahwa metode elektrolisis memiliki keunggulan dari segi keselamatan, efektivitas, keramahan lingkungan dibandingkan dengan menggunakan teknik yang lain, karena proses elektrolisis berlangsung pada suhu rendah, tidak ada gas buangan yang beracun, dan tidak menimbulkan limbah sekunder serta metode ini lebih ekonomis dan efektif untuk pengolahan limbah. Penghilangan zat warna dengan metode oksidasi kimia

juga telah dilakukan oleh [9-11]. Semua penelitian tersebut menggunakan metode elektrokimia dalam proses dekolorisasi zat warna dengan hasil memuaskan dan ramah bagi lingkungan.

Salah satu faktor yang mendukung keberhasilan proses elektrolisis adalah elektroda yang digunakan. Ketidaksediaan suatu kutub positif (anoda) ideal dengan stabilitas dan aktifitas sempurna merupakan suatu masalah yang kritis dalam proses elektrodestruksi air limbah yang mengandung zat organik. Penggunaan PbO<sub>2</sub> sebagai anoda dapat menjawab semua masalah di atas, sebagaimana [12] telah menggunakan PbO<sub>2</sub> sebagai anoda untuk dekolorisasi larutan zat warna. PbO<sub>2</sub> sebagai elektroda juga digunakan oleh [13] pada proses penentuan kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*) dalam limbah. Berdasar fakta yang telah disebutkan di atas menunjukkan bahwa timbal dioksida dapat digunakan sebagai elektroda dalam proses elektrodestruksi/elektrodekolorisasi limbah zat warna.

Sebagai metode alternatif yang baik pada proses elektrodestruksi atau elektrodekolorisasi dalam pengolahan limbah masih belum menemukan ketuntasan kajian hingga larutan terakhir setelah dilakukan elektrolisis. Peneliti-peneliti terdahulu hanya mengisyaratkan adanya produk umum setelah perlakuan, yaitu H<sub>2</sub>O dan CO<sub>2</sub> dan produk lain [8, 13] dengan landasan teoritis mereka. Dengan memperhatikan tingkat kemajuan kajian permasalahan lingkungan dan penguatan terhadap metode yang digunakan dalam penelitian, maka diperlukan analisis lanjutan terhadap produk elektrodestruksi zat warna *Remazol black B*. Analisis lanjutan terhadap sampel setelah elektrodestruksi dapat dilakukan dengan spektrometri *UV-Vis* dan *GC-MS*. Dengan analisis tersebut diharapkan diperoleh informasi tingkat bahaya limbah cair zat warna yang telah diberi perlakuan elektrodekolorisasi dan rekomendasi tindakan lanjutan atas masalah-masalah perairan tercemar zat warna.

## 2. Metode Penelitian

### Alat dan Bahan

**Alat.** Peralatan yang digunakan dalam riset ini meliputi labu takar 100 mL dan 50 mL (HERMA), gelas ukur 10 mL dan 50 mL (HERMA), pengaduk, erlenmeyer 250 mL (HERMA), gelas beker 250 mL (HERMA), timbangan elektrik (KERN), elektroanaliser, spektrometer *UV-Visible*, seperangkat alat ekstraksi, *GC-MS* Shimadzu.

**Bahan.** Bahan-bahan yang diperlukan meliputi lempeng PbO<sub>2</sub>, Pb, batang karbon larutan zat warna *Remazol black B*, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> p.a merck, dietil eter p.a merck, dan akuades.

### Prosedur Kerja

**Elektrodekolorisasi sampel.** Larutan 50 mL sampel ditambah 0,71 gram Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dielektrolisis pada potensial tetap yang telah diperoleh pada [6, 7] yaitu 5,5 volt.

Proses elektrolisis dilakukan selama 90 menit kemudian hasil elektrolisis tersebut dianalisis.

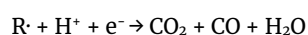
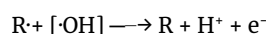
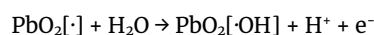
**Metode analisis.** Analisis kualitatif meliputi pengamatan warna larutan sampel sebelum elektrolisis dan sesudah elektrolisis, dan pengukuran absorbansi dengan Spektrometer *UV-Vis*. Analisis kuantitatif dilakukan dengan mengolah data pengukuran absorbansi pada panjang gelombang maksimum dengan spektrofotometer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

**Analisis GC-MS.** Sebanyak 5 mL larutan produk elektrolisis ditambah 10 mL dietil eter kemudian diekstraksi. Filtrat yang diperoleh dianalisis dengan menggunakan *GC-MS*.

