

**PEMANFAATAN LIMBAH ELEKTRODA AKI PADA PROSES
ELEKTRODEKOLORISASI LARUTAN ZAT WARNA**

**Lutfia Apipah, Didik Setyo Widodo, M.Si., Dra. Rum Hastuti, M.Si.
Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Matematika
Universitas Diponegoro
Semarang**

Abstrak : Limbah industri menyebabkan penurunan kualitas air, salah satunya limbah cair dari hasil pewarnaan atau pencelupan produksi batik yang mengandung zat warna indigosol dan *remazol black B* yang dibuang ke lingkungan perairan secara langsung, sementara lingkungan mempunyai kemampuan terbatas untuk mendegradasi zat warna tersebut. Metode 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 yang digunakan. Penelitian ini bertujuan untuk mendekolorisasi larutan zat warna indigosol dan *remazol black B*, dengan memanfaatkan elektroda PbO_2/Pb dari aki bekas dan menurunkan angka *Chemical Oxygen Demand* (COD). Pada penelitian ini elektroda yang digunakan adalah PbO_2/Pb yang diperoleh dari limbah elektroda aki. Metode tersebut dilakukan dengan mengelektrolisis sampel zat warna pada potensial 8 volt dengan elektroda PbO_2/Pb aki bekas dan pengaturan waktu elektrolisis selama 150 menit. Hasil akhir elektrolisis di analisis secara kualitatif dan kuantitatif dengan Spektrofotometer *UV-VIS* dan analisis *Chemical Oxygen Demand* (COD). Hasil penelitian menunjukkan bahwa memanfaatkan elektroda PbO_2/Pb dari aki bekas dapat mengurangi intensitas warna, dengan persentase dekolorisasi larutan zat warna indigosol dan *remazol black B* masing-masing sebesar 98,02% dan 99,42%, dan menurunkan angka COD dengan persentase penurunan masing-masing sebesar 28,47% dan 51,47%.

Abstract : Industrial waste had caused some reduction of water quality, one of them is liquid waste of coloring or dyeing batik production which contains indigosol dye and *remazol black B* that being dumped to water directly while the environment has limited capability to degradate that dye. Electrolysis method had been chosen as one alternative to cope with dye waste, because its benefits compare to other methods which are effective and simple. One of supporting factor of this method is the electrode being used. This research is destined to decolorized indigosol and *remazol black B* dye, using PbO_2/Pb from used battery as electrode and reducing *Chemical Oxygen Demand* (COD) number. This research using PbO_2/Pb as electrode obtained from battery electrodes waste. This method electrolyze dye sample on 8 volt using PbO_2/Pb electrode obtained from used battery and conducted in 150 minutes. Final result of the electrolysis will be qualitatively and quantitatively analyze using *UV-VIS* spectrophotometer, and analyze *Chemical Oxygen Demand* (COD). The research result indicated that the use of PbO_2/Pb electrode from used battery can reduce color intensity, respectively by 98.02% and 99.42% each for indigosol and *remazol black B* dye, and could reduce COD number respectively to 28.47% and 51.47% for each dye.

I. PENDAHULUAN

Sejalan dengan perkembangan industri tekstil pada saat ini, maka limbah yang dihasilkan semakin banyak dan semakin kompleks, diantaranya limbah cair zat warna pada proses pewarnaan tekstil, yang menunjukkan tingkat pencemaran area tertentu. Pembuangan air limbah ke lingkungan perairan dapat mengakibatkan masalah pencemaran lingkungan (Alerts dan Santika, 1984).

Limbah cair merupakan masalah utama dalam lingkungan industri tekstil yang memberikan pengaruh paling luas, karena karakteristik fisik maupun karakteristik kimia perairan sehingga memberikan dampak negatif terhadap perairan. Salah satu limbah cair produksi batik banyak bersumber dari proses pencelupan dan menyebabkan pencemaran lingkungan jika dibuang ke lingkungan perairan secara langsung tanpa pengolahan terlebih dahulu, sementara lingkungan mempunyai kemampuan terbatas untuk mendegradasi zat warna tersebut.

