

## Degradasi Limbah Zat Warna Direk Dengan Metode *Advanced Oxidation Processes* (AOPs) Kombinasi H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/MnO<sub>2</sub> dengan Parameter Uji BOD, COD dan pH

### Degradation of Direct Dyes Waste by Advanced Oxidation Processes (AOPs) Method of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/MnO<sub>2</sub> Combination with BOD, COD, and pH as The Test Parameters

Venalitya A. S. Augustia<sup>a\*</sup>, Inggit Dwi Lestari<sup>a</sup>, Maulita Dian Rani<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia  
Yogyakarta, Indonesia

#### Artikel histori :

Diterima 1 Mei 2018  
Diterima dalam revisi 15 Mei 2018  
Diterima 1 Juni 2018  
Online 30 Juni 2018

**ABSTRAK:** Metode AOPs (*Advanced Oxidation Processes*) telah banyak digunakan dan semakin berkembang untuk diaplikasikan pada pengolahan limbah tekstil. Perusahaan tekstil biasanya menggunakan zat warna sintetis dan menghasilkan limbah berwarna yang masih mengandung senyawa organik dan sulit untuk didegradasi. Salah satu zat warna yang paling sering digunakan adalah zat warna direk. Limbah zat warna direk mengandung ikatan azo yang sulit untuk didegradasi sehingga membutuhkan penanganan yang tepat seperti dengan metode AOPs. Proses AOPs untuk mendegradasi zat warna direk pada penelitian ini menggunakan kombinasi larutan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dengan katalis MnO<sub>2</sub>. Parameter yang dilakukan antara lain variasi perbandingan volume limbah dengan larutan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 50% yaitu 1:1; 2:1 dan 1:2. Sedangkan massa MnO<sub>2</sub> yang digunakan adalah 1 g untuk setiap variasi perbandingan yang dilakukan, yaitu 1 g untuk 250 ml dan 500 ml larutan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Setelah dilakukan pengujian dengan parameter BOD, COD dan pH diperoleh hasil BOD, COD dan pH terendah pada sampel percobaan dengan variasi 2:1, yaitu sebesar 230 mg/l, 784 mg/l dan 5,26.

**Kata Kunci:** AOPs; degradasi; H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/MnO<sub>2</sub>; limbah tekstil; zat warna direk

**ABSTRACT:** Advanced Oxidation Processes (AOPs) method has been applied and is growing in number of textile wastewater treatment. Textile industries are commonly using synthetic dyes in the dyeing process and will produce coloured-wastewater that is still contain of organic compound and is hard to be degraded. One of most frequently used synthetic dyes in textile industries is direct dyes. Direct dyes wastewater consists of azo bound whereby difficult to eliminate the colour and the concentration itself, thus an appropriate treatment such as AOPs is considered. The AOPs process to degrade direct dyes wastewater in this research uses a combination of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> with catalyst MnO<sub>2</sub>. Parameter variation that carried out, are the variation of the ratio of wastewater and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> volume, namely 1:1; 2:1 and 1:2. Whilst the using of mass of catalyst MnO<sub>2</sub> is 1 g for each sample variation, namely 1 g for 250 ml and 500 ml H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. The results obtained after the BOD, COD and pH tests, are 230 mg/l, 784 mg/l and 5,26 respectively. This result is showed by the sample with variation 2:1 which is delivering the lowest values of BOD, COD and pH amongst the three sample variations mentioned.

**Keywords:** AOPs; degradation; direct dyes; H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/MnO<sub>2</sub>; textile wastewater

#### 1. Pendahuluan

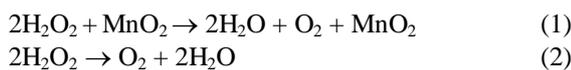
Limbah tekstil mengandung bahan-bahan yang berbahaya bila dibuang ke lingkungan. Limbah tekstil mengandung zat warna dan sebagian besar merupakan zat warna sintetis atau buatan. *Advanced Oxidation Processes* (AOPs) merupakan salah satu teknologi alternatif untuk pengelolaan limbah cair yang memiliki warna, seperti limbah yang dihasilkan industri pertekstilan. *Advanced Oxidation Processes* (AOPs) didefinisikan sebagai proses

yang melibatkan pembentukan radikal aktif hidroksil (HO<sup>\*</sup>) dalam jumlah yang cukup untuk proses penguraian air limbah dengan menggunakan oksidator kuat. Oksidator kuat yang dipakai dapat berupa campuran ozon dengan hidrogen peroksida (O<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), ozon dengan sinar ultraviolet (O<sub>3</sub> + UV) dan campuran hidrogen peroksida dengan sinar ultraviolet (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + UV). Radikal aktif hidroksil yang dilepaskan senyawa-senyawa diatas dengan cepat akan mengoksidasi polutan-polutan zat warna dalam air limbah (Glaze, dkk., 1987).

