

---

## OZONISASI AIR LIMBAH RUMAH SAKIT MENGGUNAKAN REAKTOR KONTAK BER'PACKING'

Prayitno<sup>1</sup>, Hadi Saroso<sup>2</sup>, Hardjono<sup>3</sup>, Sri Rulianah<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta 9 Malang  
prayitno@polinema.ac.id

### ABSTRACT

*Hospital wastewater treatment using a biological process that is followed by the chlorination process still have an impact on the receiving water body (river) as a result of residual chlorine. On the other hand, ozonation (ozone gas use) in hospital waste water treatment is rarely used while ozone gas has several advantages in reducing the concentration of pollutants than chlorine gas. The research objective was to determine the performance of the reactor packed in treatment of hospital wastewater, particularly in reducing the concentration of pollutants (BOD, COD, Ammonia-free, Phenol, E.coli and Salmonella typhoid). The experiment is conducted by flowing the wastewater into the reactor containing the packing then contacted with ozone gas in countercurrent flow. The experimental variables used were ozone dosage (10, 15, and 20 ppm), ozone contact time (1, 2, and 3 min) and ozonation time of 30 minutes. By measuring the concentration of pollutants in the influent and effluent of the reactor so that to obtain the magnitude of decrease in concentration of pollutants that show the performance of the ozone reactor. The experimental results show that the reactor packed has excellent performance in hospital wastewater ozonation, where at ozone dosage of 15 ppm, contact time of ozone of 3 minutes and time of ozonation of 20 minutes can decrease the concentration of BOD, COD, Ammonia-free, Phenol, E.coli and Salmonella typhus were 97%, 98%, 97%, 96%, 100%, and 100%, respectively.*

**Keywords:** *Dosage, Ozonation, Pollutan, Performance, Reactor, Time contact*

### ABSTRAK

Pengolahan air limbah rumah sakit menggunakan proses biologi yang diikuti dengan proses khlorinasi masih menimbulkan dampak terhadap badan air penerima (sungai) sebagai akibat dari sisa khlor. Pada sisi lain ozonisasi (penggunaan gas ozon) dalam pengolahan air limbah rumah sakit masih kurang digunakan padahal gas ozon memiliki beberapa kelebihan dalam menurunkan konsentrasi polutan dibanding gas khlor. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui *performance* reaktor ber'packing' dalam mengolah air limbah rumah sakit, khususnya dalam menurunkan konsentrasi polutan (BOD, COD, Amonia bebas, Phenol, *E.coli* dan *Salmonella Typhus*). Percobaan dilakukan dengan cara mengalirkan air limbah rumah sakit ke dalam reaktor (kolom) yang berisi bahan isian (*packing*) kemudian dikontakkan dengan gas ozon yang mengalir secara berlawanan (*countercurrent*). Variabel percobaan yang digunakan yaitu dosis ozon (10 ppm, 15 ppm, dan 20 ppm), waktu kontak ozon (1 menit, 2 menit, dan 3 menit) serta lama ozonisasi 30 menit. Dengan mengukur konsentrasi polutan pada *influent* dan *effluent* reaktor maka diperoleh besarnya penurunan konsentrasi polutan yang menunjukkan *performance* dari reaktor ozon. Hasil percobaan menunjukkan bahwa reaktor ber'packing' memiliki *performance* yang sangat baik dalam ozonisasi air limbah rumah sakit, dimana pada dosis ozon 15 ppm, waktu kontak ozon 3 menit dan waktu ozonisasi 20 menit dapat menurunkan konsentrasi BOD, COD, Amonia bebas, Phenol, *E.coli* dan *Salmonella typhus* masing – masing sebesar 97%, 98%, 97%, 96%, 100%, dan 100%.

