



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI HIDRODINAMIKA DAN UJI KINERJA PENYISIHAN
LOGAM BESI (Fe) DAN MANGAN (Mn) PADA UNIT
PENGOLAHAN AIR YANG MENGGUNAKAN PROSES
OZONASI GELEMBUNG MIKRO DAN FILTRASI
MEMBRAN**

SKRIPSI

**FAHRUR ROZI
0405060288**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
DEPOK
JUNI, 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI HIDRODINAMIKA DAN UJI KINERJA PENYISIHAN
LOGAM BESI (Fe) DAN MANGAN (Mn) PADA UNIT
PENGOLAHAN AIR YANG MENGGUNAKAN PROSES
OZONASI GELEMBUNG MIKRO DAN FILTRASI
MEMBRAN**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

FAHRUR ROZI

0405060288

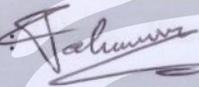
**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
DEPOK
JUNI, 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

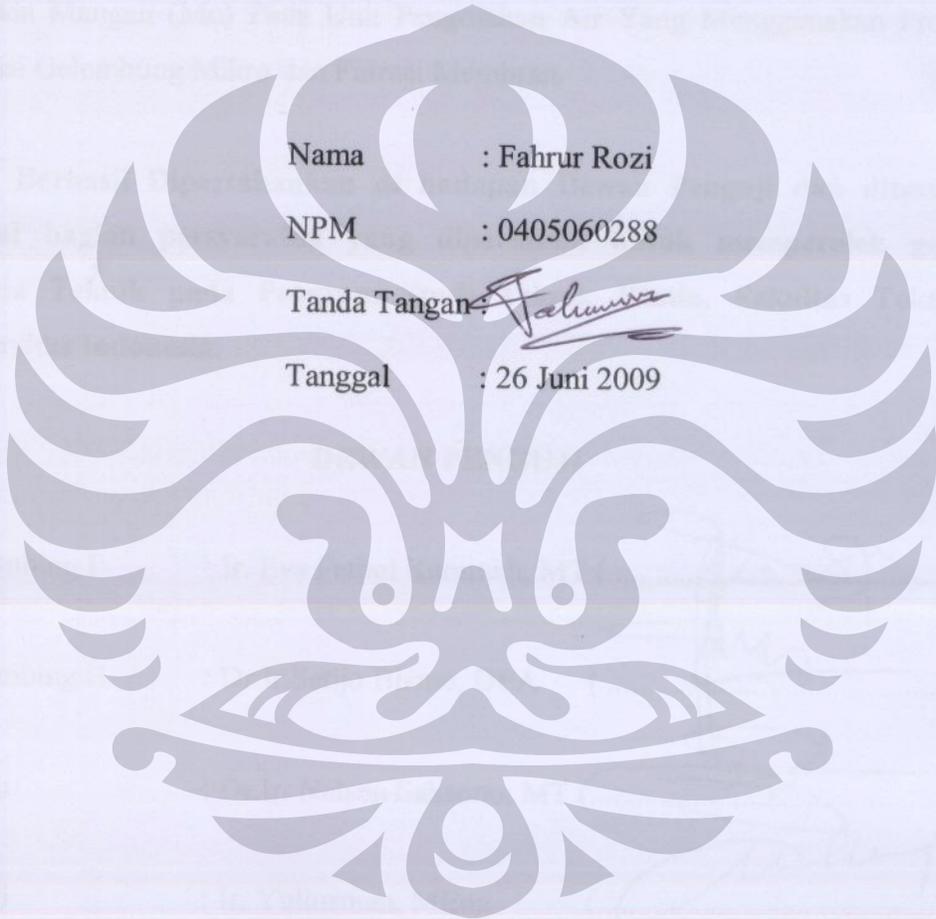
Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Fahrur Rozi

NPM : 0405060288

Tanda Tangan: 

Tanggal : 26 Juni 2009



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Fahrur Rozi

NPM : 0405060288

Program Studi : Teknik Kimia

Judul Skripsi : Studi Hidrodinamika dan Uji Kinerja Penyisihan Logam Besi (Fe) dan Mangan (Mn) Pada Unit Pengolahan Air Yang Menggunakan Proses Ozonasi Gelembung Mikro dan Filtrasi Membran.

Telah Berhasil Dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Ir. Eva Fathul Karamah, MT (.....)

Pembimbing II : Dr.Ir.Setijo Bismo, DEA (.....)

Penguji : Dr.Ir. Nelson Saksono, MT (.....)

Penguji : Ir. Yuliusman, MEng (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal :

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena dengan berkat dan rahmat-Nya maka penulis dapat menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya. Dalam penyelesaian skripsi ini, penulis mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Ibu Ir. Eva F. Karamah, MT selaku pembimbing I dan Bapak Dr.Ir. Setijo Bismo, DEA sebagai pembimbing II atas kontribusinya dalam memberikan bimbingan, saran, dan diskusi skripsi.
2. Bapak Prof. Dr. Ir Widodo Wahyu Purwanto, DEA selaku Ketua Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
3. Bapak Ir. Yuliusman, M.Eng selaku koordinator skripsi Departemen Teknik Kimia - FTUI.
4. Kedua Orang Tuaku serta kakakku yang selalu memberikan doanya
5. Mang Ijal, Kang Jajat, Mas Heri, Mas Topik, Mas Eko, beserta seluruh karyawan Departemen atas segala bantuan dan kerjasamanya.
6. Rekan-rekan GP 2005 teman senasib dan seperjuangan atas kebersamaan dan kekompakannya.

Penulis berharap agar makalah skripsi ini kelak dapat berguna dan dipergunakan dengan baik. Saran dan kritik yang membangun senantiasa diharapkan demi perbaikan penulisan di masa mendatang.

Depok, 26 Juni 2009

Fahrur Rozi

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

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Fahrur Rozi

NPM : 0405060288

Program Studi : Teknik Kimia

Departemen : Teknik Kimia

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

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

Studi Hidrodinamika dan Uji Kinerja Penyisihan Logam Besi (Fe) dan Mangan (Mn) Pada Unit Pengolahan Air Yang Menggunakan Proses Ozonasi Gelembung Mikro dan Filtrasi Membran

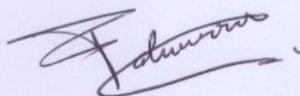
Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini berarti Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 26 Juni 2009

Yang menyatakan



(Fahrur Rozi)

ABSTRAK

Nama : Fahrur Rozi
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Studi Hidrodinamika dan Uji Kinerja Penyisihan Logam Besi dan Mangan Pada Unit Pengolahan Air Yang Menggunakan Proses Ozonasi Gelembung Mikro dan Filtrasi Membran

Penyediaan air bersih untuk masyarakat merupakan salah satu faktor penting untuk meningkatkan kesehatan lingkungan dan masyarakat. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan studi hidrodinamika dan menganalisis hasil air olahan dari unit pengolahan air yang menggunakan proses ozonasi gelembung mikro dan filtrasi membran, terutama untuk kandungan besi dan mangan.

Dari penelitian ini didapatkan bahwa proses ozonasi dan filtrasi mampu menyisihkan logam besi dan mangan dalam air. Persentase penyisihan logam besi dan mangan secara terpisah yang terbaik didapat dengan menggunakan konfigurasi ozonator PVC – membran keramik sebesar 98,64% untuk logam besi dan 45,83% untuk logam mangan. Sedangkan untuk penyisihan logam besi dan mangan secara bersamaan dengan konfigurasi yang sama didapatkan penyisihan logam besi sebesar 98,48 % dan logam mangan sebesar 25 %.

Kata kunci :
Ozonasi, Membran keramik, Besi, Mangan

ABSTRACT

Name :Fahrur Rozi
Study Program :Chemical Engineering
Title :Hydrodynamic Study and Performance Test of Iron and Manganese Removal in Water Treatment Unit Using Micro bubbles ozonation and Membrane Filtration Method.

Provision of clean water to communities is one of the important factors to improve the health of the environment and society. The objective of this research is to study hydrodynamic and analyze the product from water treatment unit which using micro bubbles ozonation and membrane filtration method, especially for iron and manganese removal.

From this research, it was found that the ozonation and filtration process can remove iron and manganese from water. The best percentage removal about 98,64% for iron and 45,83% for manganese in a separate manner is obtain with ozonator PVC – ceramic membrane configuration. Whereas for iron and manganese removal simultaneously at the same configuration, the percentage removal is about 98,48% for iron and 25% for manganese.

Key words :
Ozonation, Ceramic membrane, Iron, Manganese

DAFTAR ISI

JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Metode Operasional Penelitian	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Karakteristik Air.....	6
2.1.1. Sifat Kimia	6
2.1.2. Sifat Fisika	9
2.1.3. Sifat Biologi	10
2.1.4. Logam Besi dan Mangan	10
2.1.4.1. Penyisihan Logam Besi dan Mangan.....	13
2.2 Ozon	14
2.2.1 Sifat Fisika Ozon.....	16
2.2.2 Sifat Kimia Ozon	17
2.2.3 Kegunaan Ozon.....	18
2.2.4 Injeksi Ozon Dalam Air.....	19
2.2.5 Ozonator	21
2.3 Membran.....	21
2.3.1 Operasi Membran.....	22
2.3.1.1 Operasi Membran Berdasarkan Tekanan.....	23
2.3.2 <i>Fouling</i> Membran	25