## 3. Hasil dan Pembahasan

Kajian ini dilakukan untuk memperoleh informasi lebih dekat tentang spesies-spesies pascaperlakuan elektrolisis untuk mendestruksi *Remazol black B*, zat warna yang terkandung di dalam limbah batik. Elektrolisis larutan *Remazol black B* dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama yaitu elektrodestruksi larutan zat warna *Remazol black B* menggunakan elektroda PbO<sub>2</sub>/Pb, PbO<sub>2</sub>/karbon dengan penambahan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sebagai elektrolit. Tahap kedua adalah analisis terhadap larutan setelah elektrolisis dengan spektrometer *UV-Visible* dan kromatografi gas-spektrometri massa, *GC-MS*.

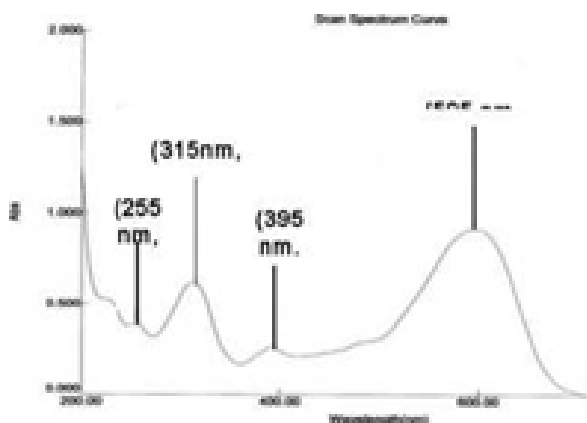
Elektrodestruksi dilakukan dengan elektrolisis menggunakan anoda PbO<sub>2</sub> selama 90 menit, pada tegangan 5,5 volt, sebagaimana telah dilakukan pada penelitian sebelumnya [14]. Setelah proses elektrolisis, akan terjadi penurunan intensitas warna yang semula berwarna biru pekat menjadi tak berwarna. Penurunan intensitas warna setelah elektrolisis disebabkan oleh destruksi struktur zat warna. Keberadaan PbO<sub>2</sub> dan pelarut dalam sampel menghasilkan elektron lebih banyak yang terlibat dalam reaksi sehingga proses dekolorisasi sampel berlangsung cepat. Efektifitas penggunaan PbO<sub>2</sub> diperkirakan berhubungan dengan kemampuan PbO<sub>2</sub> memproduksi radikal hidroksil yang dihasilkan dari pemecahan air. Radikal hidroksil tersebut mampu mengoksidasi sampel *Remazol black B* (dalam skema disimbolkan R) dan menghasilkan suatu radikal baru dengan senyawa tersebut sehingga menyebabkan suatu reaksi berantai yang mendegradasi senyawa tersebut, sebagaimana diilustrasikan dengan skema berikut [8].



Jika dibandingkan dengan fakta teoritik dan empirik, skema terakhir lebih cenderung mengarah pada produk oksidasi sempurna, CO<sub>2</sub>. Inferensi ini dianalogikan pada TiO<sub>2</sub>, suatu fenomena fotokatalisis material yang dilaporkan oleh Gunazuardi [15]. Dengan proses yang analog pada TiO<sub>2</sub> pemakaian PbO<sub>2</sub> memiliki karakter yang serupa sebagaimana dikaji oleh Li, dkk., (2006). Pada

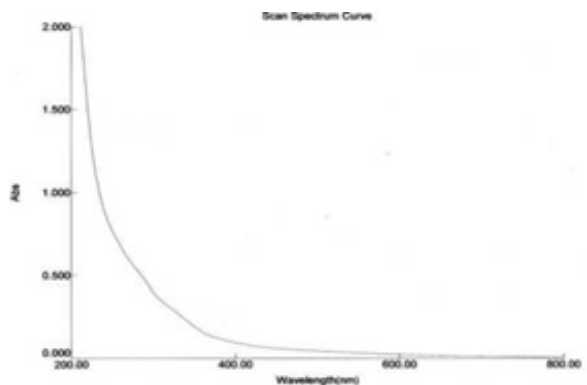
fenomena fotokatalis, produksi radikal .OH menghasilkan energi yang cukup besar (2,78 eV) yang mampu mengoksidasi kebanyakan senyawa organik secara sempurna. Sehingga inferensi reaksi sempurna pada destruksi zat warna ini dipahami dengan baik dan akan diuji pada analisis GC-MS berikutnya.

