

---

**PENGOLAHAN ZAT WARNA TURUNAN AZO DENGAN METODE FENTON  
( $\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2$ ) DAN OZONASI ( $\text{O}_3$ )**

**Fathul Jannah\*), Arya Rezagama\*\*), Fajar Arianto\*\*)**

Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Jl. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

email : fathul\_95@ymail.com

**Abstrak**

Pewarna Azo biasa digunakan pada bahan tekstil, kain dan lainnya. Selain itu juga digunakan untuk pewarna pada Batik. Batik yang diproduksi oleh pengrajin batik rumahan menghasilkan limbah buangan yang tidak dikelola dengan baik oleh para produsen. Air limbah dari proses pewarnaan pada tekstil dan kain mengandung senyawa azo yang sulit untuk terurai secara biologi dan membutuhkan waktu yang lama. Para pengrajin Batik di Indonesia biasanya menggunakan pewarna sintetis, salah satunya yaitu Rapid dengan warna hitam dan merah. Pada penelitian ini pewarna yang digunakan adalah Rapid Merah. Nilai absorbansi warna pada konsentrasi zat warna 5000 ppm adalah 4,317 pada panjang gelombang 351 nm. Pengolahan yang dilakukan adalah dengan Metode Fenton ( $\text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$ ) dengan variasi dosis  $\text{FeSO}_4$  0,25 gr, 0,5 gr, dan 1 gr. Selain metode Fenton juga dilakukan pengolahan dengan Ozonasi yang di beri katalis  $\text{FeSO}_4$ , dengan variasi dosis Ozon 30 ppm, 60 ppm, dan 90 ppm. Serta mengamati pengaruh ozon dan  $\text{FeSO}_4$  pada pengolahan ozonasi saja dan koagulasi dengan  $\text{FeSO}_4$  saja. Berdasarkan penelitian, efisiensi penurunan nilai absorpsi didapatkan dengan pengolahan ozonasi dan penambahan  $\text{FeSO}_4$  dengan dosis ozon 60 ppm. Nilai efisiensi penurunan warna adalah 99%.

**Kata kunci :** Fenton, Ozon, Pewarna Azo,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , Warna

**Abstract**

**[Azo dyes treatment by Fenton ( $\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2$ ) Methode and Ozonation ( $\text{O}_3$ )].** Azo dyes is used to coloring textile, fabric and others. In Indonesia, There is a traditional culture called Batik. That is a product of art fabric with coloring special technic. Industrial who produce batik usually handle by household in some village. They are very talented to make Batik high quality because it is not made by machine, not massive product from big industry. But, They do not know how to manage the wastewater from the production. The wastewater from textile dyes that contains azo are not biodegradable and need long time. For Producer of Batik in Indonesia there is color they are used to use called "Rapid" with red color or black. In this research we use Rapid Red as synthetic wastewater. Initial Peak Color is 4,317 in wavelength 351 nm. The treatment is to add  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  in synthetic wastewater Rapid Red as coagulant and combine with Fenton and Ozone. When  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  and ozone 60 ppm added to synthetic wastewater Rapid Red color can reduce to 99%.

**Keywords :** Fenton, Ozonation, Azo Dyes,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , Color

## 1. PENDAHULUAN

Seiring dengan pertumbuhan penduduk yang semakin pesat maka terjadi juga peningkatan kebutuhan pokok berupa sandang atau pakaian. Sandang atau pakaian umumnya diproduksi secara massal dari suatu industri tekstil. Oleh karena itu industri tekstil mengalami pertumbuhan yang cukup signifikan. Pada periode 10 tahun terakhir, tingkat pertumbuhan konsumsi dan produksi tekstil di dunia rata-rata mengalami pertumbuhan sekitar 3-4% (Sumber: Transparency Market Research, September 2012 dalam Yulida, 2012). Peningkatan produksi tekstil pada suatu negara akan memberikan peningkatan pada negara tersebut. Sehingga, Industri tekstil menjadi objek vital pada perkembangan setiap negara. (Holkar, et al., 2016)

Untuk menambah keindahan pada tekstil digunakan zat pewarna yang dapat berasal dari zat warna alami dan zat warna kimiawi. Penggunaan pewarna untuk produksi dengan kapasitas yang besar pada industri tekstil dipilih zat warna kimiawi. Proses pewarnaan pada bahan tekstil ada dua macam yaitu, Dyeing (Pencelupan) dan Printing (Pencapan) (Puspo, 2009). Variasi pewarnaan pada tekstil dapat dikreasikan menjadi berbagai bentuk motif dan bentuk, salah satunya dengan pematikan.

Proses pembuatan batik secara umum mengkreasikan motif tekstil/kain dengan pencelupan ke dalam larutan berbagai zat warna. Terdapat beragam metode pembuatan batik di Indonesia, diantaranya teknik canting tulis, teknik celup ikat, teknik colet, teknik cap dan teknik cetak. (Astuti, 2014). Perbedaan pada metode pembuatan batik akan menghasilkan motif berbeda yang khas. Namun, akan tetap sama menghasilkan produk samping berupa limbah cair. Limbah cair yang didominasi sisa pewarna kimia akan menimbulkan pencemaran pada lingkungan bila tidak diolah terlebih dahulu (Laksono, 2012).

Limbah cair dari proses pematikan dan pewarnaan tekstil merupakan salah satu sumber

pencemaran air yang cukup tinggi jika tidak dilakukan pengolahan limbah (Manurung, 2004). Zat warna tekstil umumnya dibuat dari senyawa azo dan turunannya yang merupakan gugus benzena. Diketahui bahwa gugus benzena sangat sulit didegradasi, walaupun dimungkinkan dibutuhkan waktu yang lama (Christina, et al., 2007). Terdapat berbagai macam zat warna kimiawi yang digunakan dalam pewarnaan batik dan tekstil, diantaranya yaitu indigosol, naptol dan rapid.