\*Corresponding Author:  
Email: venalitya.augustia@uii.ac.id

Penggunaan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> mempunyai keuntungan, yaitu: aman, selektif, kuat dan mudah diperoleh. Pada umumnya, beberapa parameter AOPs yang biasa berpengaruh terhadap hasil pengolahan limbah diantaranya pH dan waktu kontak (Gottschalk, dkk., 2000). Keunggulan metode AOPs antara lain (1) mampu mendegradasi polutan organik yang tidak terdegradasi dengan proses konvensional, (2) dapat mereduksi zat warna yang tidak bisa diuraikan dengan teknologi lain, (3) tidak menghasilkan *sludge* yang harus diolah lagi seperti pada teknologi koagulasi/sedimentasi, dan (4) tidak memerlukan proses regenerasi atau proses pencucian seperti pada pemakaian *absorbent* atau membran penyaring (Muruganandham dan Swaminathan, 2006).

Pada penelitian ini digunakan metode AOPs tanpa menggunakan energi yaitu dengan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/MnO<sub>2</sub> yang diterapkan untuk mendegradasi zat warna direk pada limbah cair berwarna tekstil. Proses AOPs merupakan proses dekomposisi H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Pada suhu ruang dekomposisi H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> berjalan lambat dan akan berjalan cepat pada suhu yang lebih tinggi (Chaudhuri dan Wei, 2009). Maka untuk mempercepat laju dekomposisi ini pada suhu kamar ditambahkan katalis MnO<sub>2</sub>. Berikut adalah reaksi dekomposisi H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oleh MnO<sub>2</sub>:



Reaksi jenis H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/katalis merupakan reaksi yang sama dengan reaksi yang terjadi pada proses photo-fenton. Namun, laju pembentukan radikal OH<sup>•</sup> tergolong lebih lambat karena radiasi UV tidak ikut digunakan dalam prosesnya (Dwiasi, dkk., 2014). Gutowska, dkk., (2007) menggunakan proses ini untuk mendegradasi Reactive Orange 113, zat warna sintesis azo yang biasanya digunakan dalam industri tekstil saat ini. Melalui metode ini dapat diperoleh dekolorisasi yang lebih tinggi yaitu lebih dari 80% setelah dioksidasi selama dua jam (Poyatos dan Torres, 2010).

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan antara lain gelas beker sebagai wadah reaksi proses AOPs kombinasi H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/MnO<sub>2</sub> dan pengaduk magnetik.

### 2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah zat warna direk (hijau pekat) hasil proses pencelupan kertas tisu, larutan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 50%, MnO<sub>2</sub> dan kertas saring.

### 2.3 Prosedur kerja

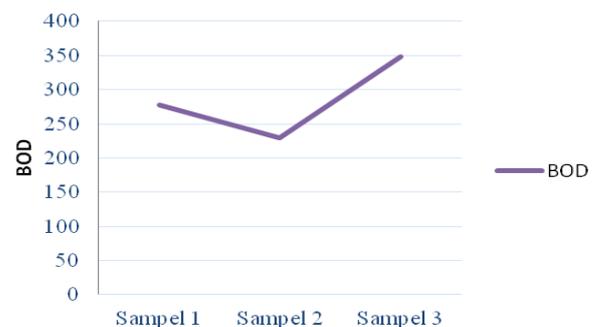
Degradasi Limbah Zat Warna Direk dengan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/MnO<sub>2</sub> dilakukan dengan langkah berikut. Ke dalam gelas beker 1000 ml dimasukkan sampel limbah dengan volume 250 ml. Kemudian ditambahkan larutan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsentrasi 50% dengan rasio volume limbah dan larutan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> adalah 1:1 atau sebanyak 250 ml larutan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Setelah itu dimasukkan

MnO<sub>2</sub> sebanyak 1 g. Larutan tersebut diaduk selama 5 menit dengan pengaduk magnetik. Kemudian dibiarkan selama 24 jam untuk dibiarkan terjadinya proses AOPs. Setelah dibiarkan selama 24 jam, maka sampel tersebut disaring dan diuji dengan parameter BOD, COD dan pH di Laboratorium Kualitas Lingkungan Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Percobaan tersebut diulangi kembali untuk rasio volume limbah zat warna direk dan larutan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sebesar 2:1 dan 1:2.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Pengaruh H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> terhadap *Biochemical Oxygen Demand* (BOD)