2.4 Proses Ozonasi – Mikrofiltrasi/Ultrafiltrasi	25
2.5 Membran Keramik.....	26
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	27
3.1 Diagram Alir Penelitian	27
3.2 Rancang Bangun Alat	28
3.3 Deskripsi Keseluruhan Alat	29
3.4 Prosedur Penelitian	30
BAB 4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	39
4.1 Uji Hidrodinamika.....	39
4.1.1 Pengaruh Penggunaan Ozon Dalam Proses Filtrasi Membran	39
4.1.2 Pengaruh Laju Alir Terhadap Ozon Yang Terlarut Dalam Air	41
4.2 Uji Kinerja Penyisihan Logam Besi dan Mangan.....	42
4.2.1 Perbandingan Antara Konfigurasi 1 dan 2	43
4.2.1.1 Penyisihan Logam Besi.....	43
4.2.1.2 Penyisihan Logam Mangan.....	48
4.2.2 Penyisihan Logam Besi dan Mangan Secara Bersamaan Dengan Konfigurasi Ozonator PVC-Membran Keramik (Mikrofiltrasi).....	53
4.2.2.1 Penyisihan Logam Besi dan Mangan	53
4.2.3 Pengaruh Penggunaan Ozon Terhadap Kinerja Membran Pada Uji Penyisihan Logam.....	56
BAB 5. KESIMPULAN	59
DAFTAR PUSTAKA.....	60
LAMPIRAN.....	62

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Tingkat Kesadahan Air.....	8
Tabel 2.2.	Sifat Fisika Ozon.....	16
Tabel 2.3.	Kelarutan Ozon dan Oksigen Dalam Air	17



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Skema Generator Ozon Dengan <i>Corona Discharge</i>	14
Gambar 2.2.	Injektor Venturi.....	20
Gambar 2.3.	<i>Bubble difusser</i>	20
Gambar 3.1.	Diagram Alir Penelitian.....	27
Gambar 3.2.	Skema Unit Pengolahan Air dengan Proses Ozonasi dan Filtrasi Membran.....	29
Gambar 3.3.	Foto Alat Penelitian.....	30
Gambar 3.4.	Diagram Alir Uji Kinerja.....	33
Gambar 3.5.	Skema Rangkaian Percobaan Uji Produktivitas Ozonator	38
Gambar 4.1.	Hubungan Antara Laju Permeate Terhadap Waktu	40
Gambar 4.2.	Hubungan Antara ΔP Terhadap Waktu	41
Gambar 4.3.	Hubungan Laju Alir Air Terhadap Konsentrasi Ozon Dalam Air.	42
Gambar 4.4.	Penyisihan Logam Besi	44
Gambar 4.5.	Hubungan ΔP (rata-rata) Pada Membran Untuk Penyisihan Logam Besi Pada Setiap Proses Ozonasi-Filtrasi	45
Gambar 4.6.	Hubungan Laju Permeate (rata-rata) Pada Membran Untuk Penyisihan Logam Besi Pada Setiap Proses Ozonasi-Filtrasi	46
Gambar 4.7.	Penyisihan TDS Untuk Penyisihan Logam Besi	47
Gambar 4.8.	Penyisihan Logam Mangan	48
Gambar 4.9.	Hubungan ΔP (rata-rata) Pada Membran Untuk Penyisihan Logam Mangan Pada Setiap Proses Ozonasi-Filtrasi	50
Gambar 4.10.	Hubungan Laju Permeate (rata-rata) Pada Membran Untuk Penyisihan Logam Mangan Pada Setiap Proses Ozonasi-Filtrasi ..	51
Gambar 4.11.	Penyisihan TDS Untuk Penyisihan Logam Mangan	52
Gambar 4.12.	Penyisihan Logam Besi dan Mangan Untuk Konfigurasi 2	53
Gambar 4.13.	Hubungan ΔP (rata-rata) Pada Membran Untuk Penyisihan Logam Besi dan Mangan Pada Setiap Proses Ozonasi-Filtrasi Pada Konfigurasi 2	54
Gambar 4.14.	Hubungan Laju Permeate (rata-rata) Pada Membran Untuk Penyisihan Logam Besi dan Mangan Pada Setiap Proses Ozonasi-Filtrasi Pada Konfigurasi 2	54
Gambar 4.15.	Penyisihan TDS Untuk Penyisihan Logam Besi dan Mangan Pada konfigurasi 2	55
Gambar 4.16.	Perbandingan ΔP (rata-rata) Membran Untuk Penyisihan Logam Besi Pada Setiap Proses Ozonasi-Filtrasi	56

- Gambar 4.17. Perbandingan Laju Permeate (rata-rata) Membran Untuk Penyisihan Logam Besi Pada Setiap Proses Ozonasi-Filtrasi 57
- Gambar 4.16. Perbandingan ΔP (rata-rata) Membran Untuk Penyisihan Logam Mangan Pada Setiap Proses Ozonasi-Filtrasi 57
- Gambar 4.17. Perbandingan Laju Permeate (rata-rata) Membran Untuk Penyisihan Logam Mangan Pada Setiap Proses Ozonasi-Filtrasi . 58



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Kalibrasi Water Flowmeter	62
Lampiran 2.	Uji Produktivitas Ozonator.....	64
Lampiran 3.	Perhitungan Kadar Ozon Dalam Air	66
Lampiran 4.	Perhitungan Pembuatan Larutan Limbah Sintetik	67
Lampiran 5.	Perhitungan Penyisihan Logam Besi dan Mangan	68
Lampiran 6.	KEPMENKES No. 907/MENKES/SK/VII/2002	71



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Air adalah salah satu elemen penting bagi kehidupan manusia. Air umumnya digunakan untuk kebutuhan rumah tangga dan industri. Kelangkaan air bersih sudah banyak terjadi di berbagai negara termasuk Indonesia. Dengan pertambahan penduduk dan perkembangan kawasan industri yang semakin luas, masalah air adalah masalah yang sangat krusial bagi penduduk Indonesia. Penyediaan air bersih untuk masyarakat merupakan salah satu faktor penting untuk meningkatkan kesehatan lingkungan dan masyarakat khususnya untuk menurunkan angka penderita penyakit yang berhubungan dengan air seperti tifus, kolera, dan disentri.

Masalah yang sering dikeluhkan masyarakat adalah tentang buruknya kualitas air yang mereka gunakan sehari - hari terutama di wilayah perkotaan. Air bersih yang memenuhi standar atau persyaratan untuk air minum adalah air yang sesuai dengan KEPMENKES No. 907/MENKES/SK/VII/2002. Semua persyaratan tersebut dapat terpenuhi jika air yang digunakan sebagai air minum terlebih dahulu mengalami proses pengolahan. Proses pengolahan dilakukan untuk menghilangkan kandungan bahan-bahan kimia berbahaya, partikel-partikel padat yang terkandung dalam air, mikroorganisme dan kandungan logam yang mungkin dapat membahayakan kesehatan manusia.

Jenis logam yang biasanya terkandung dalam air adalah logam besi dan mangan. Meskipun tidak memberikan dampak kesehatan secara langsung, kandungan logam besi dan mangan pada air menimbulkan masalah estetika dalam air. Air yang mengandung konsentrasi logam besi dan mangan yang tinggi biasanya akan menimbulkan noda pada pakaian jika dipakai untuk mencuci pakaian dan akan menimbulkan rasa yang tidak enak jika diminum. Air permukaan pada sebagian besar daerah di Indonesia biasanya memiliki kadar

logam besi sekitar 1-3 mg/L sedangkan kadar logam mangan sebesar 0,3 – 1 mg/L (Handoyo, 2004). Sedangkan menurut KEPMENKES No. 907/MENKES/SK/VII/2002 kadar logam besi yang memenuhi standar air minum adalah 0,3 mg/L dan mangan sebesar 0,1 mg/L.

Ada beberapa proses yang dapat digunakan untuk pengolahan air, salah satu diantaranya adalah dengan metode filtrasi menggunakan membran. Metode pengolahan air dengan menggunakan membran mempunyai beberapa keuntungan dibandingkan dengan metode pengolahan lainnya, seperti dapat dilakukan pada temperatur ruang dan tanpa terjadi perubahan fasa, sehingga proses ini lebih ekonomis dalam hal konsumsi energi dibanding dengan proses distilasi.

Salah satu kendala dari proses pemurnian air dengan menggunakan membran adalah sering terjadi *fouling* pada membran yang dapat menyebabkan berkurangnya laju permeate pada membran yang berdampak turunnya efisiensi ekonomi unit pengolahan air tersebut. Beberapa hal yang umum dilakukan untuk mengurangi *fouling* dari membran diantaranya ialah melakukan pencucian balik atau *backflushing* membran secara periodik, pembersihan membran dengan bahan kimia, dan melakukan *pretreatment* pada air masukan membran.

Pada penelitian kali ini, cara yang dipilih untuk mengurangi *fouling* pada membran adalah dengan cara melakukan *pretreatment* sebelum air memasuki membran. Metode *pretreatment* yang dipilih adalah dengan proses ozonasi. *Pretreatment* dengan menggunakan proses ozonasi ini telah terbukti mampu mencegah terjadinya *fouling* membran dan meningkatkan kualitas hasil dan periode penggunaan membran.

Proses pengolahan air minum menggunakan metode ozonasi dan filtrasi membran telah banyak dilakukan. Diantaranya yaitu, dengan menggunakan kombinasi proses ozonasi dan membran mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi dari bahan keramik (dengan konfigurasi penginjeksian ozon dan letak membran terpisah) terbukti mampu mengurangi *fouling* yang disebabkan oleh adanya senyawa organik dan mikroorganisme tetapi untuk *fouling* yang disebabkan oleh senyawa

anorganik seperti *bentonite* tidak ada perbedaan yang signifikan antara ada atau tidaknya proses ozonasi (Sclichter, Mavrov, Chmiel, 2003).

Dari penelitian sebelumnya, kombinasi proses ozonasi dan membran mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi dari bahan keramik dengan konfigurasi penginjeksian ozon dan letak membran yang tercelup dalam reaktor juga telah terbukti mampu mengolah air permukaan yang berasal dari air hujan yang ditampung pada sebuah bendungan di Thailand menjadi air minum. Dengan proses ini fluks permeate yang cukup tinggi dapat dicapai yaitu 60% - 80% untuk proses ultrafiltrasi dan sekitar 35% untuk mikrofiltrasi (Sartor, *et al.*, 2007).

