



Decolorization of Remazol Black B Solution by PbO₂ Modified Fenton Method in a Scaled Up Reactor

Muhamad Abduh Hasibuan^{a*}, Didik Setiyo Widodo^a, Retno Ariadi Lusiana^a

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

* Corresponding author: abduhhasibuan@gmail.com

Article Info

Keywords:
 Remazol black B,
 modified Fenton
 method, PbO₂,
 decolorization,
 scaled up sample
 size, COD

Kata Kunci:
 Remazol black B,
 metode Fenton
 dimodifikasi PbO₂,
 PbO₂, dekolorisasi,
 skala ganda, COD

Abstract

Study on decolourization of remazol black B (RBB) solution has been performed in a scale up reactor. As an artificial waste, the dye sample that contains azo groups is difficult to decompose under ordinary environmental conditions so it requires further treatment before discharging to open aquatic system. Many efforts have been reported and further developed toward other azo dyes. One of an outstanding approach is Fenton method. This study modified the method with PbO₂ rather than Fe²⁺. In this modification, the dyestuff was degraded by radical ·OH resulting from reaction between H₂O₂ and Pb²⁺ ion generated from PbO₂. In Preliminary works, decolourization was performed and optimized in lab-scaled. Analysis were conducted and the best condition was applied to decolorize the sample in a scale-up size. Characteristics of the reactor was also determined. Results showed that at optimum condition, 100 mL of 50 ppm remazol black B was decolorized up to 98.82 % within 15 minutes. On scale up to 1 L-sized reactor, within the time highest percentages of remazol black B decolourization was reached 82.02 % by addition of 10 % H₂O₂ and COD decrease to 98.96 %. In the 1 L reactor, RBB sample with concentration of 50 ppm, PbO₂ 1 gram and H₂O₂ 10 % obey the proposed decolourization equation of $D = -0,0011x^2 + 0,5705x - 0,6788$ with x = volume peroxide (in mL), D = percent of decolourization.

Abstrak

Penelitian tentang dekolorisasi larutan limbah artifisial *Remazol black B* (RBB) telah dilakukan dalam reaktor skala ganda. Sampel zat warna yang mengandung gugus azo sulit terurai dalam kondisi lingkungan biasa sehingga membutuhkan perlakuan lebih lanjut sebelum dibuang ke perairan. Berbagai kajian upaya penanganan sampel serupa telah banyak dilakukan dan terus dikembangkan. Salah satu pendekatan yang sangat potensial adalah metode fenton. Pada kajian ini, limbah artifisial zat warna didegradasi oleh radikal ·OH yang dihasilkan dari reaksi antara H₂O₂ dengan ion Pb²⁺. Pada percobaan awal, dekolorisasi dilakukan untuk memperoleh kondisi terbaik dalam dekolorisasi sampel skala laboratorium, menentukan karakteristik reaktor, dan pengujian larutan pascaperlakuan. Kondisi terbaik diaplikasikan untuk mendekolorisasi larutan *remazol black B* pada skala ganda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kondisi optimum dekolorisasi *remazol black B* pada volume 100 mL 50 ppm mencapai 98,82 %, pada skala ganda 82,02 % dengan penurunan COD sebesar 98,96 %. Pada ukuran sampel sampel *remazol black B* 50 ppm 1 L dengan karakteristik reaktor PbO₂ 1 g, H₂O₂ 10 % dekolorisasi memenuhi model $D = -0,0011x^2 + 0,5705x - 0,6788$ dengan x = volume peroksida (mL), D = persentase dekolorisasi

