

**PENGARUH pH DAN KARAKTERISTIK AIR PADA  
PEMBENTUKAN *LOW MOLECULAR WEIGHT ORGANIC*:  
ALDEHIDA, AKIBAT PROSES PRADESINFEKSI DENGAN OZON**

**THE INFLUENCE OF pH AND WATER CHARACTERISTICS TO  
LOW MOLECULAR WEIGHT ORGANIC FORMATION:  
ALDEHYDE, IN PRE-DISINFECTION PROCESS BY  
OZONATION**

**Mohammad Rangga Sururi<sup>1</sup>, Dwina Roosmini<sup>2</sup> dan Suprihanto Notodarmojo<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>**Jurusan Teknik Lingkungan, ITENAS**

<sup>2</sup> dan <sup>3</sup>**Program Studi Teknik Lingkungan, ITB**

<sup>1</sup>**e-mail: rangsoer@yahoo.com**

**Abstract**

The aim of this research was to determine the influence of pH and water characteristics to low molecular weight (LMW) organic formation, particularly aldehydes, in pre-disinfection process by using ozone. Ozone gas can be supplied continually into batch system contactors of 7 L volume. The measurement was done at contact time of 3, 5, and 10 minutes at any pH conditions. The water sample was taken from WTP of Water Supply Company of Bandung City. Based on the research, aldehyde composition percentage which was detected by GC-MS, had increased gradually until a contact time of 10 minutes. This result was influenced by the quantity of hydrophobic nature of organic matter in water sample. At residual concentration of ozone/TOC below 0,012, aldehyde was not detected either at acidic or basic pH, but was detected at neutral condition at any range of contact time. Aldehyde formation was influenced by the quantity and kinds of precursors, their concentrations and contact time of ozonation. In addition, pH value gave significant influence at the third minute of contact time.

Keywords: LMW organic, pH, pre-disinfection, aldehyde.

**1. PENDAHULUAN**

Desinfeksi merupakan upaya yang bertujuan untuk membunuh mikroorganisme patogen dalam air. Proses desinfeksi pada instalasi pengolahan air minum dapat terdiri dari pradesinfeksi dan desinfeksi. Proses pradesinfeksi dilakukan pada atau setelah unit prasedimentasi, sedangkan proses desinfeksi dilakukan setelah unit filtrasi. Tujuan dari proses pradesinfeksi, selain untuk membunuh mikroorganisme, juga lebih ditekankan kepada fungsi desinfektan sebagai oksidator. Oleh sebab itu, proses pradesinfeksi dapat mengurangi beban pengolahan pada unit pengolahan selanjutnya.

Saat ini penggunaan ozon sebagai desinfektan terus mengalami perkembangan. Hal ini dikarenakan ozon merupakan oksidator yang kuat, sehingga dapat berfungsi sebagai desinfektan yang kuat melebihi klor. Selain itu ozon dapat memperbaiki rasa, menghilangkan bau, toksin, dan mikropolutan sehingga kualitas air yang dihasilkan dirasakan lebih baik. Di Indonesia teknik ini banyak digunakan terutama oleh pengusaha AMDK (Air Minum dalam Kemasan).

Berdasarkan hasil penelitian Schechter dan Singer (1994) serta Hammes *et al.* (2006), diketahui bahwa pada proses desinfeksi dengan menggunakan ozon dapat menimbulkan *disinfection by products* (DBPs) berupa *low molecular weight* (LMW) *organic*.

LMW organik terbentuk akibat reaksi ozon dengan bahan organik kompleks yang terkandung dalam air.

LMW organik dapat digunakan atau dimanfaatkan oleh mikroorganisme, sehingga air terolah yang sudah mengalami proses desinfeksi dapat kembali mengalami ketidakstabilan secara biologi. LMW organik merupakan substrat bagi mikroorganisme sehingga dapat menyebabkan terjadinya proses *regrowth* (Kruithof, 2002). LMW organik dapat berupa aldehida ataupun asam karboksilat, yang keduanya digolongkan oleh Nawrocki *et al.* (2002) sebagai *Biodegradable Organic Carbon* (BOC).

