



Kajian Metode Elektrofotokatalisis, Elektrolisis dan Fotokatalisis pada Dekolorisasi Larutan Zat Warna *Remazol Brilliant Orange 3R* yang Mengandung Ion Logam Cu^{2+}

Arthias Cita Febriyani^a, Rum Hastuti^{a*}, Abdul Haris^a

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

* Corresponding author: rum.hastuti@live.undip.ac.id

Article Info	Abstract
<p>Keywords: electrophotocatalysis, electrolysis, photocatalysis, remazol brilliant orange 3R, Cu^{2+} ions</p> <p>Kata kunci: elektrofotokatalisis, elektrolisis, fotokatalisis, <i>remazol brilliant orange 3R</i>, ion logam Cu^{2+}</p>	<p>Textile industry wastewater contains dyes and heavy metals. Remazol brilliant orange 3R and copper metal are often found in textile wastewater. Disposal of liquid waste textile waste without prior treatment causes pollution on aquatic environments. Electrolysis, photocatalysis and electrophotocatalysis are methods that can be used to treat the textile wastewater. In this study, the three methods were compared to measure the decolorization of a remazol brilliant orange 3R dye solution containing Cu^{2+} metal ions as well as to know the effect of Cu^{2+} metal ions and UV-C light irradiation on the decolorization of Remazol brilliant orange 3R dye. The results showed that electrophotographic method was the most effective method because it was able to decolorize Remazol brilliant orange 3R to 98.43% and decrease the concentration of Cu^{2+} metal ion up to 99.35%. The presence of Cu^{2+} metal ions and UV-C irradiation increases the decolorization of Remazol brilliant orange 3R dyes.</p> <p>Abstrak</p> <p>Limbah cair industri tekstil mengandung zat warna dan logam berat. <i>Remazol brilliant orange 3R</i> dan logam tembaga merupakan zat warna dan logam berat yang banyak terdapat pada limbah tekstil. Pembuangan limbah cair tekstil tanpa pengolahan limbah terlebih dahulu akan menyebabkan pencemaran lingkungan perairan. Metode elektrolisis, fotokatalisis dan elektrofotokatalisis merupakan metode yang dapat digunakan dalam penanganan limbah tekstil. Pada penelitian ini akan dibandingkan ketiga metode tersebut untuk dekolourisasi larutan zat warna <i>remazol brilliant orange 3R</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 brilliant orange 3R</i>. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode elektrofotokatalisis merupakan metode yang paling efektif karena mampu mendekolorisasi remazol brilliant orange 3R hingga 98,43% dan menurunkan konsentrasi ion logam Cu^{2+} hingga 99,35%. Keberadaan ion logam Cu^{2+} dan penyinaran lampu UV-C meningkatkan dekolourisasi zat warna <i>remazol brilliant orange 3R</i>.</p>

1. Pendahuluan

Industri tekstil dan produk tekstil merupakan salah satu industri yang sangat berkembang. Industri tekstil menghasilkan limbah cair berwarna yang dapat berpengaruh terhadap estetika, kekeruhan, dan

toksitas pada biota air (ganggang dan ikan). Selain itu, sebagian zat warna tersebut bersifat karsinogenik [1].

Zat warna reaktif merupakan zat warna yang banyak digunakan dalam proses pewarnaan tekstil, misalnya *remazol brilliant orange 3R*, *remazol black B*, *remazol golden yellow*, dan *remazol brilliant blue* [2]. Salah satu zat

warna yang banyak digunakan adalah *remazol brilliant orange 3R* atau yang biasa dikenal dengan *reactive orange 16* [3]. Limbah tekstil selain mengandung sisa zat warna reaktif juga mengandung logam berat. Logam berat sering kali digunakan dalam proses pewarnaan tekstil untuk mengikat dan memperkuat warna. Logam tembaga merupakan logam yang banyak digunakan dalam pewarnaan industri tekstil.

