

# PENGOLAHAN LIMBAH CAIR TEKSTIL DENGAN PROSES OKSIDASI MENGUNAKAN OZON GELEMBUNG MIKRO

## *TEXTILE LIQUID WASTE TREATMENT BY OXIDATION PROCESS USING MICROBUBBLE OZONE*

Nur Athikoh<sup>1</sup>, Gunawan<sup>2</sup>, Muhammad Nur<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Center of Plasma Research Universitas Diponegoro, Tembalang, Semarang, 50275  
E-mail: nathikoh@gmail.com

<sup>2</sup>Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Tembalang, Semarang, 50275  
E-mail: gunawan@lecturer.undip.ac.id, mnur@lecturer.undip.ac.id

Tanggal diterima: 10 Desember 2020, direvisi: 4 Agustus 2021, disetujui terbit: 7 Desember 2021

### ABSTRAK

Proses pengolahan limbah cair industri tekstil dengan pewarna indigo dapat dilakukan dengan proses oksidasi oleh ozon gelembung mikro. Dalam penelitian ini, limbah yang digunakan merupakan limbah cair industri tekstil yang telah mengalami pengolahan limbah dengan proses koagulasi kimia. Proses tersebut kemudian dilanjutkan dengan pengolahan limbah menggunakan ozon gelembung mikro untuk meningkatkan proses oksidasi guna mendegradasi pewarna indigo pada limbah cair tekstil tersebut. Pengolahan limbah cair tekstil dengan pewarna indigo dilakukan dengan proses oksidasi menggunakan ozon gelembung mikro yang berukuran 61 – 80 µm. Generator ozon gelembung mikro dibangkitkan dengan menyisipkan ozon pada aliran sirkulasi 20 liter limbah cair tekstil melalui pipa venturi dengan diameter 6,35 mm sebanyak 4 buah. Ozon dibangkitkan melalui reaktor lucutan berpenghalang dielektrik dengan nilai kapasitas ozon yang dapat divariasikan. Penelitian ini menggunakan nilai kapasitas ozon sebesar 50,4 g/jam, 67,7 g/jam, dan 86,4 g/jam. Setiap nilai kapasitas ozon yang digunakan untuk pengolahan limbah cair tekstil divariasikan dengan waktu pengolahan limbah selama 60, 120, 180, dan 540 menit. Hasil pengolahan limbah cair tekstil dengan proses oksidasi menggunakan ozon gelembung mikro menunjukkan bahwa pewarna indigo dalam limbah cair tekstil mampu tereduksi optimum menggunakan nilai kapasitas ozon sebesar 86,4 g/jam dan waktu pengolahan limbah selama 540 menit. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin lama waktu pengolahan limbah dan besar nilai kapasitas ozon yang digunakan maka proses degradasi pewarna indigo semakin tinggi.

**Kata kunci:** ozon gelembung mikro, kapasitas ozon, limbah cair tekstil, polutan

### ABSTRACT

*The processing of textile industrial wastewater with indigo dyes can be carried out by an oxidation process using microbubble ozone. In this study, the waste used is textile industrial wastewater which has undergone waste treatment by a chemical coagulation process. The process is then followed by waste treatment using microbubble ozone to increase the oxidation process to degrade the indigo dye in the textile wastewater. The processing of textile wastewater with indigo dye was carried out by oxidation process using microbubble ozone measuring 61 – 80 µm. The microbubble ozone generator is generated by inserting ozone into the circulation flow of 20 liters of liquid textile waste through 4 venturi pipes with a diameter of 6.35 mm. Ozone is generated through a dielectric barrier discharge reactor with variable ozone capacity values. This study uses ozone capacity values of 50.4 g/hour, 67.7 g/hour, and 86.4 g/hour. Each value of ozone capacity used for textile wastewater treatment was varied with the waste treatment time for 60, 120, 180, and 540 minutes. The results of textile wastewater treatment by oxidation process using microbubble ozone showed that indigo dye in textile wastewater was able to be reduced optimally using an ozone capacity value of 86.4 g/hour and a waste treatment time of 540 minutes. This shows that the longer the waste treatment time and the greater the value of the ozone capacity used, the higher the indigo dye degradation process.*