Perkembangan penggunaan ozon sebagai desinfektan di Indonesia terus mengalami peningkatan. Fakta menyebutkan bahwa pembentukan DBPs akibat proses desinfeksi dengan ozon bergantung pada karakteristik air yang digunakan. Diperlukan adanya penelitian untuk mempelajari pembentukan DBPs akibat ozonisasi pada proses pradesinfeksi dengan kualitas air baku yang berasal dari Indonesia.

Tujuan dari penelitian ini adalah: mengidentifikasi pembentukan LMW organik berupa aldehida; menentukan pengaruh pH, konsentrasi ozon (C) dan waktu kontak ozonisasi (T); serta menentukan karakteristik air terhadap pembentukan aldehida pada proses pradesinfeksi dengan ozon. Sampel air diambil setelah unit pradesinfeksi instalasi pengolahan air minum Dago Pakar milik PDAM (Perusahaan Daerah Air Minum) Kota Bandung.

## 2. METODOLOGI

### Persiapan Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu aerator, generator ozon, kontaktor ozon, dekomposer ozon, dan *gas chromatography mass spectrometric* (GC-MS).

Aerator digunakan untuk mensuplai udara ke generator ozon. Aerator dilengkapi dengan *flow meter* yang digunakan untuk mengukur laju aliran udara yang disuplai ke ozon generator. Debit udara yang diinjeksikan secara kontinu ke generator ozon secara konstan sebesar 2 L/menit. Generator ozon merupakan alat yang digunakan untuk mengubah oksigen menjadi ozon. Generator ozon yang digunakan memiliki daya 40000 Volt.

Ozon yang dihasilkan dibawa ke kontaktor, di mana gas ozon akan dilarutkan dalam air yang akan diolah. Kontaktor ozon merupakan reaktor tempat berlangsungnya proses oksidasi, dekomposisi, dan desinfeksi. Kontaktor ozon pada percobaan ini berbentuk silinder bervolume 7 L. Kontaktor dilengkapi: (1) *filter disc* dengan diameter pori 16-40  $\mu$ , (2) dispenser dan *valve* untuk pengambilan sampel air, untuk pengukuran konsentrasi sisa ozon dan kandungan LMW, (3) *air lift system* untuk memastikan homogenitas dalam reaktor *batch* ini.

Dekomposer ozon digunakan untuk memecah kelebihan ozon menjadi oksigen sebelum dilepas ke udara. Larutan KI digunakan sebagai dekomposer untuk memecahkan ozon yang masih tersisa dari kontaktor.

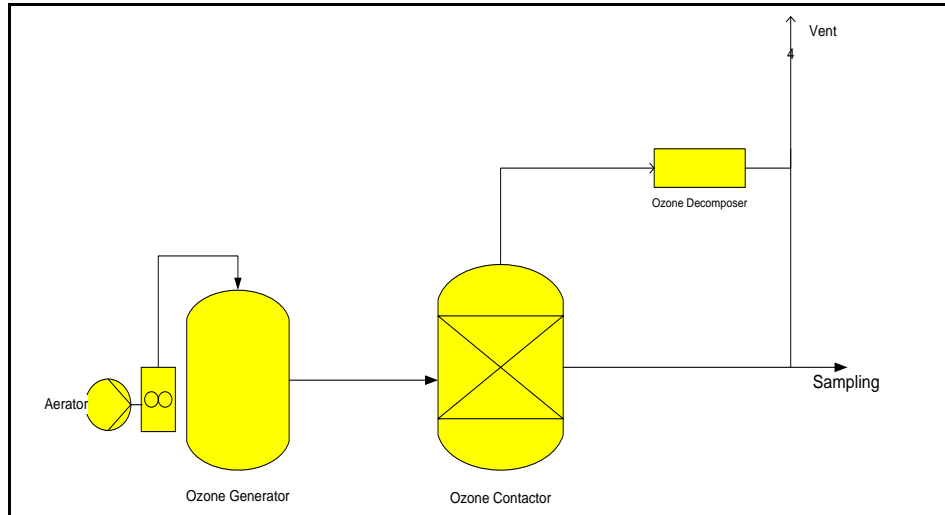
Rangkaian peralatan yang digunakan pada proses ozonisasi dapat dilihat pada Gambar 1.