Pengolahan limbah cair dimaksudkan untuk menghilangkan kadar bahan pencemar yang terkandung di dalam limbah cair agar memenuhi syarat untuk dapat dibuang ke lingkungan. Limbah yang dibuang tanpa pengolahan dapat membahayakan bagi kesehatan, seperti iritasi pada kulit dan kanker [4].

Salah satu metode alternatif pengolahan limbah cair zat warna adalah dengan fotokatalisis. Fotokatalisis merupakan kombinasi dari proses fotokimia dan katalis yang terintegrasi untuk dapat melangsungkan suatu reaksi transformasi kimia [5]. 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 dekolerasi larutan zat warna *remazol brilliant orange 3R* yang mengandung ion logam Cu^{2+} serta mengetahui pengaruh ion logam Cu^{2+} dan penyinaran lampu UV-C pada dekolerasi zat warna *remazol brilliant orange 3R*.

2. Metode Penelitian

Alat dan Bahan

Peralatan yang mendukung penelitian ini adalah elektroanaliser, reaktor fotokatalis, lampu UV-C, peralatan gelas, magnetik stirrer, spektrometer UV-Vis shimadzu dan spektrometer UV-Vis tipe T60U, serta *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS).

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi Zat warna *remazol brilliant orange 3R*, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 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 brilliant orange 3R* 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 dilakuakn proses elektrofotokatalisis, elektrolisis, dan fotokatalisis dengan dan tanpa adanya ion logam Cu^{2+} dan penyinaran dengan lampu UV-C.

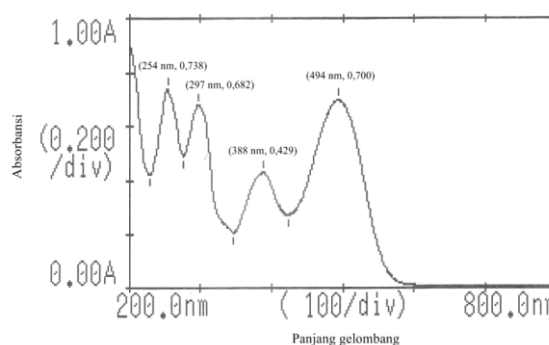
Analisis kualitatif meliputi pengamatan warna larutan sampel. Analisis kuantitatif meliputi penentuan nilai absorbansi larutan sampel menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan analisis kandungan ion logam Cu^{2+} menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS).

3. Hasil Dan Pembahasan

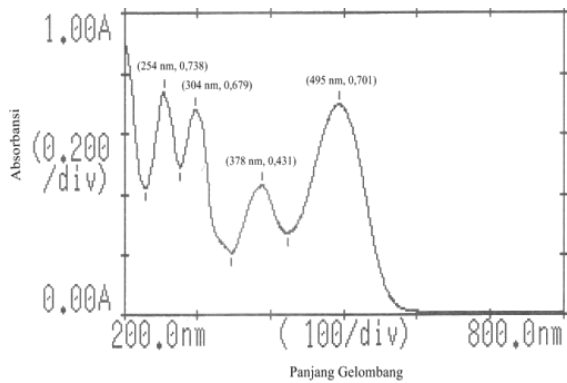
Penentuan Panjang Gelombang Maksimum

Pengukuran panjang gelombang maksimum zat warna *remazol brilliant orange 3R* dilakukan sebelum dan sesudah larutan zat warna *remazol brilliant orange 3R* dicampur dengan ion logam Cu^{2+} .