Pada penelitian kali ini digunakan unit pengolahan air menggunakan metode ozonasi gelembung mikro dengan konfigurasi penginjeksian ozon dan letak membran yang terpisah. Proses ozonasi gelembung mikro ini berfungsi untuk memperluas area kontak antara air dan ozon sehingga proses ozonasi berjalan lebih efektif dan dapat mengurangi *fouling* terutama yang disebabkan oleh senyawa organik dan mikroorganisme. Jenis membran yang dipilih adalah membran mikrofiltrasi dari bahan keramik dan ultrafiltrasi dari bahan *polyacrylonitrile* karena memiliki daya tahan terhadap ozon yang paling baik diantara bahan pembentuk membran yang lain.

1.2. Rumusan Masalah

Bedasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan sebelumnya, maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana rancang bangun unit pengolahan air dengan metode ozonasi gelembung mikro dan membran mikrofiltrasi/ultrafiltrasi.
2. Apakah rancang bangun unit pengolahan air ini telah berfungsi baik dan memberikan hasil yang diharapkan, khususnya untuk penyisihan logam besi dan mangan, sesuai dengan baku mutu yang telah diterapkan oleh pemerintah menurut KEPMENKES No. 907/MENKES/SK/VII/2002.
3. Bagaimana menentukan laju alir air, dosis ozon dan jenis membran yang optimum untuk uji kinerja penyisihan logam besi dan mangan.

Variabel bebas : Laju alir air, dosis ozon, dan jenis membran

Variabel Terikat : Konsentrasi awal logam, dan proses ozonasi – filtrasi membran dilakukan secara bertingkat 3 (Retentate hasil filtrasi dimasukkan lagi ke dalam reservoir untuk diproses kembali, *recycle* terhadap retentate dilakukan 2 kali)

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Merancang dan membangun unit pengolahan air dengan metode ozonasi gelembung mikro dan membran mikrofiltrasi/ultrafiltrasi.
2. Melakukan uji kebocoran dan hidrodinamika terhadap rancangan unit pengolahan air untuk menentukan kelayakan hasil rancangan tersebut.
3. Menganalisis hasil air olahan dari unit pengolahan air ini terutama untuk kandungan besi dan mangan apakah telah sesuai dengan baku mutu yang telah diterapkan oleh pemerintah menurut KEPMENKES No. 907/MENKES/SK/VII/2002.
4. Mengevaluasi pengaruh laju alir air, kadar ozon dan jenis membran terhadap penyisihan logam besi dan mangan.

1.4. Batasan Masalah

Pada penelitian ini yang akan menjadi batasan masalah adalah sebagai berikut :

1. Air yang akan diolah adalah air sumur DTK-FTUI.
2. Air limbah yang digunakan untuk uji kinerja adalah air limbah sintetik yang mengandung besi dan mangan.
3. Proses pengolahan air yang digunakan adalah proses ozonasi gelembung mikro dan membran mikrofiltrasi / ultrafiltrasi.

4. Membran yang digunakan untuk proses mikrofiltrasi adalah membran keramik dengan ukuran pori 0,9 μm .
5. Membran yang digunakan untuk proses ultrafiltrasi adalah membran dari bahan *polyacrylonitrile* dengan MWCO 50 kD (0,004 μm).
6. Ozonator yang digunakan adalah ozonator komersial merk resun dengan produktivitas ozonator rata-rata sebesar 0,082 gr/jam dan ozonator yang dirancang oleh DR.Ir.Setijo Bismo, DEA dengan produktivitas sebesar 0,244 gr/jam.
7. Gas umpan yang masuk ke ozonator adalah udara.
8. Injektor ozon yang dipakai adalah injektor mazzei.
9. Kualitas air yang diukur dalam penelitian ini adalah kandungan logam besi, mangan dan TDS. Sedangkan untuk kinerja membran parameter yang akan diukur adalah ΔP dan permeabilitas membran.
10. Melakukan proses ozonasi – filtrasi membran secara bertingkat 3 (Retentate hasil filtrasi dimasukkan lagi ke dalam reservoir untuk diproses kembali, *recycle* terhadap retentate dilakukan 2 kali)
11. Variabel yang akan divariasikan adalah : Laju alir air, jenis ozonator dan membran yang digunakan.

1.5. Metode operasional penelitian

Penelitian dilakukan dengan membuat unit pengolahan air skala laboratorium yang menggunakan metode ozonasi dan membran mikrofiltrasi / ultrafiltrasi. Metode ozonasi akan dilakukan menggunakan injektor mazzei sehingga terbentuk gelembung mikro. Perbedaan tekanan pada membran, penyisihan logam besi dan mangan, laju permeate dan penyisihan TDS yang dihasilkan juga akan dipelajari untuk mendapatkan gambaran kinerja dari unit pengolahan air tersebut.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Pembahasan bab ini terbagi menjadi 4 bagian utama, yaitu: Pembahasan mengenai karakteristik air, ozon, membran dan mengenai proses pengolahan air. Pada bagian pembahasan karakteristik air akan dibahas tentang sifat-sifat air dan pada bagian pembahasan ozon akan dibahas tentang sifat-sifat ozon, injeksi ozon dan kegunaan ozon kemudian pada bagian pembahasan membran akan dibahas tentang definisi membran, operasi membran, dan *fouling* pada membran. Sedangkan pada bagian pembahasan pengolahan air minum akan dibahas tentang proses ozonasi-ultrafiltrasi.

2.1. Karakteristik Air

Air yang akan diolah memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Oleh karena itu perlu diketahui mengenai sifat-sifat air. Sifat-sifat air secara umum dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok utama yaitu sifat kimia, sifat fisika, dan sifat biologi.

2.1.1. Sifat Kimia

Zat-zat yang mungkin terdapat dalam air dapat dibedakan menjadi dua, yaitu zat organik dan anorganik (Sawyer *et.al*, 1994):

A. Zat organik

Senyawa organik umumnya merupakan gabungan dari unsur karbon, oksigen, hidrogen dan nitrogen. Biasanya zat organik yang terdapat dalam air berupa karbohidrat, lemak dan minyak, protein, surfaktan, dan VOC (*Volatile Organic Compound*). Zat organik dalam air dapat berupa:

1. Karbohidrat

Karbohidrat terdiri dari unsur C, H, dan O. Pada umumnya karbohidrat terdiri dari enam atom C atau kelipatannya, atom H dan atom O dengan perbandingan tertentu.

2. Lemak dan Minyak

Lemak dan minyak adalah senyawa ester antara alkohol atau gliserol dan asam lemak. Gliserida dari asam lemak yang berwujud cair pada temperatur ruang disebut minyak dan yang berwujud padat disebut lemak.

3. Protein

Protein merupakan senyawa kompleks yang tidak stabil. Beberapa jenis protein dapat larut dalam air dan ada juga yang tidak dapat larut dalam air. Apabila terdapat protein dalam jumlah besar maka akan mengakibatkan bau busuk yang berasal dari dekomposisi protein tersebut.

4. Surfaktan

Surfaktan adalah molekul organik yang berukuran besar dan mudah larut dalam air serta dapat menyebabkan timbulnya busa.

5. VOC (*Volatile Organic Compound*)

Senyawa organik yang memiliki titik didih $<100^{\circ}\text{C}$ dan atau tekanan uap $>760\text{ mmHg}$ pada temperatur 25°C dikelompokkan dalam VOC.

B. Zat anorganik

Zat anorganik dapat dibagi menjadi beberapa parameter, antara lain :

1. Alkalinitas

Alkalinitas air merupakan ukuran kapasitas air tersebut untuk menetralkan asam. Alkalinitas pada air secara garis besar dapat disebabkan oleh tiga zat utama, yaitu: hidroksida, karbonat, dan bikarbonat.

2. Kesadahan

Kesadahan dapat disebabkan oleh ion kalsium, magnesium, stronsium, besi, dan mangan yang terkandung dalam air. Tingkat kesadahan pada air dapat dibedakan berdasarkan Tabel 2.1 berikut ini:

Tabel 2.1. Tingkat Kesadahan Air

Tingkat kesadahan	Mg/L (CaCO ₃)
Kesadahan lemah (<i>Soft</i>)	0-75
Kesadahan sedang (<i>Moderately hard</i>)	75-100
Sadah (<i>Hard</i>)	150-300
Kesadahan kuat (<i>Very Hard</i>)	>300

Sumber : Sawyer *et al*, 1994.

Kesadahan dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu kesadahan karbon dan nonkarbonat. Kesadahan karbonat disebut juga kesadahan sementara biasanya disebabkan oleh CaCO₃ dan Mg(OH)₂. Sedangkan kesadahan tetap disebabkan oleh sulfat, klorida, dan nitrat.

3. pH

pH menyatakan intensitas dari kondisi asam atau basa dari suatu larutan. Skala pH dinyatakan dalam interval 0-14. pH dapat berubah dengan berubahnya temperatur.

4. Logam berat

Sejumlah kecil logam-logam Ni, Mn, Pb, Cr, Cd, Fe, Cu, Zn, dan Hg merupakan unsur-unsur yang penting dalam air namun kelebihan unsur-unsur ini akan mencemari air karena bersifat racun.

2.1.2. Sifat Fisika

Karakteristik fisika air merupakan sesuatu yang terlihat, terasa, dan tercium. Sifat fisika air antara lain : kekeruhan, bau, warna, TDS (*Total Dissolved Solid*), dan temperatur (Sawyer *et.al*, 1994).

A. Kekeruhan

Kekeruhan dapat disebabkan oleh berbagai material organik maupun anorganik tersuspensi dengan berbagai ukuran mulai dari koloid sampai dispersi kasar. Kekeruhan dapat mempengaruhi kinerja filtrasi, mengurangi efektifitas desinfeksi, dan menyebabkan masalah estetika air yang akan dikonsumsi.

B. Bau

Bau yang timbul disebabkan karena adanya zat-zat pencemar pada air. Zat pencemar yang biasa menimbulkan bau adalah H_2S yang dihasilkan mikroorganisme anaerob yang mereduksi sulfat menjadi sulfat.

C. Warna

Air yang tidak berwarna (bening) tentunya tidak ada zat-zat warna yang terkandung di dalamnya. Perubahan warna yang terjadi pada air menunjukkan adanya polutan yang terkandung didalamnya. Secara umum semakin tinggi intensitas warna maka semakin tinggi pH dari air tersebut.

