

Kajian Metode Elektrofotokatalisis, Elektrolisis dan Fotokatalisis pada Dekolorisasi Larutan Zat Warna Remazol Black B yang Mengandung Ion Logam Cu^{2+}

Sulistias Mustika^a, Abdul Haris^{a*}, Nor Basid Adiwibawa Prasetya^a

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

* Corresponding author: a.haris@live.undip.ac.id

Article Info	Abstract
<p>Keywords: Remazol Black B, Decolorization, Electrophotocatalysis, Electrolysis, Photocatalysis, Cu^{2+} ions</p> <p>Kata kunci: Remazol Black B, Dekolorisasi, Elektrofotokatalisis, Elektrolisis, Fotokatalisis, ion Lugam Cu^{2+}</p>	<p>Research on study of electrophotocatalysis, electrolysis and photocatalysis methods in decolorization Remazol Black B dye solution containing Cu^{2+} ions has been conducted. Electrophotocatalysis, electrolysis and photocatalysis are methods which can be used in the treatment of textile waste. In this research these three methods were compared for decolorating Remazol Black B dye containing Cu^{2+} ions and to determine the effect of the Cu^{2+} ions presence and UV-C light irradiation of decolorization of Remazol Black B dye. The solution resulted from electrophotocatalysis, electrolysis and photocatalysis processes were analyzed by UV-Vis spectrophotometry and Atomic Absorption spectrophotometry (AAS). The results showed that the electrophotocatalysis method was the most effective to decolorize Remazol Black B up to 99.66% and to lower concentrations of Cu^{2+} ions up to 96.60%. The presence of Cu^{2+} ions and UV-C light irradiation increased decolorization of Remazol Black B dye.</p> <p>Abstrak</p> <p>Telah dilakukan penelitian tentang kajian metode elektrofotokatalisis, elektrolisis dan fotokatalisis pada dekolourisasi larutan zat warna <i>Remazol Black B</i> yang mengandung ion logam Cu^{2+}. Metode elektrofotokatalisis, elektrolisis dan fotokatalisis merupakan metode yang dapat digunakan dalam penanganan limbah tekstil. Pada penelitian ini akan dibandingkan ketiga metode tersebut untuk dekolourisasi larutan zat warna <i>Remazol Black B</i> yang mengandung ion logam Cu^{2+} serta mengetahui pengaruh keberadaan ion logam Cu^{2+} dan penyinaran lampu UV-C terhadap dekolourisasi zat warna <i>Remazol Black B</i>. Larutan hasil elektrofotokatalisis, elektrolisis, dan fotokatalisis dianalisis dengan Spektrofotometri UV-Vis dan <i>Atomic Absorption Spectrophotometry</i> (AAS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode elektrofotokatalisis merupakan metode yang paling efektif karena mampu mendekolourisasi <i>Remazol Black B</i> hingga 99,66% dan menurunkan konsentrasi ion logam Cu^{2+} hingga 96,60%. Keberadaan ion logam Cu^{2+} dan penyinaran lampu UV-C meningkatkan dekolourisasi zat warna <i>Remazol Black B</i>.</p>

1. Pendahuluan

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi dapat meningkatkan kegiatan industri, termasuk industri tekstil yang menghasilkan limbah cair yang berbahaya bagi kehidupan manusia maupun makhluk hidup di

sekitarnya. Jika limbah cair ini dibuang tanpa pengolahan terlebih dahulu maka pencemaran sulit dihindari terutama pencemaran di wilayah perairan. Kebanyakan industri tekstil saat ini menggunakan zat warna sintesis dengan alasan murah, tahan lama, mudah diperoleh dan mudah dalam penggunaannya,

namun disisi lain buangan yang dihasilkan masih berwarna dan sulit terdegradasi [1].

Zat warna tekstil umumnya dibuat dari senyawa azo dan turunannya yang merupakan gugus benzena. Gugus benzena sangat sulit didegradasi, walaupun dimungkinkan dibutuhkan waktu yang lama. Salah satu jenis zat warna yang sering dipakai dalam industri tekstil adalah *remazol black B* yang merupakan golongan zat warna azo. Senyawa azo bila terlalu lama berada di lingkungan, akan menjadi sumber penyakit karena sifatnya karsinogenik dan mutagenik. Karena itu perlu dicari alternative efektif untuk menguraikan limbah tersebut [2]. Sekitar 15–20% zat warna yang digunakan tersisa pada air buangan yang pada akhirnya akan masuk kedalam lingkungan sekitarnya [3]. Limbah tekstil selain mengandung zat warna reaktif juga mengandung logam-logam berat berbahaya antara lain adalah logam tembaga. Logam berat seringkali digunakan dalam proses pewarnaan tekstil untuk mengikat dan memperkuat warna.