1. Pendahuluan

Masalah lingkungan sebagai dampak industri tekstil semakin meningkat, anytara lain bersumber dari buangan industri batik. Terlepas sebagai komoditi ekspor andalan, industri ini telah menimbulkan masalah yang serius bagi lingkungan terkait dengan penggunaan zat warna dari proses pencelupan dan finishing yang turut terbuang bersama air limbah sisa proses [1]. Salah satunya zat warna yang terkandung dalam limbah cair sisa pewarnaan atau pencelupan produksi batik adalah *Remazol black B* yang dibuang ke lingkungan perairan secara langsung. Di sisi lain lingkungan mempunyai kemampuan terbatas untuk mendegradasi zat warna [2]. Limbah yang mengandung zat warna telah banyak dikaji dan diatasi dengan pendekatan elektrolisis menggunakan elektroda PbO_2 . Metode elektrolisis dengan elektroda PbO_2 berkemampuan menghasilkan radikal hidroksil, $\cdot OH$ [3-6]. Metode lain yang sangat potensial juga, adalah *Fenton Method*. Pada metode Fenton, limbah yang mengandung zat warna terdegradasi oleh radikal $\cdot OH$ yang dihasilkan dari reaksi antara H_2O_2 dengan ion Fe^{2+} dengan bantuan penyuniran [7].

Kemampuan PbO_2 dalam produksi radikal tersebut menginspirasi studi lanjutan apakah Metode Fenton dapat dimodifikasi dengan bahan tersebut. Pada skala kecil, metode fenton mampu mendekolorisasi *Remazol black B* 100 ppm 100 mL hingga 92 % dan penurunan COD sebesar 99,5 % [8]. Potensi yang ditunjukkan pada riset terdahulu mendorong kajian lanjutan pada kondisi sampel yang lebih representatif terhadap kondisi lingkungan.

2. Metode Penelitian

Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan adalah serbuk *Remazol Black B* (Sigma-Aldrich), serbuk timbal oksida (PbO_2 , limbah aki motor), hidrogen peroksida (H_2O_2 , Merck for synthesis), asam sulfat pekat (H_2SO_4 , Merck), NaOH, kertas saring (Whatmann), akuades. Alat-alat yang digunakan: seperangkat peralatan gelas (Pyrex), neraca analitik (Kern), Spektrometri UV-Vis (Shimadzu).

Prosedur Penelitian

Serbuk *remazol black B* (RBB) sebanyak 1 g dilarutkan dalam akuades pada gelas beker dengan pengadukan hingga homogen untuk memperoleh larutan induk RBB 2000 ppm. Larutan ini kemudian diencerkan hingga 50 ppm. Larutan ini disiapkan dalam berbagai harga pH dengan penambahan H_2SO_4 untuk aplikasi perlakuan dekolorisasi. Konsentrasi sampel sebelum dan sesudah perlakuan ditentukan dengan metode kurva kalibrasi dengan spektrometri UV-Vis pada panjang gelombang maksimum 597 nm.

Dekolorisasi pada Variasi pH.

Larutan *Remazol black B* 50 ppm 100 mL berbagai pH ditambah serbuk PbO_2 . Sebanyak 50 mL larutan H_2O_2 10 %

ditambahkan tetes demi tetes selama 15 menit. Capuran didiamkan hingga 30 menit. Setelah penyaringan, absorbansi larutan ditentukan dan konsentrasi sisa dihitung. Grafik absorbansi terhadap pH digunakan untuk melihat kondisi pH optimum.

Dekolorisasi pada Variasi Jumlah Serbuk PbO_2

Empat larutan *Remazol black B* 50 ppm dalam 100 mL pH netral ditambah PbO_2 dengan variasi 1, 2, 3, dan 4 gram. Campuran heterogen tersebut ditetesi H_2O_2 10 % 50 mL selama 15 menit. Setelah 30 menit absorbansi larutan diukur pada panjang gelombang di atas. Grafik konsentrasi sisa terhadap variasi jumlah PbO_2 digunakan untuk menetapkan jumlah PbO_2 efektif dalam dekolorisasi.

Dekolorisasi pada Ukuran Sampel Digandakan

Sampel dengan ukuran 1 L pada 7 reaktor dengan kondisi pH optimum ditambah sejumlah PbO_2 optimum, dan konsentrasi H_2O_2 optimum 10 % (yang diperoleh pada penelitian terdahulu) [9]. Larutan pertama didekolorisasi dengan penambahan H_2O_2 10 % 50 mL tetes demi tetes dan diteruskan dengan pendiaman. Prosedur serupa dilakukan untuk sampel berikutnya dengan volume peroksida 100, 150, 200, 250, 300, dan 350 mL. Sampel dengan persentase dekolorisasi terbaik dipilih untuk analisis COD dan scanning spektra UV-Vis.