**Kata Kunci:** *Dosis, Ozonisasi, Polutan, Performance, Reaktor, Waktu kontak*

### PENDAHULUAN

Pengolahan air limbah rumah sakit umumnya menggunakan proses biologi yang diikuti dengan proses khlorinasi. Beberapa proses biologi yang digunakan, antara lain:

Proses lumpur aktif (*activated sludge*), Proses anaerobik-aerobik fixed film biofilter (A2F2B), Kombinasi proses lumpur aktif - biofilter (Greentech, 2008; Rezaee, A et al, 2005; Said, N. I, 2000). Sedangkan pada proses khlorinasi digunakan proses difusi – aerasi, dimana gas khlor yang dikontakkan melalui suatu diffuser ke dalam air limbah dan diikuti dengan aerasi. Namun demikian penggunaan khlor secara berlebihan dalam proses ini terdapat kelemahan, antara lain: 1). Menimbulkan dampak lingkungan perairan yaitu membunuh beberapa jenis mikroorganismenya sehingga memutus rantai makanan dalam suatu ekosistem perairan, 2). Kurang efektif dalam menurunkan konsentrasi polutan (Ekhaise, F.O. dan Omavwoya, B.P, 2008; Emmanuel, E., Pierre, M.G. dan Perrodin, Y, 2009; Tsai, C. T. dan Lin, S.T, 1999; Oyeleke, S.B., Istifanus, N. and Manga, S.B. 2008).

Di Indonesia, umumnya penggunaan proses ozonisasi air limbah rumah sakit masih belum banyak dilakukan padahal ozonisasi memiliki beberapa kelebihan dibanding khlorinasi, antara lain: mampu mengoksidasi logam berat, waktu oksidasi 3100 kali lebih cepat dibanding, mudah larut dalam air sehingga lebih aman terhadap lingkungan, mudah bereaksi, disinfektan yang kuat yang mampu membunuh berbagai macam mikroorganismenya seperti bakteri *Escherichia coli*, *Salmonella enteriditis*, *Hepatitis A Virus* serta berbagai mikroorganisma patogen lainnya (Gottschalk, C, et al., 2000; Langlais, B et al., 1991; Ozone Technology Inc, 2007; Seyed Amir Mohammad Dastan, Hossein Masoodi, 2015).

Proses ozonisasi air limbah rumah sakit umumnya terjadi dalam suatu reaktor kontak, dimana dalam reaktor tersebut berlangsung mekanisme absorpsi dan desorpsi gas ozon sehingga terjadi *massa transfer* dari fase gas (ozon) ke dalam fase cair (air limbah) dan sebaliknya. Besarnya/ laju perpindahan massa tergantung, antara lain: kelarutan, pH, konsentrasi awal, waktu kontak, arah aliran, dan jenis serta bentuk bahan isian (Langlais et al., 1991; Rip G Rice dan Aharon Netzer, 2005; Ozone Technology, 2007). Beberapa jenis reaktor kontak dalam proses ozonisasi, antara lain: Kolom *stripping*, Kolom *packed*, Kolom *tray*, Kolom *plate – plate*, dan Kolom *spray* (Matheswaran, M. dan I. S. Moon, 2009). Selanjutnya dalam kolom *packed* terdapat beberapa jenis bahan isian yang digunakan agar proses perpindahan massa berlangsung efektif, antara lain: *Raschig rings*, *Berl saddles*, *Spiral rings*, *Lessing rings*, *Cross-partition rings* (Rau, S. dan M. Rosner, 2004; Rice R. G, 1997). Langlais at al.(1991)

menyatakan bahwa cara yang lebih efektif untuk meningkatkan waktu kontak adalah dengan menambah luas area kontak antara fase gas dengan fase cair melalui penurunan ukuran gelembung gas ozon yang terdispersi dalam larutan. Matheswaran, M. dan I. S. Moon (2009) menyebutkan bahwa proses ozonisasi phenol dalam air limbah menggunakan reaktor kolom bergelembung dapat meningkatkan rate perpindahan massa ozon, rate oksidasi phenol serta kelarutan dan dekomposisi rate ozon.

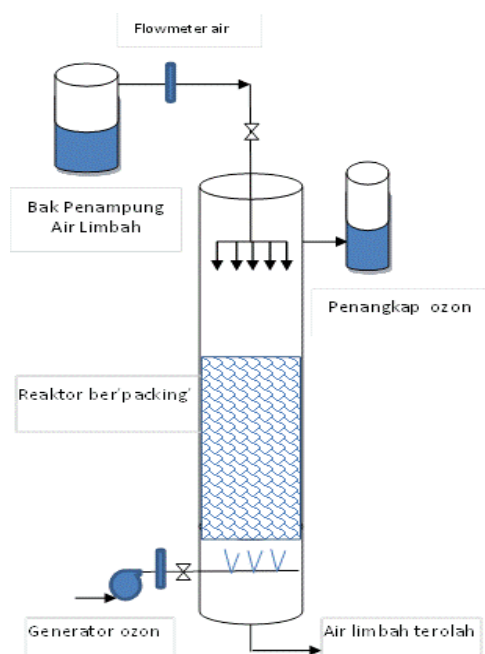
Untuk itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui *performance* reaktor kontak ber'packing' dalam proses ozonisasi air limbah rumah sakit.

## METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan menggunakan reaktor berbentuk kolom yang terbuat dari bahan acrylic, dimana di dalam kolom berisikan bahan isian (*packing*) berbentuk *Raschig ring* yang terbuat dari bahan kaca. Generator ozon berfungsi untuk menghasilkan gas ozon. Sedangkan bahan (air limbah) yang digunakan adalah air limbah rumah sakit yang mengandung polutan – polutan, antara lain: BOD, COD, Amonia bebas, Phenol, *E.coli* dan *Salmonella thypi*. Variabel yang digunakan adalah waktu kontak (1 menit, 2 menit, 3 menit) dan dosis ozon (10 mg/L, 15 mg/L, 20 mg/L) Sedangkan variabel tetap meliputi pH (7-8), dan jenis '*packing*'.

Metode analisa menggunakan prosedur standart dari APHA (2005) yaitu: Titrasi dengan botol Winkler untuk analisa BOD, refluks terbuka untuk analisa COD, UV-Vis spektrofotometri untuk analisa amonia bebas dan phenol. Metode *Total Plate Count* (TPC) untuk analisa *E.coli* dan *Salmonella thypi*.

Percobaan dilakukan dengan cara mengisi kolom (reaktor) dengan bahan isian (*Raschig ring*) pada ketinggian tertentu sehingga diperoleh waktu kontak sebagaimana ditetapkan (variabel). Tampung air limbah dan '*setting*' *flowrate* air limbah sehingga diperoleh dosis ozon tertentu sesuai variabel yang ditetapkan (variabel). Alirkan gas ozon dari generator ozon secara bersamaan (*mass flowrate ozon* = 0,25 gr/jam) sehingga terjadi kontak kedua fluida (air limbah – ozon) pada permukaan bahan isian *Raschig ring*. Tampung *effluent* air limbah dan analisa kadar polutan (BOD, COD, Amonia bebas, Phenol ) pada *influent* dan *effluent* air limbah. Sampling dilakukan pada setiap 5 menit selama 30 menit.



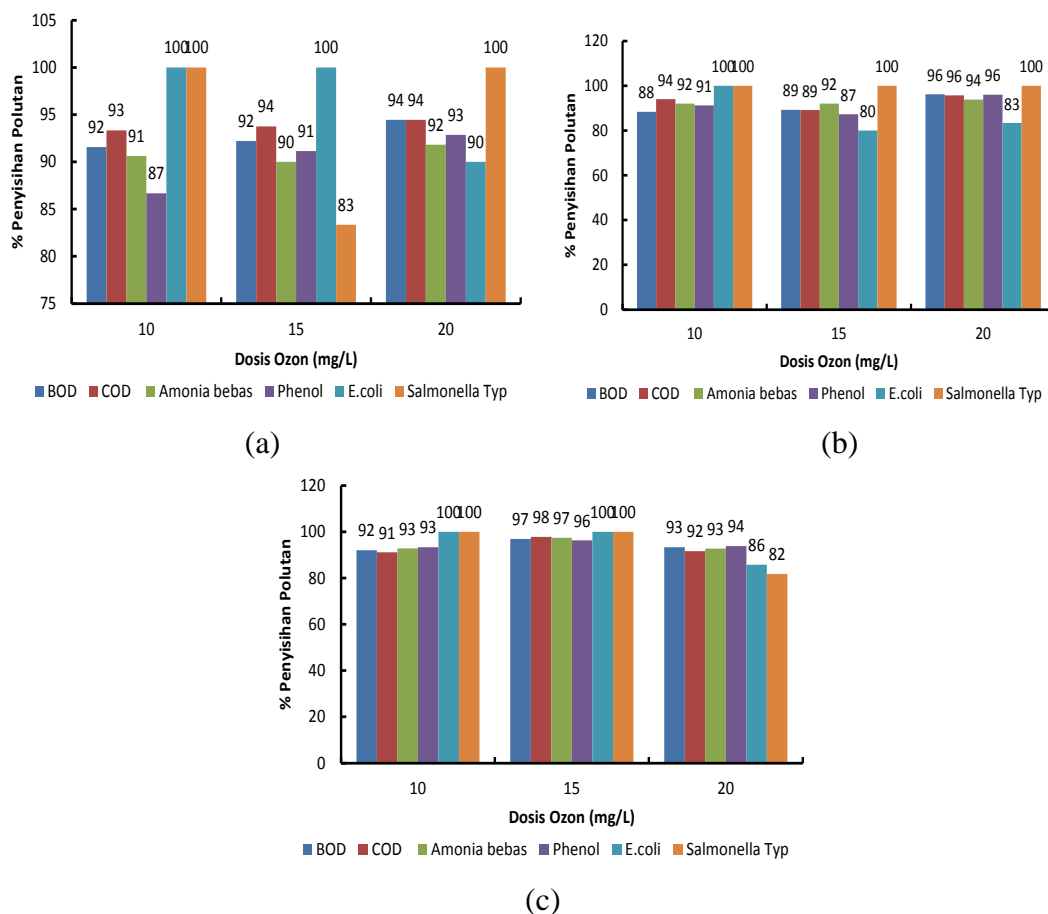
Gambar 1. Sketsa Peralatan Percobaan (Reaktor Ozonisasi)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengaruh Dosis Ozon

