

**UNIVERSITAS INDONESIA**

**OKSIDASI LANJUT DAN FILTRASI MEMBRAN KERAMIK  
UNTUK PENYISIHAN BESI, MANGAN, AMONIA DAN  
*LINEAR ALKYL*BENZENE SULFONATE DARI AIR TANAH**

**TESIS**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik**

**NOFI RAHMAWATI A.R.S  
0806423186**

**FAKULTAS TEKNIK – DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA  
PROGRAM STUDI KESELAMATAN KERJA DAN LINGKUNGAN  
DEPOK – JAWA BARAT  
JANUARI 2011**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : Nofi Rahmawati Azzah Rawaani Samputra

NPM : 0806423186

Tanda Tangan :



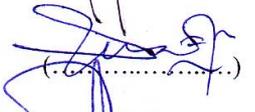
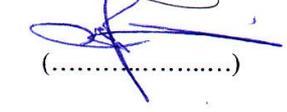
Tanggal : Januari 2011

## HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :  
Nama : Nofi Rahmawati Azzah Rawaani Samputra  
NPM : 0806423186  
Program Studi : Perlindungan Lingkungan dan Keselamatan Kerja  
Judul Tesis : Oksidasi Lanjut dan Filtrasi Membran Keramik  
untuk Penyisihan Besi, Mangan, Amonia dan  
*Linear Alkylbenzene Sulfonate* dari Air Tanah

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Keselamatan Kerja dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia**

**Di sahkan Oleh :**

Pembimbing I	: Prof. DR. Ir. Setijo Bismo, DEA	(.....)	
Pembimbing II	: Eva Fathul Karamah, ST, MT	(.....)	
Penguji	: Ir. Sutrasno Kartohardjono, MSc. PhD	(.....)	
Penguji	: Dr. Ir. Nelson Saksono, MT	(.....)	
Penguji	: Dr. Ing. Ir. Misri Gozan, MSc	(.....)	

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 4 Januari 2010

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT atas rahmat, kasih, dan karunia-Nya kepada saya sehingga penyusunan tesis yang berjudul “Oksidasi Lanjut dan Filtrasi Membran Keramik untuk Penyisihan Besi, Mangan, Amonia dan *Linear Alkylbenzene Sulfonate* dari Air Tanah“ dapat terselesaikan. Saya menyadari bahwa penyusunan tesis ini akan sangat sulit bila tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis. Oleh karena itu dengan kesungguhan dan rasa rendah hati, saya mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Prof. DR. Ir. Setijo Bismo, DEA, selaku dosen pembimbing yang telah mengorbankan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini;
2. Ibu Eva Fathul Karamah, ST, MT, selaku dosen pembimbing yang begitu sabar dalam memberikan pengarahan dan mentransfer ilmunya kepada saya;
3. Orang tua saya, ibu Sumailin dan bapak Samirin atas doa dan *support* yang tak henti-hentinya, serta tentu saja mbak Palupi dan adik Hafidz yang selalu menghiasi hari-hari saya;
4. Teman-teman angkatan 2008 dan 2009 (mb Ani, Entie, Prolessara, Puji, mb Iin, Pak Imam, Darmansyah, Pak Jody, Pak Susalit, mas Ari) yang banyak membantu dalam menyelesaikan tesis ini, dan juga untuk Sony Thx all
5. Serta pihak-pihak lain yang telah membantu dan tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Saya menyadari bahwa dalam tesis ini terdapat banyak kekurangan, untuk itu saya sangat membutuhkan kritik dan saran yang bersifat membangun. Akhirnya, saya berharap agar dimasa yang akan datang tesis ini dapat bermanfaat bagi pihak-pihak yang membutuhkan.

Depok, Januari 2010

Nofi Rahmawari Azzah Rawaani Samputra

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademika Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Nofi Rahmawati Azzah Rawaani Samputra  
NPM : 0806423186  
Program Studi : Perlindungan Lingkungan dan Keselamatan Kerja  
Departemen : Teknik Kimia  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Tesis

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**Oksidasi Lanjut dan Filtrasi Membran Keramik untuk Penyisihan Besi, Mangan, Amonia dan *Linear Alkylbenzene Sulfonate* dari Air Tanah**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat di : Depok  
Pada Tanggal : Januari 2010  
Yang menyatakan



(Nofi Rahmawati Azzah Rawaani Samputra)

## ABSTRAK

Nama : Nofi Rahmawati Azzah Rawaani Samputra  
Program Studi : Perlindungan Lingkungan dan Keselamatan Kerja  
Judul : Oksidasi Lanjut dan Filtrasi Membran Keramik untuk Penyisihan Besi, Mangan, Amonia dan *Linear Alkylbenzene Sulfonate* dari Air Tanah

Air tanah merupakan salah satu sumber air minum bagi masyarakat, namun akibat sering ditemukan mengandung zat-zat pencemar (seperti besi, mangan, amonia dan *Linear Alkylbenzene Sulfonate/LAS*) menyebabkan masyarakat yang mengkonsumsi air tanah tersebut akan mengalami gangguan kesehatan. Oleh sebab itu diperlukan suatu teknologi untuk dapat menyisihkan zat-zat pencemar di dalam air tanah.

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengolah air tanah adalah dengan proses oksidasi lanjut dan filtrasi membran keramik. Proses oksidasi lanjut dalam penelitian ini menggunakan gabungan ozonasi dan kavitasi hidrodinamik untuk menghasilkan radikal hidoksida yang merupakan oksidator kuat yang mampu menguraikan senyawa organik maupun anorganik bersifat racun dan sulit terurai di dalam air. Sedangkan proses filtrasinya menggunakan membran mikrofiltrasi berbahan keramik dimana bahan membran tersebut bersifat sangat stabil secara kimiawi, suhu, dan mekanis.

Dari penelitian ini didapatkan bahwa proses oksidasi lanjut dan filtrasi membran keramik cukup efektif dalam menyisihkan besi dan LAS, namun tidak cukup efektif dalam menyisihkan mangan dan amonia. Persentase penyisihan bahan pencemar besi, mangan, amonia dan LAS secara terpisah masing-masing sebesar 99,78%, 26,21%, 3,73% dan 80,52%. Sedangkan untuk penyisihan bahan pencemar yang dicampur didapatkan persentase penyisihan untuk besi sebesar 99,36 %, mangan 21,55 %, amonia 2,89 % dan LAS 80,1 %, dimana penyisihan antara bahan pencemar yang terpisah dan tercampur menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda.

Kata Kunci : Oksidasi Lanjut, Filtrasi Membran Keramik, Besi, Mangan, Amonia, LAS

## ABSTRACT

Name : Nofi Rahmawati Azzah Rawaani Samputra  
Study Program: Environmental Protection and Safety  
Title : Advanced Oxidation Process and Ceramic Membrane Filtration  
For Removal of Iron, Manganese, Ammonia and *Linear Alkylbenzene Sulfonate* From Ground Water

Ground water is one source of drinking water for communities, but often found contaminant substances in it (such as iron, manganese, ammonia and Linear Alkylbenzene sulfonate/LAS), causing people who consume the groundwater will getting health problems. Therefore we need a technology to be able to removal a contaminant substances in the groundwater.

One of the methods to treat ground water of iron, manganese, ammonia and *linear alkylbenzene sulfonate* compounds is by advanced oxidation process and ceramics membrane filtration. Advanced oxidation process in this research uses a combination ozone/ cavitation hydrodynamic to produce hydroxide radicals which is a strong oxidant that can destroy the organic and inorganic compounds are toxic and difficult to break down in the water. Process filtration uses a membrane made from ceramic which is very stable chemically, temperature, and mechanical.

From this research, it was found that advanced oxidation processes and ceramic membrane filtration can be effective for remove iron and LAS, but uneffective for remove manganese and ammonia in ground water. Respectively, percentage of removal for separate contaminants : iron, manganese, ammonia and LAS are 99.78%, 26.21%, 3.73% and 80.52%. For mixed pollutants, percentage removal iron are 99.36%, 21.55% manganese, 2.89% ammonia and 80.1% LAS, where percentage removal separate and mixed contaminants are not much different.

Keywords: Advanced Oxidation, Ceramic Membrane Filtration, Iron, Manganese, Ammonia, LAS

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b>	i
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS</b>	ii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	iii
<b>KATA PENGANTAR</b>	iv
<b>HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH</b>	v
<b>ABSTRAK</b>	vi
<b>ABSTRACT</b>	vii
<b>DAFTAR ISI</b>	viii
<b>DAFTAR TABEL</b>	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	xii
<b>1. PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Batasan Masalah	6
1.5 Sistematika penulisan	7
<b>2. TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>8</b>
2.1 Parameter Kualitas Air	8
2.2 Air Tanah	9
2.3 Pencemar Air Tanah	10
2.3.1 Besi (Fe)	10
2.3.1.1 Sifat Fisika Besi	12
2.3.1.2 Sifat Kimia Besi	13
2.3.1.3 Pengaruh Besi Terhadap Kesehatan	14
2.3.2 Mangan (Mn)	14
2.3.2.1 Sifat Fisika Mangan	15
2.3.2.2 Sifat Kimia Mangan	15
2.3.2.3 Pengaruh Mangan Terhadap Kesehatan	15
2.3.3 Amonia (NH <sub>3</sub> )	16
2.3.3.1 Sifat Fisika Amonia	18
2.3.3.2 Sifat Kimia Amonia	18
2.3.3.3 Pengaruh Amonia Terhadap Kesehatan	19
2.3.4 <i>Linear Alkylbenzene Sulfonate</i> (LAS)	19
2.3.4.1 Sifat Fisika LAS	23
2.3.4.2 Sifat Kimia LAS	23
2.3.4.3 Pengaruh LAS Terhadap Kesehatan	23
2.4 Pengolahan Air	24
2.4.1 Ozonasi	24
2.4.2 Kavitasi Hidrodinamik	28
2.4.3 Proses Oksidasi Lanjut	30
2.4.4 Membran	30
2.4.4.1 Membran Keramik	33

	Halaman
<b>3. METODOLOGI PENELITIAN</b>	<b>35</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian	35
3.2 Rancangan Penelitian	37
3.3 Deskripsi Alat Penelitian	38
3.3.1 Ozonator	38
3.3.2 Injektor	38
3.3.3 Membran Keramik	39
3.3.4 Membran <i>Housing</i>	39
3.3.5 Water Flowmeter	40
3.3.6 Manometer	40
3.3.7 Tangki Umpan, <i>Retentate</i> dan <i>Permeate</i>	40
3.4 Prosedur Penelitian	41
3.4.1 Uji Produktivitas Ozonator	41
3.4.1.1 Alat dan Bahan	42
3.4.1.2 Prosedur	42
3.4.2 Uji Hidrodinamika	43
3.4.2.1 Alat dan Bahan	43
3.4.2.2 Prosedur	43
3.4.3 Uji Kinerja Penyisihan Bahan Pencemar	45
3.4.3.1 Alat dan Bahan	45
3.4.3.2 Prosedur	45
3.4.4 Analisa Sampel	46
3.4.5 Pengolahan Data	46
<b>4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>47</b>
4.1 Uji Produktivitas Ozonator	47
4.2 Uji Hidrodinamika	48
4.2.1 Pengaruh Penggunaan Ozon Terhadap Kinerja Membran	48
4.2.1.1 Pengaruh Penggunaan Ozon Terhadap Fluks Permeat	48
4.2.1.2 Pengaruh Penggunaan Ozon Terhadap $\Delta P$	49
4.2.2 Pengaruh Laju Alir Air Terhadap Ozon Terlarut Dalam Air	51
4.3 Penyisihan Logam Besi	51
4.3.1 Persen Penyisihan Logam Besi	52
4.3.2 Perubahan pH pada Proses Penyisihan Logam Besi	53
4.3.3 Perubahan TDS pada Proses Penyisihan Logam Besi	54
4.3.4 Perubahan DO pada Proses Penyisihan Logam Besi	55
4.3.5 Kinerja Membran Keramik pada Proses Penyisihan Besi	56
4.4 Penyisihan Mangan	57
4.4.1 Persen Penyisihan Mangan	57
4.4.2 Perubahan pH pada Proses Penyisihan Mangan	58
4.4.3 Perubahan TDS pada Proses Penyisihan Mangan	59
4.4.4 Perubahan DO pada Proses Penyisihan Mangan	60
4.4.5 Kinerja Membran Keramik Dalam Penyisihan Mangan	60
4.5 Penyisihan Amonia	61
4.5.1 Persentase Penyisihan Amonia	61
4.5.2 Perubahan pH pada Proses Penyisihan Amonia	63
4.5.3 Perubahan TDS pada Proses Penyisihan Amonia	64

	Halaman
4.5.4 Perubahan DO pada Proses Penyisihan Amonia	65
4.5.5 Kinerja Membran Keramik Dalam Penyisihan Amonia	66
4.6 Penyisihan LAS	67
4.6.1 Persentase Penyisihan LAS	67
4.6.2 Perubahan pH pada Proses Penyisihan LAS	69
4.6.3 Perubahan TDS pada Proses Penyisihan LAS	70
4.6.4 Perubahan DO pada Proses Penyisihan LAS	71
4.6.5 Kinerja Membran Keramik Dalam Penyisihan LAS	71
4.7 Penyisihan Amonia, LAS, Besi dan Mangan secara Bersama	77
4.7.1 Persen Penyisihan Amonia, LAS, Besi dan Mangan secara Bersama	73
4.7.2 Perubahan pH pada Proses Penyisihan Besi, Mangan, Amonia dan LAS secara Bersama	76
4.7.3 Perubahan TDS pada Proses Penyisihan Besi, Mangan, Amonia dan LAS secara Bersama	76
4.7.4 Perubahan DO pada Proses Penyisihan Besi, Mangan, Amonia dan LAS secara Bersama	77
4.7.5 Kinerja Membran Keramik Dalam Penyisihan Besi, Mangan, Amonia dan LAS secara Bersama	77
<b>5. KESIMPULAN</b>	<b>79</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	

## DAFTAR TABEL

		Halaman
Tabel 2.1	Sifat Fisika Besi	13
Tabel 2.2	Sifat Fisik Mangan	15
Tabel 2.3	Sifat Fisika Amonia	18
Tabel 2.4	Sifat Fisika Linear Alkylbenzene Sulfonate	23
Tabel 2.5	Sifat Fisika Ozon	25
Tabel 2.6	Potensial Reduksi Beberapa Agen Oksidasi	25
Tabel 2.7	Kelarutan Ozon dan Oksigen Dalam Air	26
Tabel 4.1	Data Uji Produktivitas Ozonator Merk Resun RSO 9508	47
Tabel 4.2	Perbandingan Koefisien Reaksi Ozon dan OH radikal Terhadap Bahan Pencemar	74



## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Senyawa Linear Alkilbenzene Sulfonate (LAS)	22
Gambar 2.2 Alat Venturi	29
Gambar 2.3 Skema sistem dua fase yang dipisahkan oleh membran	31
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	36
Gambar 3.2 Ozonator Resun tipe RSO-9805	38
Gambar 3.3 Injektor Tipe Venturi Merk Mazzei	38
Gambar 3.4 Membran Keramik Mikrofiltrasi	39
Gambar 3.5 <i>Housing</i> Membran Keramik	39
Gambar 3.6 Manometer Digital	40
Gambar 3.7 Skema Unit pengolahan Air Proses Oksidasi Lanjut (Ozonasi dan Kavitas hidrodinamik) dan Filtrasi	40
Gambar 3.8 Foto Alat Penelitian	41
Gambar 3.9 Sketsa Percobaan Produktivitas Ozonator	42
Gambar 4.1 Pengaruh Penggunaan Ozon Terhadap Kinerja Membran	50
Gambar 4.2 Hubungan Laju Alir Air Terhadap Ozon Terlarut Dalam Air	51
Gambar 4.3 Persen Penyisihan Logam Besi	52
Gambar 4.4 Perubahan pH Terhadap Waktu pada Proses Penyisihan Logam Besi	53
Gambar 4.5 Perubahan TDS Terhadap Waktu pada Proses Penyisihan Logam Besi	55
Gambar 4.6 Perubahan DO Terhadap Waktu pada Proses Penyisihan Logam Besi	56
Gambar 4.7 Pengaruh Proses Oksidasi Lanjut dan Filtrasi Membran Dalam Penyisihan Logam Besi Terhadap $\Delta P$	56
Gambar 4.8 Pengaruh Proses Oksidasi Lanjut dan Filtrasi Membran Dalam Penyisihan Logam Besi Terhadap <i>Fluks Permeate</i>	57
Gambar 4.9 Persen Penyisihan Mangan	58
Gambar 4.10 Perubahan pH Terhadap Waktu pada Proses Penyisihan Mangan	59
Gambar 4.11 Perubahan TDS Terhadap Waktu pada Proses Penyisihan Mangan	59
Gambar 4.12 Perubahan DO Terhadap Waktu pada Proses Penyisihan Mangan	60
Gambar 4.13 Pengaruh Proses Oksidasi Lanjut dan Filtrasi Membran Dalam Penyisihan Mangan Terhadap $\Delta P$	61
Gambar 4.14 Pengaruh Proses Oksidasi Lanjut dan Filtrasi Membran Dalam Penyisihan Mangan Terhadap <i>Fluks Permeate</i>	61
Gambar 4.15 Persen Penyisihan Senyawa Amonia	62
Gambar 4.16 Perubahan pH Terhadap Waktu pada Proses Penyisihan Amonia	64
Gambar 4.17 Perubahan TDS Terhadap Waktu pada Proses Penyisihan Amonia	65

	Halaman	
Gambar 4.18	Perubahan DO Terhadap Waktu pada Proses Penyisihan Amonia	65
Gambar 4.19	Pengaruh Proses Oksidasi Lanjut dan Filtrasi Membran Dalam Penyisihan Amonia Terhadap $\Delta P$	66
Gambar 4.20	Pengaruh Proses Oksidasi Lanjut dan Filtrasi Membran Dalam Penyisihan Amonia Terhadap <i>Fluks Permeate</i>	67
Gambar 4.21	Persen Penyisihan Senyawa LAS	68
Gambar 4.22	Perubahan pH Terhadap Waktu pada Proses Penyisihan LAS	69
Gambar 4.23	Perubahan TDS Terhadap Waktu pada Proses Penyisihan LAS	70
Gambar 4.24	Perubahan DO Terhadap Waktu pada Proses Penyisihan LAS	71
Gambar 4.25	Pengaruh Proses Oksidasi Lanjut dan Filtrasi Membran Dalam Penyisihan LAS Terhadap $\Delta P$	72
Gambar 4.26	Pengaruh Proses Oksidasi Lanjut dan Filtrasi Membran Dalam Penyisihan LAS Terhadap <i>Fluks Permeate</i>	72
Gambar 4.27	Hubungan Antara Resistan Terhadap Waktu Pada Proses Oksidasi Lanjut dan Filtrasi Membran Keramik Dalam Penyisihan LAS	73
Gambar 4.28	Persen Penyisihan Amonia , LAS, Besi serta Mangan saat Bahan Pencemar di Campur dan Terpisah	75
Gambar 4.29	Perubahan pH Terhadap Waktu pada Proses Penyisihan Besi, Mangan, Amonia dan LAS secara Bersama	76
Gambar 4.30	Perubahan TDS Terhadap Waktu pada Proses Penyisihan Besi, Mangan, Amonia dan LAS secara Bersama	77
Gambar 4.31	Perubahan DO pada Proses Penyisihan Besi, Mangan, Amonia dan LAS secara Bersama	77
Gambar 4.32	Pengaruh Proses Oksidasi Lanjut dan Filtrasi Membran Dalam Penyisihan Besi, Mangan, Amonia dan LAS secara Bersama Terhadap $\Delta P$	78
Gambar 4.33	Pengaruh Proses Oksidasi Lanjut dan Filtrasi Membran Dalam Penyisihan Besi, Mangan, Amonia dan LAS secara Bersama Terhadap <i>Fluks Permeate</i>	78

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Setiap makhluk hidup di bumi sangat membutuhkan air untuk keberlangsungan hidupnya, tidak terkecuali bagi manusia. Sekitar 70 % dari berat tubuh manusia terdiri dari air. Kegunaan air bagi tubuh, di antaranya sebagai bahan pembentukan sel, bahan pembawa, pengatur suhu, pelarut, pereaksi, pelumas dan sebagai bantalan/adsorber (Bekti, 2009). Dengan begitu besarnya kegunaan air bagi tubuh tersebut, maka mengkonsumsi air dengan kuantitas yang cukup serta kualitas yang baik diperlukan oleh setiap manusia.

Umumnya untuk memenuhi kebutuhan air minum, masyarakat menggunakan air dalam kemasan (termasuk air isi ulang), air dari PDAM maupun air tanah. Namun, karena harga air dalam kemasan yang semakin tinggi serta masih belum dapatnya PDAM melayani seluruh kebutuhan air minum masyarakat, maka sebagian masyarakat masih menggantungkan sumber air minumnya pada air tanah.

Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (2008) DKI Jakarta, persentase banyaknya rumah tangga dan sumber air minum yang digunakan di Jakarta yaitu : air kemasan 49,01 %, ledeng (PDAM) 25,29 %, air tanah (baik dengan sumur pompa, sumur terlindung maupun tidak terlindung) 24,89 %, dan lainnya 0,81 %.

Permasalahan yang sering kali terjadi adalah pengguna air tanah di Jakarta yang jumlahnya tidak sedikit (24,89% rumah tangga di Jakarta), umumnya mengkonsumsi air dengan kualitas yang belum memenuhi syarat air minum (Keputusan Menteri Kesehatan No.907/Menkes/SK/VII/2002). Buruknya kualitas air tanah di suatu daerah berhubungan erat dengan tingkat pertumbuhan penduduk di daerah tersebut, sebab semakin bertambahnya populasi penduduk maka limbah (limbah domestik maupun limbah industri) yang dibuang ke lingkungan juga semakin besar dan pada akhirnya akan dapat mencemari air tanah.

Air minum yang layak konsumsi harus memenuhi persyaratan fisik, kimia, mikrobiologi dan radioaktif. Namun akibat banyaknya air tanah yang telah tercemar oleh limbah domestik serta limbah industri, menyebabkan air tanah sering kali tidak memenuhi baku mutu untuk air minum terutama jika dilihat dari parameter kimia.

Berdasarkan data dari Badan Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah (2006) Provinsi DKI Jakarta, pemantauan yang dilakukan pada 75 sumur memperlihatkan bahwa persentase sumur yang sudah melebihi baku mutu air bersih untuk parameter besi dan mangan yaitu masing-masing sebesar 13% dan 43%. Pemantauan lain yang dilakukan oleh BPLHD pada tahun 1996 terhadap 60 sumur dangkal di setiap kota administrasi Jakarta, menunjukkan bahwa persentase sumur yang melebihi baku mutu air minum untuk parameter amonia dan detergen yaitu masing-masing sebesar 19,67% dan 47,67% (BPPT, n.d).

Menurut Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 907 Tahun 2002, kandungan maksimum besi yang diperbolehkan untuk air minum adalah sebesar 0,3 mg/L, mangan 0,1 mg/L, amonia 1,5 mg/L, LAS (*Linear Alkylbenzene Sulfonat*, sebagai surfaktan pada deterjen) sebesar 0,05 mg/L. Jika manusia mengkonsumsi air minum dengan kandungan bahan kimia yang melebihi ketentuan seperti di atas, maka akan menimbulkan dampak yang membahayakan bagi tubuh. Kandungan besi yang besar pada air minum selain dapat menimbulkan warna, bau dan rasa juga dapat menyebabkan efek jangka pendek (akut) bagi yang mengkonsumsinya seperti iritasi terhadap tenggorokan saluran pernafasan dan hidung serta efek jangka panjang (kronis) seperti gangguan pada hati, sistem kardiovaskular, saluran pernafasan atas, pankreas (*Iron Metal MSDS*, n.d). Mengonsumsi mangan dalam jumlah yang melebihi baku mutu juga dapat menyebabkan iritasi terhadap tenggorokan (akut) dan gangguan pada paru-paru, otak, darah, sistem saraf pusat (kronis) (*Manganese MSDS*, n.d). Sedangkan kandungan amonia yang berlebih pada tubuh manusia dapat mengakibatkan mual, muntah dan pingsan (*MSDS Anhydrous Ammonia*, n.d). LAS yang bersifat korosif serta toksik (beracun) sangat berbahaya bila tertelan manusia yaitu dapat menyebabkan kerusakan parah dan permanen pada saluran pencernaan, luka bakar pada saluran pencernaan, muntah, diare disertai darah serta asfiksia dari

tenggorokan bengkak (*MSDS LAS*, n.d). Oleh karena itu, untuk menghindari efek negatif seperti yang dijelaskan diatas, maka sumber air minum yang mengandung bahan kimia (seperti : besi, mangan, amonia dan LAS) perlu diolah terlebih dulu sebelum dikonsumsi oleh manusia.

Pada umumnya metode pengolahan air yang digunakan untuk menyisihkan bahan pencemar pada sumber air minum adalah dengan metode kimia, fisika maupun kombinasi dari keduanya. Metode fisika dapat dilakukan dengan cara filtrasi, aerasi, pertukaran ion (*ion exchange*), flotasi maupun adsorpsi. Sedangkan metode kimia dapat dengan cara klorinasi, ozonasi, koagulasi serta flokulasi.

Pengolahan air secara konvensional (seperti : koagulasi-flokulasi, flotasi, klorinasi, sedimentasi, filtrasi, adsorpsi) kurang efektif dalam menyisihkan mikro polutan yang sulit terurai dalam air serta seringkali kualitas air yang dihasilkan tidak sesuai dengan yang diharapkan (Jian-yu et al., 2009). Penggunaan klorin dapat berpotensi menghasilkan produk samping Trihalometana (THMs) yaitu senyawa yang bersifat karsinogenik dan mutagenik akibat reaksinya dengan senyawa-senyawa organik berhalogen di dalam air baku (I. Oyane et al., 2005). Sedangkan dengan *ion exchanger*, endapan yang terbentuk dari hasil pengolahan air, seringkali mengakibatkan penyumbatan media pertukaran ion (resin), yang mengakibatkan hilangnya kapasitas pertukaran ion. Untuk itu diperlukan teknologi alternatif yang dapat mengolah air menjadi layak untuk dikonsumsi.

Teknologi membran merupakan salah satu teknologi pengolahan air yang sangat menjanjikan di antara teknologi lainnya. Keunggulan membran dibandingkan dengan pengolahan konvensional di antaranya adalah energi yang digunakan relatif rendah untuk operasi dan pemeliharaan, peralatannya modular sehingga mudah di-*scale up*, tidak memerlukan kondisi ekstrem (temperatur dan pH), tidak memerlukan bahan kimia dan tidak menghasilkan limbah tambahan, serta mudah dikombinasikan dengan proses lain (Budiyono & Buchori, 2007; Wenten, 1996; Fane, n.d). Namun membran juga memiliki kekurangan, yaitu mudah mengalami *fouling* (penyumbatan) baik di dalam maupun di luar dari pori membran. Terjadinya *fouling* akan menyebabkan penurunan fluksi permeat dan menurunkan efisiensi ekonomi dari *plant* pengolahan air. *Fouling* dapat terjadi karena adanya pertumbuhan biologis oleh bakteri maupun mikroorganisme,

adsorpsi organik pada permukaan membran serta endapan material koloid. Fouling yang disebabkan oleh pertumbuhan biologis dapat dicegah dengan penambahan disinfektan, sedangkan fouling yang terjadi akibat material koloid dan senyawa organik dapat dicegah dengan perlakuan awal (*pretreatment*) (Manis et al., 2006).

Salah satu metode perlakuan awal yang biasa digunakan untuk membran adalah dengan ozonasi. Ozonasi merupakan teknologi yang ramah terhadap lingkungan, instalasi pengolahannya tidak membutuhkan tempat yang luas, proses pengolahannya relatif cepat, tidak memerlukan pemakaian bahan kimia lain serta dapat membentuk radikal hidroksida ( $\text{OH}^\bullet$ ) yang merupakan oksidator terkuat dalam air hasil dari dekomposisi ozon (Bismo, 1998). Namun ozon memiliki kelarutan dan stabilitas ozon dalam air yang relatif rendah (I. Oyane et al., 2005; Gunten, 2003a).

Kelarutan dan stabilitas ozon di dalam air yang rendah dapat diatasi dengan mengkombinasikan ozon dengan teknologi lain seperti hidrogen peroksida, ultraviolet, kavitasi, oksida logam ataupun dengan karbon aktif. Kombinasi oksidator dengan teknologi lain tersebut dikenal dengan Proses Oksidasi Lanjut (*Advance Oxidation Process/AOP*). AOP merupakan proses yang memanfaatkan keberadaan radikal hidroksida ( $\text{OH}^\bullet$ ) sebagai oksidator. Radikal hidroksida merupakan oksidator kuat dengan potensial oksidasi 2,8 V, yang harganya lebih besar dibandingkan dengan ozon dengan potensial oksidasi sebesar 2,07 V. Sifat radikal hidroksida yaitu sangat reaktif, dapat menguraikan senyawa organik yang memiliki sifat racun dan sulit terurai dalam air.

Proses oksidasi lanjut (sebagai perlakuan awal pada membran) yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah kombinasi proses ozonasi dan kavitasi hidrodinamik. Kavitasi merupakan peristiwa terbentuk, tumbuh dan hancurnya gelembung mikro (*micro-bubbles*) dalam cairan. Jika fenomena tersebut terjadi akibat variasi tekanan pada cairan yang mengalir karena perubahan geometri pada sistem yang mengalir, maka disebut sebagai kavitasi hidrodinamik (Jyoti & Pandit, 2004).

Kavitasi dapat menghasilkan gelembung mikro yang memiliki luas permukaan dan densitas gelembung yang sangat besar, efisiensi perpindahan

massa 1,6 - 2,7 kali lebih besar, kecepatan naik di fase liquid yang kecil, tekanan dalam (*inner pressure*) yang tinggi (Li-Bing Chu et al, 2007). Kelarutan ozon dapat ditingkatkan dengan cara meningkatkan perpindahan massa ozon ke dalam air melalui terbentuknya gelembung mikro (karena kavitasi) sehingga luas permukaan kontak menjadi besar dan mengakibatkan perpindahan massa pun menjadi besar pula dan akhirnya akan meningkatkan kelarutan ozon dalam air (Danckwerts, 1970). Kavitasi juga dapat meningkatkan dekomposisi ozon dalam gelembung sehingga mempengaruhi peningkatan konsentrasi radikal hidroksida.

Dari beberapa studi terdahulu, proses ozonasi dan kavitasi hidrodinamik diketahui dapat mengatasi *fouling* yang terjadi pada membran. Seperti yang dilakukan oleh Sartor dkk (2008) saat mengolah air permukaan menjadi air minum. Mereka menggunakan proses ozonasi selain untuk proses oksidasi juga untuk mengontrol *fouling* pada membran. Begitu juga yang dilakukan oleh Jeonghwan Kim dkk, mereka menginjeksikan ozon sebelum air umpan melewati membran dan hasil penelitian tersebut memperlihatkan bahwa terjadi peningkatan fluksi permeal serta teramati pula bahwa pengurangan *fouling* sebagian besar disebabkan oleh reaksi ozon atau oksidan sekunder ( $\text{OH}\cdot$ ) dengan *foulant* dibandingkan dengan kehadiran gelembung pada air umpan (akibat kavitasi) (Jeonghwan et al., 2008).

Mengingat perlakuan awal menggunakan kombinasi ozonasi dan kavitasi hidrodinamik, maka membran yang digunakan dalam penelitian ini adalah membran berbahan keramik yang memiliki sifat sangat stabil secara kimiawi, perubahan suhu, dan perubahan mekanis dibandingkan dengan membran berbahan polimer.

Dengan proses oksidasi lanjut (kombinasi ozonasi/kavitasi hidrodinamik) sebagai *pretreatment* pada membran keramik, diharapkan dapat menyisahkan bahan-bahan pencemar air seperti besi, mangan, amonia dan LAS (secara terpisah maupun bersama) sehingga didapatkan kualitas air yang memenuhi baku mutu yang ditetapkan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Teknologi pengolahan air menggunakan Proses Oksidasi Lanjut (kombinasi ozonasi/kavitasi hidrodinamik) sebagai tahap awal dalam proses filtrasi membran keramik merupakan teknologi yang belum banyak dilakukan terutama untuk menyisihkan bahan-bahan kimia yang biasa terkandung dalam air baku air minum seperti besi, mangan, amonia dan LAS. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian terhadap kinerja pengolahan air tersebut dalam menyisihkan besi, mangan, amonia dan LAS (secara terpisah maupun bersama) serta kinerja membran yang ditinjau dari *pressure drop* ( $\Delta P$ ) dan *fluksi permeat* ( $J$ ).

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mengevaluasi kinerja unit pengolahan air dengan Proses Oksidasi Lanjut (ozonasi/kavitasi hidrodinamik) dan filtrasi membran keramik dalam menyisihkan besi, mangan, amonia dan LAS (secara terpisah maupun bersama). Selain itu, akan dievaluasi pula mengenai pengaruh proses terhadap pH, TDS dan DO serta kinerja membran dengan meninjau jatuh tekanan (*pressure drop* atau  $\Delta P$ ) dan *fluksi permeat* ( $J$ ).

## 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah adalah sebagai berikut :

1. Air yang akan diolah adalah air sumur di DTK FT UI yang dicampur dengan bahan pencemar besi, mangan, amonia dan LAS (secara terpisah dan bersamaan). Pertimbangan dalam memilih air sumur sebagai pelarut bahan pencemar pada air umpan adalah lebih pada faktor ekonomis. Laju alir yang dibutuhkan air umpan untuk melewati membran keramik mikrofiltrasi cukup besar (sekitar  $> 200$  L/jam), sehingga dengan waktu proses tertentu akan membutuhkan volume air umpan yang besar juga dan bila aquadest digunakan sebagai air umpan biayanya akan sangat tinggi.
2. Proses pengolahan air yang digunakan adalah dengan Proses Oksidasi Lanjut (ozonasi/kavitasi hidrodinamik) dan filtrasi membran keramik secara bertingkat tiga (yaitu: *retentate* hasil filtrasi dimasukkan lagi ke dalam reservoir untuk diproses kembali, *recycle* terhadap *retentate* dilakukan 2 kali).

3. Ozonator yang digunakan adalah ozonator merk Resun RSO 9508 dengan produktivitas rata-rata sebesar 0,113 gr/jam dengan laju alir 1200 L/jam.
4. Injektor ozon yang digunakan adalah injektor tipe venture merk Mazzei.
5. Membran yang digunakan pada proses filtrasi adalah membran keramik mikrofiltrasi dengan panjang membran 20 inci.
6. Kualitas air yang diukur dalam penelitian ini adalah kandungan besi, mangan, amonia dan LAS (secara terpisah dan bersamaan), pH, TDS dan DO. Sedangkan untuk kinerja membran, parameter yang diukur adalah  $\Delta P$  dan *fluks permeate*.
7. Variabel yang divariasikan adalah laju alir air.

### **1.5 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan pada tesis ini adalah sebagai berikut:

#### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Berisikan latar belakang permasalahan, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

#### **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Berisikan dasar teori mengenai kualitas air minum, air tanah, pencemar air tanah (besi, mangan, amonia dan LAS), pengolahan air (ozonasi, kavitasi hidrodinamik, proses oksidasi lanjut (ozonasi/kavitasi hidrodinamik) dan filtrasi membran keramik.