GC-MS yang digunakan jenis QP 5000 Shimadzu. Sampel dipreparasi melalui ekstraksi dengan larutan heksana. Kondisi pengukuran pada penelitian ini, yaitu: (1) jenis kolom DB 17, (2) panjang kolom 30 m dan diameter 0,25 mm, (3) suhu injektor 280°C, dan suhu detektor 280°C, (4) tekanan 68 Kpa, dan linier velocity 40,6, (5) kecepatan 1,3 mL/menit, dan (6) sampel yang diinjeksi sebesar 1  $\mu$ L.

Sampel air yang digunakan berasal dari Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) Dago

Pakar milik PDAM Kota Bandung, yaitu diambil setelah unit prasedimentasi. Pengambilan sampel dilakukan secara sesaat. Ozonisasi dilakukan pada kondisi: (1) pH

alami (netral) dengan pH 6,53, (2) pH asam dengan penambahan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> hingga pH 4, (3) pH basa dengan penambahan NaOH hingga pH mencapai 10.



**Gambar 1.** Skema Proses Ozonisasi

**Pemeriksaan Kualitas Sampel Air**

Pemeriksaan karakteristik sampel air meliputi parameter pH, kekeruhan, temperatur, alkalinitas, kandungan Fe dan Mn, TOC serta UV<sub>254</sub>. Selain itu juga dilakukan pengukuran LMW organik pada sampel air sebelum diozonisasi dengan GC-MS.

**Pemeriksaan Konsentrasi Sisa Ozon dan Aldehida Pada Proses Ozonisasi**

Sampling dilakukan pada waktu kontak 3, 5, dan 10 menit, hingga menghasilkan data yang menggambarkan hubungan waktu kontak dengan konsentrasi sisa ozon, serta hubungan waktu kontak dengan konsentrasi LMW yang terbentuk. Pengukuran konsentrasi sisa ozon dilakukan sesuai prosedur 4500-O<sub>3</sub>-B (APHA, AWWA, 1998). Pengukuran aldehida dilakukan dengan GC-MS.

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Karakteristik Sampel Air**

Hasil pengukuran karakteristik sampel air disajikan pada Tabel 1. Kandungan Fe pada sampel air dari unit prasedimentasi sebesar 0,59 mg/L, alkalinitas sebesar 50,25 mg/L, kekeruhan sebesar 40,7 NTU, UV<sub>254</sub> sebesar

0,076 dan nilai TOC sebesar 5,9 mg/L. Pada pengukuran TOC, untuk mencegah kerusakan alat TOC *analyzer*, maka sampel air dari unit prasedimentasi terlebih dahulu disaring dengan menggunakan kertas saring berdiameter pori lebih besar dari 0,45 µm. Resikonya nilai TOC yang didapat bisa lebih rendah dari nilai yang sebenarnya.

**Tabel 1.** Karakteristik Fisik dan Kimia Sampel Air

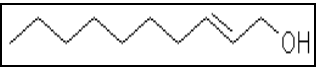
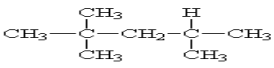


Parameter	Sampel Air Unit Prasedimentasi
pH	6,53
Temperatur (°C)	22
Alkalinitas (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	50,25
Kesadahan total (mg/L)	25,35
Mangan	-
Fe(mg/L)	0,59
TOC (mg/L)	5,9*
Kekeruhan (NTU)	40,7
UV 254 (abs)	0,076

Ket: \*Pengukuran dilakukan setelah sampel air disaring

**Kandungan LMW Organik Pada Sampel Air**

Pada sampel air terdapat alkohol primer yaitu *2-Decen-1-ol* atau *3-methylbutanal* sebesar 65,47%, Oktanal sebesar 9,25%, Isooktana sebesar 9,13%; dan Nonanal sebesar 5,98% (Tabel 2).

