



## Pengolahan air limbah tekstil berbasis ozonisasi katalitik dengan katalis besi(III) oksida ( $Fe_2O_3$ ) dan aluminium oksida ( $Al_2O_3$ ) menggunakan difuser mikro

*Treatment of textile waste water based catalytic ozonation with iron (III) oxide ( $Fe_2O_3$ ) and aluminum oxide ( $Al_2O_3$ ) catalysts using micro diffuser*

Rame\*, Agus Purwanto, Agung Budiarto

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Jl. Ki Mangunsarkoro No 6 PO Box: 829, Semarang 50136, Indonesia

### INFO ARTIKEL

*Sejarah Artikel :*

Diterima 25 April 2017

Direvisi 27 Mei 2017

Disetujui 05 Juni 2017

Dipublikasikan online

21 November 2017

*Keywords :*

*Catalytic ozonation*

*$Fe_2O_3$*

*$Al_2O_3$*

*Micro diffuser*

### ABSTRAK

Proses oksidasi lanjut (AOP) merupakan teknologi pengolahan air limbah industri tekstil yang sangat potensial. Kelemahan teknologi ini adalah pemakaian  $H_2O_2$  yang berimplikasi pada biaya operasional dan peningkatan kadar keasaman. Teknologi ozonisasi katalitik terintegrasi katalis  $Fe_2O_3$  dan  $Al_2O_3$  dengan difuser mikro adalah alternatif solusi yang murah dan efisien. Ozonisasi katalitik dilakukan dengan variasi dosis katalis 500 g, 1000 g, 1500 g dan flow ozon 1, 2, 3, 4 L/menit dengan volume air limbah 20 L. Optimalisasi proses ozonisasi katalitik dilakukan melalui variasi waktu kontak. Kinerja fungsi katalis diukur berdasarkan umur pemakaian. Indikator kinerja reaktor diukur dengan parameter warna, suhu, TSS, COD dan  $BOD_5$ . Kondisi ozonisasi katalitik terbaik dicapai pada dosis katalis 1000 g  $Fe_2O_3$  dan  $Al_2O_3$ , waktu ozonisasi katalitik 20 menit dengan flow ozon 2 L/menit.

### ABSTRACT

The advanced oxidation process (AOP) is a potential wastewater treatment technology for the textile industry. The weakness of this technology is the use of  $H_2O_2$  which has implications on operational costs and increased acidity levels. The integrated catalytic ozonation technology of  $Fe_2O_3$  and  $Al_2O_3$  catalysts with micro diffuser is a cheap and efficient solution alternative. The catalytic ozonation was carried out by variation of catalyst dose 500 g, 1000 g, 1500 g and ozone flow 1, 2, 3, 4 L/min with the volume of wastewater 20 L. Optimization of catalytic ozonation process was done through variation of contact time. The performance of catalyst function is measured by usage life. Reactor performance indicators are measured by color, temperature, TSS, COD and  $BOD_5$  parameters. The best catalytic ozonation conditions for the dose of 1000 g  $Fe_2O_3$  and  $Al_2O_3$ , catalytic ozonation time of 20 minutes with ozone flow 2 L / min.

## 1. PENDAHULUAN

Industri Tekstil dan Produk Tekstil (TPT) merupakan salah satu sektor strategis yang terus

memberikan kontribusi cukup besar terhadap perekonomian nasional, diantaranya sebagai penyumbang devisa ekspor non migas, penyerapan tenaga kerja dan pemenuhan kebutuhan dalam negeri. Data Kementerian

\*Alamat korepondensi :

E-mail : [rame@kemenperin.go.id](mailto:rame@kemenperin.go.id) (Rame)

Telp. +628157776136

doi : <https://10.21771/jrtppi.2017.v8.no.2.p67-72>

2503-5010/2087-0965© 2017 Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri-BBTPPI (JRTPPPI-BBTPPI).

This is an open access article under the CC BY-NC-SA license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

Accreditation number : (LIPI) 756/Akred/P2MI-LIPI/08/2016

Perindustrian (Kemenperin) menyebutkan, Februari 2016, nilai ekspor TPT naik sebesar 6,81% jika dibandingkan Januari 2016. Industri TPT merupakan industri padat karya yang mampu menyerap tenaga kerja sebanyak 1,5 juta orang atau sekitar 10,36% dari tenaga kerja di sektor industri manufaktur (Kementerian Perindustrian, 2016).

Industri tekstil menghasilkan limbah industri yang berpotensi mencemari lingkungan. Limbah tersebut bervariasi tergantung dari jenis dan besar kecilnya industri, pengawasan pada proses industri, derajat penggunaan air dan derajat pengolahan air limbah yang ada. Industri tekstil umumnya telah melakukan upaya pengelolaan lingkungan dengan melakukan pengolahan limbah. Instalasi pengolahan limbah memerlukan biaya yang tidak sedikit dan selanjutnya pihak industri juga harus mengeluarkan biaya operasional agar *effluent* IPAL dapat memenuhi baku mutu sesuai Peraturan Daerah Propinsi Jawa Tengah No. 5 Tahun 2012 tentang Baku Mutu Limbah dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah.