#### **BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN**

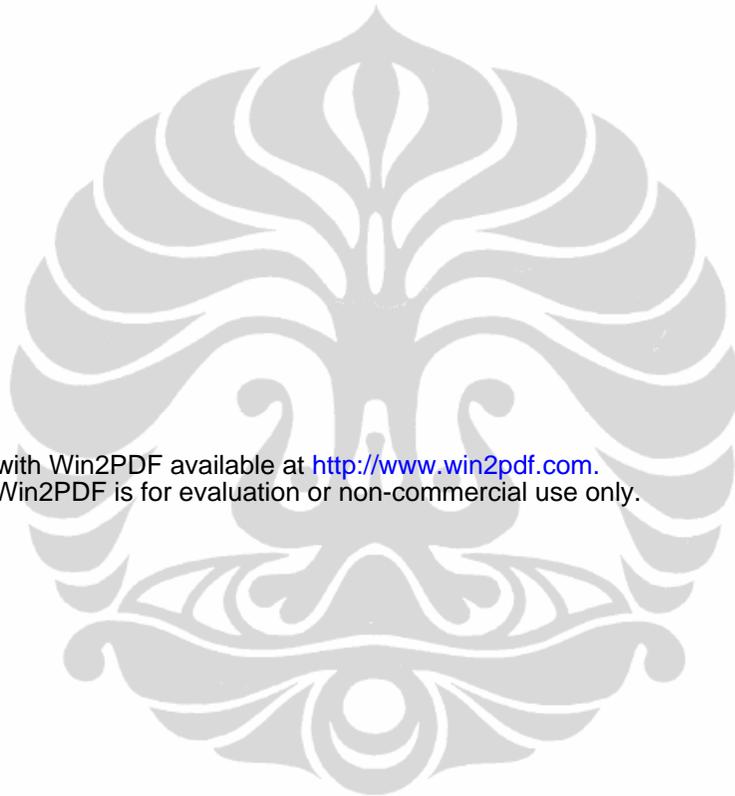
Berisikan diagram alir penelitian, rancangan penelitian yang akan dilakukan untuk mencapai tujuan percobaan yang diinginkan.

#### **BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berisi hasil yang diperoleh dalam penelitian dan pembahasannya.

#### **BAB 5 KESIMPULAN**

Berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan.



This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Parameter Kualitas Air

Beberapa parameter yang menunjukkan kualitas air, yaitu (Peavy et al., 1987; Wulan, 2009; Metcalf & Eddy, 1991) :

##### 1. Parameter Fisika

Parameter fisika didefinisikan sebagai karakteristik air sebagai respon dari apa yang akan kita lihat, rasa atau bau (depan indera penciuman). Yang termasuk dalam kategori ini adalah *suspended solid* (kadar padatan dalam air), *turbidity* (kekeruhan), *taste* (rasa), *odor* (bau), dan *temperature* (suhu).

##### 2. Parameter Kimia

Air dikenal sebagai pelarut *universal* dan parameter-parameter kimia dihubungkan dengan kapabilitas air sebagai pelarut. Yang termasuk dalam kategori ini adalah *total dissolved solid* (jumlah padatan terlarut), *alkalinity* (kemampuan air untuk menetralkan asam), *hardness* (kesadahan), *fluorides* (banyaknya senyawa flourida dalam air), *metals* (logam-logam yang terlarut dalam air, baik yang beracun maupun yang tidak beracun), *organics* dan *nutrients* (elemen-elemen penting untuk pertumbuhan dan reproduksi makhluk hidup).

##### 3. Parameter Radioaktif

Parameter radioaktif meliputi *gross alpha activity* dan *gross beta activity*.

##### 4. Parameter Biologi

Air dapat menjadi medium dari banyak spesies. Banyaknya mikroorganisme yang hidup dalam air dapat mengindikasikan kualitas air tersebut. Sifat biologi air menunjukkan oleh keberadaan mikroorganisme yang hidup di dalamnya, seperti bakteri, jamur, alga, protozoa dan virus.

Standarisasi kualitas air minum yang digunakan sebagai pedoman dalam menentukan kelayakan suatu jenis air untuk dikonsumsi masyarakat ditetapkan oleh Departemen Kesehatan yang diatur dalam Keputusan Menteri Kesehatan No.907/Menkes/SK/VII/2002 tanggal 29 Juli 2002.

Air tanah merupakan salah satu sumber air minum yang biasa digunakan oleh masyarakat. Umumnya kualitas air tanah di kota-kota besar belum memenuhi persyaratan air minum yang ditetapkan oleh Menteri Kesehatan, terutama jika dilihat dari parameter kimianya. Hal tersebut terjadi akibat semakin banyaknya limbah domestik maupun limbah industri yang mencemari air tanah.

Beberapa bahan kimia yang biasanya terkandung dalam air tanah yaitu: bahan kimia anorganik (besi, mangan dan amonia) serta bahan kimia organik (*Linear Alkylbenzene Sulfonat* sebagai surfaktan deterjen). Menurut Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 907 Tahun 2002, kandungan maksimum besi yang diperbolehkan untuk air minum sebesar 0,3 mg/L, mangan sebesar 0,1 mg/L, amonia sebesar 1,5 mg/L, LAS sebesar 0,05 mg/L. Untuk selanjutnya, pembahasan dalam penelitian ini akan difokuskan pada penyisihan bahan kimia (besi, mangan, amonia dan LAS) yang umumnya terdapat dalam air tanah.

## 2.2 Air Tanah

Air tanah adalah air yang terdapat dalam lapisan tanah atau batuan di bawah permukaan tanah (PP RI no.43, 2008). Air tanah umumnya banyak mengandung mineral dan garam yang cukup tinggi, sebagai akibat dari pengaruh batuan di bawah tanah yang dilalui oleh air tanah. Air tanah relatif tergolong bebas dari polutan karena berada di bawah permukaan tanah, namun tidak tertutup kemungkinan juga bahwa air tanah dapat tercemar oleh zat-zat yang mengganggu kesehatan seperti kandungan logam-logam berat yaitu besi (Fe) dan mangan (Mn), serta amonia (NH<sub>3</sub>) dan *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) akibat dari sanitasi yang kurang baik seperti adanya rembesan air limbah dari rumah tangga, industri, pencucian kering dengan bahan kimia (*laundry*), maupun air permukaan ke dalam air tanah.

Air tanah umumnya mempunyai konsentrasi karbon dioksida yang tinggi hasil penguraian kembali zat-zat organik dalam tanah oleh aktivitas mikroorganisme, serta mempunyai konsentrasi oksigen terlarut yang relatif rendah, menyebabkan kondisi pada air tanah bersifat anaerobik.

Bila ditinjau dari kedalamannya maka air tanah dapat dibagi menjadi air tanah dangkal dan air tanah dalam (Awaluddin, 2007).

#### 1. Air tanah dangkal

Terjadinya karena ada proses peresapan air permukaan tanah. Karena lapisan tanah mempunyai unsur – unsur kimia tertentu, maka lapisan tanah di sini berfungsi sebagai saringan. Di samping penyaringan, pengotoran juga masih terus berlangsung terutama pada muka air yang dekat dengan tanah. Setelah menemukan lapisan rapat air, maka secara alamiah air akan terkumpul sehingga dinamakan air tanah dangkal. Air tanah dangkal (kurang dari 15 meter) dimanfaatkan sebagai sumber air bersih atau air minum melalui sumur-sumur dangkal. Pada air tanah dangkal, kualitas dan kuantitasnya dipengaruhi oleh kondisi lingkungan di permukaannya, dalam hal kuantitas sangat dipengaruhi oleh curah hujan setempat, sementara kualitasnya dipengaruhi oleh kondisi sanitasi disekitarnya.

#### 2. Air tanah dalam

Air tanah dalam terdapat setelah lapisan rapat air yang pertama. Pengambilan air tanah dalam, tak semudah pada air tanah dangkal. Dalam hal ini harus digunakan alat bor tanah untuk memasukkan pipa ke dalam tanah, yang biasanya berkisar antara 100-300m.

### 2.3 Pencemar Air Tanah

Beberapa bahan kimia yang biasanya mencemari air tanah yaitu: besi, mangan, amonia dan *Linear Alkyl Benzene Sulfonate* (LAS).

#### 2.3.1 Besi (Fe)

Besi adalah salah satu logam berat yang berlimpah pada kerak bumi. Terdapat secara alami di dalam air dalam bentuk terlarut sebagai senyawa ferro atau besi-II ( $\text{Fe}^{2+}$ ); ferri atau besi-III ( $\text{Fe}^{3+}$ ); tersuspensi sebagai butir koloidal (diameter < 1 mm) atau lebih besar, seperti  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ; dan bergabung dengan zat organik atau zat padat yang anorganik (seperti tanah liat dan partikel halus terdispersi). Senyawa besi-II

dalam air yang sering dijumpai di alam adalah FeO, FeSO<sub>4</sub>, FeSO<sub>4</sub>.7 H<sub>2</sub>O, FeCO<sub>3</sub>, Fe(OH)<sub>2</sub>, dan FeCl<sub>2</sub>. Sedangkan senyawa besi-III yang sering dijumpai adalah FePO<sub>4</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeCl<sub>3</sub>, Fe(OH)<sub>3</sub>. Kandungan besi pada air juga dapat berasal dari industri, pertambangan, korosi logam dan lain-lain (Lenore et al., 2005; Said, 2003; Lenntech, n.d).

Kandungan zat besi pada air permukaan relatif rendah yakni kurang dari 1 mg/L, sedangkan konsentrasi besi pada air tanah bervariasi mulai dari 0,01 mg/L sampai dengan ± 25 mg/L. Pada air tanah yang tidak mengandung oksigen (O<sub>2</sub>), umumnya besi berada dalam bentuk terlarut (Fe<sup>2+</sup>), sedangkan pada air sungai yang mengalir dan terjadi aerasi, Fe<sup>2+</sup> teroksidasi menjadi Fe<sup>3+</sup> yang sulit larut dalam air pada pH 6 sampai 8 (kelarutan hanya di bawah beberapa mg/L), bahkan dapat menjadi ferihidroksida Fe(OH)<sub>3</sub>, atau salah satu jenis oksida yang merupakan zat padat dan bisa mengendap.

Masalah utama yang ditimbulkan akibat adanya kandungan besi yang tinggi pada air adalah mengenai estetika air. Kandungan besi dalam air akan memberikan warna karat pada air, menimbulkan noda berwarna coklat kemerahan pada pipa ledeng, porselin, piring maupun pakaian serta memberikan rasa logam sehingga tidak enak jika dikonsumsi.

Ada banyak metode yang dapat digunakan untuk menyihkan logam besi dalam air. Seperti dengan aerasi, namun penggunaan aerasi sebagai satu-satunya cara untuk oksidasi besi umumnya tidak dianjurkan, karena laju oksidasi besi secara kinetika lambat dan dipengaruhi oleh pH. Selain itu juga, penggunaan gas klor (Cl<sub>2</sub>) saat ini dihindari karena dapat berpotensi menghasilkan Trihalometan (THMs), organo-klorida lainnya, atau bahkan dioksin yaitu senyawa-senyawa yang bersifat karsinogenik dan mutagenik akibat adanya reaksi antara senyawa-senyawa organik berhalogen dalam air baku dengan gas klor (Vercellotti, 1988).

Potasium permanganat juga telah banyak digunakan untuk mengoksidasi besi dan mangan. Umumnya penggunaan potasium permanganat diikuti dengan penambahan bahan kimia yaitu dengan filter *manganese green sand* (pasir mangan). Namun metode tersebut memiliki kelemahan yaitu biaya bahan kimia yang tinggi dan

kerusakan filter ketika pH dibawah 7 (Hoigne' et al, 1985). Hoigné dkk (1985), menggunakan ozon untuk mengoksidasi besi dengan pH larutan awal 7, dimana besi dapat teroksidasi secara sempurna hanya dalam waktu kurang dari 2 menit.

Resin pertukaran ion (*ion exchanger*) dapat digunakan untuk menyisahkan ion-ion logam (senyawa anorganik) dari air minum termasuk besi dan mangan, namun pembentukan oksida logam tidak terlarut dapat menurunkan kinerja resin pertukaran ion (Vaaramaa & Lehto, 2003).

Kwang-Ho Choo dkk (2005), melakukan penelitian menggunakan gas klorasi diikuti dengan membran ultrafiltrasi (UF) untuk menyisahkan besi (1 mg/L) dan mangan (0,5 mg/L). Hasilnya, penyisihan besi dalam jumlah besar dapat tercapai meskipun tanpa menggunakan gas klor, karena dengan oksigen terlarut saja sudah mampu mengoksidasi ferro (besi terlarut) menjadi ferri (endapan zat besi) yang kemudian akan dihilangkan dengan membran UF. Jumlah penyisihan mangan dapat diabaikan dengan tidak adanya gas klor, tapi dengan penambahan gas klor efisiensi penyisihan mangan meningkat tajam dan mencapai lebih dari 80% (kurang dari 0,1 mg/L) dengan dosis gas klor sekitar 3 mg/L sebagai Cl<sub>2</sub>. Hasil memperlihatkan bahwa endapan material oleh oksidasi (ferrihidrat) dapat berperan dalam menghilangkan NOM dan kekeruhan dari air dengan cara menyerapnya (*sorption*).

Besi dapat membentuk larutan kompleks dengan zat organik (seperti : jenis asam humic dan asam fulvic) yang terdapat pada air permukaan atau air tanah. Bentuk larutan kompleks tersebut dimungkinkan tidak dapat teroksidasi menjadi bentuk tidak terlarut (*insoluble*) tanpa menggunakan oksidan kuat (Vaaramaa & Lehto, 2003).

### 2.3.1.1 Sifat Fisika Besi

Besi (Fe) adalah logam berwarna putih keperakan, liat dan dapat dibentuk. Fe di dalam susunan unsur berkala termasuk logam golongan VIII, dengan berat atom 55,85 g.mol<sup>-1</sup>, nomor atom 26, berat jenis 7.86g.cm<sup>-3</sup>. Untuk lebih lengkapnya sifat fisika untuk besi dapat dilihat pada **Tabel 2.1.** dibawah ini :

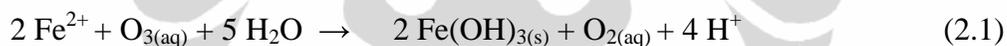
**Tabel 2.1.** Sifat Fisika Besi

Sifat Fisika	Nilai
Massa jenis (g/cm <sup>3</sup> )	7,86
Titik leleh (°C)	1538
Titik didih (°C)	2861
Kalor peleburan (kJ/mol)	13,81
Kalor penguapan (kJ/mol)	340
Kapasitas kalor (J/mol K)	25,1

Sumber : Iron. (n.d). <http://en.wikipedia.org/wiki/Iron>

### 2.3.1.2 Sifat Kimia Besi

Dalam larutan, ozon relatif tidak stabil, memiliki waktu paruh sekitar 165 menit dalam air suling pada 20°C (Rice & Netzer, 1984). Fe<sup>2+</sup> dioksidasi dengan cepat oleh ozon menjadi Fe<sup>3+</sup>, yang kemudian terhidrolisis, menggumpal dan mengendap seperti persamaan berikut (Karamah, Bismo, Widyaningrum, n.d) :



Dari persamaan diatas, secara teoritis kebutuhan ozon untuk mengoksidasi besi dalam air adalah 0,43 mg O<sub>3</sub>/mg Fe<sup>2+</sup>. Hasil penelitian Hoigné memperlihatkan bahwa reaksi ozon dengan Fe<sup>2+</sup> dalam larutan pH netral menjadi lebih cepat (kurang dari 2 menit), karena tingkat oksidasi ozon dengan besi dipengaruhi oleh pH larutan, yaitu dengan semakin tingginya pH maka penyisihan besi semakin tinggi pula (Hoigne' et al., 1985).

Air dengan kandungan besi yang tinggi, bila bersentuhan dengan udara akan menjadi keruh, berbau dan tidak enak jika dikonsumsi. Kekeruhan dan warna kuning terbentuk karena oksidasi besi (II) menjadi besi (III) berupa endapan koloid berwarna kuning. Karena oksidasinya berlangsung perlahan terutama pada pH lebih kecil dari 6, maka pembentukan dan pengendapan Fe(OH)<sub>3</sub> atau Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> berlangsung sangat lambat.

### 2.3.1.3 Pengaruh Besi Terhadap Kesehatan

Zat besi (Fe) merupakan unsur yang sangat penting dan berguna untuk metabolisme dan juga untuk pembentukan sel-sel darah merah, tubuh membutuhkan 7-35 mg/hari yang tidak hanya diperoleh dari air (Sutrisno, 1996). Akan tetapi kelebihan zat besi dapat menyebabkan efek jangka pendek (akut) seperti iritasi terhadap tenggorokan (bila tertelan), iritasi kulit dan mata (bila terjadi kontak), iritasi saluran pernafasan dan hidung (bila terhirup), serta efek jangka panjang (kronis) seperti gangguan pada hati, sistem kardiovaskular, saluran pernafasan atas, pankreas akibat dari sifat besi yang toksik (beracun). Apabila organ-organ tubuh terpapar dalam waktu yang lama dan berulang oleh zat besi maka dapat menyebabkan kerusakan organ tubuh tersebut (*Iron Metal MSDS*, n.d).

### 2.3.2. Mangan

Mangan merupakan salah satu logam yang banyak dijumpai di kulit bumi dan sering terdapat bersama besi. Mangan terlarut dalam air tanah dan air permukaan yang miskin oksigen. Mangan bisa membentuk oksida yang tidak larut dan menghasilkan endapan bila terpapar dengan oksigen, sehingga menimbulkan masalah berupa penampilan fisik air yang mengganggu

Mangan digunakan dalam campuran baja, industri pigmen, las, pupuk, pestisida, keramik, elektronik, dan *alloy* (campuran beberapa logam dan bukan logam, terutama karbon), industri baterai, cat, dan zat tambahan pada makanan. Di alam jarang sekali berada dalam keadaan unsur. Umumnya berada dalam keadaan senyawa dengan berbagai macam tingkat oksidasi atau valensi. Di dalam hubungannya dengan kualitas air yang sering dijumpai adalah senyawa mangan dengan valensi 2, valensi 4, valensi 6. Mangan di dalam senyawa  $MnCO_3$ ,  $Mn(OH)_2$  mempunyai valensi dua, zat tersebut relatif sulit larut dalam air, tetapi untuk senyawa Mn seperti garam  $MnCl_2$ ,  $MnSO_4$ ,  $Mn(NO_3)_2$  mempunyai kelarutan yang besar di dalam air (Lenore et al., 2005; Said, 2003; Crossgrove & Wei Zheng, 2004).

Umumnya untuk menyisahkan mangan, metode yang banyak digunakan adalah dengan cara fisik-kimia, dengan mengoksidasi  $Mn^{2+}$  menjadi  $Mn^{4+}$ , yang kemudian terbentuk presipitat/endapan dalam bentuk mangan dioksida ( $MnO_2$ ). Endapan tersebut kemudian dipisahkan dari air dengan penyaringan.

### 2.3.2.1 Sifat Fisika Mangan

Mangan (Mn) adalah logam berwarna abu-abu keperakan yang merupakan unsur pertama logam golongan VII-B, dengan berat atom  $54.94 \text{ g.mol}^{-1}$ , nomor atom 25, berat jenis  $7,43 \text{ g.cm}^{-3}$ . Mangan termasuk logam berat dan sangat rapuh tetapi mudah teroksidasi. Sifat fisika dari mangan dapat dilihat pada Tabel 2.2 di bawah ini.

**Tabel 2.2** Sifat Fisik Mangan

Sifat Fisika	Nilai
Massa Jenis ( $\text{g/cm}^3$ )	7,21
Titik lebur ( $^{\circ}\text{K}$ )	1519
Titik didih ( $^{\circ}\text{K}$ )	2334
Kalor peleburan ( $\text{kJ/mol}$ )	12.91
Kalor penguapan ( $\text{kJ/mol}$ )	221
Kapasitas kalor ( $\text{J/mol K}$ )	26.32

Sumber : Manganese. (n.d). <http://en.wikipedia.org/wiki/Manganese>

### 2.3.2.2 Sifat Kimia Mangan

Reaksi oksidasi mangan oleh ozon adalah sebagai berikut :



Dari persamaan diatas, secara teoritis kebutuhan ozon untuk mengoksidasi mangan dalam air adalah  $0,88 \text{ mg } O_3/\text{mg } Mn^{2+}$ .

### 2.3.2.3 Pengaruh Mangan Terhadap Kesehatan

Dalam air minum diperlukan sejumlah mineral sebagai *trace element* untuk proses metabolisme tubuh, dengan perkiraan kebutuhan mangan untuk nutrisi harian antara 30 - 50 µg/kg bobot badan. Tubuh manusia mengandung unsur Mangan sekitar 10 mg dan banyak ditemukan di hati (liver), tulang, dan ginjal. Mangan dapat membantu kinerja liver dalam memproduksi urea, *superoxide dismutase*, karboksilase piruvat, dan enzim glikoneogenesis serta membantu kinerja otak bersama enzim glutamine sintetase. Namun kelebihan mangan dapat menyebabkan efek jangka pendek (akut) seperti iritasi terhadap kulit dan mata (bila terjadi kontak), tenggorokan (bila tertelan) serta efek jangka panjang (kronis) yaitu gangguan pada paru-paru, otak, darah dan sistem saraf pusat (*Manganese MSDS*, n.d).

### 2.3.3. Amonia (NH<sub>3</sub>)

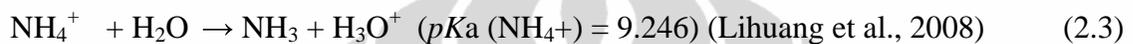
Amonia adalah senyawa kimia dengan rumus NH<sub>3</sub>. Biasanya senyawa ini didapati berupa gas dengan bau tajam yang khas (disebut bau amonia). Amonia termasuk gas alkalin (bersifat basa) yang tidak berwarna, lebih ringan dari udara, iritan serta mudah larut dalam air. Walaupun amonia memiliki sumbangan penting bagi keberadaan nutrisi di bumi, amonia sendiri adalah senyawa kaustik dan dapat merusak kesehatan (*Amonia*, n.d).

Amonia saat ini banyak digunakan sebagai bahan baku pupuk, soda abu, asam nitrat, nilon, plastik, pencelup, karet, dan peledak. Pencemaran amonia pada air tanah merupakan dampak dari sanitasi yang buruk akibat meresapnya limbah mandi, cuci dan kakus (MCK), limbah rumah tangga, limbah industri serta limbah dari kotoran binatang.

Secara kimia, amonia terdiri dari dua bentuk yaitu amonia tidak terionisasi (unionized ammonia atau NH<sub>3</sub>) dan amonia terionisasi (ionized ammonia, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>).

Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk menyisihkan amonia pada sumber air minum. Seperti yang dilakukan oleh Lihuang dkk, mereka menggunakan fotolisis hidrosil peroksida (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) untuk membentuk OH<sup>•</sup> (radikal hidrosida) yang akan digunakan sebagai oksidator. Hasilnya amonia dapat disisihkan sebesar 26,4%

(pada pH 9,3 dan waktu operasi 4 jam, serta konsentrasi awal amonia 31 mg-N/L). Pada percobaan tersebut juga disimpulkan bahwa ketika larutan yang mengandung amonia memiliki pH 7, maka amonia dalam bentuk kation-lah ( $\text{NH}_4^+$ ) yang lebih dominan dalam larutan tersebut. Sedangkan  $\text{OH}^-$  lebih mudah mengoksidasi amonia dalam bentuk molekul ( $\text{NH}_3$ ) dibandingkan dengan amonia dalam bentuk kation ( $\text{NH}_4^+$ ). Oleh sebab itu pH yang tinggi diperlukan untuk meningkatkan efektivitas penyisihan dalam air (Lihuang et al., 2008).



Hal yang sama juga dilakukan Li-Chun-Ying dkk (2010), Mereka menggunakan *copper-chelex chitosan* untuk mengadsorbsi amonia dalam air minum. Dengan menggunakan variasi pH 7,5; 8,5 dan 9,5 serta konsentrasi amonia 1,5; 2,5; 5; 10 dan 100 mg/L percobaan tersebut memperlihatkan bahwa efisiensi penyisihan amonia sekitar 80 % ketika pH lebih besar dari 7,5 dan pada konsentrasi amonia 100 mg/L. konsentrasi awal amonia yang semakin meningkat akan meningkatkan juga laju penyisihannya.

El-Hady dkk (2001), menyisihkan amonia dalam air menggunakan proses *ion exchanger* (pertukaran ion) dengan menggunakan material Polimer Lewatit S100 (partikel ukuran 0,3 - 1,2 mm). hasil memperlihatkan bahwa Lewatit S100 cukup efektif dalam menyisihkan amonium pada 5 mg/L - 10 mg/L  $\text{NH}_4^+$ .

Dari beberapa penelitian tersebut, persentase penyisihan amonia masih relatif kecil serta masih memerlukan waktu pengolahan yang lama. Oleh sebab itu dalam penelitian ini akan menggunakan Proses Oksidasi Lanjut (gabungan ozonasi/kavitasi hidrodinamik) pada tahap awal kemudian dilanjutkan dengan proses filtrasi membran keramik untuk menyisihkan amonia dalam sumber air minum. Proses pengolahan air tersebut diharapkan dapat menyisihkan amonia sampai dengan 1,5 mg/L (sesuai Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 907 Tahun 2002, tentang standar kualitas air minum).

### 2.3.3.1 Sifat Fisika Amonia

Sifat fisika dari ammonia dapat dilihat pada **Tabel 2.3**.

**Tabel 2.3 Sifat Fisika Amonia**

Sifat Fisika	Nilai
Massa jenis dan fasa	0,6942 g/L, gas
Kelarutan dalam air	89,9 g/100 ml pada 0 °C
Titik lebur	-77,73 °C (195.42 K)
Temperatur autosolutan	651 °C
Titik didih	-33,34 °C (239.81 K)
Keasaman (pKa)	9,25
Kebasaan (pKb)	4,75

Sumber : Amonia. (n.d). <http://id.wikipedia.org/wiki/Amonia>.

### 2.3.3.2 Sifat Kimia Amonia

Dalam air, amonia amat mudah terdekomposisi menjadi ion amonium dengan persamaan reaksi sebagai berikut:



Amonia merupakan senyawa nitrogen yang mudah larut dalam air dan bersifat basa sehingga dalam air akan membentuk ammonium hidroksida. Pada air dengan temperatur 0 °C dan pH 6, hampir semua amonia membentuk ion amonium. Hanya 0,01 % amonia saja yang berada dalam bentuk tak terionkan. Sedang pada temperatur 30 °C dan pH 10, sebanyak 89 % ammonia berada dalam bentuk tak terionkan.

Reaksi Amonia dengan ozon berlangsung sangat lambat, diperkirakan konstanta kecepatan reaksinya dengan ozon sekitar  $20 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$  dengan  $t_{1/2} = 96$  jam (pada pH 7; konsentrasi ozon 1 mg/L) sedangkan proses oksidasi oleh OH radikal dapat berlangsung lebih cepat yaitu  $9.7 \times 10^7 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$  (Gunten, 2003). Berikut merupakan reaksi antara amonia dengan ozon :



### 2.3.3.3 Pengaruh Amonia Terhadap Kesehatan

Efek jangka pendek (akut), Iritasi terhadap saluran pernafasan, hidung, tenggorokan dan mata terjadi pada 400 - 700 ppm. Sedangkan pada konsentrasi sebesar 5000 ppm, keberadaan amonia dapat menimbulkan kematian. Kontak dengan mata dapat menimbulkan iritasi hingga kebutaan total. Kontak dengan kulit dapat menyebabkan luka bakar (*frostbite*). Sedangkan efek jangka panjang (kronis) adalah menghirup uap asam pada jangka panjang mengakibatkan iritasi pada hidung, tenggorokan dan paru-paru (nilai ambang batas sebesar 25 ppm ( $18 \text{ mg/m}^3$ ) (*Amonia*, n.d), selain itu mengkonsumsi amonia dalam jumlah yang melebihi baku mutu yang ditentukan dapat menyebabkan mual, muntah dan pingsan (*MSDS Anhydrous Ammonia*, n.d).

Toksisitas amonia dipengaruhi oleh pH yang ditunjukkan dengan kondisi pH rendah akan bersifat racun jika jumlah amonia banyak, sedangkan dengan kondisi pH tinggi hanya dengan jumlah amonia yang sedikit akan bersifat racun.

### 2.3.4 Linear Alkyl Benzene Sulfonate (LAS)

Linier Alkyl Sulfonat (LAS) merupakan bahan kimia pengaktif permukaan (*surface active agent* atau surfaktan) yang biasanya terdapat dalam deterjen. Deterjen generasi awal muncul menggunakan surfaktan Alkyl Benzene Sulfonat (ABS), namun karena sifat ABS yang non-biodegradable (Chiao et al.,1992), maka pada generasi berikutnya deterjen menggunakan Linier Alkyl Sulfonat (LAS) sebagai surfaktan yang diyakini relatif lebih akrab dengan lingkungan karena dapat didegradasi secara biologis (Bressan et al., 1991).

LAS digunakan sebagai deterjen rumah tangga, seperti deterjen serbuk, serbuk *laundry* (deterjen serbuk *laundry*), cairan *laundry* (deterjen cair), produk pencuci peralatan rumah tangga dan pembersih. Selain itu, LAS juga digunakan dalam industri tekstil dan fiber, bahan kimia, dan pertanian (HERA, 2002). Penggunaan deterjen yang luas menyebabkan deterjen dapat ditemukan dalam air sungai, air minum, sedimen, dan tanah (Lewis, 1991).

LAS pada kondisi aerob (cukup oksigen dan mikroorganisme) mudah terurai. Tetapi, LAS tidak dapat terurai pada kondisi anaerob (tidak terdapat udara), sehingga jika badan air memang sudah menghitam seperti kondisi sungai Jakarta, akan terjadi kondisi anaerobik yang tidak memungkinkan LAS terurai. LAS yang tidak terurai ini memiliki efek sangat toksik bagi organisme (cukup dapat mematikan ikan dalam kadar 3 - 10 mg/L) dan bersifat bioakumulatif (tersimpan dalam jaringan). LAS dapat terbiodegradasi di alam, namun bila konsentrasi LAS sangat tinggi, memungkinkan alam sulit mendegradasi LAS tersebut. Alam memerlukan waktu 9 hari untuk menguraikan LAS, itupun hanya sampai sebesar 50 %. Proses penguraian deterjen akan menghasilkan sisa benzena yang bila bereaksi dengan klor akan membentuk klorobenzena yang sangat berbahaya.

Pada umumnya, deterjen mengandung bahan-bahan berikut :

1. Surfaktan (*surface active agent*) merupakan zat aktif permukaan yang dikenal sebagai senyawa amfifilik yang mempunyai struktur khas karena adanya gugus yang mempunyai tarikan sangat kecil terhadap air disebut gugus hidrofobik (tidak suka air) bersama-sama dengan gugus yang mempunyai tarikan kuat terhadap air disebut gugus hidrofilik (suka air) (Hunter, 1993). Surfaktan merupakan zat aktif permukaan yang termasuk bahan kimia organik. Bahan aktif ini berfungsi menurunkan tegangan permukaan air sehingga dapat melepaskan kotoran yang menempel pada permukaan bahan (emulsifier, bahan pengemulsi). Secara garis besar, terdapat empat kategori surfaktan yaitu :
  - a. Anionik (ABS, LAS, dan Alpha Olein Sulfonate (AOS))
  - b. Kationik (Garam Ammonium)
  - c. Non ionic (Nonyl phenol polyethoxyle)
  - d. Amphoterik (Acyl Ethylenediamines)

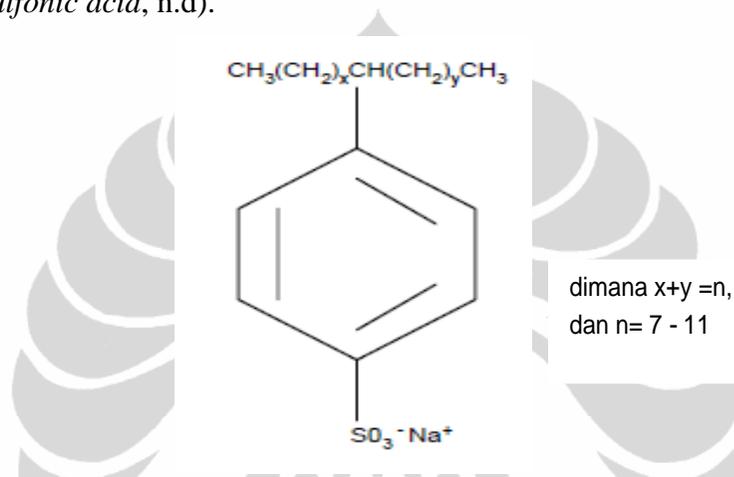
Umumnya surfaktan yang digunakan dalam setiap produk detergen adalah jenis surfaktan anionik, surfaktan dengan gugus hidrofiliknya bermuatan negatif, karena mempunyai beberapa keuntungan, diantaranya terlarut dalam air, bebas

asam sulfat sehingga tidak dipengaruhi oleh pH rendah dan tidak dipengaruhi oleh kehadiran ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  yang menyebabkan kesadahan (Rosen, 1987).

Alkilbenzen sulfonat merupakan surfaktan anionik yang banyak digunakan sebagai detergen. Ada dua jenis alkilbenzen sulfonat, *branched*-alkilbenzen sulfonat (ABS) dan *linear*-alkilbenzen sulfonat (LAS). Kedua surfaktan ini memiliki perbedaan sifat akibat jenis rantai alkil yang dimiliki. Surfaktan ABS dengan rantai alkil bercabang bersifat tidak terbiodegradasi oleh mikroorganisme dan menyebabkan polusi pada perairan di lingkungan (Gracia et al., 1999). Tidak demikian dengan surfaktan LAS, rantai alkil lurus yang dimilikinya menyebabkan surfaktan dapat didegradasi oleh mikroorganisme dan mengurangi masalah lingkungan (Bailey et al., 1978). Namun demikian biodegradasi surfaktan menyebabkan peningkatan kadar COD dan BOD serta penurunan kadar DO sehingga menurunkan kualitas perairan.

2. Builder atau bahan pembentuk berfungsi meningkatkan efisiensi pencuci dari surfaktan dengan cara menon-aktifkan mineral penyebab kesadahan air.
  - a. Fosfat (Sodium Tri Poly Phosphate (STPP))
  - b. Asetat (Nitril Tri Acetate (NTA), Ethylene Diamine Tetra Acetate (EDTA))
  - c. Silikat (Zeolit)
  - d. Sitrat (Asam Sitrat)
3. Filler atau bahan pengisi adalah bahan tambahan deterjen yang tidak mempunyai kemampuan meningkatkan daya cuci, tetapi menambah kuantitas. Contohnya adalah Sodium sulfat.
4. Aditif adalah bahan suplemen/tambahan untuk membuat produk lebih menarik, misalnya pewangi, pelarut, pemutih, pewarna dst, tidak berhubungan langsung dengan daya cuci deterjen. Aditif-aditif tersebut ditambahkan lebih untuk maksud komersialisasi produk. Contohnya Enzim, Boraks, Sodium klorida, dan CMC (*carboxy-methyl cellulose*).

Linear Alkilbenzena Sulfonat (LAS) (**Gambar 2.1**) mempunyai gugus alkil lurus/tidak bercabang yang dengan mudah dapat diurai oleh mikroorganisme. LAS merupakan campuran kompleks homolog yang berbeda panjang rantai alkil ( $C_{10}$ - $C_{13}$ ) dan isomer posisi fenil 2 sampai 5-fenil, yang masing-masing memiliki sebuah cincin aromatik tersulfonasi pada posisi para dan melekat pada sebuah rantai alkil linier pada posisi manapun dengan pengecualian dari terminal satu (1-fenil) (*Linear alkylbenzene sulfonic acid*, n.d).



**Gambar 2.1.** Senyawa Linear Alkilbenzene Sulfonate (LAS)  
 (*Sids dossier LAS*, 2005)

Banyak cara yang dapat dilakukan dalam menyisihkan LAS dari sumber air minum, salah satunya dengan proses biologis dengan alat Trickling Filter seperti yang dilakukan oleh Heryani Adhitiastuti dkk. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa trickling filter efektif dalam menguraikan LAS, namun hanya pada konsentrasi rendah (di bawah 0,2 ppm) apabila kadar LAS pada deterjen tinggi maka penguraian akan lebih lambat (Adhitiastuti et al., 2008). Begitu juga yang dilakukan oleh Budiawan dkk, yang menggunakan kultur *Acinetobacter sp* untuk mendegradasi LAS. Hasilnya setelah 4 hari LAS dapat terdegradasi sebesar  $\pm 52,32\%$  (Budiawan et al., 2009).

Untuk mendegradasi LAS Yeyen Maryani dkk menggunakan fotokatalisis. Hasil penelitian, didapat bahwa katalis  $TiO_2$  Degussa P-25 menunjukkan penyisihan sebesar yaitu 84,98% dalam waktu 5 jam (Maryani et al., 2010).