Spektra UV-Vis *remazol brilliant orange 3R* seperti disajikan gambar 1 menunjukkan suatu bentuk kurva yang spesifik yang dipengaruhi oleh adanya gugus kromofor dalam senyawa tersebut. Pada kurva terlihat puncak serapan pada 254 nm yang merupakan karakteristik benzena. Puncak serapan pada 297 nm dan 388 nm merupakan benzena yang terkonjugasi [6], sedangkan puncak pada 494 nm mengidentifikasi karakter warna senyawa tersebut. Pada gambar 2 menunjukkan bahwa tidak ada pergeseran apabila larutan *remazol brilliant orange 3R* dicampur dengan ion logam Cu^{2+} . Keberadaan Cu^{2+} tidak mempengaruhi puncak spektra UV-Vis *remazol brilliant orange 3R* yang menunjukkan Cu^{2+} tidak berinteraksi kimiawi dengan zat warna *remazol brilliant orange 3R*.



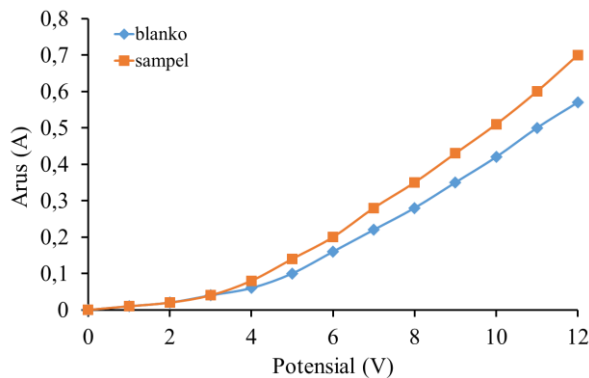
Gambar 1. Spektra UV-Vis *remazol brilliant orange 3R*



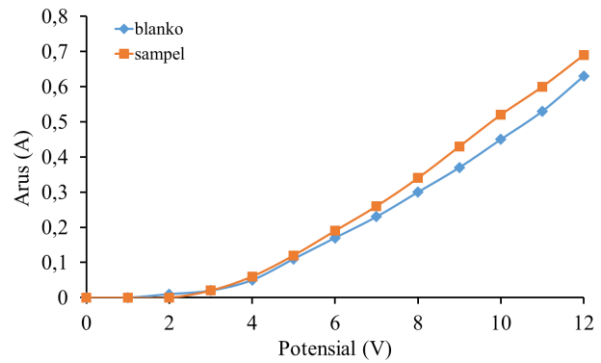
Gambar 2. Spektra UV-Vis campuran remazol brilliant orange 3R dan ion logam Cu²⁺

Penentuan Potensial Kerja

Gambar 3 memberikan informasi tentang rentang potensial elektrofotokatalisis untuk proses elektrofotokatalisis selanjutnya, rentang potensial diperoleh dengan menentukan titik belok kurva. Dari kurva di bawah diperoleh rentang potensial 4,9-5,2 volt yang merupakan rentang potensial antara larutan remazol brilliant orange 3R yang mengandung ion logam Cu²⁺ sebagai sampel dan akuades sebagai blanko. Selanjutnya, potensial kerja ditetapkan sebesar 5,0 volt dan dijaga konstan selama proses. Untuk proses elektrolisis diperoleh rentang potensial 4,2-5,4 volt seperti ditunjukkan pada gambar 4, selanjutnya potensial kerja ditetapkan 5,2 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.



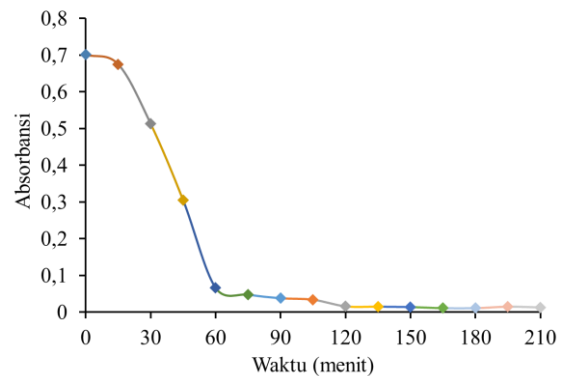
Gambar 3. Kurva hubungan antara arus dan potensial pada elektrofotokatalisis larutan sampel dan blanko dengan elektroda C/C