**Tabel.2.** Rumus Struktur dan Komposisi Aldehida serta Senyawa Lainnya dari Sampel Air

Nama Senyawa	Komposisi Pada Sampel Air dari Unit Prasedimentasi (%)	Rumus Struktur
2-Decent-1-ol	65,47	
Isooktana	9,13	 isooctane 2,2,4-trimethylpentane
Nonanal	5,98	
Oktanal	9,25	 Oktanal

Keberadaan aldehida pada sampel air sebelum proses ozonisasi disebabkan karena aldehida dapat terbentuk secara alami akibat proses fotokimia lignin (Shon, Erdei, dan Kim, 2006). Total aldehida pada sampel air dari unit prasedimentasi sebesar 15,23%.

### Pembentukan Aldehida Pada Proses Pradesinfeksi

Kondisi pH sampel air yang diozonisasi pada penelitian ini terdiri atas: (1) sampel air dalam kondisi alami (pH netral), (2) sampel air yang dikondisikan dengan penambahan  $H_2SO_4$  hingga asam (pH

4), serta (3) sampel yang dikondisikan dengan NaOH hingga pH basa (pH 10).

Data LMW berupa aldehida pada waktu kontak 3, 5, dan 10 menit pada proses pradesinfeksi dengan berbagai kondisi pH, disajikan pada Tabel 3-5.

Dari Tabel 3, 4, dan 5 dapat dilihat bahwa pada proses pradesinfeksi menggunakan ozon, komposisi total aldehida yang terbentuk mengalami peningkatan pada setiap kondisi pH seiring dengan penambahan waktu kontak. Jenis aldehida yang terbentuk adalah oktanal, dekanal, nonanal, 3 metil butanal, dan pentanal, dengan Berat Molekul 86 hingga 184.

**Tabel 3.** Komposisi Aldehida yang Terbentuk Pada Proses Pradesinfeksi dalam Kondisi pH Netral

Waktu kontak (menit)	Konsentrasi sisa ozon (mg $O_3/L$ )	Aldehida yang Terdeteksi	Berat Molekul	% Komposisi
3	0,073	Dekanal	156	3,96
		Dodekanal	184	3,25
		Nonanal	142	10,25
		Oktanal	128	49,17
5	0,107	Dekanal	156	35,48
		Nonanal	142	15,35
		Heksanal	100	34,41
10	0,130	Heptanal	114	21,87
		Pentanal	86	43,71

**Tabel 4.** Komposisi Aldehida yang Terbentuk Pada Proses Pradesinfeksi dalam Kondisi pH Asam

Waktu kontak (menit)	Konsentrasi sisa ozon (mg $O_3/L$ )	Aldehida yang Terdeteksi	Berat Molekul	% Komposisi
3	0,038	TT (Tidak Terdeteksi)		
5	0,056	Pentanal	86	100
10	0,124	3 Metil butanal	86	65,76
		Pentanal	86	34,24

**Tabel 5.** Komposisi Aldehida yang Terbentuk Pada Proses Pradesinfeksi dalam Kondisi pH Basa

Waktu kontak (menit)	Konsentrasi sisa ozon (mg O <sub>3</sub> /L)	Aldehida yang Terdeteksi	Berat Molekul	% Komposisi
3	0,067	TT (Tidak Terdeteksi)		
5	0,073	Heptanal	86	89,22
		Pentanal	86	31,46
10	0,078	Dodekanal	184	37,07
		Pentanal	86	31,48

Pada pH normal (Tabel 3) persentase total aldehida yang terbentuk mencapai maksimum pada waktu kontak 10 menit yaitu 100% dan minimum pada waktu kontak 3 menit sebesar 17,46%. Pada pH asam (Tabel 4) setelah tidak terdeteksi pada kontak 3 menit, komposisi total aldehida terbentuk pada menit ke-5 dan 10 dengan persentase konstan, yaitu 100%. Pada pH basa (Tabel 5) aldehida baru terbentuk pada menit ke-5 dan terus meningkat hingga menit ke-10 masing-masing sebesar 89,2% dan 100%.