Beberapa penelitian penghilangan warna dan senyawa organik yang ada dalam limbah cair industri tekstil telah banyak dilakukan, misalnya dengan cara degradasi warna melalui reaksi oksidasi, reaksi anaerob, koagulasi, sedimentasi, adsorpsi menggunakan karbon aktif, silika dan biomaterial [4]. Pengolahan limbah cair dengan menggunakan proses biologi juga banyak diterapkan untuk mereduksi senyawa organik limbah cair industri tekstil. Namun efisiensi penghilangan warna melalui proses biologi ini seringkali tidak memuaskan, karena zat warna mempunyai sifat tahan terhadap degradasi biologi (*recalcitrance*) [5].

Salah satu alternatif pengolahan limbah cair zat warna adalah dengan fotokatalisis. Teknologi fotokatalisis merupakan kombinasi dari proses fotokimia dan katalis yang terintegrasi untuk dapat melangsungkan suatu reaksi kimia. Dengan metode ini, larutan zat warna akan diurai menjadi komponen-komponen yang lebih sederhana dan lebih aman untuk lingkungan [6]. Metode lain yang dapat digunakan untuk menghilangkan zat warna adalah dengan elektrolisis. Metode elektrofotokatalisis merupakan penggabungan dari dua metode yaitu metode elektrolisis dan fotokatalisis yang banyak dikembangkan untuk proses pengolahan limbah. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji metode elektrofotokatalisis, elektrolisis, dan fotokatalisis pada dekolonisasi larutan zat warna *remazol black B* yang mengandung ion logam Cu^{2+} serta mengetahui pengaruh ion logam Cu^{2+} dan penyinaran lampu *UV-C* pada dekolonisasi zat warna *remazol black B*.

1. Metodologi

Alat & Bahan

Peralatan yang mendukung penelitian ini adalah elektroanaliser, reaktor fotokatalis, lampu *UV-C*, peralatan gelas, magnetik stirrer, spektrometri *UV-Vis* shimadzu dan spektrometri *UV-Vis* tipe Model 390, serta *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS). Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi Zat warna

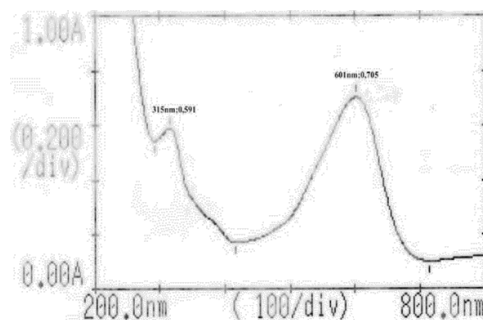
remazol black B, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ p.a, TiO_2 p.a, Na_2SO_4 p.a, batang karbon, akuades, serta aseton.

Prosedur Penelitian

Larutan sampel yang merupakan campuran zat warna *remazol black B* dan ion logam Cu^{2+} ditentukan panjang gelombang maksimumnya menggunakan spektrofotometer *UV-Vis*. Kemudian dilakukan penentuan potensial kerja untuk proses elektrofotokatalisis dan fotokatalisis, serta dilakukan penentuan waktu optimum yang akan digunakan untuk proses elektrofotokatalisis, elektrolisis, maupun fotokatalisis. Prosedur elektrofotokatalisis dilakukan di dalam reaktor fotokatalis yang dilengkapi sel elektrokimia dengan elektroda karbon. Larutan sampel sebanyak 100 mL ditambah 1,4 gram Na_2SO_4 dan 0,05 gram serbuk TiO_2 sambil dilakukan pengadukan dengan magnetik stirrer. Prosedur elektrolisis dilakukan di dalam sel elektrokimia dengan elektroda karbon. Larutan sampel sebanyak 100 mL ditambah 1,42 gram Na_2SO_4 kemudian dilakukan proses elektrolisis. Prosedur fotokatalisis dilakukan di dalam reaktor fotokatalis. Larutan sampel 100 mL ditambah dengan serbuk fotokatalis TiO_2 sebanyak 0,05 gram sambil dilakukan pengadukan dengan magnetik stirrer, kemudian diletakkan dalam reaktor fotokatalis dan dilakukan penyinaran dengan lampu *UV-C*. Untuk mengetahui pengaruh ion logam Cu^{2+} dan penyinaran dengan lampu *UV-C* dilakukn proses elektrofotokatalisis, elektrolisis, dan fotokatalisis dengan dan tanpa adanya ion logam Cu^{2+} dan penyinaran dengan lampu *UV-C*. Analisis kualitatif meliputi pengamatan warna larutan sampel. Analisis kuantitatif meliputi penentuan nilai absorbansi larutan sampel menggunakan spektrofotometer *UV-Vis* dan analisis kandungan ion logam Cu^{2+} menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS).