D. TDS (*Total Dissolved Solid*)

TDS adalah semua zat yang tersisa sebagai residu penguapan pada suhu 103-105°C. TDS menunjukkan jumlah zat padat terlarut yang terdiri dari garam-garam anorganik dan sejumlah kecil zat organik. Ion yang mempengaruhi TDS adalah karbonat, klorida, sulfat, nitrat, natrium, kalium, kalsium, dan magnesium.

E. Temperatur

Temperatur merupakan salah satu parameter yang sangat penting karena mempengaruhi reaksi kimia, laju reaksi, kehidupan mikroorganisme dalam air, dan kelayakan air untuk berbagai penggunaan yang bermanfaat.

2.1.3. Sifat Biologi

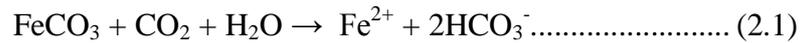
Sifat biologi air ditunjukkan oleh adanya organisme yang hidup dalam air antara lain : bakteri, jamur, alga, protozoa, dan virus. Organisme yang terdapat dalam air tersebut dapat menjadi organisme patogen apabila dapat menimbulkan penyakit. Karena sangat banyak organisme patogen yang terdapat di dalam air dan ukurannya sangat kecil untuk bisa diidentifikasi, maka yang biasa dianalisis adalah kandungan bakteri *coliform*, *fecal coli*, dan *E. coli*.

2.1.4. Logam Besi dan Mangan

Besi dan mangan merupakan mineral-mineral yang dapat ditemukan dalam air yang kita gunakan sehari-hari, baik sebagai air minum maupun air untuk keperluan yang lain seperti mandi dan mencuci. Masalah yang ditimbulkan dari keberadaan logam-logam ini di dalam air biasanya menyebabkan air menjadi keruh dan memiliki rasa logam.

Secara alamiah besi terkonsentrasi di dalam air melalui kontak dengan batu-batuan dan mineral-mineral. Secara alami besi berada dalam bentuk yang tidak larut yaitu berupa besi oksida dan besi sulfida. Di sebagian daerah besi dapat

berupa zat karbonat yang sangat mudah sekali larut. Karena air tanah biasanya mengandung jumlah karbondioksida yang cukup banyak, besi karbonat dalam jumlah banyak mungkin sekali akan larut melalui reaksi berdasarkan persamaan (Sawyer *et al*, 1994):



Kontak antara air dengan alat-alat yang di dalam tanah seperti pipa baja dan besi juga dapat menyebabkan terkontaminasinya air tanah oleh besi. Air permukaan juga dapat mengandung besi yang berasal dari buangan limbah industri.

Secara umum besi berada dalam bentuk yang tereduksi Fe^{2+} yang terlarut dalam air sebagai $\text{Fe}(\text{OH})^+$ dan $\text{Fe}(\text{OH})_3^-$. Pada air yang memiliki alkalinitas tinggi, ion Fe^{2+} biasanya ditemukan sebagai hidrogen karbonat dan bikarbonat. Besi juga dapat berupa bentuk besi kompleks yang mengandung Fe^{2+} atau Fe^{3+} dengan silikat, fosfat, polifosfat, sianida, sulfat, dan lain-lain (Metcalf & Eddy, 1991).

Masalah utama yang ditimbulkan oleh kandungan besi yang tinggi biasanya hanya berkisar mengenai estetika air. Masalah – masalah yang biasanya ditimbulkan oleh besi adalah sebagai berikut (Hermanson, 1991):

1. Noda

Besi akan menimbulkan noda berwarna coklat kemerahan pada pipa ledeng, porselin, piring, pakaian, dan peralatan-peralatan lain yang menggunakan air yang terkontaminasi besi. Noda tersebut dapat dihilangkan dengan menggunakan klor atau pemutih.

2. Rasa

Kadar besi yang tinggi akan menyebabkan rasa air minum menjadi tidak enak.

3. Penampilan

Jumlah kontaminan besi yang terlalu banyak akan menyebabkan permukaan air seperti berminyak.

4. Endapan

Endapan besi akan menumpuk pada jalur perpipaan, tangki bertekanan, pemanas air, dan unit penghilang kesadahan air. Hal ini akan menurunkan kuantitas dari tekanan air yang akan disalurkan. Berdasarkan Permenkes No.907/Menkes/SK/VII/2002 nilai ambang batas untuk besi pada air minum adalah 0,3 mg/L.

Sedangkan mangan secara alami mangan terkonsentrasi di dalam air melalui kontak dengan batu-batuan dan mineral-mineral. Mangan terdapat di dalam tanah dalam bentuk mangan dioksida (MnO_2) (Handoyo, 2004). Senyawa ini sangat tidak larut dalam air yang mengandung karbondioksida. Pada kondisi reduksi (anaerob) mangan dalam bentuk dioksida akan direduksi dari kondisi oksidasi IV ke II (Perubahan bilangan oksidasi dari 4 menjadi 2) dan terjadilah larutan mangan. Seperti halnya besi, kontak antara air dengan alat- yang berada di dalam air tanah seperti pipa baja dan besi juga dapat menyebabkan terkontaminasinya air tanah oleh mangan. Limbah industri logam dan asam juga dapat menjadi sumber mangan yang terkandung dalam air.

Bijih mangan dapat berada dalam berbagai keadaan, bisa sebagai oksida ataupun sebagai karbonat. Dalam air, mangan biasanya dalam bentuk-bentuk ion terlarut (Mn^{2+} atau $MnOH^+$). Mangan dapat membentuk senyawa kompleks dengan bikarbonat, sulfat, dan silikat. Mangan biasanya ditemukan bersama dengan besi dan ammonium dalam air secara alami tetapi terdapat juga dalam keadaan dimana mangan hadir sendiri.

Masalah utama yang ditimbulkan oleh kandungan mangan yang tinggi biasanya hanya berkisar masalah estetika air. Mangan akan menimbulkan noda berwarna hitam kecoklat-coklatan pada pipa ledeng, porselin, piring serta pakaian dan peralatan lain. Kadar mangan yang tinggi akan menyebabkan rasa air minum menjadi tidak enak dan berasa seperti logam serta penampakkannya akan seperti berminyak. Mangan juga dapat menyebabkan endapan pada sistem perpipaan, tangki bertekanan, alat pemanas air, dan unit penghilang kesadahan. Hal ini akan mengurangi keekonomian alat tersebut. Berdasarkan Permenkes No.907/Menkes/SK/VII/2002 nilai ambang batas untuk mangan pada air minum adalah 0,1 mg/L.

2.1.4.1. Penyisihan Besi dan Mangan dalam air

Secara garis besar, cara yang digunakan untuk menyisihkan besi dan mangan dibagi menjadi dua, yaitu (Langlais, 1991):

1. Pengolahan fisika-kimia

Pengolahan fisika-kimia yang melibatkan tahap oksidasi awal yang diikuti dengan pemisahan cairan-padatan untuk memisahkan oksida logam tak larut yang terbentuk dari proses oksidasi. Proses ini dapat berupa pengendapan atau filtrasi.

Prinsip dari proses pemisahan dengan metode oksidasi-filtrasi ini pada dasarnya cukup sederhana, besi dan mangan yang larut dalam air dioksidasi dengan menggunakan oksidator untuk menghasilkan bentuk yang tidak larut dari besi dan mangan. Kemudian endapan besi dan mangan hasil oksidasi tersebut dipisahkan dengan menggunakan filter. Pada proses ini tahap yang paling penting adalah tahap oksidasi, yaitu tahap yang memungkinkan terjadinya bentuk yang tidak larut dari logam besi dan mangan yang dapat dicapai dengan menggunakan oksidator. Oksidator pada umumnya digunakan dalam penyisihan besi dan mangan adalah klor, klor oksida, kalium permanganat, dan ozon. Pada keadaan tertentu oksigen

terlarut juga efektif digunakan untuk mengoksidasi Fe^{2+} , sedangkan Mn^{2+} dengan oksigen dapat berlangsung pada kondisi pH basa (Langlais, 1991).

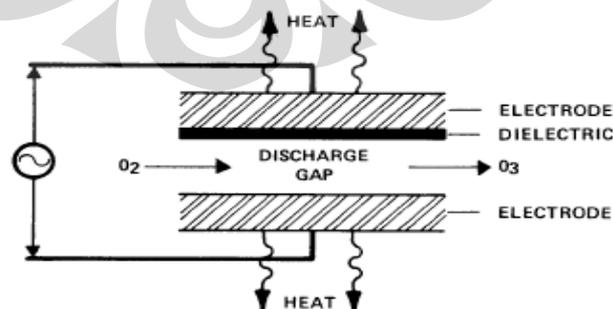
2. Pengolahan secara biologi dengan menggunakan bakteri yang khusus untuk kedua logam ini.

Proses pengolahan secara fisika-kimia merupakan cara yang paling banyak digunakan karena lebih mudah dalam pengoperasiannya.

2.2. Ozon

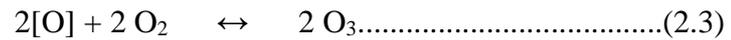
Ozon diproduksi di atmosfer melalui radiasi ultraviolet dan *corona electric discharge*. Pada kedua metode, ikatan antara molekul oksigen diputus, sehingga terbentuk radikal oksigen yang berikatan dengan molekul oksigen membentuk ozon. Dibandingkan dengan radiasi ultraviolet, *corona electric discharge* lebih banyak digunakan karena berbagai keuntungan yaitu biaya produksi ozon yang rendah dan ketahanan sistem yang lebih baik.