Pengembangan pengolahan air limbah industri tekstil telah dilakukan dengan menggunakan teknologi pengolahan secara biologis, fisika, kimia atau kombinasi dari unsur-unsur tersebut. Beberapa teknologi proses pengolahan air limbah industri tekstil yang sering digunakan antara lain: proses lumpur aktif (*activated sludge process*) (Moertinah dkk., 2010), reaktor putar biologis (*rotating biological contactor*, RBC), proses aerasi kontak (*contact aeration process*), proses dengan biofilter "Up Flow", biofilter anaerob-aerob dan elektrokatalitik (Mukimin, 2015). Beberapa teknologi basis elektrokimia (Marlena dkk., 2012), fotokatalitik (Syahroni, 2015) dan kombinasi katalitik kimia (Tran-Truong dkk., 2016) masih terus dikembangkan di industri.

Air limbah industri tekstil yang dihasilkan dari proses produksi di pabrik tekstil memiliki jenis dan konsentrasi cemaran yang berbeda-beda termasuk warna yang menghambat proses penguraian di lingkungan. Metode penguraian secara biologis konvensional kurang efektif karena rendahnya rasio nilai *biological oxygen demand* (BOD) dan *chemical oxygen demand* (COD). Tingginya

biaya operasional dan komponen *non-biodegradable* dalam air limbah industri tekstil mendorong banyak penelitian untuk mencari metode alternatif seperti adsorpsi, proses imobilisasi mikroba (Handayani, 2016), oksidasi kimia termasuk ozonisasi (Syafarudin, 2013) dan proses oksidasi lanjutan lainnya seperti ozonisasi katalitik (Horden, 2003; Climent dkk., 2017; Fast dkk., 2017; Guzman dkk., 2017).

Ozon sebagai salah satu oksidan kimia yang cukup potensial telah digunakan untuk menghilangkan warna dari air limbah (Smith, 1994). Selama ozonisasi pada air limbah, ozon akan menyerang ikatan tak jenuh dari khromofor yang mengakibatkan penghilangan warna dengan cepat. Ozon dapat mengurai molekul organik kompleks menjadi molekul yang lebih kecil seperti asam organik, aldehid dan keton (Gottschalk, 2010).

Namun ozonisasi saja tidak cukup untuk mengurai secara total terhadap hasil samping proses ozonisasi (Ichikawa dkk., 2014). Kesulitan proses penguraian secara total terhadap hasil samping proses ozonisasi, rendahnya reaktivitas ozon dan tingginya biaya produksi ozon mendorong perlunya pengembangan proses oksidasi lanjut (AOP) (Hutagalung, 2010). Dengan proses AOP, dapat dilakukan reduksi nilai BOD dan COD yang tinggi serta penguraian hasil samping proses ozonisasi menjadi H<sub>2</sub>O dan CO<sub>2</sub>. Proses AOP dapat dilakukan dengan penggunaan ozon bersama-sama dengan beberapa bahan kimia atau kombinasi dengan radiasi UV dan beberapa bahan kimia [O<sub>3</sub> / H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> / UV, O<sub>3</sub> / H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> / UV] (Zaikov, 2009; Glaze, 1987) serta ozonisasi katalitik (Zuorro, 2013).

Beberapa penelitian peningkatan oksidasi untuk efisiensi ozonisasi katalitik telah banyak dilakukan antara lain Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> untuk *oxalic acid* (Cooper, 1999), MnO<sub>2</sub> untuk *nitrobenzene* (Ma dkk., 2004), TiO<sub>2</sub> untuk *fulvic acid* (Volk dkk., 1997), CuO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan CuO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Pi dkk., 2003), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> untuk *oxalic acid* (Beltran dkk., 2005), CuO untuk *p-chlorobenzoic acid* (Pines dkk., 2003), karbon untuk *benzothiazole* (Valdes, 2006).

Sistem ozonisasi sebagai salah satu metode AOP didasarkan pada dekomposisi ozon dan pembentukan radikal hidroksil (Huang dkk., 2015). Salah satu tujuan utama proses AOP adalah menghasilkan radikal hidroksil

(·OH) yang lebih kuat dan reaktif dibandingkan ozon. Ozon dapat terurai menjadi spesies radikal hidroksil yang memiliki kemampuan oksidasi lebih tinggi terhadap cemaran organik dan hasil samping proses ozonisasi (Guo dkk., 2012). Reaksi radikal hidroksil bersifat non-selektif sehingga diperlukan *pretreatment* untuk meningkatkan efisiensinya. Meskipun ozonisasi atau ozonisasi katalitik telah banyak digunakan dalam pengolahan cemaran organik dan beracun, tingginya biaya dan potensi cemaran akibat pemakaian  $H_2O_2$  pada proses AOP untuk menghasilkan radikal hidroksil harus dihindari.