**Keywords:** microbubble, ozone, ozone capacity, textile wastewater, pollutants

### PENDAHULUAN

Perusahaan tekstil besar di Indonesia tidak hanya memberikan dampak yang positif tetapi juga memberikan dampak yang negatif bagi lingkungan. Dalam setiap proses produksi kain, perusahaan

memberikan sumbangan sejumlah limbah cair hasil produksi yang nantinya akan dilepas ke lingkungan.<sup>1,2,3</sup> Berdasarkan Permen LH RI No 5 Tahun 2014, suatu limbah harus memenuhi nilai baku mutu yang ditetapkan untuk bisa dilepas ke

dalam lingkungan. Berdasarkan hal tersebut, maka diperlukan adanya suatu teknik pengolahan limbah cair tekstil untuk memenuhi nilai baku mutu sehingga bisa dilepas ke lingkungan. Teknik pengolahan limbah cair tekstil yang umum digunakan adalah dengan menggunakan metode kimia, metode fisika, metode biologi, ataupun kombinasi dari ketiga metode tersebut.<sup>4,5,6</sup> Tujuan pengolahan limbah berdasarkan teknik/metode yang digunakan tersebut adalah untuk meningkatkan proses oksidasi limbah sehingga aman untuk dibuang ke lingkungan dan mampu terurai secara alami.<sup>7</sup> Selanjutnya, muncul suatu teknik/cara untuk lebih meningkatkan proses oksidasi dalam limbah tersebut, yang dikenal dengan nama proses oksidasi lanjutan (*Advanced Oxidation Process (AOP)*).

Proses oksidasi lanjutan merupakan suatu proses oksidasi dengan melibatkan zat pengoksidasi yang kuat dan memiliki tingkat reaksi yang tinggi.<sup>3,8</sup> Salah satu proses oksidasi lanjutan ini adalah dengan proses ozonasi menggunakan ozon. Ozon mempunyai sifat reaktif, selektif, dan merupakan oksidator yang kuat.<sup>9,10</sup> Proses pembangkitan ozon dapat dilakukan dengan lucutan penghambat dielektrik (DBD) dengan gas masukan oksigen ataupun udara sekitar.<sup>11,12</sup> Selain itu, proses ozonasi juga tidak menimbulkan polutan pada air serta penguraian ozon yang ramah lingkungan.<sup>3</sup> Proses ozonasi secara langsung ke dalam limbah tekstil *methylene blue* telah dilakukan oleh Athikoh, dkk pada tahun 2019 dan menunjukkan hasil bahwa proses ozonasi mampu mereduksi kadar polutan zat *methylene blue* yang terkandung dalam limbah dalam berbagai konsentrasi larutan, konsentrasi ozon yang dimasukkan, nilai pH, dan waktu ozonasi.<sup>13</sup> Akan tetapi, proses ozonasi langsung ini masih memiliki nilai transfer massa yang relatif rendah, sehingga metode ozonasi dengan teknik gelembung mikro menjadi teknik untuk meningkatkan nilai transfer massa agar proses pengolahan menjadi lebih optimum. Gelembung mikro merupakan gelembung yang sangat kecil dengan ukuran diameter berkisar 10-100 µm dan memiliki karakteristik yang berbeda dari gelembung makro. Gelembung mikro memiliki karakteristik kecepatan naik yang lambat, area antarmuka yang tinggi, serta tekanan dalam yang kuat, sehingga menjadikan gelembung mikro ini lebih tahan dalam air serta tidak mudah pecah dalam waktu yang cukup lama.<sup>8,14,15,16</sup> Proses pengolahan limbah cair tekstil menggunakan ozon gelembung mikro juga telah dilakukan sebagai penelitian awal dengan menggunakan laju aliran ozon 0,4 L/menit, konsentrasi ozon 740 ppm, dan kapasitas ozon 17,8 g/jam. Hasil penelitian awal tersebut masih menunjukkan hasil yang belum optimum dalam mereduksi kadar polutan dalam limbah berupa zat warna indigo. Pada penelitian ini, dilakukan proses pengolahan limbah dengan mencari nilai kapasitas

ozon yang lebih optimum untuk mereduksi kadar polutan dalam limbah cair tekstil, sehingga diperoleh teknik pengolahan limbah pewarna indigo yang lebih efektif.