2. Hasil dan Pembahasan

Pengukuran panjang gelombang maksimum zat warna *remazol black B* dilakukan sesudah zat warna *remazol black B* dicampur dengan ion logam Cu^{2+} .



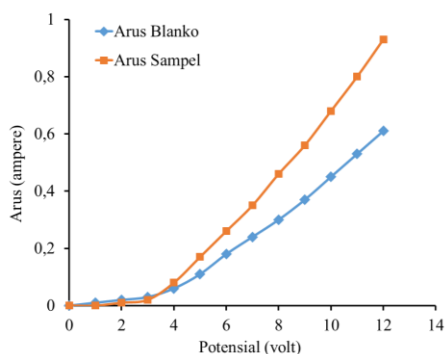
Gambar 1. Spektra *UV-Vis* campuran *remazol black B* yang mengandung ion logam Cu^{2+}

Spektra *UV-Vis remazol black B* yang mengandung ion Cu^{2+} seperti disajikan gambar 1 menunjukkan suatu bentuk kurva yang spesifik yang dipengaruhi oleh adanya gugus kromofor dalam senyawa tersebut. Pada kurva terlihat adanya puncak serapan pada 315 nm yang merupakan karakteristik benzene terkonjugasi

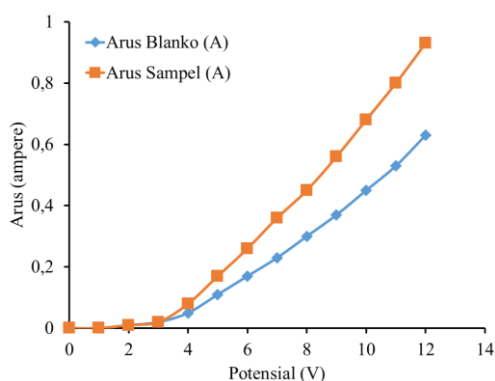
yang mengalami pergeseran merah akibat pengaruh ikatan rangkap yang terkonjugasi dan pelarut. Pada puncak 601 nm mengidentifikasi karakter warna panjang gelombang maksimum pada remazol black B yang mengandung ion logam Cu²⁺.

Penentuan Potensial Kerja

Hasil analisis kurva pada gambar 2 memberikan informasi rentang potensial elektrofotokatalisis dan potensial aplikasi terendah yang harus diberikan untuk proses elektrofotokatalisis selanjutnya. Untuk sistem elektrofotokatalisis dengan elektroda karbon-karbon diperoleh rentang potensial sebesar 4,7-5,0 volt. Selanjutnya potensial aplikasi yang digunakan sebesar 5,0 volt. Untuk sistem elektrolisis dengan elektroda karbon-karbon diperoleh rentang potensial sebesar 4,7-5,13 volt seperti ditunjukkan pada gambar 3, selanjutnya potensial aplikasi yang digunakan sebesar 5,0 volt. Elektrofotokatalisis dan elektrolisis dilakukan pada rentang potensial yang telah diperoleh, karena bila dilakukan di luar daerah rentang potensial ini akan mengakibatkan pelarut yang digunakan akan terelektrolisis sehingga terjadi kompetisi antara sampel dan pelarut.