3. Hasil dan Diskusi

Dekolorisasi pada Variasi pH dan Dosis PbO_2

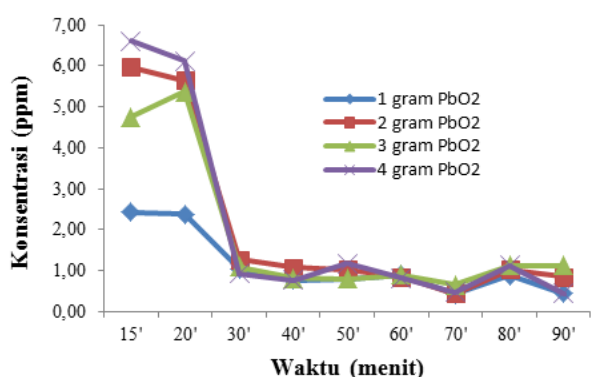
Perlakuan dekolorisasi RBB pada beberapa kondisi pH dilakukan dalam mengamati pengaruh pH terkait produksi radikal $\cdot OH$ dan mekanisme degradasi zat warna RBB oleh radikal $\cdot OH$ dalam larutan. Variasi pH dilakukan dengan pengkondisian larutan dengan asam sulfat dan NaOH. Proses dekolorisasi RBB pada pH netral menunjukkan hasil terbaik dibandingkan pada pH asam dan basa. berikut adalah data pengamatan dekolorisasi pada pH yang divariasi.

Tabel 1. Hasil dekolorisasi *Remazol balck B* pada variasi pH

No	Larutan Sampel	Konsentrasi RBB Awal (ppm)	Konsentrasi RBB Akhir (ppm)	pH Akhir
1	RBB + H_2O_2 pH = 3	50	2,13	6,20
2	RBB + H_2O_2 pH = 7	50	1,35	6,70
3	RBB + H_2O_2 pH = 11	50	5,02	9,50

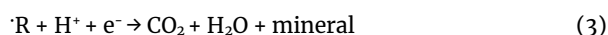
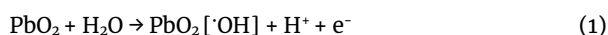
Pada variasi PbO_2 dekolorisasi RBB dilakukan dengan variasi massa serbuk PbO_2 1, 2, 3, dan 4 g. Variasi massa tersebut untuk mengevaluasi sampai massa berapa PbO_2 memunculkan fenomena penurunan kemampuan dekolorisasi karena faktor *radical scavenging* pada ukuran

raktor yang ditetapkan. Berikut hasil penentuan massa PbO₂ dapat dilihat pada gambar 1



Gambar1 Penurunan konsentrasi RBB pada skala laboratorium pascadekolorisasi dalam berbagai waktu dan variasi massa PbO₂

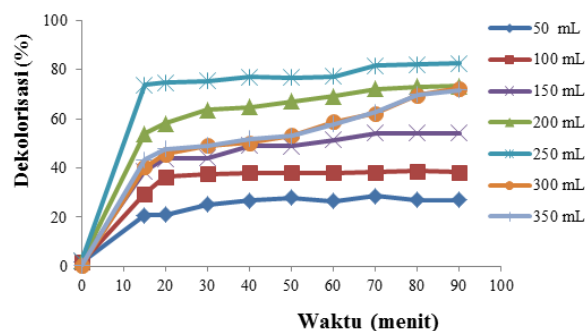
Gambar 1 menunjukkan bahwa massa serbuk PbO₂ yang paling optimum untuk dekolorisasi RBB adalah 1 g, yang tampak reaksi berlangsung paling cepat, ditandai penurunan konsentrasi RBB paling besar pada awal waktu dekolorisasi. Hingga 30 menit pertama, dekolorisasi dengan 1 g PbO₂ menghasilkan persentase dekolorisasi tertinggi dibanding massa yang lain. Massa PbO₂ lebih besar diperkirakan menunjukkan fenomena analog *hydroxy radical scavenging* pada kondisi H₂O₂ berlebih yang menurunkan kinerja radikal dalam reaksi penyerangan terhadap molekul zat warna [9]. Persentase dekolorisasi pada perlakuan 1 g PbO₂ pada skala laboratorium mencapai 98,82 % dalam waktu 30 menit. Penggunaan PbO₂ pada reaksi dengan H₂O₂ menginisiasi pembentukan radikal hidroksil, ·OH untuk menyerang senyawa zat warna (*remazol black B*) dan menghasilkan radikal-radikal baru sehingga reaksi terjadi secara berantai dan cepat. Reaksi yang terjadi digambarkan dengan skema berikut [5, 6, 10]:



dengan R melambangkan substrat organik (zat warna).