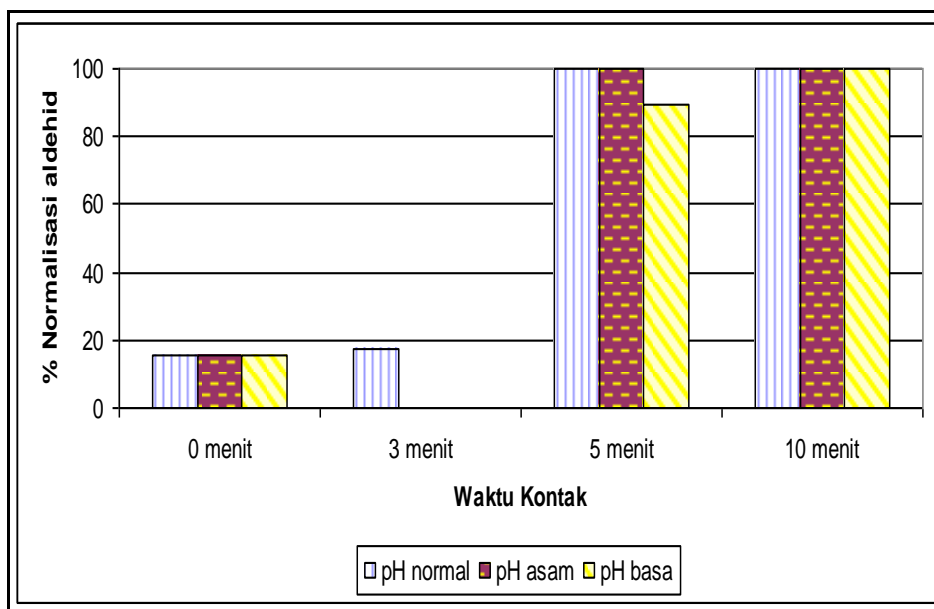
**Pengaruh pH dan Karakteristik Air Pada Pembentukan Aldehida**

Kompilasi komposisi aldehida yang terbentuk pada waktu kontak 0 menit

(sebelum dilakukan proses ozonisasi) dan pada setiap penambahan waktu kontak yaitu 3, 5, dan 10 menit selama proses pradesinfeksi dibuat untuk melihat pengaruh karakteristik air yang didesinfeksi terhadap pembentukan aldehida. Kompilasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.

**Pengaruh pH pada Pembentukan Aldehida**

Pada Gambar 6 dapat dilihat, proses pradesinfeksi dalam kondisi pH netral, kuantitas aldehida yang terbentuk sebelum dan sesudah ozonisasi terus mengalami peningkatan pada setiap penambahan waktu kontak.



**Gambar 6.** Kompilasi Aldehida yang Terbentuk Sebelum dan Sesudah Pada Proses Pradesinfeksi

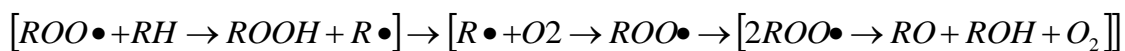
Pada kondisi pH asam, aldehida menjadi tidak terdeteksi pada waktu kontak 3 menit. Namun pada waktu kontak selanjutnya, aldehida

mengalami peningkatan. Tidak terdeteksinya aldehida pada sampel air disebabkan karena pada waktu kontak 3 menit konsentrasi sisa

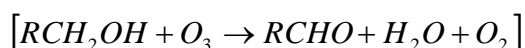
ozon berada pada nilai terendah, sehingga dapat menyebabkan terjadinya reduksi aldehida akibat proses adisi gugus karbonil yang terjadi dalam suasana asam.

Pada kondisi pH basa, pada waktu kontak 3 menit, aldehida menjadi tidak terdeteksi. Hal tersebut dikarenakan air merupakan pelarut yang bersifat atau berfungsi sebagai nukleofilik. Kondisi tersebut diperkuat dengan penambahan NaOH yang bersifat basa kuat sehingga gugus karbonil mengalami adisi dalam suasana basa.