### 2.3.4.1 Sifat Fisika LAS

Sifat fisika LAS dapat dilihat pada **Tabel 2.4.** dibawah ini :

**Tabel 2.4.** Sifat Fisika Linear Alkylbenzene Sulfonate

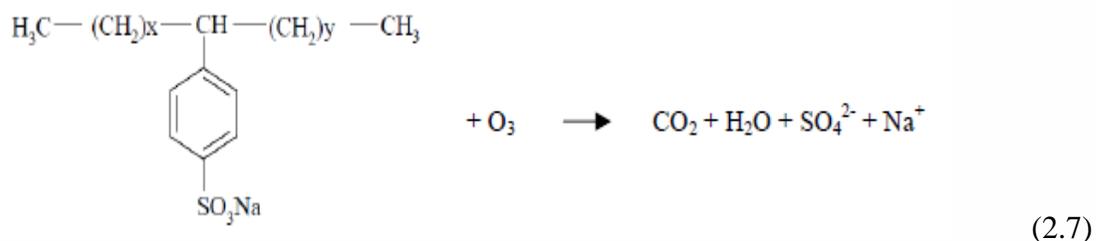
Sifat Fisika	Nilai
Berat molekul (g/mol)	342,4
Titik Leleh (°C)	277
Titik Didih (°C)	637
Densitas (kg/L)	1,06
pH (larutan LAS 5%)	7-9
Tekanan uap pada 25°C (Pa)	3–17.10 <sup>-13</sup>
Kelarutan dalam air (g/L)	250

Sumber : (*Linear Alkylbenzene Sulfonate*, n.d)

### 2.2.4.2 Sifat Kimia LAS

Sifat kimia dari Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS) yaitu sangat larut dalam air, dapat melarutkan lemak, tidak terpengaruhi kesadahan air dan bersifat sebagai surfaktan, berbusa.

Secara sederhana reaksi antara ozon dengan LAS adalah sebagai berikut :



### 2.3.4.3 Pengaruh LAS Terhadap Kesehatan

LAS merupakan zat kimia yang bersifat korosif dan toksik (beracun) sehingga dapat menyebabkan iritasi atau luka bakar pada mata, kulit, pencernaan dan saluran pernapasan. Bila LAS tertelan dapat menyebabkan kerusakan parah dan permanen pada saluran pencernaan, luka bakar saluran pencernaan, muntah, diare disertai darah serta asfiksia dari tenggorokan bengkak (*MSDS LAS*, n.d).

## 2.4. Pengolahan Air

Pada penelitian ini, proses yang digunakan untuk menyisahkan bahan-bahan pencemar dalam air tanah (seperti : amonia, LAS, besi dan mangan) antara lain Proses Oksidasi Lanjut (gabungan ozon/kavitasi hidrodinamik) dilanjutkan dengan proses filtrasi (membran keramik). Untuk selanjutnya pada sub bab pengolahan air ini akan dijelaskan mengenai ozon, kavitasi hidrodinamik, proses oksidasi lanjut dan membran keramik.

### 2.4.1. Ozonasi

Aplikasi ozon dalam pengolahan air telah tersebar luas di seluruh dunia. Alasan utama penggunaan ozon yaitu untuk disinfeksi (menonaktifkan mikroorganisme) dan oksidasi (anorganik, mikropolutan organik dan makropolutan organik). Dalam penelitian ini ozon akan digunakan sebagai oksidator dalam menyisahkan senyawa organik (LAS) serta anorganik (besi, mangan dan amonia).

Ozon ( $O_3$ ) adalah molekul yang tersusun dari 3 (tiga) buah atom oksigen. Secara fisik, ozon berwujud gas, memiliki bau yang pedas dan tajam. Sifat fisik dari ozon secara lengkap dapat dilihat pada **Tabel 2.5**. Sedangkan secara kimiawi, ozon merupakan senyawa yang sangat reaktif, tidak stabil, dan mudah sekali terdekomposisi menjadi oksigen. Ozon juga merupakan oksidator yang sangat kuat, lebih kuat dari klor dan oksigen. Kelarutan ozon dalam air dipengaruhi oleh temperatur dan tekanan parsial ozon dalam fasa gas, di samping adanya kemungkinan pengaruh pH cairan. Nilai potensial reduksi beberapa agen oksidasi serta kelarutan ozon dan oksigen dalam air dapat dilihat pada **Tabel 2.6** dan **Tabel 2.7**.

**Tabel 2.5** Sifat Fisika Ozon

Karakteristik	Nilai
Berat molekul	48 gr/mol
Titik didih	-111,9 ± 0,3
Titik leleh	-192,5 ± 0,4
Kalor laten penguapan pada 111,9 °C	14,9 kJ/kg
Densitas cairan pada -183 °C	1574 kg/m <sup>3</sup>
Densitas uap pada 0 °C dan 1 atm	2,154 g/mL
Kelarutan dalam air pada 20 °C	12,07 mg/L
Tekanan uap pada -183 °C	11,0 kPa
Volume spesifik uap pada 0 °C dan 1 atm	0,464 m <sup>3</sup> /kg
Temperatur kritis	-12,1 °C
Tekanan kritis	5532,3 kPa

Sumber : (Metcalf & Eddy, 1991)

**Tabel 2.6.** Potensial Reduksi Beberapa Agen Oksidasi

Reaksi Agen Oksidasi	Potensial Reduksi pada 25°C
Ozon	$E^{\circ} = + 2,07 \text{ V}$
Hidrogen Peroksida	$E^{\circ} = + 1,77 \text{ V}$
Permanganat	$E^{\circ} = + 1,67 \text{ V}$
Gas klor Dioksida	$E^{\circ} = + 1,57 \text{ V}$
Asam Hipoklorit	$E^{\circ} = + 1,49 \text{ V}$
Gas Klor	$E^{\circ} = + 1,36 \text{ V}$
Asam Hipobromik	$E^{\circ} = + 1,33 \text{ V}$
Oksigen	$E^{\circ} = + 1,23 \text{ V}$
Bromin	$E^{\circ} = + 1,09 \text{ V}$
Asam Hipiodik	$E^{\circ} = + 0,99 \text{ V}$
Hipoklorit	$E^{\circ} = + 0,94 \text{ V}$
Klorit	$E^{\circ} = + 0,76 \text{ V}$
Iodin	$E^{\circ} = + 0,54 \text{ V}$

Sumber : (*Ozone properties*, n.d)

**Tabel 2.7** Kelarutan Ozon dan Oksigen Dalam Air

Temperatur ( <sup>0</sup> C)	Kelarutan Ozon (mg/L)	Kelarutan Oksigen (mg/L)
0	20	6,9
2	10	6,6
20	8,92	4,3
28	1,5	3,7

Sumber : (Rice & Browning, 1981)

Ozon merupakan gas yang tidak stabil di dalam air. Namun disamping sifat tidak stabil yang dimilikinya, ozon juga memiliki kelebihan lain, yaitu ozon dapat terdekomposisi membentuk radikal bebas ( $\text{OH}^\bullet$ /radikal hidroksida) yang memiliki potential oksidasi yang sangat tinggi yaitu sebesar 2.8 V, sehingga bersifat sebagai oksidator yang lebih kuat dibandingkan dengan ozon. Oleh karena itu, proses ozonasi di dalam air selalu melibatkan dua spesies, yaitu ozon (oksidasi langsung) dan  $\text{OH}^\bullet$  (oksidasi tidak langsung) (I. Oyane et.al., 2005).

Fenomena terdekomposisinya ozon dalam air digambarkan melalui reaksi sebagai berikut (White, 1986) :



Ozonasi digunakan untuk pemurnian air minum dengan berbagai tujuan, termasuk hal-hal berikut (Langlais et al., 1991) :

1. Desinfeksi dan pengontrolan alga
2. Oksidasi dari pulutan anorganik, seperti besi dan mangan
3. Oksidasi dari mikropulutan organik, meliputi: rasa dan bau; polutan fenol dan senyawa-senyawa organik terhalogenasi dan pestisida

4. Oksidasi dari makropolutan organik, meliputi : penghilangan warna; meningkatkan *biodegradabilitas* dari senyawa organik serta penghancuran *trihalomethane formation potential* (THMFP), *total organic halide formation potential* (TOXFP), dan klor
5. Sebagai *coagulant aid* (berfungsi sebagai perlakuan awal untuk membunuh virus, bakteri, dan mikroorganisme)

Teknologi dengan menggunakan ozon telah banyak digunakan untuk memisahkan berbagai macam polutan di air. Dari beberapa studi dan pengujian di lapangan, proses ozonasi menunjukkan hasil yang memuaskan dalam menyisihkan senyawa organik (fenol, deterjen, pestisida), logam berat (besi, tembaga, nikel dll) dan mikroorganisme (bakteri, virus dll) serta menghilangkan warna dan bau, ataupun rasa di dalam air (Bismo & Karamah, 2008; Bismo et al., 2000); Bismo et al., 2007; Bismo, 1999). Teknik ozonasi merupakan teknologi yang ramah terhadap lingkungan, instalasi pengolahannya tidak membutuhkan tempat yang luas, proses pengolahannya relatif cepat, tidak memerlukan pemakaian bahan kimia lain serta dapat membentuk radikal OH yang merupakan oksidator terkuat dalam air hasil dari dekomposisi ozon (Bismo, 1998). Dikarenakan manfaatnya yang begitu banyak tersebut, maka pada saat ini teknik ozonasi banyak digunakan untuk proses oksidasi dalam pengolahan air minum. Pada penelitian kali ini, ozon akan digunakan sebagai oksidan dalam menyisihkan senyawa organik (LAS) dan anorganik (besi, mangan dan amonia)

Walaupun banyak sekali kelebihan-kelebihan yang dimiliki ozon, tetapi ozon pun memiliki beberapa kelemahan. Kelemahan utama dari proses oksidasi dengan ozon di antaranya adalah kelarutan ozon dalam air relatif rendah dan juga ozon merupakan gas yang tidak stabil dan akan cepat lenyap dalam beberapa menit di dalam air, sehingga proses oksidasi menjadi tidak maksimal.

Untuk mengimbangi kelarutan dan stabilitas ozon yang rendah dalam air umumnya digunakan dosis ozon yang berlebih. Namun, cara tersebut menyebabkan borosnya penggunaan ozon (sehingga biaya proses menjadi tinggi), korosi pada alat proses dan dapat mengganggu kesehatan jika terjadi kebocoran pada ozon karena ozon merupakan oksidator kuat. Selain itu, penggunaan dosis ozon berlebih juga memicu

terbentuknya produk samping berupa bromat yang memiliki sifat karsinogenik (Gunten, 2003a, 2003b)

Kelarutan dan stabilitas ozon di dalam air yang rendah dapat diatasi dengan mengkombinasikan dengan teknologi lain seperti dengan hidrogen peroksida, ultraviolet, kavitasi, oksida logam ataupun dengan karbon aktif

Keefektifan ozon untuk mengoksidasi senyawa organik dan anorganik merupakan fungsi dari suhu air dan nilai pH. Sedangkan untuk pengolahan air limbah dengan ozon, akan lebih banyak variabel lagi yang dapat mempengaruhi keefektifan ozon seperti ; suhu, pH, COD, BOD, TSS, logam berat dll.

Ketika pH pada tingkat rendah (kurang dari 7), maka reaksi utamanya yaitu dengan molekul ozon ( $O_3$ ) yang reaksinya relatif lambat/lama. Sedangkan pada pH yang tinggi (diatas 8), ozon akan cepat terdekomposisi menjadi radikal OH dimana reaksinya sangat cepat. Banyak senyawa yang teroksidasi dengan lambat namun akan teroksidasi dengan cepat ketika pH dalam kondisi basa. Hal ini memperlihatkan bahwa pH 8 - 10 lebih sesuai untuk mengoksidasi senyawa organik. Suhu pada air juga mempengaruhi keefektifan proses ozonasi, dimana ketika suhu semakin tinggi maka ozon yang terlarut dalam air akan semakin rendah.

#### **2.4.2 Kavitasi Hidrodinamik**

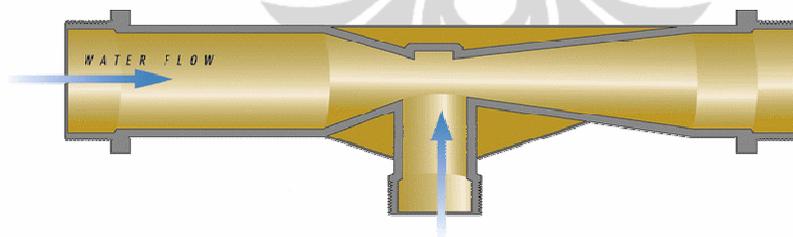
Kavitasi merupakan fenomena terjadinya pembentukan, pertumbuhan dan hancurnya gelembung mikro dalam cairan. Kondisi kavitasi yang ekstrem dapat dimanfaatkan untuk menghancurkan molekul-molekul polutan dan senyawa organik. Jika fenomena tersebut terjadi akibat variasi tekanan pada cairan yang mengalir karena perubahan geometri pada sistem yang mengalir, maka peristiwa tersebut dinamakan kavitasi hidrodinamik (Jyoti & Pandit, 2002).

Kavitasi dapat menghasilkan gelembung mikro yang akan meningkatkan efektivitas dari proses ozonasi. Gelembung mikro ini memiliki luas permukaan yang besar, densitas gelembung yang sangat besar, kecepatan naik di fasa cair yang kecil, dan tekanan dalam (*inner pressure*) yang tinggi (Li-Bing Chu et.al.,2008).

Peristiwa kavitasi dapat menyebabkan efek mekanik dan kimia. Efek mekanik terjadi pada saat gelembung mikro hancur atau pecah. Gelembung mikro dapat pecah karena terjadinya perubahan tekanan yang mendekati kondisi normal. Pecahnya gelembung mikro menimbulkan panas yang sangat tinggi. Sedangkan efek kimia terjadi karena adanya efek panas dari pecahnya gelembung mikro yang dapat menyebabkan dekomposisi air menghasilkan radikal hidroksida ( $\text{OH}^\bullet$ ).

Kavitasi dapat dijelaskan dengan berbagai teori, diantaranya teori *hot-spot*, teori elektrik, dan teori plasma. Dari ketiga teori tersebut, teori *hot-spot* merupakan teori yang paling populer. Teori *hot-spot* menyatakan bahwa pecahnya gelembung mikro berlangsung dalam waktu yang sangat singkat sehingga kompresi dari gas dan uap di dalam gelembung terjadi secara adiabatik. Akibatnya, pada saat gelembung mikro pecah maka temperatur dan tekanan sangatlah tinggi. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diketahui bahwa saat kehancuran gelembung mikro tersebut temperatur dan tekanan lokalnya bisa mencapai lebih dari  $5000^\circ\text{C}$  dan  $1000\text{ atm}$  (*inner temperature & inner pressure*) (Moholkar & Pandit, 1996). Kondisi *hot spot* lokal dihasilkan karena pecahnya gelembung dalam waktu yang sangat cepat ( $<10\mu\text{s}$ ).

Alat yang dapat digunakan untuk menghasilkan kavitasi hidrodinamik yaitu venturi atau *orifice*. Dalam penelitian ini venturi digunakan sebagai alat untuk menghasilkan kavitasi hidrodinamik.



**Gambar 2.2** Alat Venturi (Rice et al., 1981)

Penyempitan diameter pada penampang aliran akan meningkatkan kecepatan aliran dan menurunkan tekanan secara drastis. Terjadinya penurunan tekanan disebabkan sebagian besar cairan berubah menjadi fasa gas. Perubahan cairan menjadi gas karena tekanan uap jenuh cairan melebihi tekanan uap jenuh lingkungannya.

### 2.4.3 Proses Oksidasi Lanjut

Proses oksidasi lanjut merupakan kombinasi dari beberapa metode oksidasi yaitu ozon dengan hidrogen peroksida, ultraviolet dengan ozon atau kavitas dengan ozon dan ozonasi katalitik dengan menggunakan ion logam, oksida logam atau karbon aktif (Li-Bing Chu et al.,2007). Meskipun proses oksidasi lanjut menggunakan gabungan dari reaktan yang berbeda tapi karakteristik reaksi yang dihasilkan adalah untuk membentuk radikal hidroksida ( $\text{OH}^\bullet$ ) (Andreozzi et al.,1999)

Karena potensial oksidasi hidroksil radikal (2,8 V) lebih tinggi dibandingkan ozon (2,07 V), maka radikal hidroksida dapat digunakan secara efektif untuk mengoksidasi senyawa organik dan anorganik yang sulit diuraikan dengan oksidator konvensional seperti oksigen, ozon, dan gas klor.

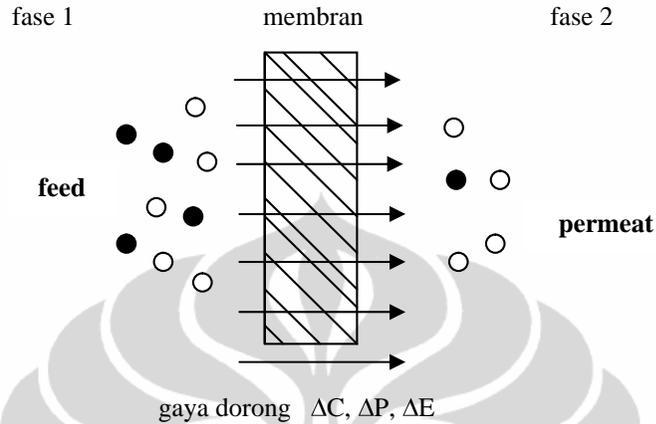
Kombinasi ozon dan kavitas merupakan salah satu proses oksidasi lanjut yang memanfaatkan gelembung mikro untuk meningkatkan perpindahan massa pada proses ozonasi, meningkatkan pembentukan radikal hidroksida dan meningkatkan oksidasi dari senyawa organik dan anorganik.

Efektifitas ozonasi dapat ditingkatkan dengan memperluas area permukaan ozon melalui peningkatan gelembung yang lebih kecil. Pada banyak kasus, teknik ozonasi tidak dapat digunakan untuk menguraikan senyawa organik menjadi karbondioksida (mineralisasi) secara sempurna, melainkan hanya mengoksidasi sebagian menjadi aldehida, asam organik dan atau keton. Dengan menggabungkan ozonasi/kavitas hidrodinamik, diharapkan proses oksidasi dapat terjadi sempurna.

### 2.4.4 Membran

Membran dapat didefinisikan sebagai penghalang (*barrier*) selektif diantara dua fasa, yang hanya dapat melewatkan komponen tertentu dan menahan komponen lain dari suatu aliran fluida yang melalui membran. Oleh karenanya, membran bersifat *semi-permeable*. Proses membran melibatkan umpan (cair dan gas), serta gaya dorong (*driving force*) akibat perbedaan tekanan/ $\Delta P$  (seperti mikrofiltrasi, ultrafiltrasi, reverse osmosis, pemisahan gas, pervaporasi), perbedaan konsentrasi/ $\Delta C$  (seperti dialisis) dan perbedaan energy/ $\Delta E$  (seperti membran destilasi dan termo

osmosis) (I. Oyane et al., 2005). Ilustrasi dari penjelasan di atas dapat dilihat pada **Gambar 2.3** berikut:



**Gambar 2.3** Skema sistem dua fase yang dipisahkan oleh membran (Mulder, 2000)

Membran berfungsi menyaring material berdasarkan ukuran dan bentuk molekul, menahan komponen dari umpan yang mempunyai ukuran lebih besar dari pori-pori membran dan melewatkan komponen yang mempunyai ukuran yang lebih kecil. Larutan yang mengandung komponen yang tertahan disebut konsentrat dan larutan yang mengalir disebut permeat.

Penggunaan teknologi membran memiliki kelebihan, yaitu (Mulder, 2000) :

1. Proses pemisahan dapat berlangsung secara kontinu.
2. Energi yang digunakan relatif rendah karena proses membran tidak melibatkan perubahan fasa sehingga tidak memerlukan panas laten.
3. Mudah dikombinasikan dengan proses lain (*hybrid processing*)
4. Pemisahan dapat dilakukan pada temperatur ruang
5. Mudah dalam *scale-up*
6. Peralatan proses membran sangat kompak, artinya mempunyai rasio luas membran per volume peralatan yang besar sehingga hanya memerlukan sedikit ruang untuk menjalankan proses ini.
7. Tidak memerlukan aditif sehingga tidak memerlukan biaya tambahan dan tidak menghasilkan limbah tambahan.

Sedangkan kelemahan dari proses pemisahan dengan menggunakan teknologi membran adalah (Mulder, 2000):

1. Terjadinya polarisasi konsentrasi (terkumpulnya komponen-komponen yang konsentrasinya tinggi pada permukaan membran) dan *fouling* (tertutupnya pori-pori membran karena pengendapan oksida logam, koloid, pertumbuhan biologis). Umumnya kondisi ini hanya terjadi untuk memisahkan cairan.
2. Waktu pakai membran yang singkat
3. Selektifitas dan fluks yang rendah seiring bertambahnya waktu operasi

Kondisi optimal dalam kinerja membran pada umumnya dinyatakan oleh besarnya permeabilitas dan selektivitas membran. Permeabilitas dilihat dari laju permeasi (fluksi) yaitu laju alir volumetrik (massa atau molar) dari fluida melewati membran persatuan luas membran per satuan waktu. Sedangkan selektivitas adalah pengukuran laju permeasi relatif dari komponen yang berbeda melewati membran. Makin besar nilai permeabilitas dan selektivitas membran, membran memiliki kinerja yang semakin baik (Mulder, 2000; L, Cynthia et al.,2002).

Namun pada kenyataannya, dalam suatu proses pemisahan dengan membran akan ditemukan suatu fenomena umum yaitu apabila permeabilitas membran besar maka selektivitasnya akan rendah, demikian pula sebaliknya jika selektivitasnya tinggi maka permeabilitasnya akan rendah (Mulder, 2000; L, Cynthia et al.,2002).

Secara sistematis fluksi permeat dirumuskan sebagai berikut (Mulder, 2000) :

$$J = \frac{V}{A \cdot t} \quad (2.12)$$

$$J = \frac{1}{A} \cdot \frac{dV}{dt} = \frac{1}{A \cdot \rho} \cdot \frac{dm}{dt} \left( \frac{L}{m^2 \cdot \text{mnt}} \right) \quad (2.13)$$

dimana :

- J = fluks (L/m<sup>2</sup>.jam)  
 V = volume permeat  
 A = luas selimut membran (m<sup>2</sup>)  
 t = waktu (jam)

Sedangkan hubungan antara fluksi permeat,  $\Delta P$  (perbedaan tekanan) dan tahanan total dapat digambarkan pada persamaan berikut (Mulder, 2000).

$$fluks = \frac{\text{driving force}}{\text{viscositas .total resistance}} = \frac{\Delta P}{\text{viscositas .total resistance}} \quad (2.14)$$

Bahan penyusun membran dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu :

- a. Membran biologi, yaitu membran yang terbentuk secara alami, terutama mengandung lipida dan protein (banyak digunakan dalam industri farmasi).
- b. Membran sintetik, yaitu membran yang terbuat dari bahan organik (polimer) dan anorganik (keramik, gelas atau logam).

Pengolahan air pada penelitian kali ini diawali dengan Proses Oksidasi Lanjut/AOP (ozonasi dan kavitasi hidrodinamik) yang kemudian dilanjutkan dengan proses filtrasi (membran) untuk memisahkan padatan hasil oksidasi. Membran yang digunakan setelah Proses Oksidasi Lanjut harus stabil secara kimia, mekanis dan suhu akibat dari pengaruh yang akan ditimbulkan dari penggunaan kavitasi hidrodinamik dan ozonasi pada tahap awal. Membran dengan bahan penyusun polimer tidak memiliki ketentuan seperti yang diharapkan di atas. Oleh sebab itu dalam penelitian kali ini akan digunakan membran dengan bahan penyusun dari keramik yang memiliki stabilitas terhadap kimia, mekanis dan suhu baik.

#### 2.4.4.1 Membran Keramik

Membran keramik merupakan salah satu jenis membran yang terbuat dari anorganik (seperti alumina, titania, oksida zirkonia atau beberapa bahan gelas), berstruktur asimetris dan berpori. Secara komersial, umumnya memiliki pori yang kasar (5 – 20  $\mu\text{m}$ ). Bahan keramik umumnya bersifat sangat stabil secara kimiawi, suhu, dan mekanis. Membran keramik juga relatif ramah terhadap lingkungan dan lebih menguntungkan dibanding dengan teknologi pemisah lainnya serta tidak memerlukan adanya bahan-bahan kimia tambahan, serta temperatur proses yang tidak terbatas (*Ceramic membranes*, n.d).

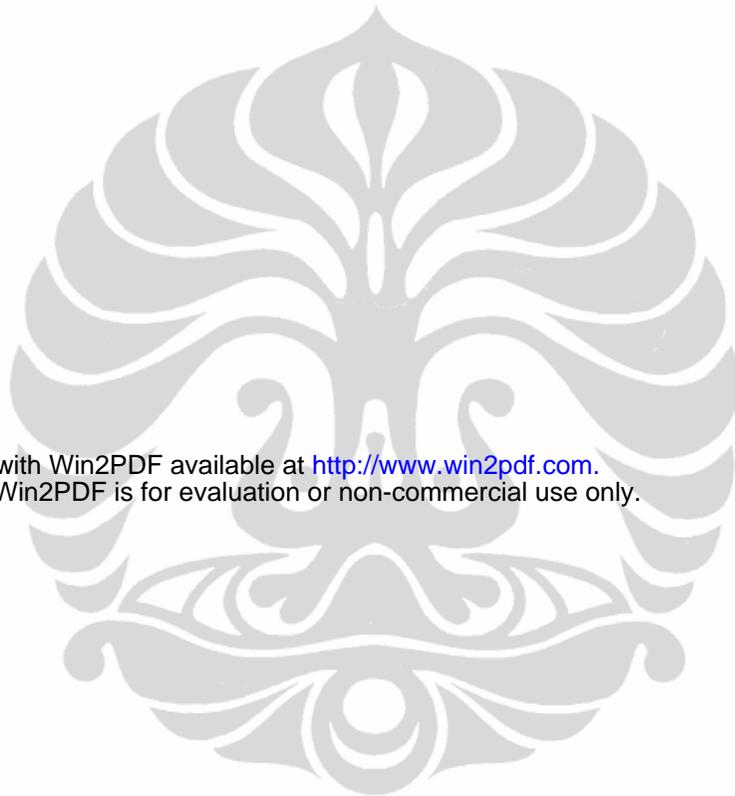
Kelebihan Membran keramik adalah :

- a. Stabil terhadap kimia, mekanik dan suhu yang tinggi
- b. Kemampuan sterilisasi uap dan pembilasan kembali (*back flushing*)
- c. Ketahanan abrasi tinggi
- d. Fluks tinggi
- e. Daya tahan tinggi
- f. Tahan terhadap bakteri

Sedangkan kekurangan dari membran keramik itu sendiri adalah biaya produksi besar (namun dapat dikompensasikan dengan masa pakai yang panjang).

Selain kelebihan yang disebutkan diatas, membran keramik mikrofiltrasi (merk : Ceramic Water Filter) juga memiliki fungsi sebagai berikut :

- a. Dapat menyaring sampai dengan 0,9 mikron (99,99%)
- b. Menyisihkan alga, sedimen dan *suspended solid*
- c. Menghalangi pertumbuhan dan mengurangi bakteri berbahaya (99,99%)
- d. Mengurangi cryptosporidium, bakteri E. Coli, Salmonela (99,99%)
- e. Mengurangi kekeruhan dan sesuai untuk aplikasi tekanan rendah dan penyaringan secara gravitasi



This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

## BAB 3

### METODE PENELITIAN

#### 3.1. Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian kali ini, tahap awal penyisihan pencemar dalam air (besi, mangan, amonia dan LAS) akan dilakukan dengan Proses Oksidasi Lanjut (gabungan ozonasi dan kavitasi hidrodinamik) kemudian dilanjutkan dengan proses filtrasi membran keramik. Pengolahan air dengan Proses Oksidasi Lanjut dan filtrasi membran keramik ini, dilakukan secara bertingkat tiga (yaitu : *retentate* hasil filtrasi dimasukkan lagi ke dalam reservoir untuk diproses kembali, *recycle* terhadap *retentate* dilakukan 2 kali). Membran berbahan jenis keramik digunakan karena memiliki daya tahan yang baik terhadap efek mekanis, kimia dan termal yang akan ditimbulkan dari proses ozonasi dan kavitasi hidrodinamik. Membran keramik disini berfungsi untuk menyaring padatan tidak terlarut hasil dari Proses Oksidasi Lanjut.

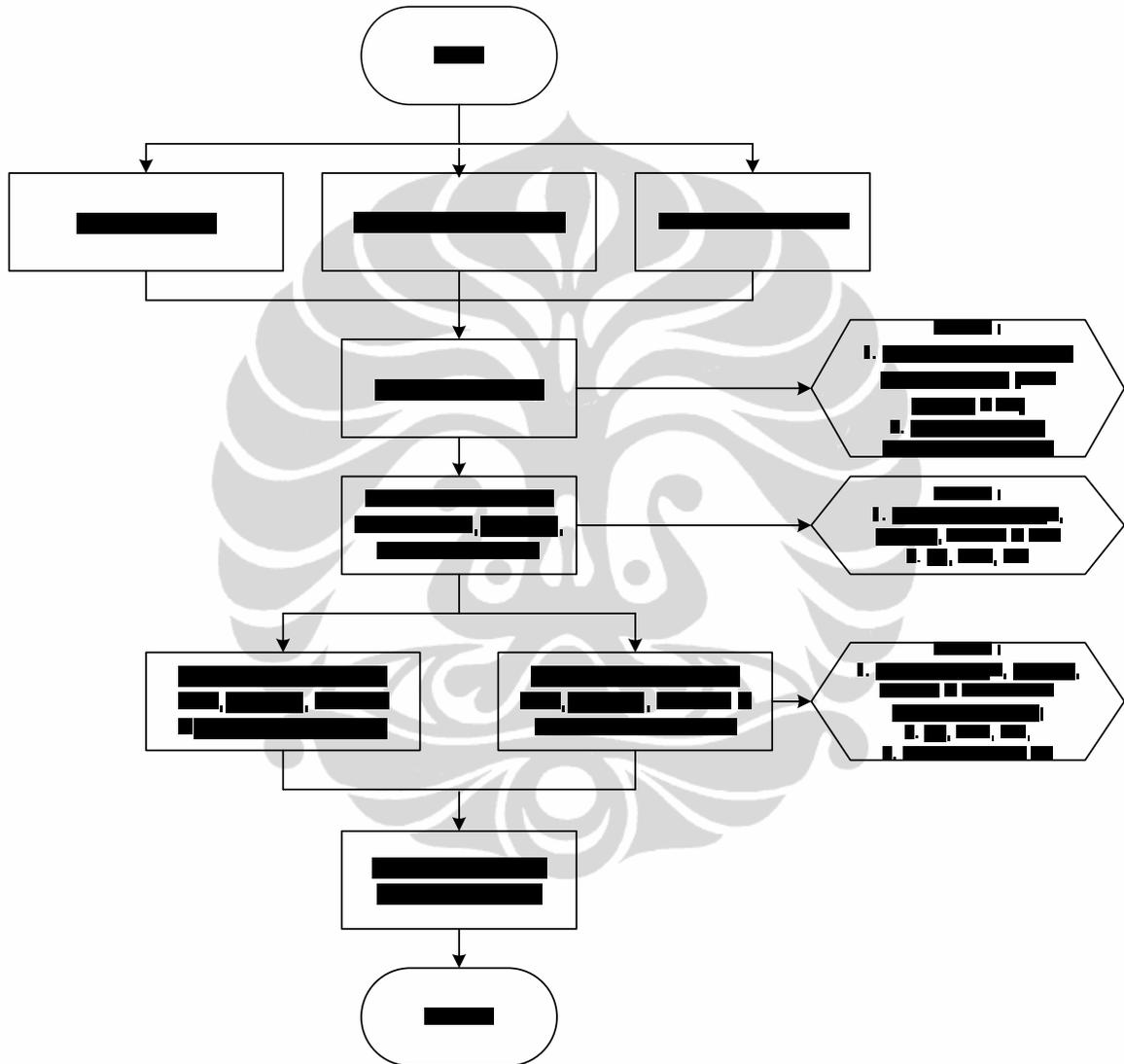
Sebelum proses penyisihan besi, mangan, amonia dan LAS dengan Proses Oksidasi Lanjut/filtrasi membran keramik dimulai, terlebih dahulu alat-alat yang akan digunakan dalam pengolahan air tersebut disiapkan serta dipasang, kemudian dilanjutkan dengan kalibrasi *water flowmeter*.

Tahap berikutnya setelah alat-alat pengolahan air terpasang adalah melakukan uji hidrodinamika. Uji hidrodinamika dilakukan untuk melihat pengaruh penggunaan ozon terhadap kinerja membran serta pengaruh laju alir terhadap ozon terlarut. Hasil yang didapatkan dari uji hidrodinamika ini adalah gambaran mengenai pengaruh penggunaan ozon terhadap kinerja membran (fluksi permeate dan *pressure drop/ΔP*) serta nilai laju alir optimum yang dapat melarutkan ozon dalam jumlah besar.

Laju alir optimum yang diperoleh dari uji hidrodinamika kemudian digunakan pada uji kinerja besi, mangan, amonia dan LAS dengan Proses Oksidasi Lanjut dan Proses filtrasi membran keramik. Setelah proses pengolahan air dilakukan, sampel diambil setiap awal (0 menit), 10 menit, 20 menit dan 30 menit untuk kemudian dianalisa kandungan besi, mangan, amonia dan LAS (secara terpisah maupun bersama). Selain itu, akan dievaluasi pula mengenai

pengaruh proses terhadap pH, TDS serta DO dan juga kinerja membran dengan meninjau *pressure drop* ( $\Delta P$ ) dan fluksi permeat (J).

Secara umum, diagram aliran penelitian ini dapat dilihat dibawah ini :



**Gambar 3.1.** Diagram Alir Penelitian

### 3.2. Rancangan Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan dibagi menjadi enam tahap utama, yaitu :

1. Preparasi alat

Preparasi alat dilakukan pada tahap awal penelitian ini. Adapun alat-alat yang akan digunakan adalah : ozonator, injektor, membran keramik, *membrane housing*, *water flowmeter*, manometer, tangki (untuk wadah umpan, *retentate* dan *permeate*).

2. Uji produktivitas ozonator

Uji produktivitas ozonator dilakukan untuk mengetahui berapa besar ozon yang dihasilkan oleh ozonator merk Resun tipe RSO-9805. Uji produktivitas ozon menggunakan metode iodometri, yaitu berdasarkan reaktivitas ozon terhadap larutan KI.

3. Uji hidrodinamika

Uji hidrodinamika dilakukan untuk melihat pengaruh penggunaan ozon terhadap kinerja membran serta pengaruh laju alir terhadap ozon terlarut.

4. Pereparasi larutan sintetik

Air Sintetik yang digunakan dalam penelitian ini adalah air sintetik yang mengandung besi, mangan, amonia dan LAS. Konsentrasi besi yang dibuat dalam air sintetik yaitu sebesar 5 mg/L, mangan 5 mg/L, amonia 60 mg/L dan LAS 30 mg/L.

5. Uji kinerja unit pengolahan air

Uji kinerja untuk unit pengolahan air ini dikhususkan pada uji kinerja penyisihan besi, mangan, amonia dan LAS (secara terpisah maupun bersama).

6. Analisa Sampel

Sampel air umpan dan *permeate* dianalisis berdasarkan parameter-parameter kualitas air seperti pH, TDS, DO serta konsentrasi bahan pencemar besi, mangan, amonia dan LAS (secara terpisah dan bersama). Sampel diambil pada menit ke-0, 10, 20 dan 30. Khusus sampel air yang mengandung logam berat seperti (besi dan mangan), perlu ditambahkan asam (HCl 6 N) agar tidak terjadi pengendapan selama tahap transportasi dan penyimpanan sebelum dianalisis di laboratorium. Endapan pada sampel yang mengandung logam berat akan mudah terbentuk bila sampel air tersebut tidak diasamkan.

### 3.3 Deskripsi Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan antara lain ozonator, injektor, membran keramik, *membrane housing*, *water flowmeter*, manometer, tangki (untuk wadah umpan, *retentate* dan *permeate*).