Menurut Karyana (1998), zat warna yang sering digunakan untuk proses pewarnaan tekstil dalam industri besar maupun *home industry* adalah zat warna golongan reaktif, contoh zat warna reaktif yang sering digunakan antara lain *remazol brilliant blue*, *remazol golden yellow*, *remazol red*, dan *remazol black B*. Sekitar 60-70% zat warna yang digunakan pada industri tekstil adalah zat warna golongan azo yaitu zat warna yang mengandung ikatan rangkap N=N yang terikat pada cincin aromatik (Kansal dkk., 2009). Senyawa azo apabila terlalu lama berada di lingkungan akan menjadi sumber penyakit karena bersifat karsinogen dan mutagen. Oleh karena itu,

diperlukan penanganan yang lebih efektif untuk mendegradasi limbah tersebut agar benar-benar aman apabila dibuang ke perairan (Gumus dan Akbal., 2010).

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 dan Amin, 2007). Pada penelitian terdahulu metode elektrolisis (elektrodekolorisasi) dipilih sebagai salah satu alternatif penanganan limbah zat warna. Keuntungan metode ini dibandingkan dengan metode lain adalah efektif dan sederhana. Salah satu faktor yang mendukung keberhasilan proses elektrolisis adalah elektroda yang digunakan (Kong dkk., 2007). Timbal oksida (PbO_2) biasa digunakan sebagai elektroda oksida logam, mempunyai beberapa kelebihan yaitu sifat penghantar listrik yang baik, semikonduktif, stabil, tahan terhadap korosi, *inert* dan area permukaan yang relatif luas (Sires dkk., 2010) (Peng dkk., 2007) (Han dkk., 2011).

Pada penelitian ini, pemanfaatan elektroda aki bekas PbO_2/Pb digunakan sebagai elektroda pada elektrodekolorisasi larutan zat warna. Pemilihan bahan elektroda ini didasarkan pada karakter material PbO_2 yang dapat berfungsi sebagai material semikonduktif yang pada perlakuan elektrolisis menghasilkan radikal $\cdot OH$ pada permukaan elektroda yang berperan dalam proses oksidasi substrat-substrat organik, sebagaimana telah diteliti oleh Li dkk., (2006). Penelitian-penelitian terdahulu juga menunjukkan bahwa pemilihan PbO_2 efektif untuk mendekolorisasi zat warna dan menurunkan angka COD, karena

konsentrasi COD yang tinggi dalam air menunjukkan adanya bahan pencemar organik dalam jumlah banyak, sehingga sangat perlu untuk dianalisis.

COD merupakan salah satu parameter penting pencemaran dalam air yang disebabkan oleh limbah organik, keberadaan COD di dalam lingkungan sangat ditentukan oleh limbah organik, baik yang berasal dari limbah rumah hingga maupun industri, secara umum konsentrasi COD yang tinggi dalam air

II.1 Bahan dan Alat

II.1.1 Bahan

Akuades, Na_2SO_4 serbuk p.a, H_2SO_4 p.a, Elektroda aki bekas PbO_2/Pb , Indigosol, *Remazol black B*

II.1.2 Alat

Labu takar 50 mL dan 1000 mL, Gelas ukur 10 mL, Batang pengaduk, Corong gelas, Erlenmeyer 250 mL, Gelas beker 100 mL dan 250 mL, Pipet tetes, *Elektroanalizer, Furnace*, Kertas saring, Neraca analitik, multitester, *magnetic stirrer*, pH meter, *Stopwatch*, Spektrofotometer *UV-Vis* Shimadzu

II.2 Prosedur Penelitian

II.2.1 Pembuatan Larutan Zat Warna

a. Zat Warna Indigosol

Sebanyak 5 mg *indigosol* diencerkan sampai volume 100 ml sehingga diperoleh larutan 50 ppm.

b. Zat Warna Remazol Black B

Sebanyak 5 mg *remazol black B* diencerkan sampai volume 100 ml sehingga diperoleh larutan 50 ppm.

menunjukkan adanya bahan pencemar organik dalam jumlah banyak. Menurut Metcalf dan Eddy (1991), COD adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa organik dalam air, dilakukan untuk menghitung kadar bahan organik yang dapat dioksidasi dengan menggunakan bahan kimia oksidator kuat dalam media asam.