Dengan melakukan perubahan – perubahan variabel yaitu dosis ozon sebesar 10 mg/L, 15 mg/L, dan 20 mg/L yaitu dengan cara pengatur *flowrate* air limbah sedangkan *flowrate* ozon tetap pada 0,25 gr/jam, pH larutan pada range pH : 7 - 8, serta lama ozonisasi selama 20 menit dan waktu kontak ozon yang berubah maka diperoleh data percobaan sebagaimana Gambar 2.

Gambar 2 (a) dan Gambar 2 (b) menunjukkan bahwa semakin besar dosis ozon yang digunakan atau semakin kecil *flowrate* air limbah maka semakin besar persen konsentrasi polutan yang disisihkan dalam air limbah. Hal ini disebabkan semakin besar dosis ozon maka semakin banyak ozon yang berkontak atau bereaksi dengan polutan dalam air limbah sehingga kecepatan reaksi antara ozon dan polutan akan semakin besar dan akan semakin banyak polutan yang terkonversi menjadi senyawa lain yang non polutan. Langlais et al. (1991), Rip G Rice dan Aharon Netzer (2005) dan Ozone Technology (2007) menyebutkan bahwa kecepatan reaksi ozon dipengaruhi oleh dosis, waktu, pH, konsentrasi awal polutan, kelarutan dan suhu.



Gambar 2. Penurunan kadar polutan air limbah pada berbagai dosis ozon dan waktu kontak

(a). Waktu Kontak: 1 menit (b). Waktu kontak: 2 menit (c). Waktu kontak: 3 menit

Sedangkan pada Gambar 2 (c) menunjukkan bahwa semakin besar dosis ozon yang digunakan semakin besar persen konsentrasi polutan yang disisihkan kecuali pada dosis 20 mg/L terjadi penurunan persen penyisihan polutan. Hal ini disebabkan pada waktu kontak 3 menit dan dosis ozon 20 mg/L terjadi *flooding* (ruangan reaktor terisi penuh oleh fluida cair), dimana fluida cair (air limbah) yang masuk kolom (reaktor) dan tertahan oleh *packing* (bahan isian) sangat besar sehingga transfer massa gas ozon ke dalam fluida cair (air limbah) berkurang yang berakibat terjadinya reaksi ozonisasi berlangsung kurang efektif. Pada dosis 15 mg/L merupakan dosis optimal untuk ozonisasi air limbah rumah sakit, dimana dengan waktu kontak 3 menit dan lama ozonisasi 20 menit dapat menyisihkan polutan masing sebesar BOD (97%), COD (98%), Amonia bebas (97%), Phenol (96%), *E.coli* (100%), dan *Salmonella thypi* (100%).

