

PENYISIHAN BAHAN ORGANIK ALAMI PADA AIR PERMUKAAN DENGAN OZONISASI DAN OZONISASI - FILTRASI

ORGANIC AROMATIC REMOVAL ON WATER SURFACE WITH OZONATION AND OZONATION - FILTRATION

Mohamad Rangga Sururi^{*1)}, Kancitra Pharmawati¹⁾, dan Paramanita¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Lingkungan Institut Teknologi Nasional, Kampus ITN, Malang

^{*)}E-mail:rangsoer@yahoo.com

Abstrak

Pada proses desinfeksi dengan ozon, keberadaan bahan organik aromatik dan tak jenuh alami di dalam air baku dapat menyebabkan terbentuknya produk samping desinfeksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi penyisihan bahan organik aromatik dan tak jenuh dengan proses ozonisasi dan proses ozonisasi ditambah filtrasi. Sampel air yang digunakan berasal dari air danau di Situ Ciburuy. Penelitian skala laboratorium dilakukan secara batch dengan waktu kontak ozonisasi 10, 20, 30, 40, dan 50 menit, pada kontaktor dengan volume 1,5 liter. Sementara filter menggunakan media *granular activated carbon* (GAC), dengan variasi tebal media (1) yaitu GAC setebal 25 cm, sedangkan variasi tebal media (2) GAC setebal 15 cm. Metode yang digunakan untuk mengukur konsentrasi sisa ozon adalah *Indigo Colorimetric*. Bahan organik aromatik dan tak jenuh diukur dengan parameter UV₂₅₄. Hasil penelitian menunjukkan efisiensi penyisihan organik aromatik tergantung kepada konsentrasi dan waktu kontak (CT). Hasil terbaik diperoleh pada proses ozonisasi - filter dengan media variasi 1, efisiensi penyisihan organik aromatik dan organik tak jenuh mencapai 86,31%.

Kata kunci : filtrasi, konsentrasi, organik, ozonisasi, waktu kontak

Abstract

In disinfection process, the presence of organic aromatic and unsaturated organic can produce Disinfection by Products (DBPs). The aims of these research is to determine the removal efficiency of those organic substances by ozonation and ozonation plus filtration. Samples were taken from Situ Ciburuy. The study was conducted in a batch laboratory scale with ozonation contact time of 10, 20, 30, 40, and 50 minutes. Ozone contactor volume is 1.5 liter. Two variations of filter were used, the first filter using GAC as high as 25cm, while the second variation using only 15 cm. The method used to measure the concentration of residual ozone is the Indigo Colorimetric, and to measure the organic used the absorption of UV radiation with a wavelength of 254 nm. The result of this research shows, removal efficiency of organic aromatic dependent to CT. The best performance was showed by ozonation process followed by filtration with first variation, where organic aromatic removal as high as 86.31%.

Keywords: concentration, contact time, filtration, organic, ozonation

1. PENDAHULUAN

Salah satu hal yang harus diperhatikan pada proses desinfeksi adalah kemungkinan terdapatnya produk samping desinfeksi seperti Trihalometan (THMs), formaldehid, asetilaldehid, dan bahan lainnya yang bersifat karsinogen. Produk samping desinfeksi akan tergantung dari jenis desinfektan yang digunakan serta kualitas dari air, seperti kandungan bahan organik sebagai prekursor, adanya ion brom, serta faktor lingkungan lainnya (USEPA, 1999). Menurut Shakhawat *et al.* (2009), timbulnya efek yang diakibatkan oleh produk samping desinfeksi tidak hanya akan timbul dari proses konsumsi air tersebut, tetapi juga dari aktifitas lain seperti kontak langsung pada saat memasak, mandi, mencuci dan lain sebagainya. Sementara menurut Arnaud *et al.* (2011), proses desinfeksi yang tidak tepat di kolam renang, berkaitan erat dengan peningkatan penyakit asma dan kulit pada anak-anak di Eropa.