II. METODE PENELITIAN

II.2.2 Penentuan Rentang Potensial Kerja

Larutan sampel sebanyak 150 mL ditambah Na_2SO_4 sebanyak 0,71 gram, kemudian larutan dielektrolisis dengan dengan memvariasikan potensial aplikasi (1-15 volt). Arus yang mengalir dicatat tiap proses elektrolisis berjalan 3 menit. Perlakuan yang sama dilakukan terhadap larutan zat warna lainnya dan blanko, kemudian dari data yang didapat dibuat kurva potensial listrik terhadap arus listrik (E terhadap I) untuk memperoleh daerah kerja elektrolisis dan potensial minimal untuk mengelektrolisis sampel.

II.2.3 Penentuan Waktu Elektrodekolorisasi Minimum

Larutan sampel sebanyak 150 mL ditambah Na_2SO_4 sebanyak 0,71 gram, kemudian larutan dielektrolisis dengan variasi waktu. Setiap 10 menit, absorbansi larutan sampel diukur pada panjang gelombang maksimum masing-masing larutan sampel. Dalam sel elektrolisis, elektroda yang digunakan adalah elektroda aki bekas, pada anoda elektroda PbO_2 sedangkan pada katoda elektroda Pb. Elektrolisis dihentikan ketika absorbansi sampel

mendekati/sama dengan nol atau nilai absorbansi yang diperoleh tetap.

II.2.4 Elektrodekolorisasi Sampel

Sampel limbah zat warna sebanyak 150 mL ditambah Na_2SO_4 sebanyak 0,71 gram, kemudian absorbansi larutan diukur dengan Spektrofotometer *UV-VIS* pada panjang gelombang maksimum, kemudian larutan dielektrolisis pada potensial tetap selama waktu yang telah ditentukan. Dalam sel elektrolisis, elektroda yang digunakan adalah elektroda aki bekas, pada anoda elektroda PbO_2 sedangkan katoda elektroda Pb. Absorbansi larutan hasil elektrolisis diukur kembali dengan Spektrofotometer *UV-VIS*.

II.2.5 Analisis

Pada penelitian ini analisis yang dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif pada seluruh larutan sampel.

1. Analisis Kualitatif

Analisis kualitatif meliputi pengamatan warna larutan sampel sebelum dan sesudah elektrolisis, dan pengukuran absorbansi dengan spektrofotometer *UV-VIS*. Analisis parameter lingkungan meliputi warna, pH larutan dan COD.

2. Analisis Kuantitatif

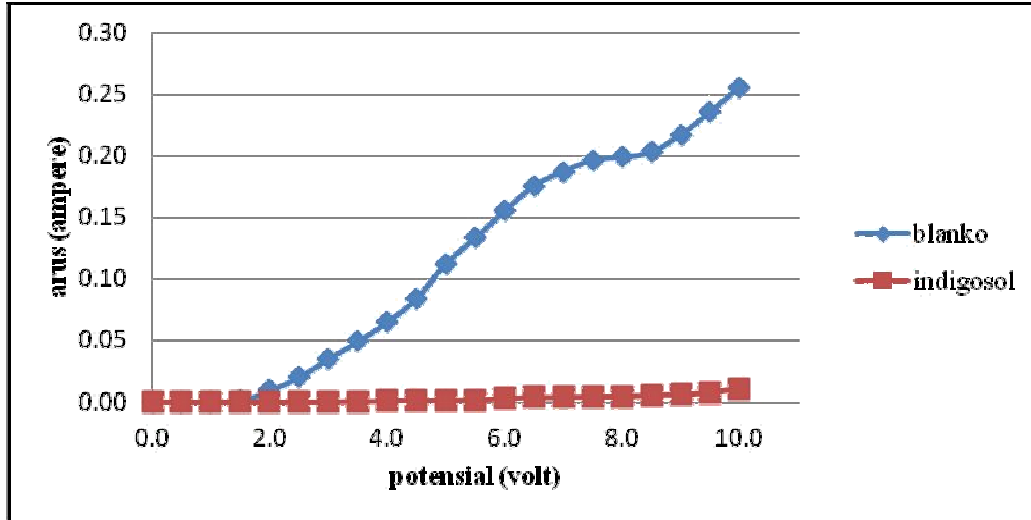
Analisis kuantitatif dekolourisasi dilakukan dengan mengelola data absorbansi pada panjang gelombang maksimum spektrofotometer *UV-VIS* sebelum dan sesudah elektrolisis.