Zat warna rapid biasa dipakai untuk coletan jenis rapid fast. Zat warna ini adalah campuran komponen naptol dan garam diazonium yang distabilkan. Zat warna naptol adalah suatu zat warna tekstil yang dapat dipakai untuk mencelup secara cepat dan mempunyai warna yang kuat (Laksono, 2012). Diazonium adalah salah satu kelompok turunan pewarna azo dengan dua gugus azo ( $-N=N-$ ) yang berikatan dengan suatu amina aromatik (Yahdiana, 2011). Umumnya Rapid yang banyak dipakai adalah rapid merah, karena warnanya cerah dan tidak ditemui di kelompok indigosol (Laksono, 2012)

Limbah dari pewarna tekstil yang mengandung azo sulit untuk terurai dengan proses biologi dan butuh waktu yang lama (Dalvand, et al., 2016). Hal ini disebabkan karena adanya ikatan rangkap ( $-N=N-$ ) pada senyawa azo. Ikatan ganda ( $-N=N-$ ) ini harus dipecah agar dapat menguraikan pencemaran lingkungan yang ditimbulkan (Harisha, et al., 2017). Hal yang paling dikhawatirkan dalam pewarnaan menggunakan garam diazonium adalah efek mutagenitas dan karsinogenitas (Latief, 2014).

Pewarna Rapid Merah yang tersebar di pasaran di jual secara bebas. Umumnya digunakan oleh pengrajin batik di berbagai kota seperti Semarang dan Pekalongan. Berdasarkan hasil pembacaan gugus fungsi dengan FTIR ditemukan gugus azo atau azides pada pita absorbansi di panjang gelombang 2124,8  $\text{cm}^{-1}$  yaitu diantara 2160-2120  $\text{cm}^{-1}$  (Sumber : Infrared Spectroscopy Absorption Table dalam Libretext, University of California, 2014)

Sebuah alternatif penguraian ikatan rangkap diazo ( $-N=N-$ ) pada limbah warna rapid adalah dengan AOPs (Advanced Oxidation Processes). AOPs memiliki berbagai metode-metode dalam penguraian air limbah yaitu ozon ( $O_3$ ) pada  $pH > 8.5$ ;  $O_3$  dan hydrogen peroxide ( $O_3 + H_2O_2$ );  $O_3$  dan katalis; Sistem Fenton ( $H_2O_2 + Fe^{2+}$ );  $O_3$  dan UV;  $H_2O_2$  dan UV;  $O_3, H_2O_2$  dan UV; Sistem photo-Fenton ; and photocatalytic oxidation ( $TiO_2 + UV$ ). Metode ini digunakan tergantung pada pembentukan radikal OH yang dapat menguraikan material organik pada senyawa. Selain itu pengaplikasian plasma dengan metode oksidasi juga semakin berkembang dan semakin kompleks dengan kemampuan penguraian polutan yang semakin baik. (Tichonovas et al. 2013).

Metode-metode AOPs telah banyak diterapkan dengan hasil penguraian polutan yang beragam dengan berbagai keunggulan dan kekurangan. Pada sistem Fenton memiliki produk samping berupa *suspense* atau endapan, Tetapi pada sistem ozon tidak ada endapan yang terbentuk, dan pengolahan dengan ozonasi membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan sistem Fenton. Oleh karena itu dilakukan penelitian keefektivitasan teknologi ini pada pewarna turunan Azo Rapid Merah dengan harapan dapat memberikan efisiensi penurunan nilai warna lebih tinggi dari metode lainnya dengan waktu yang relatif singkat.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan pada Januari sampai dengan April 2017. Proses pengolahan limbah dengan metode Fenton, dan pengukuran absorbansi warna dilaksanakan di Laboratorium Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro. Untuk proses pengolahan metode ozon dilaksanakan di *Laboratorium Center for Plasma Research* Fakultas Sains & Matematika Universitas Diponegoro

Jenis penelitian yang dilakukan merupakan penelitian eksperimental-laboratoris, dimana penelitian dilakukan dalam skala laboratorium

dengan limbah artifisial sebagai sampel. Limbah artifisial di buat dari pewarna batik yang sering digunakan oleh industri batik rumah tangga. Berdasarkan nilai COD pada limbah batik konsentrasi pewarna disesuaikan dengan COD yang digunakan. Berdasarkan pengujian digunakan 5 gram pewarna pada 1000 ml aquades. Pada konsentrasi ini nilai COD limbah buatan mendekati nilai COD limbah batik di UPL Pekalongan.

Kemudian melakukan pengujian identifikasi awal yaitu dengan pengujian absorbansi warna, dan FTIR. Selanjutnya melakukan pengolahan dengan metode Fenton dengan dosis  $FeSO_4$  (0,25 gram, 0,5 gram, dan 1 gram) dan Peroksida ( $H_2O_2$ ) sebanyak 1 ml. Selain dengan metode Fenton, larutan limbah artifisial juga diolah dengan metode ozonasi dengan dosis ozon 30 ppm, 60 ppm, dan 90 ppm dengan penambahan  $FeSO_4$ . Serta untuk mengetahui efektifitas pengolahan dilakukan pengujian tambahan dengan koagulasi  $FeSO_4$  dan Ozonasi tanpa  $FeSO_4$ . Agar di dapat pola perubahan nilai absorbansi dilakukan pengambilan sampel pada menit ke 5, 10, 15, 30, 45, 60, 90, dan 120.