Spektra UV-Vis untuk Remazol black B seperti disajikan gambar 1 menunjukkan adanya gugus kromofor pada senyawa tersebut. Pada spektra terlihat adanya puncak serapan pada panjang gelombang 255 nm yang merupakan karakteristik benzena terkonjugasi. Konjugasi sistem benzena didukung oleh adanya puncak serapan pada 315 nm dan 395 nm, sedangkan puncak pada panjang gelombang 595 nm disebabkan oleh gugus kromofor (pemberi warna) senyawa tersebut.



Gambar 1. Spektra UV-Vis Remazol black B

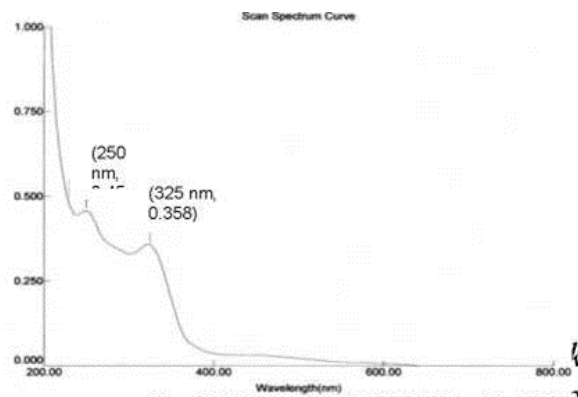
Larutan sisa elektrolisis dengan elektroda PbO<sub>2</sub>/Pb memiliki spektra UV- Vis yang memperlihatkan bahwa tidak ada puncak baru atau absorbansi sampel pada rentang panjang gelombang 200-800 nm sebagaimana disajikan pada gambar 2, dan disimpulkan bahwa sampel Remazol black B telah terdegradasi sempurna menjadi senyawa karbon rantai pendek dan tidak mempunyai gugus kromofor (pemberi warna).



Gambar 2. Spektra UV-Vis Remazol black B setelah elektrolisis dengan elektroda PbO<sub>2</sub>/Pb selama 90 menit pada potensial 5,5 V

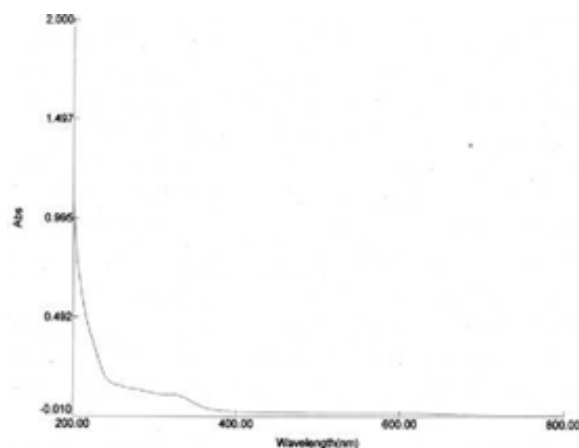
Hasil analisis UV-Vis terhadap larutan sisa elektrolisis dengan elektroda PbO<sub>2</sub>/karbon menunjukkan puncak yang menunjukkan adanya benzena tidak terkonjugasi dengan ikatan rangkap lainnya. Hal tersebut

membuktikan bahwa elektrodetruksi Remazol black B menggunakan elektroda PbO<sub>2</sub>/karbon telah berlangsung dan menghilangkan warna secara sempurna namun masih menyisakan suatu senyawa yang memiliki cincin benzena pada panjang gelombang 250 nm.