Gambar 1 menunjukkan hasil penelitian pada proses AOPs dengan kombinasi H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/MnO<sub>2</sub> yang memberikan hasil nilai BOD terkecil terdapat pada sampel 2 dengan nilai 230 mg/l. Sedangkan sampel 1 memiliki nilai BOD sedikit lebih tinggi dari nilai BOD sampel 2 yaitu 278 mg/l. Sementara sampel 3 memiliki nilai BOD yang tertinggi dari keseluruhan yaitu 349 mg/l.



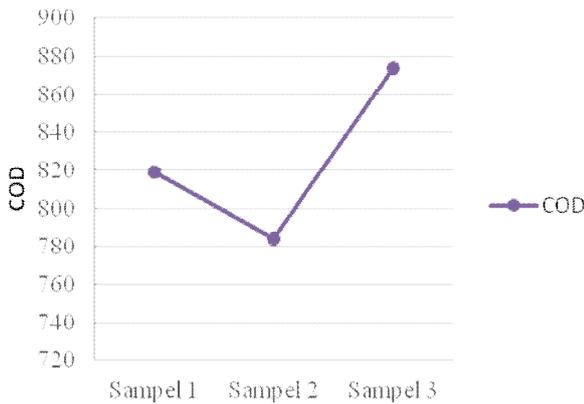
**Gambar 1.** Pengaruh H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/MnO<sub>2</sub> terhadap *Biochemical Oxygen Demand* (BOD)

Seperti penelitian yang telah dilakukan oleh Arif, dkk., (2014) mengatakan bahwa penggunaan peroksida yang berlebihan tidak efisien untuk mendegradasi metilen biru karena jika penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yang ditambahkan dalam larutan berlebih, maka akan terbentuknya radikal HO<sub>2</sub><sup>•</sup> yang kurang reaktif dibandingkan radikal •OH. Jumlah H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yang berlebih dapat bereaksi dengan OH• menghasilkan HO<sub>2</sub><sup>•</sup>. HO<sub>2</sub><sup>•</sup> dapat bereaksi dengan HO•. Hal ini menyebabkan OH• berkurang sehingga *methylenene blue* yang terdegradasi mengalami penurunan (Gutowska, 2007). Dosis hidrogen peroksida yang tidak tepat akan mengurangi kinerja AOPs dalam menghasilkan radikal hidroksil (Krisma, 2008).

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa apabila volume H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yang ditambahkan kedalam larutan berlebih, maka akan mengurangi kemampuan degradasi. Dari penelitian yang telah dilakukan diperoleh hasil degradasi terbaik yang ditunjukkan pada sampel 2 yaitu dengan perbandingan volume limbah dan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 2:1 yang terdiri dari volume limbah 500 ml; 250 ml H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; dan 1 g MnO<sub>2</sub> dengan nilai BOD sebesar 230 mg/l.

### 3.2 Pengaruh $H_2O_2$ terhadap *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Gambar 2 menunjukkan pengaruh  $H_2O_2/MnO_2$  terhadap COD dalam pengolahan limbah air dari proses pencelupan menggunakan zat warna direk dengan metode AOPs. Dilihat bahwa sampel pertama memperoleh nilai COD sebesar 819 mg/l, kemudian pada sampel kedua didapatkan nilai COD sebesar 784 mg/l dan pada sampel ketiga diperoleh nilai COD sebesar 874 mg/l. Jadi, dapat disimpulkan bahwa degradasi nilai COD terendah ialah pada sampel dua dengan nilai COD sebesar 784 mg/l.



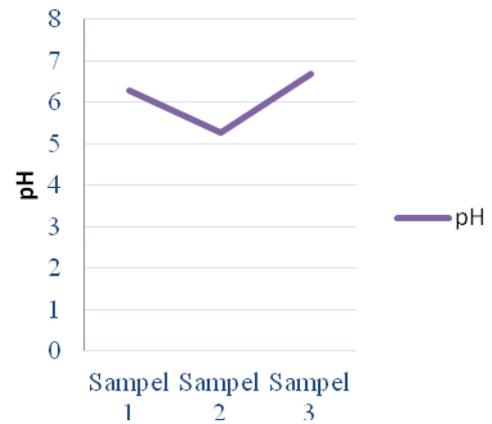
**Gambar 2.** Pengaruh  $H_2O_2/MnO_2$  terhadap *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Tipikal umum dari penurunan COD limbah dapat dibagi menjadi dua tahap. Pertama, fase penurunan cepat dimana terjadi penurunan dengan kecepatan tinggi, setelah itu tahap kedua terjadi titik balik dimana kecepatan reaksi menurun akibat terbentuknya karbon organik sebagai hasil sementara (Rezagama, 2012).