Analisis sampel dengan parameter yang diuji sebagai berikut:

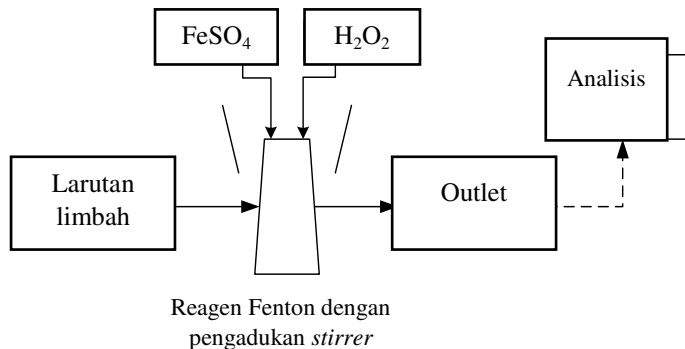
-Absorbansi Warna

Berikut langkah pengujian adsorbansi warna:

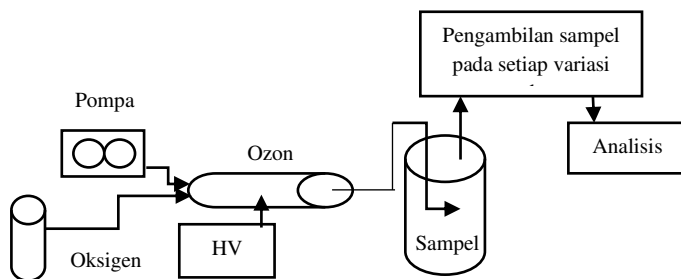
1. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Zat Warna Pada larutan zat warna Rapid Merah, dilakukan pengukuran panjang gelombang maksimum dari panjang gelombang 300-600 nm dengan spektroskopi UV-VIS. Dari pengukuran yang dilakukan akan diperoleh data absorbansi maksimal yang terjadi pada panjang gelombang tertentu. Panjang gelombang ini digunakan sebagai salah satu standar dalam pengukuran dengan spektroskopi UV-VIS.

2. Pembuatan Kurva Standar Zat Warna Rapid Merah, dilakukan dengan mengukur absorbansi larutan zat warna dengan variasi konsentrasi. Untuk pengukuran kurva standar dilakukan pada panjang gelombang maksimum yang telah diperoleh pada langkah pertama.

3. Uji Daya Serap absorbansi terhadap Zat Warna Rapid Merah dengan setiap variasi dosis pada proses Fenton dan dosis ozon kemudian absorbansinya diukur menggunakan spektroskopi UV-VIS pada panjang gelombang maksimum dan didapat harga absorbansi pada variasi penambahan dosis perlakuan.



**Gambar 1 Metode Fenton**



**Gambar 2. Metode Ozonasi**

Tahapan terakhir dalam penelitian ini yaitu tahap analisis data dimana dilakukan pengambilan data hasil penelitian meliputi parameter absorbansi warna limbah buatan dengan perhitungan efisiensi proses.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Karakteristik Awal Limbah Batik

Untuk mengetahui karakteristik limbah batik dilakukan pengujian pada parameter-parameter pencemar limbah batik sesuai bakumutu Permenlh No. 5 Tahun 2014. Limbah batik berasal dari kolam penampungan inlet pada

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Batik Pekalongan. Pengambilan sampel air limbah batik dilakukan dengan metode grab sampling sesuai dengan SNI 6989.59:2008 tentang Metode Pengambilan Contoh Air Limbah. Berikut gambar 4.1 Tempat pengambilan sampel air limbah batik

Pengujian limbah dilakukan oleh Laboratorium Badan Pengujian dan Informasi Konstruksi Semarang. Hasil uji air limbah dapat dibandingkan dengan baku mutu air limbah batik Permenlh No. 5 tahun 2014. Berikut tabel 1 Hasil Pengujian Limbah Batik dan Perbandingan dengan Baku Mutu Air Limbah

**Tabel 1 Hasil Pengujian Limbah Batik**

No.	Parameter	Satuan	Hasil Pengujian	Baku Mutu*
1.	Amonia NH <sub>3</sub> -N	mg/l	3,80	8,0
2.	Sulfida	mg/l	11,08	0,3
3.	Minyak dan Lemak	mg/l	22,00	3,0
4.	BOD	mg/l	498,94	60
5.	COD	mg/l	1.100	<b>150</b>
6.	TSS	mg/l	50	50

\*Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014

#### 3.1.1 Karakteristik Awal Zat Warna Azo Rapid Merah

Berdasarkan hasil pengujian karakteristik awal limbah batik diketahui nilai ammonia masih memenuhi baku mutu yaitu 3,8 mg/L, tetapi kandungan sulfide memiliki nilai 11,08 mg/l yang tidak memenuhi baku mutu dari Permenlh yaitu 0,3. Selain itu kandungan minyak dan lemak pada limbah batik juga jauh dari nilai baku mutu yaitu 22 mg/l sedangkan baku mutu hanya 3 mg/l. Pada Nilai BOD perbedaan nilai baku mutu dan limbah batik juga memiliki selisih yang cukup jauh. Baku mutu nilai BOD untuk limbah batik hanya 60 mg/l namun nilai BOD yang terkandung pada limbah batik adalah 498,9 mg/l. Sebanding dengan nilai BOD pada nilai COD perbedaan dengan baku mutu juga cukup besar. Pada limbah batik nilai COD yaitu sebesar 1100 mg/l, nilai COD tidak memenuhi baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 yaitu melebihi 150 mg/l. Hal ini disebabkan oleh banyaknya kandungan organik yang terdapat pada limbah.