Gambar 4. Kurva hubungan antara arus dan potensial pada elektrolisis larutan sampel dan blanko dengan elektroda C/C

Penentuan Waktu Optimum

Elektrofotokatalisis larutan sampel zat warna remazol brilliant orange 3R yang mengandung ion logam Cu²⁺ dilakukan menggunakan elektroda C/C pada potensial 5,0 volt. Pengukuran absorbansi dilakukan setiap 15 menit pada panjang gelombang maksimum 495 nm. Dari data yang didapat kemudian digambarkan sebagai kurva waktu terhadap absorbansi yang ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Kurva absorbansi terhadap waktu pada elektrofotokatalisis larutan sampel dengan elektroda C/C, potensial 5,0 volt yang diukur pada 495 nm.

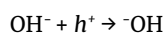
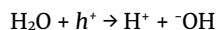
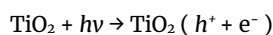
Kurva tersebut memberikan informasi tentang hubungan antara lama waktu elektrofotokatalisis dengan absorbansi sampel, selain itu juga diperoleh informasi tentang waktu minimal dekolonisasi larutan remazol brilliant orange 3R yang mengandung ion logam Cu²⁺. Waktu optimum selanjutnya ditetapkan 180 menit untuk proses elektrofotokatalisis, elektrolisis, dan fotokatalisis.

Elektrofotokatalisis Larutan Sampel

Elektrofotokatalisis larutan sampel zat warna remazol brilliant orange 3R yang mengandung ion logam Cu²⁺ dilakukan menggunakan elektroda C/C dengan waktu elektrofotokatalisis 180 menit dan potensial sebesar 5,0 volt serta ditambahkan 0,05 gram serbuk TiO₂. Proses elektrofotokatalisis dilakukan di dalam reaktor fotokatalis yang dilengkapi lampu UV-C.

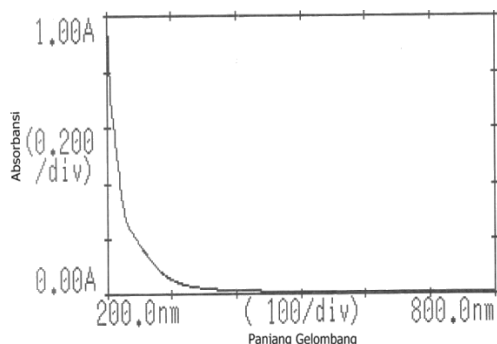
Setelah proses elektrofotokatalisis, terjadi penurunan intensitas dan perubahan warna. Warna yang

semula berwarna orange pekat berubah menjadi tidak berwarna. Penurunan intensitas warna setelah proses elektrofotokatalisis disebabkan oleh proses perusakan struktur substrat zat warna karena pengaruh elektrofotokatalisis. Perusakan berlangsung melalui reaksi oksidasi di anoda dan dikontribusi oleh adanya TiO₂ sebagai fotokatalis. Produk oksidasi di anoda diperkirakan berupa H₂O dan CO₂ serta senyawa rantai karbon pendek yang tidak lagi menyerap radiasi pada panjang gelombang *visible*. Kontribusi terhadap dekolonisasi dari penambahan TiO₂ sebagai fotokatalis dapat dijelaskan sebagai berikut [7].



Menurut Attia *dkk.* [8] $\cdot\text{OH}$ 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 6 menunjukkan tidak terlihat puncak serapan pada 304 nm dan 378 nm yang merupakan puncak dari gugus benzena terkonjugasi serta puncak pada 495 nm yang merupakan puncak dari gugus kromofor, hal ini menandakan zat warna telah terdegradasi.