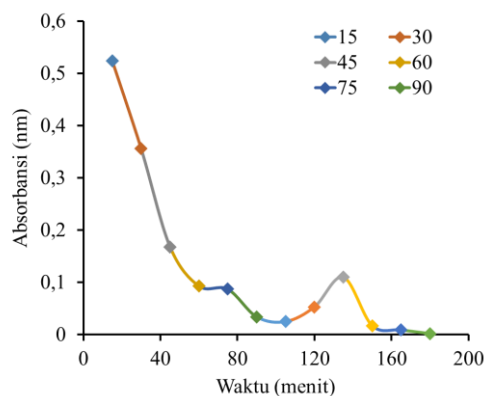
Gambar 2. Kurva hubungan antara arus dan potensial pada elektrofotokatalisis larutan sampel dan blanko dengan elektroda C/C



Gambar 3. Kurva hubungan antara arus dan potensial pada elektrolisis larutan sampel dan blanko dengan elektroda C/C

Elektrofotokatalisis larutan sampel zat warna remazol black B yang mengandung ion logam Cu²⁺ dilakukan dengan menggunakan elektroda C/C pada potensial 5,0 volt. Pengukuran absorbansi dilakukan setiap 15 menit pada panjang gelombang maksimum 601

nm. Dari data yang didapat kemudian digambarkan sebagai kurva waktu terhadap absorbansi yang ditunjukkan pada gambar 4.



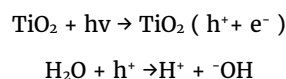
Gambar 4. Kurva hubungan absorbansi terhadap waktu pada elektrofotokatalisis larutan sampel dengan elektroda C/C, potensial 5,0 volt yang diukur pada 601 nm.

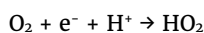
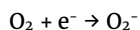
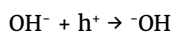
Hasil kurva pada gambar 4 memberikan informasi tentang hubungan antara lama waktu elektrofotokatalisis dengan absorbansi zat warna remazol black B yang mengandung ion logam Cu²⁺ pada waktu elektrofotokatalisis 210 menit. Pada gambar 4 terjadi penurunan absorbansi secara signifikan hingga menit ke 210, tetapi pada menit ke 120 dan menit ke 135 terjadi kenaikan absorbansi dan kemudian terjadi penurunan absorbansi kembali. Kenaikan absorbansi yang terjadi berkaitan dengan terbentuknya produk intermediet yang menyerap radiasi pada panjang gelombang 601 nm [7]. Untuk proses elektrofotokatalisis, elektrolisis, dan fotokatalisis selanjutnya ditetapkan waktu optimum 180 menit.

Elektrolisis Larutan Sampel

Larutan sampel zat warna remazol black B yang mengandung ion logam Cu²⁺ dilakukan menggunakan elektroda C/C dengan waktu elektrofotokatalisis selama 3 jam dan potensial sebesar 5,0 volt serta ditambahkan serbuk TiO₂. Proses elektrofotokatalisis dilakukan di dalam reaktor fotokatalis yang dilengkapi lampu UV-C.

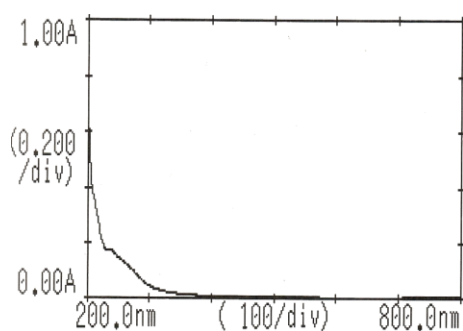
Setelah proses elektrofotokatalisis, terjadi penurunan intensitas dan perubahan warna. Warna yang semula berwarna biru pekat berubah menjadi tidak berwarna. Penurunan intensitas warna setelah proses elektrofotokatalisis disebabkan oleh proses degradasi substrat zat warna karena pengaruh elektrofoCO₂tokatalisis. Degradasi berlangsung melalui reaksi oksidasi di anoda dan dikontribusi oleh adanya TiO₂ sebagai fotokatalis. Produk oksidasi di anoda diperkirakan berupa H₂O dan serta senyawa rantai karbon pendek yang tidak lagi menyerap radiasi pada panjang gelombang visible. Kontribusi terhadap dekolerasi dari penambahan TiO₂ sebagai fotokatalis dapat dijelaskan sebagai berikut [8].





Menurut Attia *dkk.* [9]. OH radikal akan menginisiasi degradasi pada gugus utama senyawa azo yang kemudian akan menjadi CO₂ dan H₂O.

