

PERBANDINGAN EFISIENSI PENGOLAHAN AIR ZAT WARNA SINTETIS INDIGOSOL YELLOW SEBAGAI HASIL PRODUKSI BATIK DENGAN METODE FENTON DAN OZONASI KATALITIK TERHADAP PARAMETER WARNA

Armita Cristiany^{*)}, Arya Rezagama^{**)}, Muhammad Nur^{**)}

Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang, Semarang, Indonesia 50275
email : cristainayarmita@gmail.com

Abstrak

Industri batik belakangan ini banyak menggunakan zat warna sintetis pada proses produksi batiknya seperti industri batik rumah tangga di kawasan Kelurahan Jenggot, Kecamatan Pekalongan Selatan, Kota Pekalongan yang menggunakan zat warna sintetis jenis Indigosol Yellow. Diketahui air limbah batik tersebut mengandung kadar COD sebesar 1100 mg/L yang melebihi baku mutu dan warna yang pekat. Hal tersebut akan menyebabkan pencemaran apabila tidak dilakukan pengolahan terlebih dahulu. Penelitian ini menawarkan alternatif pengolahan air limbah batik zat warna sintetis Indigosol Yellow tersebut dengan menggunakan dua metode yaitu metode fenton yang merupakan salah satu teknologi AOPs, dan proses ozonasi katalitik. Pengolahan dengan dua alternatif tersebut kemudian akan dibandingkan efisiensinya terhadap parameter warna. Metode fenton menggunakan tiga variasi dosis reagen fenton yaitu 1 ml H_2O_2 + 0,25 gr $FeSO_4 \cdot 7H_2O$; 1 ml H_2O_2 + 0,5 gr $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, dan 1 ml H_2O_2 + 1 gr $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ dengan putaran pengadukan 200 rpm. Hasil terbaik metode ini pada dosis 1 ml H_2O_2 + 1 gr $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ dengan efisiensi penurunan warna 99.52%. Sedangkan metode kedua digunakan tiga variasi dosis juga yaitu 30 ppm O_3 +2 gr $FeSO_4 \cdot 7H_2O$; 60 ppm O_3 +2 gr $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ dan 90 ppm O_3 +2 gr $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ dengan putaran pengadukan 200 rpm, flowrate ozon 5 lpm. Dosis terbaik pengolahan ini berada di dosis 90 ppm O_3 +2 gr $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ dengan nilai penurunan warna 25.71%. Meskipun kedua pengolahan yang ditawarkan memberikan penurunan warna, namun hasil signifikan menunjukkan bahwa metode fenton lebih baik dan efisien dalam pengolahan air limbah zat warna sintetis Indigosol Yellow.

Kata kunci: Air Limbah Batik, Indigosol Yellow, Fenton, Ozonasi Katalitik, Warna

Abstract

[Comparison of Efficiency Water Processing Synthetic Synthetic Indigosol Yellow as A Batik Production Result With Fenton Method and Catalytic Ozonation to Color Parameters]. Batik industries recently use a lot of synthetic dyes in the process of batik production such as batik industry in Jenggot urban village, South Pekalongan district, Pekalongan City which use Indigosol Yellow as synthetic dye. The batik waste contains 1100 mg/L COD which exceeds the quality standard. It will potentially cause pollution if it isn't through the processing. This research offers two alternative treatments of Indigosol Yellow synthetic dye waste water by using one of AOPs technology that is fenton method, and a catalytic ozonation process. Then, the efficiency of two alternative is compared to color removal. The fenton method consists of crystal $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ as a catalyst which the ion Fe(II) is used and H_2O_2 solution as an oxidator. It uses three doses of fenton reagent, those are 0,25 gr $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ +1 ml H_2O_2 ; 0,5 gr $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ +1 ml H_2O_2 , and 1 gr $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ +1 ml H_2O_2 with 200 rpm stirring spin. The results indicates that 1 gr $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ +1 ml H_2O_2 is found to be the best dose among three doses else with 99.52% color removal. The second method (catalytic ozonation) also uses three variations of doses, those are 30 ppm O_3 +2 gr $FeSO_4 \cdot 7H_2O$; 60 ppm O_3 +2 gr $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ and 90 ppm O_3 +2 gr $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ with 200 rpm stirring spin, 5 lpm ozone flowrate. The result indicates that 90 ppm O_3 + 2 gr $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ with a 25.71% color removal is the best dose. Although both of treatments offer the reducing of COD concentrations, the results show that the fenton method is better and more efficient in processing of Indigosol Yellow synthetic dye waste water..