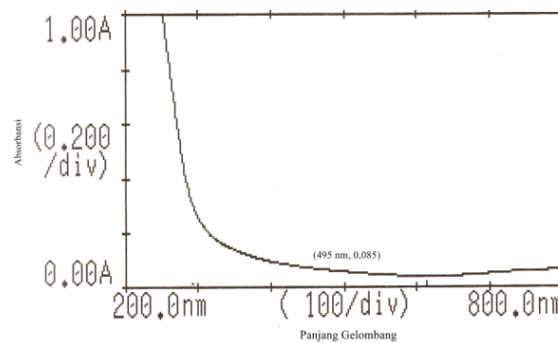


Gambar 6. Spektra *UV-Vis* remazol brilliant orange 3R setelah elektrofotokatalisis

Elektrolisis Larutan Sampel

Elektrolisis dilakukan menggunakan elektroda C/C dengan waktu elektrolisis 180 menit dan potensial sebesar 5,2 volt. Setelah proses elektrolisis, terjadi penurunan intensitas dan perubahan warna. Warna yang semula berwarna orange pekat berubah menjadi orange jernih. Penurunan intensitas warna setelah proses elektrolisis disebabkan oleh proses perusakan struktur substrat zat warna karena pengaruh elektrolisis.

Hasil analisis spektra *UV-Vis* terhadap larutan sampel setelah elektrolisis seperti disajikan pada gambar 7 menunjukkan masih terlihat puncak serapan pada 495 nm yang merupakan puncak dari gugus kromofor, hal ini menandakan zat warna belum terdegradasi sempurna.

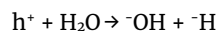


Gambar 7. Spektra *UV-Vis* remazol brilliant orange 3R setelah elektrolisis

Fotokatalisis Larutan Sampel

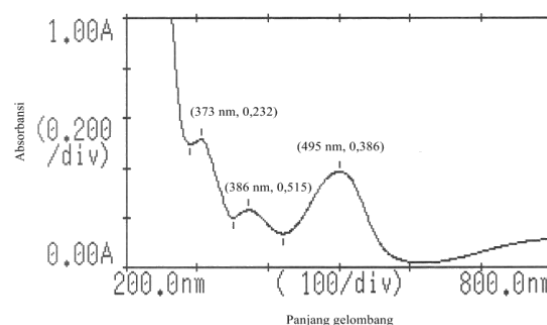
Fotokatalisis dilakukan dengan penambahan serbuk TiO₂ serta dilakukan di dalam reaktor fotokatalis yang dilengkapi lampu *UV-C* selama 180 menit sambil dilakukan pengadukan. Lampu *UV-C* berfungsi sebagai sumber energi foton (*hν*) supaya reaksi fotokatalisis dapat berlangsung. Pengadukan yang dilakukan 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 [9].



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

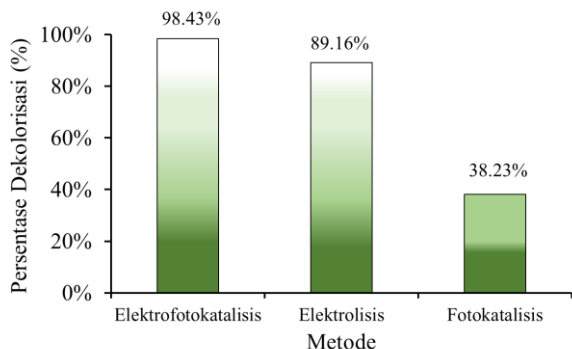
Dari gambar 8 dapat dilihat bahwa dalam waktu 180 menit, metode fotokatalisis belum sempurna terdegradasi zat warna remazol brilliant orange 3R, pada spektra *UV-Vis* masih terlihat adanya gugus kromofor pada panjang gelombang 495 nm dan benzena terkonjugasi pada panjang gelombang 373 nm yang belum sempurna teroksidasi oleh TiO₂. Dalam waktu 180 menit fotokatalisis ini hanya mampu menurunkan absorbansi sebesar 38,23%. Hal ini disebabkan kurang lamanya waktu fotokatalisis sehingga proses yang terjadi di dalamnya kurang sempurna.