Nilai COD merupakan gambaran kebutuhan oksigen total untuk mendegradasi senyawa – senyawa organik dan kimia yang terlarut pada limbah batik secara kimiawi. Kandungan senyawa organik ini disebabkan oleh penggunaan pewarna kimia pada proses produksi seperti pewarnaan dan pencelupan sehingga air limbah tercemar dengan berbagai bahan kimia (Tichonovas et al. 2013).

Oleh karena itu nilai COD dapat menjadi penentu untuk mengetahui perubahan kualitas air limbah dengan metode pengolahan yang digunakan. Nilai COD pada zat warna Azo jenis Rapid Merah dengan konsentrasi pewarna limbah buatan 5000 ppm adalah 1.012 mg/l. Nilai COD pada limbah pewarna buatan cukup mendekati limbah batik pada Penampungan Unit Pengolahan Limbah Batik Pekalongan sehingga ditentukan dosis pewarna yaitu 5000 ppm. Konsentrasi ini di buat dengan melarutkan 5 gr pewarna *rapid* merah ke dalam 1000 ml aquades. Berdasarkan perhitungan dosis penggunaan pewarna untuk pembatikan juga mendekati nilai konsentrasi ini.

Konsentrasi limbah buatan yang digunakan berdasarkan hasil wawancara dengan salah satu pengrajin batik di Pekalongan yang menyatakan bahwa dosis pemakaian pewarna yang digunakan untuk pencelupan adalah sebesar 15-20 gram dalam 1 liter air. Sekitar (30-70)% zat warna reaktif azo yang digunakan akan terfiksasi pada kain dan sisanya sebagai air buangan tekstil (Ambrosio, 2004 dalam Rohmah & Sugiarto, 2008). Diasumsikan sekitar 30% zat warna azo yang tersisa pada limbah adalah sekitar 4,5-6 gram. Kemudian dipilih dosis pertengahan yaitu 5 gram dalam 1000 ml atau 5000 ppm.

Karakteristik limbah batik lainnya adalah warna yang menonjol seperti abu gelap, kehitam-hitaman dan keruh. Meskipun nilai konsentrasi warna tidak menjadi baku mutu oleh Permenlh, namun hal ini tetap menjadi perhatian khusus karena warna yang mencemari badan air dapat mengganggu proses fotosintesis karena intensitas cahaya matahari tidak dapat masuk.

Nilai konsentrasi warna dapat diukur dengan nilai absorbansi menggunakan *Spectrophotometer Uv-vis*. Perubahan nilai absorbansi akan mengindikasikan perubahan konsentrasi warna pada limbah. Nilai absorbansi maksimum diukur pada panjang gelombang warna diantara 300-600 nm. Berdasarkan pengukuran nilai absorbansi maksimum zat warna Azo Rapid Merah adalah 4,317 pada panjang gelombang 351 nm.

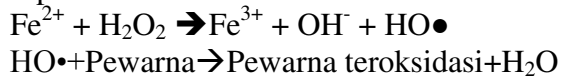
### 3.2 Dosis Optimum $\text{FeSO}_4$ pada Reaksi Fenton dalam Penurunan Nilai Absorbansi Warna

Untuk menurunkan nilai absorbansi warna dilakukan pengolahan limbah buatan zat warna Azo Rapid Merah dengan metode Fenton ( $\text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$ ). Fenton merupakan salah satu metode pengolahan *Advanced Oxidation Process* yang mengandalkan reagen Fenton. Reagen fenton adalah larutan yang berisi campuran hydrogen peroksida ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) dan katalis garam besi [II] ( $\text{Fe}^{2+}$ ). Reagen Fenton yang digunakan dalam proses fenton berperan sebagai sumber radikal hidroksil ( $\text{HO}\bullet$ ) (Watt (1998) dalam Elfiana, 2013). Garam besi [II] ( $\text{Fe}^{2+}$ ) dapat diperoleh dari senyawa  $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{FeSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{FeSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . Pada penelitian ini digunakan ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) garam besi [II] sulfat dalam bentuk hidrat karena lebih mudah didapatkan daripada jenis garam besi lainnya.

Untuk penelitian ini digunakan variasi dosis 0,25 gram, 0,5 gram, dan 1 gram  $\text{FeSO}_4$  dan 1 ml  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Dosis ini diperoleh berdasarkan perhitungan konversi dari penelitian sebelumnya yang menggunakan reagen Fenton dengan konsentrasi  $\text{H}_2\text{O}_2$  80 mM dan  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  4 mM (Agustina dan Amir, 2012). Pada dosis  $\text{H}_2\text{O}_2$  80 mM apabila dikonversikan kedalam satuan mililiter akan mendekati 0,93 ml. Sedangkan  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  sebanyak 4 mM dikonversikan menjadi massa adalah 0,556 gram. Berdasarkan hasil konversi ini digunakan dosis yang paling mendekati yaitu  $\text{H}_2\text{O}_2$  1 ml, dan tiga variasi dosis  $\text{FeSO}_4$  yaitu 0,25 gram, 0,5 gram, dan 1 gram.

Limbah buatan rapid merah yang digunakan memiliki pH awal 10,5. Limbah buatan dibiarkan tetap basa tanpa diubah menjadi pH tertentu. Pada saat pengolahan sampel diambil sekitar 15-20 ml setiap variasi waktu untuk pengukuran nilai absorbansi warna. Sebelum melakukan pengukuran sampel akan disimpan pada tabung reaksi 25 ml selama kurang lebih 24 jam untuk diendapkan. Kemudian sampel disaring dengan kertas saring dan dilakukan pengukuran.