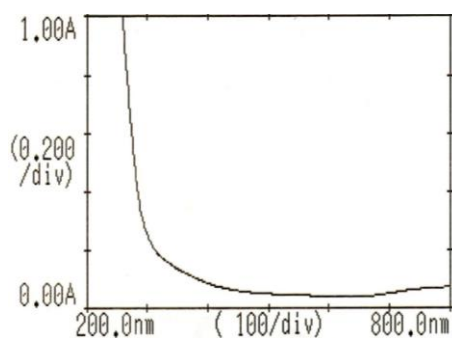
Hasil analisis spektra UV-Vis terhadap larutan sampel setelah elektrofotokatalisis seperti disajikan pada gambar 5 menunjukkan tidak terlihat adanya puncak serapan pada 315 nm yang merupakan puncak dari gugus benzena terkonjugasi serta puncak pada 601 nm yang merupakan puncak dari gugus kromofor. Hal ini ditandai dengan penurunan absorbansi untuk waktu elektrofotokatalisis 180 menit serta tingginya hasil degradasi. Hal ini menandakan zat warna telah terdegradasi.



Gambar 5. Spektra UV-Vis zat warna setelah elektrofotokatalisis dengan elektroda C/C selama 3jam

Elektrolisis Larutan Sampel

Elektrolisis dilakukan menggunakan elektroda C/C dengan waktu elektrolisis selama 3 jam dan potensial sebesar 5 volt. Setelah proses elektrolisis selama 3 jam, terjadi penurunan intensitas dan perubahan warna. Warna yang semula berwarna biru pekat berubah menjadi tidak berwarna. Penurunan intensitas warna setelah proses elektrolisis disebabkan oleh proses degradasi yang berlangsung melalui reaksi oksidasi di anoda. Produk oksidasi di anoda diperkirakan berupa H₂O dan CO₂ serta senyawa rantai karbon pendek yang tidak lagi menyerap radiasi pada panjang gelombang visible.



Gambar 6. Spektra UV-Vis zat warna setelah elektrolisis dengan elektroda C/C 3 jam

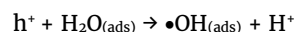
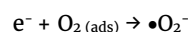
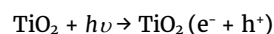
Hasil analisis spektra UV-Vis terhadap larutan sampel setelah elektrolisis seperti disajikan pada

gambar 6 menunjukkan adanya penurunan dekolorisasi zat warna remazol black B secara signifikan, tetapi pada zat warna remazol black B dalam proses elektrolisis belum terdegradasi seluruhnya.

Fotokatalisis Larutan Sampel

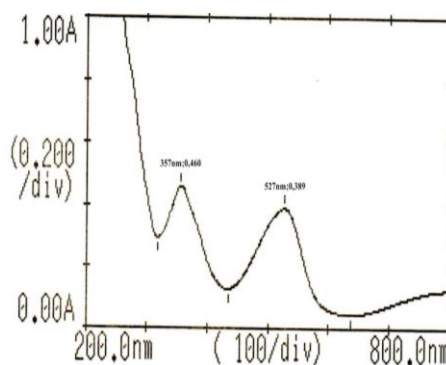
Fotokatalisis dilakukan dengan penambahan serbuk TiO₂ serta dilakukan di dalam reaktor fotokatalisis yang dilengkapi lampu UV-C selama 3 jam sambil dilakukan pengadukan. Lampu UV-C berfungsi sebagai sumber energi foton (hv) supaya reaksi fotokatalisis dapat berlangsung. Pengadukan yang dilakukan bertujuan agar semua reaktan dalam sistem reaksi dapat bercampur merata sehingga diharapkan proses fotokatalisis dapat berjalan efektif.

Mekanisme fotokatalis TiO₂ dapat dijelaskan secara bertahap yaitu mekanisme yang melibatkan eksitasi fotokatalis TiO₂ ketika dikenai cahaya dengan panjang gelombang sekitar 380 nm [2]. Proses pembentukan radikal $\cdot\text{OH}$ dan elektron dapat ditunjukkan dengan reaksi [10]:



$\cdot\text{OH}$ akan menyerang gugus azo yang merupakan kromofor dari zat warna sehingga zat warna akan terdegradasi menjadi CO₂ dan H₂O.