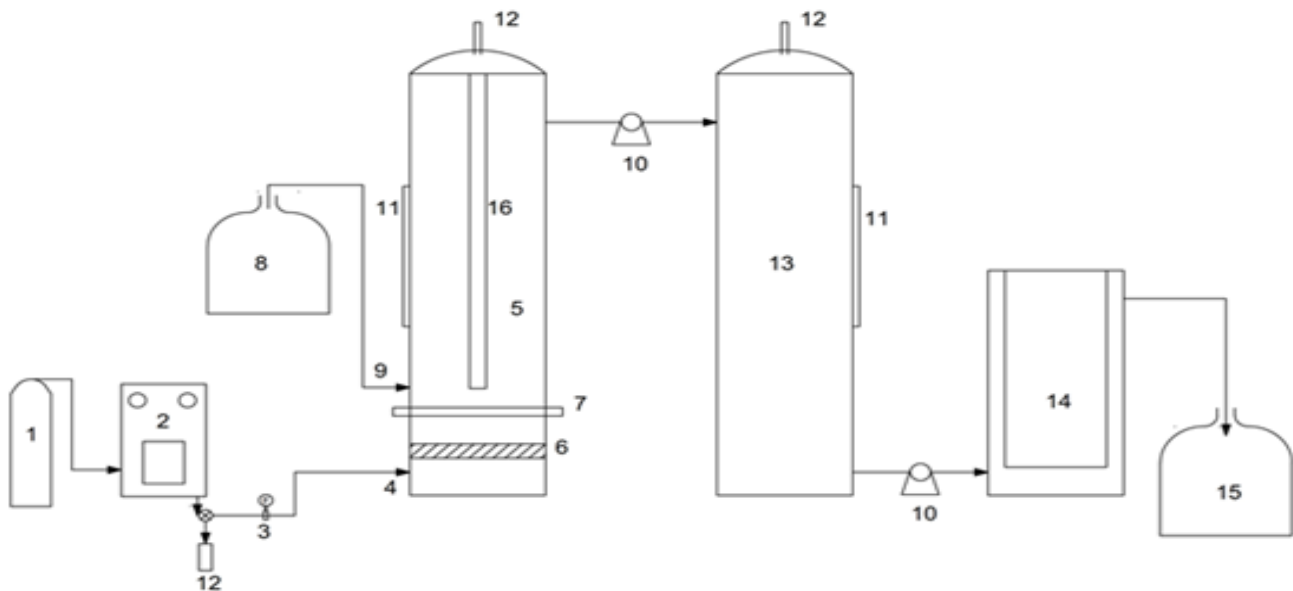
Efisiensi reaksi oksidasi terhadap target cemaran organik dapat ditingkatkan melalui pemakaian *difuser* mikro sehingga kontak dengan air limbah lebih efisien karena distribusi lebih merata. Teknologi ozonisasi katalitik terintegrasi katalis  $Fe_2O_3$  dan  $Al_2O_3$  dengan *difuser* mikro adalah alternatif solusi yang murah dan efisien. Katalis  $Fe_2O_3$  dan  $Al_2O_3$  merupakan kombinasi yang tepat karena harganya lebih rendah dibanding katalis lainnya dan masing-masing memiliki efektifitas katalitik yang baik.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1. Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan adalah air limbah industri tekstil diambil dari salah satu industri tekstil di Pekalongan. Katalis  $Fe_2O_3$  dan  $Al_2O_3$  menggunakan produk Merck (p.a). Bahan untuk pengujian  $BOD_5$ , COD, TSS, total fenol dan total ammonia. *Difuser* mikro menggunakan bahan keramik dengan pori mikro. Sekat pemisah katalis menggunakan plat stainless dengan pori mikro. Kantung katalis menggunakan polimer.

Sistem ozonisasi katalitik terdiri atas tiga unit, yaitu unit generator ozon, unit reaktor dan unit filtrasi. Unit generator ozon memiliki kapasitas ozon maksimal  $5 \text{ g/m}^3$  dengan input udara kering. Unit reaktor katalitik dengan kapasitas maksimal 40 L dan reaktor separasi dengan kapasitas maksimal 40 L. Unit filtrasi ozon terdiri atas 2 filter mikro. Alur pengolahan air limbah industri tekstil ditunjukkan pada Gambar 1 berikut:



**Gambar 1.** Skema Alur Pengolahan Air Limbah Tekstil Dengan Sistem Ozonisasi Katalitik: (1) Unit Pengering Udara, (2) Generator Ozon, (3) Gas Flow Meter, (4) Inlet Ozon, (5) Reaktor Katalitik, (6) Diffuser, (7) Katalis, (8) Reservoir Air Limbah, (9) Inlet Air Limbah, (10) Pompa, (11) Pipa Penduga, (12) Penghancur Ozon, (13) Reaktor Separasi, (14) Filter, (15) Reservoir Air Terolah, (16) Lampu UV.