Dekolorisasi dan Model Dekolorisasi RBB pada skala Ganda

Dekolorisasi pada skala ganda dilakukan untuk menguji efektifitas dekolorisasi *Remazol black B* menggunakan metode fenton termodifikasi ini pada ukuran reaktor 1 L. Parameter yang diukur pada pengujian ini meliputi absorbansi, spektra UV-Vis, dan nilai COD sebelum dan sesudah perlakuan. Kondisi optimum dekolorisasi skala laboratorium diterapkan pada skala ganda dengan variasi volume H₂O₂, yaitu 50, 100, 150, 200, 250, 300, dan 350 mL. Evaluasi ini sekaligus untuk memperoleh model dekolorisasi pada grafik persentase dekolorisasi pada berbagai volume H₂O₂ 10 %. Hasil pengujian disajikan pada gambar 2.

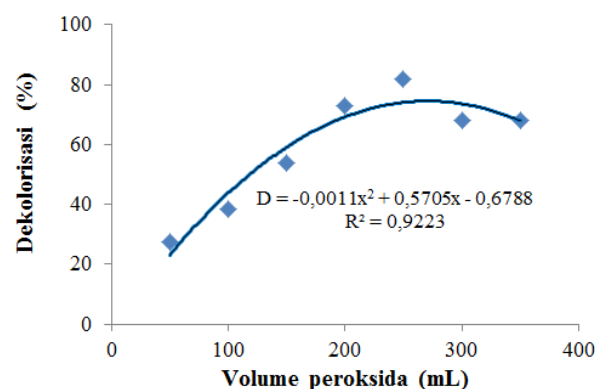


Gambar 2 Grafik persentase dekolorisasi *Remazol black B* pada waktu dan berbagai volume H₂O₂ 10 %

Pada gambar 2 terlihat pengaruh variasi volume H₂O₂ terhadap persentase dekolorisasi. Dekolorisasi terbesar teramati pada penambahan H₂O₂ 250 mL sebesar 82,02 % dan penurunan nilai COD hingga 98,96 % setelah 90 menit. Penurunan nilai COD disebabkan zat warna yang terdecolorisasi akibat reaksi destruktif oleh radikal ·OH. Radikal ·OH yang terbentuk dapat mengoksidasi berbagai jenis polutan seperti pewarna tekstil, limbah farmasi dan polutan organik lainnya dalam waktu yang singkat [11]. Pemakaian peroksida lebih besar 250 mL tidak menunjukkan dekolorisasi yang linear dengan volume—persentase dekolorisasi. Jumlah peroksida berlebih menimbulkan efek antisinerji. Hal ini dapat dijelaskan pada pers. 9, ·OH yang sudah terbentuk dari reaksi hidrogen peroksida (H₂O₂) dapat bereaksi kembali dengan H₂O₂ berlebih membentuk ·O₂H (*hidroperoxy radical*). ·O₂H ini memiliki sifat yang kurang reaktif sehingga tidak dapat bereaksi cepat dengan senyawa organik atau komponen-komponen lain [9, 12].