III. PEMBAHASAN

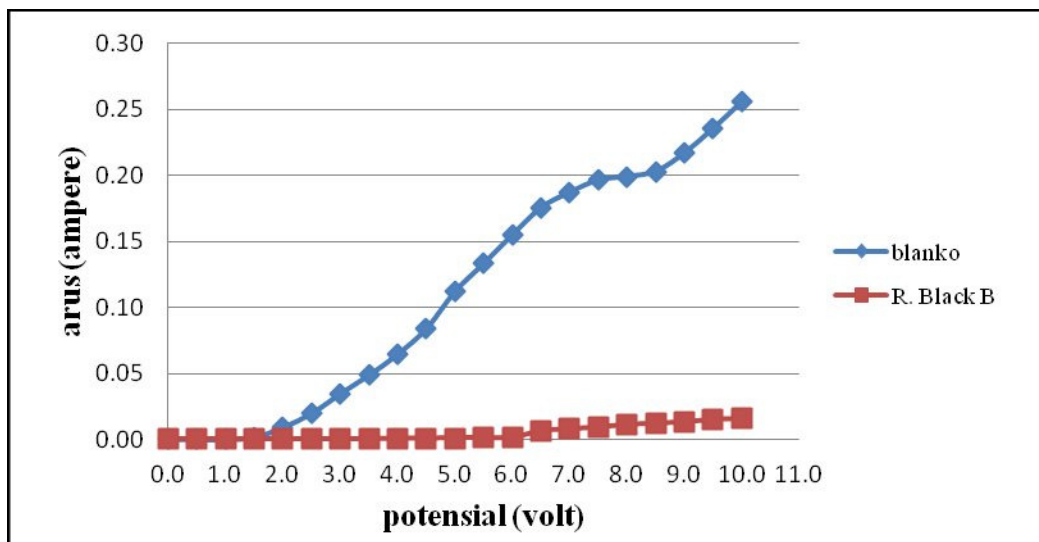
Pada penelitian ini dilakukan metode elektrodekolorisasi terhadap limbah zat warna *artificial* dengan memanfaatkan elektroda PbO_2/Pb dari aki bekas, dengan mengelektrolisis dalam sistem elektroda PbO_2 sebagai anoda dan elektroda Pb sebagai katoda, dan penambahan Na_2SO_4 sebagai elektrolit pendukung.

III.1 Penentuan Potensial Kerja

Elektrolisis dikerjakan dengan memvariasi potensial. Variasi potensial ini dilakukan tiap selang waktu 3 menit. Arus listrik yang mengalir pada sistem elektrolisis tersebut dicatat dan dibuat kurva potensial listrik terhadap arus listrik (E terhadap I) untuk memperoleh daerah kerja elektrolisis dan potensial minimal untuk mengelektrolisis sampel. Kurva ini memberikan informasi tentang daerah elektroaktif sistem pelarut berair pada pH tertentu. Elektrolisis ini dilakukan terhadap larutan blanko yang berisi campuran akuades dan natrium sulfat (Na_2SO_4) sebagai elektrolit pendukung, sedangkan larutan sampel berisi larutan zat warna 50 ppm dan Na_2SO_4 . Rentang potensial yang telah ditentukan menyatakan tingkat energi yang setara dengan energi yang diperlukan untuk proses transfer elektron berlangsung. Rentang potensial ini memberikan batas terbesar pemberian potensial pada tahap elektrolisis selanjutnya.