Produk samping desinfeksi dikelompokkan ke dalam 4 kategori yaitu: sisa desinfektan itu sendiri; produk samping berupa bahan anorganik; produk samping berupa bahan organik; dan produk samping yang merupakan ikatan dari halogen dan bahan organik (USEPA, 1999). Dua kelompok terakhir akan terbentuk jika desinfektan diaplikasikan ke dalam air baku yang mengandung bahan organik alami. Penelitian yang dilakukan Sururi *et al.* (2009), menguatkan dugaan bahwa bahan organik hidropobik merupakan bahan organik pembentuk produk samping dari oksidasi bahan organik (Schechter dan Singer, 1995). Berdasarkan peraturan menteri kesehatan No. 492 tahun 2010, bahan organik sebagai prekursor DBPs ditentang adanya dalam air minum dengan konsentrasi sebesar 10 mg/l.

Bahan organik alami secara garis besar dapat dibagi menjadi dua, yaitu *Particulat Organic Carbon* (POC) dengan ukuran diatas 0,45 μm yang biasanya kurang dari 10% dari bahan organik alami, dan *Dissolved Organic Carbon* (DOC). DOC merupakan bagian dari bahan

organik alami yang sangat mempengaruhi kualitas air. DOC sebagian besar (80%) terdiri dari materi hidrofobik seperti humus dan hidrofilik yang memiliki gugus hidroksil (Shon *et al.*, 2006). Lebih jauh lagi, Sobecka (2006), menjelaskan bahwa humus merupakan fraksi utama dari bahan organik alami yang sangat umum ditemukan pada sumber air permukaan, dan humus dapat terukur hingga 90% dari bahan organik alami.

Salah satu strategi yang dapat diterapkan untuk meminimasi terbentuknya produk samping desinfeksi adalah dengan proses penyisihan bahan organik alami. Berdasarkan hasil penelitian Siddiqui (1997) efisiensi penyisihan bahan organik alami melalui proses koagulasi-flokulasi mencapai 48%, sedangkan ozonisasi hanya mencapai 3%, menurut penelitian tersebut penyisihan terbaik mencapai 64% yang diperoleh pada kombinasi proses koagulasi-ozonisasi dan Filtrasi. Penelitian Siddiqui dikuatkan penelitian yang dilakukan Bose (2006). Keuntungan dari penyisihan bahan organik alami selain meminimumkan pembentukan produk samping desinfeksi, juga akan semakin meminimumkan konsentrasi dan waktu kontak desinfektan yang akan diberikan pada post-desinfeksi.

Ozon, dengan nilai E^0 2,07 Volt, merupakan salah satu bahan dengan potensial redoks yang cukup tinggi. Ozon dapat terdekomposisi menjadi OH^\bullet , dengan E^0 2,80 Volt, ketika terlarut di dalam air. Fakta tersebut menunjukkan proses ozonisasi dapat mengoksidasi senyawa organik ataupun anorganik dalam air dengan lebih baik dan lebih cepat. Meskipun ozon lebih mudah larut jika dibandingkan oksigen (Johnson, 1975), namun jumlah aktual yang dapat beroperasi dalam kondisi larut sangatlah kecil.

Lebih jauh lagi, Audenaert *et al.* (2010), menjelaskan bahwa proses ozonisasi dan filtrasi melalui GAC, dapat memperbaiki kualitas air, meningkatkan kestabilan pemenuhan syarat biologi dari air terolah, dan mengurangi dosis klor yang dibutuhkan pada sistem distribusi. Efisiensi penyisihan bahan

organik alami akan tergantung dari karakteristik air dan bahan organik alami pada suatu daerah. Hal tersebut seiring dengan pendapat Bose *et al.* (2007) dan Singer (1995) yang menyebutkan karakteristik air dan bahan organik yang berbeda bisa menyebabkan hasil penelitian yang berbeda. Sehingga penelitian ini ditujukan untuk mengetahui efisiensi penyisihan bahan organik alami pada air permukaan, dan untuk mengetahui faktor yang mempengaruhinya.