#### 3.3.1 Ozonator

Ozonator yang digunakan adalah ozonator komersil merk Resun tipe RSO-9805 2,8 gr. Produktivitas ozon yang dihasilkan berdasarkan label perusahaan adalah 2,8 gr  $O_3$ /jam, dengan laju alir 1200 L/jam. Namun setelah di uji ulang ternyata produktivitas ozon hanya sebesar 0,113 gr  $O_3$ /jam (merujuk pada **halaman 48**). Ozonator ini berfungsi untuk menghasilkan ozon yang kemudian akan diinjeksikan ke dalam air melalui injektor.



**Gambar 3.2.** Ozonator Resun tipe RSO-9805

#### 3.3.2 Injektor

Injektor yang digunakan merupakan injektor tipe venturi merk Mazzei. Injektor ini berfungsi untuk menginjeksikan ozon ke dalam air. Salah satu keuntungan penggunaan injektor mazzei adalah dari segi jenis gelembung yang dihasilkan yaitu gelembung mikro, sehingga dapat menghasilkan perpindahan massa ozon ke air lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan *diffuser* biasa.



**Gambar 3.3.** Injektor Tipe Venturi Merk Mazzei

### 3.3.3 Membran Keramik

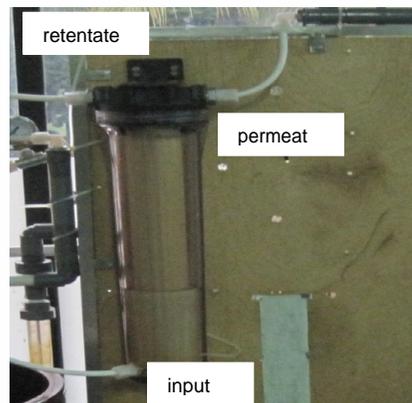
Membran keramik yang digunakan adalah membran mikrofiltrasi berbahan keramik dengan panjang membrane 20 inci. Membran berbahan jenis keramik ini digunakan karena memiliki daya tahan yang baik terhadap efek mekanis, kimia dan termal yang akan ditimbulkan dari penggunaan ozon dan kavitasi hidrodinamik pada Proses Oksidasi Lanjut. Membran keramik jenis mikrofiltrasi dipilih karena selain yang dijelaskan diatas juga karena tekanan yang diperlukan untuk mengalirkan air umpan melalui membran tidak terlalu besar dibandingkan membran ultrafiltrasi yang memerlukan tekanan tinggi.



**Gambar 3.4.** Membran Keramik Mikrofiltrasi

### 3.3.4 Membran *Housing*

Merupakan tempat untuk meletakkan membran keramik pada unit pengolahan air. *Membrane housing* ini dilengkapi dengan lubang (saluran) air yang akan melewati membran serta lubang hasil filtrasi yaitu lubang *permeate* (air umpan yang menembus membran) dan *retentate* (air umpan yang tidak menembus membran).



**Gambar 3.5.** *Housing* Membran Keramik

### 3.3.5 Water Flowmeter

Alat ukur debit ini diletakkan sebelum air melewati injektor.

### 3.3.6 Manometer

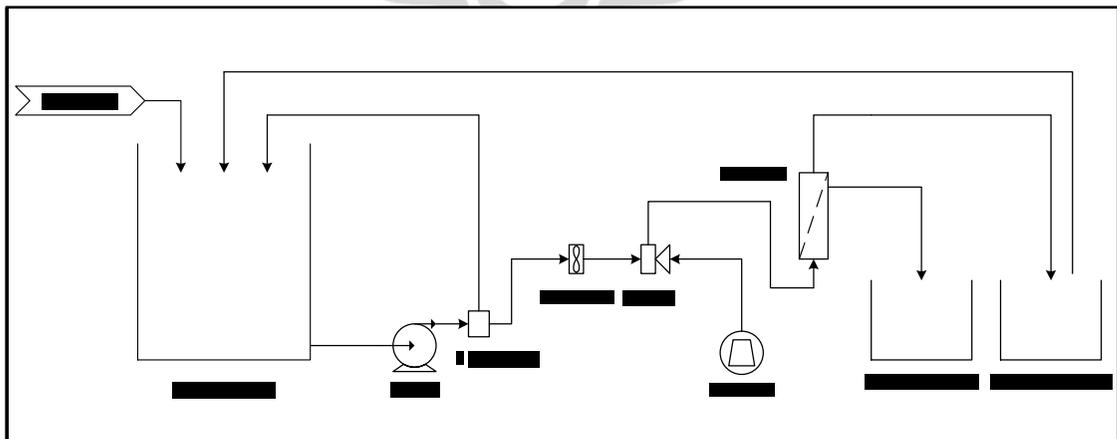
Manometer digunakan untuk mengukur beda tekanan ( $\Delta P$ ), dimana selang manometer di pasang pada *sampling port* sebelum aliran masuk ke membran dan setelah melewati membran.



**Gambar 3.6.** Manometer Digital

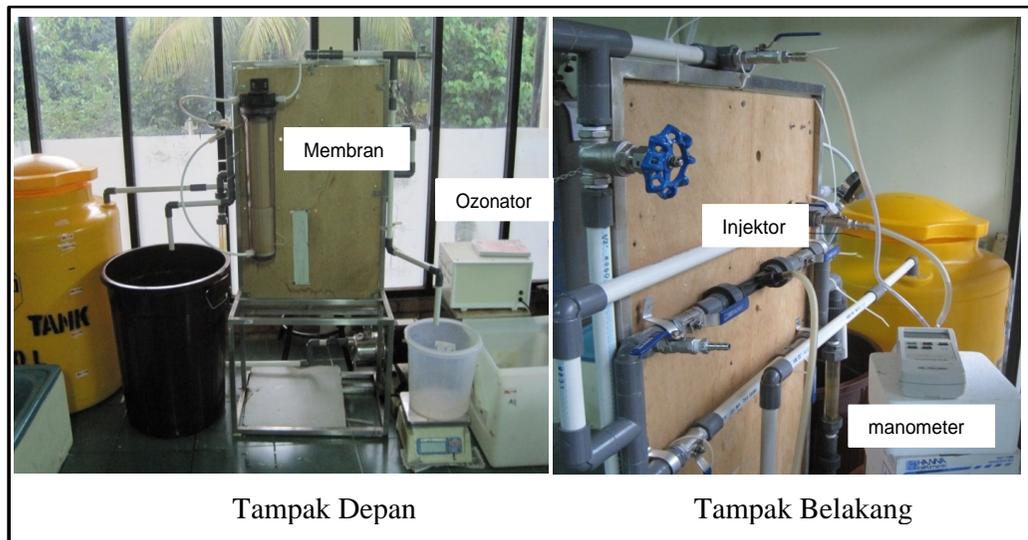
### 3.3.7 Tangki Umpan, *Retentate* dan *Permeate*

Tangki umpan digunakan sebagai wadah air umpan, sedangkan tangki *permeate* dan *retentate* masing-masing digunakan sebagai wadah hasil proses filtrasi membran.



**Gambar 3.7** Skema Unit pengolahan Air

Proses Oksidasi Lanjut (Ozonasi dan Kavitasasi hidrodinamik) dan Filtrasi



**Gambar 3.8** Foto Alat Penelitian

### 3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang akan dilakukan diuraikan sebagai berikut

#### 3.4.1 Uji Produktivitas Ozonator

Uji produktivitas ozon ini menggunakan metode iodometri, yaitu berdasarkan reaktivitas ozon terhadap larutan KI. Pemilihan metode iodometri berdasarkan teknik analisis yang telah dilakukan oleh Day, Underwood dan Freeman. Dalam studi ini, modifikasi metode iodometri digunakan untuk mendapatkan metode standar dari determinasi ozon dalam air. Pada dasarnya metode ini amat menyerupai metode iodometri klasik, dimana ion iodida dioksidasi menjadi iodium oleh ozon dalam larutan KI dan pH larutan dibuat menjadi dua dengan asam sulfat. Selanjutnya pembebasan iodium dititrasi dengan natrium tiosulfat. Titik akhir titrasi ditandai dengan berubahnya warna larutan menjadi bening atau tidak berwarna Bismo, Kartohardjono & Widodo, n.d).

Reaksi Ozon dengan KI



Pembebasan iodium dititrasi dengan natrium tiosulfat ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ):



### 3.4.1.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan saat melakukan uji produktivitas ozonator antara lain: ozonator merek Resun RSO 9508 (laju alir ozonator 1200 L/jam), Erlenmeyer, stopwatch dan bubbler.

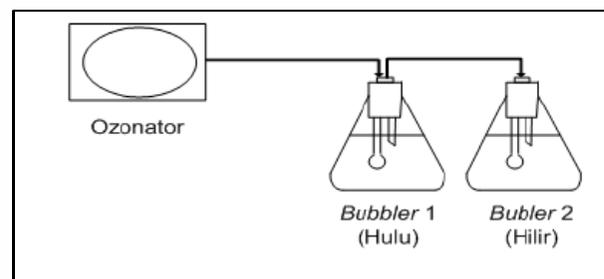
Bahan yang digunakan antara lain :

1. KI 0,12 N (20 gr KI dilarutkan ke dalam aquades hingga mencapai 1000 mL)
2.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  2 N (14 mL  $\text{H}_2\text{SO}_4$  18 N diencerkan sehingga diperoleh larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  2 N sebanyak 250 mL)
3.  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  0,005 N (0,62 gram  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  dilarutkan kedalam aquades hingga mencapai volume 1000 mL)
4. Indikator amilum
5. Akuades

### 3.4.1.2 Prosedur

Prosedur pengujian produktivitas ozonator adalah (Bismo, Kartohardjono & Karamah, n.d) :

1. Larutan KI dimasukkan ke dalam *gas washing bottle (bubbler)* yang terdiri dari bagian hulu dan hilir masing-masing sebanyak 200 mL, kemudian ozonator mulai dinyalakan dan dilewatkan ke dalam *bubbler*
2. Pengambilan sampel dilakukan ketika warna larutan KI berubah dari bening menjadi kuning muda
3. Sebelum titrasi dengan  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , sampel ditambahkan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  2N sebanyak 10 mL dan indikator amilum hingga warna larutan menjadi biru tua (menandakan terkandungnya  $\text{I}_2$  dalam sampel)
4. Titrasi dihentikan sampai larutan yang berwarna biru tua menjadi bening
5. Perlakuan ini dilakukan terhadap sampel bagian hulu dan hilir



**Gambar 3.9** Sketsa Percobaan Produktivitas Ozonator

### 3.4.2 Uji Hidrodinamika

Uji hidrodinamika dilakukan untuk melihat pengaruh penggunaan ozon terhadap kinerja membran serta pengaruh laju alir terhadap ozon terlarut. Hasil yang didapatkan dari uji hidrodinamika ini adalah gambaran mengenai pengaruh penggunaan ozon terhadap kinerja membran (fluksi permeal dan  $\Delta P$ ) serta nilai laju alir optimum yang dapat melarutkan ozon dalam jumlah besar.

#### 3.4.2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan saat melakukan uji hidrodinamika antara lain : satu unit pengolahan air yang menggunakan Proses Oksidasi Lanjut (ozonasi dan kavitasi hidrodinamik) dan Proses filtrasi membran keramik, manometer digital, stopwatch, gelas ukur dan erlenmeyer

Bahan yang digunakan saat melakukan uji hidrodinamika antara lain : :

1. Air Sumur DTK FT UI.
2. Aquadest
3. KI 0,12 N (20 gr KI dilarutkan ke dalam aquades hingga mencapai 1000 mL)
4.  $H_2SO_4$  2 N (14 mL  $H_2SO_4$  18 N diencerkan sehingga diperoleh larutan  $H_2SO_4$  2 N sebanyak 250 mL)
5.  $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$  0,005 N (0,62 gram  $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$  dilarutkan kedalam aquades hingga mencapai volume 1000 mL)
6. Indikator amilum

#### 3.4.2.2 Prosedur

Prosedur percobaan pengaruh ozon terhadap kinerja membran keramik adalah :

1. Isi tangki umpan dengan air sumur yang berasal dari DTK FT UI dengan volume 150 liter.
2. Nyalakan pompa, kemudian atur laju alir menjadi 200 L/jam. Setelah air sudah melalui membran, kemudian alirkan ozon/udara melalui injektor.
3. Setelah aliran *steady*, alat pengukur beda tekanan (manometer) dihidupkan dan mulai diukur waktunya. Rentang waktu yang digunakan adalah 60 menit.

4. Mengambil data fluksi permeat setiap 5 menit dan *pressure drop* ( $\Delta P$ ) membran setiap 10 menit.
5. Melihat gambaran pengaruh penggunaan ozon maupun udara terhadap kinerja membran.

Prosedur percobaan pengaruh laju alir terhadap ozon terlarut dalam air adalah :

1. Isi tangki umpan dengan air sumur yang berasal dari DTK FT UI dengan volume 150 liter.
2. Nyalakan pompa, kemudian atur laju alir menjadi 200 L/jam. Setelah air sudah melalui membran, kemudian alirkan ozon melalui injektor.
3. Setelah aliran *steady* mulai diukur waktunya. Rentang waktu yang digunakan adalah 30 menit.
4. Mengambil sampel air sebelum masuk membran pada waktu 10 menit, 20 menit dan 30 menit untuk kemudian melakukan titrasi iodometri untuk menentukan kadar ozon yang terdapat dalam air.

Prosedur pengujian kadar ozon dalam air dengan metode titrasi iodometri adalah :

- Ambil sampel air sebelum melewati membran pada *sampling port* sebanyak 25 ml dan tambahkan larutan KI 0,12 N hingga volumenya menjadi 50 ml.
  - Tambahkan  $H_2SO_4$  2 N sebanyak 4 ml dan amylum hingga warna larutan menjadi agak ungu.
  - Lakukan titrasi larutan dengan  $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$  0,00025 M hingga larutan menjadi jernih kembali, kemudian catat volume (ml)  $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$  0,00025 yang dikeluarkan tersebut.
  - Diperoleh konsentrasi ozon yang larut dalam air (perhitungan kadar ozon dalam air dapat dilihat pada **Lampiran 5**)
5. Mengulangi percobaan dengan laju alir 240 L/jam dan 280 L/jam.

### 3.4.3 Uji Kinerja Penyisihan Bahan Pencemar

Uji kinerja untuk unit pengolahan air ini dikhususkan pada uji kinerja penyisihan besi, mangan, amonia dan LAS (secara terpisah maupun bersama). Laju alir umpan yang digunakan adalah laju alir optimum yang didapat pada uji hidrodinamika.

Air umpan yang mengandung besi dimasukkan ke unit pengolahan air yang menggunakan proses oksidasi lanjut (ozonasi dan kavitasi hidrodinamik) serta proses filtrasi membran keramik secara bertingkat tiga 3 (*retentate* hasil filtrasi dimasukkan lagi ke dalam reservoir untuk diproses kembali, *recycle* terhadap *retentate* dilakukan 2 kali). Setelah proses pengolahan air dilakukan, sampel diambil setiap awal (0 menit), 10 menit, 20 menit dan 30 menit untuk kemudian dianalisa kandungan besi nilai pH, TDS dan DO. Hal yang sama dilakukan untuk sampel dengan bahan pencemar mangan, amonia dan LAS (secara terpisah dan bersama).

#### 3.4.3.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan saat uji kinerja ini antara lain ozonator merk Resun (Produktivitas 0,113 gr O<sub>3</sub>/jam dan laju alir 1200 L/jam), membran keramik, manometer digital, pH meter, TDS meter dan DO meter. Sedangkan bahan-bahan yang digunakan adalah air sumur DTK FTUI, NH<sub>4</sub>CL, Deterjen Attack (mengandung 25% LAS), FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, MnCl<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O dan Aquadest

#### 3.4.3.2 Prosedur

Tahapan percobaan untuk uji kinerja bahan pencemar adalah :

1. Mencampurkan bahan pencemar sintetik amonia, LAS, besi dan mangan (secara terpisah dan bersama-sama) ke dalam reservoir
2. Air umpan yang telah mengandung bahan pencemar sintetik tersebut dialirkan ke unit pengolahan air yang menggunakan Proses Oksidasi Lanjut (ozonasi dan kavitasi hidrodinamik) dan filtrasi membran secara bertingkat tiga (yaitu : *retentate* hasil filtrasi dimasukkan lagi ke dalam reservoir untuk diproses kembali, *recycle* terhadap *retentate* dilakukan 2 kali). Proses pengolahan air tersebut memerlukan waktu setiap tingkat selama 30 menit.

3. Melakukan pengukuran fluksi permeat dan  $\Delta P$  (untuk mengetahui kinerja membran), serta konsentrasi bahan pencemar (amonia, LAS, besi dan mangan secara terpisah maupun bersama), nilai pH, TDS dan DO. Sampel diambil setiap awal (0 menit), 10 menit, 20 menit dan 30 menit.

#### 3.4.4 Analisa Sampel

Sampel dianalisa berdasarkan parameter-parameter kualitas air seperti kandungan amonia, LAS, besi dan mangan, serta pH, TDS dan DO. Kandungan besi dan mangan dalam air diukur dengan menggunakan metode AAS (*Atomic Absorbtion Spectrofotometer* atau Spektrometri Serapan Atom), sedangkan kandungan amonia dengan metode spektrofotometri Nessler (menggunakan kolorimeter dan diukur pada panjang gelombang antara 400-425 nm). Untuk analisa LAS menggunakan MBAS (*methylene blue active substances*/senyawa aktif biru metilen). Analisa kandungan amonia, LAS, besi dan mangan dalam air dilakukan di Laboratorium Afiliasi Fakultas MIPA UI. Pengukuran pH, TDS dan DO dilakukan sendiri dengan menggunakan alat pH meter, TDS meter dan DO meter.

#### 3.4.5 Pengolahan Data

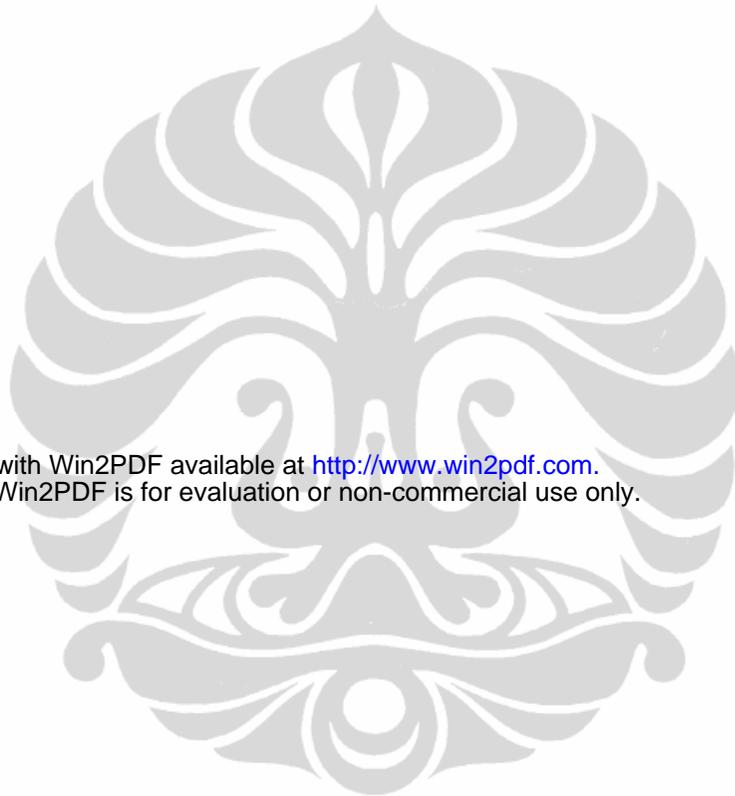
Pengolahan data dilakukan dengan menghitung persentase penyisihan besi, mangan, amonia dan LAS. Persentase penyisihan bahan pencemar tersebut dilakukan dengan rumus sebagai berikut :

$$\% \text{ penyisihan} = \frac{KLU - KLP}{KLU} \times 100 \% \quad (3.4)$$

Dimana :

KLU = Kandungan bahan pencemar umpan

KLP = Kandungan bahan pencemar *permeate*



This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dievaluasi kinerja unit pengolahan air dengan proses oksidasi lanjut (ozonasi/kavitasi hidrodinamik) dan filtrasi membran keramik dalam menyisihkan besi, mangan, amonia serta LAS (secara sendiri maupun bersama) dan pengaruhnya terhadap pH, TDS maupun DO. Kinerja membran juga akan dievaluasi dengan meninjau dari *pressure drop* ( $\Delta P$ ) dan *fluks permeat*. Analisa dan pembahasan yang akan dikaji yaitu uji hidrodinamika, uji kinerja unit pengolahan air dalam menyisihkan besi, mangan, amonia dan LAS (secara sendiri maupun bersama) dan uji kinerja membran.

#### 4.1 Uji Produktivitas Ozonator

Pengujian produktivitas ozonator ini bertujuan untuk mengetahui jumlah ozon yang diproduksi oleh ozonator merk resun RSO 9508 melalui metode iodometri. Reaksi ozon dengan KI (persamaan 3.1-3.3, pada **halaman 41**) berjalan cepat sampai selesai dan tidak ada reaksi samping. Dari persamaan reaksi tersebut, maka jumlah mol ozon yang terbentuk oleh ozonator akan sama dengan setengah jumlah mol natrium tiosulfat yang terpakai. Jumlah tersebut dibagi dengan waktu yang diperlukan ozon untuk mengoksidasi KI sehingga akan diperoleh produktivitas ozon.

Jumlah ozon yang dihasilkan berdasarkan pengolahan data (**Tabel 4.1**). Produktivitas ozon dari ozonator merk Resun RSO 9508 sebesar 0,113 g/jam.

**Tabel 4.1.** Data Uji Produktivitas Ozonator Merk Resun RSO 9508

Q (L/jam)	t min	t (detik)	V Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .5H <sub>2</sub> O (ml)		Prod. ozon (gr/jam)
			hulu	hilir	
1200	1	60	34	1	0,126
1200	3	180	111	2	0,136
1200	5	300	166.9	5	0,124
1200	10	600	268.5	6.8	0,099
1200	15	900	382	16.5	0,096
1200	20	1200	527	21	0,099
Produktivitas Ozon rata-rata (gr/jam)					0,113

## 4.2 Uji Hidrodinamika

Pada uji hidrodinamika ini, akan dilihat pengaruh penggunaan ozon terhadap kinerja membran serta pengaruh laju alir terhadap ozon terlarut. Parameter kinerja membran yang dievaluasi adalah (fluksi *permeat* dan  $\Delta P$ ). Sedangkan untuk mengetahui pengaruh alir terhadap ozon terlarut akan digunakan variasi laju alir 200, 240 dan 280 L/jam. Hasil terbaik yang didapat dalam uji hidrodinamika akan digunakan dalam uji kinerja penyisihan besi, mangan, amonia dan LAS (secara sendiri maupun bersama) yang menggunakan proses oksidasi lanjut (ozonasi/kavitasi hidrodinamik) dan filtrasi membran keramik.

### 4.2.1 Pengaruh Penggunaan Ozon Terhadap Kinerja Membran

Dalam uji pengaruh penggunaan ozon terhadap kinerja membran ini digunakan ozonator merk Resun dengan produktivitas ozonator rata-rata sebesar 0,113 gr O<sub>3</sub>/jam dan membran keramik mikrofiltrasi (tinggi 20 inc). Laju alir yang digunakan adalah 200 L/jam. Laju alir ozon dan udara yang digunakan adalah  $\pm 1200$  L/jam. Air umpan yang digunakan adalah air sumur DTK FTUI. Data yang diperoleh dijelaskan di bawah ini.

#### 4.2.1.1 Pengaruh Penggunaan Ozon Terhadap Fluksi Permeat

Pada uji hidrodinamika kali ini, akan dilihat pengaruh penggunaan perlakuan awal dengan ozon serta udara terhadap fluksi permeat yang melewati membran pada waktu tertentu. Dimana rumus fluksi permeat dapat dilihat pada persamaan 2.12 dan 2.13 (**halaman 32**). Perhitungan lengkapnya dapat dilihat pada **Lampiran 4**.

Dari **Gambar 4.1(a)** dapat dilihat bahwa pada proses filtrasi dengan perlakuan awal menggunakan ozon, menunjukkan fuksi permeat yang lebih besar dibandingkan dengan perlakuan awal menggunakan udara. Selain itu juga dapat dilihat dengan menggunakan ozon, maka penurunan fluks akan terjadi lebih lama dibandingkan dengan udara. Penurunan fluks dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti : polarisasi konsentrasi, adsorpsi, terbentuk lapisan gel (disebabkan mikroorganisme), dan penyumbatan pada pori. Karena ozon merupakan disinfektan serta oksidan kuat, maka menjadikannya efektif dalam menyisihkan

mikroorganisme serta senyawa organik (yang terkandung dalam air sumur) penyebab *fouling* sehingga tahanan pada membran menjadi lebih kecil dan fluks *permeat* menjadi lebih besar.

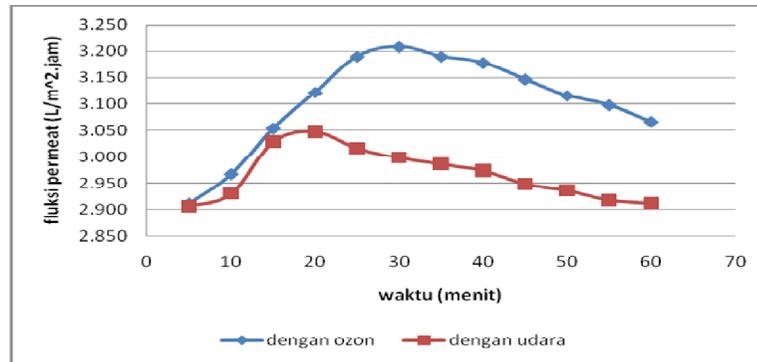
#### 4.2.1.2 Pengaruh Penggunaan Ozon Terhadap $\Delta P$

Dalam uji hidrodinamika ini pun akan dilihat pengaruh penggunaan ozon terhadap *pressure drop* ( $\Delta P$ ). Pada **Gambar 4.1.(b)** terlihat bahwa dari menit awal (0 menit) sampai menit ke-30,  $\Delta P$  pada proses filtrasi yang menggunakan perlakuan awal dengan ozon terjadi sedikit kenaikan. Hal tersebut dikarenakan pada menit ke 0 sampai 30, tahanan (*resistance*) membran menurun (dan fluksi *permeat* naik (**Gambar 4.1(c), 4.1(a)**, mengacu **persamaan 2.14**). Kemudian kenaikan  $\Delta P$  yang sangat tinggi baru terjadi setelah menit ke-30, hal itu menggambarkan bahwa telah terjadinya *fouling* pada menit tersebut (sehingga fluksi *permeat* menjadi turun, **Gambar 4.1(a)**).

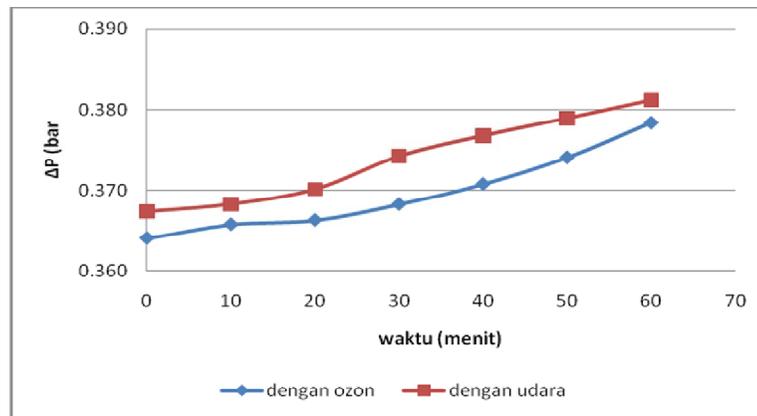
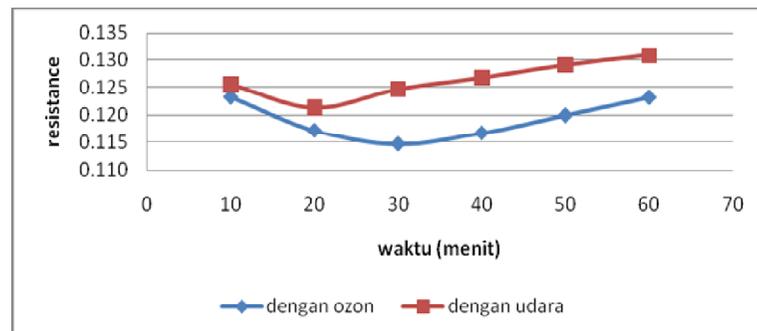
Pori-pori membran yang baru digunakan biasanya masih tersumbat oleh material kecil pembentuk membran sehingga menyebabkan tahanan awal membran menjadi besar. Dengan semakin lamanya membran dialiri air menyebabkan material yang menyumbat pori akan terkikis sehingga tahanan pada membran-pun akan turun, dan *fluks permeate* menjadi tinggi (**Gambar 4.25**). Namun jika membran terus-menerus dialiri oleh air umpan (terutama yang mengandung konsentrasi bahan pencemar tinggi), maka tahanan pada membran akan dapat meningkat lagi, akibat dari terbentuknya *fouling*.

Sedangkan proses filtrasi yang menggunakan perlakuan awal dengan udara,  $\Delta P$  meningkat sangat tinggi setelah menit ke-20. Hal itu terjadi karena sudah terjadi *fouling* pada menit ke 20, yang mengakibatkan tahanan membran dan  $\Delta P$  menjadi besar serta fluks *permeat* menjadi menurun.

Dari sini, dapat disimpulkan bahwa pada proses filtrasi dengan perlakuan awal menggunakan ozon, menjadikan *fouling* membran terjadi lebih lama dibandingkan dengan menggunakan udara.



(a) Hubungan Antara Fluks Permeat Terhadap Waktu

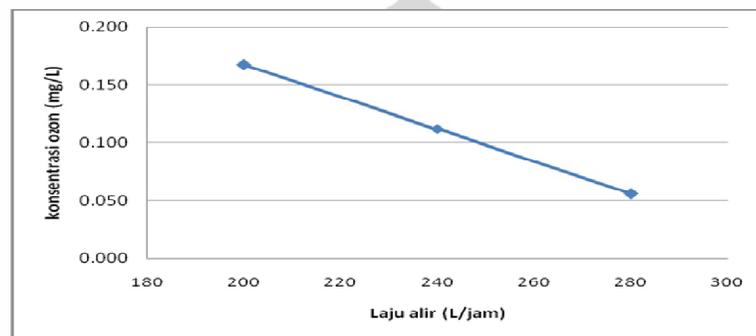
(b) Hubungan Antara  $\Delta P$  Terhadap Waktu

(c) Hubungan Antara Resistan Terhadap Waktu

**Gambar 4.1** Pengaruh Penggunaan Ozon Terhadap Kinerja Membran

#### 4.2.2 Pengaruh Laju Alir Air Terhadap Ozon Terlarut Dalam Air

Pengujian pengaruh laju alir terhadap ozon terlarut dalam air ini, menggunakan ozonator merk Resun dengan produktivitas ozon rata-rata 0,113 gr/jam dan laju alir rata-rata ozon sebesar 1200 L/jam. Variasi laju alir air yang digunakan adalah 200 L/jam, 240 L/jam dan 280 L/jam. Air umpan yang digunakan berasal dari air sumur DTK FTUI. Hasil Pengujian pengaruh laju alir terhadap ozon terlarut dalam air adalah sebagai berikut :



**Gambar 4.2** Hubungan Laju Alir Air Terhadap Ozon Terlarut Dalam Air

**Gambar 4.2** memperlihatkan bahwa semakin kecil laju alir air, maka konsentrasi ozon di dalam air semakin besar. Hal tersebut terjadi karena, dengan laju alir yang rendah menyebabkan waktu kontak air dengan ozon menjadi lebih lama dan pada akhirnya menyebabkan konsentrasi ozon dalam air menjadi semakin besar. Selain itu juga karena injektor venturi merk Mazzei dapat bekerja secara optimal pada laju alir  $> 3$  L/menit ( $200$  L/jam =  $3,33$  L/menit), sehingga gelembung mikro yang tercipta semakin banyak dan memperbesar luas permukaan kontak ozon dengan air sehingga pencampuran ozon dengan air dapat terjadi dengan baik.

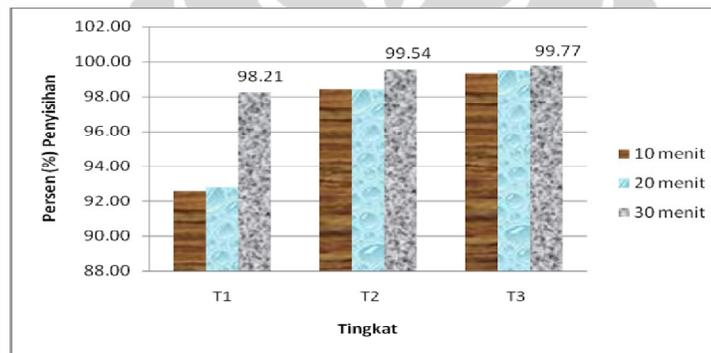
#### 4.3 Penyisihan Logam Besi

Penyisihan logam besi ini dilakukan dengan proses oksidasi lanjut - filtrasi membran keramik bertingkat 3 (*retentate* hasil filtrasi dimasukkan kembali ke dalam *reservoir* untuk diproses kembali, *recycle* terhadap *retentate* dilakukan 2 kali), selain itu juga akan di uji parameter pH, TDS, DO, fluks *permeat* serta  $\Delta P$ . Laju alir air yang digunakan diambil dari laju alir air optimum pada uji hidrodinamika (200 L/jam).

### 4.3.1 Persen Penyisihan Logam Besi

**Gambar 4.3** memperlihatkan bahwa penyisihan logam besi dengan proses oksidasi lanjut-filtrasi membran keramik berjalan sangat baik dengan persentase penyisihan total sebesar 99,78 %. Dimana konsentrasi awal besi pada tingkat satu sebesar 4,46 mg/L dan konsentrasi besi pada akhir pengolahan (tingkat tiga, menit ke-30) sebesar < 0,01 mg/L.

Kadar logam besi yang diperbolehkan dalam air minum berdasarkan KEPMENKES No.907/MENKES/SK/VII/2002 sebesar 0,3 mg/L, sehingga proses penyisihan logam besi dengan oksidasi lanjut-filtrasi membran keramik pada penelitian ini telah mampu memenuhi standar tersebut.



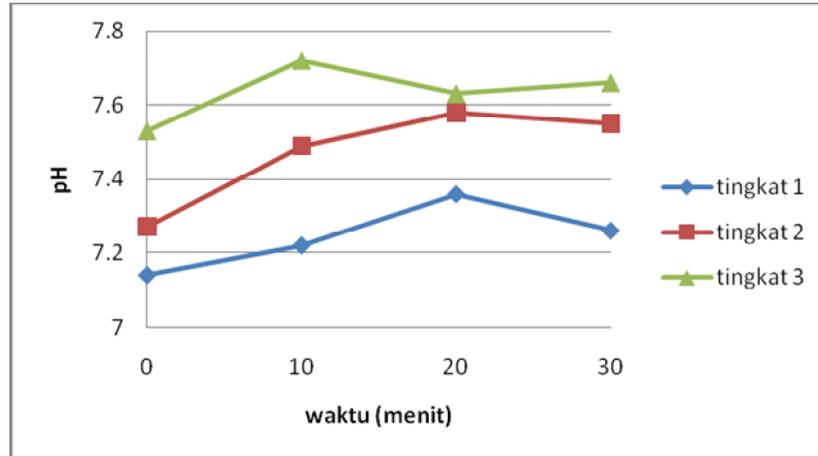
**Gambar 4.3.** Persen Penyisihan Logam Besi

Reaksi oksidasi besi oleh ozon berlangsung menurut persamaan reaksi 2.1 (Karamah, Bismo, Wdyaningrum, n.d) :



Dari persamaan diatas, secara teoritis kebutuhan ozon untuk mengoksidasi besi dalam air adalah 0,43 mg O<sub>3</sub>/mg Fe<sup>2+</sup>. Sehingga untuk mengoksidasi kandungan Fe<sup>2+</sup> sebesar 5 ppm dibutuhkan kadar ozon sebesar 2,15 mg O<sub>3</sub>/L sedangkan kandungan ozon dalam air hanya 0.168 mg O<sub>3</sub>/L di dalam air, tetapi karena Fe<sup>2+</sup> juga sangat mudah teroksidasi membentuk Fe<sup>3+</sup> (dapat dideteksi dengan berubahnya warna air menjadi kekuningan) oleh oksigen yang terdapat di dalam air maupun oksigen yang masuk karena pertukaran dengan udara sekitar, maka jumlah Fe<sup>2+</sup> yang teroksidasi juga meningkat, selain itu juga dengan adanya kavitasi pada proses oksidasi lanjut maka dapat meningkatkan konsentrasi radikal hidroksida yang cukup efektif untuk menyisihkan logam besi ( $k_{\text{OH}} = 3,5 \times 10^8$  /M.s dan  $k_{\text{O}_3} = 8,2 \times 10^5$  /M.s) (Gunten, 2003a).