Pada umumnya, pembuatan senyawa ozon yang paling efisien dilakukan menggunakan bahan baku udara atau oksigen murni yang dilewatkan diantara 2 elektroda yang saling berdekatan dan dialiri arus listrik bertegangan tinggi (Seperti Gambar 2.1)



Gambar 2.1. Skema Generator Ozon Dengan Corona Discharge (Rice, R.G. and M.E. Browning, 1981)

Korona medan listrik yang terbentuk diantara konfigurasi 2 elektroda tersebut memicu terurainya O_2 menjadi dua molekul oksigen tunggal yang kemudian bergabung dengan 2 molekul O_2 lainnya membentuk 2 molekul ozon :



Secara kimiawi ozon bukan senyawa yang stabil, karena senyawa ini sangat mudah dan cepat terdekomposisi kembali menjadi oksigen setelah terbentuk di dalam generator ozon (Oleh karena itu senyawa ozon yang dibuat dalam generator ozon jaraknya harus sangat dekat dengan unit pengolahan air) dan laju reaksi dekomposisinya bertambah besar sesuai dengan kenaikan suhu dan pH (Eckenfelder, 1989).

Aliran gas yang dihasilkan dari proses seperti di atas bila menggunakan bahan baku udara akan mengandung ozon kurang lebih 0,5-3% berat, sedangkan bila menggunakan oksigen murni akan diperoleh kandungan ozon kurang lebih dua kalinya (Metcalf & Eddy, 1991).

Reaksi ozonasi walaupun cenderung mahal untuk pemakaian tenaga listrik, tetapi lebih disukai karena dapat meningkatkan kinerja proses penyisihan (*removal*) polutan dalam limbah cair sampai jauh lebih kecil dari 1 ppm.

Kelengkapan sistem pengolahan air maupun air limbah dengan proses ozonasi secara garis besar terdiri dari :

1. Pembangkit tenaga listrik tegangan tinggi, arus bolak-balik (AC)
2. Gas umpan (Udara kering atau oksigen)
3. Pembangkit ozon (Ozonator)
4. Kontaktor antara cairan dan ozon.

2.2.1. Sifat Fisika Ozon

Ozon (O_3) adalah suatu molekul yang terdiri dari tiga buah atom oksigen dan merupakan bentuk alotropik dari oksigen (O_2). Senyawa ini merupakan gas yang tak berwarna pada suhu kamar yang dapat mengembun dan membentuk suatu cairan biru pada suhu $-112^{\circ}C$ dan membeku pada suhu $-251,4^{\circ}C$. Pada suhu di atas $0^{\circ}C$ ozon akan mulai mengalami dekomposisi.

Ozon merupakan gas yang berbau pedas (*pungent*), tajam (*acrid*). Bau ini biasanya terdeteksi oleh hidung manusia pada konsentrasi antara 0,01 dan 0,04 ppm (Suslow,2004). Walaupun keberadaannya pada bagian atas dan bawah dari stratosfer melindungi bumi dari radiasi berlebihan dari ultraviolet, namun pada lapisan troposfer ozon merupakan polutan dan sangat berbahaya bagi makhluk hidup. Karena toksisitasnya, *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) telah menetapkan batas paparan maksimum untuk manusia terhadap ozon, yaitu sebanyak 0,06 ppm dalam periode delapan jam, lima hari seminggu dan untuk dosis maksimum 0,3 ppm dalam 15 menit (Suslow,2004). Efek racun dari ozon terutama dikarenakan reaktivitasnya yang tinggi. Ozon terutama menyerang paru-paru, yaitu dapat menyebabkan edema atau pembengkakan paru-paru bahkan sampai inflamasi saluran pernapasan. Dengan paparan yang lebih lama lagi, ozon dapat melewati alveolus dan dapat mempengaruhi sel-sel darah dan serum protein, bahkan dapat memberikan efek pada mata dan sistem syaraf. Sifat- sifat fisika ozon dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2.2. Sifat Fisika Ozon

Berat molekul	48
Kerapatan relatif terhadap udara	1,7
Kelarutan dalam air	3 ppm pada $20^{\circ}C$
Berat jenis pada $0^{\circ}C$ dan 1 atm	$2,143 \text{ kg/m}^3$

Sumber : Rice, R.G. and M.E. Browning,1981.

Namun sifat toksisitas dari ozon ini dapat dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi untuk proses-proses seperti pemusnahan bakteri (*sterilization*), penghilangan warna (*decoloration*), penghilangan bau (*deodorization*), dan

penguraian senyawa organik (*degradation*) dikarenakan kemampuan oksidasinya yang tinggi. Karena itu, ozon saat ini banyak digunakan dalam proses pemurnian air.

2.2.2. Sifat Kimia Ozon

Ozon berbentuk gas pada suhu dan tekanan normal. Secara kimiawi ozon merupakan senyawa yang tidak stabil, sangat reaktif, dan mudah sekali terdekomposisi menjadi oksigen setelah terbentuk pada ozonator. Oleh karena itu ozon harus dibuat dalam ozonator yang jaraknya dekat dengan instalasi pengolahan air (*on-site*) (Rice, R.G. and M.E. Browning, 1981). Seperti halnya oksigen, kelarutan ozon dalam air juga dipengaruhi oleh temperatur dan tekanan parsial ozon dalam fasa gas, disamping adanya kemungkinan pengaruh pH cairan. Kelarutan ozon dan oksigen dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Kelarutan Ozon dan Oksigen Dalam Air

Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	Kelarutan Ozon (mg/L)	Kelarutan Oksigen
0	20	6,9
2	10	6,6
20	8,92	4,3
28	1,5	3,7

Sumber : Rice, R.G. and M.E. Browning, 1981

Beberapa sifat kimia ozon dalam air, terutama didasarkan pada fenomena terurainya ozon dalam air seperti reaksi dibawah ini (Metcalf & Eddy, 1991):



Karena ozon merupakan senyawa yang tidak stabil dan mudah terdekomposisi kembali menjadi oksigen, laju reaksi dekomposisi oksigen akan bertambah besar sesuai dengan kenaikan suhu dan pH.

2.2.3. Kegunaan Ozon

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

1. Desinfeksi dan pengontrolan alga
2. Oksidasi dari polutan anorganik, seperti besi dan mangan
3. Oksidasi dari mikropolutan organik, meliputi:
 - Rasa dan bau
 - Polutan fenol
 - Senyawa-senyawa organik terhalogenasi dan pestisida
4. Oksidasi dari makropolutan organik
 - Penghilangan warna
 - Meningkatkan *biodegradabilitas* dari senyawa organik
 - Penghancuran *trihalomethane formation potential* (THMFP), *total organic halide formation potential* (TOXFP), dan klor
5. Sebagai *coagulant aid*

Pada proses pemisahan dengan membran mikrofiltrasi maupun ultrafiltrasi, ozon dapat digunakan sebagai pengganti proses perlakuan awal. Proses perlakuan awal ini bertujuan untuk mengurangi beban filtrasi, mengurangi *fouling factor* dan meningkatkan kualitas produk. Karena sifat ozon yang sangat reaktif maka ozon dapat menggantikan fungsi perlakuan awal untuk membunuh virus, bakteri, dan mikroorganisme. Penggunaan ozon dalam pengolahan air juga akan meningkatkan biodegradabilitas dari senyawa-senyawa organik (van der Aa, Achari, Rietveld, Siegers, van Dick, 2004). Selain itu ozon juga relatif tidak berbahaya jika dibandingkan dengan desinfektan lain seperti klor. Ozon tidak akan membentuk akumulasi pada produk air minum yang akan dihasilkan sehingga mengurangi jumlah aditif kimia yang berbahaya bagi kesehatan manusia.

2.2.4. Injeksi Ozon dalam Air

Kontak antara ozon dan air ditandai dengan adanya gelembung pada larutan tersebut. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi perpindahan massa ozon ke dalam larutan, yaitu:

- Daya kelarutan ozon pada cairan tertentu
- Konsentrasi ozon dalam gas
- Jenis masukan umpan : Udara atau oksigen
- Metode kontak yang digunakan
- Waktu kontak
- Ukuran gelembung gas
- Tekanan dan temperatur operasi

Injeksi ozon ke dalam cairan dapat dilakukan dengan menggunakan injektor . Injektor yang paling umum digunakan ialah dengan injektor jenis venturi dan *diffuser*. Kedua injektor ini bekerja berdasarkan perbedaan tekanan.

Penjelasan mengenai keduanya adalah sebagai berikut :

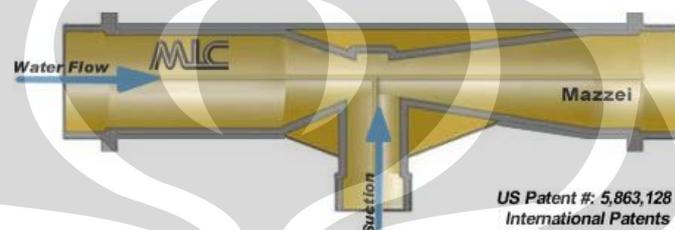
1. Injektor venturi

Perbedaan tekanan antara masukan dan keluaran injektor jenis ini akan menciptakan kondisi vakum pada badan injektor yang akan menginisiasi penghisapan pada *suction port*.

Keuntungan dari injektor jenis ini adalah diperolehnya laju perpindahan massa ozon yang tinggi (hingga 90%), efisiensi cenderung tetap, konstruksinya yang sederhana dan tidak membutuhkan aliran listrik. Bahan yang dapat digunakan untuk membuat injektor venturi yaitu PVDF, *polypropylene* dan *stainless stell 316* (www.ozone.co.uk). Alat ini dapat digunakan pada berbagai laju aliran, mulai dari 0,5 GPM hingga 4000 GPM, dan hanya membutuhkan perbedaan tekanan yang kecil antara masukan dan keluaran injektor untuk menginisiasi kondisi vakum pada *suction*.