2. METODA

Sampel berasal dari air Danau Ciburuy Kabupaten Bandung Barat. Pengambilan sampel dilakukan secara *grab*. Parameter kualitas air yang diukur adalah pH, Temperatur, Mn^{2+} , Fe^{2+} , alkalinitas serta UV_{254} . Lokasi sampling dapat dilihat pada Gambar 1 di samping. Proses pengukuran dilakukan secara langsung di tempat dilakukan untuk parameter seperti temperature, kekeruhan dan pH. Metode pengukuran masing-masing parameter dapat dilihat pada Tabel 1.

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah alat untuk proses ozonisasi berupa aerator, pengukur laju aliran udara, generator ozon, dan ozon kontaktor dengan volume 1,5 liter, serta dilengkapi dengan katup untuk pengambilan sampel. Proses filtrasi dilakukan pada filter sederhana dari pipa PVC berdiameter 2 inchi dan tinggi 32 cm. Ozon Filter dilengkapi dengan katup untuk pengambilan sampel dan system *under drain*. Proses filtrasi dilakukan dengan dua variasi. Pada variasi pertama filter di isi media GAC setebal 25 cm, sedangkan variasi tebal media ke dua yaitu GAC setebal 15 cm. Karakteristik GAC yang digunakan adalah Ukuran Efektif (ES) 16 mm, luas permukaan : $900\text{ m}^2/\text{g}$, densitas $0,05\text{ gr/ml}$, dan koefisien keseragaman (UC) 1,8. Metode yang digunakan untuk pengukuran konsentrasi sisa ozon, yaitu metode Indigo Colorimetric (4500-O3-B).



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Sampel

Tabel 1. Metode Pemeriksaan Karakteristik Sampel Air

Parameter	Metode Pengukuran
Air	Karakteristik Air
pH	pH meter
Suhu	-
Kekeruhan	Turbidimetri Helliège
Alkalinitas	Titrasi asam-basa
NOM	UV <i>visible</i> 254 nm
Mangan	Colorimetri dengan Persulfat
Besi Terlarut	Spektrofotometri

Pengukuran konsentrasi sisa ozon dilakukan dengan cara mengambil sampel air dari kontaktor sebanyak 45 ml, kemudian sampel ditempatkan pada botol gelas yang sebelumnya telah diisikan 5 ml larutan indigo reagent II.

Sampel selanjutnya diukur menggunakan alat spektrofotometer pada panjang gelombang $600\pm 10\text{ nm}$. Langkah tersebut dilakukan pada masing-masing waktu kontak. Setelah pengukuran dengan spektrofotometer maka diperoleh data nilai absorban, yang kemudian dimasukkan ke dalam rumus sehingga nilai konsentrasi sisa ozon pada masing-masing interval waktu kontak dapat diketahui. Rumus konsentrasi sisa ozon, yaitu :

$$mg\ O_3/L = \frac{50 \times \Delta A}{f \times b \times V} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

- ΔA : selisih absorban antara sampel dan blanko
- b : panjang dari kuvet yang digunakan, cm
- V : volume sampel air, ml → 45 ml
- F : 00,42

Untuk pengukuran kandungan bahan organik alami menggunakan radiasi UV dengan panjang gelombang 254 nm. UV₂₅₄ dapat menyatakan kuantitas bahan organik aromatik dan senyawa tak jenuh dalam air, sehingga dapat digunakan untuk memperkirakan keberadaan prekursor dalam air (Beltrand, 1995).