## METODE

### Bahan

Sampel limbah cair yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah cair tekstil PT. Apac Inti Corpora yang merupakan limbah hasil proses pewarnaan kain menggunakan zat warna indigo (C<sub>12</sub>H<sub>10</sub>N<sub>12</sub>O<sub>12</sub>) sebagai zat utama dalam produksi kain denim. Sebelum dilakukan pengolahan menggunakan ozon gelembung mikro, limbah tersebut sudah melalui proses koagulasi menggunakan besi sulfat (Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>) sebagai bahan koagulan.<sup>17</sup>

**Tabel 1.** Karakteristik Limbah Cair Pewarna Indigo PT. Apac Inti Corpora

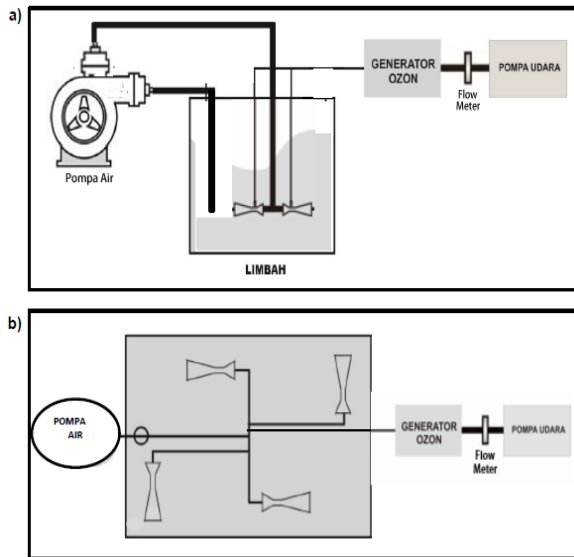
Parameter	Hasil Pengujian (mg/L)	Baku Mutu*(mg/L)
COD	386,67	150
BOD	119,87	60
Ammonia	34,42	8,0
TSS	219	50
Minyak lemak	0	3,0
pH	8,0	6,0-9,0

\*Sumber: PermenLHKP.16/MENLHK/SETJEN/ KUM. 1/4/2019

Karakteristik awal limbah cair pewarna indigo hasil proses koagulasi ditunjukkan oleh Tabel 1. Jumlah sampel limbah yang digunakan pada penelitian ini adalah 120 liter dengan pembagian limbah setiap perlakuan ozon gelembung mikro adalah 20 liter untuk setiap variasi konsentrasi ozon.

### Peralatan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain: generator ozon dengan tegangan AC, *flow meter*, pompa air listrik, pipa venturi, sistem pemipaan, *timer*, dan bak penampung sampel limbah cair. Sampel limbah dimasukkan ke dalam bak penampung kemudian dipompa agar aliran air terus mengalir. Selanjutnya, pada bak limbah juga dialirkan ozon seperti pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Skema peralatan : a) tampak samping, b) tampak atas

### Pengukuran Konsentrasi dan Kapasitas Ozon Keluaran Generator

Konsentrasi ozon ( $C_0$ ) adalah jumlah keluaran ozon yang mampu dihasilkan oleh generator. Konsentrasi ozon dapat dihitung menggunakan metode titrasi, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2, dan dihitung menggunakan Persamaan (1).<sup>18,19</sup>

$$C_0 = \frac{24 \times V_t \times M \times 1000}{\text{flowrate} \times t} \quad (1)$$

dimana 24 adalah hasil perhitungan rasio mol analitik dan reaktan,  $V_t$  adalah volume titran (liter),  $M$  adalah nilai molaritas,  $\text{flowrate}$  adalah laju aliran ozon dalam liter/menit dan  $t$  adalah waktu titrasi dalam satuan menit.

Kapasitas ozon ( $C_{po}$ ) adalah kadar ozon yang mampu dialirkan ke dalam suatu larutan. Nilai kapasitas ozon dicari menggunakan Persamaan (2).<sup>12</sup>

$$C_{po}(\text{gram/jam}) = C_o(\text{gram/liter}) \times \text{flowrate}(\text{liter/jam}) \quad (2)$$