Keyword : Batik's Waste Water, Indigosol Yellow, Fenton, Catalytic Ozonation, Color

PENDAHULUAN

Kerugian dari meningkatnya keberadaan industri batik di Indonesia yaitu pencemaran air sebagai dampak hasil produksi oleh industri batik, seperti air limbah batik dari industri batik rumah tangga di kawasan Kelurahan Jenggot, Kecamatan Pekalongan Selatan, Kota Pekalongan yang diketahui memiliki nilai BOD₅, sulfida, minyak dan lemak yang tinggi dengan konsentrasi COD yang tertinggi sebesar 1100 mg/L. Hal tersebut dapat terjadi karena adanya penggunaan zat-zat kimia selama proses produksi yang salah satunya adalah zat warna sintetis. Zat warna sintetis lebih dipilih karena memiliki komposisi tetap, penggunaannya jauh lebih mudah, hasil pewarnaannya lebih cerah dan memiliki ketahanan luntur yang baik (Prayitno, dkk., 2015). Beberapa industri batik menggunakan zat warna sintetis beragam jenis warna dengan limbahnya yang sulit terdegradasi secara biologi dan mampu bertahan di lingkungan dalam periode waktu yang lama (Maria, F. et al., 2013).

Salah satu jenis zat warna yang umum digunakan adalah jenis *Indigosol Yellow*. Diketahui *Indigosol Yellow* merupakan zat warna indigo dengan gugusnya yaitu etilen (C=C), karbonil (C=O), amine (N-H) yang berbeda dengan zat warna azo dengan gugus N=N yang dominan. Atas dasar ikatan rangkap dan tertutup dalam struktur kimianya tersebut, *Indigosol Yellow* sulit terurai menjadi bentuk senyawa sederhana. Selain itu, *Indigosol Yellow* juga dapat menyebabkan penyakit kulit dan yang terburuk adalah penyebab kanker kulit (Sugiharto, 1987 dalam Nugroho, 2013). Oleh karena itu diperlukan pengolahan lebih lanjut mengenai air limbah zat warna batik ini khususnya *Indigosol Yellow* yang difokuskan pada penyisihan parameter

warna. Parameter warna ditinjau karena parameter ini karakter-karakter dari fluktuasi ekstrim yang umum terjadi ada pada air limbah tekstil termasuk sisa proses pembatikan (Chequer, et al., 2013). Alternatif pengolahan yang ditawarkan dari penelitian ini adalah metode fenton (salah satu teknologi AOPs) dan proses ozonasi katalitik. Reagen fenton sendiri merupakan campuran kristal FeSO₄·7H₂O yang dimanfaatkan ion Fe²⁺ (ion ferro) di dalamnya sebagai katalis dan larutan hidrogen peroksida (H₂O₂) sebagai pengoksidasi yang erat kaitannya secara umum terhadap pembentukan radikal aktif hidroksil (OH[•]) untuk mendegradasi senyawa organik. Sedangkan untuk proses ozonasi katalitik, adanya penambahan FeSO₄·7H₂O dapat berfungsi sebagai katalis dan/atau koagulan dengan harapan bahwa kekurangan dari sifat ozon yang sukar larut dalam air (Von Gunten, 2003 dalam Setiana, 2011) dapat dipercepat dengan batuan katalis FeSO₄·7H₂O dan/atau melalui mekanisme lain yaitu koagulasi dalam mendegradasi senyawa organik melalui pembentukan flok yang mengendap.

Dengan memanfaatkan kemampuan reduksi kedua metode (fungsi kedua metode sebagai agen oksidasi), maka keduanya akan dibandingkan kemampuan menurunkan konsentrasi parameter uji, melalui dosis optimumnya masing-masing serta efisiensinya untuk solusi pengoalahan air limbah zat warna sintetis *Indigosol Yellow*.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini akan dilakukan dalam rentang waktu bulan Desember 2016-Mei 2017. Sementara itu, kegiatan penelitian akan dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro dan Laboratorium Plasma Center Departemen

Fisika Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro.