Skema penelitian ozonisasi dan ozonisasi-filtrasi dapat dilihat pada Gambar 2 di atas. Pada penelitian ozonisasi, udara bebas dengan laju 1,5 L/menit dialirkan menuju generator ozon menggunakan aerator sehingga menghasilkan ozon dalam fase gas, kemudian dikontakkan secara kontinyu ke dalam kontaktor *batch* yang berisi sampel air dengan volume 1,5 liter. Sampel air dikontakkan dengan ozon terlarut pada interval waktu kontak 10, 20, 30, 40, dan 50. Ozon yang terlepas kembali ke udara di alirkan ke larutan KI. Selanjutnya pada penambahan proses filtrasi variasi 1 dan 2, setelah proses ozonisasi, sampel air dari kontaktor dilewatkan pada media filter secara langsung. Penelitian dilakukan terhadap penyisihan bahan organik alami dan kekeruhan dengan ozonisasi serta proses ozonisasi disertai proses filtrasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

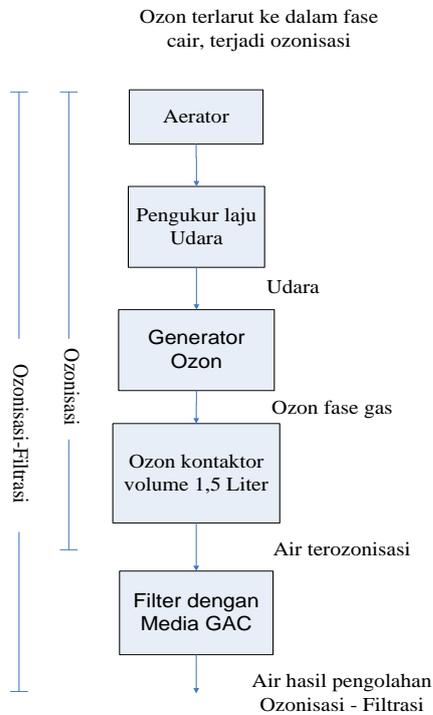
Karakteristik Sampel Air

Adapun hasil pengukuran karakteristik sampel air danau Situ Ciburuy disajikan dalam Tabel 2. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa sampel air memiliki pH sekitar netral dan suhu berada pada suhu ruang. Nilai kekeruhan sample air adalah 83 NTU, kekeruhan disebabkan oleh materi tersuspensi dari ukuran

koloid sampai dengan materi kasar yang terdispersi (Sawyer, 2003). Kandungan Fe²⁺ dan Mn²⁺ pada sampel sangat kecil, masing-masing sebesar 0,00058 mg/L, dan nol. Hal tersebut dikarenakan pengambilan sampel berada pada lapisan atas danau, sehingga Fe²⁺ dan Mn²⁺ yang berada di perairan dioksidasi menjadi Fe³⁺, dan Mn⁴⁺ yang kemudian berikatan dengan hidroksida membentuk senyawa yang bersifat tidak larut dan mengendap di dasar perairan (Effendi, 2003).

Tabel 2. Karakteristik Sampel Air Situ Ciburuy

Parameter Air	Satuan	Sampel Air
pH		7,85
Suhu	°C	24,5
Mangan terlarut (Mn ²⁺)	mg/L	0
Besi terlarut (Fe ²⁺)	mg/L	0,00058
Alkalinitas	mg/L CaCO ₃	30,5
Bahan organik alami (UV ₂₅₄)	(m-1)	37,8
Kekeruhan	NTU	83,0