Gas ozon dari generator ozon dialirkan ke dalam reaktor katalitik dari bawah melalui *difuser* mikro. *Difuser* mikro terdiri dari dua lempeng keramik dengan pori berukuran mikro. Dalam reaktor katalitik, katalis ditempatkan dalam kantong dan diisolasi dengan sekat pemisah sehingga tidak menyebar sampai bagian atas reaktor. *Difuser* mikro meningkatkan efisiensi kontak ozon, katalis, dan air limbah dalam reaktor. Katalis dan lampu UV meningkatkan dekomposisi ozon membentuk radikal hidroksil yang akan mengurai komponen cemaran dalam air limbah. Reaktor separasi dan filtrasi mencegah padatan berpindah sehingga diharapkan diperoleh air limbah terolah yang memenuhi baku mutu.

### 2.1. Prosedur

Percobaan dilakukan dengan injeksi gas ozon ke dalam reaktor katalitik bersamaan dengan penambahan air limbah. Tingkat flow gas ozon diatur untuk menentukan dosis ozon sebelum mencapai reaktor. Konsentrasi ozon di inlet gas ozon ditentukan dengan mengirimkan inlet gas ke dalam botol penjerap yang berisi 200 mL larutan metil orange, dimana gas ozon terjebak. Kemudian konsentrasi ozon ditentukan secara spektrofotometri (Tjahjanto dkk., 2012). Percobaan ozonisasi katalitik menggunakan variasi dosis katalis 500 g, 1000 g, 1500 g dan flow ozon 1, 2, 3, 4 L/menit dengan volume air limbah 20 L. Dimana  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sebagai katalis dalam proporsi yang sama ditempatkan dalam reaktor. Optimalisasi proses ozonisasi katalitik dilakukan melalui variasi waktu kontak. Indikator kinerja reaktor diukur dengan parameter warna, suhu, TSS, COD dan  $\text{BOD}_5$ . Waktu yang diperlukan untuk penghilangan warna dipantau sebagai indikator efisiensi katalis. Intensitas warna air limbah diukur dengan dibandingkan terhadap larutan standar yang diperoleh dari pengenceran. Air limbah industri tekstil diencerkan menggunakan aquades menjadi 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90%. Selanjutnya larutan dipompa menuju reaktor separasi dan filter mikro untuk ditampung ke dalam reservoir air terolah. Reaktor katalitik difungsikan berulang untuk mengetahui estimasi umur pemakaian katalis. Karakterisasi air limbah terolah dilakukan sesuai Peraturan

Menteri Lingkungan Hidup R.I. Nomor 5 tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah, bagi usaha dan/atau kegiatan industri tekstil yaitu  $\text{BOD}_5$ , COD, TSS serta total fenol dan total ammonia.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Air limbah bersumber dari proses *dyeing*, *sizing* dan tenun ditampung dalam bak ekualisasi yang dilengkapi saringan/filter sebagai tahap *pre-treatment*. *Pre-treatment* merupakan proses pendahuluan untuk eliminasi cemaran kasar yang akan menghambat proses ozonisasi katalitik. Selanjutnya air limbah dipompa menuju reaktor katalitik dimana dalam penyalurannya, air limbah diinjeksi dengan gas ozon melalui *difuser* mikro dan kontak dengan katalis untuk mengoptimalkan reaksi penguraian cemaran dalam air limbah. Setelah terurai dengan indikator hilangnya warna dari reaktor katalitik, air limbah dialirkan menuju reaktor separasi. Proses akhir adalah mengalirkan air limbah melalui unit filter, selanjutnya air limbah ditampung di bak kontrol untuk dibuang ke lingkungan melalui saluran pembuangan menuju badan lingkungan.

### 3.1 Dosis katalis

Penurunan intensitas warna dan pH air limbah terolah digunakan sebagai indikasi dihentikannya proses ozonisasi katalitik, karena sangat mudah, cepat dan murah dalam memperoleh data pengamatannya. Pada ozonisasi katalitik dengan flow tetap sesuai output alat, dosis katalis 1000 g  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sebagai katalis dengan input 20 L air limbah dapat menghilangkan warna setelah 25 menit proses ozonisasi katalitik. Sedangkan dosis katalis 500 g  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  memerlukan waktu selama 45 menit. Dosis katalis 1500 g  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  memerlukan waktu yang lebih tinggi dibanding dosis katalis 1000 g yaitu 27 menit seperti tampak pada pada Tabel 1.

Luas permukaan katalis yang digunakan selama proses ozonisasi katalitik berubah, sehingga jumlah radikal  $\bullet\text{OH}$  yang dihasilkan oleh katalis akan berubah. Hal ini mengakibatkan perbedaan jumlah radikal hidroksil pada proses penguraian dengan karakteristik air limbah yang sama, sehingga akan menghasilkan perbedaan kecepatan

penguraian. Walaupun demikian, katalis yang berlebihan akan menghambat *flow* pasokan radikal hidroksil untuk kontak dengan cemaran sehingga memerlukan waktu lebih lama seperti pada dosis katalis 1500 g.