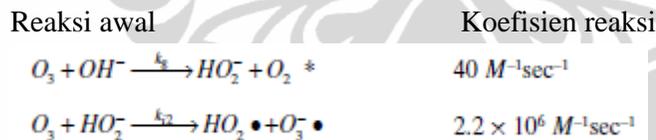
### 4.3.2 Perubahan pH pada Proses Penyisihan Logam Besi



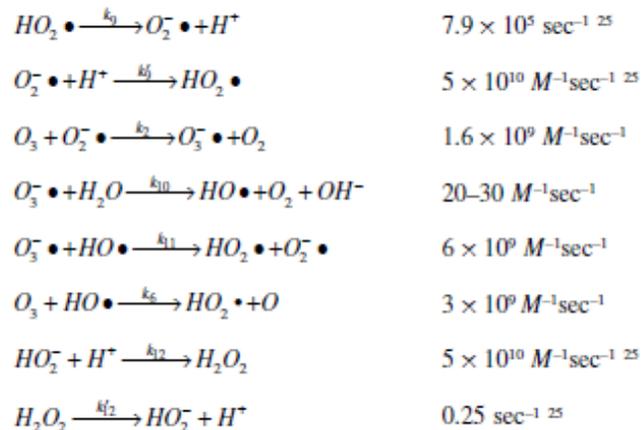
**Gambar 4.4** Perubahan pH Terhadap Waktu pada Proses Penyisihan Logam Besi

Pada proses oksidasi besi ini, pH larutan cenderung meningkat (**Gambar 4.4**). Kenaikan pH dapat disebabkan akibat dari terbentuknya ion hidroksida saat dekomposisi ozon (pada reaksi akhir).

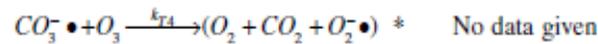
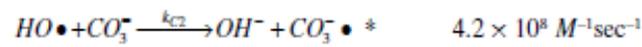
Berikut merupakan mekanisme dekomposisi ozon dalam air bersih menurut Tomiyasu, Fukutomi dan Gordon (Bealtran, 2004) :



Reaksi penyebaran (*propagation reaction*)

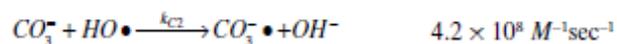
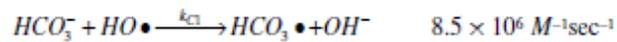


Reaksi akhir



Pada reaksi akhir dari dekomposisi ozon seperti terlihat di atas, ion hidroksida/ $OH^-$  akan terbentuk (koefisien reaksi  $2,5 \times 10^9 /M.s$  dan  $4,2 \times 10^8 /M.s$ ). Dari koefisien reaksi yang cukup tinggi tersebut, kecenderungan terbentuknya  $OH^-$  akan semakin besar. Dengan meningkatnya kandungan  $OH^-$  akan menyebabkan pH larutan semakin meningkat. Peningkatan jumlah  $OH^-$  dalam air dapat menyebabkan terhidrolisisnya beberapa logam yang terlarut dalam air membentuk hidroksida. Pembentukan hidroksida ini kemungkinan besar dapat terjadi pula untuk logam besi menjadi  $2 Fe(OH)_3$ .

Selain itu, hasil dekomposisi ozon berupa  $OH$  radikal juga akan bereaksi dengan zat-zat organik di dalam air, beberapa contohnya adalah reaksi  $OH$  radikal dengan ion  $HCO_3^-$  dan  $CO_3^{2-}$  (air tanah biasanya mengandung karbonat) dimana akan menghasilkan ion hidroksida. Reaksi yang melibatkan karbonat selama proses ozonasi yaitu sebagai berikut (Bealtran, 2004):

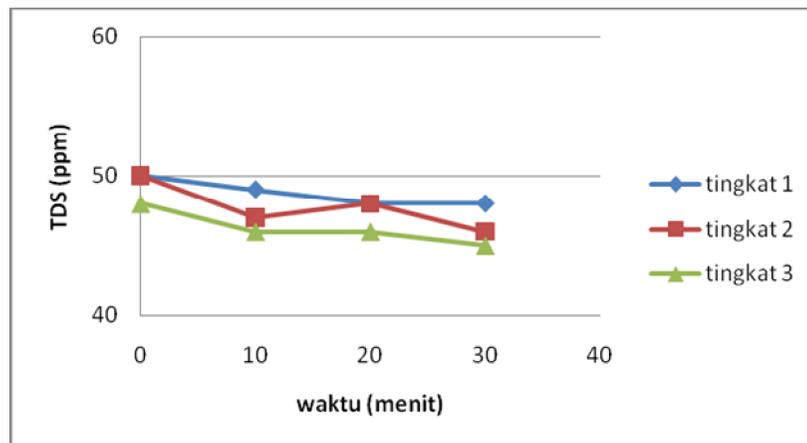


### 4.3.3 Perubahan TDS pada Proses Penyisihan Logam Besi

TDS (*Total Dissolved Solid*) menunjukkan jumlah zat padat terlarut yang terdiri dari garam-garam anorganik dan sejumlah kecil zat organik. Ion yang mempengaruhi TDS adalah 5 jenis anion (karbonat, bikarbonat, sulfat, klor, dan nitrat) dan 4 kation (kalium, natrium, kalsium, dan magnesium).

Pada penyisihan logam besi dengan menggunakan proses oksidasi lanjut-filtrasi membran keramik tidak menunjukkan penurunan TDS yang signifikan (**Gambar 4.5**). Hal tersebut disebabkan karena tidak mampunya membran keramik (mikrofiltrasi) menyisihkan ion-ion yang terdapat di dalam air, baik ion yang terbentuk dari hasil reaksi dengan ozon maupun ion yang memang sudah terkandung di dalam air umpan (air tanah).

Membran keramik (mikrofiltrasi) memiliki ukuran pori sebesar 0,9  $\mu\text{m}$ , yang jauh lebih besar dari ukuran ion-ion tersebut sehingga tidak dapat melakukan penyisihan TDS. Membran yang memiliki ukuran nano (Nanofiltrasi) dan membran RO (*Reverse Osmosis*) banyak digunakan untuk penyisihan TDS dikarenakan ukuran porinya yang sangat kecil hingga kurang dari 10 Angstrom.

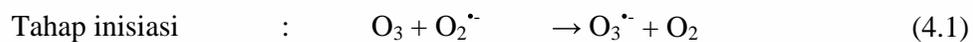


**Gambar 4.5** Perubahan TDS Terhadap Waktu pada Proses Penyisihan Logam Besi

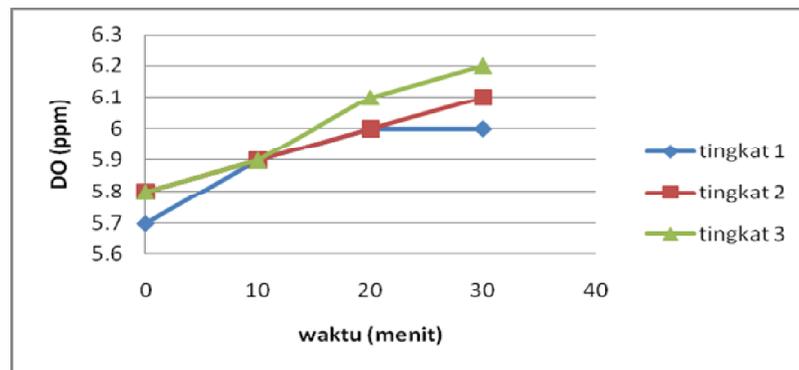
#### 4.3.4 Perubahan DO pada Proses Penyisihan Logam Besi

Hasil pengukuran DO dapat dilihat pada **Gambar 4.6**, yang menunjukkan bahwa semakin meningkatnya waktu proses maka DO juga semakin meningkat. Semakin lamanya proses ozonasi akan menyebabkan semakin banyaknya ozon yang terdekomposisi menjadi oksigen, sehingga kandungan oksigen terlarut dalam air cenderung meningkat. Namun peningkatan ini tidak terlalu signifikan karena dalam proses, ozon yang ditambahkan kecil sekali, yaitu sebesar 0,113 gram/jam, yang didapatkan dari hasil uji produktivitas ozonator.

Oksigen yang terlarut dalam air dapat diperoleh dari reaksi tidak langsung ozon dimana ozon terdekomposisi menjadi  $\text{O}_2$ . Adapun reaksinya adalah sebagai berikut (Bealtran, 2004):



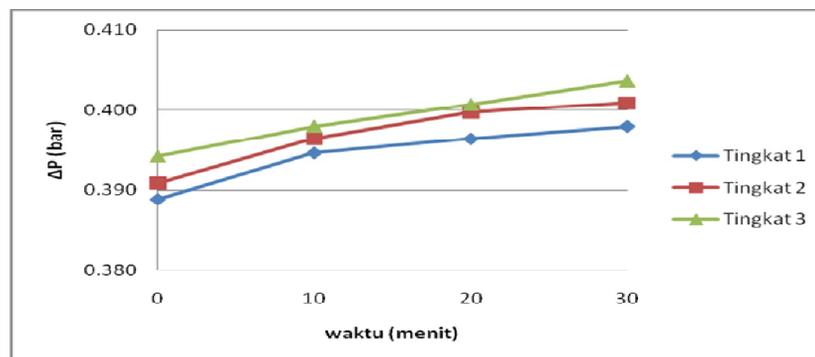
Kondisi ozon yang tidak stabil memungkinkan untuk menghasilkan gas oksigen sehingga kadar DO dalam air meningkat. Kondisi lain juga dapat meningkatkan oksigen terlarut yaitu gas oksigen yang ada pada lingkungan dapat terlarut dalam air yang juga dapat menembus membran sehingga mempengaruhi pengukuran.



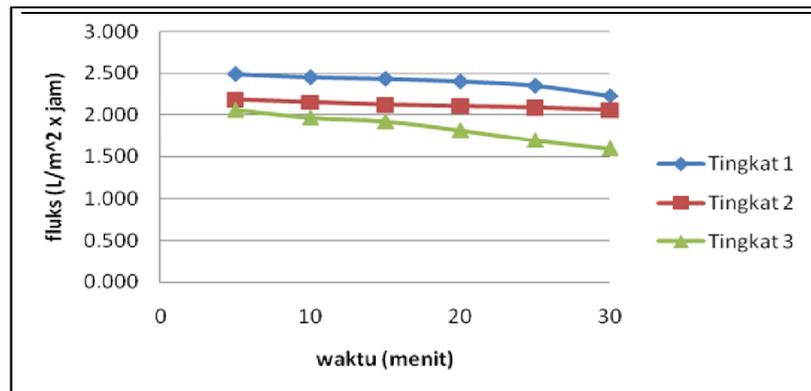
**Gambar 4.6** Perubahan DO Terhadap Waktu pada Proses Penyisihan Logam Besi

#### 4.3.5 Kinerja Membran Keramik Dalam Penyisihan Logam Besi

Pada **Gambar 4.7** terlihat bahwa terjadi peningkatan  $\Delta P$  dari menit awal (0 menit) sampai dengan menit ke-30 dan pada **Gambar 4.8** fluks *permeate* terlihat cenderung menurun seiring dengan bertambahnya waktu pengolahan. Hal tersebut mengindikasikan bahwa telah terjadi *fouling* pada membran oleh  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  yang terbentuk sebagai hasil oksidasi dari  $\text{Fe}^{2+}$  dalam air. Dengan semakin banyak *fouling* yang terbentuk menyebabkan tahanan pada membran menjadi besar, sehingga akan meningkatkan  $\Delta P$  dan menurunkan fluks permeat.



**Gambar 4.7** Pengaruh Proses Oksidasi Lanjut dan Filtrasi Membran Dalam Penyisihan Logam Besi Terhadap  $\Delta P$



**Gambar 4.8** Pengaruh Proses Oksidasi Lanjut dan Filtrasi Membran Dalam Penyisihan Logam Besi Terhadap *Fluks Permeate*

#### 4.4 Penyisihan Mangan

Seperti halnya pada penyisihan logam besi, penyisihan mangan-pun dilakukan dengan proses oksidasi lanjut - filtrasi membran keramik bertingkat 3. Perubahan pH, TDS dan DO pada proses penyisihan mangan juga akan diukur. Kinerja membran akan dilihat dari pengukuran fluks *permeate* serta  $\Delta P$ , sedangkan laju alir air yang digunakan diambil dari laju alir air optimum pada uji hidrodinamika (200 L/jam).

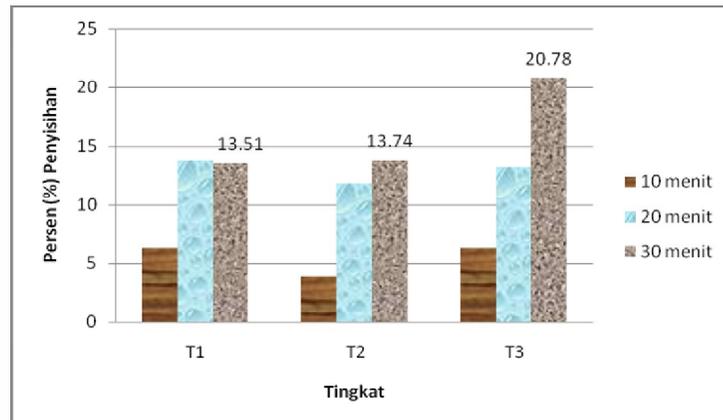
##### 4.4.1 Persen Penyisihan Mangan

Reaksi oksidasi mangan oleh ozon adalah sebagai berikut (mengacu pada persamaan 2.2) :



Dari persamaan diatas, secara teoritis kebutuhan ozon untuk mengoksidasi mangan dalam air adalah 0,88 mg O<sub>3</sub>/mg Mn<sup>2+</sup>. Sehingga untuk mengoksidasi kandungan Mn<sup>2+</sup> sebesar 5 ppm dibutuhkan kadar ozon sebesar 4,4 mg O<sub>3</sub>/L sedangkan kandungan ozon dalam air hanya sekitar 0.168 mg/L. Oleh sebab itu hanya sedikit logam mangan yang dapat disisihkan meskipun pada proses pengolahan air tersebut telah ditambahkan kavitas hidrodinamik pada proses oksidasi lanjut untuk meningkatkan konsentrasi radikal hidroksida, namun karena konstanta kecepatan reaksi mangan dengan radikal hidroksida maupun ozon relatif kecil jika dibandingkan dengan besi, maka penyisihan logam mangan-pun

menjadi tidak terlalu besar dibanding dengan logam besi ( $\text{Mn(II)}$ )  $k_{\text{O}_3} = 1,5 \times 10^3/\text{M.s}$  dan  $\text{Mn(II)}$   $k_{\text{OH}\cdot} = 2,6 \times 10^7/\text{M.s}$ ).

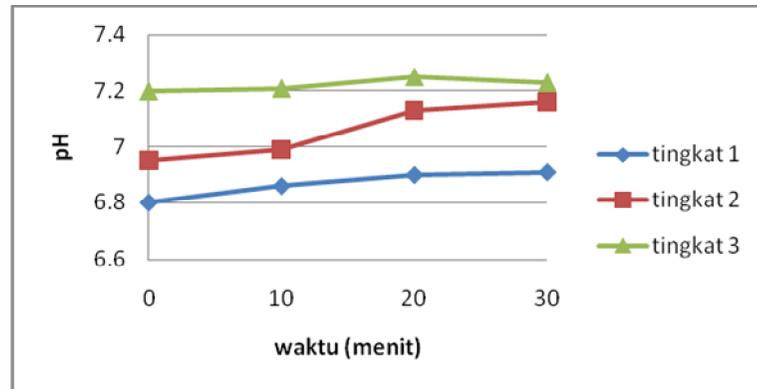


**Gambar 4.9.** Persen Penyisihan Mangan

#### 4.4.2 Perubahan pH pada Proses Penyisihan Mangan

Sama halnya dengan logam besi, pengukuran pH pada proses penyisihan mangan-pun menunjukkan kecenderungan peningkatan pH seiring dengan meningkatnya waktu proses. Kenaikan pH tersebut dapat disebabkan akibat dari reaksi akhir ozon dalam air yang menghasilkan ion hidroksidal ( $\text{OH}^\cdot$ ). Selain itu,  $\text{OH}^\cdot$  radikal yang merupakan hasil dekomposisi dari ozon juga akan bereaksi dengan zat-zat organik di dalam air (seperti  $\text{HCO}_3^-$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$ ) dan akan menghasilkan ion hidroksida. Semakin banyaknya ion hidroksida yang terbentuk, menyebabkan pH larutan menjadi tinggi.

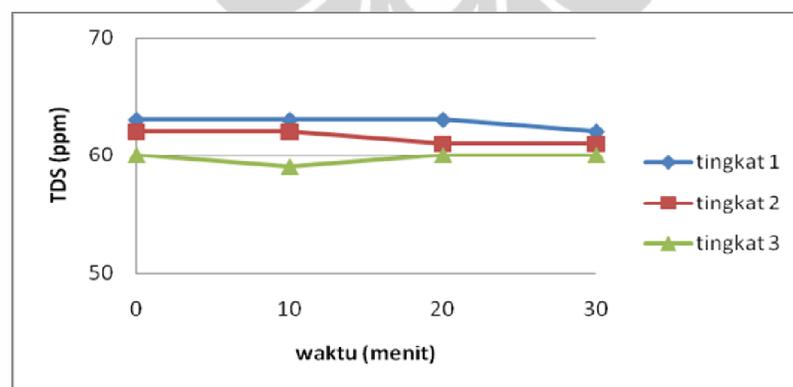
Pada **Gambar 4.10**, terlihat bahwa pH awal pada setiap tingkat berkisar 6,8 - 7,2 hal tersebut menyebabkan proses oksidasi antara mangan dengan ozon maupun  $\text{OH}^\cdot$  berjalan kurang maksimal, karena oksidasi mangan akan efektif pada kisaran pH 8 (Jian-yu Lu et al., 2009).



**Gambar 4.10** Perubahan pH Terhadap Waktu pada Proses Penyisihan Mangan

#### 4.4.3 Perubahan TDS pada Proses Penyisihan Mangan

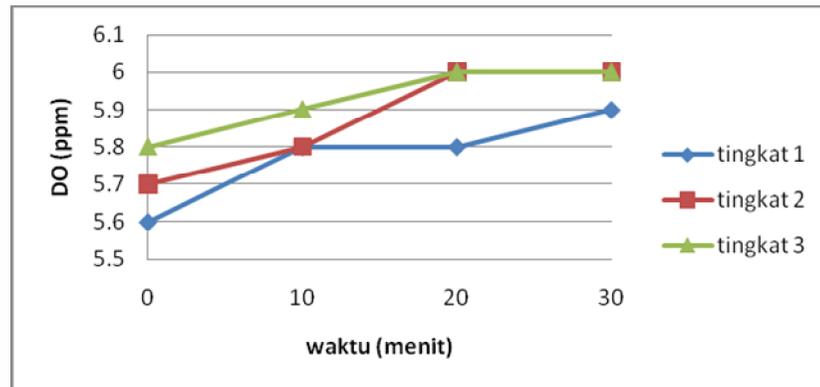
Dikarenakan membran yang digunakan masih sama seperti pada penyisihan logam besi (membran keramik mikrofiltrasi), menyebabkan karakteristik nilai TDS juga cenderung sama, yaitu tidak terjadi penurunan yang signifikan. Penurunan TDS yang tidak signifikan disebabkan oleh tidak mampunya membran keramik mikrofiltrasi menyisihkan TDS yang terdiri dari 5 jenis anion (karbonat, bikarbonat, sulfat, klor, dan nitrat) dan 4 kation (Kalium, natrium, kalsium, dan magnesium). Membran keramik mikrofiltrasi memiliki ukuran pori sebesar  $0,9 \mu\text{m}$ , yang jauh lebih besar dari ukuran ion-ion tersebut sehingga tidak dapat melakukan penyisihan TDS.



**Gambar 4.11** Perubahan TDS Terhadap Waktu pada Proses Penyisihan Mangan

#### 4.4.4 Perubahan DO pada Proses Penyisihan Mangan

Pada **Gambar 4.12**, menunjukkan bahwa semakin meningkatnya waktu proses maka DO juga semakin meningkat. Peningkatan DO akibat kondisi ozon yang tidak stabil menyebabkan ozon mudah terdekomposisi menjadi  $O_2$  selain itu juga gas oksigen yang ada pada lingkungan dapat terlarut dalam air yang juga dapat menembus membran sehingga mempengaruhi pengukuran.

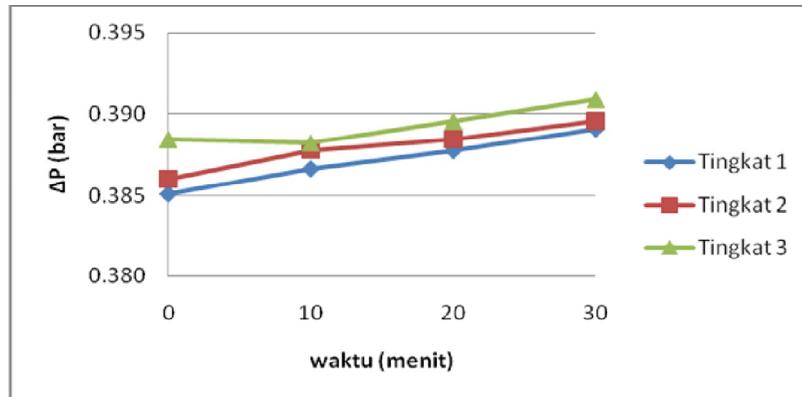


**Gambar 4.12** Perubahan DO Terhadap Waktu pada Proses Penyisihan Mangan

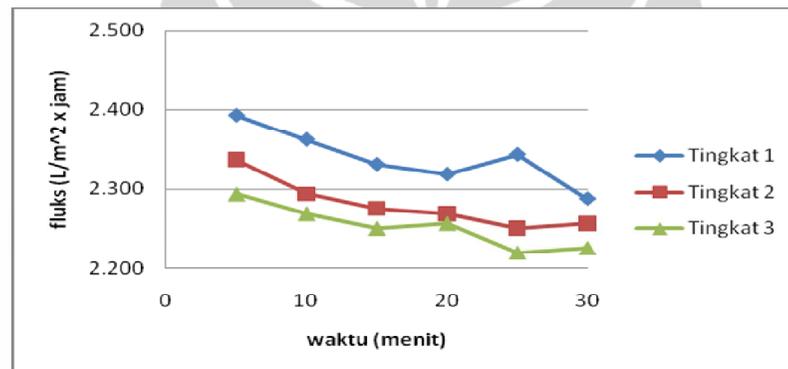
#### 4.4.5 Kinerja Membran Keramik Dalam Penyisihan Mangan

Pada **Gambar 4.13** serta **Gambar 4.14** dapat dilihat bahwa  $\Delta P$  cenderung meningkat dan fluks permeat cenderung menurun seiring dengan meningkatnya waktu proses. Hal tersebut mengindikasikan bahwa telah terjadi *fouling* pada membran yang disebabkan oleh  $MnO_2$  sebagai hasil dari oksidasi  $Mn^{2+}$ .

Oksidasi dengan ozon maupun OH radikal terhadap mangan relatif lebih lambat jika dibandingkan dengan logam besi, dimana koefisien oksidasi untuk besi (Fe (II))  $k_{O_3} = 8,2 \times 10^5/M.s$  ;  $k_{OH} = 3,5 \times 10^8/M.s$  ;  $t_{1/2} = 0,07$  s sedangkan koefisien oksidasi untuk mangan (Mn (II))  $k_{O_3} = 1,5 \times 10^3/M.s$  ;  $k_{OH} = 2,6 \times 10^7/M.s$  ;  $t_{1/2} = \sim 23$  s, sehingga menyebabkan hanya sedikit ion  $Mn^{2+}$  yang dapat teroksidasi oleh ozon maupun OH radikal. Karena hanya sedikit  $Mn^{2+}$  yang teroksidasi menyebabkan  $MnO_2$  yang terbentuk juga sedikit, sehingga *fouling* akibat  $MnO_2$  tidak terlalu besar. Terjadinya *fouling* yang tidak terlalu besar tersebut menyebabkan peningkatan  $\Delta P$  yang tidak terlalu besar juga karena tahanan pada membran kecil. Dengan sedikitnya *fouling* yang terjadi pada membran maka fluks permeat yang dihasilkan juga tidak menunjukkan penurunan yang terlalu signifikan seperti pada penyisihan logam besi.



**Gambar 4.13** Pengaruh Proses Oksidasi Lanjut dan Filtrasi Membran Dalam Penyisihan Mangan Terhadap  $\Delta P$



**Gambar 4.14** Pengaruh Proses Oksidasi Lanjut dan Filtrasi Membran Dalam Penyisihan Mangan Terhadap *Fluks Permeate*

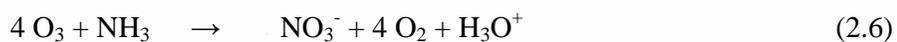
#### 4.5 Penyisihan Amonia

Pada kali ini, akan dilakukan penyisihan amonia dengan konsentrasi awal 60 mg/L (berdasarkan perhitungan larutan sintetik). Laju alir air yang digunakan 200 L/jam (laju alir optimum).

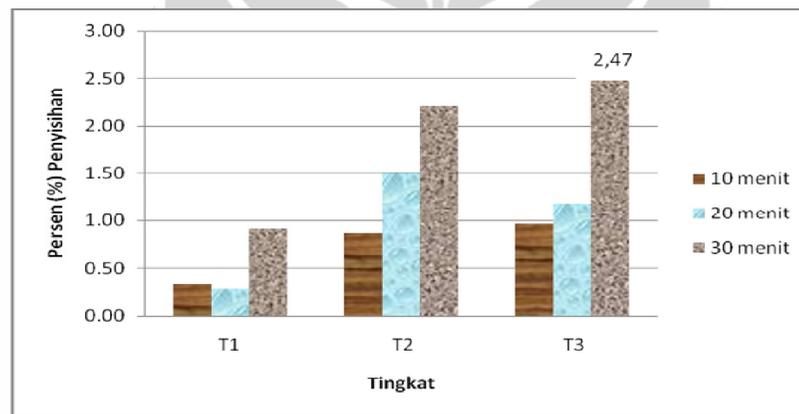
##### 4.5.1 Persentase Penyisihan Amonia

Reaksi Amonia dengan ozon berlangsung sangat lambat, diperkirakan konstanta kecepatan reaksinya dengan ozon sekitar  $20 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$  dengan  $t_{1/2} = 96$  jam (pada pH 7; konsentrasi ozon 1 mg/L) sedangkan proses oksidasi oleh OH radikal dapat berlangsung lebih cepat yaitu  $9.7 \times 10^7 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$  (Gunten, 2003a).

Berikut merupakan reaksi antara amonia dengan ozon :



Dari koefisien reaksi persamaan 2.6 diatas, kebutuhan ozon untuk mengoksidasi  $\text{NH}_3$  menjadi  $\text{NO}_3^-$  secara teori adalah sebesar 677,65 mg  $\text{O}_3/\text{L}$ . Sedangkan kandungan ozon dalam air adalah sebesar 0,168 mg  $\text{O}_3/\text{L}$ . Kebutuhan ozon yang digunakan untuk mengoksidasi amonia sangat kurang, sehingga hasil penyisihan menjadi kurang maksimal. Meskipun dalam penelitian ini telah melakukan penggabungan ozon dengan kavitasi hidrodinamik dengan tujuan untuk meningkatkan produksi OH radikal yang memiliki potensial oksidasi lebih besar, namun hal itu belum mampu menyisihkan senyawa amonia dalam jumlah yang besar. Hal tersebut dapat dilihat dari hasil percobaan pada **Gambar 4.15** yang memperlihatkan penyisihan amonia sangat kecil.



**Gambar 4.15.** Persen Penyisihan Senyawa Amonia

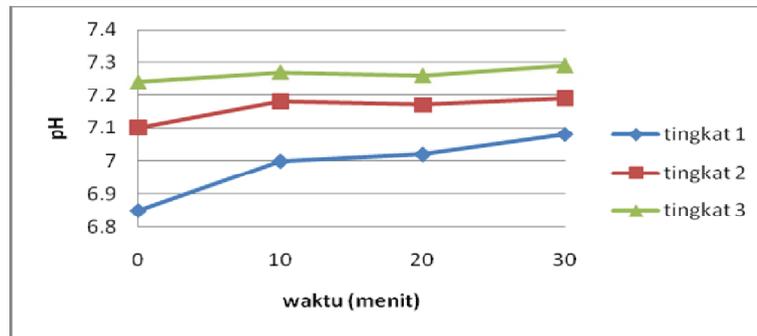
Dari **Gambar 4.15** terlihat bahwa penurunan konsentrasi amonia begitu kecil, hal tersebut terjadi karena proses oksidasi  $\text{NH}_3$  dengan ozon berlangsung lambat, sehingga penyisihan amonia selama ozonasi juga berjalan lambat. Selain bereaksi dengan ozon, amonia juga bereaksi dengan OH radikal, dimana amonia lebih reaktif terhadap OH radikal dibandingkan dengan ozon. Namun, akibat konstanta laju oksidasi OH radikal dengan  $\text{NH}_3$  relatif kecil jika dibandingkan konstanta laju oksidasi OH radikal dengan senyawa organik maupun anorganik lainnya, sehingga penyisihan amonia lebih kecil jika dibandingkan penyisihan senyawa lainnya (seperti : nitrat, sianida maupun besi) dengan oksidasi OH radikal (Gunten, 2003a).

Setelah proses oksidasi lanjut – filtrasi membran keramik berlangsung selama 1,5 jam, didapatkan konsentrasi amonia pada *permeate* akhir (tingkat 3, menit ke-30) sebesar 56.78 mg/L dengan konsentrasi awal amonia 58,98 mg/L. Jika dibandingkan dengan parameter amonia untuk air minum berdasarkan KEPMENKES No.90/MENKES/SK/VII/2002 ( $< 1,5$  mg/L), maka hasil tersebut belum memenuhi persyaratan untuk air minum, sehingga perlu pengolahan kembali ataupun penambahan proses pada unit pengolahan air.

#### 4.5.2 Perubahan pH pada Proses Penyisihan Amonia

**Gambar 4.16** menunjukkan bahwa pada saat proses penyisihan amonia dengan Proses Oksidasi Lanjut (ozonasi/kavitasi hidrodinamik) – filtrasi membran keramik terjadi kenaikan pH. Kenaikan pH tersebut dapat disebabkan karena, pembentukan ion hidroksidal (OH) pada saat reaksi akhir ozon di dalam air. Selain itu, OH radikal (hasil dekomposisi ozon) yang bereaksi dengan zat-zat organik di dalam air (seperti  $\text{HCO}_3^-$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$ ) akan menghasilkan ion hidroksida juga, sehingga semakin banyaknya ion hidroksida yang terbentuk, menyebabkan pH larutan menjadi tinggi. Terjadinya reaksi antara ozon dengan amonia salah satunya ditandai dengan turunnya pH larutan (akibat terbentuknya nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) dan nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) yang bersifat asam).

Akibat reaksi antara amonia dengan ozon/OH radikal berjalan sangat lambat (hanya sebagian kecil senyawa amonia yang teroksidasi), dimana berdasarkan data pengukuran penyisihan senyawa amonia selama 1,5 jam hampir konstan (yaitu konsentrasi awal sebelum pengolahan sebesar 58,98 mg/L dan konsentrasi akhir setelah pengolahan hanya sebesar 56.78 mg/L), maka menyebabkan pH larutan tidak mengalami penurunan. Bahkan dalam penelitian ini pH larutan cenderung mengalami kenaikan di setiap tingkatnya.



**Gambar 4.16** Perubahan pH Terhadap Waktu pada Proses Penyisihan Amonia

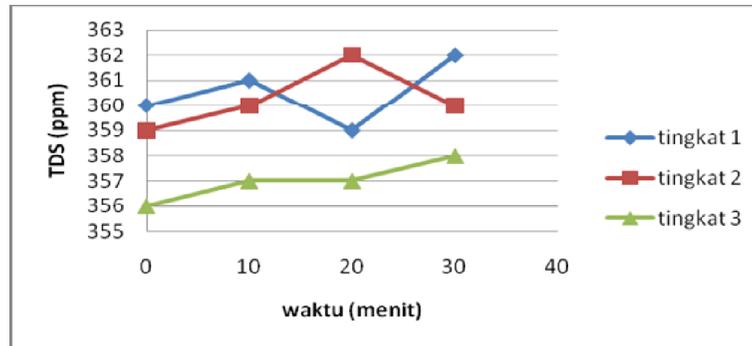
Ketika larutan yang mengandung amonia memiliki pH 7, maka dalam larutan tersebut amonia dalam bentuk kation ( $\text{NH}_4^+$ ) yang lebih dominan dibandingkan dengan amonia dalam bentuk molekul ( $\text{NH}_3$ ) (Said, 2003). Sedangkan ozon maupun  $\text{OH}^\bullet$  lebih mudah mengoksidasi  $\text{NH}_3$  dibandingkan dengan  $\text{NH}_4^+$ . Seperti yang penelitian yang dilakukan oleh Lihuang dkk, penyisihan amonia baru dapat terlihat jelas ketika pH larutan 9,3. Dalam penelitian ini meskipun sudah terjadi kenaikan pH, namun nilai pH larutan masih berkisar  $\pm 7$  sehingga mempengaruhi pula terhadap hasil penyisihan amonia yang begitu kecil.

Berdasarkan KEPMENKES No.90/MENKES/SK/VII/2002, pH yang diperbolehkan untuk air minum yaitu berkisar 6,5-8,5. Sehingga pengolahan amonia yang menggunakan proses oksidasi lanjut - filtrasi membran keramik ini, telah memenuhi persyaratan terutama untuk parameter pH (pH yang diperoleh  $\pm 7$ ).

#### 4.5.3 Perubahan TDS pada Proses Penyisihan Amonia

Pada **Gambar 4.17** menunjukkan bahwa TDS cenderung naik seiring dengan meningkatnya waktu proses (meskipun tidak signifikan), hal ini kemungkinan disebabkan oleh reaksi sebagian kecil senyawa amonia dengan ozon/ $\text{OH}$  radikal yang membentuk anion dari  $\text{NO}_2^-$  dan  $\text{NO}_3^-$ , ataupun dari kation dan anion lainnya yang sudah ada dalam larutan. Adanya jumlah ion-ion dalam larutan tersebut menyebabkan terjadinya kenaikan TDS, karena membran keramik tidak dapat menyaring sejumlah padatan terlarut yang diameternya sangat kecil. Dimana membran keramik mikrofiltrasi yang digunakan ini memiliki diameter pori hanya sekitar 0.9  $\mu\text{m}$ .

Dengan kenaikan TDS yang tidak terlalu besar tersebut, menunjukkan bahwa hanya sebagian kecil saja senyawa amonia yang bereaksi dengan ozon/OH radikal, dimana persentase penyisihan amonia (**Gambar 4.15**) menunjukkan sangat sedikit.