Gambar 2. Skema Penelitian Ozonisasi dan BAC

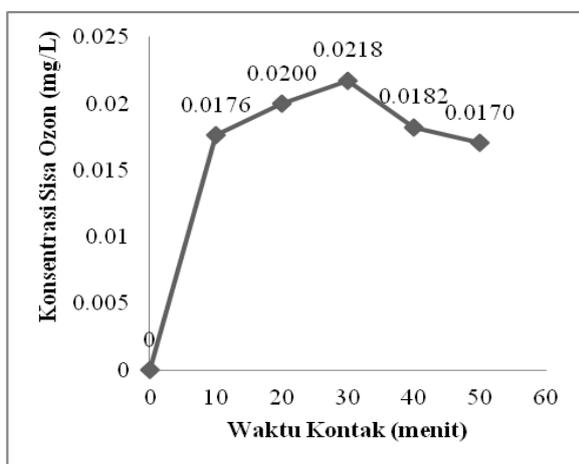
Alkalinitas pada sampel air menunjukkan konsentrasi sebesar 30,5 mg/L CaCO₃. Alkalinitas merupakan inhibitor yang dapat memperlambat reaksi berantai OH radikal dalam proses dekomposisi ozon (von Gunten, 2003). Pelambatan reaksi berantai ini disebabkan oleh produk hasil reaksi ion karbonat atau bikarbonat dengan OH radikal tidak akan bereaksi kembali dengan ozon (von Gunten, 2003).

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai UV₂₅₄ dari sampel air adalah 37,8 (m-1). Nilai UV₂₅₄ dapat menggambarkan keberadaan prekursor dalam air karena mampu menyerap humus dan bahan organik aromatik yang merupakan konstituen utama dari bahan organik alami. Nilai UV₂₅₄ sampel yang tinggi menggambarkan kandungan bahan organik aromatik yang tinggi pada Situ Ciburuy.

Penyisihan Bahan Organik Alami.

Hasil pengukuran konsentrasi sisa ozon pada setiap interval waktu kontak selama proses ozonisasi sampel air dapat dilihat pada Gambar 3.

Konsentrasi sisa ozon yang terukur pada waktu kontak 10, 20, 30, 40, dan 50 menit berturut-turut adalah 0,0176; 0,0200; 0,0218; 0,0182; dan 0,0170 mg/L. Pada Gambar tersebut dapat dilihat, konsentrasi sisa ozon mengalami



Gambar 3. Konsentrasi Sisa Ozon pada Sampel Air.

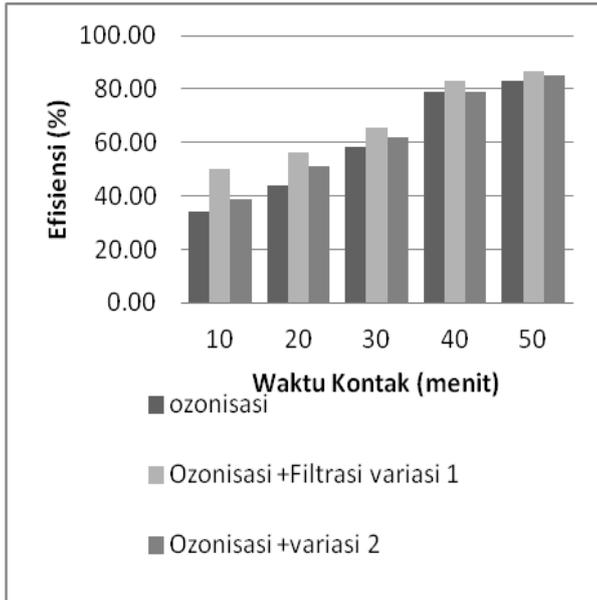
peningkatan pada waktu kontak 10-30 menit hingga mencapai konsentrasi sebesar 0,0218 mg/L, kemudian mengalami penurunan kembali secara bertahap pada waktu kontak 40-50 menit. Peningkatan konsentrasi sisa ozon disebabkan suplai gas ozon pada penelitian ini dilakukan secara terus menerus ke kontaktor. Hal lain yang mempengaruhi adalah tingginya kandungan bahan organik alami serta nilai kekeruhan yang mengindikasikan keberadaan promotor reaksi berantai, akibatnya pada waktu kontak 40 dan 50 menit konsentrasi sisa ozon mengalami penurunan. Perbandingan efisiensi penyisihan UV₂₅₄ dengan ozonisasi dan ozonisasi-filtrasi pada variasi 1 dan 2 dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 4.

Pada gambar dan tabel di atas, diketahui bahwa proses ozonisasi ditambah filtrasi dengan GAC dapat meningkatkan efisiensi penyisihan bahan organik aromatik.