**Gambar 2.** Metode titrasi

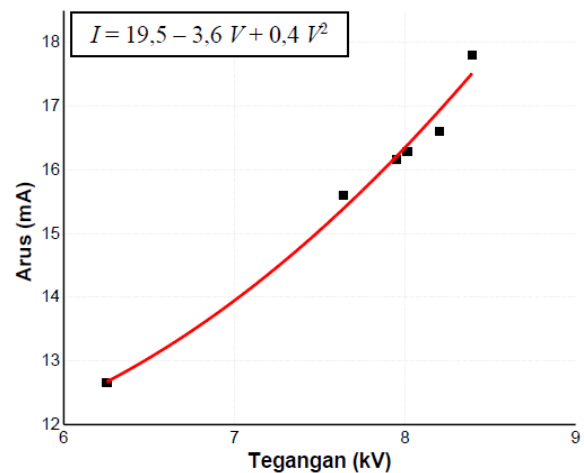
### Pengukuran Diameter Gelembung Mikro

Distribusi gelembung yang dihasilkan pipa venturi diamati menggunakan kamera digital mikroskop 1000x 2MP 8LED USB. Selanjutnya, tangkapan layar visualisasi ozon gelembung mikro diproses menggunakan *toolbox* pemrosesan gambar ImageJ untuk mendapatkan data kuantitatif distribusi ukuran gelembung.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Karakteristik Arus-Tegangan Generator Pembangkitan Ozon

Generator pembangkitan ozon yang digunakan untuk proses pengolahan limbah cair tekstil dihubungkan dengan sumber tegangan tinggi AC dengan tegangan terendah 6,25 kV dan tegangan tertinggi 8,64 kV. Tegangan yang digunakan tersebut berdasarkan pada munculnya ozon pada tegangan terendah dan tertinggi pada sumber tegangan AC yang digunakan. Gambar 3 menunjukkan grafik arus listrik sebagai fungsi tegangan. Makin tinggi nilai tegangan, maka nilai arus yang dihasilkan juga akan meningkat. Hal ini menunjukkan tegangan AC yang diberikan pada reaktor DBD (*Dielectric Barrier Discharge*) akan meningkatkan jumlah muatan listrik yang dihasilkan pada proses terjadinya ionisasi molekul gas dan dilanjutkan dengan terbentuknya plasma.<sup>12,20</sup> Kenaikan tegangan mengakibatkan terjadi perubahan muatan karena perubahan waktu (arus kapasitif) yang dihasilkan menurut persamaan ( $= C \, dV/dt$ ) akan makin besar.<sup>12</sup>

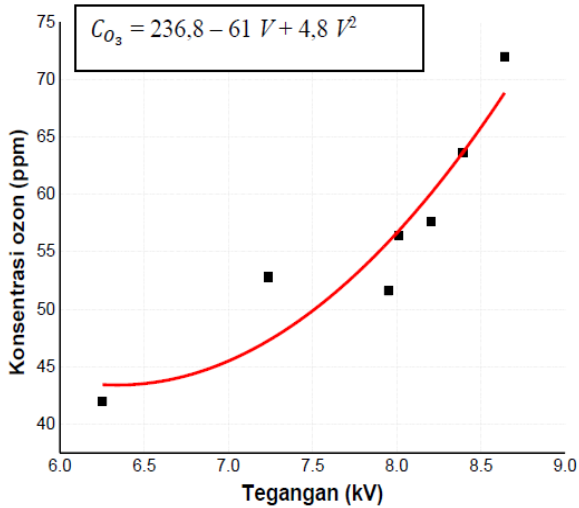


**Gambar 3.** Grafik karakteristik arus-tegangan reaktor pembangkit ozon

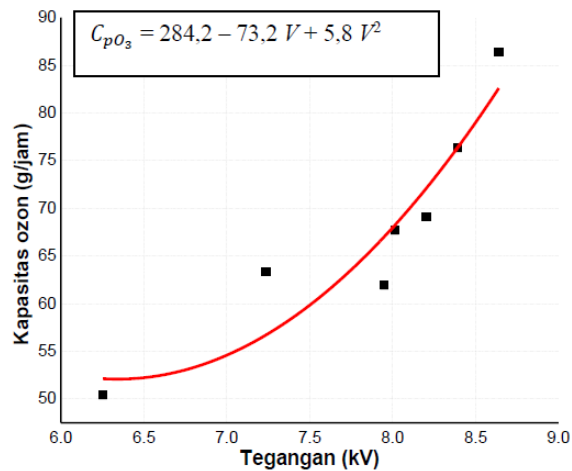
#### Konsentrasi dan Kapasitas Ozon pada Proses Pengolahan Limbah Cair Tekstil menggunakan Ozon Gelembung Mikro

Konsentrasi dan kapasitas ozon keluaran generator ozon yang dioperasikan dengan laju aliran udara rerata ( $\text{flowrate}$ ) yang tertarik oleh pompa reaktor sebesar 20 L/menit dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (1) dan (2). Gambar 4 dan

5 menunjukkan bahwa makin besar nilai tegangan maka nilai konsentrasi dan kapasitas ozon yang dihasilkan generator juga akan makin besar. Berdasarkan pengukuran konsentrasi dan kapasitas ozon, maka dapat ditentukan variasi kapasitas yang digunakan untuk pengolahan limbah.