**Tabel 1.** Data Hasil Pengujian Dosis Katalis Dengan Flow Ozon 7 L/Menit dan Input 20 L Air Limbah

No	Rasio Katalis (g)	Waktu Degradasi Warna 50% (menit)	Waktu Degradasi Warna 100% (menit)	pH
1	500	10	45	7,2
2	1000	11	25	7,3
3	1500	14	27	7,5

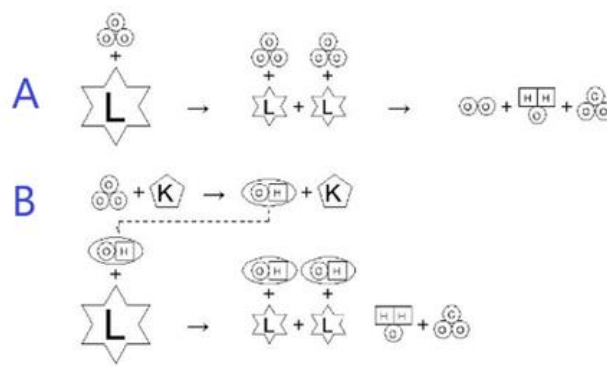
### 3.2 Flow Ozon

Untuk mengetahui konsentrasi ozon pada ozonisasi katalitik dilakukan percobaan *flow* gas ozon 1, 2, 3, 4 dan 5 L/menit dengan dosis katalis 1000 g  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan input 20 L air limbah. Flow gas ozon 2 L/menit menghasilkan penghilangan warna air limbah setelah 20 menit. Sedangkan *flow* gas ozon 1 L/menit memerlukan waktu selama 40 menit. Nilai pH untuk variasi *flow* ozon hampir sama sebagai indikasi air limbah telah terolah dengan baik. *Flow* gas ozon 3, 4 dan 5 L/menit memerlukan waktu masing-masing 23, 24 dan 23 menit. Penurunan kadar cemaran menggunakan sistem ozonisasi katalitik dengan dosis katalis 1000 g (500 g  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan 500 g  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dengan *flow* gas ozon 1, 2, 3, 4, 5 L/menit dapat diketahui melalui hasil pengujian air terolah seperti pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Data Hasil Pengujian Flow Ozon Dengan Dosis Katalis 1000 g dan Input 20 L Air Limbah

No	Flow Ozon (L /menit)	Waktu Degradasi Warna 50% (menit)	Waktu Degradasi Warna 100% (menit)	pH
1	1	10	40	7,2
2	2	9	20	7,3
3	3	11	24	7,3
4	4	10	24	7,3
3	5	11	23	7,3

Makin besar *flow* ozon akan meningkatkan jumlah radikal  $\bullet\text{OH}$  yang dihasilkan oleh katalis. Namun dosis katalis yang digunakan selama proses ozonisasi katalitik tetap akan memberikan batasan konsentrasi ozon maksimal untuk bereaksi membentuk radikal  $\bullet\text{OH}$ . Ozon yang tidak bereaksi dengan katalis akan mengurai cemaran secara langsung atau terurai kembali menjadi gas oksigen dalam air limbah seperti tampak pada Gambar 2. Hal ini mengakibatkan waktu ozonisasi yang tidak berubah meskipun *flow* ozon meningkat, seperti tampak pada Tabel 2. *Flow* ozon berlebihan tidak banyak mempengaruhi waktu ozonisasi katalitik. *Flow* ozon 2 L/menit merupakan *flow* ozon maksimal yang dapat bereaksi dengan katalis.



**Gambar 2.** Mekanisme Reaksi Ozonisasi: (A) Secara Langsung, (B) Katalitik

### 3.3. Waktu Ozonisasi

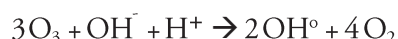
Penurunan kadar cemaran dengan ozonisasi sebagai oksidator degradasi dapat diketahui melalui hasil pengujian air terolah yang ditunjukkan pada Tabel 4. Terlihat bahwa secara umum proses ozonisasi saja hanya memberikan pengurangan yang masih di atas persyaratan baku mutu yaitu  $\text{BOD}_5$  70,57 mg/L dan COD 175,79 mg/L. Meskipun parameter TSS 18 mg/L, suhu dan pH memenuhi persyaratan baku mutu. Untuk parameter lainnya tidak dilakukan analisa karena nilai  $\text{BOD}_5$  dan COD yang tinggi merupakan indikasi tingginya nilai parameter lainnya. Sedangkan warna air limbah menunjukkan penurunan sebesar 50% setelah ozonisasi selama 120 menit. Sedangkan waktu ozonisasi katalitik untuk penghilangan warna air limbah sebesar 50% adalah

20 menit seperti ditunjukkan pada Tabel 3. Tingginya kecepatan waktu ozonisasi katalitik untuk penghilangan warna karena radikal hidroksil yang dihasilkan memiliki potensial oksidasi yang lebih tinggi (2,8 eV) dari ozon (2,07 eV) dan dapat mengurai molekul organik dan anorganik secara cepat dan non selektif.