Gambar 2 di atas dapat disajikan secara berbeda untuk lebih menggambarkan model perubahan dekolorisasi RBB pada pengaruh volume peroksida yang berlaku untuk karakteristik reaktor 1 L, H₂O₂ 10 %, PbO₂ 1 g, sebagaimana diajikan pada gambar 3. Dekolorisasi sampel pada skala ganda yang ditunjukkan pada gambar 3 dengan karakteristik reaktor tersebut diusulkan mengikuti model polinomial, D (D = persentase dekolorisasi dan x volume peroksida 10 %) berikut.

$$D = -0,0011x^2 + 0,5705x - 0,6788 \quad (4)$$

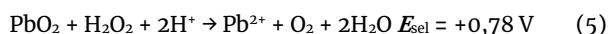


Gambar 3 Grafik pengaruh volume H₂O₂ 10 % terhadap kemampuan dekolorisasi *remazol black B* 50 ppm dalam reaktor 1000 mL

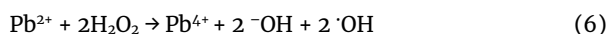
Model matematika ini menginformasikan tingkat kemampuan reaktor yang memiliki karakteristik yang dispesifikasikan di atas dan kebutuhan peroksida dalam mendekolorisasi sampel RBB. Dengan model itu, secara matematik reaktor ini akan mencapai kinerja maksimum pada penggunaan peroksida 259,32 mL, yang mampu mendekolorisasi sampel RBB 50 ppm 1000 mL hingga 73,3 % (sebagaimana dapat dihitung dari model persamaan polinomial tingkat 2 tersebut). Secara implisit kemampuan dekolorisasi ini mampu ditingkatkan dengan merubah karakteristik reaktor, antara lain kriteria dosis PbO_2 dan pH. Variabel ini akan menjadi sudut kajian lanjutan dalam meningkatkan kinerja reaktor.

Dekolorisasi dalam kajian mekanistik

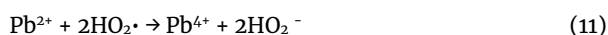
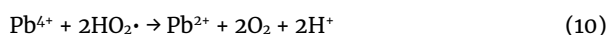
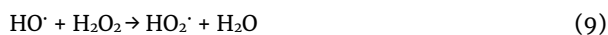
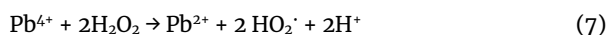
Mekanisme pembentukan radikal pada modifikasi metode Fenton terletak pada material PbO_2 dalam reaksi dengan H_2O_2 . Reaksi usulkan analog dengan pembentukan radikal pada reaksi Fenton. Pada reaksi fenton, spesies yang berinteraksi adalah antara ion Fe^{2+} atau Fe^{3+} dengan H_2O_2 menghasilkan radikal $\cdot OH$ yang dapat mendegradasi sampel [13-15]. Pada reaksi redoks antara PbO_2 dan H_2O_2 , dihasilkan Pb^{2+} yang bereaksi lanjut dengan H_2O_2 membentuk radikal [13]. Reaksi pembentukan radikal ini diduga analogi dengan reaksi pembentukan radikal pada mekanisme reaksi fenton karena ketersediaan energi dari reaksi redoks spontan (pers. 5).



Fenton-like reaction sesudah pembentukan Pb^{2+} adalah sebagai berikut.

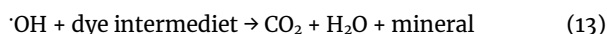


Ketersediaan energi dari proses spontan memungkinkan reaksi balik Pb^{4+} yang terbentuk menjadi Pb^{2+} yang mampu bereaksi lanjut membentuk radikal hidoksil lagi (pers. 7). Pada kondisi tidak ideal, proses $\cdot OH$ *radical scavenging* mungkin dapat berlangsung dan menurunkan kinerja dekolorisasi (pers. 8,9).