Efisiensi penyisihan UV₂₅₄ dengan ozonisasi pada waktu kontak 10, 20, 30, 40, dan 50 menit secara berurutan adalah 34,13%; 43,92%; 58,47%; 79,10%; dan 82,80%. Selanjutnya setelah ditambah proses filtrasi, penyisihan UV₂₅₄ pada interval waktu kontak ozonisasi yang sama ditambah filter variasi 1, maka efisiensi meningkat secara berurutan menjadi 50%; 56,08%; 65,61%; 82,80%; dan 86,51%. Sedangkan pada ozonisasi-filter variasi 2 efisiensi sedikit menurun jika dibandingkan menggunakan filter pada variasi sebelumnya yaitu menjadi 38,89%; 51,06%; 62,17%; 79,10%; dan 85,19%.

Tabel 3. Penyisihan bahan organik aromatik

Waktu Kontak (menit)	UV ₂₅₄ (m-1)		
	ozonisasi	Ozonisasi-Filtrasi variasi 1	Ozonisasi-Filtrasi variasi 2
10	24,9	18,9	23,1
20	21,2	16,6	18,5
30	15,7	13,0	14,3
40	7,9	6,5	7,9
50	6,5	5,1	5,6

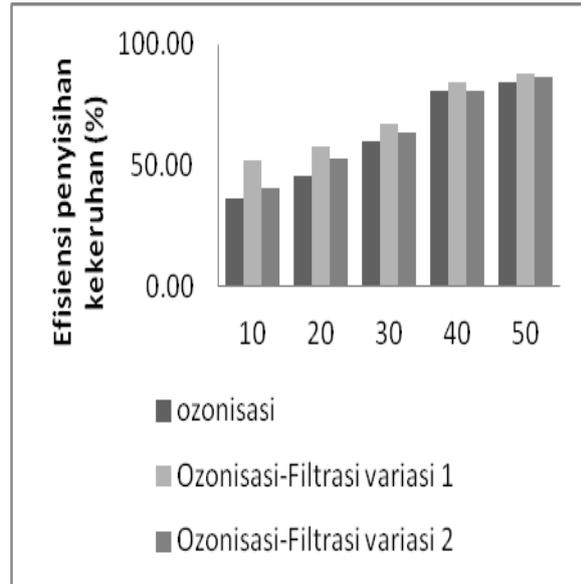


Gambar 4. Perbandingan Efisiensi Penyisihan UV₂₅₄ dengan Ozonisasi dan Ozonisasi-Filtrasi

Data tersebut menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan kandungan bahan organik aromatik mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya interval waktu kontak dan konsentrasi sisa ozon (CT). Lebih baiknya penyisihan bahan organik aromatik pada variasi 1 dikarenakan media GAC yang lebih tebal dibandingkan pada variasi 2, sehingga pada variasi 1 kuantitas media untuk proses adsorpsi lebih banyak.

Terlihat pada Gambar 5, pada setiap variasi penelitian dan waktu kontak, hasil penelitian menunjukkan pola penyisihan yang sama pada parameter kekeruhan, namun efisiensi penurunan kekeruhan lebih tinggi dibandingkan dengan penyisihan UV₂₅₄. Hal tersebut menunjukkan bahwa proses ozonisasi dan ozonisasi-filtrasi tidak hanya menyisihkan bahan organik, namun materi tersuspensi lainnya.

Pada Gambar 4, dapat dilihat proses ozonisasi dapat menyisihkan kekeruhan hingga 84,4%, proses ozonisasi – filtrasi variasi 1 dapat menyisihkan kekeruhan hingga 87,95%, dan ozonisasi – filtrasi variasi 1 dapat menyisihkan hingga 86,75%.