Kembali naiknya kadar COD dapat disebabkan karena adanya kemungkinan senyawa yang berikatan dengan senyawa amfoter. Senyawa amfoter dapat bersifat sebagai asam dan juga dapat bersifat sebagai basa bergantung pada larutan yang direaksikan (Imtiyaz, 2016). Pada asam yang lebih kuat oksida amfoter bertindak sebagai basa, begitu sebaliknya bereaksi dengan zat yang lebih basa oksida amfoter bertindak sebagai asam (Seran, 2011).

### 3.3 Pengaruh $H_2O_2/MnO_2$ terhadap *Potential of Hydrogen* (pH)

Gambar 3 menunjukkan pengaruh  $H_2O_2/MnO_2$  terhadap COD dalam pengolahan limbah air dari proses pencelupan menggunakan zat warna direk dengan metode AOPs. Dilihat bahwa pada sampel pertama diperoleh nilai pH sebesar 6,29, kemudian pada sampel kedua didapatkan nilai pH sebesar 5,96 dan sampel ketiga memperoleh nilai pH sebesar 6,68. Jadi, dapat disimpulkan bahwa nilai pH terkecil ditunjukkan oleh sampel dua dengan nilai pH sebesar 5,96.



**Gambar 3.** Pengaruh  $H_2O_2/MnO_2$  terhadap Potential of Hydrogen (pH)

Dari tiga hasil percobaan tersebut menunjukkan bahwa proses pengolahan air limbah dengan proses oksidasi yang menggunakan  $H_2O_2/MnO_2$  akan merubah nilai pH terhadap kondisi air limbah setelah diproses. Dengan melihat hasil sampel 1 dan 2, semakin banyak jumlah  $H_2O_2$  yang digunakan, maka nilai pH akan semakin bertambah ke arah basa atau keasaman akan berkurang.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Imtiyaz, dkk (2016), jika pH lebih rendah efektifitas penghilangan kontaminan akan menurun karena dekomposisi  $H_2O_2$ <sup>[12]</sup>. Pada proses  $H_2O_2$ /katalis (dengan Fenton ( $Fe^{2+}$ )) yang digunakan sebagai katalis pada penelitian terkait) tidak efektif dilakukan untuk limbah cair pada pH 5-9 karena pada pH basa akan semakin banyak terbentuk endapan/lumpur yang dapat mengganggu efisiensi penyisihan warna (Mukaromah dan Yusrin, 2012).

Sebagaimana jika dilihat dari nilai pH yang diperoleh dari penelitian ini, kondisi air limbah dapat dikatakan aman setelah proses penjernihan karena pada kondisi tanpa bantuan penyeimbang pH, dengan nilai pH di bawah 6 aktivitas bakteri metan akan mulai terganggu dan bila mencapai 5,5 aktivitas bakteri akan terhenti sama sekali.

Dari Gambar 4 diatas terlihat bahwa terjadi degradasi warna yang jauh berbeda dari warna semula limbah hasil pencelupan kertas tisu. Jika dilihat dari hasil limbah yang terdegradasi, sampel pertama dengan menggunakan perbandingan 1:1 antara volume limbah dan  $H_2O_2$  memberikan hasil yang sangat baik, yaitu limbah yang terdegradasi 100% (jernih). Namun, jika diuji BOD, COD dan pH-nya sampel pertama masih bernilai cukup tinggi. Sedangkan sampel kedua mempunyai nilai BOD, COD dan pH yang lebih kecil diantara ketiga sampel percobaan tersebut, walaupun degradasinya tidak mencapai 100%. Sedangkan untuk sampel ketiga, degradasi yang terjadi sangat kecil dan setelah dilakukan proses pengujian sampel ketiga masih mempunyai nilai BOD, COD dan pH yang tinggi.



**Gambar 4.** Hasil Degradasi Limbah Zat Warna Direk dengan  $H_2O_2/MnO_2$

#### 4. Kesimpulan

Kombinasi hidrogen peroksida ( $H_2O_2$ ) dan mangan dioksida ( $MnO_2$ ) mampu mendegradasi limbah berwarna tekstil khususnya zat warna direk.