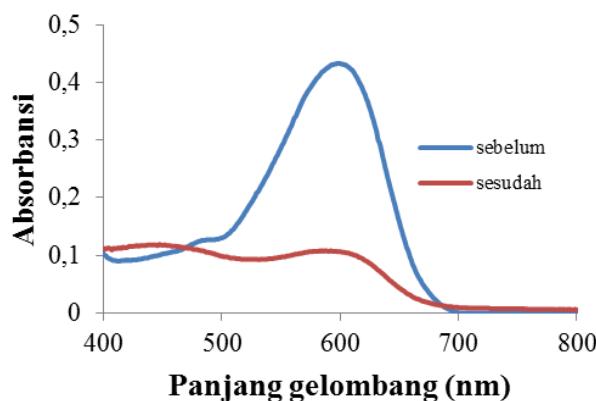


Berdasarkan mekanisme tersebut, disimpulkan bahwa modifikasi ini memungkinkan sistem mengalami dua reaksi, reaksi pertama adalah dekomposisi H_2O_2 oleh PbO_2 yang berlangsung secara spontan yang pada kondisi standar menghasilkan energi sebesar +0,78 V. Reaksi kedua adalah reaksi pembentukan radikal yang digunakan dalam proses degradasi larutan zat warna. Larutan zat warna dapat terdecolorisasi akibat reaktivitas radikal $\cdot OH$. Radikal $\cdot OH$ yang terbentuk dapat mengoksidasi berbagai jenis polutan seperti pewarna tekstil, limbah farmasi dan polutan organik lainnya dalam waktu yang singkat [11].

Proses degradasi RBB, mengacu persamaan 1, 2, dan 3 di atas, dan ditegaskan oleh peneliti lain, berlangsung melalui skema radikal berikut [16].



Pada reaksi di atas dapat diindikasikan bahwa radikal $\cdot OH$ menginisiasi zat menjadi molekul yang lebih sederhana (CO_2) yang menunjukkan oksidasi sempurna substrat organik kesimpulan ini sejalan dengan penelitian terdahulu [1]. Spektra UV-Vis RBB sebelum dan sesudah dekolorisasi terlihat pada gambar 4.



Gambar 4 Spektra UV-Vis larutan remazol black B sebelum dan sesudah dekolorisasi

Gambar 4 menunjukkan tingkat dekolorisasi RBB secara spektroskopi yang tampak pada penurunan intensitas spektra visibel, terutama pada puncak 597 nm. Puncak spektra yang hilang menunjukkan secara kualitatif gugus yang bertanggung jawab pada warna RBB berikut struktur besar molekul RBB telah terdegradasi. Tingkat degradasi diimplementasikan pada data persentase dekolorisasi yang mencapai 82,02 % dalam 30 menit perlakuan. Degradasi molekuler juga secara kuantitatif direpresentasikan pada data COD, yang mencapai 98,96 %. Penurunan angka COD sejalan dengan data spektra UV-Vis setelah perlakuan dekolorisasi yang menunjukkan bahwa tidak ada puncak baru sehingga sampel remazol black B telah terdecolorisasi menjadi senyawa karbon rantai pendek dan tidak mempunyai gugus kromofor yang aman untuk dibuang ke lingkungan.

4. Kesimpulan

Larutan remazol black B mampu didecolorisasi dalam reaktor Fenton yang dimodifikasi PbO_2 secara efektif. Kondisi optimum dekolorisasi sampel remazol black B dengan volume 100 mL 50 ppm adalah pH netral, penggunaan PbO_2 1 g, konsentrasi H_2O_2 10 % dengan persentase dekolorisasi 98,82 %. Dekolorisasi Remazol black B pada skala ganda mencapai 82,02 % dengan penurunan COD sebesar 98,96 %. Pada reaktor 1 L Remazol black B 50 ppm menggunakan katalis PbO_2 1 g, dan H_2O_2 10 %, maka diusulkan dengan model persamaan dekolorisasi $D = -0,0011x^2 + 0,5705x - 0,6788$ dengan x volume peroksida (mL).

5. Persantunan

Penulis mengucapkan terimakasih atas terselesaikannya penelitian ini atas support peralatan, bahan dan diskusi pada Laboratorium Kimia Analitik Departemen Kimia FSM Universitas Diponegoro.