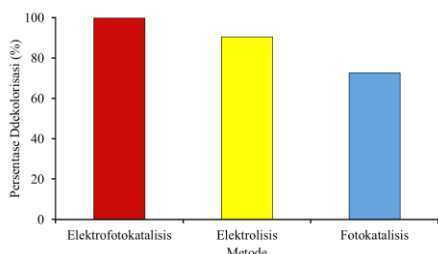
Hasil analisis spektra UV-Vis menunjukkan absorbansi zat warna remazol black B belum terdekolorisasi seluruhnya. Hal ini karena adanya serapan pada puncak 357 nm yang merupakan benzen terkonjugasi dan pada puncak 527 nm merupakan puncak serapan gugus kromofor sehingga pada proses fotokatalisis belum sempurna teroksidasi oleh TiO₂. Hal ini disebabkan kurang lamanya waktu fotokatalisis sehingga proses yang terjadi di dalamnya kurang sempurna.



Gambar 7. Spektra UV-Vis zat warna setelah fotokatalisis 3 jam

Berdasarkan hasil penjelasan dari ketiga metode diatas, yaitu pengaruh penurunan absorbansi remazol black B dapat ditunjukkan pada gambar 8. Hasil data pada gambar 8 menunjukkan persentase penurunan intensitas warna untuk elektrofotokatalisis sebesar 99,66%, penurunan intensitas warna untuk elektrolisis sebesar 90,34%, penurunan intensitas warna untuk

fotokatalisis sebesar 72,54%. Dari ketiga metode tersebut metode elektrofotokatalisis merupakan metode yang paling efektif dalam mendekolorisasi larutan zat warna *remazol black B* yang mengandung ion logam Cu^{2+} . Hal ini disebabkan pada metode elektrofotokatalisis terjadi dua proses sekaligus yaitu proses fotokatalisis dan proses elektrolisis sehingga pada metode elektrofotokatalisis ini terjadi empat reaksi yaitu reaksi oksidasi dan reduksi oleh karbon dan reaksi oksidasi dan reduksi pada permukaan TiO_2 .



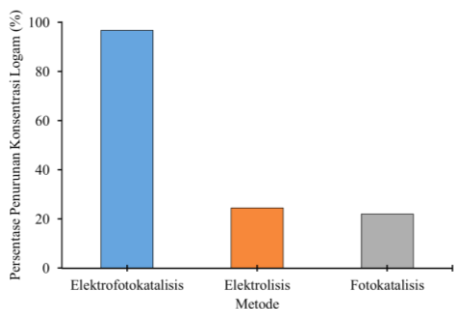
Gambar 8. Grafik penurunan intensitas warna (% dekolourisasi) zat warna *remazol black B* dengan metode elektrofotokatalisis, fotokatalisis dan elektrolisis secara simultan selama 3 jam.

Analisis Konsentrasi Ion Logam Cu^{2+} Pada Metode elektrofotokatalisis, fotokatalisis dan elektrolisis.

Konsentrasi ion logam Cu^{2+} dalam campuran dengan larutan *remazol black B* dapat dianalisis dengan menggunakan AAS dengan menggunakan elektroda C/C.

Hasil analisis AAS pada gambar 9 menunjukkan bahwa dengan metode elektrofotokatalisis merupakan metode paling efektif dibandingkan metode fotokatalisis dan metode elektrolisis dalam menurunkan konsentrasi logam karena mampu menurunkan konsentrasi ion logam Cu^{2+} hingga 96,6% sedangkan dengan metode elektrolisis hanya mampu menurunkan konsentrasi logam sebesar 24,5% dan metode fotokatalisis hanya mampu menurunkan konsentrasi logam sebesar 22%.

Hal ini disebabkan pada proses elektrofotokatalisis berlangsung dua proses sekaligus yaitu proses fotokatalisis dan proses elektrolisis. Pada proses elektrolisis terjadi proses reduksi ion logam Cu^{2+} menjadi Cu yang mengendap di katoda dan pada proses fotokatalisis terjadi fotoreduksi pada permukaan TiO_2 sehingga konsentrasi logam menurun.