**Tabel 3.** Data Hasil Pengujian Waktu Ozonisasi Dengan *Flow* Ozon 2 L/Menit

No	Ozonisasi	Waktu Degradasi Warna 50% (menit)	Waktu Degradasi Warna 100% (menit)	pH
1	O <sub>3</sub>	120	-	7,2
2	O <sub>3</sub> / Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (dosis katalis 1000 g)	9	20	7,3

Rendahnya efisiensi ozonisasi karena terhambatnya proses penguraian secara total terhadap hasil samping proses ozonisasi. Ketika ozon mengurai cemaran kompleks menjadi molekul yang lebih kecil, senyawa tersebut akan menghambat reaktifitas ozon. Rendahnya kontak ozon dengan komponen cemaran dalam air limbah karena ozon cenderung kontak dengan molekul air menghasilkan gas oksigen dengan reaksi sebagai berikut (Sonntag, 1996):



Sehingga hanya sebagian kecil gas ozon yang bereaksi dalam proses penguraian komponen cemaran dalam air limbah seperti pada Gambar 3.

### 3.4 Ozonisasi Katalitik

Secara umum sistem ozonisasi katalitik menunjukkan efisiensi pengolahan air limbah tekstil dimana menghasilkan air terolah dengan parameter TSS 14 mg/L, BOD<sub>5</sub> 35,38 mg/L, COD 75,98 mg/L, fenol total 0,35 mg/L, khrom total (Cr) < 0,54 mg/L, amoniak total (NH<sub>3</sub>-N) 0,29 mg/L, sulfida sebagai S 0,18 mg/L, minyak dan lemak 0,2 mg/L, yang telah memenuhi persyaratan baku mutu. Reaktor katalitik difungsikan berulang untuk

mengetahui *performance* katalis. Pengulangan menunjukkan kinerja sistem ozonisasi katalitik dengan interval waktu penghilangan warna antara 18 – 28 menit dengan nilai pH relatif konstan.

Hasil pengujian air limbah terolah dari uji coba sistem ozonisasi dan ozonisasi katalitik di PT. Pismatex Textile Industry sebagai berikut:

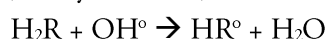
**Tabel 4.** Data Hasil Pengujian Air Limbah Terolah Dengan *Flow* Ozon 2 L/Menit

No	Parameter	Satuan	Batas Syarat	O <sub>3</sub>	O <sub>3</sub> / UV / Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (dosis katalis 1000 g)
<b>I. FISIKA</b>					
1	Suhu	°C	38,0	36,0	36,0
2	TSS	mg/L	50	18	14
<b>II. KIMIA</b>					
1	BOD <sub>5</sub>	mg/L	60	70,57	35,38
2	COD	mg/L	150	175,79	75,98
3	Fenol Total	mg/L	0,5	*	0,35
4	Khrom Total (Cr)	mg/L	1,0	*	< 0,54
5	Amoniak Total (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	8,0	*	0,29
6	Sulfida sebagai S	mg/L	0,3	*	0,18
7	Minyak dan Lemak	mg/L	3,0	*	0,2
8	pH		6 – 9	7,3	7,2

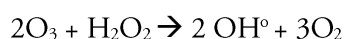
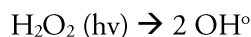
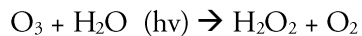
Katalis Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan UV akan meningkatkan penguraian ozon menghasilkan radikal hidroksil. Pengolahan air limbah dengan sistem ozonisasi katalitik sangat dipengaruhi oleh interaksi antara katalis, ozon dan cemaran dalam air limbah. Karakteristik interaksi unsur-unsur tersebut akan mempengaruhi tahapan reaksi transfer massa dalam fase gas-larutan (reaksi gas ozon dengan

cemaran dalam air limbah), larutan–katalis (kontak antara cemaran dalam air limbah dengan permukaan katalis dan reaksi dengan ozon) dan gas–katalis (reaksi gas ozon dengan permukaan katalis dimana radikal hidroksil terbentuk dan bereaksi dengan cemaran dalam air limbah) serta jenis reaksi oleh radikal hidroksil. Dengan adanya *difuser* mikro maka interaksi antara katalis, ozon dan cemaran dalam air limbah lebih homogen sehingga efisiensi reaksi oksidasi terhadap target cemaran dapat ditingkatkan melalui ozonisasi langsung atau ozonisasi katalitik.