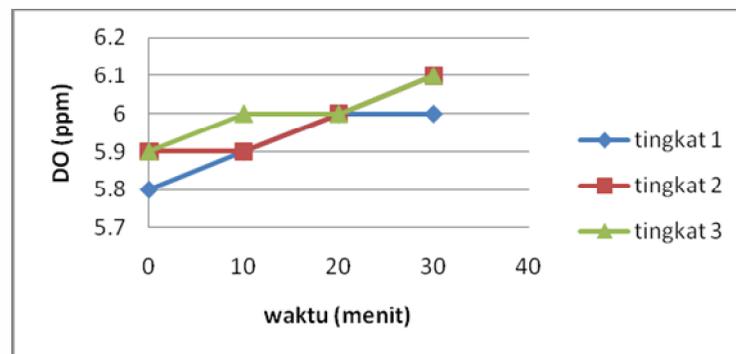


**Gambar 4.17** Perubahan TDS Terhadap Waktu pada Proses Penyisihan Amonia

Berdasarkan KEPMENKES No.90/MENKES/SK/VII/2002, TDS` yang di perbolehkan untuk air minum yaitu < 1000 mg/L. TDS yang diperoleh pada penelitian ini (untuk penyisihan amonia) yaitu  $\pm 350$  mg/L, sehingga nilai TDS tersebut masih memenuhi persyaratan untuk air minum.

#### 4.5.4 Perubahan DO pada Proses Penyisihan Amonia

Pengukuran oksigen terlarut (DO) dalam air pada penelitian ini dilakukan dengan metode elektrokimia yaitu menggunakan alat DO meter, yang pada prinsipnya menggunakan elektroda yang terendam dalam larutan elektrolit (larutan garam). Pengukuran tersebut menunjukkan bahwa ada kecenderungan DO yang semakin meningkat pada Proses Oksidasi Lanjut – filtrasi membran keramik (**Gambar 4.18**).

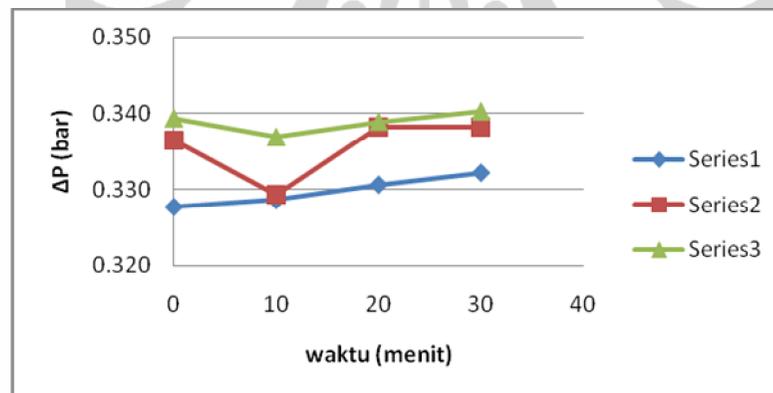


**Gambar 4.18** Perubahan DO Terhadap Waktu pada Proses Penyisihan Amoni

Pada KEPMENKES No. 907/MENKES/SK/VII/2002 parameter nilai DO tidak disebutkan, namun jika kita melihat pada PP RI No. 82 tahun 2001 yang memperbolehkan nilai DO minimum untuk air minum sebesar 6 mg/L, maka dapat disimpulkan bahwa hasil dari Proses Oksidasi Lanjut – filtrasi membran keramik ini sudah memenuhi persyaratan kualitas air sebagai air minum, karena nilai DO pada permeat untuk setiap tingkat berkisar 6 – 6,1 mg/L

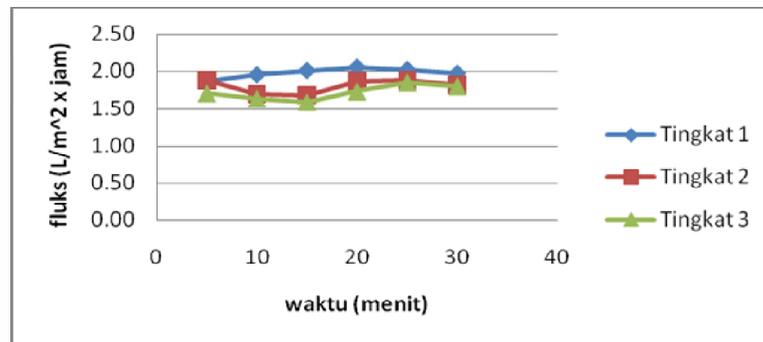
#### 4.5.5 Kinerja Membran Keramik Dalam Penyisihan Amonia

Pada **Gambar 4.19** dapat dilihat bahwa  $\Delta P$  cenderung naik walaupun tidak signifikan (min/max : 0,328/0,340). Hal tersebut menunjukkan bahwa *fouling* pada membran tidak terlalu besar, karena proses oksidasi pada senyawa amonia tidak menghasilkan pengendapan. Namun karena air umpan yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan air sumur, maka *fouling* pada membran mungkin bisa terjadi akibat zat-zat organik, partikulat, virus, alga maupun bakteri yang terdapat pada air sumur tersebut. *Fouling* membran menyebabkan tahanan pada membran meningkat sehingga  $\Delta P$  pada membran cenderung meningkat juga.



**Gambar 4.19** Pengaruh Proses Oksidasi Lanjut dan Filtrasi Membran Dalam Penyisihan Amonia Terhadap  $\Delta P$

Dengan  $\Delta P$  yang tidak terlalu tinggi, mengidentifikasi bahwa *fouling* pada membran tersebut tidak terlalu besar, sehingga menyebabkan *fluks permeat* relatif tidak begitu menurun. Pada proses ini penyisihan senyawa amonia tidak terlalu besar disebabkan kurang reaktifnya senyawa amonia terhadap proses oksidasi lanjut, dimana ditandai dengan masih tingginya konsentrasi amonia pada air *permeate*.



**Gambar 4.20** Pengaruh Proses Oksidasi Lanjut dan Filtrasi Membran Dalam Penyisihan Amonia Terhadap *Fluks Permeate*

#### 4.6 Penyisihan LAS

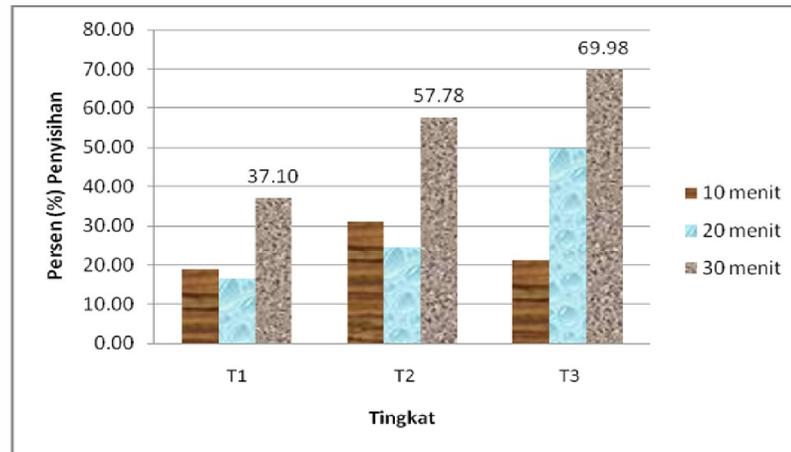
Penyisihan LAS tetap dilakukan dengan proses oksidasi lanjut - filtrasi membran keramik bertingkat 3. Perubahan pH, TDS dan DO pada proses penyisihan mangan juga akan diukur. Kinerja membran akan dilihat dari pengukuran fluks *permeate* serta  $\Delta P$ , sedangkan laju alir air yang digunakan diambil dari laju alir air optimum pada uji hidrodinamika (200 L/jam).

##### 4.6.1 Persentase Penyisihan LAS

**Gambar 4.21** di bawah ini menunjukkan persentase penyisihan senyawa LAS pada proses oksidasi lanjut-filtrasi membran keramik. Penyisihan LAS berjalan baik dengan diperoleh konsentrasi LAS pada air *permeate* tingkat tiga menit ke-30 sebesar 5,02 mg/L dengan konsentrasi awal 25,77 mg/L (% penyisihan 80,52%).

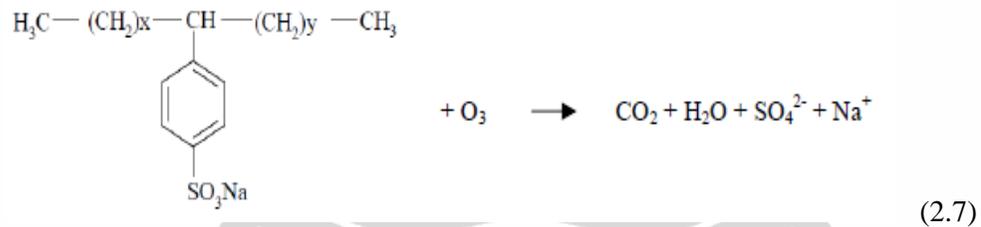
Hasil penelitian yang dilakukan Bealtran (2000) menunjukkan bahwa kondisi pH mempengaruhi penyisihan LAS. Peningkatan pH mempengaruhi dekomposisi ozon menjadi radikal hidroksida sehingga meningkatkan persentase penyisihan LAS. Dimana ketika pH dinaikkan akan dihasilkan radikal hidroksida yang akan mengoksidasikan LAS dengan cepat. Reaksi antara ozon dengan senyawa LAS berlangsung lambat ( $k_{O_3} = 3,68/M.s$ ), namun bereaksi cepat dengan hidroksil radikal ( $k_{OH^\bullet} = 1,16 \times 10^{10}/M.s$ ). Bealtran melakukan percobaan dengan kondisi operasi pH 7, waktu pengolahan 60 menit dan konsumsi ozon sebesar 180 mg/L, hasilnya menunjukkan LAS dapat disisihkan sebesar 79,3%, sedangkan pada pH yang lebih tinggi yaitu pH 10 dengan waktu pengolahan yang sama dapat menyisihkan LAS sebesar 82,7 %.

Pada penelitian ini, pH untuk menit awal (0 menit) pada masing-masing tingkat berkisar 8,1 -7,87 sehingga dengan pH yang cukup tinggi tersebut akan dapat mempercepat penyisihan LAS.



**Gambar 4.21.** Persen Penyisihan Senyawa LAS

Secara sederhana reaksi antara ozon dengan LAS adalah sebagai berikut :

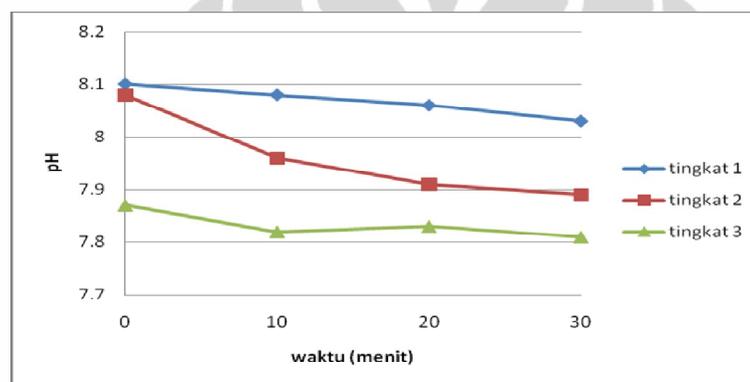


Berdasarkan persamaan reaksi diatas untuk mengoksidasi LAS sebesar 30 mg/L menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O dibutuhkan ozon sebesar 68,25 – 72,26 mg O<sub>3</sub>/L, sedangkan ozon yang terdapat di dalam air terdapat 0.168 mg/L tetapi dengan adanya kavitas pada proses oksidasi lanjut dapat meningkatkan konsentrasi radikal hidroksida yang cukup efektif untuk menyisihkan senyawa LAS.

Jika dilihat berdasarkan parameter nilai deterjen untuk air minum menurut KEPMENKES No. 907/MENKES/SK/VII/2002, nilai deterjen maksimum yang diperbolehkan sebesar 0,05 mg/L. Konsentrasi LAS pada *permeate* akhir (tingkat tiga, menit ke-30) sebesar 5,02 mg/L, artinya air *permeate* hasil dari proses oksidasi lanjut – filtrasi membran keramik ini belum memenuhi persyaratan kualitas air sebagai air minum. Oleh sebab itu, perlu adanya pengolahan kembali atau penambahan proses pada unit pengolahan air.

#### 4.6.2 Perubahan pH pada Proses Penyisihan LAS

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan diperoleh nilai pH yang cenderung menurun pada *permeate* (**Gambar 4.22**). Hal tersebut disebabkan air *permeate* yang merupakan hasil proses oksidasi lanjut-filtrasi membran mengandung senyawa antara hasil oksidasi LAS yang sebagian besar bersifat asam seperti senyawa yang memiliki gugus aldehid, keton dan asam karboksilat, yaitu asam maleat, asam mukonat, asam oksalat, asam glioksalat dan asam formiat dari hasil oksidasi gugus benzena pada LAS serta oksidasi gugus sulfonat dan hidrokarbon rantai lurus.



**Gambar 4.22** Perubahan pH Terhadap Waktu pada Proses Penyisihan LAS

Jika dikaitkan dengan penyisihan LAS, maka kondisi pH akan mempengaruhi proses ozonasi karena nilai pH merupakan variabel penting dalam dekomposisi ozon. pada pH larutan antara 4 – 9 maka akan terjadi reaksi antara LAS dengan ozon yaitu reaksi langsung dan tidak langsung dengan ozon. Reaksi oksidasi langsung oleh ozon dalam air merupakan reaksi molekul ozon dengan ikatan tak jenuh dan akan memicu terjadinya pemecahan ikatan sedangkan reaksi tidak langsung yaitu dengan memanfaatkan hidroksil radikal yang merupakan hasil dekomposisi dari ozon. Reaksi antara ozon dan senyawa LAS berlangsung lambat ( $k = 3,68/M.s$ ), namun bereaksi cepat dengan radikal hidroksida ( $k = 1,16 \cdot 10^{10}/M.s$ ). Reaksi antara radikal hidroksida dengan gugus sulfonat, gugus benzena dan gugus hidrokarbon pada rantai lurus yang terdapat pada senyawa LAS berlangsung cepat sehingga akan meningkatkan penyisihan LAS (Bealtran et al., 2000).

Pada penelitian ini, pH pada umpan disetiap tingkatnya berkisar antara 8,1 -7,87 sehingga akan terjadi reaksi langsung dan tidak langsung dengan ozon. Dengan terjadinya reaksi langsung dan tidak langsung dengan ozon tersebut, maka penyisihan LAS akan semakin cepat dan meningkat.

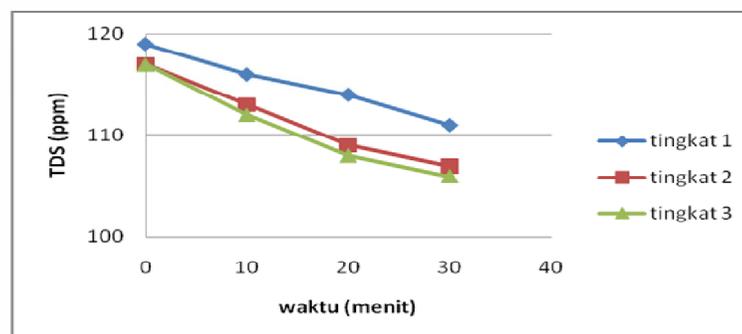
pH larutan pada *permeate* akhir (tingkat 3, menit ke-30) sebesar 7,81, jika dibandingkan dengan parameter nilai pH untuk air minum menurut KEPMENKES No. 907/MENKES/SK/VII/2002 sebesar 6,5–8,5, maka parameter pH dari hasil proses ini sudah memenuhi persyaratan kualitas air sebagai air minum.

#### 4.6.3 Perubahan TDS pada Proses Penyisihan LAS

Pada **Gambar 4.23**, terlihat bahwa penurunan jumlah TDS pada tiap tingkat yang terjadi tidak terlalu signifikan (min/max:106/119 ppm). Hal ini disebabkan senyawa LAS belum dioksidasi secara sempurna menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O sehingga masih terdapat produk antara (asam maleat, asam mukonat, asam oksalat, asam glioksalat dan asam formiat) pada air *permeate*. Hal ini juga ditunjukkan adanya penurunan pH pada air *permeate* yang berasal dari senyawa-senyawa tersebut

Berdasarkan salah satu penelitian dinyatakan bahwa senyawa aldehid dan keton yang merupakan produk antara hasil oksidasi senyawa organik dengan ozon atau OH radikal dapat berada pada air *permeate* setelah melewati membran mikrofiltrasi dengan pralakuan ozonasi (Bealtran et al., 2000).

Selain itu, membran mikrofiltrasi tidak mampu menyisihkan ion natrium dan sulfat yang merupakan hasil oksidasi gugus sulfonat dengan radikal hidroksida serta ion-ion lainnya yang mungkin ada pada air limbah sehingga dapat lolos dari membran.

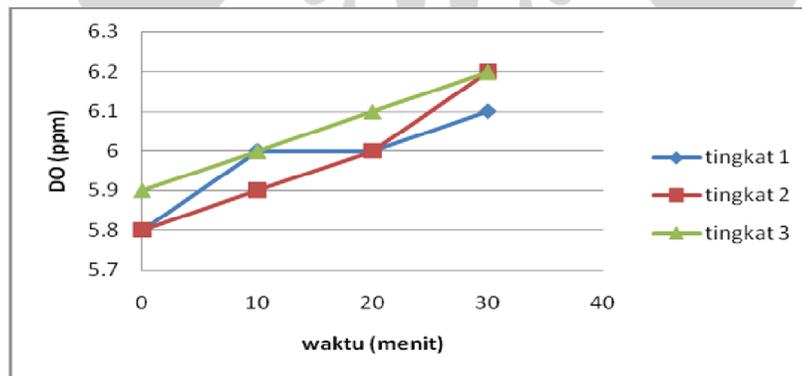


**Gambar 4.23** Perubahan TDS Terhadap Waktu pada Proses Penyisihan LAS

Nilai TDS pada akhir pengolahan ini sebesar 106 mg/L (tingkat 3, menit ke-30), sehingga sudah memenuhi persyaratan air minum jika dilihat dari parameter TDS (kandungan max TDS = 1000 mg/L, KEPMENKES No. 907/MENKES/SK/VII/2002).

#### 4.6.4 Perubahan DO pada Proses Penyisihan LAS

Hasil pengukuran DO dapat dilihat pada **Gambar 4.24**, yang menunjukkan bahwa semakin meningkatnya waktu proses maka DO juga semakin meningkat. Seperti halnya penjelasan sebelumnya, oksigen terlarut pada pengujian kali ini juga diperoleh dari reaksi tidak langsung ozon dimana ozon terdekomposisi menjadi  $O_2$ . Kondisi ozon yang tidak stabil memungkinkan untuk menghasilkan gas oksigen sehingga kadar DO dalam air meningkat. Kondisi lain juga dapat meningkatkan oksigen terlarut yaitu gas oksigen yang ada pada lingkungan dapat terlarut dalam air yang juga dapat menembus membran sehingga mempengaruhi pengukuran.



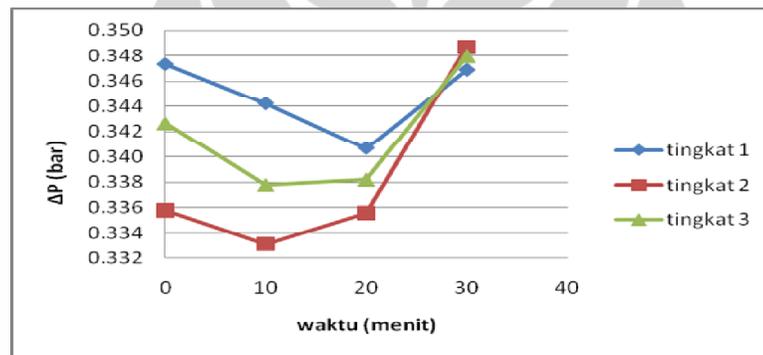
**Gambar 4.24** Perubahan DO Terhadap Waktu pada Proses Penyisihan LAS

#### 4.6.5 Kinerja Membran Keramik Dalam Penyisihan LAS

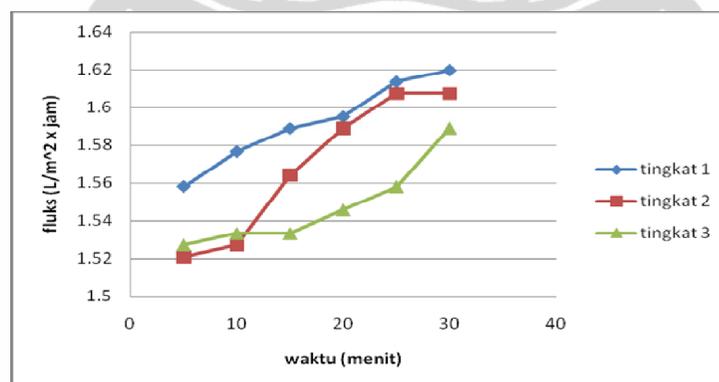
Pada **Gambar 4.25** terlihat bahwa pada menit ke 0 – 20, *pressure drop* cenderung menurun. Hal tersebut terjadi karena tahanan pada membran mengalami penurunan. Pori-pori membran yang baru digunakan biasanya masih tersumbat oleh material kecil pembentuk membran sehingga menyebabkan tahanan awal membran menjadi besar. Dengan semakin lamanya membran dialiri air menyebabkan material yang menyumbat pori akan terkikis sehingga tahanan pada membran-pun akan turun, dan *fluks permeate* menjadi tinggi (**Gambar**

4.25). Namun jika membran terus-menerus dialiri oleh air (terutama yang mengandung konsentrasi bahan pencemar tinggi), maka tahanan pada membran akan dapat meningkat lagi, akibat dari terbentuknya *fouling*.

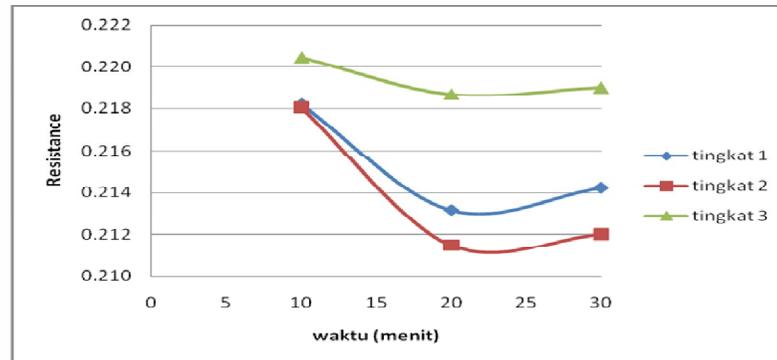
Pada **Gambar 4.25** menunjukkan bahwa pada menit 0-20 tahanan pada membran mengalami penurunan, akibat terkikisnya material penyumbat pori membran sehingga menyebabkan *fluks permeat* pada menit tersebut juga meningkat. Untuk menit ke-30 tahanan pada membran relatif konstan (belum terjadi *fouling*, **Gambar 4.27**) karena jika kita lihat pada **Gambar 4.26** fluks permeate pada menit ke-30 masih meningkat (dengan meningkatnya fluks dan  $\Delta P$  menunjukkan bahwa tahanan relatif konstan **Persamaan 2.14**).



**Gambar 4.25** Pengaruh Proses Oksidasi Lanjut dan Filtrasi Membran Dalam Penyisihan LAS Terhadap  $\Delta P$



**Gambar 4.26** Pengaruh Proses Oksidasi Lanjut dan Filtrasi Membran Dalam Penyisihan LAS Terhadap *Fluks Permeate*



**Gambar 4.27.** Hubungan Antara Resistansi Terhadap Waktu Pada Proses Oksidasi Lanjut dan Filtrasi Membran Dalam Penyisihan LAS

#### 4.7 Penyisihan Amonia, LAS, Besi dan Mangan secara Bersama

##### 4.7.1 Persen Penyisihan Besi, Mangan, Amonia dan LAS secara Bersama

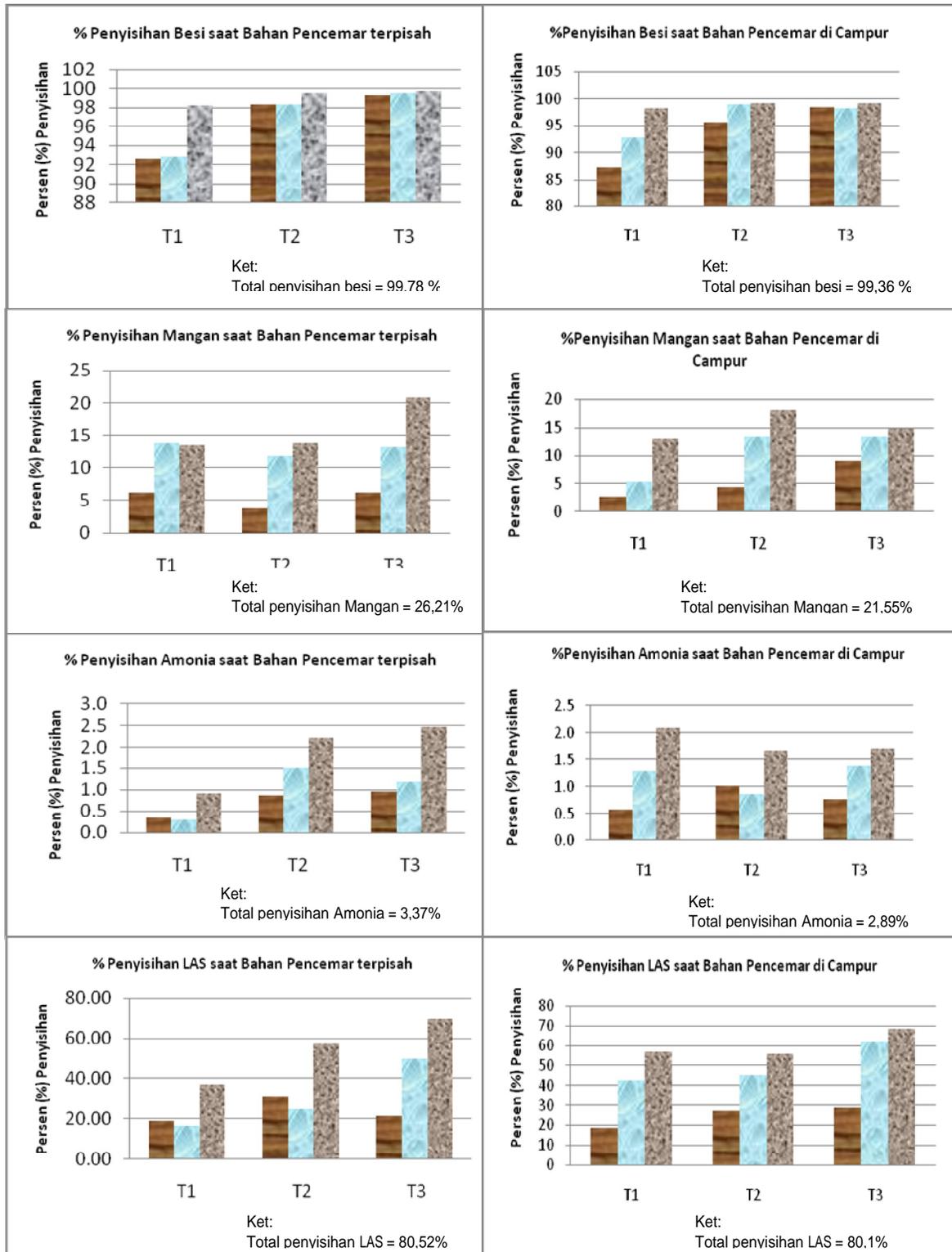
Pada **Gambar 2.28** terlihat bahwa, saat bahan pencemar (besi, mangan, amonia dan LAS) di campur, penyisihan untuk LAS tidak jauh berbeda ketika bahan pencemar tersebut sebagai bahan pencemar tunggal pada unit pengolahan air. Hal tersebut bisa disebabkan karena presipitat besi dan mangan yang terbentuk dari proses oksidasi dapat membantu dalam menyisihkan senyawa organik (seperti LAS), akibat serapan (*sorption*) dari partikel teroksidasi tersebut. Seperti halnya penelitian yang dilakukan oleh Kwang Ho Choo dkk (2005), yang menyimpulkan bahwa endapan material oleh oksidasi (ferrihidrat) dapat berperan dalam menghilangkan NOM (*natural organic matter*) dan kekeruhan dari air dengan cara menyerapnya.

Sedangkan untuk mangan, penyisihan pada menit-menit awal (tingkat 1, 0-20 menit) masih sangat kecil. Hal tersebut terjadi karena besi lebih mudah teroksidasi oleh ozon bila dibandingkan dengan mangan. Oleh karena itu, mangan tidak akan mulai teroksidasi sampai hampir semua logam  $Fe^{2+}$  teroksidasi (*Iron and manganese*, n.d). Total penyisihan logam besi masih tetap besar yaitu 99,35% sedangkan penyisihan logam mangan hanya sebesar 19,71%. Penyisihan mangan yang tidak terlalu besar tersebut, karena pada proses oksidasi pada menit awal hanya mengoksidasi  $Fe^{2+}$  saja, pengoksidasian  $Mn^{2+}$  baru dimulai setelah hampir semua  $Fe^{2+}$  teroksidasi.

Penyisihan amonia saat bahan pencemar dicampur menunjukkan nilai yang semakin menurun dibandingkan bila amonia digunakan sebagai bahan pencemar individu (sendiri). Hal tersebut dikarenakan semakin besarnya beban pencemar yang harus dioksidasi oleh ozon maupun OH radikal sehingga menyebabkan oksidasi amonia menjadi lambat (dapat dilihat pada **Tabel 4.2** bahwa konstanta laju reaksi ozon maupun OH radikal dengan amonia relatif lebih kecil dibandingkan dengan bahan pencemar lainnya, sehingga reaksi oksidasi pada amonia baru terjadi setelah reaksi oksidasi pada bahan pencemar lainnya selesai). Selain itu jika kita lihat pada **Gambar 4.29** yang menunjukkan pH awal pada tiap tingkat bernilai sekitar 7, menyebabkan amonia dalam bentuk kation ( $\text{NH}_4^+$ ) yang lebih dominan dibandingkan dengan amonia dalam bentuk molekul ( $\text{NH}_3$ ) dalam larutan tersebut (Said, 2003). Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya bahwa ozon maupun OH radikal lebih mudah mengoksidasi  $\text{NH}_3$  dibandingkan dengan  $\text{NH}_4^+$  ( $\text{NH}_4^+ k_{\text{O}_3} = 0 / \text{M.s}$ ) (Gunten, 2003a).

**Tabel 4.2** Perbandingan Koefisien Reaksi Ozon dan OH radikal Terhadap Bahan Pencemar

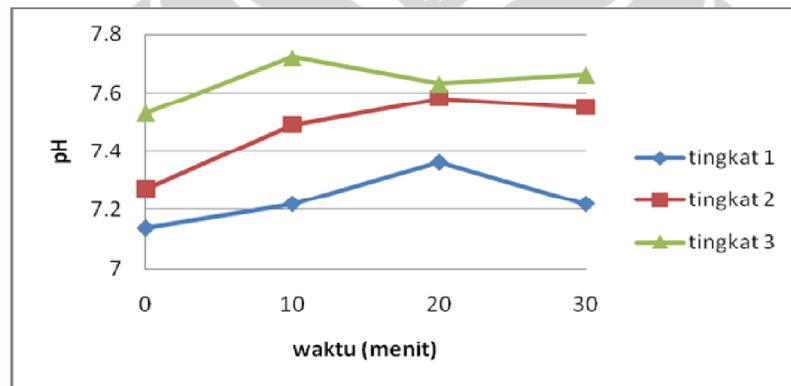
Senyawa	$k_{\text{O}_3} (\text{M}^{-1} \text{s}^{-1})$	$k_{\text{OH}^\bullet} (\text{M}^{-1} \text{s}^{-1})$
Besi	$8,5 \times 10^5$	$3,5 \times 10^8$
Mangan	$1,5 \times 10^3$	$2,6 \times 10^7$
Amonia	20	$9,7 \times 10^7$
LAS	3,68	$1,16 \times 10^{10}$
$\text{NH}_4^+$ [13]	0	

**Bahan Pencemar Terpisah :****Bahan Pencemar di Campur :**

**Gambar 4.28.** Persen Penyisihan Amonia , LAS, Besi serta Mangan saat Bahan Pencemar di Campur dan Terpisah

#### 4.7.2 Perubahan pH pada Proses Penyisihan Besi, Mangan, Amonia dan LAS secara Bersama

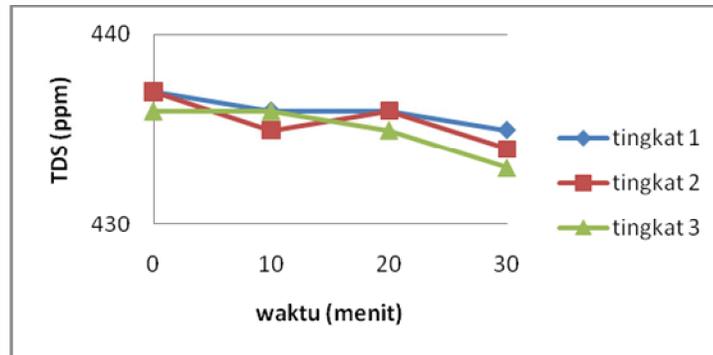
Pengukuran pH pada proses penyisihan bahan pencemar tercampur menunjukkan kecenderungan peningkatan pH seiring dengan meningkatnya waktu proses. Kenaikan pH tersebut dapat disebabkan akibat dari reaksi akhir dari ozon dalam air yang menghasilkan ion hidroksidal ( $\text{OH}^-$ ). Selain itu,  $\text{OH}^-$  radikal yang merupakan hasil dekomposisi dari ozon juga akan bereaksi dengan zat-zat organik di dalam air (seperti  $\text{HCO}_3^-$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$ ) dan akan menghasilkan ion hidroksida. Semakin banyaknya ion hidroksida yang terbentuk, menyebabkan pH larutan menjadi tinggi.



**Gambar 4.29** Perubahan pH Terhadap Waktu pada Proses Penyisihan Besi, Mangan, Amonia dan LAS secara Bersama

#### 4.7.3 Perubahan TDS pada Proses Penyisihan Besi, Mangan, Amonia dan LAS secara Bersama

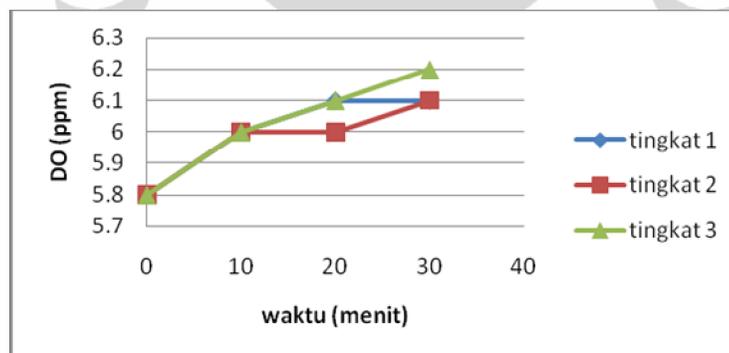
Pada **Gambar 4.30**, penyisihan TDS menunjukkan hasil yang hampir sama dengan hasil-hasil sebelumnya yaitu tidak terlalu signifikan karena membran yang digunakan masih tetap jenis membran keramik mikrofiltrasi. Namun pembacaan nilai TDS pada bahan pencemar yang dicampur ini menunjukkan nilai yang tinggi. Peningkatan nilai TDS dikarenakan pemakaian limbah sintesis yang digunakan yang memiliki ion sulfat dan klor. Sebagai informasi untuk membuat limbah sintesis besi, mangan dan amonia, masing-masing menggunakan  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , dan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  yang mengandung ion  $\text{SO}_4^{2-}$  dan  $\text{Cl}^-$  yang akan mempengaruhi kadar TDS dalam air.



**Gambar 4.30** Perubahan TDS Terhadap Waktu pada Proses Penyisihan Besi, Mangan, Amonia dan LAS secara Bersama

#### 4.7.4 Perubahan DO pada Proses Penyisihan Besi, Mangan, Amonia dan LAS secara Bersama

Pengukuran DO di setiap pertambahan waktu, menunjukkan karakteristik yang sama dengan pengukuran DO sebelumnya yaitu cenderung meningkat. Peningkatan DO akibat kondisi ozon yang tidak stabil menyebabkan ozon mudah terdekomposisi menjadi  $O_2$  selain itu juga gas oksigen yang ada pada lingkungan dapat terlarut dalam air yang juga dapat menembus membran sehingga mempengaruhi pengukuran.