Gambar 3. Spektra UV-Vis Remazol black B setelah elektrolisis dengan elektroda PbO<sub>2</sub>/karbon selama 90 menit pada potensial 5,5 V

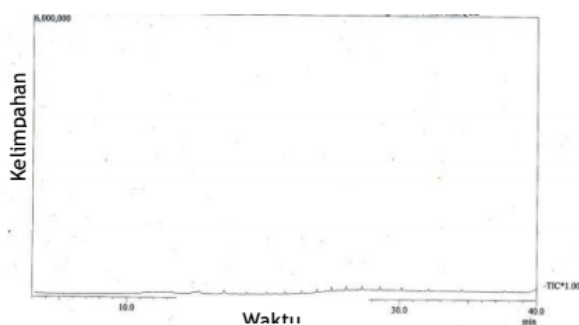
Gambar 2 dan 3 menunjukkan bahwa elektrodetruksi larutan Remazol black B menggunakan elektroda PbO<sub>2</sub>/Pb menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan elektrodetruksi larutan Remazol black B menggunakan elektroda PbO<sub>2</sub>/karbon. Hal ini disebabkan karena bahan Pb memiliki karakter material elektroda yang lebih baik daripada karbon sehingga Pb menghasilkan sistem yang optimal untuk mendegradasi zat warna pada proses elektrolisis selama 90 menit. Proses elektrodetruksi dengan katoda karbon membutuhkan waktu yang lebih lama, sehingga dengan waktu yang sama proses elektrodetruksi menggunakan elektroda PbO<sub>2</sub>/karbon masih menyisakan senyawa karbon rantai pendek. Kristianto [14] telah mengelektrolisis larutan Remazol black B menggunakan PbO- 2/karbon selama 120 menit telah mendegradasi zat warna menjadi senyawa yang lebih sederhana (rantai C pendek) dan tidak mempunyai gugus kromofor sebagaimana diindikasikan pada spektra UV-Vis pada gambar 4.



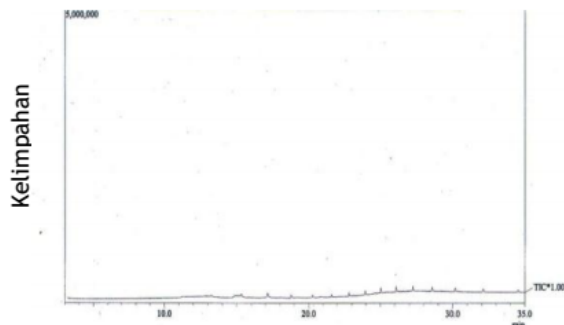
Gambar 4. Spektra UV-Vis Remazol black B setelah elektrolisis dengan elektroda PbO<sub>2</sub>/karbon selama 120 menit

Gambar di atas memperlihatkan bahwa tidak ada puncak serapan pada daerah panjang gelombang 200–800 nm lagi, disimpulkan bahwa sampel *Remazol black B* telah terdegradasi menjadi senyawa yang lebih sederhana (rantai C pendek) dan tidak mempunyai gugus kromofor. Untuk mengkonfirmasi bahasan di atas, maka dilakukan analisis terhadap produk elektrodestruksi. Sebelum analisis GC-MS, produk diekstraksi menggunakan dietil eter untuk memisahkan senyawa organik dari lapisan air. Lapisan organik yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan GC-MS.

Hasil analisis larutan setelah elektrodestruksi dengan menggunakan GC-MS dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 5. Spektra GC-MS produk elektrodestruksi dengan elektroda  $PbO_2/Pb$  yang terekstrak pada fase dietil eter



Gambar 6. Spektra GC-MS produk elektrodestruksi dengan elektroda  $PbO_2$ /karbon yang terekstrak pada fase dietil eter

Dari hasil analisis, tidak ditemukan adanya puncak-puncak kromatogram. Hal ini diperkirakan senyawa-senyawa setelah elektrodestruksi merupakan senyawa dalam fraksi pendek yang tidak terdeteksi dalam sistem GC-MS, berhubungan dengan titik didih terlalu kecil atau ada kemungkinan senyawa-senyawa itu telah hilang selama proses elektrolisis. Dengan demikian semakin jelas bahwa produk elektrodestruksi *Remazol black B* merupakan senyawa dengan struktur rantai yang lebih pendek dan diharapkan lebih aman terhadap lingkungan, sebagaimana dijelaskan pada hasil penelitian Martono dan Aisyah [8] sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan  $PbO_2$  sebagai anoda pada proses elektrodestruksi memberikan hasil yang efektif untuk

kasus-kasus penanganan limbah zat warna *Remazol black B*.