Jenis penelitian yang dilakukan merupakan penelitian eksperimental-laboratoris artinya penelitian dilakukan dalam skala laboratorium, yaitu memanfaatkan putaran melalui kerja *jar test* dan *magnetic stirrer*. Rangkaian proses ozonasi seperti generator ozon *Dielectric Barrier Discharge* (DBD), *High Voltage* (HV), *ozone detector*, amperemeter, *magenetic strirer*, gelas ukur 1000 ml. Sampel air limbah zat warna sintetis *Indigosol Yellow* yang telah disiapkan akan diuji karakteristik awalnya (d disesuaikan dengan nilai COD air limbah batik asli) untuk kemudian dibandingkan dengan karakteristik setelah kedua pengolahan. Baik pengolahan dengan reagen fenton maupun ozonasi katalitik, keduanya dilakukan menggunakan sistem *batch* dalam gelas beker 1000 ml (fenton) dan gelas ukur 1000 ml (ozonasi katalitik). Penelitian dengan metode fenton dilakukan pada tiga variasi dosis (variabel bebas) yaitu 1 ml H_2O_2 +0.25 gr $FeSO_4 \cdot 7H_2O$; 1 ml H_2O_2 +0.5 gr $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, dan 1 ml H_2O_2 +1 gr $FeSO_4 \cdot 7H_2O$. Sedangkan proses ozonasi dilakukan dengan tiga variasi dosis juga yaitu 30 ppm O_3 +2 gr $FeSO_4 \cdot 7H_2O$; 60 ppm O_3 +2 gr $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ dan 90 ppm O_3 +2 gr $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ dengan dosis 2 gr $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ adalah variabel kontrol yang didasarkan pada optimum $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ di uji pendahuluan, dan pengaturan *flowrate* O_3 sebesar 5 lpm. Keduanya memanfaatkan putaran pengadukan yang dibuat kontrol sebesar 200 rpm. Selain itu dari kedua pengolahan, masing-masing akan diambil sampel uji pada variasi waktu yang sama yaitu :

a. uji COD pada waktu 5'; 15'; 30'; 60'; 90' dan 120'.

b. uji absorbansi warna pada waktu 5'; 10'; 15'; 30'; 45'; 60'; 90' dan 120'.

Urutan kerja yang dilakukan adalah sebagai berikut

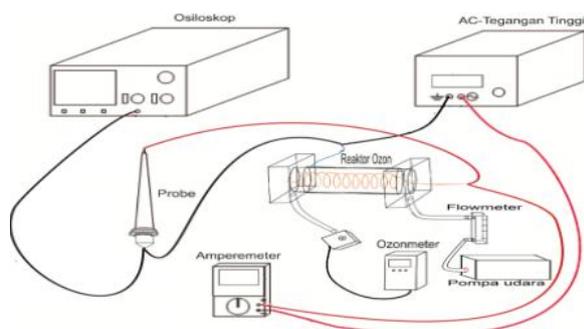
1. Pembuatan air limbah zat warna artifisial batik dengan zat warna sintetis *Indigosol Yellow*. Karakteristik limbah artifisial disesuaikan dengan karakteristik COD air limbah batik asli yang telah diuji sebelumnya, dan didapat nilai COD sebesar 1256 mg/L dari 4000 ppm air limbah zat warna artifisial.
2. Pengolahan dengan reagen fenton untuk melihat tren penurunan parameter uji dan penentuan dosis optimum.
 - a. Sampel air limbah zat warna sintetis *Indigosol Yellow* dipersiapkan sebanyak 500 ml dalam gelas beker.
 - b. Pengukuran pH awal limbah.
 - c. Siapkan air limbah tersebut dalam gelas beker di atas *jar test*. Masukkan kristal $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ sesuai variasi yang akan dilakukan yaitu 0.25 gr, 0.5 gr dan 1 gr.
 - d. Lakukan pengadukan pada *jar test* dengan *setting* 200 rpm.
 - e. Setelah satu menit, masukan larutan H_2O_2 sebanyak 1 ml (Agustina et al., 2011).
 - f. Sampel uji hasil pengolahan diambil pada waktu yang telah ditetapkan.
 - g. Pengukuran pH akhir limbah dan warna di tiap variasi waktu.