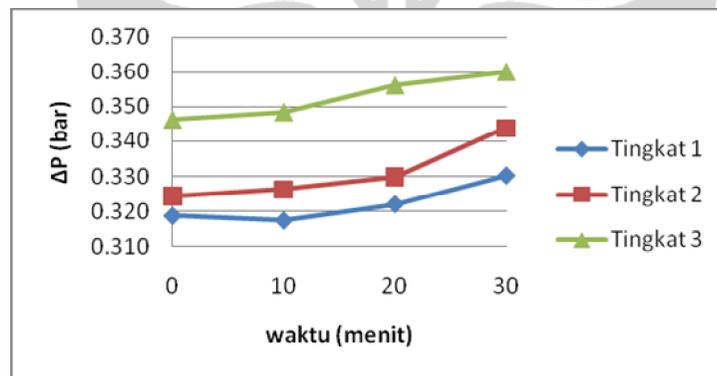
**Gambar 4.31** Perubahan DO pada Proses Penyisihan Besi, Mangan, Amonia dan LAS secara Bersama

#### 4.7.5 Kinerja Membran Keramik Dalam Penyisihan Besi, Mangan, Amonia dan LAS secara Bersama

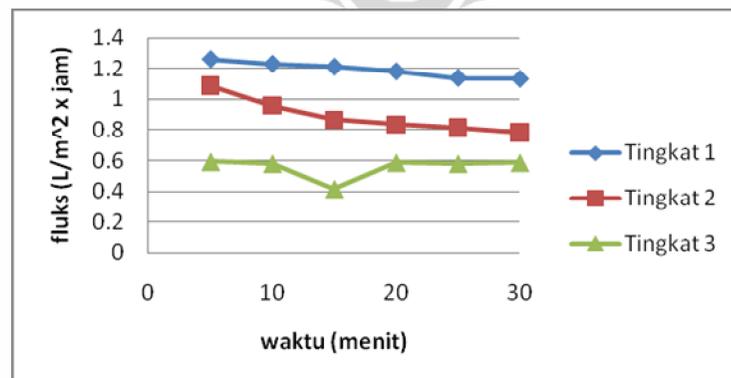
Pada **Gambar 4.32** dapat dilihat bahwa  $\Delta P$  rata-rata pada membran cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan penyisihan bahan pencemar secara sendiri-sendiri. Hal ini disebabkan oleh adanya *fouling* pada membran yang tidak hanya disebabkan oleh  $Fe(OH)_2$  sebagai hasil oksidasi  $Fe^{2+}$  tetapi juga disebabkan

$MnO_2$  hasil dari oksidasi  $Mn^{2+}$ . Selain itu karena air umpan yang digunakan dalam penelitian menggunakan air sumur, maka *fouling*-pun dapat terjadi akibat zat-zat organik, partikulat, virus, alga maupun bakteri yang terkandung dalam air sumur tersebut. Dengan semakin banyaknya material penyebab *fouling* pada air umpan, menyebabkan tahanan pada membran menjadi besar sehingga akan meningkatkan  $\Delta P$  dan menurunkan *fluks permeat*.

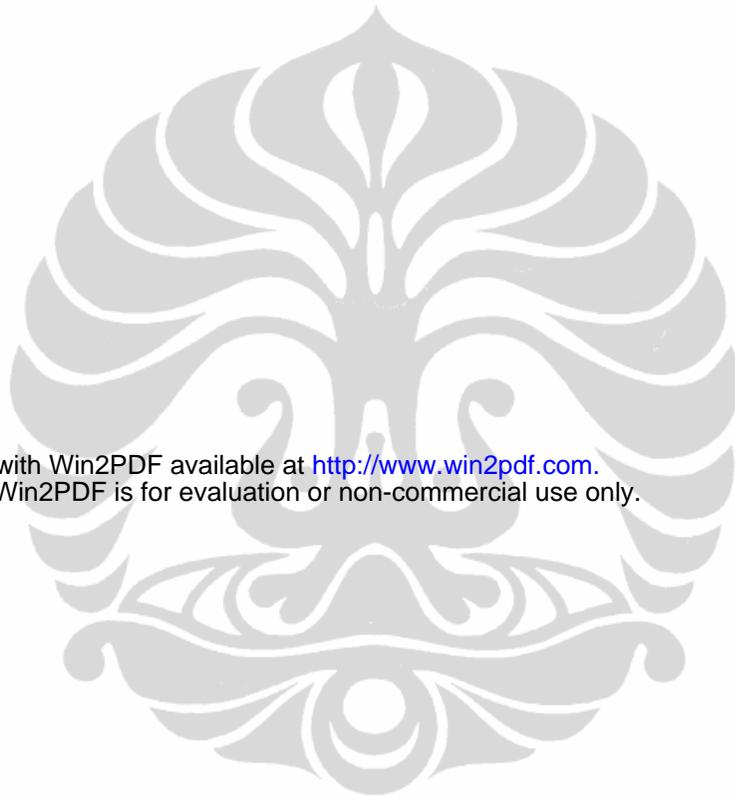
*Fluks permeat* yang melewati membran terhadap air umpan yang bahan pencemarnya dicampur (besi, mangan, amoniakan LAS) menunjukkan penurunan yang sangat signifikan dibandingkan dengan *fluks permeat* dengan bahan pencemar yang tidak dicampur. Hal tersebut terkait dengan besarnya *fouling* yang terjadi pada membran (**Gambar 4.33**).



**Gambar 4.32** Pengaruh Proses Oksidasi Lanjut dan Filtrasi Membran Dalam Penyisihan Besi, Mangan, Amonia dan LAS secara bersama Terhadap  $\Delta P$



**Gambar 4.33** Pengaruh Proses Oksidasi Lanjut dan Filtrasi Membran Dalam Penyisihan Besi, Mangan, Amonia dan LAS secara bersama Terhadap *Fluks Permeate*



This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

## **BAB 5**

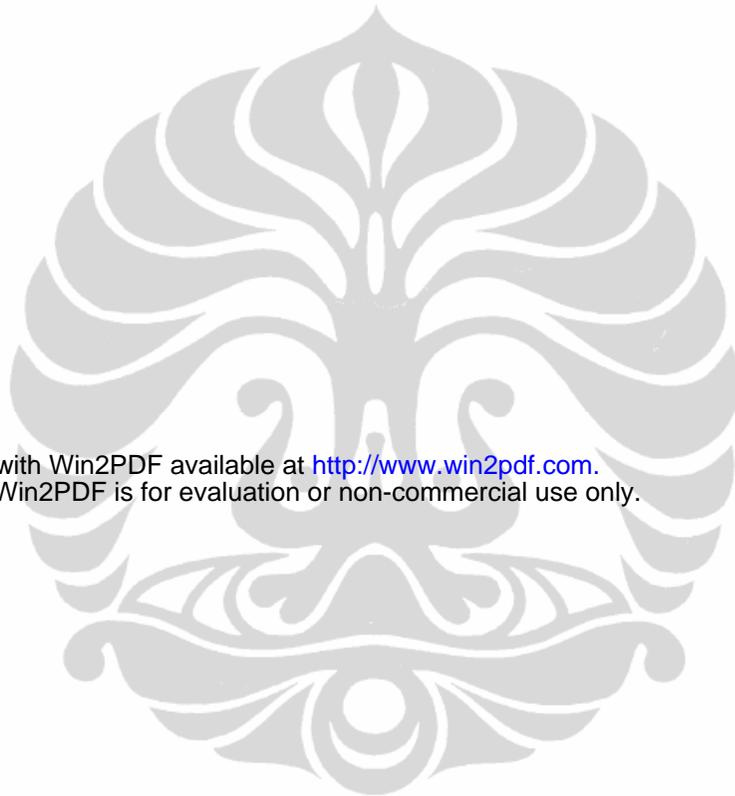
### **KESIMPULAN**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Proses oksidasi lanjut (ozonasi/kavitasi hidrodinamik) dan filtrasi membran keramik cukup efektif dalam menyisihkan logam besi dan senyawa LAS, namun kurang efektif dalam menyisihkan mangan dan amonia.
2. Untuk penyisihan bahan pencemar sintetis yang tidak dicampur dengan menggunakan proses oksidasi lanjut (ozonasi-kavitasi hidrodinamik) dan filtrasi membran keramik, penyisihan yang paling baik terjadi pada logam besi, diikuti dengan LAS, mangan dan amonia dimana masing-masing penyisihannya sebesar 99,78% (besi), 80,52% (LAS), 26,21% (mangan) dan 3,73% (amonia). Sedangkan pengaruh proses pengolahan air terhadap nilai pH, TDS dan DO menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda dengan nilai awal pH, TDS dan DO sebelum dilakukan perlakuan (pengolahan air). Dimana secara keseluruhan nilai pH, TDS dan DO sudah memenuhi baku mutu air minum (KEPMENKES No.97/MENKES/SK/VII/2002).
3. Untuk penyisihan bahan pencemar sintetis campuran dengan menggunakan proses oksidasi lanjut (ozonasi-kavitasi hidrodinamik) dan filtrasi membran keramik menunjukkan hasil penyisihan yang tidak jauh berbeda dengan bahan pencemar yang tidak dicampur, dimana persentase penyisihannya yaitu untuk besi 99,36 %, 80,1 %, untuk LAS, mangan 21,55 % dan amonia 2,89 % . Sedangkan pengaruh proses pengolahan airnya terhadap nilai pH, TDS dan DO tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dibandingkan dengan nilai awal dari pH, TDS dan DO sebelum dilakukan perlakuan (pengolahan air). Dimana secara keseluruhan nilai pH, TDS dan DO sudah memenuhi baku mutu air minum (KEPMENKES No.97/MENKES/SK/VII/2002).

4. Penggunaan ozon dalam menyisihkan besi dan mangan (secara terpisah) menyebabkan terjadinya *fouling* karena adanya pengendapan akibat teroksidasinya ion besi dan mangan. Terjadinya *fouling* ini ditunjukkan dengan meningkatnya *pressure drop* ( $\Delta P$ ) dan menurunnya fluksi permeat (J). Sedangkan pada saat penyisihan amonia dan mangan (secara terpisah), fluksi permeat (J) tidak mengalami penurunan hal tersebut mengindikasikan bahwa belum *fouling* belum terbentuk pada saat penyisihan amonia dan LAS tersebut.
5. Penggunaan ozon dalam menyisihkan bahan pencemar sintetik campuran menyebabkan terbentuknya *fouling* yang sangat besar, dimana hal tersebut ditunjukkan dengan meningkatnya  $\Delta P$  dan sangat menurunnya fluksi permeat dari waktu ke waktu.

Berdasarkan data yang diperoleh dari penelitian ini, proses oksidasi lanjut (ozonasi-kavitasi hidrodinamik) dan filtrasi membran keramik, baru dapat menyisihkan logam besi sampai dengan baku mutu air minum yang ditentukan (KEPMENKES No.97/MENKES/SK/VII/2002), sedangkan untuk mangan, amonia dan LAS masih belum memenuhi persyaratan air minum.



This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adhitiastuti, H., Bisono, P.H. Oktafia., (2008). Pengolahan limbah deterjen sintetik dengan *Trickling Filter*. Makalah Penelitian. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang.
- Amonia. (n.d). July 5, 2010. <http://id.wikipedia.org/wiki/Amonia>.
- Amonia (NH<sub>3</sub>). (n.d). July 5, 2010. <http://www.pupukkaltim.com/img/images//page/MSDS%20Amoniak.pdf>
- Andreozzi, Roberto., At al. (1999). Advance Oxidation Processes (AOP) for water purification and recovery.
- Awaluddin. N. (2007). Teknologi pengolahan air tanah sebagai sumber air minum pada skala rumah tangga. Seminar "Peran mahasiswa dalam aplikasi keteknikan menuju globalisasi teknologi" Pekan Apresiasi Mahasiswa LEM-FTSP Universitas Islam Indonesia 2007 Des 17-18
- Badan Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah (BPLHD) Provinsi DKI Jakarta. (2006). Kualitas air tanah di Provinsi DKI Jakarta. Mei 10, 2010. <http://bplhd.jakarta.go.id/NKLD%202006/Buku-I/Docs/3-3212.htm>
- Badan Pusat Statistik (BPS) Jakarta. (2008). Persentase rumah tangga menurut kota dan sumber air minum tahun 2008. Jul 15, 2010. [http://medicastrore.com/seminar/102/Pentingnya\\_Minum\\_Air\\_yang\\_Cukup\\_setiap\\_Hari.html](http://medicastrore.com/seminar/102/Pentingnya_Minum_Air_yang_Cukup_setiap_Hari.html)
- Bailey,R.A., H. M. Clark, C. P. Feris, S. Krause dan R. L. Strong. (1978). Chemistry of environmental. New York. Academic press. 1978. p. 138-40
- Bealtran, Fernando J. (2004). Ozone reaction kinetics for water and wastewater Treatment. Florida : Lewis Publishers.
- Bealtran, Fernando J., Juan F, Gracia-Araya dan Pedro M. Alvarez. (2000). Sodium dodecylbenzenesulfonate removal from water and wastewater 1. Kinetics of decomposition of ozone. American Chemical Society 2000 Jun 13
- Bekti. (2009). Pentingnya minum air yang cukup setiap hari. Jul 15, 2005. [http://medicastrore.com/seminar/102/Pentingnya\\_Minum\\_Air\\_yang\\_Cukup\\_setiap\\_Hari.html](http://medicastrore.com/seminar/102/Pentingnya_Minum_Air_yang_Cukup_setiap_Hari.html)

- Bismo, S. (1998). Kinetika dan kinerja produksi ozon pada prototipe ozonator untuk pengolahan limbah cair industri “. Prosiding seminar teknik kimia 1998 Oct 27-28. TGP-FT UI Jakarta.
- Bismo, S., Karamah F. Eva., (2008). Pengaruh dosis koagulan PAC dan surfaktan SLS terhadap kinerja proses pengolahan limbah cair yang mengandung logam besi (Fe), tembaga (Cu), dan nikel (Ni) dengan flotasi ozon. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia ISBN 978-979-98645-4-9.
- Bismo S, Kartohardjono S dan P. Widodo A.O. (2000). Kinerja penyisihan senyawa fenolik dengan teknik ozonasi pada suasana basa dalam kolom sistem injeksi ozon berganda. *Jurnal Teknologi*. Edisi No.3/Tahun XIV/September/2000.
- Bismo S, Kartohardjono S dan P. Widodo A.O. (n.d). Prototype of ozone generator for industrial wastewater treatment : some kinetics and performance aspects. Chemical Engineering Study Program, Dept. of Gas and Petrochemical Engineering. Faculty of Engineering University of Indonesia.
- Bismo S, Enjarlis, Slamet, W. Roekmijati dan Soemantojo. (2007). Karakteristik penyisihan endosulfan dalam air dengan reaksi hidrolisis, ozonasi katalitik dan non-katalitik. *Jurnal Teknologi*. Edisi No.I Tahun XXI, Maret 2007, 66-74 ISSN 0215-1685.
- Bismo S. (1999). Teknologi ozon (I) : Kajian prospek penggunaan ozon untuk pengendalian limbah industri. *Jurnal Teknologi*. Edisi no.2/Tahun XIII/Juni/1999.
- Bressan, M., Marin, M.G., dan Brunetti, R., (1991). Effect of linear alkylbenzene sulphonate (LAS) on skeletal development of sea urchin embryos (*Paracentrotus lividus* LMK). *Wat. Res*, 25(5):613 – 16.
- Budiawan, Fatisa, Y., dan Khairani, N., (2009). Optimasi biodegradabilitas dan uji toksisitas hasil degradasi surfaktan Linear Alkilbenzena Sulfonat (LAS) sebagai bahan deterjen pembersih. *Makara Sains* 2009 Nov, 13(2), 125-33
- Budiyono dan Buchori L. (2007). The performance of reverse osmosis membrane in water treatment. *Journal Teknik* 2007, 29(1), 0852-1697.

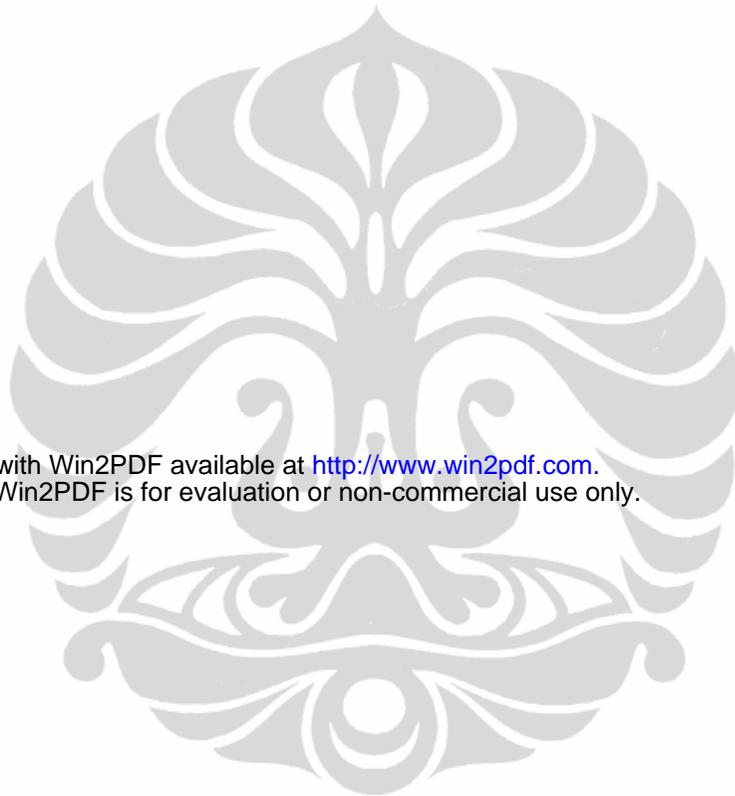
- BPPT. (n.d). Bab 1 Masalah pencemaran air di wilayah DKI Jakarta. Jul 6, 2010. <http://www.kelair.bppt.go.id/Publikasi/BukuAirLimbahDomestikDKI/BA B1MASALAH.pdf>
- Ceramic membranes. (n.d). Mar 8, 2010. <http://www.lenntech.com/ceramic-membranes.htm>
- Chiao, J.T., F.M. Dayrit., P.P. Ocampo, and V.R. Ocampo. (1992). A Study on the environmental impact of detergent, III: Toxicity of alkylbenzene sulfonates and coconut fatty alcohol sulfates to wards fish and rats. *The Philippine Journal of Science*, 1–39
- Crossgrove, J., dan Wei Zheng. (2004). Review article : Manganese toxicity upon overexposure. *NMR Biomed*, 17, 544–553
- Danckwerts, P.V. (1970). *Gas-Liquid reaction*. New York. McGraw-Hill. *AIChE Journal*, 17 (2), p. 509–10
- El-Hady, H. M. Abd., Grünwald, A., Vlčková, K., Zeithammerová, J., (2001). Lewatit S100 in drinking water treatment for ammonia removal. *Acta Polytechnica*, 41 No.1
- Fane, A, G. (n.d). *An introduction to membrane process*. School of chemical engineering & industrial chemistry, University of New South Wales, Australia.
- Gracia, J. C., AA., Duhalt, R. V., Ramos, J. L. dan Chaves, G. S. (1999). The branched-chain dodecylbenzene sulfonate degradation pathway of pseudomonas aeruginosa W51D involves a novel route for degradation of the surfactant lateral alkyl chain *J. Applied and Environmental Microbiology*, 65(8), 3730-34
- Gunten, Von Urs. (2003a). Ozonation of drinking water : Part I. oxidation kinetikcs and product formation. *Water Research*, 37, 1443-67
- Gunten, Urs Von.(2003b). Ozonation of drinking water : Part II. Disinfection and by-product formation in presence of bromide, iodide or chlorine. *Water Research*, 37:1469-87
- HERA (Human and Environmental Risk Assessment). (2002). *Linear Alkylbenzene Sulphonate* [Online]. Jul 5, 2010. [www.heraproject.com](http://www.heraproject.com)

- Hoigne', J., Bader, H., Haag, W.R., dan Staehelin, J. (1985). Rate constants of reactions of ozone with organic and inorganic compounds in water - III, *Water Research*, 19(8), 993
- Hunter, R. J. (1993). *Introduction to Modern Colloid Science*. New York. Oxford University Press. p.54-5
- I. Oyane, M. Futura, C. E. Stavarache, K. Hashiba, S. Mukai, M Nakanishi et.al. (2005). Inactivation of cryptosporidium parvum by ultrasonic irradiation. *Journal Enviromental science and technology*, 39(18), 7294-98
- Iron. (n.d). Jun 3, 2010. <http://en.wikipedia.org/wiki/Iron>
- Iron Metal MSDS. (n.d). Aug 10, 2010. <http://www.sciencelab.com/msds.php?msdsId=9924400>
- Iron and manganese. (n.d). Aug 25, 2010. [http://www.wrights-trainingsite.com/iron\\_mangonb.html](http://www.wrights-trainingsite.com/iron_mangonb.html)
- Jian-yu Lu., Xi Du., Lipscomb, G. (2009). Cleaning membranes with focused ultrasound beams for drinking water treatment. *Ultrasonics Symposium (IUS), IEEE International 2009*, 1195 – 98.
- Jeonghwan Kim., Davies, Simon H.R., Baumann, Melissa J., Baumann, Tarabara Volodymyr V., dan Masten, Susan J. (2008). Effect of ozone dosage and hydrodynamic conditions on the permeate flux in a hybrid ozonation–ceramic ultrafiltration system treating natural waters. *Journal of Membrane Science*, 311, 165–72
- Karamah, Eva F., Bismo, S., Widyaningrum, D., (n.d). Pengaruh waktu flotasi dan konsentrasi logam awal terhadap kinerja proses pengolahan limbah cair yang mengandung logam besi, tembaga, dan nikel dengan flotasi ozon. Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia
- Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 907/MENKES/SK/VII/2002.(2002).Tentang syarat-syarat dan pengawasan air minum. [www.icel.or.id/indeks2.php?option=com\\_content&do\\_pdf=1](http://www.icel.or.id/indeks2.php?option=com_content&do_pdf=1).
- K.K. Jyoti dan A.B. Pandit. (2004). Ozone and cavitation for water disinfection. *Biochemical Engineering Journal*, 18, p. 9–19
- K.K. Jyoti dan A.B. Pandit. (2002). Ozon and cavitation for water desinfectan. *Biochemical Engineering Journal*.

- Kwang-Ho Choo, Haebum Lee, Sang-June Choi. (2005). Iron and manganese removal and membrane fouling during UF in conjunction with prechlorination for drinking water treatment. *Journal of Membrane Science*, 267, 18–26
- L, Cynthia., Radiman., Yuliany dan Suendo, V., (2002). Pengaruh media perendam terhadap permeabilitas membran polisulfon, *Jurnal Matematika dan Sains*, 7(2):77-83
- Langlais, B., Reckhow D.A. dan Brink D.R., (1991). *Ozone in water treatment, application and engineering*. Florida. Lewis Publishers.
- Lewis, M. A. (1991). Chronic and sublethal toxicities of surfactants to aquatic Animals : A Review and Risk Assessment . *Wat. Res*, 25(1): 101-13.
- Lenntech. (n.d). Iron removal by physical-chemical ways. Jul 5, 2010. <http://www.lenntech.com/processes/iron-manganese/iron/iron-removal-physicalchemical-way.htm>
- Lenore S. Clescerl, Andrew D. Eaton, Eugene W. Rice (2005). *Standard Methods for Examination of Water & Wastewater* (21st ed.). Washington, DC: American Public Health Association
- Li-Bing Chu, et.al. (2008). Enhanced treatment of practical textile wastewater by microbubble ozonation. *Process Safety and Environmental Protection*, 86, 389-93.
- Li-Bing Chu, Xin-Hui Xing, An-Feng Yu, Xu-Lin Sun, Benjamin Jurcik. (2007). Enhanced ozonation of textile wastewater by microbubbles. *Proceedings of European Congress of Chemical Engineering (ECCE-6) Copenhagen*, 16-20 September 2007
- Li-Chun-Ying, Li Wei-Guang, Wang Guang-Zhi, Wang Ke. (2010). The preparation and the research of copper-chelex chitosan for removal ammonia from drinking water. *Advanced Materials Research*, 113-114, 1166-69
- Lihuang, Liangli, Wenbodong, Yanliu dan Andhuiqihou. (2008). Removal of ammonia by OH radical in aqueous phase. *Environ. Sci. Technol*, 42, 8070–75

- Linear alkylbenzene sulfonic acid. (n.d). Jul 5, 2010.  
<http://www.chemicaland21.com/specialtychem/perchem/LAS.htm>
- Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS). (n.d). Jul 5, 2010.  
[http://www.scienceinthebox.com/en\\_UK/pdf/LAS.pdf](http://www.scienceinthebox.com/en_UK/pdf/LAS.pdf)
- Manganese MSDS. (n.d). Aug 10, 2010.  
<http://www.sciencelab.com/msds.php?msdsId=9924577>
- Manganese. (n.d). July 5, 2010. <http://en.wikipedia.org/wiki/Manganese>
- Manis Kumar, Samer S Adham, William R Pearce. (2006). Investigation of seawater reverse osmosis fouling and its relationship to pretreatment type, *Environmental Science and Technology*, 40, 2037-44
- Maryani, Y., Kustiningsih, I., Rakhma, M.Y., Nufus, H. (2010). Uji aktivitas beberapa katalis pada proses degradasi senyawa aktif deterjen secara fotokatalisis. *Seminar Rekayasa Kimia dan Proses 2010* Ags 4-5
- Masten, Susan J., et al. (n.d). Ceramic membran water filtration. Aug 25, 2010. United States Patent (US7578939B2). <http://www.patentstorm.us>
- McKee, J.E. dan Wolf, H.W. (1963). *Water quality criteria*. 2nd ed. Publ. No. 3-A, State Water Quality Control Board, Sacramento, CA. p. 132.
- Metcalf & Eddy. Inc. (1991). *Wastewater engineering treatment, disposal, and reuse*. Singapore: McGraw-Hill Book Co.
- Moholkar V. S. dan Pandit A. B. (1996). Harness cavitation to improve processing. *Chemical Engineering Progress*, 92(7):57
- MSDS Anhydrous Ammonia. (n.d). Aug 10, 2010.  
<http://www.alliedaviation.com/locations/pipeline/MSDS.pdf>
- MSDS Linear Alkylbenzene Sulfonate. (n.d). Aug 10, 2010.  
<http://www.labchem.net/msds/75441.pdf>
- Mulder, M., (2000). *Basic Principles of Membrane Technology* 2<sup>nd</sup> Ed, Kluwer Academic Publishers.
- Ozone properties. (n.d). Mar 8, 2010. <http://www.ozoneapplications.com>.
- Peavy, Howard S., Rowe. Donald R., Tchobanoglous, George. (1987). *Environmental Engineering, International Edition*, McGraw-Hill.

- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 43 Tahun 2008 tentang Air Tanah. (2008). <http://hukum.jogjakota.go.id/upload/PP%20No.43-2008.pdf>
- Rice, R.G. dan M.E. Browning. (1981). Ozone treatment of industrial wastewater. Notes Data Corroration. Park Ridly.
- Rice, R.G., Netzer, A. (1984). Ozone for drinking water treatment. Handbook of Ozone Technology and Applications, Vol. II, Butterworth, Stoneham, MA.
- Rosen, J. M. (1987). Surfactant and Interfacial Phenomena. New York. John Wiley and Sons.
- Said, Nusa Idaman.(2003). Metoda praktis penghilangan zat besi dan mangan di dalam air minum. Jakarta : Kelair – BPPT. 2003
- Sartor, M., Schlichter, B., Gatjal, H dan Mavrov, V. (2008). Demonstration of a new hybrid process for the decentralized drinking and service water production from surface water in Thailand. *Desalination*, 222, 528-40
- Sids dossier linear alkylbenzene sulfonate (LAS) (2005). Jul 5, 2010. [http://www.cler.com/news/LAS\\_Dossier\\_0805.pdf](http://www.cler.com/news/LAS_Dossier_0805.pdf). Agustus 2005
- Sutrisno T. (1996). Teknologi penyediaan air bersih. Jakarta. Rineka Cipta.
- Vaaramaa, K., Lehto, J., (2003). Removal of metals and anions from drinking water by ion exchange, *Desalination*, 155(2), 157-170
- Vercellotti, Joseph M. (1988). Kinetics of iron removal using potassium permanganate and ozon. Thesis Master of Science, Ohio University.
- Wenten, I. G. (1996). Membrane technology for industry and environmental protection. UNESCO. Center for membrane science and technology, Institut Teknologi Bandung.
- White, Clifford G., (1986). The Handbook of Chlorination 2nd ed. New York. Van Nostrand Reinhold Company.
- Wulan, Praswasti PDK., (2009). Parameter-parameter yang mempengaruhi kinerja alat filtrasi aliran vertikal ke atas untuk mengurangi kesadahan air. Karya Ilmiah Universitas Indonesia, Fakultas Teknik Program studi Teknik Kimia.

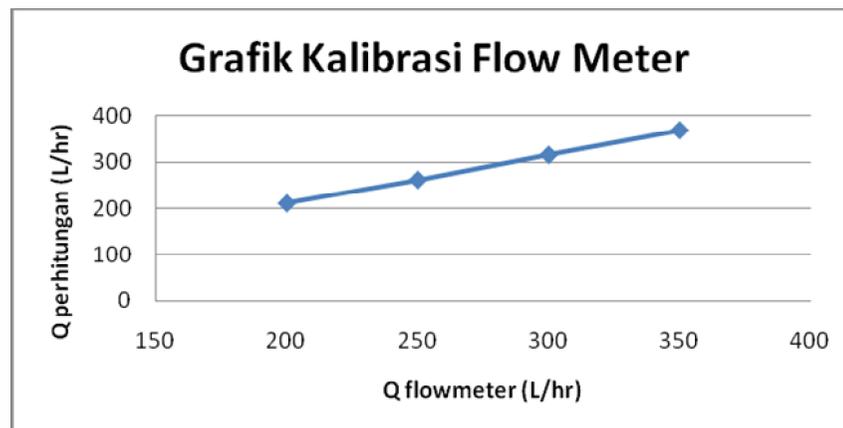


This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

## Lampiran 1. Kalibrasi Flowmeter Air

### Kalibrasi Flowmeter Air

Q Flowmeter (L/hr)	Vol (ml)	t (secon)	Q (ml/s)	Q (L/hr)	Q rata-rata (L/hr)
200	427	7,28	58,65	211,15	210,48
	341	5,82	58,59	210,93	
	442	7,6	58,16	209,37	
	371	6,34	58,52	210,66	
	434	7,43	58,41	210,28	
250	404	5,52	73,19	263,48	261,36
	356	4,9	72,65	261,55	
	331	4,5	73,56	264,80	
	351	4,9	71,63	257,88	
	375	5,21	71,98	12	
300	359	4,11	87,35	314,45	315,17
	444	5,14	86,38	310,97	
	488	5,59	87,30	314,28	
	317	3,63	87,33	314,38	
	429	4,8	89,38	321,75	
350	305	2,98	102,35	368,46	368,43
	338	3,28	103,05	370,98	
	482	4,76	101,26	364,54	
	202	1,98	102,02	367,27	
	340	3,3	103,03	370,91	



## Lampiran 2 Laju Alir Ozonator

### Data Laju Alir Ozonator

Vol (ml)	t (secon)	Q (ml/s)	Q (L/hr)	Q rata-rata (L/hr)
400	1,22	327,87	1180,33	1203,19
400	1,19	336,13	1210,08	
400	1,18	338,98	1220,34	
400	1,18	338,98	1220,34	
400	1,2	333,33	1200,00	
400	1,22	327,87	1180,33	
400	1,2	333,33	1200,00	
400	1,18	338,98	1220,34	
400	1,19	336,13	1210,08	
400	1,21	330,58	1190,08	

### Lampiran 3, Uji Produktivitas Ozon

Uji produktivitas ozon dilakukan dengan Metode titrasi iodometri

Reaksi Ozon dengan KI :



Pembebasan iodium dititrasi dengan natrium tiosulfat ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) :



Prosedur perhitungan :

$$\text{mol Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = \frac{(V_{\text{hulu}} + V_{\text{hilir}}) \times 0,0025}{1000}$$

$$\text{mol O}_3 = \frac{1}{2} \times \text{mol Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$$

$$\text{gram O}_3 = \text{mol O}_3 \times 48$$

$$\text{Produktivitas Ozon} = \frac{\text{gram O}_3}{t \text{ (s)}} = \frac{\text{gram O}_3}{t \text{ (jam)}} \times 3600$$

Data Uji Produktivitas Ozonator Merk Resun RSO 9508

Q (L/jam)	T min	t (detik)	V $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (ml)		Prod. ozon (gr/jam)
			hulu	hilir	
1200	1	60	34	1	0,126
1200	3	180	111	2	0,136
1200	5	300	166,9	5	0,124
1200	10	600	268,5	6,8	0,099
1200	15	900	382	16,5	0,096
1200	20	1200	527	21	0,099
Produktivitas Ozon rata-rata (gr/jam)					0,113

## Lampiran 4 Pengaruh Penggunaan Ozon Terhadap Kinerja Membran

### A. Pengaruh Penggunaan Ozon Terhadap Fluks Permeat

Secara sistematis fluks dirumuskan sebagai berikut [60]:

$$J = \frac{V}{A \times t}$$
$$J = \frac{1}{A} \cdot \frac{dV}{dt} = \frac{1}{A \cdot \rho} \cdot \frac{dm}{dt} \left( \frac{L}{m^2 \cdot \text{mnt}} \right)$$

Dimana :

- J = fluks (L/m<sup>2</sup>:jam)  
V = volume permeat  
A = luas selimut membran (m<sup>2</sup>)  
t = waktu (jam)

Dengan :

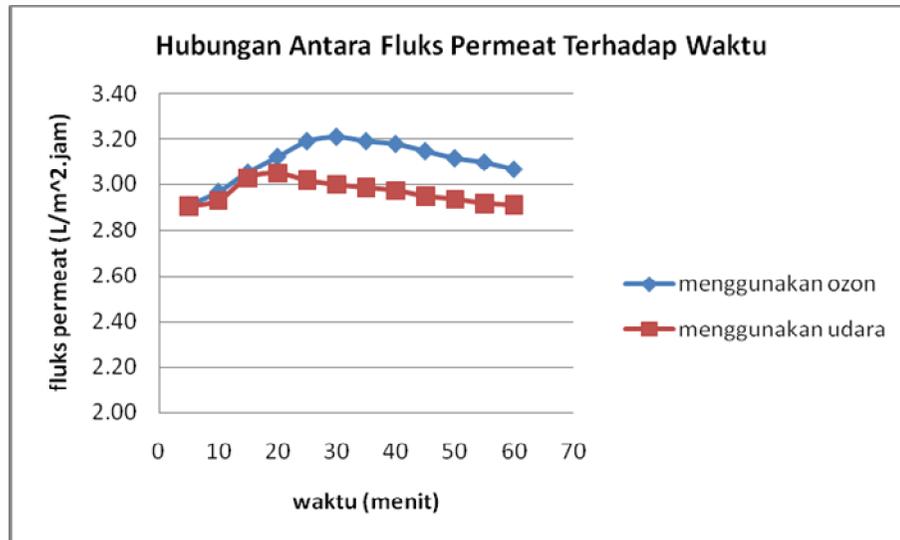
- jari-jari membran = 3cm  
tinggi membran (h) = 20 inc  
= 50,8 cm  
A = keliling membran x h  
= 2π. h  
= (2 x 3,14 x 3cm) x 50,8 cm  
= 957,07 cm<sup>2</sup>  
= 9,571 m<sup>2</sup>  
 $\rho = \frac{\text{massa air}}{\text{volume air}}$   
= 50,7 gr/50 ml  
= 1,014 gr/ml  
= 1,014 kg/L

### Pengaruh Penggunaan Ozon Terhadap Fluks Permeat

Waktu (menit)	Massa (kg)	Massa kumulatif (kg)	Waktu (jam)	Fluks (L/m <sup>2</sup> x jam)
0	0	0	0	0
5	2,355	2,355	0,0833	2,9120
10	2,4	4,755	0,1667	2,9676
15	2,47	7,225	0,2500	3,0542
20	2,525	9,75	0,3333	3,1222
25	2,58	12,33	0,4167	3,1902
30	2,595	14,925	0,5000	3,2088
35	2,58	17,505	0,5833	3,1902
40	2,57	20,075	0,6667	3,1778
45	2,545	22,62	0,7500	3,1469
50	2,52	25,14	0,8333	3,1160
55	2,505	27,645	0,9167	3,0975
60	2,48	30,125	1,0000	3,0666