Gambar 8. Spektra *UV-Vis* remazol brilliant orange 3R setelah fotokatalisis

Perbandingan Metode Elektrofotokatalisis, Elektrolisis, dan Fotokatalisis

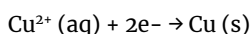
Untuk mengetahui metode yang paling efektif dalam proses dekolorisasi larutan sampel adalah dengan membandingkan ketiga metode yaitu elektrofotokatalisis, elektrolisis, dan fotokatalisis pada kondisi yang sama. Elektrofotokatalisis, elektrolisis, dan fotokatalisis dilakukan dengan waktu yang sama yaitu selama 180 menit. Setelah 180 menit, absorbansi larutan diukur dengan spektrofotometer UV-Vis dan konsentrasi ion logam Cu²⁺ dengan Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS).



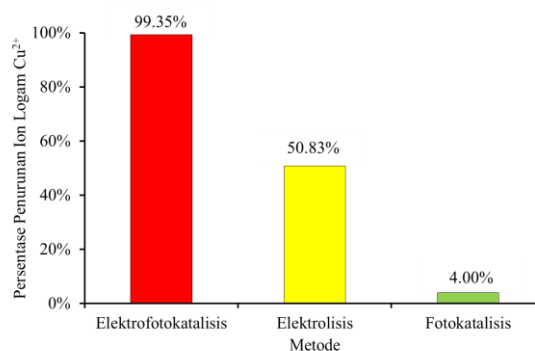
Gambar 9. Plot hubungan antara besar persentase dekolorisasi larutan sampel dengan metode yang digunakan

Grafik pada gambar 9 menunjukkan persentase dekolorisasi dari ketiga metode. Dari ketiga metode tersebut metode elektrofotokatalisis merupakan metode terbaik yaitu mampu mendekolorisasi larutan zat warna remazol brilliant orange hingga 98,43%.

Gambar 10 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 Cu²⁺ hingga 99,35% sedangkan dengan metode fotokatalisis hanya mampu menurunkan konsentrasi logam sebesar 4% dan metode elektrolisis hanya mampu menurunkan konsentrasi logam sebesar 50,83%. Hal ini disebabkan pada proses elektrofotokatalisis berlangsung dua proses sekaligus yaitu proses fotokatalisis dan proses elektrolisis. Pada proses elektrolisis terjadi proses reduksi ion logam Cu²⁺ menjadi Cu yang mengendap di anoda dan pada proses fotokatalisis terjadi fotoreduksi pada permukaan TiO₂ sehingga konsentrasi logam menurun. Reaksi reduksi ion logam Cu²⁺ menjadi Cu adalah sebagai berikut.



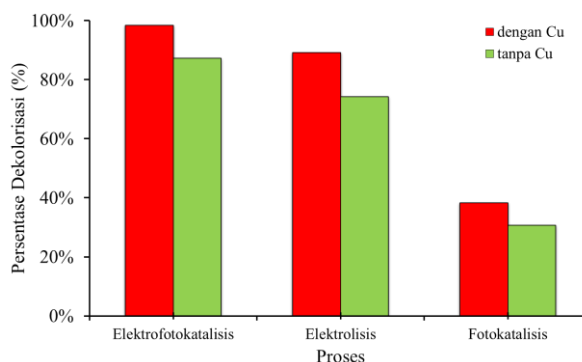
$$E_0 = 0,34 \text{ Volt}$$



Gambar 10. Plot hubungan antara besar persentase penurunan ion logam Cu²⁺ larutan sampel dengan metode yang digunakan dengan konsentrasi awal ion logam Cu²⁺ 600 ppm