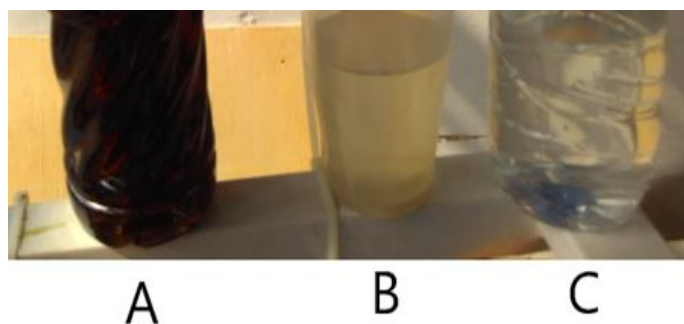
Katalis  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dalam air mengubah ozon membentuk radikal hidroksil dengan reaksi seperti pada Gambar 3. Cemaran organik dalam air limbah (R), selain akan terurai menjadi senyawa yang lebih sederhana, bisa membentuk radikal organik ( $\text{R}^\circ$ ) melalui reaksi sebagai berikut (Tomiyasu, 1985):



Ozon tersisa akan bereaksi membentuk  $\text{H}_2\text{O}_2$  karena adanya radiasi UV dari lampu UV 254 nm dalam reaktor katalitik dengan reaksi sebagai berikut (Peyton, 1987):



Penurunan intensitas warna melalui ozonisasi katalitik lebih cepat dibandingkan ozonisasi. Gas ozon terserap oleh material katalis yang akan menghasilkan radikal hidroksil. Pada reaktor katalitik ini, proses yang terjadi adalah destruksi cemaran oleh radikal hidroksil yang dihasilkan oleh proses ozonisasi katalitik. Pada ozonisasi katalitik dengan katalis  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  memberikan penurunan intensitas warna 50% setelah 9 menit. Setelah proses ozonisasi katalitik selama 20 menit, tidak tampak adanya warna larutan seperti terlihat pada Gambar 3. Hal ini mengindikasikan bahwa radikal hidroksil cukup mampu dan sangat efektif untuk menguraikan ikatan kromofor, dimana jumlah radikal hidroksil yang dihasilkan oleh ozonisasi katalitik cukup banyak, sehingga tampak adanya perubahan warna larutan dari biru menjadi jernih seperti tampak pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Penurunan Intensitas Warna Melalui Ozonisasi Katalitik: (A) Air Limbah Input, (B) Air Limbah Sebelum Filtrasi (C) Air Limbah Terolah

#### 4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan efisiensi pengolahan air limbah tekstil berbasis ozonisasi katalitik dengan katalis Besi(III) oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dan Aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) menggunakan *difuser* mikro dan filtrasi dimana output air limbah terolah memenuhi baku mutu yang ditetapkan sesuai Peraturan Daerah Propinsi Jawa Tengah No. 5 Tahun 2012 tentang Baku Mutu Limbah dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah. Kondisi ozonisasi katalitik terbaik untuk dosis katalis 1000 g  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , waktu ozonisasi katalitik 20 menit dengan *flow* ozon 2 L/menit.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ir. Rudy Nurbono dari PT. Pismatex Textile Industry dan Rusdiono dari Bengkel Ozon Semarang atas dukungan teknis terhadap penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Beltrán FJ., Rivas FJ., Montero-de-Espinosa R., 2005, Iron type catalysts for the ozonation of oxalic acid in water, *Water Research* 3:3553–3564.
- Climent FL., Olmos GR., Anfruns A., Aymerich I., Corominas L., Barcel D., Rodriguez-Mozaz S.,

- 2017, Elimination study of the chemotherapy drug tamoxifen by different advanced oxidation processes: Transformation products and toxicity assessment, *Chemosphere* doi: 10.1016/j.chemosphere.2016.10.057.
- Cooper C., Burch R., 1999, An investigation of catalytic ozonation for the oxidation of halocarbons in drinking water preparation, *Water Research* 33: 3695–3700.
- Fast SA., Gude VG., Truax DD., Martin J., Magbanua BS., 2017, A critical evaluation of advanced oxidation processes for emerging contaminants removal, *Environmental Processes* doi: 10.1007/s40710-017-0207-1.
- Glaze WH., Kang JW., 1987, The chemistry of water treatment processes involving ozone, hydrogen peroxide and ultraviolet radiation, *Ozone: Science and Engineering* 335–352.
- Gottschalk C., Libra JN., Saupe A., 2010, *Ozonation of water and waste water*, 2nd edn., Wiley-VCH, Berlin.
- Guo Y., Yang L., Cheng X., Wang X., 2012, The application and reaction mechanism of catalytic ozonation in water treatment, *J Environ Anal Toxicol* 2:7.
- Guzman VP., Silva-Agredo J., Florez O., Giraldo-Aguirre AL., Pulgarin C., Torres-Palma RA., 2017, Selecting the best AOP for isoxazolyl penicillins degradation as a function of water characteristics: Effects of pH, chemical nature of additives and pollutant concentration, doi: 10.1016/j.jenvman.2016.12.056.
- Handayani NI., Moenir M., Setianingsih NI., Malik RA., 2016, Isolasi bakteri heterotrofik anaerobik pada pengolahan air limbah industri tekstil, *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri* 7(1):39-46.
- Hordern BK., Ziólek M., Nawrocki J., 2003, Review: catalytic ozonation and methods of enhancing molecular ozone reactions in water treatment, *Applied Catalysis B: Environmental* 46:639–669.
- Huang Y., Cui C., Zhang D., Li L., Pan D., 2015, Heterogeneous catalytic ozonation of dibutyl phthalate in aqueous solution in the presence of iron-loaded activated carbon, *Chemosphere* 119:295–301.
- Hutagalung SS., Sugiarto AT., Luvita V., 2010, Metode advanced oxidation processes (AOP) untuk mengolah limbah resin cair, Dalam prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah VIII BATAN-RISTEK.
- Ichikawa S., Mahardiani L., Kamiya Y., 2014, Catalytic oxidation of ammonium ion in water with ozone over metal oxide catalysts, *Catal Today* 232:192–197.
- Kementerian Perindustrian, 2016 Ekspor naik, industri TPT perluas pasar ke produk non woven. <http://www.kemenperin.go.id/artikel/15116/Ekspor-Naik,-Industri-TPT-Perluas-Pasar-Ke-Produk-Non-Woven>. Diakses 2 Februari 2017.
- Lee JE., Jin BS., Cho SH., 2005, Catalytic ozonation of humic acids with Fe/MgO, *Korean J Chem Eng* 22:536.
- Long L., Zhao Yang L., Fu M., Wu J., Huang B., Ye D., 2011, Room temperature catalytic ozonation of toluene over MnO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, *Chinese Journal of Catalysis* 32(6):904-916.
- Ma J., Sui MH., Chen ZL., Wang LN., 2004, Degradation of refractory organic pollutants by catalytic ozonation–activated carbon and Mn-loaded activated carbon catalysts, *Ozone: Science and Engineering* 26:3–10.
- Marlena B., Mukimin A., Susana E., 2012, Dekolorisasi pewarna reaktif pada air limbah industri tekstil secara elektrokimia, *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri* 2(2):98-104.
- Mizuno T., Tsuno H., Yamada H., 2007, Development of ozone self-decomposition model for engineering design, *Ozone: Science and Engineering* 2:55–63.
- Moertinah S., Djarwanti, Sartamtomo, Yuliasuti R., Yuliasni R., 2010, Peningkatan kinerja lumpur aktif dengan penambahan karbon aktif dalam