Gambar 4. Grafik konsentrasi ozon sebagai fungsi tegangan

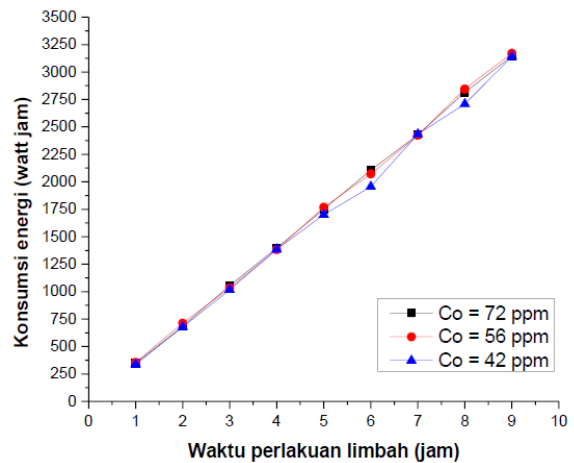


Gambar 5. Grafik kapasitas ozon sebagai fungsi tegangan

**Konsumsi Energi Proses Pengolahan Limbah Cair Tekstil menggunakan Ozon Gelembung Mikro**

Peningkatan nilai tegangan mempengaruhi peningkatan konsumsi daya, yang merupakan hasil perkalian tegangan input dengan arus yang dihasilkan. Dalam hal ini, adalah angka yang ditunjukkan oleh *power meter* yang dipasang pada sumber tegangan. Gambar 6 menunjukkan hasil

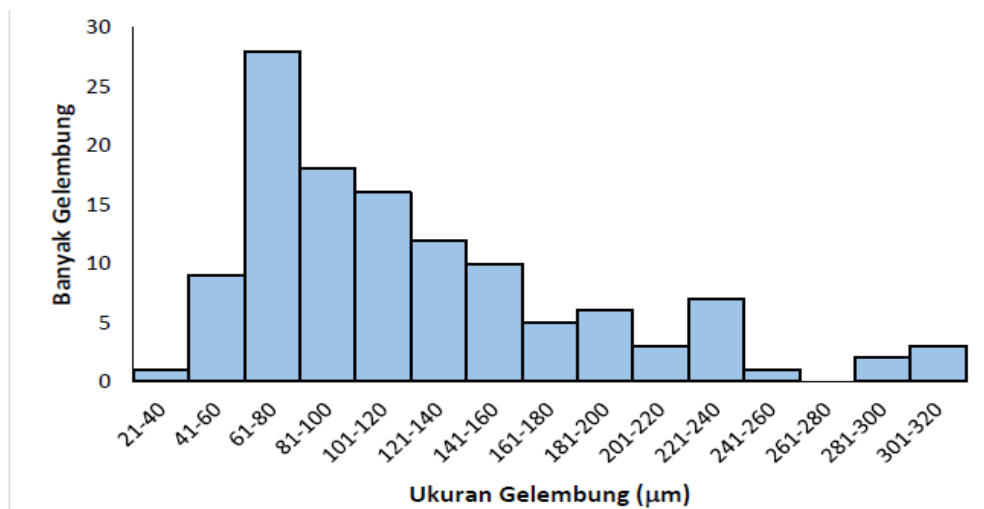
pengukuran daya yang dikonsumsi oleh kedua generator terhadap lamanya waktu perlakuan limbah. Konsumsi energi (watt jam) untuk perlakuan limbah sebanyak 20 liter, rata-rata membutuhkan 340 – 350 watt jam pada semua nilai konsentrasi ozon yang digunakan. Makin tinggi nilai konsentrasi dan waktu perlakuan limbah, maka konsumsi energi yang dihasilkan juga makin tinggi. Pengolahan limbah cair tekstil selama 540 menit membutuhkan konsumsi energi sekitar 3200–3250 watt jam untuk menghasilkan tingkat reduksi warna yang cukup optimum.