Dari data di atas dapat dilihat bahwa pengaruh pH hanya terlihat sampai waktu kontak 3 menit, di mana pada waktu kontak tersebut aldehida tidak terbentuk pada pH basa dan pH asam. Selanjutnya setelah waktu kontak 5 dan 10 menit, pengaruh pH terhadap komposisi pembentukan aldehida tidak signifikan, di mana komposisi aldehida yang terbentuk tidak memiliki perbedaan yang signifikan pada setiap kondisi pH.



Menurut Siddiqui, Amy, dan Murphy (1997), alkohol lebih jauh dioksidasi oleh ozon menjadi aldehida, dan tipe aldehida yang terbentuk tergantung dari tipe alkohol yang terlibat dalam reaksi:



### Pengaruh Karakteristik Air Terhadap Pembentukan Aldehida

Bahan organik dinyatakan oleh parameter TOC dan UV<sub>254</sub>. TOC adalah semua karbon dengan atom karbon yang terikat pada molekul organik (APHA, AWWA, 1998). UV<sub>254</sub> dapat menyatakan kuantitas bahan organik aromatik dan senyawa tak jenuh dalam air, sehingga dapat digunakan untuk memperkirakan keberadaan prekursor dalam air (Beltrand, 1995). Kandungan TOC pada sampel air sebesar 5,9 mg/L, kekeruhan 40,7, serta UV<sub>254</sub> sebesar 0,076.

Hasil tersebut menguatkan penelitian yang dilakukan oleh Siddiqui, Amy, dan Murphy (1997) dan Hammes *et al.* (2006). Fenomena tersebut terjadi karena pembentukan aldehida merupakan proses reaksi antara bahan organik dan ozon secara spontan, melalui pemisahan paksaan (*cleavage*) yang dapat terjadi secara segera.

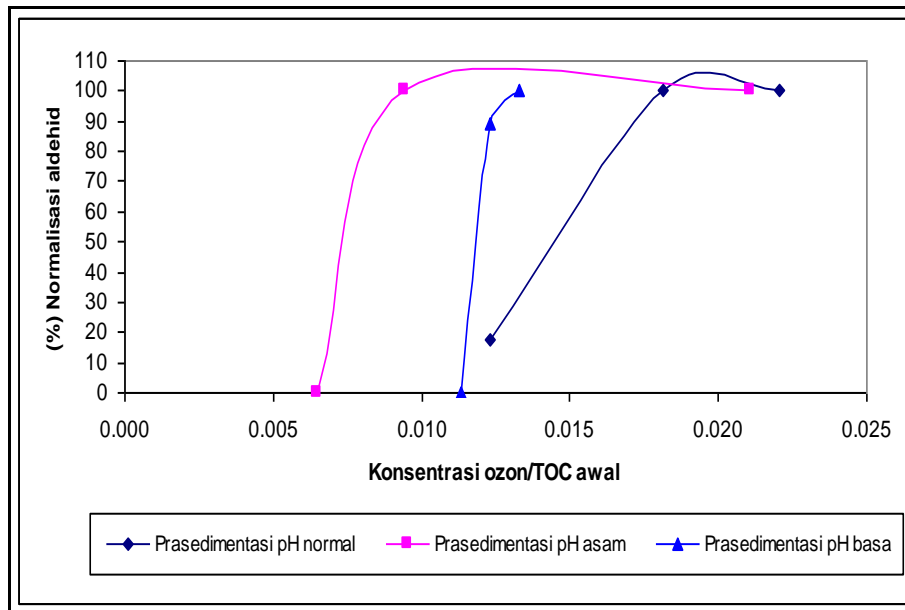
Mekanisme pembentukan aldehida diawali proses dekomposisi ozon ketika menyerang polimer NOM, menghasilkan hidroksil dan karbon radikal. Menurut Siddiqui, Amy, dan Murphy (1997), karbon bereaksi secara cepat dengan oksigen, menghasilkan peroksi radikal:



Menurut Siddiqui, Amy, dan Murphy (1997), bagian dari peroksi radikal, menghasilkan hidroperoksida, bagian lain dari peroksi radikal memberi substansi seperti keton dan alkohol:

Pengaruh prekursor dapat dilihat melalui perbandingan antara konsentrasi ozon dan TOC awal terhadap aldehida yang terbentuk, seperti terlihat pada Gambar 7.