- pengolahan air limbah industri tekstil pewarnaan dengan zat warna indigo & sulfur, *Jurnal Riset Industri* 4(1):23-33.
- Mukimin A., Vistanty H., Zen N., 2015, Oxidation of textile wastewater using cylinder Ti/ $\beta$ -PbO<sub>2</sub> electrode in electrocatalytic tube reactor, *Chemical Engineering Journal* 259:430-437.
- Peyton GR., Glaze WH., 1987, Mechanism of photolytic ozonation, *ASC Symposium-Series* 327:76-88.
- Pi Y., Ernst M., Schrotter JC., 2003, Effect of phosphate buffer upon CuO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Cu(II) catalyzed ozonation of oxalic acid solution, *Ozone: Science & Engineering* 25:393-397.
- Pines DS., Reckhow DA., 2003, Solid phase catalytic ozonation process for the destruction of a model pollutant, *Ozone: Science & Engineering* 25:25-39.
- Smith W., 1994, Principles of ozone generation, Watertec Engineering Pty Ltd.
- Sonntag VC., 1996, Degradation of aromatics by advanced oxidation processes in water remediation: some basic considerations, *Journal Water Supply Research and Technology-Aqua* 45:84-91.
- Syafarudin A., Novia, 2013, Produksi ozon dengan bahan baku oksigen menggunakan alat ozon generator, *Jurnal Teknik Kimia* 2(19).
- Syahroni C., Djarwanti, 2015, Pengembangan reaktor fotokatalitik rotating drum untuk pengolahan air limbah industri tekstil, *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri* 6(2):35-44.
- Tjahjanto RT., Galuh DR., Wardani S., 2012, Ozone determination: A comparison of quantitative analysis methods, *J Pure App Chem Res* 1(1):18-25.
- Tomiyasu H., Fukutomi H., Gordon G., 1985, Kinetics and mechanisms of ozone decomposition in basic aqueous solutions, *Inorganic Chemistry* 24:2962-2985.
- Tran-Truong TT., Nguyen MMT., Vo-huu T., Nguyen K., Nguyen DT., Nguyen-ngoc H., 2016, Catalytic ozonation of nonyl phenol ethoxylates in water by octahedral molecular sieve OMS-2, 5th World Conference on Applied Sciences, Engineering & Technology HCMUT Vietnam.
- Valdés H., Zaror CA., 2006, Heterogeneous and homogeneous catalytic ozonation of benzothiazole promoted by activated carbon: Kinetic approach, *Chemosphere* 65:1131-1136.
- Volk C., Roche P., Joret JC., Paillard H., 1997, Comparison of the effect of ozone, ozone-hydrogen peroxide system and catalytic ozone on the biodegradable organic matter of a fulvic acid solution, *Water Research* 31:650-656.
- Zaikov GE., Rakovsky SK., 2009, Ozonation of organic and polymer compounds, iSmithers, Shawbury UK.
- Zuorro A., Fidaleo M., Lavecchia R., 2013, Response surface methodology (RSM) analysis of photodegradation of sulfonated diazo dye Reactive Green 19 by UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> process, *Journal of Environmental Management* 127:28-35.