Pengaruh Ion Logam Cu²⁺ dan Penyinaran dengan Lampu UV-C

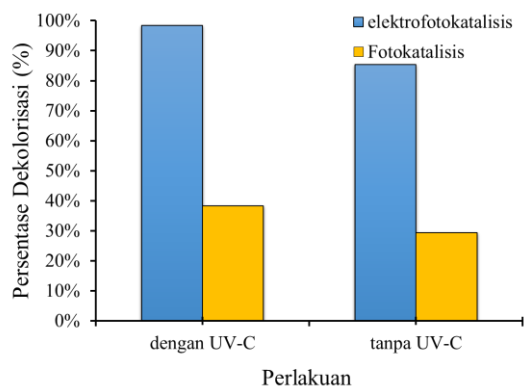
Untuk mengetahui pengaruh ion Cu²⁺ terhadap efektifitas dekolorisasi larutan zat warna remazol brilliant orange 3R, dilakukan dengan membandingkan dekolorisasi larutan zat warna remazol brilliant orange 3R tanpa dan dengan penambahan ion Cu²⁺ sebesar 600 ppm.



Gambar 11. Kurva persentase perbandingan efektifitas dekolorisasi remazol brilliant orange 3R menggunakan proses elektrofotokatalisis, fotokatalisis dan elektrolisis dengan dan tanpa adanya ion logam Cu²⁺

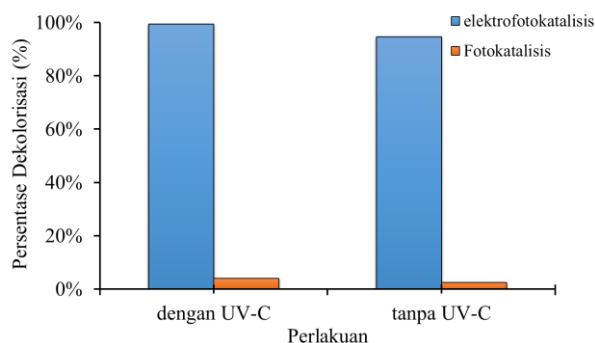
Gambar 11 menunjukkan bahwa dengan adanya ion logam Cu²⁺ akan menaikkan efektifitas dekolorisasi larutan remazol brilliant orange 3R. Hal ini disebabkan pada sistem terkatalisis TiO₂ bila dikenai cahaya UV akan menghasilkan elektron dan hole secara terus menerus. Sebagian besar pasangan elektron dan hole ini akan berekombinasi kembali. Dengan adanya penambahan ion logam Cu²⁺ maka elektron akan menginisiasi reaksi reduksi Cu²⁺ yang ada di sekitar permukaan semikonduktor sementara hole akan menginisiasi reaksi oksidasi larutan remazol brilliant orange 3R.

Untuk mengetahui pengaruh penyinaran lampu UV-C terhadap efektifitas dekolorisasi larutan zat warna remazol brilliant orange 3R, dilakukan dengan membandingkan efektifitas dekolorisasi larutan zat warna remazol brilliant orange 3R tanpa dan dengan adanya penyinaran lampu UV-C pada metode elektrofotokatalisis dan fotokatalisis.



Gambar 12. Kurva persentase perbandingan efektifitas dekolourisasi remazol brilliant orange 3R menggunakan proses elektrofotokatalisis dan fotokatalisis dengan dan tanpa adanya penyinaran lampu UV-C

Gambar 12 menunjukkan bahwa adanya penyinaran lampu UV-C akan menaikkan efektifitas dekolourisasi larutan remazol brilliant orange 3R dan gambar 13 menunjukkan bahwa adanya penyinaran dengan lampu UV-C akan menaikkan efektifitas penurunan konsentrasi ion logam Cu²⁺. Adanya UV akan menghasilkan energi sehingga elektron akan tereksitasi yang akan menghasilkan ·OH secara terus-menerus. Pada kondisi gelap terjadi aktivitas adsorpsi pada permukaan sisi aktif TiO₂ karena adanya kekosongan pada sisi aktif TiO₂. Kekosongan sisi aktif ini kemungkinan akan diisi oleh zat warna remazol brilliant orange 3R dan ion logam Cu²⁺.