Gambar 5. Perbandingan Efisiensi Penyisihan Kekeruhan dengan Ozonisasi dan Ozonisasi-Filtrasi

Nilai UV₂₅₄ mengalami penurunan secara bertahap setelah ozonisasi karena proses oksidasi yang mereduksi bahan organik aromatik serta terjadinya perubahan polaritas (Bozena *et al.*, 2006). Proses oksidasi dilakukan oleh ozon maupun oleh OH radikal yang terbentuk selama proses ozonisasi. Hal tersebut menguatkan penelitian sebelumnya, yang menyatakan bahwa perubahan karakteristik bahan organik alami setelah ozonisasi diindikasikan dengan berkurangnya nilai UV₂₅₄. Hal tersebut menandakan bahwa akibat dari proses ozonisasi adalah adanya perubahan bahan organik yang bersifat humus ke non humus serta meningkatkan polaritas (Wataru dan Gerald, 2004 dan Karnik *et al.*, 2005). Bahan organik aromatik merupakan promotor yang dapat mempercepat dekomposisi ozon karena kandungan organik dapat bereaksi dengan ozon maupun dengan OH radikal (Yunzheng *et al.*, 2005). Hal inilah yang menambah penjelasan fenomena yang terjadi pada Gambar 3, yaitu penurunan konsentrasi sisa ozon pada menit ke 40 dan 50. Reaksi yang terjadi antara ozon dan bahan organik adalah (von Gunten, 2003):



Sedangkan reaksi yang terjadi antara OH radikal dan NOM adalah (Von Gunten, 2003):



Lebih baiknya efisiensi penyisihan bahan organik aromatik setelah penambahan proses filtrasi disebabkan terjadinya proses adsorpsi. Media karbon yang digunakan merupakan adsorben, yang merupakan sebuah material padatan yang mempunyai lokasi-lokasi tempat ikatan. Proses dalam adsorpsi dapat terjadi karena adanya perbedaan polaritas yang menyebabkan sebagian molekul melekat pada permukaan itu lebih erat daripada molekul-molekul lainnya. Penurunan UV_{254} yang terjadi secara bertahap pada proses ozonisasi, memberikan kesempatan bagi karbon aktif yang merupakan adsorben non polar, untuk mengadsorpsi bahan organik alami aromatik yang umumnya hidrofobik yang masih tersisa, karena proses ozonisasi tidak menyisihkan materi ini secara keseluruhan. Hal lain yang menarik untuk dianalisis adalah terdapatnya kecenderungan pada interval awal proses ozonisasi (menit ke 10 dan 20), perbedaan efisiensi antara proses ozonisasi serta proses ozonisasi ditambah proses filtrasi variasi 1 cukup jauh, dimana pada ozonisasi-filtrasi variasi 1 jauh lebih baik jika dibandingkan proses ozonisasi saja. Kecenderungan ini disebabkan pada menit awal konsentrasi sisa ozon di dalam air sangatlah kecil sehingga efisiensi proses penyisihan bahan organik tak jenuh dan bahan organik aromatik masih kecil, akibatnya bahan organik tersebut masih banyak tersisa pada sampel sehingga dapat di adsorpsi oleh GAC dengan baik. Pada dua interval akhir (menit 40

dan 50), perbedaan efisiensi penyisihan bahan organik aromatik dan bahan organik tak jenuh antara ke-2 variasi tersebut sangatlah kecil, bahkan seluruh variasi pada penelitian ini mencapai nilai lebih dari 80%. Fakta ini menjelaskan bahwa semakin besar CT pada proses ozonisasi, maka perubahan karakter bahan organik semakin besar, dimana bahan organik tak jenuh dan aromatik dirubah menjadi bahan organik dengan berat molekul yang lebih kecil, sehingga polaritas bahan organik berubah. Penjelasan lain dari fenomena tersebut adalah bahwa pada proses adsorpsi oleh GAC, bahan organik yang bersifat *Non Biodegradable Organic Carbon* akan ter-adsorp lebih cepat dibandingkan dengan bahan organik yang bersifat *Biodegradable Organic Carbon* (BOC) (Wataru *et al.*, 2004). Fakta tersebut menguatkan penelitian Wataru dan Gerald (2004) yang menyebutkan bahwa proses ozonisasi dapat menurunkan kemampuan proses adsorpsi bahan organik alami oleh GAC.