6. Daftar Pustaka

- [1] Didik Setiyo Widodo, Ismiyanto Ismiyanto, Fithri Noorikhlas, Elektroremediasi Perairan Tercemar: 3. Elektrodekolorisasi Larutan Remazol black B dengan Elektroda Timbal Dioksida/Karbon dan Analisis Larutan Sisa Dekolorisasi, *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 12, 1, (2009) 6
<http://dx.doi.org/10.14710/jksa.12.1.1-6>
- [2] Luthfia Apipah, Didik Setiyo Widodo, Rum Hastuti, Pemanfaatan Limbah Elektroda Aki pada Proses Elektrodekolorisasi Larutan Zat Warna, *Chem Info*, 1, 1, (2013) 1-10
- [3] Galih Widayanti, Didik Setiyo Widodo, Abdul Haris, Elektrodekolorisasi Perairan Tercemar Limbah Cair Industri Batik dan Tekstil di Daerah Batang dan Pekalongan, *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 15, 2, (2012) 62-69
<http://dx.doi.org/10.14710/jksa.15.2.62-69>
- [4] Ilyas Bachtiar, Didik Setiyo Widodo, Elektrodekolorisasi Limbah Cair Pabrik Tekstil di Wilayah Semarang dengan Elektroda PbO₂/Pb, *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 18, 3, (2015) 85-90
<http://dx.doi.org/10.14710/jksa.18.3.85-90>
- [5] Afrianti Reza Kusuma, Didik Setiyo Widodo, Elektrodekolorisasi Limbah Cair Batik di Pekalongan dengan Elektroda PbO₂/Cu, 2015, 18, 2, (2015) 57-61
<http://dx.doi.org/10.14710/jksa.18.2.57-61>
- [6] Didik Setiyo Widodo, Linda Suyati, Gunawan Gunawan, Abdul Haris, Decolorization of Artificial Waste Remazol Black B using Electrogenated Reactive Spesies, 2018, 21, 1, (2018) 29-33
<http://dx.doi.org/10.14710/jksa.21.1.29-33>
- [7] R. Salazar, M. S. Ureta-Zañartu, Degradation of acid violet 7 and reactive black 5 in water by electro-fenton and photo electro-fenton by, *Journal of the Chilean Chemical Society*, 57, 1, (2012) 999-1003
<http://dx.doi.org/10.4067/S0717-97072012000100010>
- [8] Halimatusyadiah, Dekolorisasi Elektrokimiawi Remazol Black B oleh Reagen Fenton (H₂O₂) dengan PbO₂, Departemen Kimia, Universitas Diponegoro, Semarang
- [9] Katerina Jovina Koes Widyantoro, Dekolorisasi Limbah Zat Warna Home Industry Batik dengan Menggunakan PbO₂-H₂O₂, Departemen Kimia, Universitas Diponegoro, Semarang
- [10] Herlan Martono, Aisyah Aisyah, Studi Pengolahan Limbah Organik Secara Elektrokimia, in, Pusat Pengembangan Pengelolaan Limbah Radioaktif - BATAN, Jakarta, 2000.
- [11] Ch. Venkatanarasimha Rao, Arden du Sekhar Giri, Vibhav V. Goud, Animes Kumar Golder, Studies on pH-dependent color variation and decomposition mechanism of Brilliant Green dye in Fenton reaction, *International Journal of Industrial Chemistry*, 7, 1, (2016) 71-80
<http://dx.doi.org/10.1007/s40090-015-0060-x>
- [12] Masahiro Tokumura, Ayano Ohta, Hussein T. Znad, Yoshinori Kawase, UV light assisted decolorization of dark brown colored coffee effluent by photo-Fenton reaction, *Water Research*, 40, 20, (2006) 3775-3784
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.08.012>
- [13] Rizka Dwiyantri, Dekolorisasi Remazol Violet 5r Dengan Pendekatan Reaksi Oksidasi-Reduksi Menggunakan PbO₂ dan H₂O₂, Departemen Kimia, Universitas Diponegoro, Semarang
- [14] Masahiro Tokumura, Risa Morito, Yoshinori Kawase, Photo-Fenton process for simultaneous colored wastewater treatment and electricity and hydrogen production, *Chemical Engineering Journal*, 221, (2013) 81-89
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.01.075>
- [15] Shima Rahim Pouran, A. R. Abdul Aziz, Wan Mohd Ashri Wan Daud, Review on the main advances in photo-Fenton oxidation system for recalcitrant wastewaters, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 21, (2015) 53-69
<https://doi.org/10.1016/j.jiec.2014.05.005>
- [16] Leda Cristina da Silva, Benício de Barros Neto, Valdinete Lins da Silva, Homogeneous degradation of the Remazol Black B dye by Fenton and photo-Fenton processes in aqueous medium, *Afinidad*, 66, 541, (2009) 232-237