Gambar III.1 Kurva hubungan antara arus dan potensial larutan blanko dan sampel zat warna indigosol



Gambar III.2 Kurva hubungan antara arus dan potensial larutan blanko dan sampel zat warna *remazol black B*

Rentang potensial kerja diperoleh dengan menentukan titik belok kurva. Rentang potensial kerja yang diperoleh dari kurva masing-masing zat warna di atas adalah *indigosol* 2,88-6,96 volt dan *remazol black B* 2,88-4,19 volt (perhitungan dapat dilihat pada lampiran IV.b). Selanjutnya potensial kerja aplikasi pada penelitian ini ditetapkan sebesar

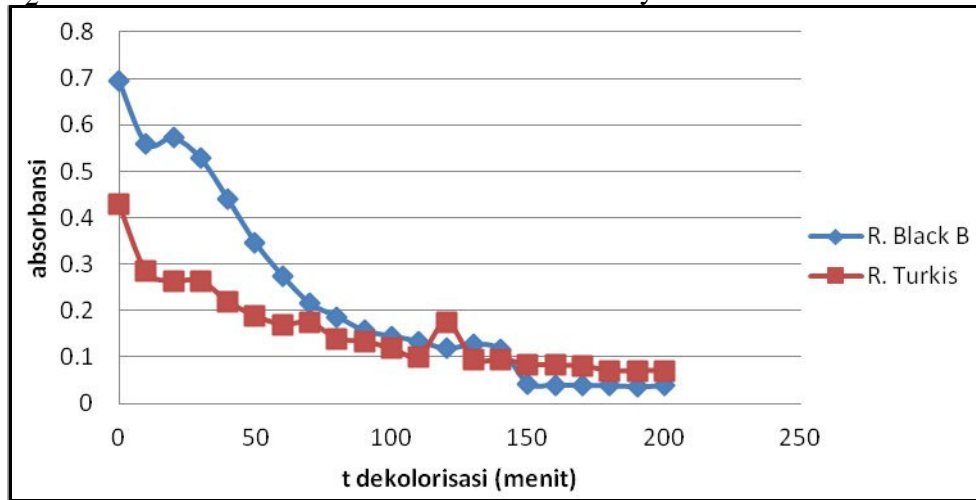
8,0 volt dan dijaga konstan selama proses.

III.3 Penentuan Waktu Elektrodekolorisasi Minimum

Waktu minimal dekolorisasi zat warna ditentukan dengan elektrolisis dengan variasi waktu pada potensial tetap dan absorbansi sebagai parameter yang diukur setiap 10 menit. Elektrolisis dilakukan

dengan menggunakan elektroda PbO_2/Pb dari elektoda aki bekas dan

luas permukaan elektroda tercelup yaitu 3 cm.



Gambar III.3 Kurva hubungan antara waktu dengan absorbansi

Dari gambar III.3 dapat diperoleh informasi bahwa waktu minimal yang dibutuhkan untuk proses dekolorisasi sampel zat warna indigosol dan *remazol black B* yaitu 150 menit.

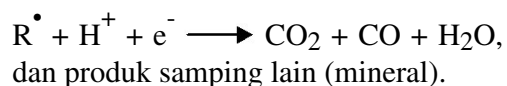
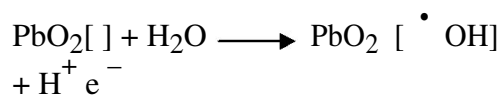
III. 4 Elektrodekolorisasi Sampel Zat Warna pada Potensial dan Waktu Terkontrol

Proses elektrodekolorisasi dilakukan dengan menggunakan elektroda PbO_2/Pb dari aki bekas dan waktu elektrolisis selama 150 menit serta potensial sebesar 8 volt. Potensial kerja yang besar ini bertujuan untuk mempercepat reaksi dan untuk penerapan kepada aplikasi lapangan, contoh suatu limbah industri batik yang sudah mengalir ke perairan telah bercampur dengan berbagai pengotor sehingga membutuhkan potensial yang lebih dibandingkan dengan limbah *artificial* yang dilakukan pada penelitian ini. Sehingga dalam hal ini sistem pelarut berproses dan volume sampel yang dielektrolisis berkurang.

Setelah dilakukan elektrolisis terhadap sampel, maka akan terjadi penurunan intensitas warna.