Terjadinya perubahan nilai absorbansi warna disebabkan oleh adanya reaksi dari reagen Fenton ( $\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2$ ) yang mendegradasi kandungan senyawa organik terlarut pada limbah buatan. Menurut Bismo (2006) Campuran antara peroksida ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) dengan ion fero atau Fe(II) atau besi(II) dapat menghasilkan radikal hidroksil seperti reaksi berikut

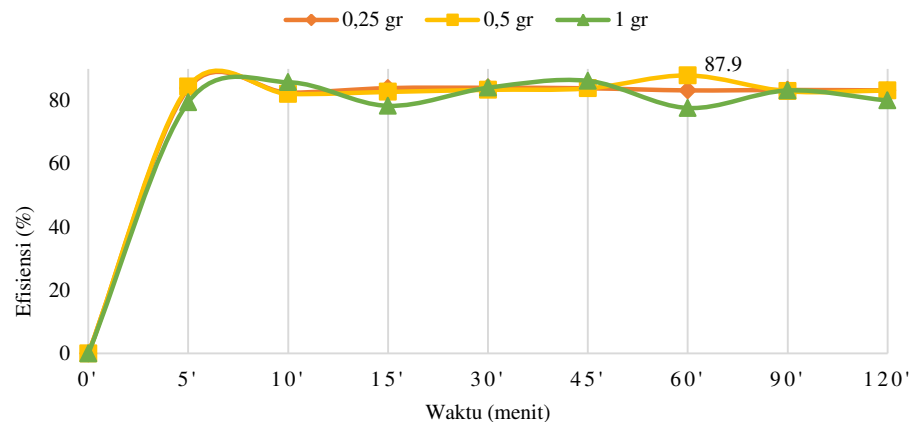


Adanya penambahan  $\text{Fe}^{2+}$  dan  $\text{H}_2\text{O}_2$  dapat meningkatkan penurunan nilai warna. Radikal hidroksil yang terbentuk karena adanya reaksi antara ion besi [II] ( $\text{Fe}^{2+}$ ) dan  $\text{H}_2\text{O}_2$  menghancurkan molekul-molekul pewarna yang

ada menjadi lebih kecil (Fu, Wang, and Tang 2010).

Zat Pewarna yang terdapat pada limbah buatan ini adalah Zat Warna turunan Azo. Zat warna azo memiliki ikatan khusus yaitu ikatan rangkap dari Nitrogen ( $-\text{N}=\text{N}-$ ). Hasil dari penurunan nilai absorbansi warna ini mengindikasikan bahwa radikal hidroksil yang terbentuk dari reaksi reagen Fenton, akan menyerang ikatan grup azo pada molekul pewarna (Tunc, Gürkan, and Duman, 2012).

Penurunan nilai absorbansi warna pada setiap dosis memiliki efisiensi yang berbeda-beda. Namun, efisiensi penurunan nilai absorbansi warna telah mencapai lebih dari 75%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pengolahan zat warna Azo Rapid Merah dapat dilakukan dengan metode Fenton. Dosis  $\text{FeSO}_4$  dalam reaksi Fenton yang dibutuhkan untuk menurunkan nilai absorbansi warna dapat digunakan dari 0,25 gram sampai dengan 1 gram dalam 500 ml limbah warna.



**Grafik 1. Efisiensi Absorbansi warna terhadap Pengolahan dengan Metode Fenton**

Hasil pengukuran nilai absorbansi warna yang telah dilakukan menyatakan bahwa nilai absorbansi warna mengalami penurunan optimum pada dosis 0,5 gram  $\text{FeSO}_4$  dalam 500 ml limbah warna.

Oleh karena itu dosis optimum  $\text{FeSO}_4$  pengolahan menggunakan metode Fenton pada zat warna Azo Rapid Merah adalah 1 gram dalam 500 ml air limbah warna.

Pengolahan menggunakan metode Fenton dengan reagen peroksida ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) sebanyak 1 ml

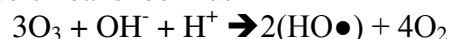
dan  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  sebanyak 1 gram adalah dosis yang cocok untuk menurunkan nilai warna secara maksimum pada limbah buatan pewarna azo jenis rapid merah. Dosis ini kemudian digunakan dalam pengolahan ozonasi, tetapi dikalikan dua, karena volume pengolahan ozonasi dibutuhkan limbah pewarna buatan sebesar dua kali volume pengolahan metode fenton yaitu 1000 ml.

### 3.3 Dosis Optimum Ozon ( $\text{O}_3$ ) dengan Penambahan $\text{FeSO}_4$ Terhadap Penurunan Nilai Absorbansi pada Limbah Buatan Zat Warna Azo Rapid Merah

Penurunan nilai absorbansi warna pada limbah buatan zat warna Azo Rapid Merah dengan ozonasi dan penambahan  $\text{FeSO}_4$  dilakukan dengan variasi dosis ozon 30 ppm, 60 ppm dan 90 ppm. Dosis  $\text{FeSO}_4$  yang digunakan yaitu 2 gram dalam 1000 ml air limbah zat warna buatan.

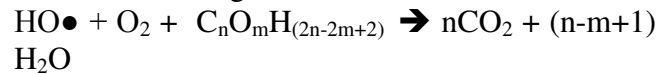
Pengolahan limbah buatan zat warna Azo Rapid Merah dengan metode ozonasi dan penambahan  $\text{FeSO}_4$  sebanyak 2 gram dapat menurunkan nilai absorbansi warna. Melalui proses oksidasi, ozon mampu membunuh berbagai macam mikroorganisme, perlakuan air minum, air limbah, sterilisasi bahan makanan mentah, dan peralatan medis (Usada dan Purwadi, 2007).