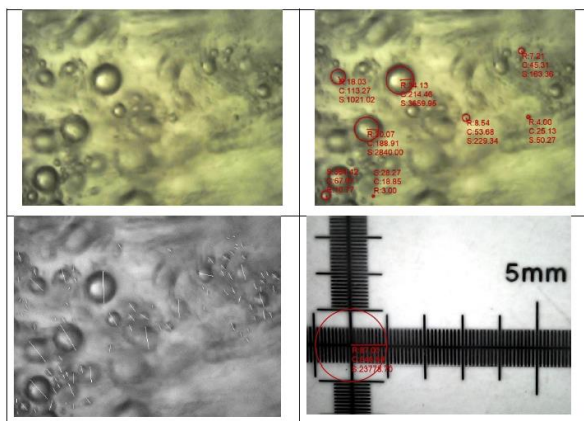
Gambar 6. Grafik konsumsi energi sebagai fungsi waktu pengolahan limbah

**Distribusi Ukuran Ozon Gelembung Mikro**

Ukuran gelembung merupakan faktor utama yang mempengaruhi tingkat efisiensi transfer massa.<sup>7,21,22</sup> Ozon gelembung mikro dibangkitkan menggunakan generator tipe venturi dengan debit aliran air 18 L/menit, laju aliran udara berozon 20 L/menit, serta diameter venturi 6,35 mm. Distribusi ukuran gelembung ozon yang terbentuk ditunjukkan oleh Gambar 7. Distribusi tersebut diperoleh dari hasil citra mikroskop gelembung mikro ozon yang dianalisis menggunakan aplikasi ImageJ, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8. Berdasarkan Gambar 7, dapat dilihat bahwa ukuran gelembung 61-80 µm lebih mendominasi dibanding ukuran gelembung yang lainnya. Hal tersebut menunjukkan bahwa pembangkitan gelembung menggunakan pipa venturi memiliki kemampuan untuk menghasilkan gelembung dalam ukuran mikro yang cukup mendominasi dibanding gelembung makro yang terbentuk, meskipun gelembung makro yang terbentuk juga masih cukup banyak distribusi penyebarannya.



Gambar 7. Grafik distribusi persebaran ukuran gelembung ozon



Gambar 8. Hasil tangkapan mikroskop dari gelembung ozon yang terbentuk pada citra 6x6 mm dengan perbesaran 1000x dan analisisnya menggunakan imageJ

### Degradasi Pewarna Indigo pada Pengolahan Sampel Limbah Tekstil menggunakan Ozon Gelembung Mikro

#### Pengaruh Variasi Waktu Perlakuan Limbah

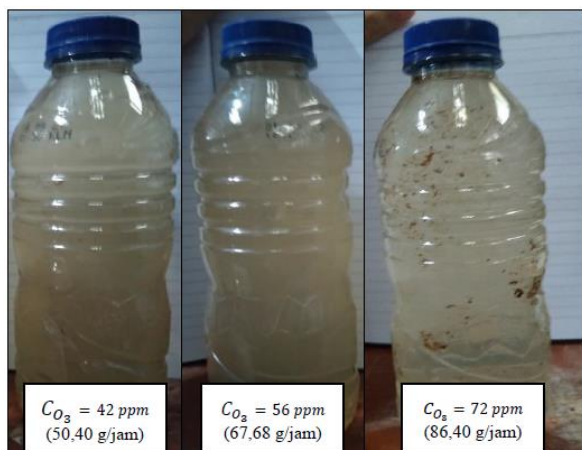
Proses degradasi pewarna indigo dipengaruhi oleh lamanya proses pengolahan limbah menggunakan ozon gelembung mikro. Makin lama proses pengolahan limbah, maka akan makin tinggi tingkat degradasi pewarna indigo dalam limbah cair.<sup>13</sup> Hal tersebut dapat terlihat pada Gambar 9, dimana dengan nilai kapasitas yang sama, yaitu 86,4 g/jam tingkat degradasi dengan waktu 540 menit lebih menghasilkan tingkat degradasi yang cukup signifikan.