4. KESIMPULAN

Penyisihan bahan organik aromatik dan organik tak jenuh alami yang terkandung pada air baku dapat dilakukan dengan ozonisasi, dan ozonisasi ditambah filtrasi. Semakin besar konsentrasi dan waktu kontak ozon, serta semakin tebal media karbon aktif, maka efisiensi penyisihan UV_{254} semakin besar. Penurunan UV_{254} , juga mengindikasikan proses ozonisasi dapat merubah karakter bahan organik yang ada pada air, dimana bahan organik yang bersifat hydrophobic menjadi bahan organik yang bersifat hydrophilic.

Ucapan Terima Kasih

Ucapkan terimakasih kepada Dirjen DIKTI yang telah memberikan dana penelitian melalui skema Hibah Bersaing.

DAFTAR PUSTAKA

APHA., AWWA. (1998). Standard methode for the examination of water and waste

- water 21th edition. American water works association.
- Arnaud F., A. Hautemanière, dan P. Hartemann (2011). Health effects of disinfection by-products in chlorinated swimming pools. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 214. 461– 469.
- Bozena, S., M. Tomaszewska, dan A.W. Morawski (2006). Removal of humic acids by the ozonation-biofiltration process. *Journal of Desalination*. 198. 265-273.
- Karnik, B.S., S.H. Davies, M.J. Bauman, dan S.J. Masten (2005). The effects of combined ozonation and filtration on disinfection by-product formation. *Water research*. 39. 2839-2850.
- Beltrand, J.F. (1995). Ozone reaction kinetic for water and wastewater system. CRC Press company. Washington DC.
- Bose, R. (2007). The effect of ozonation on natural organic matter removal by alum coagulation. *Water Research*. 41. 1516-1524.
- Effendi, H. (2003). Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan. Yogyakarta: Kanisius.
- Johnson, J.D. (1975). Desinfection water and wastewater. Ann Arbor Science Publishers.
- Sawyer., N. Clair, Perry L. McCarty, dan Gene F. Parkin (1994). Fourth Edition: Chemistry For Environmental Engineering. United Stated: MC Graw-Hill.
- Sururi M.R., Suprianto dan D. Roosmini (2009). Pengaruh pH dan karakteristik air pada pembentukan low molecular weight organic Aldehyd, akibat proses Pradesinfeksi dengan ozon. *Jurnal Purifikasi*. 10. 117-124.
- Siddiqui M.S., G.L. Amy, dan B.D. Murphy (1997). Ozone Enhanced Removal of Natural Organic Matter From Drinking Water Sources. *Water Research*. 31. 3098-3106.
- Schechter D.S. dan P.C. Singer (1995). Formation of Aldehydes During Ozonation, *Journal of Ozone Science & Engineering*. 17. 53-69.
- Shakhawat, C., Pascale Champagne., dan P. James McLellan (2009). Models for predicting disinfection byproduct (DBP) formation in drinking water: A chronological review. *Journal Science of The Total Environment*. 407. 4189-4206.
- USEPA (1999). Alternative disinfectants and oxidants guidance manual. EPA. 815-R-99-014.
- von Gunten, U. (2003). Ozonation of Drinking Water: Part I. Oxidation Kinetics and Product Formation, *Water Research*. 37. 1443-1467.
- Wataru dan Gerald E. Speitel Jr. (2004). Fate of iodegradable dissolved organic carbon produced by ozonation on biological activated carbon. *Journal of Chemosphere*. 56. 113-119.
- Pi, Y., J. Shumacher, dan M. Jakel (2005). Decomposition of aqueous ozone in the presence of aromatic organic solutes. *Water Research* . 39. 83-88.