Sedangkan Sukanchan Palit (2009) menyebutkan bahwa *Fixed bed bubble column* efektif dalam pengambilan warna dalam air limbah industri tekstil, dimana dengan waktu ozonisasi selama 30 menit dapat menurunkan warna sebesar 98%. Sedangkan Sanchez et al. (2006) dan Yunho Lee at al. (2014) menyebutkan bahwa Ozon memiliki kelarutan yang tinggi dalam air dan bereaksi membentuk gugus hidroksil ( $\text{OH}^\cdot$ ) yang berfungsi sebagai oksidator kuat pada 10 menit pertama. Disamping itu ozon juga sebagai desinfektan yang sangat efektif dalam membunuh bakteri (coli tinja) dan mengoksidasi logam berat (Rau, S. dan M. Rosner. 2004).

### **Pengaruh Waktu Kontak Ozon**

Selanjutnya Gambar 2 juga menunjukkan perubahan konsentrasi polutan pada berbagai waktu kontak (1 menit, 2 menit, dan 3 menit). Gambar 3 menunjukkan bahwa pada pH tetap sebesar 7,5 dan dosis ozon yang tetap sebesar 15 mg/L, maka semakin besar waktu kontak akan semakin besar prosen penurunan kadar polutan dalam air limbah. Hal ini disebabkan semakin lama waktu kontak antara fluida cair (air limbah) dengan gas ozon maka semakin lama reaksi berlangsung antara ozon dan polutan dalam air limbah sehingga semakin besar polutan yang terambil (yang bereaksi). Pada penelitian ini, waktu kontak dinyatakan dalam bentuk tinggi kolom isian, dimana semakin tinggi kolom isian maka semakin besar volume kontak antara ozon dengan air limbah. Dengan tinggi kolom yang semakin besar serta bentuk isian kolom berbentuk *raschig ring* maka akan mempengaruhi pola hidrodinamis dari aliran fluida (air limbah). dimana dengan adanya packing berbentuk *Raschig ring* akan meningkatkan luar permukaan kontak antara gelembung – gelembung gas ozon dengan dengan fase cair (air limbah) sehingga akan meningkatkan waktu kontak dan reaksi antara gas ozon dengan air limbah. Beberapa tipe reaktor yang digunakan untuk meningkatkan *massa transfer* antara lain: *fixed packed bed*, *rotating packed bed*, *bubble column and bubble diffuser reactor*. Persen pengambilan bahan organik lebih tinggi dalam kolom bergelembung dibanding gelembung dari suatu diffuser disebabkan konsentrasi ozon terlarut pada kolom bergelembung lebih tinggi dibanding gelembung dari diffuser (Matheswaran, M. dan I. S. Moon, 2009; Zeng. Z at al. 2012). Disamping itu terdapat pengaruh psycokimia meliputi dekomposisi reaksi ozon, suhu, tekanan dan komposisi kimia cairan (air limbah) (Lin, C.C dan Bor, C.C, 2008). Namun demikian dalam penelitian ini lebih ditekankan pada pengaruh hidrodinamik, dimana bahan isian reaktor

berbentuk Raschig ring yang memiliki luas permukaan besar membuat pergerakan molekul – molekul dalam fluida lebih kecil dan meningkatkan efektifitas kontak dengan gas ozon sehingga aliran fluida membentuk lapisan tipis yang dapat menaikkan perpindahan massa ozon ke dalam fluida (Kuo, C.H. dan F.H. Yocum, 1982).