Ozon mampu mengoksidasi berbagai senyawa dalam air dengan dua cara yaitu reaksi langsung dan reaksi tidak langsung. Secara langsung dilakukan oleh ozon itu sendiri yang terlarut dalam air. Sedangkan cara tidak langsung yaitu dengan memproduksi OH radikal sebagai hasil dari proses dekomposisi (Fessenden, 1990 dalam Krisnawati dkk 2014). Ozon dapat menghasilkan radikal hidroksil dari reaksi dengan ion  $\text{OH}^-$  dan  $\text{H}^+$  dari suatu larutan. Sebanyak 3 molekul ozon dapat menghasilkan 2 ion radikal hidroksil, seperti reaksi berikut



Radikal bebas hidroksil ( $\text{HO}\bullet$ ) sangat reaktif, berumur pendek dan detrimental. Reaksi pada

umumnya antara radikal OH dengan limbah organik dengan produk reaksinya dapat dirumuskan sebagai reaksi berikut

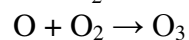
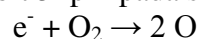


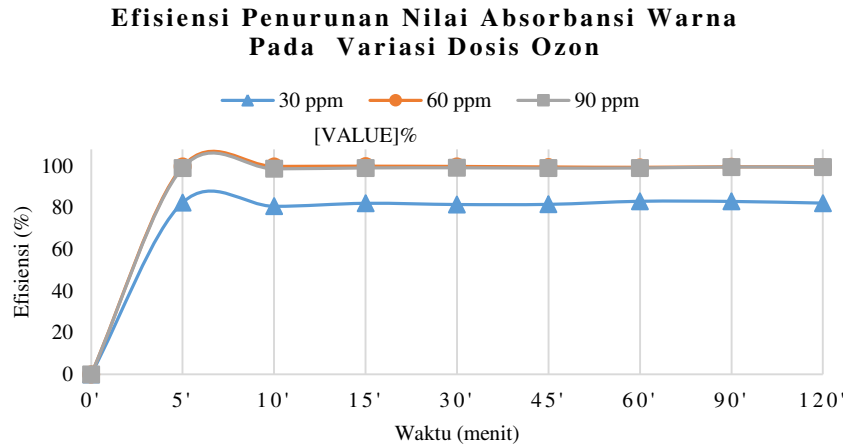
Keunggulan ozon dalam degradasi limbah organik cair adalah ozon larut dalam air dan dapat bergerak diantara molekul cairan sehingga mempunyai interaksi cukup kuat dengan polutan terlarut dalam air tersebut, namun kelemahan ozon yang utama adalah ozon hanya bekerja untuk suasana pH yang tinggi, sehingga kemampuan ozon dalam mendegradasi limbah juga terbatas (Usada dan Purwadi, 2007). Pada penelitian ini pH awal limbah buatan adalah 10,5. Sehingga nilai absorbansi warna dapat turun pada pengolahan dengan ozonasi.

Penambahan 2 gram  $\text{FeSO}_4$  pada pengolahan dengan ozonasi bertujuan untuk mempercepat reaksi penurunan nilai absorbansi warna.

Agar dapat menentukan dosis ozon dengan penurunan nilai absorbansi warna yang maksimal maka diberikan perlakuan dosis ozon yang berbeda. Dosis ozon yang diberikan pada limbah yaitu 30 ppm, 60 ppm, dan 90 ppm. Dosis Ozon diukur dengan alat ozon meter.

Untuk menghasilkan ozon digunakan ozon reaktor DBD (*Dielectric Barrier Discharge*). Reaksi pembentukan ozon dengan teknologi lucutan plasma diperlihatkan pada reaksi di bawah ini (Usada dan Purwadi, 2007). Pada reaktor pembentuk ozon dibutuhkan energi listrik dan oksigen. Energi listrik yang diberikan dapat di atur tegangan listrik dengan HV (*High Voltage*) dari sumber tegangan. Semakin tinggi tegangan yang dialirkan maka ozon yang dihasilkan akan semakin besar. Pada ozonasi dosis ozon ditentukan dengan mengatur tegangan. Sedangkan oksigen di atur tetap mengalir dengan debit 5 lpm pada semua variasi dosis ozon.





**Grafik 2. Efisiensi absorbansi warna terhadap Pengolahan dengan Metode Ozonasi**

Berikut grafik 2. efisiensi penurunan nilai absorbansi warna pada setiap variasi dosis ozon. Efisiensi penurunan nilai absorbansi warna pada dosis ozon 30 ppm adalah pada menit ke-60 yaitu 83% dari nilai absorbansi awal. Penurunan nilai absorbansi warna pada dosis ozon 30 ppm cukup konstan setelah menit ke-5, dengan nilai absorbansi berkisar antara 0,76 sampai 0,83. Berbeda dengan dosis 30 ppm, pada dosis ozon 60 ppm dan dosis ozon 90 ppm, penurunan nilai absorbansi pada menit ke-5 berada dibawah 0,1 yaitu 0,028-0,005 pada dosis 60 ppm, dan 0,06-0,02 pada dosis 90 ppm. Berdasarkan hasil pengukuran nilai absorbansi dengan Spectrophotometer Uv-vis pada panjang gelombang 351 nilai absorbansi warna turun maksimum pada dosis ozon sebesar 60 ppm.