Larutan sampel yang semula berwarna akan menjadi tidak berwarna (bening), hal ini ditunjukkan pula dengan absorbansi larutan yang mengalami penurunan. Penurunan intensitas warna setelah elektrolisis disebabkan oleh proses destruksi dan reaksi PbO_2 dengan pelarut dan sampel yang menghasilkan elektron, sehingga meningkatkan jumlah elektron yang terlibat dalam reaksi tersebut dan pada akhirnya proses dekolorisasi sample menjadi cepat. Efektivitas penggunaan elektroda PbO_2 disebabkan oleh kemampuan PbO_2 memproduksi radikal hidroksil yang dihasilkan dari pemecahan air oleh anoda. Radikal hidroksil tersebut mampu mengoksidasi sampel zat warna dan menghasilkan suatu radikal baru dengan senyawa tersebut sehingga menyebabkan suatu reaksi berantai yang mendegradasi senyawa tersebut,

sebagaimana ditunjukkan pada skema berikut (Li, dkk., 2006; Martono dan Aisyah, 2000):



R adalah substrat organik yang mengandung C, H, O dan N. Oksigen pada radikal hidroksil akan berikatan dengan substrat organik sehingga substrat organik mengalami oksidasi dan bersifat radikal. Oksidasi substrat organik tersebut kemungkinan menghasilkan produk berupa CO_2 , CO dan H_2O , namun gas CO tidak terbentuk bila reaksi oksidasi sempurna.

Elektroda yang digunakan pada proses elektrolisis ini adalah PbO_2 sebagai anoda dan Pb sebagai katoda dari elektroda aki bekas. Penggunaan PbO_2 sebagai anoda ini karena PbO_2 bersifat stabil dan sangat baik digunakan sebagai elektroda pada proses elektrolisis. Penggunaan Pb sebagai katoda karena Pb bersifat stabil dan bersifat *inert* selama proses transfer elektron.

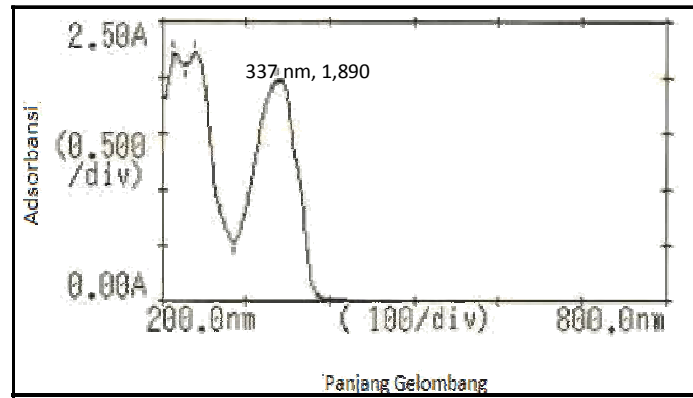
Penggunaan PbO_2 sebagai elektroda dapat memberikan hasil yang efektif. Hal tersebut disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain:

- a. PbO_2 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.

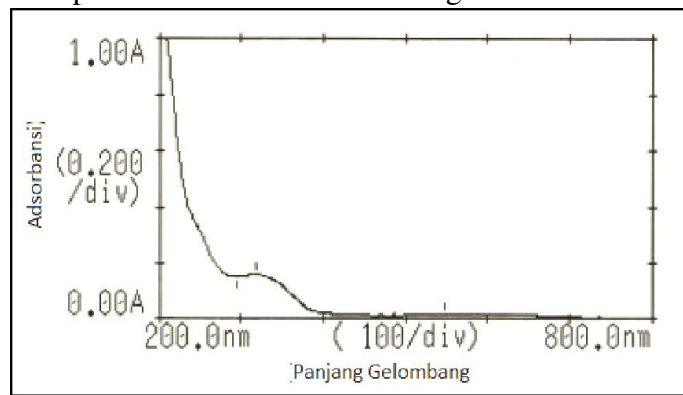
- b. Interaksi PbO_2 tersebut juga menghasilkan elektron sehingga meningkatkan jumlah elektron yang terlibat dalam reaksi. Peningkatan jumlah elektron tersebut sebanding dengan tingkat elektrooksidasi yang dialami oleh sampel.

Hasil persentase dekolorisasi masing-masing sampel zat warna indigosol dan *remazol black B* sebesar 98.02% dan 99,42%. Dilihat dari hasil dekolorisasi maka pemanfaatan elektroda aki bekas bisa digunakan dalam penanganan limbah zat warna.