#### 4. Kesimpulan

Larutan zat warna *Remazol black B* dapat didekolorisasi dengan metode elektrolisis menggunakan elektroda  $PbO_2/Pb$  dan  $PbO_2$ /karbon. Sistem  $PbO_2/Pb$  memberikan hasil yang lebih efektif dalam proses elektrodestruksi zat warna *Remazol black B* dibandingkan sistem  $PbO_2$ /karbon. Pada temperatur kamar, elektrodecolorisasi sampel *Remazol black B* menggunakan anoda  $PbO_2/Pb$  telah berlangsung 100% menjadi  $CO_2$ ,  $H_2O$  dan/atau senyawa karbon rantai pendek dan tidak mempunyai gugus kromofor (pemberi warna), sedangkan elektrodecolorisasi menggunakan  $PbO_2$ /karbon telah mendekolorisasi zat warna dengan sempurna dan menyisakan senyawa yang bercincin benzena yang dapat dihilangkan dengan baik dengan penambahan waktu elektrolisis

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] M Catanho, GRP Malpass, A de JMotheo, Avaliação dos tratamentos eletroquímico e fotoeletroquímico na degradação de corantes têxteis, *Química Nova*, 29 (2006) 983.
- [2] Spyros G. Pavlostathis, Wayne C. Tincher, Biological Decolorization and Reuse of Spent Reactive Dyebaths, in: Annual Report FY, Georgia Institute of Technology, Atlanta, 2001.
- [3] Manaskorn Rachakornkij, Sirawan Ruangchuay, Sumate Teachakulwiroj, Removal of reactive dyes from aqueous solution using bagasse fly ash, *Songklanakarin Journal of Science and Technology; Environmental & Hazardous Management*, 26 (2004) 13-24.
- [4] Renita Manurung, Rosdanelli Hasibuan, Perombakan Zat Warna Azo Reaktif Secara Anaerob-Aerob, in, Universitas Sumatera Utara, Medan, 2004.
- [5] Yusuf Bahadir Duygulu, Decolorization of Synthetic Dye Solutions by Using Basaltic Tephra and Clinoptilolite, *Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Ankara*, 121S, (2004).
- [6] Didik Setiyo Widodo Widodo, Gunawan, Wahyu Adi Kristanto, Elektroremediasi Perairan Tercemar: Penggunaan Grafit pada Elektrodecolorisasi Larutan *Remazol Black B*, *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 11 (2008) 34-37.
- [7] Asty Dwi Nirmasari, Didik Setiyo Widodo, Abdul Haris, Pengaruh pH terhadap Elektrodecolorisasi Zat Warna *Remazol Black B* dengan Elektroda  $PbO_2$ , in: *Kimia*, Universitas Diponegoro, Semarang, 2008.
- [8] Herlan Martono, Aisyah Aisyah, Studi Pengolahan Limbah Organik Secara Elektrokimia, in, Pusat Pengembangan Pengelolaan Limbah Radioaktif - BATAN, Jakarta, 2000.
- [9] Jessica Corinne Edwards, Investigation of color removal by chemical oxidation for three reactive textile dyes and spent textile dye wastewater, in: *Environmental Engineering*, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, 2000.

- [10] Albert Roessler, David Crettenand, Otmar Dossenbach, Walter Marte, Paul Rys, Direct electrochemical reduction of indigo, *Electrochimica Acta*, 47 (2002) 1989-1995.
- [11] Patricia A Carneiro, Cecílio S Fugivara, Raquel FP Nogueira, Nivaldo Boralle, Maria VB Zanon, A Comparative study on chemical and electrochemical degradation of Reactive Blue 4 dye, *Portugaliae Electrochimica Acta*, 21 (2003) 49-67.
- [12] Yuehai Song, Gang Wei, Rongchun Xiong, Structure and properties of PbO<sub>2</sub>-CeO<sub>2</sub> anodes on stainless steel, *Electrochimica Acta*, 52 (2007) 7022-7027.
- [13] Jiaqing Li, Lei Zheng, Luoping Li, Guoyue Shi, Yuezhong Xian, Litong Jin, 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 (2006) 2251-2256.
- [14] Wahyu Adi Kristianto, Penggunaan Timbal Dioksida dan Grafit untuk Elektrokolorisasi Zat Warna Remazol Black B Penyusun Limbah Cair Batik, in: *Kimia, Universitas Diponegoro, Semarang, 2008.*
- [15] Jarnuzi Gunlazuardi, Fotokatalisis pada Permukaan TiO<sub>2</sub>: Aspek Fundamental dan Aplikasinya, in: *Seminar Nasional Kimia Fisika II, 2001.*