Gambar 1 Skema Proses Fenton Skala Laboratorium

3. Pengolahan dengan proses ozonasi katalitik untuk melihat tren penurunan dan penentuan dosis optimum.

- Sampel air limbah zat warna sintetis *Indigosol Yellow* dipersiapkan sebanyak 1000 ml dalam gelas ukur.
- Setting flowrate* dari oksigen murni sebesar 5 lpm.
- Setting* dosis ozon sesuai variasi yang akan dilakukan yaitu 30 ppm, 60 ppm dan 90 ppm dengan mengatur tegangan listrik.
- Penambahan 2 gr $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ pada menit pertama pengadukan dengan *magnetic stirer* yang telah terhubung oleh rangkaian generator ozon DBD.
- Sampel uji hasil pengolahan diambil pada waktu yang telah ditetapkan
- Pengukuran pH akhir limbah dan warna di tiap variasi waktu.



Gambar 2 Rangkaian Reaktor DBD beserta Peralatan Penunjang

Sumber : Teke dan M. Nur 2014.

- Rekapitulasi hasil pengolahan kedua metode dan tren penurunannya terhadap parameter COD
- Analisis perbandingan hasil (efisiensi) kedua metode pada optimumnya masing-masing hingga terpilihnya metode yang paling efektif untuk air limbah zat warna sintetis *Indigosol Yellow*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Awal Air Limbah Batik dan Air Limbah Sintetis *Indigosol Yellow*

Sampel air batik asli dalam penelitian ini diambil dari saluran inlet UPL Kelurahan Jenggot, Kecamatan

Pekalongan Selatan, Kota Pekalongan dengan pertimbangan bahwa sebagian besar kegiatan produksi batik industri rumah tangga di kawasan ini air limbahnya menuju ke UPL. Saluran inlet merupakan jalur masuknya air limbah menuju pengolahan UPL dan belum mengalami pengolahan sama sekali.

Tabel 1
Karakteristik Awal Air Limbah Batik Kelurahan Jenggot, Kecamatan Pekalongan Selatan, Kota Pekalongan

No	Parameter	Satuan	Hasil
1.	COD	mg/L	1100
2.	BOD ₅	mg/L	498.94
3.	Ammonia	mg/L	3.801
4.	Sulfida	mg/L	11.080
5.	Minyak dan Lemak	mg/L	22.00

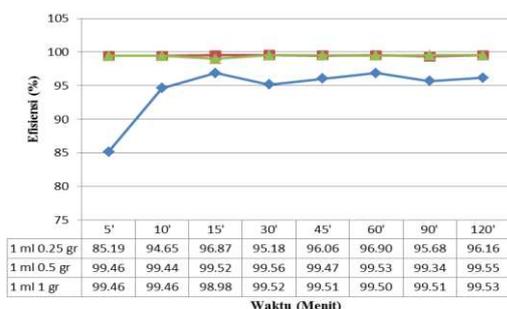
Tabel tersebut menunjukkan bahwa beberapa parameter air limbah batik berada di atas baku mutu yaitu COD, BOD₅, sulfida serta minyak dan lemak. Diantara keempat parameter tersebut, nilai COD yang memiliki nilai tertinggi dengan nilai 1100 mg/L melebihi baku mutu air limbah batik (sesuai Permen LH No. 5 Tahun 2014 dan Perda Jateng No. 5 Tahun 2012) untuk COD air limbah batik sebesar 150 mg/l. Tingginya nilai COD menunjukkan bahwa kandungan organik pada air limbah tinggi, sebagai dampaknya hal tersebut dapat mengurangi oksigen terlarut (DO) dalam air.

Untuk karakteristik air limbah zat warna sintetis *Indigosol Yellow* yang dibuat artifisialnya menyesuaikan kadar COD limbah asli dan didapat nilai yang mendekati sebesar 1256 mg/L pada konsentrasi 4000 ppm. Konsentrasi tersebut memberikan warna yang pekat dengan absorbansi maksimal 3,870 pada panjang gelombang 497 nm.