Cara kerja injektor adalah sebagai berikut : Ketika cairan operasi bertekanan masuk ke dalam injektor, aliran ini ditarik menuju arah ruang

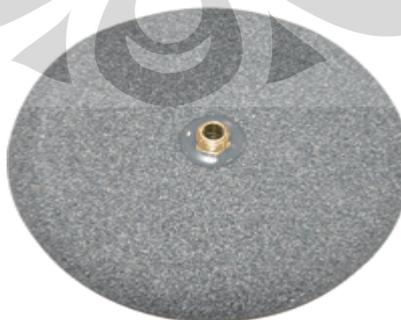
injeksi dan berubah menjadi aliran dengan kecepatan yang sangat tinggi. Peningkatan kecepatan yang melalui ruang injeksi akan menurunkan tekanan, yang demikian akan memungkinkan ozon dimasukkan ke dalam *suction port* dan ikut ke dalam aliran. Dan saat aliran dengan kecepatan tinggi ini menuju keluaran injektor, kecepatannya berkurang namun tekanannya akan meningkat kembali, namun tekanan keluaran ini masih lebih rendah dibandingkan tekanan masukan injektor. Gambaran mengenai injektor venturi dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Injektor Venturi (<http://www.ozoneapplication.com>)

2. Bubble diffuser

Alat ini bekerja dengan cara melepaskan ozon melalui suatu kolom gelembung yang terdiri dari ratusan gelembung dibawah permukaan air. Konstruksi alat bubble diffuser ini sederhana dan cocok untuk aliran dengan kecepatan tinggi. Seiring dengan meningkatnya kedalaman air, efisiensinya akan meningkat. Contoh dari *bubble diffuser* dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Bubble Diffuser (www.lenntech.com)

Namun, laju perpindahan massa ozon yang diperoleh lebih rendah bila dibandingkan dengan injektor venturi, yaitu hanya sekitar 10-15 % dan bubble diffuser ini membutuhkan wadah yang tinggi untuk meningkatkan efisiensinya. Selain itu, lubang-lubang difusi dapat tersumbat dan akan menurunkan efisiensi perpindahan.

2.2.5. Ozonator

Peralatan ozonator dirancang untuk bekerja pada tegangan listrik ± 15 kilovolt pada tegangan bolak-balik (AC), tekanan atmosferik dan suhu kerja antara 15-40°C. Tabung ozonator terbuat dari bahan *acrylic/PVC* yang didalamnya terdapat elektroda dan dielektriknya terbuat dari *stainless steel*. Elektroda ini dihubungkan dengan sumber listrik tegangan tinggi, sedangkan panas akibat medan induksi elektromagnetik tinggi tadi didinginkan dengan air pendingin yang mengalir secara kontinyu. Arus listrik masukan (input) akan dinaikkan tegangannya oleh transformer sehingga menghasilkan tegangan yang tinggi. Ozonator diletakkan pada jarak yang sangat dekat dengan unit pengolahan limbah guna mencegah dekomposisi ozon.

Udara yang mengandung oksigen berasal dari kompressor dialirkan menuju ozonator melalui gas flowmeter. Di dalam ozonator, campuran gas (udara, oksigen dan ozon) akan mengalir dari bagian atas ke bagian bawah ozonator, sedangkan air pendingin akan mengalir dari bawah ke atas agar waktu kontak lebih besar dalam perpindahan energi sehingga ozonator tidak bersuhu tinggi dan relatif konstan (suhu ozonator dapat dijaga dengan baik).

2.3. Membran

Membran merupakan sebuah material yang berupa lapisan tipis yang dapat memisahkan dua fasa zat dan bertindak sebagai rintangan selektif dalam perpindahan zat saat suatu daya penggerak diberikan melewati membran tersebut (Mallevalle, 1996).

Dari berbagai macam jenis pemisahan, membran mempunyai keuntungan – keuntungan seperti (Mallevalle,1996):

- Pemisahan dapat dilakukan pada temperatur ruang tanpa adanya perubahan fasa, sehingga memberikan efisiensi energi yang lebih baik dibandingkan dengan distilasi.
- Pemisahan dapat berlangsung tanpa adanya akumulasi produk di dalam membran. Membran dapat diterapkan pada aliran kontinyu tanpa adanya siklus regenerasi seperti pada operasi pertukaran ion atau tanpa adanya siklus elusi seperti kromatografi.
- Pemisahan tidak memerlukan penambahan aditif kimia, seperti pada distilasi azeotrop atau pada pemurnian air dengan pengendapan.
 - Namun, membran juga memiliki beberapa kekurangan yaitu:
- *Fouling membran*, yaitu kotoran mengendap di permukaan membran yang dapat menurunkan selektifitas dan kinerja membran.
- Polarisasi konsentrasi, yaitu penumpukan komponen – komponen yang memiliki konsentrasi tinggi pada permukaan membran.
- Rentang operasi temperatur operasi yang tidak terlalu tinggi karena dapat menyebabkan koyaknya membran khususnya bagi membran polimer.
- Membran yang terbuat dari polimer tidak tahan terhadap kondisi yang terlalu ekstrem asam atau basa.

2.3.1. Operasi Membran

Operasi membran dapat diklasifikasikan dari jenis-jenis material yang dipisahkan dan daya penggerak yang ada. Sebagai contoh, mikrofiltrasi dan osmosis balik adalah dua jenis membran yang menggunakan tekanan untuk memindahkan air melewati membran. Mikrofiltrasi hanya dapat memisahkan materi partikulat, sementara

osmosis balik dapat memisahkan berbagai macam zat pengotor saat air melewati membran. Elektrodialisis juga dapat digunakan untuk memisahkan larutan ionik dari air, hanya dalam kasus ini ion yang dialirkan melewati membran dan yang menjadi daya penggerakannya adalah beda potensial.

2.3.1.1. Operasi Membran Berdasarkan Tekanan

Operasi membran yang berdasarkan tekanan seperti mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi banyak digunakan dalam proses pengolahan air minum maupun pengolahan limbah industri (Schlichter, Mavrov, Chmiel, 2003). Proses ini merupakan proses pemisahan menggunakan membran dimana yang menjadi daya penggerakannya adalah perbedaan tekanan (Mallevalle, 1996).

1. Osmosis Balik

Osmosis balik merupakan sistem membran yang beroperasi berdasarkan tekanan dimana pelarut dan larutan ditransfer melalui membran yang dapat menahan garam dan larutan dengan massa molekul yang kecil. Jika larutan garam pekat akan dipisahkan dari air murni dengan membran ini maka perbedaan potensial kimia cenderung akan membuat air berdifusi dari bagian yang berkonsentrasi rendah ke bagian yang berkonsentrasi tinggi untuk menyetarakan konsentrasi. Pada keadaan setimbang perbedaan level diantara kedua bagian tergantung pada tekanan osmosis dari larutan garam. Untuk dapat menghasilkan air yang benar-benar bersih dari larutan garam ini, tekanan sistem harus melewati tekanan osmosisnya. Dengan kata lain untuk membuat hasil yang memenuhi standar setidaknya tekanan harus dua kali dari tekanan osmosisnya, sebagai contoh untuk air laut digunakan tekanan sebesar 5-8 Mpa.

2. Nanofiltrasi

Nanofiltrasi sering disebut osmosis balik bertekanan rendah atau *membrane softening*. Berada diantara osmosis balik dan ultrafiltrasi dalam hal selektifitas dari membran yang didisain untuk memisahkan ion multivalensi (kalsium dan magnesium) pada *softening operations*. Saat ini nanofiltrasi digunakan untuk mengontrol keberadaan zat-zat organik. Pada filtrasi jenis ini ion monovalensi biasanya tidak akan ikut terfiltrasi sehingga tekanan osmosis akan lebih rendah dibandingkan dengan osmosis balik. Hal ini mengakibatkan tekanan operasi untuk nanofiltrasi jauh lebih rendah dari osmosis balik, biasanya sekitar 0,5 sampai 1,5 Mpa.

3. Ultrafiltrasi

Dalam pengolahan air, ultrafiltrasi dapat didefinisikan sebagai operasi membran yang dapat menjernihkan dan membunuh kuman. Membran ultrafiltrasi berbentuk pori dan tidak akan melewatkan partikel yang paling kasar (makromolekul) dan berbagai jenis virus, bakteri, dan mikroorganisme. Karena larutan dengan massa molekul kecil tidak terfiltrasi maka tekanan osmosis dari larutan dapat diabaikan sehingga tekanan sistem dapat dibuat rendah sekitar 0,05 - 0,5 Mpa.

4. Mikrofiltrasi

Perbedaan antara mikrofiltrasi dengan ultrafiltrasi adalah ukuran porinya. Mikrofiltrasi mempunyai ukuran pori lebih besar dari 0,1 μm . Tujuan utama dari filtrasi jenis ini adalah penjernihan air atau pembersihan air. Tekanan operasi dapat disamakan dengan ultrafiltrasi.

2.3.2. *Fouling* Membran

Kerugian utama dari proses membran ini adalah terjadinya *fouling* atau *biofouling* membran akibat penumpukan deposit dari senyawa anorganik, organik, juga mikroorganisme baik pada permukaan dalam maupun luar dari pori membran. *Fouling* ini lebih lanjut dapat menurunkan fluks permeate dan menurunkan efisiensi ekonomi dari *plant* pengolahan air minum.

Penurunan fluks permeate pada membran dapat disebabkan oleh beberapa hal seperti polarisasi konsentrasi, adsorpsi, pembentukan lapisan gel pada permukaan membran, dan penyumbatan pada pori membran

Beberapa hal yang umum dilakukan untuk mengurangi *fouling* dari membran diantaranya ialah melakukan pencucian balik/*backflushing* membran secara periodik, pembersihan membran dengan bahan kimia, dan melakukan *pretreatment* pada air masukan membran (Sclichter, Mavrov, Chmiel, 2003).

2.4. Proses Ozonasi-mikrofiltrasi/Ultrafiltrasi

Proses pengolahan air minum biasanya menggunakan gabungan antara mikrofiltrasi atau ultrafiltrasi sebagai *pretreatment* terhadap nanofiltrasi atau osmosis balik yang dirangkai secara seri. Kekurangan dari proses ini adalah biaya produksi dan kemungkinan terjadinya *fouling* tinggi. Mikroorganisme seperti bakteri atau virus akan dipisahkan dalam jumlah yang besar pada tahap pertama, tetapi tidak dihilangkan seluruhnya. Hal ini akan mengakibatkan konsentrasi mikroorganisme pada air masukan pada tahap selanjutnya sehingga menyebabkan terjadinya *biofouling* pada membran.