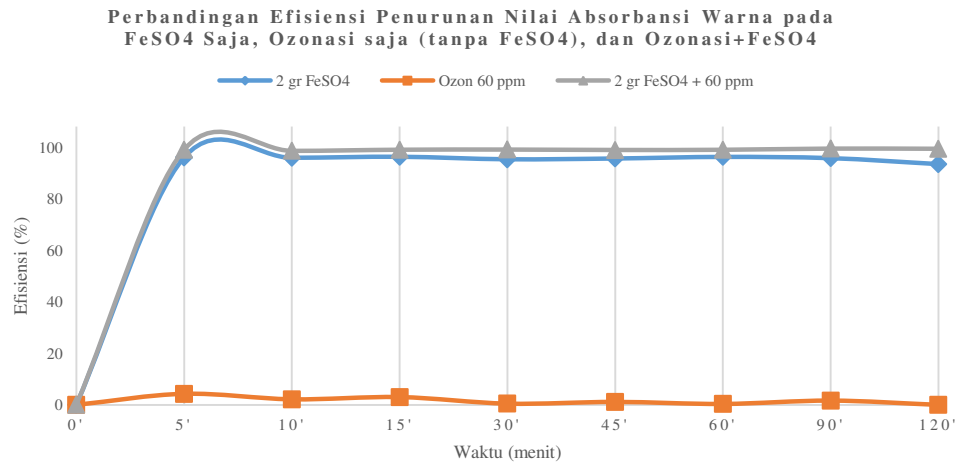
### 3.4 Efektifitas Ozon dan $\text{FeSO}_4$ dalam Penurunan Nilai Absorbansi warna

Setelah limbah pewarna buatan azo rapid merah diberikan perlakuan dengan reagen Fenton dan

Ozon+katalis  $\text{FeSO}_4$  dan warna telah dapat diturunkan. Meskipun efisiensi pada setiap dosis dan perlakuan menghasilkan persentase yang berbeda tetapi telah dapat membuktikan bahwa terjadi perubahan pada limbah buatan. Zat-zat organik yang ada sebagian besar dapat diuraikan. Kesamaan pada perlakuan Fenton dan Ozon ini yaitu adanya tambahan  $\text{FeSO}_4$ . Oleh karena itu untuk dapat mengamati efektifitas sebenarnya yang paling berperan dalam penurunan absorbansi warna ini dilakukan pengolahan limbah buatan dengan cara koagulasi dan penambahan  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .

Pengolahan dilakukan dengan alat *jartest* pada gelas kimia dengan volume limbah buatan sebanyak 1000 ml. Koagulasi dilakukan dengan kecepatan pengadukan sebesar 200 rpm, disamakan dengan perlakuan pada Fenton dan Ozonasi. Penambahan  $\text{FeSO}_4$  adalah sebanyak 2 gram. Berikut grafik 3. hasil penurunan nilai absorbansi warna pada pengolahan limbah buatan pewarna Azo Rapid Merah dengan koagulasi dan penambahan  $\text{FeSO}_4$ .





Grafik 3. Efisiensi Pengolahan Metode Ozonasi+FeSO<sub>4</sub>, Koagulasi FeSO<sub>4</sub>, Ozonasi saja

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa FeSO<sub>4</sub> memiliki efektifitas yang sangat besar dalam penurunan nilai absorbansi warna pada limbah buatan pewarna rapid merah. Pada pengolahan dengan koagulasi FeSO<sub>4</sub> absorbansi warna turun sebesar 96% pada menit ke-5. Kemudian pada menit selanjutnya hanya berubah beberapa persen tapi tetap berada di sekitar angka 93%-96%. Apabila FeSO<sub>4</sub> dikombinasikan dengan ozonasi maka dapat mencapai efisiensi penurunan absorbansi warna tertinggi. Pada metode ozonasi dengan penambahan FeSO<sub>4</sub>, efisiensi penuruan nilai absorbansi warna berada pada rata-rata 99%. Sehingga pengolahan ini adalah pengolahan terbaik untuk menurunkan warna pada air limbah Namun, pengolahan dengan menggunakan penambahan FeSO<sub>4</sub> ini memberikan hasil samping berupa endapan atau suspensi yang dibutuhkan tambahan pengolahan untuk memisahkannya. Pada penelitian skala laboratorium ini sebelum pengukuran dilakukan pengendapan dan penyaringan terlebih dahulu. Berbeda dengan ozonasi saja, suspensi yang terbentuk hampir tidak ada. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pengolahan limbah dengan metode ozonasi diperlukan waktu pengolahan yang lebih lama dibandingkan dengan metode ozonasi bersama katalis FeSO<sub>4</sub>.

## 4. PENUTUP

### 4.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan berikut kesimpulan yang dapat diperoleh

1. Karakteristik awal limbah batik dari Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Batik Pekalongan sebagian besar parameter memiliki nilai yang melebihi baku mutu dari Permenlh No. 5 Tahun 2012, terutama nilai COD yaitu 1100 mg/l. Limbah buatan yang digunakan adalah Pewarna Azo Rapid Merah dengan konsentrasi 5000 ppm memiliki nilai COD 1021 mg/l dan nilai absorbansi maksimum 4,317 pada panjang gelombang 351 nm
2. Dosis optimum FeSO<sub>4</sub> pada pengolahan limbah buatan pewarna Azo Rapid merah dengan metode Fenton penurunan absorbansi warna berada pada persentase 77%-87%.
3. Pengolahan limbah buatan pewarna Azo Rapid merah dengan ozonasi dan penambahan FeSO<sub>4</sub> sebanyak 2 gram pada volume limbah 1000 ml memiliki penurunan nilai absorbansi warna pada pengolahan ini turun sampai dengan 99%.
4. Pengolahan limbah buatan pewarna Azo Rapid merah dengan metode ozonasi saja, hanya mampu menurunkan nilai absorbansi warna hanya sebesar 4%. Sedangkan pengolahan koagulasi saja dengan FeSO<sub>4</sub> penurunan nilai absorbansi warna berkisar diantara 95-96%

Kombinasi dari ozonasi dan  $\text{FeSO}_4$  mampu memaksimalkan pengolahan dengan efisiensi penurunan nilai absorbansi warna mencapai 99%.