Gambar 9. Hasil olahan limbah menggunakan variasi waktu perlakuan limbah yang berbeda dengan kapasitas ozon sebesar 86,4 gram/jam

#### Pengaruh Variasi Konsentrasi dan Kapasitas Ozon

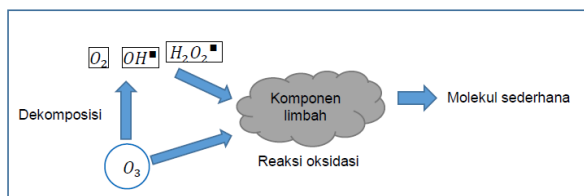
Pengaruh konsentrasi dan kapasitas ozon yang digunakan untuk proses pengolahan limbah juga menjadi salah satu faktor tingkat degradasi pewarna indigo pada limbah cair.<sup>13</sup> Gambar 10 menunjukkan bahwa pengolahan limbah dengan waktu yang sama dan nilai konsentrasi serta kapasitas yang berbeda menunjukkan hasil yang berbeda. Secara kasat mata, nilai konsentrasi dan kapasitas ozon yang tinggi lebih menunjukkan tingkat degradasi yang tinggi pula, akan tetapi masih diperlukan pengujian lebih lanjut.



**Gambar 10.** Hasil perlakuan limbah cair tekstil menggunakan variasi konsentrasi dan kapasitas yang berbeda dengan waktu perlakuan selama 540 menit

### Mekanisme Pengolahan Limbah Cair Tekstil pada Proses Degradasi Pewarna Indigo

Proses degradasi pewarna menggunakan ozon gelembung mikro melibatkan mekanisme pemecahan ozon gelembung mikro di dalam air limbah. Pemecahan tersebut akan menyebabkan ozon terdekomposisi menjadi oksigen dan spesies radikal hidroksil (OH) atau radikal peroksida (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), yang dapat membantu proses oksidasi zat pewarna dan polutan dalam limbah cair.<sup>3,8,23</sup>



**Gambar 11.** Skema degradasi limbah oleh gelembung mikro ozon

### KESIMPULAN

Penggunaan ozon gelembung mikro telah mampu mereduksi zat warna indigo menjadi jernih dalam proses pengolahan limbah cair tekstil dengan nilai kapasitas ozon sebesar 86,4 g/jam selama 540 menit. Hal tersebut dikarenakan waktu interaksi gelembung ozon dengan zat warna dalam air limbah yang makin lama, sehingga zat warna mampu tereduksi. Dalam penelitian ini, masih perlu dilakukan pengujian kandungan senyawa kimia dalam limbah cair tekstil sebelum dan setelah pengolahan limbah menggunakan ozon gelembung mikro dengan melakukan pengujian LC-MS, GC-MS, serta dapat dilakukan analisis dengan menggunakan NMR.

### PUSTAKA

1. Perkowski, J., Kos, L., & Ledakowicz, S. Application of ozone in textile wastewater

treatment. *Ozone: Science and Engineering*, 18(1), 73–85. (1996).

2. Malik, A., Akhtar, R., & Grohmann, E. Environmental deterioration and human health: Natural and anthropogenic determinants. *Environmental Deterioration and Human Health: Natural and Anthropogenic Determinants*, 1–421. (2014).
3. Ameta, S. C., Ameta, R. Introduction AOP for Wastewater Treatment Advanced *dalam Oxidation Processes for Wastewater Treatment 1st edition Emerging Green Chemical Technology* (hlm. 1–12). Rajasthan: Elsevier. (2018).
4. Mukimin, A., Vistanty, H., & Zen, N. Oxidation of textile wastewater using cylinder Ti/β-PbO<sub>2</sub> electrode in electrocatalytic tube reactor. *Chemical Engineering Journal*, Vol. 259, pp. 430–437. (2015).
5. Tetteh, E.K., Rathilal, S. Application of Organic Coagulants in Water and Wastewater Treatment. Intech Open: *Organic Polymer*. (2019).
6. Xia, Z., Hu, L. Treatment of Organics Contaminated Wastewater by Ozone Micro-Nano-Bubbles. *Water*, 11, 55. (2019).
7. Khuntia, S., Majumder, S. K. dan Ghosh, P. Removal of Ammonia from Water by Ozone Microbubbles. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 52: 318–326. (2013).
8. Xiong, X., Wang, B., Zhu, W., Tian, K., dan Zhang, H. A Review on Ultrasonic Catalytic Microbubbles Ozonation Processes: Properties, Hydroxyl Radicals Generation Pathway and Potential in Application. *Catalysts*, 9, 10. (2019).
9. Ikeura, H., Kobayashi, F. dan Tamaki, M. Removal of Residual Pesticides in Vegetables using Ozone Microbubbles. *Journal of Hazardous Materials*, 186(1): 956–959. (2011).
10. Miklos, D. B., Remy, C., Jekel, M., Linden, K. G. dan Drewes, J. E. Evaluation of Advanced Oxidation Processes for Water and Wastewater Treatment: A critical review. *Water Research*, 139: 118–131. (2018).
11. Wei, C., Zhang, F., Hu, Y., Feng, C., dan Wu, H. Ozonation in water treatment: the generation, basic properties of ozone and its practical application. *Rev Chemistry Engineering*. (2016).
12. Nur, M., Susan, A. I., Muhlisin, Z., Arianto, F., Kinandana, A. W., Nurhasanah, I., Sumariyah,