Gambar 13. Kurva persentase perbandingan efektifitas penurunan konsentrasi ion logam Cu²⁺ menggunakan proses elektrofotokatalisis dan fotokatalisis dengan dan tanpa adanya penyinaran lampu UV-C dengan konsentrasi awal ion logam Cu²⁺ 600 ppm

Dari data diatas dapat diketahui bahwa efektifitas remazol brilliant orange 3R akan meningkat dengan adanya ion logam Cu²⁺ yang akan menjaga jumlah elektron dalam sistem reaksi dengan mencegah terjadinya rekombinasi dengan radikal OH dan dengan adanya penyinaran lampu UV-C sehingga dihasilkan elektron dan hole yang akan berperan sebagai reduktor serta oksidator pada larutan sampel remazol brilliant orange 3R yang mengandung ion logam Cu²⁺

4. Kesimpulan

Metode elektrofotokatalisis, elektrolisis, dan fotokatalisis mampu mendekolorisasi larutan zat warna remazol brilliant orange 3R yang mengandung ion logam

Cu²⁺ dan metode elektrofotokatalisis merupakan metode yang paling efektif dalam mendekolorisasi zat warna remazol brilliant orange 3R serta menurunkan konsentrasi ion logam Cu²⁺. Persentase dekolourisasi zat warna remazol brilliant orange 3R dengan metode elektrofotokatalisis, elektrolisis, dan fotokatalisis berturut-turut adalah 98,43%, 89,16%, dan 38,23%, sedangkan persentase penurunan konsentrasi ion logam Cu²⁺ dengan metode elektrofotokatalisis, elektrolisis, dan fotokatalisis berturut-turut adalah 99,35%, 50,83%, dan 4,00%. Keberadaan ion logam Cu²⁺ dan penyinaran lampu UV-C meningkatkan dekolourisasi zat warna remazol brilliant orange 3R.

5. Daftar Pustaka

- [1] Aried Ardhina, Dekolorisasi Limbah Cair Industri Tekstil dengan Menggunakan Omphalina sp, (2007)
- [2] M Esteves, Elisabete Sousa, Electrochemical degradation of CI reactive orange 16 in the presence of H₂O₂/Cu⁺ Ions, (2006)
- [3] Chih-Yu Chen, Photocatalytic Degradation of Azo Dye Reactive Orange 16 by TiO₂, *Water, Air, and Soil Pollution*, 202, 1, (2009) 335-342 <http://dx.doi.org/10.1007/s11270-009-9980-4>
- [4] MN Rashed, AA El-Amin, Photocatalytic degradation of methyl orange in aqueous TiO₂ under different solar irradiation sources, *International Journal of Physical Sciences*, 2, 3, (2007) 73-81
- [5] Rachmat Triandi Tjahjanto, Jarnuzi Gunlazuardi, Preparasi Lapisan Tipis TiO₂ sebagai Fotokatalisis: Keterkaitan antara Ketebalan dan Aktivitas Fotokatalisis, *Jurnal Penelitian Universitas Indonesia*, 5, 2, (2001) 81-91
- [6] Robert M Silverstein, G Clayton Bassler, Terence C Morrill, *Spectroscopic identification of organic compounds*, Wiley, New York, (1981) 196
- [7] Md Ahsan Habib, Iqbal Mohammad Ibrahim Ismail, Abu Jafar Mahmood, Md Rafique Ullah, Photocatalytic decolorization of Brilliant Golden Yellow in TiO₂ and ZnO suspensions, *Journal of Saudi Chemical Society*, 16, 4, (2012) 423-429 <http://dx.doi.org/10.1016/j.jscs.2011.02.013>
- [8] 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
- [9] 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>