Pada proses pradesinfeksi, % komposisi aldehida bertambah bila perbandingan konsentrasi ozon dan TOC meningkat. Kondisi ini diduga terjadi karena sifat bahan organik yang terkandung dalam sampel air dari unit ini dominan bersifat hidrofobik. Hal tersebut dibuktikan dari nilai UV<sub>254</sub> yang cukup tinggi. Bahan organik hidrofobik merupakan bahan organik pembentuk aldehida (Schechter dan Singer, 1994). Aldehida tidak terbentuk pada perbandingan konsentrasi sisa ozon dan TOC yang kurang dari 0,012 dan terjadi pada pH asam dan basa. Aldehida mencapai maksimum pada nilai perbandingan 0,022 dalam kondisi pH netral, 0,09 dalam kondisi pH asam dan 0,013 dalam kondisi pH basa.



**Gambar 7.** Perbandingan Nilai Konsentrasi Ozon/TOC Awal Terhadap Pembentukan Aldehida Pada Sampel Air dari Unit Prasedimentasi

#### 4. KESIMPULAN

Proses pradesinfeksi dengan menggunakan ozon dapat menimbulkan pembentukan LMW berupa aldehida. Aldehida yang terbentuk adalah oktanal, dekanal, dodekanal, nonanal, 3 metil butanal, heksanal, heptanal, dan pentanal. Pengaruh kondisi pH asam dan basa terhadap pembentukan aldehida pada proses pradesinfeksi dengan ozon sangat kecil, hanya terlihat sampai pada waktu kontak 3 menit. Pada proses ozonisasi komposisi aldehida yang terbentuk mengalami kenaikan seiring peningkatan perbandingan konsentrasi sisa ozon (C) dan TOC pada setiap penambahan waktu kontak (T). Kondisi tersebut disebabkan karakteristik air yang memiliki kandungan bahan organik hidrofobik yang tinggi pada unit prasedimentasi.

#### DAFTAR PUSTAKA

APHA, AWWA (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21<sup>th</sup> edition. American Public Health Association Washington DC.

Beltrand, J.F. (1995). Ozone Reaction Kinetic for Water and Wastewater System. CRC Press Company Washington DC.

Hammes, F., Salhi, E., Koster, O., Kaiser, H.P., Egli, T., dan von Gunten, U. (2006). Mechanistic and Kinetic Evaluation of Organic Disinfection by Product and Assimilable Organic Carbon (AOC) Formation During Ozonation of Drinking Water. *Water Research*. 40. 2275-2286.

Kruithof, C.J (2002). Bromate Formation by Ozonation and Advanced Oxidation and Potential Treatment Option in Drinking Water Treatment. Kiwa N.V. Research and Consultancy Nieuwegein Netherlands.

Nawrocki, J., Swietlic, J., Raczyk-Stanislawiak, U., Dąbrowska, A., Bilozor, S., dan Ilecki, W. (2002). Influence of Ozonation Condition on Aldehyde and Carboxylic Acid Formation. *Ozone Science & Engineering*. 25. 53-62.

Schechter, D.S. dan Singer (1994). Formation of Aldehydes During Ozonation, *Ozone Science & Engineering*. 17. 53-69.

Shon, H.K., Erdei, L., dan Kim, J.H. (2006). Constituent of Natural Organic Matter (NOM) and Its Effect in Water.

*Journal Korean Ind, Engineering, Chemical*. 17. 119-124.

Siddiqui, M.S., Amy, G.L., dan Murphy, B.D. (1997). Ozone Enhanced Removal of Natural Organic Matter from Drinking Water Sources. *Water Research*. 31. 3098-3106.