Variasi perbandingan volume limbah dan  $H_2O_2$  yang memberikan hasil optimal dalam menurunkan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan pH pada limbah zat warna direk adalah 2:1 dengan volume limbah 500 ml; 250 ml  $H_2O_2$  serta 1 g  $MnO_2$ , yaitu dengan nilai BOD, COD dan pH berturut-turut 230 mg/l, 784 mg/l dan 5,26.

Metode AOPs dengan menggunakan  $H_2O_2/MnO_2$  dapat diterapkan atau diaplikasikan untuk mendegradasi limbah cair berwarna tekstil. Namun, dikarenakan masih menghasilkan nilai BOD dan COD yang belum memenuhi baku mutu limbah cair tekstil, maka metode ini sangat direkomendasikan untuk digunakan sebagai tahap *pre-treatment* dalam pengelolaan limbah cair berwarna tekstil.

#### Daftar Pustaka

- Arif, S., Wardani, S., dan Danar, P., 2014, *Studi Pengaruh Penambahan Hidrogen Peroksida ( $H_2O_2$ ) terhadap Degradasi Methylene Blue menggunakan Fotokatalisis  $TiO_2$ -Bentonit*, *Kimia Student Journal*, 2.
- Chaudhuri, M., dan Wei, T. Y., 2009, *Decolourisation of Reactive Dyes by Modified Photo-Fenton Process Under Irridation with Sunlight*, *Nature Environment and Pollution Technology: An International Quarterly Scientific Journal*, Vol. 8 No. 2; pp. 359-363.
- Dwiasi, D.W., Setyaningtyas, T., Riyani, K., dan Sutrisno, A., 2014, *Aplikasi Metode Advanced Oxidation Processes untuk Menurunkan Kadar Methyl Orange*, *Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia VI*: 512 ISBN: 979363174-0,4.
- Glaze, W.H., Kwang, J.W., dan Chapin, D.H., 1987, *The Chemistry of Water Treatment Processes Involving Ozone, Hydrogen Peroxide and Ultraviolet Radiation, Ozone: Science & Engineering, The Journal of the International Ozone Association, Vol.9 No.4, 335-352.*

- Gottschalk, C., Libra, J., dan Saupe, A., 2000, *Ozonation of Water and Wastewater: A Practical Guide to Understanding Ozone and Its Application*, WileyVCH, New York.
- Gutowska, A., Kaluzna-Czaplinska, J., dan Jozwiak, W.K., 2007, *Degradation Mechanism of Reactive Orange 113 Dye by  $H_2O_2/Fe^{2+}$  and Ozone in Aqueous Solution*, *Dyes and Pigments*, 74, 41-46.
- Imtiyaz, I., Rezagama, A., dan Luvita V., 2016, *Pengolahan BOD, COD, TSS dan pH pada Limbah Industri MSG (Monosodium Glutamate) menggunakan Teknologi Advanced Oxidation Processes ( $O_3/H_2O_2$  dan Fenton)*, *Jurnal Teknik Lingkungan*, Vol. 5, No. 1.
- Krisma, A., 2008, *Penyisihan Besi dan Zat Organik dari Air Tanah Menggunakan Ozon (AOP)*, Institut Teknologi Bandung: Bandung.
- Mukaromah, A.H., dan Yusrin, E.M., 2012, *Degradasi Zat Warna Rhodamin B secara Advanced Oxidation Processes Metode Fenton Berdasarkan Variasi Konsentrasi  $H_2O_2$* , *Seminar Hasil Penelitian, LPPM UNIMUS*, ISBN: 978-602-18809-0-6
- Muruganandham, M., dan Swaminathan, M., 2006, *Advanced Oxidative Decolourisation of Reactive Yellow 14 Azo Dye by  $UV/TiO_2$ ,  $UV/H_2O_2$ ,  $UV/H_2O_2/Fe^{2+}$  Processes ---a comparative study*, *Separation and Purification Technology*, Vol. 48, No. 3, Hal. 297-303.
- Poyatos, J.M., dan Torres, J.C., 2010, *Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment: State of the Art*, *Water Air Soil Pollut*, 205: 187-204.
- Rezagama, Arya., 2012, *Studi Degradasi Senyawa Organik Air Lindi Tempat Pembuangan Akhir Sarimukti Menggunakan Ozon*, Institut Teknologi Bandung: Bandung.
- Seran, L.E., 2011, *Oksigen Molekuler Sebagai Zat Pengoksidasi*, Universitas Negeri Malang: Malang.