Analisis Penentuan Dosis Optimum Pengolahan terhadap Air Limbah Zat Warna Sintetis *Indigosol Yellow*

1. Dosis Optimum Pengolahan dengan Metode Fenton

Dosis reagen Fenton yang didasari atas perbandingan ion besi (Fe^{2+}) dalam kristal $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dan hidrogen peroksida (H_2O_2) terbukti mampu menurunkan warna air limbah zat warna sintetis *Indigosol Yellow*, namun tiap variasinya menunjukkan perbedaan pola terhadap kedua parameter tersebut. Oleh karena itu perlu ditentukan dosis optimum reagen fenton untuk pengolahan melalui perhitungan efisiensi. Berikut efisiensi penurunan warna pengolahan fenton.



Gambar 3. Efisiensi Penyisihan Warna Pengolahan Fenton

Dari grafik tersebut diketahui bahwa dosis 1 ml H_2O_2 + 1 gr $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ memiliki efisiensi yang cukup stabil dan terbaik diantara ketiga dosis lain dengan efisiensi penurunan warna 99.53% serta nilai koefisien regresi dengan keterkaitan antar variabel yang paling besar. Berikut hasil kualitatif pengolahan dengan dosis tersebut :

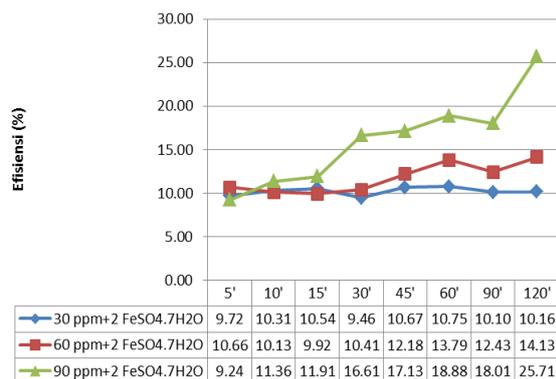


(a) Air limbah awal (b) Sesudah Pengolahan
 Gambar 4. Hasil Pengolahan Fenton dengan dosis 1 ml H_2O_2 + 1 gr $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

2. Dosis Optimum Pengolahan dengan Proses Ozonasi Katalitik

Sebelumnya telah disinggung bahwa bahwa pada proses ozonasi katalitik dengan penambahan kristal $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ selain berperan sebagai katalis diindikasikan dapat berperan sebagai koagulan dalam mekanisme diorientasi koagulasi yang bekerja didalamnya. Oleh karena itu, menjadi suatu pertanyaan bahwa saat proses berjalan manakah proses yang lebih dominan. Untuk mengetahui dosis optimum dari proses ozonasi katalitik ini, sebelumnya telah dilakukan uji sampel dengan ozonasi tanpa penambahan $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, juga uji dengan penambahan $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, dan didapatkan hasil yang lebih baik pada proses ozonasi katalitik.

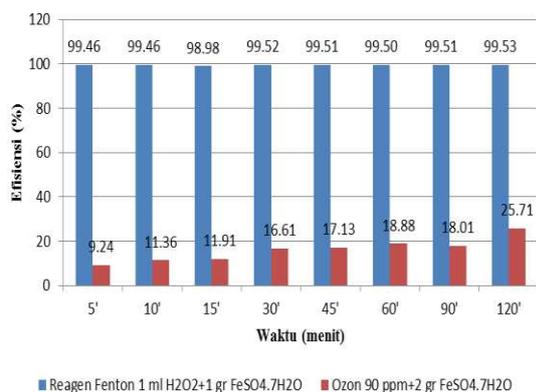
Pada proses ozonasi katalitik didapat dosis terbaik dari tiga variasi dosis yang dilakukan yaitu pada dosis 90 ppm O_3 + 2 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Hal tersebut karena pada dosis ini efisiensi cenderung konstan naik dibandingkan dengan dua dosis lain. Efisiensi penurunan warna tertinggi yaitu 25.71% pada dosis 90 ppm O_3 + 2 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ sehingga atas dasar koefisien regresi yang besar juga efisiensi terbaik, dosis ini terpilih sebagai optimum.