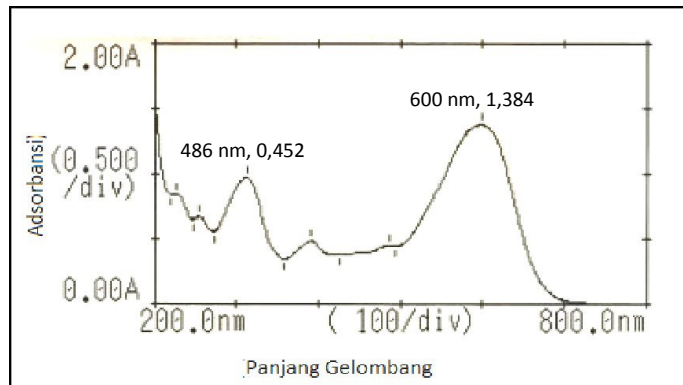
Spektra *UV-Vis* masing-masing zat warna pada gambar spektra menunjukkan suatu spektra yang spesifik yang dipengaruhi oleh adanya gugus kromofor dalam senyawa tersebut. Pada kurva zat warna indigosol terlihat adanya puncak serapan pada 239 nm yang merupakan karakteristik benzena terkonjugasi yang mengalami pergeseran merah akibat pengaruh ikatan rangkap yang terkonjugasi dan pelarut, sedangkan puncak pada 337 nm disebabkan oleh gugus kromofor. Pada kurva zat warna *remazol black B* terlihat adanya puncak serapan pada 255 nm yang merupakan karakteristik benzena terkonjugasi yang mengalami pergeseran merah akibat pengaruh ikatan rangkap yang terkonjugasi dan pelarut. Konjugasi pada sistem benzen didukung oleh adanya puncak serapan pada 313 dan 391 nm, sedangkan puncak pada 600 nm disebabkan oleh gugus kromofor.



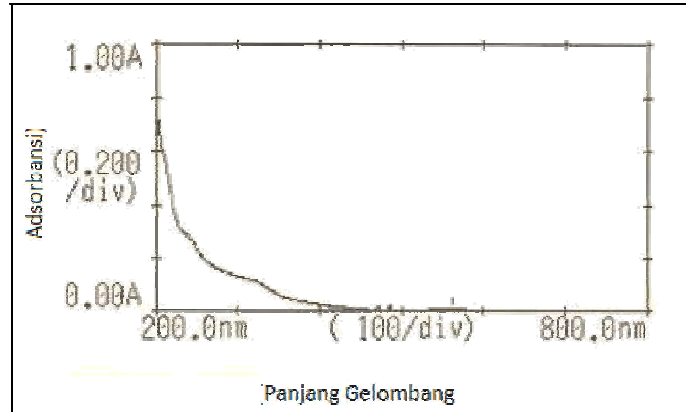
Gambar III.4 Spektra *UV-Vis* zat warna Indigosol sebelum elektrolisis



Gambar III.5 Spektra *UV-Vis* zat warna Indigosol setelah elektrolisis



Gambar III.6 Spektra *UV-Vis* zat warna *R.black B* sebelum elektrolisis



Gambar III.7 Spektra *UV-Vis* zat warna *R. black B* setelah elektrolisis

Hasil analisa spektra *UV-Vis* yang disajikan gambar III.6 dan gambar III.7 menunjukkan bahwa spektra *UV-Vis* zat warna indigosol dan remazol black B tidak terlihat adanya puncak serapan pada panjang gelombang masing-masing yaitu 337 nm dan 600 nm yang merupakan puncak gugus kromofor. Selain itu dapat juga dilihat dari penurunan absorbansi yang mengindikasikan bahwa zat warna tersebut telah terdegradasi menjadi suatu senyawa sederhana yaitu CO_2 dan H_2O .

COD merupakan salah satu parameter penting pencemaran air yang disebabkan oleh limbah organik. Konsentrasi COD yang tinggi dalam air menunjukkan adanya bahan pencemar organik dalam jumlah banyak. COD digunakan untuk menyatakan jumlah oksigen yang digunakan untuk menguraikan bahan organik secara kimiawi menggunakan kalium dikromat berlebih dalam kondisi asam.

Tabel IV.1 Penurunan angka COD Sebelum dan Sesudah Elektrolisis

Parameter	Zat Warna	
	Indigosol	<i>R. Black B</i>
COD Sebelum	28.91	40.49
(mg/L) Sesudah	20.68	19.65

Terlihat pada tabel IV.1 penurunan angka COD pada sampel limbah zat warna indigosol dan *remazol black B*, persentase masing-masing sampel zat warna sebesar 28,47% dan 51,47%.