### Pengaruh Penggunaan Udara Terhadap Fluks Permeat

Waktu (menit)	Massa (kg)	Massa kumulatif (kg)	Waktu (jam)	Fluks (L/m <sup>2</sup> x jam)
0	0	0	0,0000	0
5	2,35	2,35	0,0833	2,9058
10	2,37	4,72	0,1667	2,9305
15	2,45	7,17	0,2500	3,0295
20	2,465	9,635	0,3333	3,0480
25	2,44	12,075	0,4167	3,0171
30	2,425	14,5	0,5000	2,9985
35	2,415	16,915	0,5833	2,9862
40	2,405	19,32	0,6667	2,9738
45	2,385	21,705	0,7500	2,9491
50	2,375	24,08	0,8333	2,9367
55	2,36	26,44	0,9167	2,9182
60	2,355	28,795	1,0000	2,9120



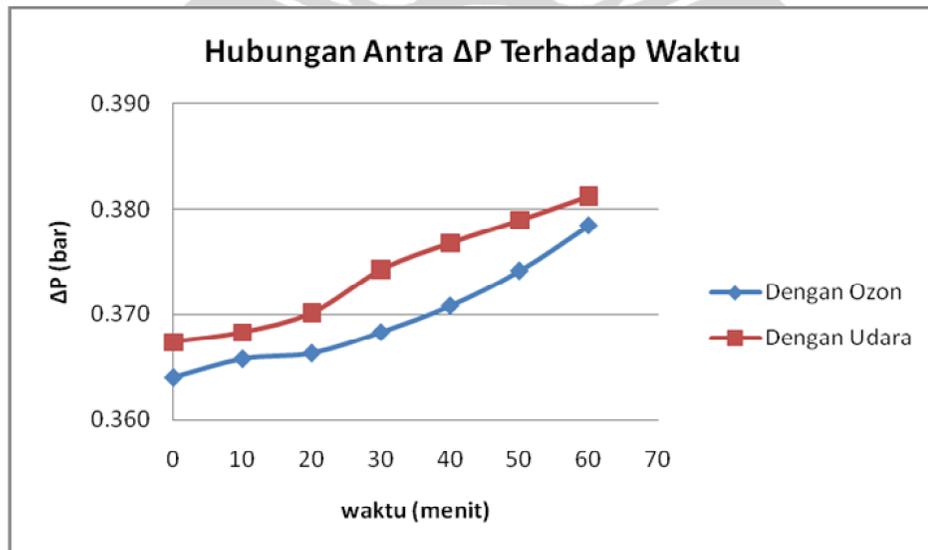
**B, Pengaruh Ozon Terhadap  $\Delta P$**

**Pengaruh Penggunaan Ozon Terhadap  $\Delta P$**

Waktu (menit)	$\Delta P$ (bar)			$\overline{\Delta P}$ (bar)	Waktu (menit)	$\Delta P$ (bar)			$\overline{\Delta P}$ (bar)
0	0,358	0,356	0,376	0,364	40	0,374	0,374	0,38	0,371
	0,362	0,366	0,362			0,364	0,37	0,382	
	0,378	0,376	0,358			0,37	0,386	0,37	
	0,354	0,358	0,37			0,364	0,368	0,362	
	0,356	0,374	0,356			0,372	0,366	0,36	
10	0,37	0,368	0,354	0,366	50	0,368	0,362	0,372	0,374
	0,356	0,354	0,358			0,358	0,368	0,368	
	0,362	0,38	0,368			0,374	0,378	0,374	
	0,358	0,374	0,376			0,374	0,382	0,388	
	0,364	0,372	0,372			0,382	0,386	0,378	
20	0,374	0,364	0,364	0,366	60	0,384	0,388	0,376	0,378
	0,37	0,37	0,362			0,374	0,364	0,37	
	0,366	0,36	0,362			0,378	0,372	0,368	
	0,378	0,366	0,358			0,388	0,372	0,392	
	0,382	0,362	0,356			0,392	0,378	0,38	
30	0,37	0,354	0,366	0,368					
	0,366	0,364	0,378						
	0,354	0,38	0,364						
	0,356	0,376	0,374						
	0,374	0,372	0,376						

### Pengaruh Penggunaan Udara Terhadap $\Delta P$

Waktu (menit)	$\Delta P$ (bar)			(bar)	Waktu (menit)	$\Delta P$ (bar)			(bar)
0	0,366	0,372	0,374	0,367	40	0,362	0,372	0,372	0,377
	0,370	0,362	0,368			0,376	0,378	0,384	
	0,364	0,364	0,356			0,374	0,374	0,386	
	0,368	0,372	0,374			0,380	0,384	0,382	
	0,374	0,366	0,360			0,378	0,376	0,374	
10	0,366	0,362	0,366	0,368	50	0,374	0,378	0,382	0,379
	0,374	0,364	0,370			0,372	0,376	0,374	
	0,378	0,372	0,368			0,378	0,378	0,382	
	0,376	0,368	0,370			0,376	0,376	0,382	
	0,368	0,362	0,360			0,386	0,384	0,386	
20	0,358	0,374	0,374	0,370	60	0,388	0,382	0,376	0,381
	0,364	0,376	0,358			0,386	0,386	0,374	
	0,368	0,364	0,372			0,382	0,388	0,374	
	0,372	0,380	0,378			0,378	0,384	0,382	
	0,374	0,358	0,382			0,376	0,380	0,382	
30	0,378	0,374	0,364	0,374					
	0,360	0,382	0,372						
	0,366	0,376	0,378						
	0,382	0,386	0,382						
	0,376	0,360	0,378						



## Lampiran 5. Perhitungan Kadar Ozon Dalam Air

Volume sampel yang diambil = 25 ml

Konsentrasi  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  = 0,00025 M

Prosedur perhitungan :

mmol  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  = (Vol,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) x 0,00025 M

mol  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  = (Vol,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) x 0,00025 M / 1000

mol  $\text{O}_3$  =  $\frac{1}{2}$  x mol  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

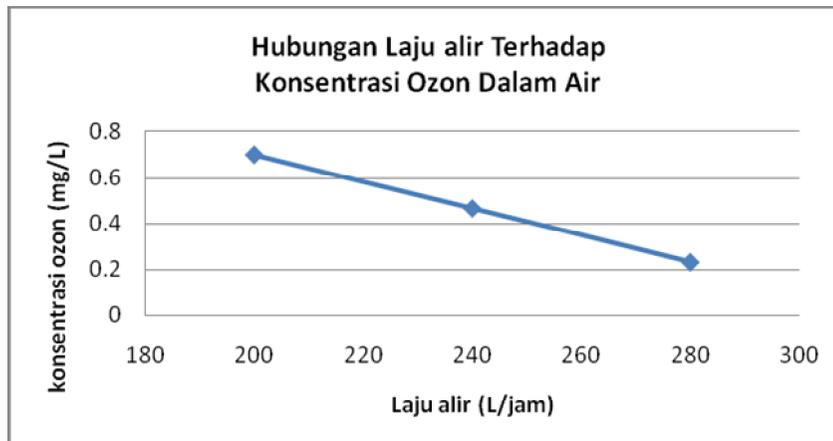
gram  $\text{O}_3$  = mol  $\text{O}_3$  x 48

Konsentrasi  $\text{O}_3$  = gram  $\text{O}_3$  / 25 (gr/ml)

Konsentrasi  $\text{O}_3$  = (gram  $\text{O}_3$  / 25) x  $10^6$  (mg/L)

### Ozonator Reson dengan Produktivitas 0,113 gr/jam

Laju alir (L/hr)	Menit	V $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	V rata-rata	kadar $\text{O}_3$ ppm (mg/L)	kadar $\text{O}_3$ rata-rata
200	10	0,6	0,7	0,144	0,168
	20	0,7		0,168	
	30	0,8		0,192	
240	10	0,4	0,5	0,096	0,112
	20	0,5		0,12	
	30	0,5		0,12	
280	10	0,2	0,2	0,048	0,056
	20	0,2		0,048	
	30	0,3		0,072	



## Lampiran 6. Perhitungan Larutan Sintetik

Konsentrasi ammonia yang dibuat dalam air sintetik yaitu sebesar 60 mg/L sedangkan LAS 30 mg/L, besi 5 mg/L dan mangan 5 mg/L, Alat yang digunakan untuk preparasi larutan sintetik adalah timbangan digital dan cawan, Sedangkan bahan yang diperlukan adalah  $\text{NH}_4\text{CL}$ , Deterjen Attack (mengandung 25% LAS),  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  dan Air Sumur DTK FTUI.

Larutan Sintetik	Perhitungan
<p><b>A. Besi</b></p> <p>Bahan <math>\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}</math></p> <p>Fe yang dibutuhkan = 5 mg/L</p> <p>BM <math>\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}</math> = 278,02g/mol</p> <p>BM Fe = 55,85 g/mol</p>	<p>Massa gram yang diperlukan/L :</p> $= \frac{\text{BM FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}}{\text{BM Fe}} \times [\text{Fe}] \text{ yang diinginkan}$ $= \frac{278,02 \text{ g/mol}}{55,85 \text{ g/mol}} \times 5 \text{ mg/L}$ <p>= 24,89 mg/L = 0,02489 gr/L</p> <p>Dengan volume reservoir 150L maka, Massa <math>\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}</math> yang diperlukan untuk mendapatkan konsentrasi Fe 5mg/L adalah = 0,02489 gr/L x 150 L = 3,733 gr</p>
<p><b>B. Mangan</b></p> <p>Bahan <math>\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}</math></p> <p>Mn yang dibutuhkan = 5 mg/L</p> <p>BM <math>\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}</math> = 197,91g/mol</p> <p>BM Mn = 54,938g/mol</p>	<p>Massa gram yang diperlukan/L</p> $= \frac{\text{BM MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}}{\text{BM Mn}} \times [\text{Mn}] \text{ yang diinginkan}$ $= \frac{197,91 \text{ g/mol}}{54,938 \text{ g/mol}} \times 5 \text{ mg/L}$ <p>= 18,012 mg/L</p> <p>= 0,0180 gr/L</p> <p>Dengan volume reservoir 150L maka: Massa <math>\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}</math> yang diperlukan untuk mendapatkan konsentrasi Mn 5mg/L adalah: = 0,0180 gr/L x 150 L = 2,702 gr</p>

<p><b>C. Amonia</b></p> <p>Bahan NH<sub>4</sub>Cl</p> <p>NH<sub>3</sub> yang dibutuhkan = 60 mg/L</p> <p>BM NH<sub>4</sub>Cl = 53,5g/mol</p> <p>BM NH<sub>3</sub> = 17 g/mol</p>	<p>Massa gram yang diperlukan/L :</p> $= \frac{\text{BM NH}_4\text{Cl}}{\text{BM NH}_3} \times [\text{N}(\text{I}_3)] \text{ yang diinginkan}$ $= \frac{53,5\text{g/mol}}{17 \text{ g/mol}} \times 60 \text{ mg/L}$ <p>= 188,823 mg/L</p> <p>= 0,188823 g/L</p> <p>Dengan volume reservoir 150L maka,          Massa NH<sub>4</sub>Cl yang perlukan untuk          mendapatkan konsentrasi NH<sub>3</sub> 60mg/L:          = 0,188823 g/L x 150 L = 28,323 gr</p>
<p><b>D. LAS</b></p> <p>Bahan Detergen Attack 25%LAS</p> <p>LAS yang dibutuhkan = 30 mg/L</p>	<p>Dengan volume reservoir 150L maka,          detergen yang diperlukan untuk          mendapatkan konsentrasi LAS 30mg/L :</p> $= 30\text{mg/L} \times 150 \text{ L} \times (25\%)$ $= 1.125 \text{ mg} = 1,125 \text{ gr}$

## Lampiran 7. Perhitungan Penyisihan Besi

### A. Data Persentase Penyisihan Logam Besi (Konsentrasi awal 5 mg/L)

Waktu (menit)	Konsentrasi Besi (mg/L)	Penyisihan Besi (%)	Total Penyisihan Besi (%)
0	4,46	-	99,78
10	0,33	92,60	
20	0,32	92,83	
30	0,08	98,21	
0	4,35	-	
10	0,07	98,39	
20	0,07	98,39	
30	0,02	99,54	
0	4,27	-	
10	0,03	99,30	
20	0,02	99,53	
30	< 0,01	99,77	

Keterangan : Air sumur mengandung besi = 0,16 mg/L

### B. Data DO, pH dan TDS untuk Logam Besi

Tingkat	Menit	DO ppm	pH	TDS ppm
1	0	5,7	7,14	50
	10	5,9	7,22	49
	20	6	7,36	48
	30	6	7,26	48
2	0	5,8	7,27	50
	10	5,9	7,49	47
	20	6	7,58	48
	30	6,1	7,55	46
3	0	5,8	7,53	48
	10	5,9	7,72	46
	20	6,1	7,63	46
	30	6,2	7,66	45

Keterangan : Air sumur mengandung DO = 5,7 ppm; pH = 6,9; TDS = 38 ppm

### C. Data Kinerja Membran Untuk Logam Besi

#### Pressure Drop

Tingkat	Waktu (menit)	$\Delta P$ (bar)			$\Delta$ Prata-rata (bar)
1	0	0,406	0,380	0,388	0,393
		0,402	0,388	0,392	
		0,396	0,382	0,400	
	10	0,406	0,398	0,404	0,402
		0,400	0,396	0,400	
		0,398	0,410	0,404	
	20	0,410	0,408	0,400	0,405
		0,412	0,400	0,400	
		0,408	0,402	0,402	
	30	0,408	0,408	0,404	0,405
		0,402	0,402	0,406	
		0,402	0,408	0,406	
2	0	0,384	0,396	0,384	0,393
		0,392	0,398	0,396	
		0,398	0,388	0,398	
	10	0,390	0,396	0,400	0,397
		0,396	0,394	0,402	
		0,392	0,398	0,404	
	20	0,398	0,402	0,398	0,398
		0,396	0,396	0,392	
		0,400	0,402	0,402	
	30	0,398	0,396	0,398	0,399
		0,400	0,400	0,400	
		0,402	0,396	0,402	
3	0	0,400	0,398	0,390	0,394
		0,390	0,392	0,392	
		0,396	0,394	0,396	
	10	0,398	0,398	0,400	0,396
		0,390	0,392	0,398	
		0,396	0,396	0,396	
	20	0,398	0,396	0,394	0,398
		0,400	0,392	0,400	
		0,402	0,396	0,402	
	30	0,406	0,398	0,396	0,398
		0,396	0,392	0,398	
		0,398	0,398	0,404	

### Fluks Permeate

Tingkat	Waktu	Massa	Massa kumulatif	Waktu	Fluks
	(menit)	(kg)	(kg)	(jam)	(L/m <sup>2</sup> x jam)
1	0	0	0	0	0
	5	1,29	1,29	0,0833	1,5951
	10	1,37	2,66	0,1667	1,6940
	15	1,47	4,13	0,2500	1,8177
	20	1,555	5,685	0,3333	1,9228
	25	1,59	7,275	0,4167	1,9661
	30	1,665	8,94	0,5000	2,0588
2	0	0	0	0	0,0000
	5	1,805	1,805	0,0833	2,2319
	10	1,905	3,71	0,1667	2,3556
	15	1,945	5,655	0,2500	2,4050
	20	1,97	7,625	0,3333	2,4359
	25	1,985	9,61	0,4167	2,4545
	30	2,015	11,625	0,5000	2,4916
3	0	0	0	0	0,0000
	5	2,065	2,065	0,0833	2,5534
	10	2,075	4,14	0,1667	2,5658
	15	2,085	6,225	0,2500	2,5781
	20	2,105	8,33	0,3333	2,6029
	25	2,115	10,445	0,4167	2,6152
	30	2,14	12,585	0,5000	2,6461

## Lampiran 8, Perhitungan Penyisihan Mangan

### A. Data Persentase Penyisihan Mangan (Konsentrasi awal 5 mg/L)

Tingkat	Waktu (menit)	Konsentrasi Mangan (mg/L)	Penyisihan Mangan (%)	Total Penyisihan Mangan (%)
T1	0	4,96	-	26,21
	10	4,65	6,25	
	20	4,28	13,71	
	30	4,29	13,51	
T2	0	4,73	-	
	10	4,55	3,81	
	20	4,17	11,84	
	30	4,08	13,74	
T3	0	4,62	-	
	10	4,33	6,28	
	20	4,01	13,20	
	30	3,66	20,78	

Keterangan : Air sumur mengandung mangan = 0,46 mg/L

### B. Data DO, pH dan TDS untuk Mangan

Tingkat	Menit	DO ppm	pH	TDS
1	0	5,6	6,8	63
	10	5,8	6,86	63
	20	5,8	6,9	63
	30	5,9	6,91	62
2	0	5,7	6,95	62
	10	5,8	6,99	62
	20	6	7,13	61
	30	6	7,16	61
3	0	5,8	7,2	60
	10	5,9	7,21	59
	20	6	7,25	60
	30	6	7,23	60

Keterangan : Air sumur mengandung DO = 5,6 ppm; pH = 6,75; TDS = 39 ppm

**C. Data Kinerja Membran Untuk Mangan  
Pressure drop**

Tingkat	Waktu (menit)	$\Delta P$			$\Delta$ Prata-rata (bar)
		(bar)			
1	0	0,386	0,380	0,382	0,385
		0,388	0,382	0,388	
		0,384	0,390	0,386	
	10	0,386	0,390	0,392	0,387
		0,384	0,388	0,382	
		0,388	0,382	0,388	
	20	0,386	0,392	0,386	0,388
		0,388	0,390	0,390	
		0,384	0,386	0,388	
	30	0,392	0,386	0,392	0,389
		0,384	0,386	0,394	
		0,388	0,390	0,390	
2	0	0,386	0,384	0,392	0,386
		0,388	0,382	0,388	
		0,384	0,386	0,384	
	10	0,394	0,392	0,390	0,388
		0,386	0,384	0,386	
		0,384	0,386	0,388	
	20	0,390	0,386	0,390	0,388
		0,386	0,392	0,390	
		0,392	0,382	0,388	
	30	0,390	0,392	0,392	0,390
		0,392	0,388	0,386	
		0,388	0,390	0,388	
3	0	0,386	0,390	0,386	0,388
		0,388	0,392	0,388	
		0,392	0,390	0,384	
	10	0,388	0,386	0,386	0,388
		0,384	0,386	0,388	
		0,390	0,392	0,394	
	20	0,388	0,390	0,392	0,390
		0,386	0,394	0,388	
		0,392	0,384	0,392	
	30	0,392	0,390	0,392	0,391
		0,390	0,388	0,394	
		0,388	0,392	0,392	

### Fluks Permeate

Tingkat	Waktu	Massa	Massa kumulatif	Waktu	Fluks
	(menit)	(kg)	(kg)	(jam)	(L/m <sup>2</sup> x jam)
1	0	0	0	0	0
	5	1,935	1,935	0,0833	2,3927
	10	1,91	3,845	0,1667	2,3617
	15	1,885	5,73	0,2500	2,3308
	20	1,875	7,605	0,3333	2,3185
	25	1,895	9,5	0,4167	2,3432
	30	1,85	11,35	0,5000	2,2875
2	0	0	0	0	0,0000
	5	1,89	1,89	0,0833	2,3370
	10	1,855	3,745	0,1667	2,2937
	15	1,84	5,585	0,2500	2,2752
	20	1,835	7,42	0,3333	2,2690
	25	1,82	9,24	0,4167	2,2505
	30	1,825	11,065	0,5000	2,2566
3	0	0	0	0	0,0000
	5	1,855	1,855	0,0833	2,2937
	10	1,835	3,69	0,1667	2,2690
	15	1,82	5,51	0,2500	2,2505
	20	1,825	7,335	0,3333	2,2566
	25	1,795	9,13	0,4167	2,2195
	30	1,8	10,93	0,5000	2,2257

## Lampiran 9, Data Penyisihan Amonia

### A. Data Persentase Penyisihan Amonia (Konsentrasi awal 60 mg/L)

Tingkat	Waktu (menit)	Konsentrasi Amonia (mg/L)	Penyisihan amonia (%)	Total Penyisihan (%)
T1	0	58,98	-	3,73
	10	58,78	0,34	
	20	58,81	0,29	
	30	58,44	0,92	
T2	0	58,84	-	
	10	58,33	0,87	
	20	57,96	1,50	
	30	57,54	2,21	
T3	0	58,22	-	
	10	57,66	0,96	
	20	57,53	1,19	
	30	56,78	2,47	

Keterangan : Air sumur mengandung amonia = <0,05 mg/L

### B. Data DO, pH dan TDS untuk Senyawa Amonia

Tingkat	Menit	DO mg/L	pH	TDS mg/L
1	0	5,8	6,85	360
	10	5,9	7	361
	20	6	7,02	359
	30	6	7,08	362
2	0	5,9	7,1	359
	10	5,9	7,18	360
	20	6	7,17	362
	30	6,1	7,19	360
3	0	5,9	7,24	356
	10	6	7,27	357
	20	6	7,26	357
	30	6,1	7,29	358

Keterangan : Air sumur mengandung DO = 5,6 ppm; pH = 6,8; TDS = 36 ppm

### C. Data Kinerja Membran Untuk Senyawa Amonia

#### Pressure Drop

Tingkat	Waktu (menit)	$\Delta P$ (bar)			$\Delta P$ Prata-rata (bar)
1	0	0,334	0,328	0,332	0,328
		0,332	0,326	0,326	
		0,322	0,322	0,328	
	10	0,328	0,332	0,326	0,329
		0,330	0,330	0,328	
		0,324	0,328	0,332	
	20	0,328	0,330	0,328	0,331
		0,330	0,328	0,332	
		0,334	0,332	0,334	
	30	0,332	0,332	0,334	0,332
		0,328	0,330	0,332	
		0,330	0,336	0,336	
2	0	0,336	0,340	0,336	0,336
		0,336	0,336	0,334	
		0,338	0,338	0,334	
	10	0,330	0,330	0,332	0,329
		0,328	0,332	0,330	
		0,328	0,328	0,326	
	20	0,338	0,342	0,340	0,338
		0,336	0,340	0,332	
		0,340	0,338	0,338	
	30	0,336	0,338	0,338	0,338
		0,340	0,340	0,334	
		0,338	0,342	0,338	
3	0	0,336	0,338	0,340	0,339
		0,340	0,340	0,338	
		0,338	0,342	0,342	
	10	0,336	0,338	0,334	0,337
		0,340	0,338	0,330	
		0,346	0,340	0,330	
	20	0,338	0,338	0,340	0,339
		0,340	0,340	0,338	
		0,336	0,338	0,342	
	30	0,340	0,342	0,342	0,340
		0,340	0,338	0,340	
		0,338	0,340	0,342	

## Fluks Permeate

Tingkat	Waktu	Massa	Massa komulatif	Waktu	Fluks
	(menit)	(kg)	(kg)	(jam)	(L/m <sup>2</sup> x jam)
1	0	0	0	0	0
	5	1,505	1,505	0,0833	1,8610
	10	1,58	3,085	0,1667	1,9537
	15	1,625	4,71	0,2500	2,0093
	20	1,66	6,37	0,3333	2,0526
	25	1,635	8,005	0,4167	2,0217
	30	1,595	9,6	0,5000	1,9722
2	0	0	0	0	0,0000
	5	1,52	1,52	0,0833	1,8795
	10	1,375	2,895	0,1667	1,7002
	15	1,365	4,26	0,2500	1,6878
	20	1,51	5,77	0,3333	1,8671
	25	1,52	7,29	0,4167	1,8795
	30	1,47	8,76	0,5000	1,8177
3	0	0	0	0	0,0000
	5	1,385	1,385	0,0833	1,7126
	10	1,325	2,71	0,1667	1,6384
	15	1,29	4	0,2500	1,5951
	20	1,405	5,405	0,3333	1,7373
	25	1,5	6,905	0,4167	1,8548
	30	1,46	8,365	0,5000	1,8053

## Lampiran 10, Data Penyisihan LAS

### A. Data Persentase Penyisihan LAS (Konsentrasi awal 30 mg/L)

Tingkat	Waktu (menit)	Konsentrasi LAS (mg/L)	Penyisihan LAS (%)	Total Penyisihan (%)
T1	0	25,77	-	80,52
	10	20,91	18,86	
	20	21,52	16,49	
	30	16,21	37,10	
T2	0	21,84	-	
	10	15,06	31,04	
	20	16,45	24,68	
	30	9,22	57,78	
T3	0	16,72	-	
	10	13,17	21,23	
	20	8,38	49,88	
	30	5,02	69,98	

Keterangan : Air sumur : mengandung LAS = 3,14 mg/L

### B. Data DO, pH dan TDS untuk Senyawa LAS

Tingkat	Menit	DO ppm	pH	TDS ppm
1	0	5,8	8,1	119
	10	6	8,03	116
	20	6	8,1	114
	30	6,1	8,1	111
2	0	5,8	8,08	117
	10	5,9	7,96	113
	20	6	7,91	109
	30	6,2	7,89	107
3	0	5,9	7,87	117
	10	6	7,82	112
	20	6,1	7,83	108
	30	6,2	7,81	106

Keterangan : Air sumur mengandung DO = 5,6 ppm; pH = 6,8; TDS = 39 ppm

### C. Data Kinerja Membran Untuk Senyawa LAS

#### Pressure Drop

Tingkat	Waktu (menit)	$\Delta P$ (bar)			$\Delta$ Prata-rata (bar)
1	0	0,348	0,346	0,348	0,346
		0,350	0,346	0,342	
		0,344	0,342	0,346	
	10	0,340	0,340	0,342	0,344
		0,340	0,348	0,346	
		0,348	0,344	0,344	
	20	0,342	0,340	0,340	0,340
		0,340	0,338	0,338	
		0,338	0,342	0,342	
	30	0,348	0,342	0,346	0,347
		0,346	0,346	0,348	
		0,352	0,344	0,348	
2	0	0,336	0,338	0,336	0,336
		0,336	0,336	0,336	
		0,334	0,336	0,334	
	10	0,336	0,332	0,330	0,333
		0,334	0,334	0,334	
		0,334	0,332	0,332	
	20	0,336	0,334	0,334	0,336
		0,334	0,336	0,336	
		0,336	0,340	0,334	
	30	0,350	0,350	0,350	0,349
		0,348	0,350	0,348	
		0,346	0,350	0,346	
3	0	0,346	0,348	0,340	0,343
		0,344	0,344	0,340	
		0,342	0,342	0,338	
	10	0,340	0,336	0,340	0,338
		0,338	0,336	0,336	
		0,338	0,338	0,338	
	20	0,338	0,336	0,336	0,338
		0,338	0,338	0,340	
		0,340	0,340	0,338	
	30	0,350	0,342	0,350	0,348
		0,348	0,352	0,346	
		0,344	0,350	0,350	

## Fluks Permeate

Tingkat	Waktu	Massa	Massa komulatif	Waktu	Fluks
	(menit)	(kg)	(kg)		(jam)
1	0	0	0	0	0
	5	1,26	1,26	0,0833	1,5580
	10	1,275	2,535	0,1667	1,5766
	15	1,285	3,82	0,2500	1,5889
	20	1,29	5,11	0,3333	1,5951
	25	1,305	6,415	0,4167	1,6136
	30	1,31	7,725	0,5000	1,6198
2	0	0	0	0	0,0000
	5	1,23	1,23	0,0833	1,5209
	10	1,235	2,465	0,1667	1,5271
	15	1,265	3,73	0,2500	1,5642
	20	1,285	5,015	0,3333	1,5889
	25	1,3	6,315	0,4167	1,6075
	30	1,3	7,615	0,5000	1,6075
3	0	0	0	0	0,0000
	5	1,235	1,235	0,0833	1,5271
	10	1,24	2,475	0,1667	1,5333
	15	1,24	3,715	0,2500	1,5333
	20	1,25	4,965	0,3333	1,5456
	25	1,26	6,225	0,4167	1,5580
	30	1,285	7,51	0,5000	1,5889

**Lampiran 11. Perhitungan Penyisihan Bahan Pencemar Campuran (Besi, Mangan, Amonia dan LAS)**

**A. Data Persentase Penyisihan Bahan Pencemar Campuran (Besi, Mangan, Amonia dan LAS)**

**Besi (Fe)**

Tingkat	Waktu	Konsentrasi Besi	Penyisihan Besi	Total Penyisihan Besi
	(menit)	(mg/L)	(%)	(%)
T1	0	4,67		99,36
	10	0,59	87,37	
	20	0,34	92,72	
	30	0,08	98,29	
T2	0	4,38		
	10	0,19	95,66	
	20	0,04	99,09	
	30	0,03	99,32	
T3	0	4,13		
	10	0,06	98,55	
	20	0,07	98,31	
	30	0,03	99,27	

Keterangan : Air sumur mengandung besi = 0,13 mg/L

**Mangan (Mn)**

Tingkat	Waktu	Konsentrasi Mangan	Penyisihan Mangan	Total Penyisihan Mangan
	(menit)	(mg/L)	(%)	(%)
T1	0	5,43		21,55
	10	5,28	2,76	
	20	5,14	5,34	
	30	4,72	13,08	
T2	0	5,14		
	10	4,91	4,47	
	20	4,45	13,42	
	30	4,21	18,09	
T3	0	5,00		
	10	4,55	9,00	
	20	4,33	13,40	
	30	4,26	14,80	

Keterangan : Air sumur mengandung mangan = 0,43 mg/L

### Amonia (NH<sub>3</sub>)

Tingkat	Waktu	Konsentrasi Amonia	Penyisihan Amonia	Total Penyisihan
	(menit)	(mg/L)	(%)	(%)
T1	0	60,22		2,89
	10	59,88	0,56	
	20	59,45	1,28	
	30	58,96	2,09	
T2	0	59,86		
	10	59,25	1,02	
	20	59,34	0,87	
	30	58,86	1,67	
T3	0	59,49		
	10	59,04	0,76	
	20	58,67	1,38	
	30	58,48	1,70	

Keterangan : Air sumur mengandung amonia => 0,05 mg/L

### LAS

Tingkat	Waktu	Konsentrasi LAS	Penyisihan LAS	Total Penyisihan LAS
	(menit)	(mg/L)	(%)	(%)
T1	0	25,17		80,10
	10	20,52	18,47	
	20	14,44	42,63	
	30	10,89	56,73	
T2	0	22,56		
	10	16,43	27,17	
	20	12,33	45,35	
	30	9,98	55,76	
T3	0	16,01		
	10	11,38	28,92	
	20	6,02	62,40	
	30	5,01	68,71	

Keterangan : Air sumur mengandung LAS = 7,94 mg/L

**B. Data DO, pH dan TDS untuk Bahan Pencemar Campuran (Besi, Mangan, Amonia dan LAS)**

Tingkat	Menit	DO ppm	pH	TDS ppm
1	0	5,8	7,07	437
	10	6	7,24	436
	20	6,1	7,23	436
	30	6,1	7,27	435
2	0	5,8	7,3	437
	10	6	7,31	435
	20	6	7,31	436
	30	6,1	7,32	434
3	0	5,8	7,35	436
	10	6	7,35	436
	20	6,1	7,35	435
	30	6,2	7,35	433

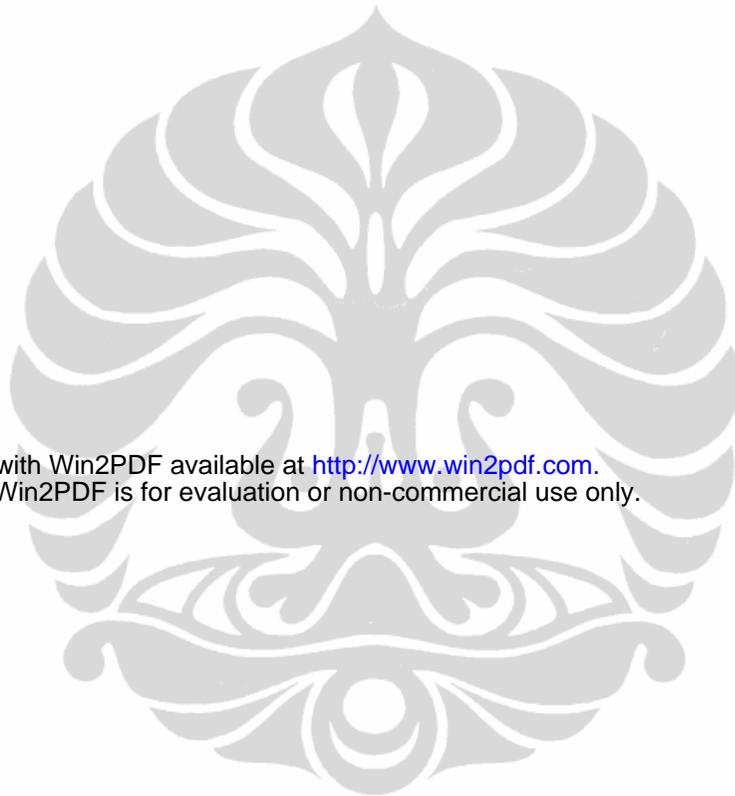
Keterangan : Air sumur mengandung DO = 5,6 ppm; pH = 6,82; TDS = 38 ppm

**C. Data Kinerja Membran Untuk Bahan Pencemar Campuran (Besi, Mangan, Amonia dan LAS)  
Pressure drop**

Tingkat	Waktu (menit)	$\Delta P$ (bar)			$\Delta P$ rata-rata (bar)
1	0	0,320	0,318	0,318	0,319
		0,318	0,316	0,316	
		0,320	0,322	0,320	
	10	0,314	0,318	0,314	0,317
		0,318	0,318	0,324	
		0,316	0,316	0,318	
	20	0,318	0,320	0,324	0,322
		0,324	0,326	0,318	
		0,326	0,318	0,324	
	30	0,330	0,324	0,334	0,330
		0,332	0,332	0,328	
		0,334	0,322	0,336	
2	0	0,326	0,324	0,328	0,324
		0,324	0,322	0,326	
		0,320	0,326	0,322	
	10	0,326	0,328	0,328	0,326
		0,324	0,326	0,328	
		0,324	0,326	0,326	
	20	0,328	0,328	0,334	0,330
		0,326	0,330	0,332	
		0,328	0,332	0,330	
	30	0,348	0,346	0,336	0,344
		0,348	0,346	0,336	
		0,346	0,350	0,338	
3	0	0,346	0,344	0,348	0,346
		0,348	0,346	0,348	
		0,346	0,344		
	10	0,348	0,346	0,348	0,348
		0,350	0,348	0,348	
		0,348	0,350	0,350	
	20	0,362	0,36	0,354	0,356
		0,354	0,354	0,352	
		0,358	0,352	0,360	
	30	0,360	0,364	0,350	0,360
		0,362	0,354	0,364	
		0,360	0,366	0,362	

### Fluks Permeate

Tingkat	Waktu	Massa	Massa kumulatif	Waktu	Fluks
	(menit)	(kg)	(kg)	(jam)	(L/m <sup>2</sup> x jam)
1	0	0	0	0	0
	5	1,02	1,02	0,0833	1,2612
	10	0,995	2,015	0,1667	1,2303
	15	0,98	2,995	0,2500	1,2118
	20	0,955	3,95	0,3333	1,1809
	25	0,92	4,87	0,4167	1,1376
	30	0,915	5,785	0,5000	1,1314
2	0	0	0	0	0,0000
	5	0,88	0,88	0,0833	1,0881
	10	0,775	1,655	0,1667	0,9583
	15	0,7	2,355	0,2500	0,8656
	20	0,675	3,03	0,3333	0,8346
	25	0,66	3,69	0,4167	0,8161
	30	0,635	4,325	0,5000	0,7852
3	0	0	0	0	0,0000
	5	0,48	0,48	0,0833	0,5935
	10	0,47	0,95	0,1667	0,5812
	15	0,335	1,285	0,2500	0,4142
	20	0,475	1,76	0,3333	0,5873
	25	0,47	2,23	0,4167	0,5812
	30	0,475	2,705	0,5000	0,5873



This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.