Gambar 5. Efisiensi Penurunan Warna Proses Ozonasi Katalitik

Analisis Hasil (Efisiensi) dan Perbandingan Antara Metode Fenton dan Proses Ozonasi Katalitik

Diketahui dari penjelasan sebelumnya bahwa masing-masing alternatif pengolahan yang ditawarkan dengan tiap variasinya memberikan nilai dan pola yang berbeda antara satu sama lainnya. Dosis optimum reagen fenton dari air limbah zat warna sintetis *Indigosol Yellow* yaitu 1 ml H₂O₂ + 1 gr FeSO₄.7H₂O sedangkan dosis optimum untuk proses ozonasi kombinasi FeSO₄.7H₂O adalah 60 ppm+2 gr FeSO₄.7H₂O. Berikut perbandingan hasil keduanya :



Gambar 6. Perbandingan Efisiensi Penurunan Warna antara Pengolahan Fenton dan Proses Ozonasi Katalitik

Terlihat jelas pada gambar tersebut penyisihan air limbah zat warna sintetis

Indigosol Yellow sangat baik pada pengolahan dengan metode fenton dibandingkan dengan proses ozonasi katalitik.

Tabel 2
Perbandingan Hasil Pengolahan Fenton dan Ozonasi Katalitik

Perbandingan	Fenton	Ozonasi Katalitik
Dosis optimum	1 gr FeSO ₄ .7H ₂ O+1 ml H ₂ O ₂	60 ppm+2 gr FeSO ₄ .7H ₂ O
Waktu optimum	30 menit pertama	120 menit

Tabel 2 (Lanjutan)
Perbandingan Hasil Pengolahan Fenton dan Ozonasi Katalitik

Perbandingan	Fenton	Ozonasi Katalitik
Efisiensi tertinggi	99,52%	25,71%
Segi Ekonomi	Ekonomis (1/10 biaya ozon dalam Riadi, et.al, 2016)	Cenderung Mahal
Kelebihan	a. Waktu relatif cepat b. Tidak selektif dalam mendegradasi senyawa organik c. Sederhana d. Tidak memakan tempat	a. Sederhana b. Tidak memakan tempat c. Dapat menghilangkan patogen d. Bereaksi dengan sentawa organik dan anorganik
Kekurangan	Menghasilkan endapan bersifat B3	Selektif terhadap senyawa organik, tidak stabil,

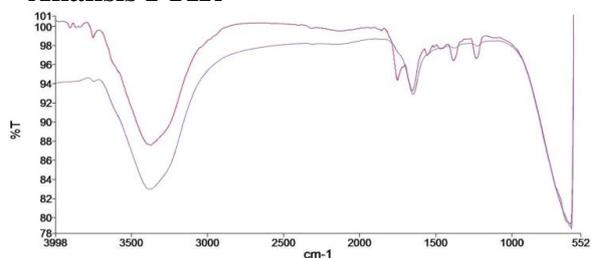
Hal ini menjadikan alternatif dengan reagen fenton lebih direkomendasikan untuk diterapkan pada air limbah batik. Selain terlihat dapat mereduksi kontaminan secara signifikan dan memiliki efisiensi tinggi, keuntungan lain dari metode fenton yaitu dapat meningkatkan biodegradabilitas (Tisa et al., 2014), terlebih metode fenton dinilai ekonomis sebagai metode AOPs untuk degradasi berbagai senyawa organik. Namun kekurangan metode fenton ialah dapat menghasilkan endapan lumpur. Hal tersebut diketahui dari terbentuknya endapan diakhir proses. Besarnya endapan ini sebanding dengan kristal $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ yang ditambahkan, semakin banyak $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ yang digunakan maka tinggi endapan semakin besar. Hal tersebut juga memunculkan teori bahwa pada metode fenton selain dengan kerja radikal hidroksil yang dapat mereduksi senyawa organik, ada mekanisme koagulasi dari ion Fe^{2+} yang tidak bereaksi dengan H_2O_2 (dalam membentuk OH^\bullet) melainkan berikatan langsung dengan koloid/partikel suspensi di air limbah zat warna sintesis *Indigosol Yellow* dan mengalami hidrolisis dalam hitungan detik kemudian terjadi adsorpsi partikel koloid/tersuspensi membentuk flok-flok yang akhirnya mengendap.