- S., Wibawa, P. J., Gunawan, G. dan Usman, A. Evaluation of Novel Integrated Dielectric Barrier Discharge Plasma as Ozone Generator. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 12(1): 24–31. (2017).
13. Athikoh, N., Yulianto, E., Kinandana, A.W., Sasmita, E., Sanjani, A.H., Mustika, R.W., Pratama, A.P., Amalia, N.F., Gunawan, G., Nur, M. Reduction of Methylene Blue by Using Direct Continuous Ozone. *Journal of Environment and Earth Science*, 10:4. (2020).
  14. Tekile, A., Kim, I., Lee, J. Y. Applications of Ozone Micro and Nanobubble Technologies in Water and Wastewater Treatment: Review. *Journal of the Korean Society of Water and Wastewater*, 31(6): 481–490. (2017).
  15. Temesgen, T., Bui, T. T., Han, M., Kim, T. dan Park, H. Micro and Nanobubble Technologies as A New Horizon for Water-Treatment Techniques: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 246: 40–51. (2017).
  16. Li, P. Development of Advanced Water Treatment Technology Using Microbubbles. *PhD Dissertation Keiro University*. Japan. (2006).
  17. Moertinah, S., Djarwanti S., Rieke Y., Rustiana Y. Peningkatan Kinerja Lumpur Aktif dengan Penambahan Karbon Aktif dalam Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil Pewarnaan dengan Zat Warna Indigo & Sulfur. *Jurnal Riset Industri*, IV, 1:23. (2010).
  18. Yulianto, E., Restiwijaya, M., Sasmita, E., Arianto, F., Kinandana, A. W. & Nur, M., “Power Analysis of Ozone Generator for High Capacity Production”, *Journal of Physics: Conference Series*, 1170. (2019)
  19. Chasanah, U., Yulianto, E., Zain, A. Z., Sasmita, E., Restiwijaya, M., Kinandana, A. W., Arianto, F. & Nur, M.. “Evaluation of Titration Method on Determination of Ozone Concentration Produced by Dielectric Barrier Discharge Plasma (DBDP) Technology”, *Journal of Physics: Conference Series*, 1153. (2019).
  20. Nur, Muhammad., Amelia, A.Y., Arianto, F., Kinandana, W.A., Zahar, I., Susan, I.K., Wibawa, J.P. Dielectric Barrier Discharge PLASMA Analysis and Application for Processing Palm Oil Mill Effluent (POME). *Procedia Engineering* 170, pp 325-331. (2017).
  21. Maeda, Y.; Hosokawa, S.; Baba, Y.; Tomiyama, A.; Ito, Y. Generation mechanism of micro-bubbles in a pressurized dissolution method. *Exp. Therm. Fluid Sci.*, 60, 201–207. (2015).
  22. Muroyama, K.; Imai, K.; Oka, Y.; Hayashi, J. Mass transfer properties in a bubble column associated with micro-bubble dispersions. *Chem. Eng. Sci.*, 100, 464–473. (2013)
  23. Miklos, D. B., Remy, C., Jekel, M., Linden, K. G. dan Drewes, J. E. Evaluation of Advanced Oxidation Processes for Water and Wastewater Treatment: A critical review. *Water Research*, 139: 118–131. (2018).
-