#### 4.2 Saran

1. Penelitian pada pemanfaatan hasil samping (endapan) dari pengolahan limbah dengan metode Fenton.
2. Studi lanjutan mengenai waktu ozonasi yang diperlukan untuk menurunkan nilai COD pada limbah buatan pewarna Azo Rapid Merah.
3. Pengembangan inovasi pengolahan limbah lain dengan menggunakan  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

#### Daftar Pustaka

- Agustina, T. E, dan Muhammad Amir. 2012. *Pengaruh Temperatur Dan Waktu Pada Pengolahan Pewarna Sintetis Procion Menggunakan Reagen Fenton*. Jurnal Teknik Kimia 18(3): 54–61.
- Astuti, M. 2014. *Batik Ikat Celup Permata Bunda (Parang Kaliurang) Hargobinangun Sleman*. Yogyakarta: eprints UNY.
- Christina M., Mu'nisatun S, Rany Saptajaji, dan Djoko Marjanto. 2007. *Studi Pendahuluan Mengenai Degradasi Zat Warna Azo ( Metil Orange ) Dalam Pelarut Air Menggunakan Mesin Berkas Elektron 350 keV/10 mA*. JFN, Vol 1 No. 1 Mei 2007. Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir-BATAN: 31–44.
- Elfiana. 2013. *Penurunan Konsentrasi COD Air Limbah Domestik dengan Reagen Fenton secara Batch*. Prosiding SNTK TOPI 2013. Pekanbaru
- Estikarina. 2016. *Penurunan Kadar COD dan TSS pada Limbah Tekstil dengan Metode Ozonasi* (Skripsi). PS Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro. Semarang
- Fu, Fenglian, Qi Wang, and Bing Tang. 2010. *Effective Degradation of C . I . Acid Red 73 by Advanced Fenton Process*. 174: 17–22.
- Harisha, S., Jathi Keshavayya, B.E. Kumara Swamy, and C.C. Viswanath. 2017. *Synthesis, Characterization and Electrochemical Studies of Azo Dyes Derived from Barbituric Acid*. *Dyes and Pigments*. Elsevier. [www.elsevier.com/locate/dye](http://www.elsevier.com/locate/dye) pig. 136: 742–53.
- Holkar, Chandrakant R., Ananda J., Jadhav, Dipak V. Pinjari, Naresh M. Mahamuni, Aniruddha B. Pandit. 2016. *A Critical Review on Textile Wastewater Treatments: Possible Approaches*. *Journal of Environmental Management*. Elsevier. [www.elsevier.com/locate/jenvman](http://www.elsevier.com/locate/jenvman) 182: 351–66.
- Krisnawati, Amalia, dkk. 2014. *Pengaruh Karakteristik Lindi terhadap Ozonisasi Konvensional dan Advanced Oxidation Processes (AOP)*. Institut Teknologi Nasional: Bandung.
- Laksono, Sucipto. 2012. *Pengolahan Biologis Limbah Batik dengan Media Biofilter* (Skripsi). PS Teknik Lingkungan UI. Depok
- Latief, Dhinintya Hyta Narissi. 2014. *Analisis Frekuensi Mikronukleus Usapan Epitel Mukosa Bukal Pengrajin Batik di Yogyakarta Akibat Paparan Pewarna Azo* (Skripsi). Fakultas Kedokteran Gigi UGM. Yogyakarta
- Libretext, University of California, 2014. UC Davis ChemWiki. United States License
- Manurung, Renita, Rosdanelli Hasibuan, dan Irvan. 2004. *Perombakan Zat Warna Azo Reaktif Secara Anaerob – Aerob*. e-USU Repository : 1–19.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014
- Puspo, Goet. 2009. *Pemilihan Bahan Tekstil*. Kanisius. Yogyakarta
- Rohmah, Nur dan Sugiarto, Anto Tri. 2008. *Penurunan TS (Total Solid) Pada Limbah Cair Industri Perminyakan dengan Teknologi AOP*. Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Yogyakarta
- Somensi, Cleder A et al. 2010. “*Use of Ozone in a Pilot-Scale Plant for Textile Wastewater Pre-Treatment : Physico-Chemical Efficiency , Degradation by-Products Identification and Environmental Toxicity of Treated Wastewater.*” 175: 235–40.



- Tichonovas, Martynas. Edvinas Krugly, Viktoras Racys, Rainer Hippler, Violeta Kauneliene, Inga Stasiulaitiene, dan Dainius Martuzevicius. 2013. *Degradation of Various Textile Dyes as Wastewater Pollutants under Dielectric Barrier Discharge Plasma Treatment*. Chemical Engineering Journal. Elsevier. [www.elsevier.com/locate/cej](http://www.elsevier.com/locate/cej). 229: 9–19.
- Tunc, Sibel, Tülin Gürkan, and Osman Duman. 2012. “On-Line Spectrophotometric Method for the Determination of Optimum Operation Parameters on the Decolorization of Acid Red 66 and Direct Blue 71 from Aqueous Solution by Fenton Process.” 182: 431–42.
- Usada, Widdi dan Agus Purwadi. 2007. *Prinsip Dasar Teknologi Oksidasi Maju: Tekno-Logi Hibrida Ozon Dengan Titania*. Prosiding PPI-PDIPTN. Yogyakarta
- Yahdiana. 2011. *Studi Degradasi Zat Warna Tekstil Congo Red dengan Metode Fotokatalitik Menggunakan Suspensi TiO<sub>2</sub>* (Skripsi). FMIPA UI. Depok
- Yulida, Reva. 2012. *Pendekatan Loyalitas Pelanggan Bisnis Melalui Analisis Relationship Marketing*. Repository.upi.edu