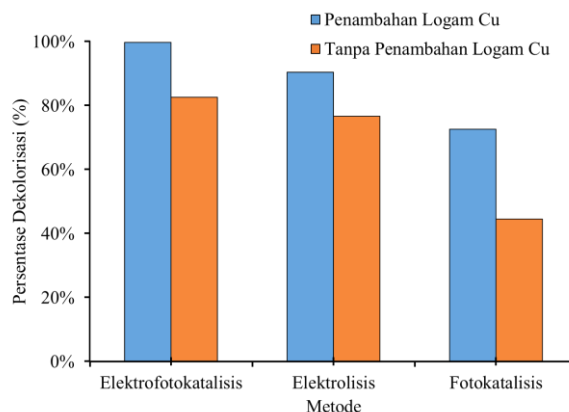


Gambar 9. Grafik hubungan antara besar persentase penurunan konsentrasi ion logam Cu^{2+} larutan sampel dengan konsentrasi awal ion logam Cu^{2+} 600 ppm

Pengaruh Adanya Ion Logam Cu^{2+} dan Penyinaran Lampu UV

Untuk mengetahui pengaruh adanya ion Cu^{2+} terhadap efektifitas dekolourisasi larutan zat warna *remazol black B*, dilakukan dengan membandingkan dekolourisasi larutan zat warna *remazol black B* tanpa dan dengan adanya ion Cu^{2+} sebesar 600 ppm.

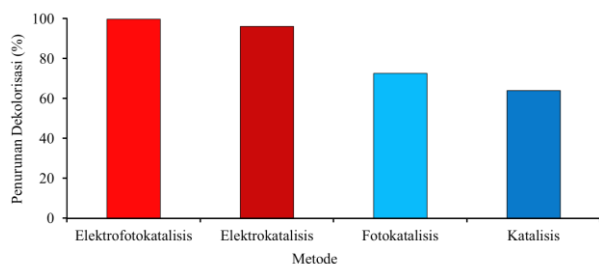
Pada gambar 10 menunjukkan bahwa dengan adanya logam Cu^{2+} akan menaikkan efektifitas dekolourisasi larutan *remazol black B*. Hal ini disebabkan pada sistem terkatalisis TiO_2 bila dikenai cahaya UV akan menghasilkan elektron dan radikal $\cdot\text{OH}$ secara terus menerus. Sebagian besar pasangan elektron dan *hole* ini akan berekombinasi kembali. Dengan adanya ion logam Cu^{2+} maka elektron akan menginisiasi reaksi reduksi Cu^{2+} yang ada disekitar permukaan semikonduktor sementara *hole* akan menginisiasi reaksi oksidasi larutan *remazol black B*.



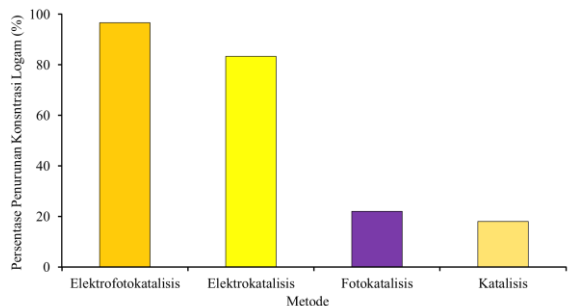
Gambar 10. Grafik persentase perbandingan efektifitas dekolourisasi dengan menggunakan metode elektrofotokatalisis, fotokatalisis dan elektrolisis dengan dan tanpa adanya logam Cu^{2+}

Untuk mengetahui pengaruh penyinaran sinar UV terhadap efektifitas dekolourisasi larutan zat warna *remazol black B*, dilakukan dengan membandingkan efektifitas dekolourisasi larutan zat warna *remazol black B* tanpa dan dengan adanya penyinaran UV pada metode elektrofotokatalisis dan fotokatalisis.

Gambar 11 menunjukan bahwa adanya penyinaran sinar UV akan menaikkan efektifitas dekolourisasi larutan *remazol black B* dan gambar 12 menunjukkan bahwa adanya penyinaran dengan lampu UV akan menaikkan efektifitas penurunan konsentrasi ion logam Cu^{2+} . Hasil analisis gambar 11 dan gambar 12 diketahui bahwa efektifitas *remazol black B* akan meningkat dengan adanya ion logam Cu^{2+} yang akan menjaga jumlah elektron dalam sistem reaksi dengan mencegah terjadinya rekombinasi dengan radikal $\cdot\text{OH}$ dan dengan adanya penyinaran sinar UV dihasilkan elektron dan *hole* yang akan berperan sebagai reduktor serta oksidator pada larutan sampel *remazol black B* yang mengandung ion logam Cu^{2+} .