Lalu pada proses ozonasi katalitik hasil efisiensi tidak sebaik metode fenton. Proses transfer massa gas O_3 ke dalam reaktor (gelas ukur 1000 ml berisi air limbah sintesis) tidak berjalan dengan baik, *injeksi* dengan bantuan *airstone* tidak dapat memenuhi kemampuan O_3 terlarut yang dibutuhkan untuk mereduksi senyawa organik. Sedangkan mekanisme penambahan $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ yang diindikasikan berperan ganda sebagai katalis (yang mempercepat pelarutan ozon) dan sebagai koagulan (proses koagulasi),

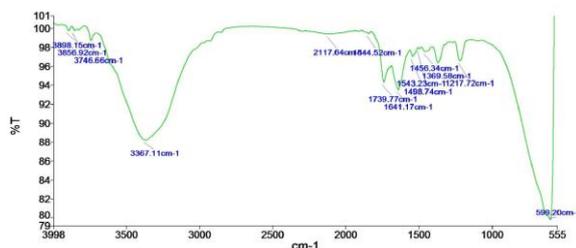
lebih cenderung berjalan sebagai koagulan karena larutan ini membentuk endapan dan fungsi katalis yang berjalan cepat sehingga habis pada awal waktu.

Jika menyinggung pengaruh parameter penunjang seperti pH. pH dapat mempengaruhi proses ozonasi. Fernando (1995) dalam Sururi, M.R, dkk (2014) menyatakan bahwa kenaikan pH selalu memiliki efek yang positif terhadap penyisihan senyawa organik tergantung dari jenis reaksi yang terjadi. Pada reaksi langsung, kenaikan pH mengindikasikan adanya kehadiran senyawa yang dapat langsung beraksi dengan ozon, sedangkan pada reaksi tidak langsung, terjadi antara produk dekomposisi ozon yaitu OH^\bullet dengan senyawa lainnya. Kenaikan nilai pH hingga pada kisaran range 8-9 akan mempercepat proses dekomposisi ozon (Kurniawan, 2006 dalam Sururi, M.R, dkk, 2014). Hal tersebut yang memungkinkan pada proses ozonasi kali ini tidak berjalan positif (memberikan efisiensi tinggi) karena pada proses terjadi penurunan pH, dari pH awal limbah 9.84–10.66 menjadi 2.88–3.49. Sehingga untuk proses ozonasi kombinasi $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, peran OH^\bullet yang dihasilkan dalam ozonasi reaksi tidak langsung untuk mendegradasi pencemar tidak begitu banyak mempengaruhi.

Analisis FTIR



— : Spektrum Warna *Indigosol Yellow* Sebelum Pengolahan
— : Spektrum Warna *Indigosol Yellow* Setelah Pengolahan Fenton



Gambar 7. Hasil Spektrum Air Limbah Sintetik *Indigosol Yellow*

Pada rentang panjang gelombang 3366,11-3375,47 cm^{-1} memiliki gugus O-H kuat dan N-H. Jika dibandingkan dengan perbandingan interpretasi FTIR setelah reaksi, baik itu dengan pengolahan optimum fenton maupun optimum proses ozonasi katalitik nampak adanya peningkatan nilai transmitan yang diartikan sebagai peningkatan intensitas hidroksil dan amine. Khusus untuk pengolahan dengan ozonasi, hal yang sama berlaku pada penelitian Rezagama (2013) dengan kenaikan intensitas hidroksil pada pengolahan lindi. Pada penelitian tersebut dijelaskan bahwa intensitas grup hidroksil meningkat setelah oksidasi ozon karena substitusi gugus fungsi dari bahan organik pertengahan diasosiasikan dengan reaksi elektrofilik melalui penambahan atom oksigen. Hal tersebut diindikasikan berlaku sama pada optimum fenton, bahwa selama proses akan mengalami substitusi elektrofilik. Untuk panjang gelombang 1641,17-1641,51 cm^{-1} memiliki dominan gugus C=C. Ikatan ini mengalami kenaikan intensitas setelah kedua pengolahan. Penyebab hal tersebut diduga karena pendegradasian OH^\bullet terbentuk dalam kedua proses lebih lambat dari kecepatan pembentukan gugus tersebut sehingga intensitasnya meningkat.

Berbeda dengan kedua rentang gelombang sebelumnya, untuk rentang gelombang terbaca 1369,58-1369,64 dengan gugus N-O dan C-H, rentang 1217,12-1218,58 dengan gugus C-O dan rentang 595,34-599,2 dengan gugus C-Br

dan C-I, ketiga rentang ini memiliki nilai transmitansi yang lebih kecil setelah pengolahan dengan optimum kedua pengolahan. Dengan demikian diketahui bahwa pengolahan baik dengan fenton dan ozon mampu mereduksi senyawa organik. Namun untuk hasil cukup terlihat pada ozonasi+ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Pengolahan tersebut dengan kemampuan memotong ikatan warnanya (yang salah satunya ada ikatan karbon dengan unsur halogen Br dan I) dapat turun 2,39% dari nilai transmitansi awal. Sedangkan untuk pengolahan dengan reagen fenton cenderung stabil karena ion anorganik dalam larutan ini (Br) sifatnya sangat kompleks dan dapat berperan sebagai OH^\bullet scavanger yang reaktif terhadap OH^\bullet (Fischbacher, et.al, 2017).