Untuk mengurangi biaya produksi, tahap kedua dihilangkan, tetapi dilakukan proses disinfeksi pada air keluaran. Namun hal ini juga tidak dapat mengurangi terjadinya *fouling* karena seperti yang terjadi pada proses sebelumnya, mikroorganisme pada air masukan pada mikrofiltrasi atau ultrafiltrasi tidak dapat dihilangkan seluruhnya (Sclichter, Mavrov, Chmiel, 2003).

Untuk mengatasi masalah *fouling* ini dapat dilakukan suatu *pretreatment* terhadap air masukan membran, yaitu dengan menginjeksikan ozon kepada air

masuk dari mikrofiltrasi atau ultrafiltrasi. Dengan penginjeksian ozon ini diharapkan mikroorganisme penyebab *biofouling* ini dapat dihilangkan.

2.5. Membran Keramik

Membran keramik umumnya berbahan dasar campuran oksida (biasanya oksida-oksida aluminium, silikon, titanium ataupun zirkon) yang bergabung menjadi struktur kristal tunggal, seperti silikat, baik yang hidrat maupun yang anhidrat ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dan magnesium silikat anhidrat ($\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$). Membran lainnya bahkan dapat terbuat dari campuran oksida-oksida dari unsur di atas. Keramik dapat digunakan sebagai membran karena mempunyai sifat plastis sehingga mudah dibentuk tanpa patah dan bertambah kuat saat air berkurang.

Ukuran pori dari membran keramik biasanya berkisar antara 0,1 hingga 0,35 μm . Membran keramik secara umum stabil secara termal, kimiawi maupun mekanis sehingga membran keramik merupakan bahan yang ideal untuk berbagai aplikasi dalam industri kimia, farmasi atau pada proses-proses pengolahan air. Membran keramik sangat tahan terhadap suhu hingga lebih besar dari 500°C dan perbedaan tekanan hingga 1000 bar dengan struktur yang tidak berubah dan juga kekuatan mekanisnya yang tinggi sehingga tidak mudah rusak. Hal ini berarti membran keramik mempunyai *life time* yang panjang. Selain itu membran keramik juga tahan terhadap korosi, tetap stabil pada rentang pH yang luas, ketahanan abrasi yang tinggi, kemampuan untuk dilakukannya regenerasi setelah terjadi *fouling*. Penyumbatan bahan-bahan pada membran dapat dihilangkan hanya dengan pencucian (*physical washing*) dan juga dapat digunakan pada fluida yang sangat kental (*viskos*). Namun pembuatan membran ini memakan biaya yang cukup besar sehingga modal awalnya juga besar tetapi biaya perawatannya sangat rendah karena proses pembersihannya mudah.

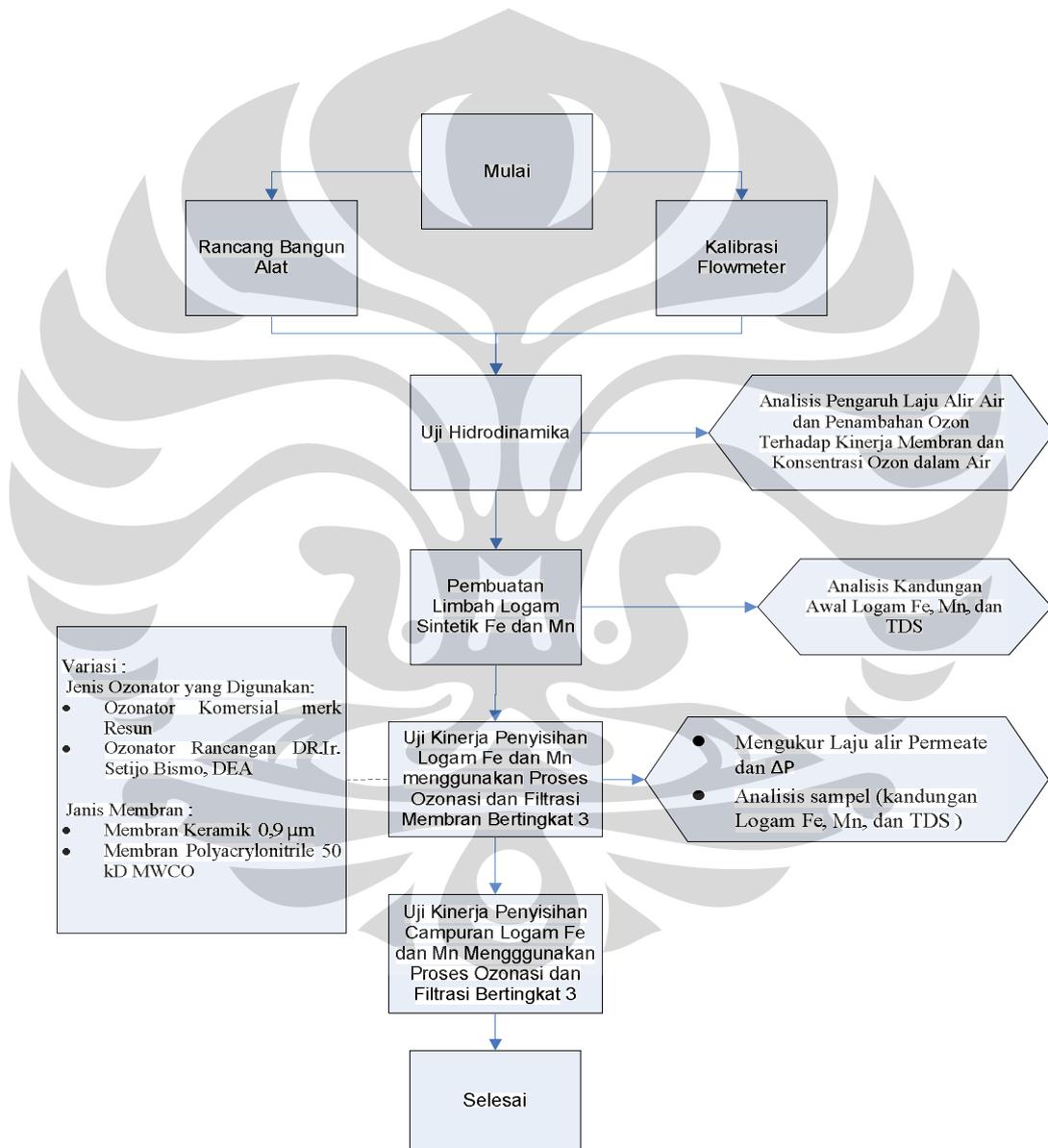
Hasil yang diperoleh dengan penggunaan membran keramik ini ialah dihasilkannya air yang bersih dan aman karena penggunaan bahan-bahan kimia seperti penambahan klorin tidak dibutuhkan.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN

Diagram alir penelitian secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

3.2 RANCANG BANGUN ALAT

Pada penelitian ini terdapat tiga alat utama, yaitu:

1. Ozonator

Peralatan ozonator dirancang untuk bekerja pada tegangan listrik ± 15 kilovolt pada tegangan bolak-balik (AC), tekanan atmosferik dan suhu kerja antara 15-40°C. Tabung ozonator terbuat dari bahan *acrylic/PVC* yang didalamnya terdapat elektroda dan dielektriknya terbuat dari *stainless steel*. Elektroda ini dihubungkan dengan sumber listrik tegangan tinggi, sedangkan panas akibat medan induksi elektromagnetik tinggi tadi didinginkan dengan air pendingin yang mengalir secara kontinyu. Arus listrik masukan (input) akan dinaikkan tegangannya oleh transformer sehingga menghasilkan tegangan yang tinggi. Ozonator diletakkan pada jarak yang sangat dekat dengan unit pengolahan limbah guna mencegah dekomposisi ozon.

Udara yang mengandung oksigen berasal dari kompressor dialirkan menuju ozonator melalui gas *flowmeter*. Di dalam ozonator, campuran gas (udara, oksigen dan ozon) akan mengalir dari bagian atas ke bagian bawah ozonator, sedangkan air pendingin akan mengalir dari bawah ke atas agar waktu kontak lebih besar dalam perpindahan energi sehingga ozonator tidak bersuhu tinggi dan relatif konstan (suhu ozonator dapat dijaga dengan baik).

2. Injektor Mazzei

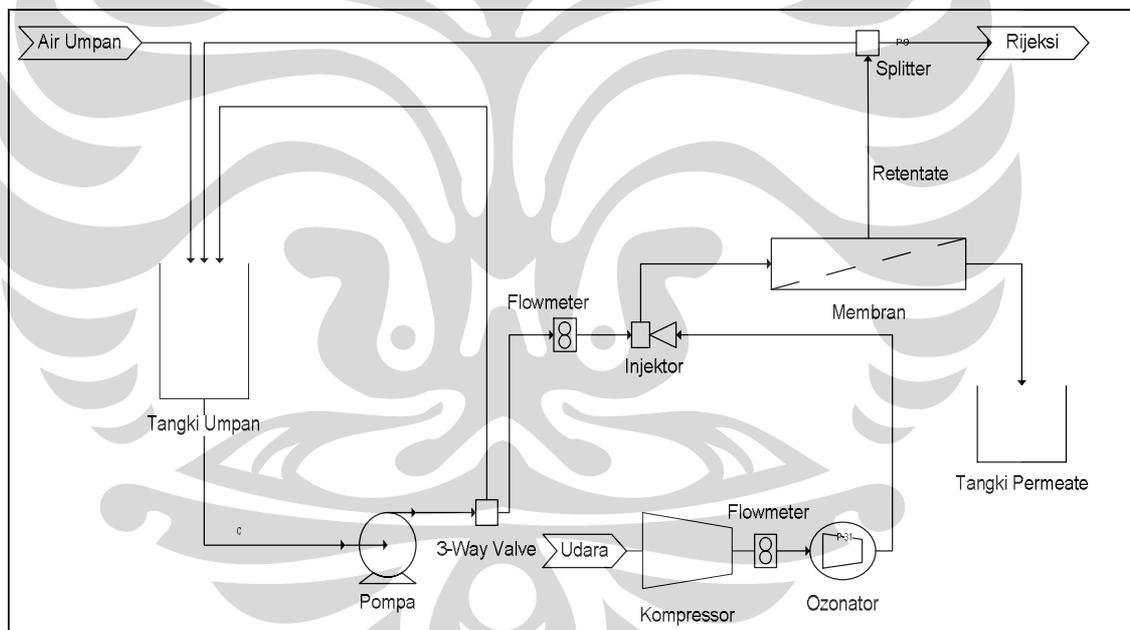
Injektor ini berfungsi untuk menginjeksikan ozon ke dalam air. Salah satu keuntungan menggunakan injektor mazzei adalah gelembung yang dihasilkan pada injektor jenis ini adalah gelembung mikro, sehingga dapat menghasilkan perpindahan massa ozon ke air yang lebih tinggi dibandingkan jika menggunakan *diffuser* biasa.