Gambar 2 (c) juga menunjukkan bahwa waktu kontak 3 menit dan dosis ozon 15 mg/L memiliki kemampuan yang optimal dalam menurunkan konsentrasi polutan yaitu BOD (97%), COD (98%), Amonia bebas (97%), Phenol (96%), *E.coli* (100%) dan *Salmonella thypi* (100%). Prayitno (2014) menggunakan reaktor ozon ber'packing' dengan waktu kontak 1 menit serta lama ozonisasi 40 menit dapat menurunkan konsentrasi BOD, fecal coli, Phenol dan Pb masing – masing sebesar 77.58 %, 94.82 %, 100 %, dan 100 %. Sedangkan Assalin et al. (2009) menyebutkan bahwa lama waktu ozonisasi (waktu kontak ozon) mempengaruhi hasil pengolahan air limbah secara biologis (proses lumpur aktif), dimana semakin lama waktu ozonisasi maka semakin besar pengambilan bahan organik (COD, BOD<sub>5</sub>) dalam air limbah, dimana pada waktu tinggal (HRT, *Hydraulic Residence Time*) sebesar 6 – 20 jam mampu menurunkan konsentrasi COD dari 47,7% - 70%. Disamping itu pH juga mempengaruhi proses ozonisasi, dimana pada pH 8,3 mampu menurunkan konsentrasi COD (75,5%), TOC (59,1), warna (77%), dan phenol (52,3). Sedangkan Yasar et al. (2007) menyebutkan bahwa bertambahnya waktu kontak ozonisasi akan meningkatkan pengambilan warna dan COD, dimana pada dosis 125 mg/L dan waktu ozonisasi selama 25 menit dapat menurunkan konsentrasi warna (51,3 %) dan COD (67 %). Demikian juga perubahan pH dari 8,3 menjadi 10, dalam waktu ozonisasi selama 60 menit dapat menurunkan konsentrasi phenol sebesar 48,5 % menjadi 74%. Yaser et al (2007) menyebutkan bahwa kenaikan waktu ozonisasi akan meningkatkan pengambilan warna dan COD dimana pada dosis 125 mg dan waktu ozonisasi selama 25 menit dapat menurunkan konsentrasi warna sebesar 51,3% dan COD 67%.

Oksidasi ozon terhadap bahan – bahan organik (BOD, COD, dan amonia bebas) lebih tinggi dibanding phenol. Hal ini disebabkan ozon memiliki kelarutan tinggi dalam air dan bereaksi dengan membentuk gugus hidroksil (OH<sup>-</sup>) yang berfungsi sebagai oksidator kuat dan mudah bereaksi dengan bahan – bahan organik rantai lurus dibanding phenol yang memiliki rantai melingkar (Hoige, J, 1982; Turhan, K. dan S. Uzman, 2008; Yunho Lee, 2014). Disamping itu ozon juga merupakan desinfektan yang yang

efektif dalam membunuh mikroorganisme (Misalnya: *E.coli*, *Salmonella thypi*). Dengan demikian reaktor ozon yang berisi bahan isian (*packing*) berbentuk *Raschig ring* dengan aliran *countercurrent* memiliki kemampuan yang baik untuk mengambil polutan air limbah rumah sakit (BOD, COD, amonia bebas, phenol, *E.coli* dan *Salmonella Thypi*).

## SIMPULAN

Hasil percobaan dapat disimpulkan bahwa reaktor ber'packing' memiliki *performance* yang sangat baik dalam ozonisasi air limbah rumah sakit, dimana pada dosis ozon 15 ppm, waktu kontak ozon 3 menit dan lama ozonisasi 20 menit dapat menurunkan konsentrasi BOD, COD, Amonia bebas, Phenol, *E.coli* dan *Salmonella typhus* masing – masing sebesar 97%, 98%, 97%, 96%, 100%, dan 100%..

## DAFTAR PUSTAKA

- APHA. 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21<sup>st</sup> Edition, American Public Health Association, Washington, 6710.
- Assalin, M. R., E. S. Almeida and N. Duran. 2009. Combined System of Activated Sludge and Ozonation for the Treatment of Kraft E1 Effluent. International Journal of Environment Research and Public Health, 6: 1145-1154.
- Gottschalk, C., L. A. Judy and S. Andrian. 2000. Ozonation of Water and Waste Water, Wiley VCH, New York.
- Greentech Co. Ltd. Treatment of Hospital Wastewater Using Activated Sludge Combined with Biological Contactor, on line at: <http://greentechvietnam.com/thuvien/paper/paper-DongThap.pdf>. 2008
- Hoige, J. 1982. Mechanisms, Rates and Selectivities of Oxidations of Organic Compounds Initiated by Ozonation of Water. In Handbook of Ozone Technology and Applications, R.G. Rice and A. Netzer (Eds.), 1: Ann Arbor Science, Michigan, 341-379.
- Kuo, C.H. and F.H. Yocum. 1982. Mass Transfer of Ozone into Aqueous Systems. In Handbook of Ozone Technology and Applications, R.G. Rice, A. Netzer (Eds.), 1: Ann Arbor Science, Michigan, 105-141.
- Langlais, B., D. A. Reckhow, and D. R. Brink. 1991. Ozone in Water Treatment: Application and Engineering, AWWA Research Foundation and Lewis Publishers, Denver.
- Lin, Chang-Chia and Bor, Chi-Chen. 2008. Characteristics of Cross - Flow Rotating Packed Beds. Journal Industrial and Engineering Chemistry, 14: 322-327.
- Matheswaran, M. and I. S. Moon. 2009. Influence Parameters in the Ozonation of Phenol Wastewater Treatment Using Bubble Column Reactor under Continuous Circulation. Journal Industrial and Engineering Chemistry, 15: 287-292.
- Nasr, M. M. 1998. Study of Wastewater Disposal Status and Effluent Quality in Hospitals of Shahid Beheshti University of Medical Sciences. Iranian Journal of Public Health, 6: 371-375.