Gambar 11. Grafik persentase perbandingan efektivitas penurunan dekolorisasi dengan menggunakan metode elektrofotokatalisis dan fotokatalisis dengan dan tanpa adanya penyinaran UV.



Gambar 12. Grafik presentase perbandingan efektivitas penurunan konsentrasi ion logam Cu^{2+} dengan menggunakan metode elektrofotokatalisis dan fotokatalisis dengan dan tanpa adanya penyinaran UV dengan konsentrasi awal ion logam Cu^{2+} 600 ppm

3. Kesimpulan

Metode elektrofotokatalisis, elektrolisis, dan fotokatalisis mampu mendekolorisasi zat warna remazol black B yang mengandung ion logam Cu^{2+} dan metode elektrofotokatalisis merupakan metode yang paling efektif. Persentase dekolorisasi zat warna remazol black B dengan metode elektrofotokatalisis, elektrolisis, dan fotokatalisis berturut-turut adalah 99,66%, 90,34%, dan 72,54%, sedangkan persentase penurunan konsentrasi ion logam Cu^{2+} dengan metode elektrofotokatalisis, elektrolisis, dan fotokatalisis berturut-turut adalah 96,60%, 24,50%, dan 22,00%. Adanya ion logam Cu^{2+} dan penyinaran lampu UV akan meningkatkan efektivitas dekolorisasi remazol black B yang mengandung ion logam Cu^{2+} .

4. Daftar Pustaka

- [1] Gatut Sudarjanto, Penyisihan Zat Warna CIRO-16 serta Kinetikanya Menggunakan Kombinasi Proses Kontak Stabilisasi dan Adsorpsi Karbon Aktif Jenis Granular, ITB, Bandung, 1998.
- [2] Dilek Gümüş, Feryal Akbal, Photocatalytic Degradation of Textile Dye and Wastewater, *Water, Air, & Soil Pollution*, 216, 1, (2011) 117-124 <http://dx.doi.org/10.1007/s11270-010-0520-z>
- [3] Debabrata Chatterjee, Shimanti Dasgupta, Visible light induced photocatalytic degradation of organic pollutants, *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 6, 2, (2005) 186-205 <http://dx.doi.org/10.1016/j.jphotochemrev.2005.09.001>

- [4] MN Rashed, AA El-Amin, Photocatalytic degradation of methyl orange in aqueous TiO_2 under different solar irradiation sources, *International Journal of Physical Sciences*, 2, 3, (2007) 73-81
- [5] Mikrajuddin Abdullah, A.D. Sonya, Bebeh Wahid Nuryadin, AR Marully, Khairurrijal, Sintesis Keramik Berbasis Komposit Clay-Karbon dan Karakterisasi Kekuatan Mekaniknya, *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*, 2, 2, (2009)
- [6] Siew-Teng Ong, Chnoong-Kheng Lee, Zulkarnain Zainal, A comparison of Sorption and Photodegradation Study in the Removal of Basic and Reactive Dyes, *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3, 4, (2009) 3408-3416
- [7] MilÉNa Lapertot, Pierre Pichat, Sandra Parra, Chantal Guillard, CÉSar Pulgarin, Photocatalytic Degradation of p-Halophenols in TiO_2 Aqueous Suspensions: Halogen Effect on Removal Rate, Aromatic Intermediates and Toxicity Variations, *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 41, 6, (2006) 1009-1025 <http://dx.doi.org/10.1080/10934520600620188>
- [8] Md Ahsan Habib, Iqbal Mohmmad Ibrahim Ismail, Abu Jafar Mahmood, Md Rafique Ullah, Photocatalytic decolorization of Brilliant Golden Yellow in TiO_2 and ZnO suspensions, *Journal of Saudi Chemical Society*, 16, 4, (2012) 423-429 <http://dx.doi.org/10.1016/j.jscs.2011.02.013>
- [9] Abbas J Attia, Salih H Kadhim, Falah H Hussein, Photocatalytic degradation of textile dyeing wastewater using titanium dioxide and zinc oxide, *Journal of Chemistry*, 5, 2, (2008) 219-223
- [10] Jarnuzi Gunlazuardi, Fotokatalisis pada Permukaan TiO_2 : Aspek Fundamental dan Aplikasinya, Seminar Nasional Kimia Fisika II, (2001).