PENUTUP

Kesimpulan

Diketahui untuk pengolahan dengan air limbah zat warna sintetis *Indigosol Yellow* kurang efisien dilakukan dengan proses ozonasi katalitik, dan berlaku sangat efisien dengan hasil tertinggi pada metode fenton untuk parameter warna.

Saran

Saran yang dapat diajukan pada penelitian ini adalah :

1. Adanya limbah sekunder sisa pengolahan dengan metode fenton berupa endapan (lumpur) menjadi masalah tersendiri bagi pengolahan untuk air limbah zat warna sintetis *Indigosol Yellow*, oleh karena itu diperlukan kajian kembali untuk mengatasi masalah ini.
2. Sebaiknya dilakukan penelitian lebih rinci pada pengolahan fenton di menit ke-0 sampai 5 menit awal untuk mengetahui tren penurunan yang lebih jelas.



DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, Tuty E. et al. 2011. *Pegolahan Air Limbah Pewarna Sintetis Dengan Menggunakan Reagen Fenton*. Prosiding Seminar Nasional A VoER Ke-3 26–27
- Bismo, Setijo. 2015. *Teknologi Radiasi Sinar Ultra-Ungu dalam Rancang Bangun Proses Oksidasi Lanjut Untuk Pencegahan Pencemaran Air dan Fasa Gas*. Universitas Indonesia. Depok.
- Chequer, Maria Farah Drumond; Gisele Augusto Rodrigues de Oliveira; Elisa Raquel Anastacio Ferraz; Juliano Carvalho Cardoso; Maria Valnice Boldrin Zanoni dan Danielle Palma de Oliveira. 2013. *Textile Dyes: Dyeing Process and Environmental Impact*. Intech. <http://dx.doi.org/10.5772/53659>
- Estikarini, Hutami Dinar; Mochtar Hadiwidodo; Veny Luvita. 2015. *Penurunan Penurunan Kadar COD dan TSS pada Limbah Tekstil dengan Metode Ozonasi*. Jurnal Teknik Lingkungan. Hal. 1-11. Jurnal Teknik Lingkungan. Vol. 5. No.2. Hal 1-12.
- Fishbacher, Alexandra ; Clemens von Sonntag; Torsten C. Schmidt. 2017. *Hydroxyl Radical Yields In The Fenton Process Under Various pH, Legend Concentration and Hydrogen Peroxide/ Fe(II) Ratios*. Journal ECSN. Issues II.
- Setiana, Friadi Cahya. 2011. *Identifikasi Peran Radikal Hidroksil pada Pemisihan Fenol dengan Proses Oksidasi Lanjut Ozonasi dan Kavitas*. Skripsi. Prodi Teknik Kimia Universitas Indonesia. Depok.
- Sururi, Mohamad Rangga; Siti Ainun; Amalia Krisna. 2014. *Pengolahan Lindi dengan Proses Oksidasi Lanjut Berbasis Ozon*. Jurnal Reaktor. Vol.15. No.1. Hal. 20-26
- Teke, Sosiawati; Muhammad Nur; Tri A. Winarni. 2014. *Produksi Ozon dalam Reaktor Dielectric Barrier Discharge Plasma (DBDP) terkait Panjang Reaktor dan Laju Alir Udara serta Pemanfaatannya Untuk Menjaga Kualitas Asam Amino Ikan*. Jurnal Berkala Fisika. Vol 17. No.1. hal 25-32.
- Tisa, Farhana; Abdul Aziz Abdul Raman; Wan Mohd Ashri Wan Daud. 2014. *Applicability of Fl Uidized Bed Reactor in Recalcitrant Compound Degradation through Advanced Oxidation Processes: A Review*. Journal of Environmental Management 146:260–75. Retrieved (<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.07.032>).