IV. KESIMPULAN

Pemanfaatan elektroda PbO_2/Pb dari aki bekas dapat mengurangi intensitas warna, dengan persentase dekolorisasi dari larutan zat warna indigosol dan *remazol black B* untuk volume sampel 150 mL selama 150 menit masing-masing sebesar 98,02% dan 99,42%. Selain itu juga dapat menurunkan angka COD

dengan persentase penurunan masing-masing sebesar 28,47% dan 51,47%.

DAFTAR PUSTAKA

Alerts, G., dan Santika, S., 1984, *Metode Penelitian Air*, Usaha Nasional, Surabaya

- Bard, A.J. dan Faulkner, L.R., 1980, *Electrochemical Methods*, John Wiley and Sons, New York
- Buchari, 1990, *Analisis Instrumental: Tinjauan Umum dan Analisis Elektrometri*, FMIPA, ITB Bandung, Hal.113-114
- Fuller, S., 1995, *Rocks and Minerals (Fredly pocket Guide)*, Downly Leadership, London, 136-139
- Gumus, D., dan Akbal, F., 2010, Photocatalytic Degradation of Textile Dye and Wastewater, *Water Air Soil Pollut*, Hal. 117-124
- Gunlazuardi, J., 2001, Fotokatalisis pada Permukaan TiO₂: Aspek Fundamental dan Aplikasinya, *Proseding Semnas Kimia Fisik*, Jakarta
- Han, W., Chen, Y., Wang, L., Sun, X., Li, J., 2011, Mechanism and kinetics of electrochemical degradation of isothiazolin-ones using Ti/SnO₂-Sb/PbO₂ anode, *Desalination*, Vol. 276, Hal. 82-88
- Isminingsih, R., 1973, *Pengantar Kimia Zat Warna*. ITB, Bandung
- Karyana, D., 1998, *Struktur Zat Warna Reaktif dan Daya Celupnya*, Sekolah Tinggi Teknologi Tekstil, Bandung
- Khedr, A. M., Galwa, N. A., Salem, M. F., dan Gaber, M., 2012, Determination of The Efficiency of Different Modified Electrodes in Electrochemical Degradation of Reactive 24 Dyes in Wastewater Dyestuff Solution, *International Journal Electrochemical Science*, Vol. 7, Hal. 8779-8793
- Kong, J., Shi, S., Kong L., Zhua, X., dan Ni, J., 2007, Preparation and Characterization of PbO₂ Electrodes Doped with Different Rare Earth Oxides, *Electrochimica Acta*, Vol. 53, Hal. 2048-2054
- Li, J., Zheng, L., Li, L., Shi, Xiang, Y., dan Jin, L., 2006, Photoelectro-Synergistic Catalysis at Ti/TiO₂/PbO₂ Electrode and Its Application on Determination of Chemical Oxygen Demand, Department of Chemistry, East China Normal University, Shanghai, P. R. China
- Metcalf dan Eddy. 1991. Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse. 3th Edition. New York: MC.Graw-Hill
- Peng, H.Y., Chen, H.Y., Hu, S.J., Nan, J.M., dan Xu, Z.H., 2007, A Study On The Reversibility of Pb(II)/PbO₂ Conversion for The Application of Flow Liquid Battery, *Journal of Power Sources*, Vol. 168, Hal. 105-109
- Rashed, M.N., dan El-Amin, A.A., 2007, Photocatalytic Degradation of Methyl Orange Aqueous TiO₂ under Different Solar Irradiation Sources, *International Journal of Physical Sciences*, Vol. 2 (3), Hal. 73-79
- Sires, L.C.T.J., Ponce-de-Leon, dan Walsh, F.C., 2010, The Characterisation of PbO₂-Coated Electrodes Prepared from Aqueous Methanesulfonic Acid Under Controlled Deposition Conditions, Vol. 55, *Electrochimica Acta*, 2163-217
- Skoog, D. A., dan West, D. M., 1991, *Principles of Instrumental Analysis*, Saunders College Publishing, New York, Hal 325-327