- Oyeleke, S.B., Istifanus, N. and Manga, S.B. 2008. The Effects of Hospital Solid Waste on the Receiving Environment. *International Journal of Integrative Biology*, 3:191-195.
- Ozone Technology Inc. 2007. *Ozonation and Biofilter for Water Purification*: Austin, Texas.
- Prayitno, Zaenal Kusuma, Bagyo Yanuwadi, Rudy W. Laksmono, Hirotsugu Kamahara, Hiroyuki Daimon. Hospital Wastewater Treatment Using Aerated Fixed Film Biofilter - Ozonation (Af2b/O3). *Advances in Environmental Biology*, 8(5),1251-1259, 2014.
- Rau, S. and M. Rosner. 2004. Wastewater Treatment with Ozone. *Journal Water Conditioning & Purification*, 1: 25-28.
- Rezaee, A., M. Ansari, A. Khavanin, A. Sabzali, M.M. Aryan. Hospital Wastewater Treatment Using an Integrated Anaerobic Aerobic Fixed Film Bioreactor. *American Journal of Environmental Science*. 1: 259-263. 2005.
- Rice R. G. 1997. Applications of Ozone for Industrial Wastewater Treatment - a Review. *Journal Ozone Science and Engineering*, 18: 477-515.
- Rip G Rice and Aharon Netzer. 2005. *Handbook of Ozon Technology and Application*. Ann Arbor Science.
- Said, N. I. Wastewater Treatment with Biofilter Anaerobic - Aerobic System. *Journal of Environmental Technology*, 1: 55-65. 2000.
- Sanchez-Polo, M., E. Salhi, J. R. Utrilla, and U. V. Gunten. 2006. Combination of Ozone with Activated Carbon as an Alternative to Conventional Advanced Oxidation Processes. *Journal Ozone Science and Engineering*, 28: 237-245.
- Seyed Amir Mohammad Dastan, Hossein Masoodi. 2015. The Use of Ozone in Hospital Wastewater Treatment. *Science Journal (CSJ)*, 36, 6, 1358-1364.
- Sukanchan Palit. 2009. Ozonation of Direct Red-23 dye in a fixed bed batch bubble column reactor. *Indian Journal of Science and Technology*. 2, 10: 201-212.
- Tsai, C. T. and Lin, S.T. 1999. Disinfection of Hospital Waste Sludge Using Hypochlorite and Chlorine Dioxide. *Journal Applied Microbiology*, 1: 827-833.
- Turhan, K. and S. Uzman. 2008. Removal of Phenol from Water Using Ozone. *Journal Desalination*. 229: 257-263.
- Yasar, A., N. Ahmad, M. N. Chaudhry, M. S. U. Rehman, and A. A. Khan. 2007. Ozone for Colour and COD Removal of Raw and Anaerobically Biotreated Combined Industrial Wastewater, *Polish Journal Environmental Studies*, 16: 289-294.
- Yunho Lee, Lubomira Kovalova, Christa S. McArdell, Urs von Gunten. 2014. Prediction of micropollutant elimination during ozonation of a hospital wastewater effluent. *Water research* 64: 134 – 148.
- Zeng, Z., H. Zou, X. Li, B. Sun, J. Chen, and L. Shao. 2012. Ozonation of Acidic Phenol Wastewater with O<sub>3</sub>/Fe (II) in a Rotating Packed Bed Reactor: Optimization by Response Surface Methodology, *Journal of Chemical Engineering and Processing*. 60: 1-8.