3. Membran

Membran yang digunakan dalam unit pengolahan air ini adalah jenis membran keramik dan *polyacrylonitrile*. Alasan pemilihan membran berbahan jenis keramik dan *polyacrylonitrile* ini adalah karena membran berbahan jenis ini memiliki daya tahan yang baik terhadap ozon dibandingkan dengan membran yang terbuat dari bahan lainnya.

3.3 DESKRIPSI KESELURUHAN ALAT

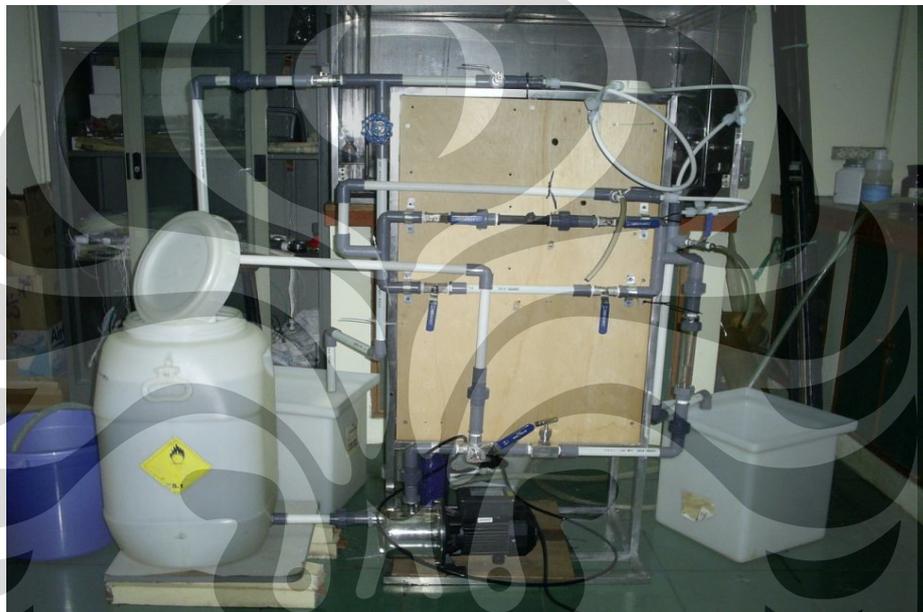
Keseluruhan alat yang dirancang dan dibangun adalah seperti yang terlihat pada Gambar 3.2. Bagian utama alat terdiri atas tiga bagian yaitu, ozonator, injektor ozon dan membran.



Gambar 3.2. Skema Unit Pengolahan Air dengan Proses Ozonasi dan Filtrasi Membran

Air umpan yang berasal dari *reservoir* dialirkan ke sistem dengan menggunakan pompa, sebagian dari air tersebut dialirkan kembali menuju *reservoir*. Air yang menuju sistem kemudian dilewatkan ke injektor. Dalam injektor, kecepatan aliran air akan meningkat sehingga akan menurunkan tekanan dalam ruang sehingga memungkinkan ozon yang dihasilkan oleh ozonator

dimasukkan ke dalam *suction port* dan ikut ke dalam aliran. Saat aliran dengan kecepatan tinggi ini menuju keluaran injektor, kecepatannya berkurang namun tekanannya akan meningkat kembali, namun tekanan keluaran ini masih lebih rendah dibandingkan tekanan masukan injektor. Gelembung yang dihasilkan oleh injektor mazzei ini adalah gelembung mikro. Ketika ozon sudah terlarut dalam air terjadi proses oksidasi senyawa organik maupun anorganik yang ada di dalam air oleh ozon. Setelah itu air akan melewati membran untuk memisahkan partikel-partikel yang ada dalam air. Foto alat penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Foto Alat Penelitian

3.4 PROSEDUR PENELITIAN

1. Uji Hidrodinamika

Pada uji hidrodinamika dilihat pengaruh penggunaan ozon dalam proses filtrasi dan pengaruh laju alir air terhadap ozon yang terlarut dalam air dan kinerja membran (ΔP dan laju permeate).

Alat :

1. Unit pengolahan air yang menggunakan proses ozonasi (menggunakan ozonator merk Resun) dan membran mikrofiltrasi (membran keramik).
2. Manometer digital

3. Stopwatch
4. Gelas ukur
5. Jarum suntik

Bahan:

1. Air sumur DTK FTUI
2. Aquadest
3. KI 0,12 N
4. H_2SO_4 2N
5. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0,00025 Molar

Prosedur percobaan pengaruh ozon dalam proses filtrasi:

1. Menyalakan pompa, kemudian mengatur laju alir menjadi 160 L/jam dan melihat apakah air telah melalui membran, setelah itu alirkan ozon/udara melalui injektor.
2. Setelah aliran *steady* mulai diukur waktunya, rentang waktu yang digunakan adalah 40 menit.
3. Mengambil data laju alir permeate dan ΔP membran setiap 10 menit.
4. Melihat perbedaan proses filtrasi yang menggunakan ozon dan yang menggunakan udara.

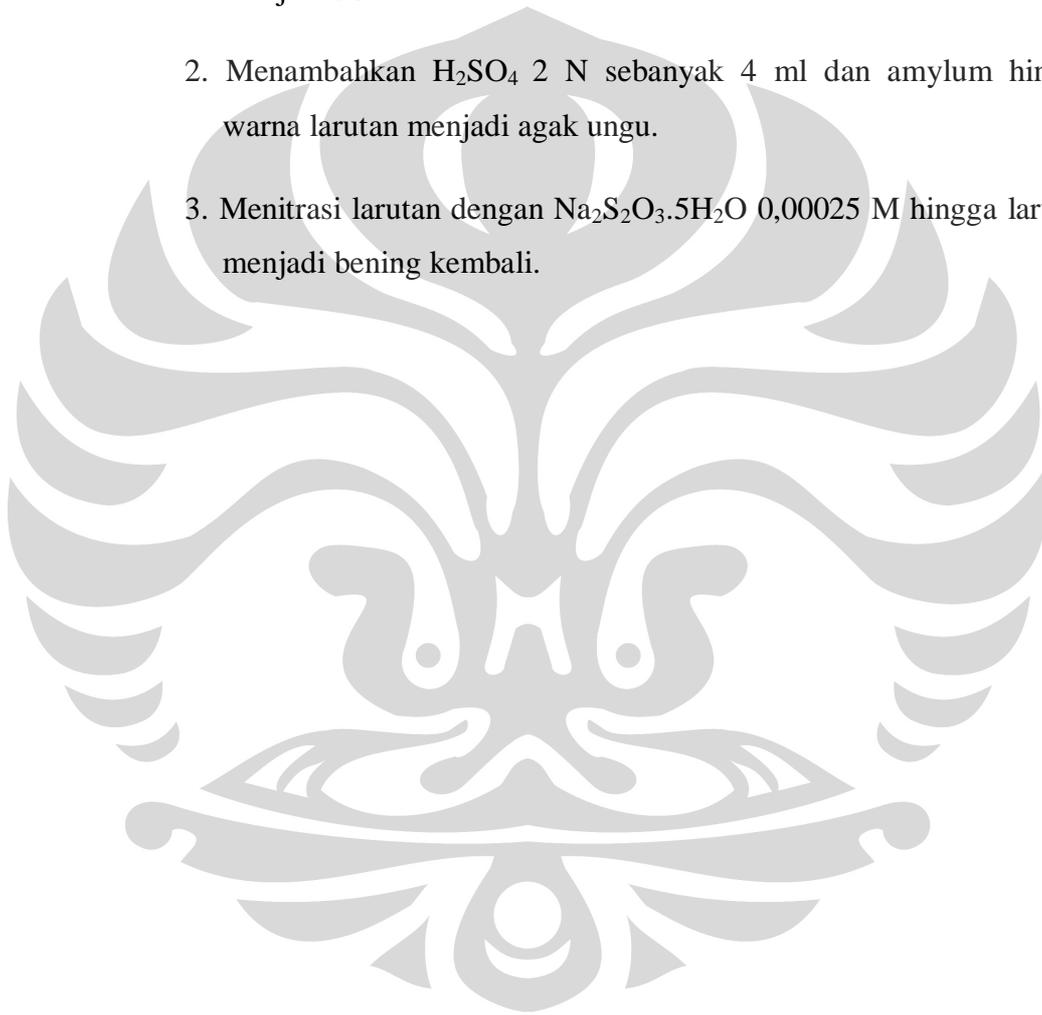
Prosedur percobaan pengaruh laju alir terhadap ozon yang terlarut dalam air:

1. Menyalakan pompa, kemudian mengatur laju alir air menjadi 160 L/jam dan melihat apakah air telah melalui membran, setelah itu alirkan ozon melalui injektor.
2. Setelah aliran *steady* mulai diukur waktunya, rentang waktu yang digunakan adalah 40 menit.
3. Mengambil sampel air sebelum masuk membran, kemudian melakukan titrasi iodometri untuk menentukan kadar ozon yang terdapat dalam air.
4. Mengulangi percobaan untuk laju alir 200 L/jam dan 240 L/jam.

Uji Kadar Ozon dalam Air

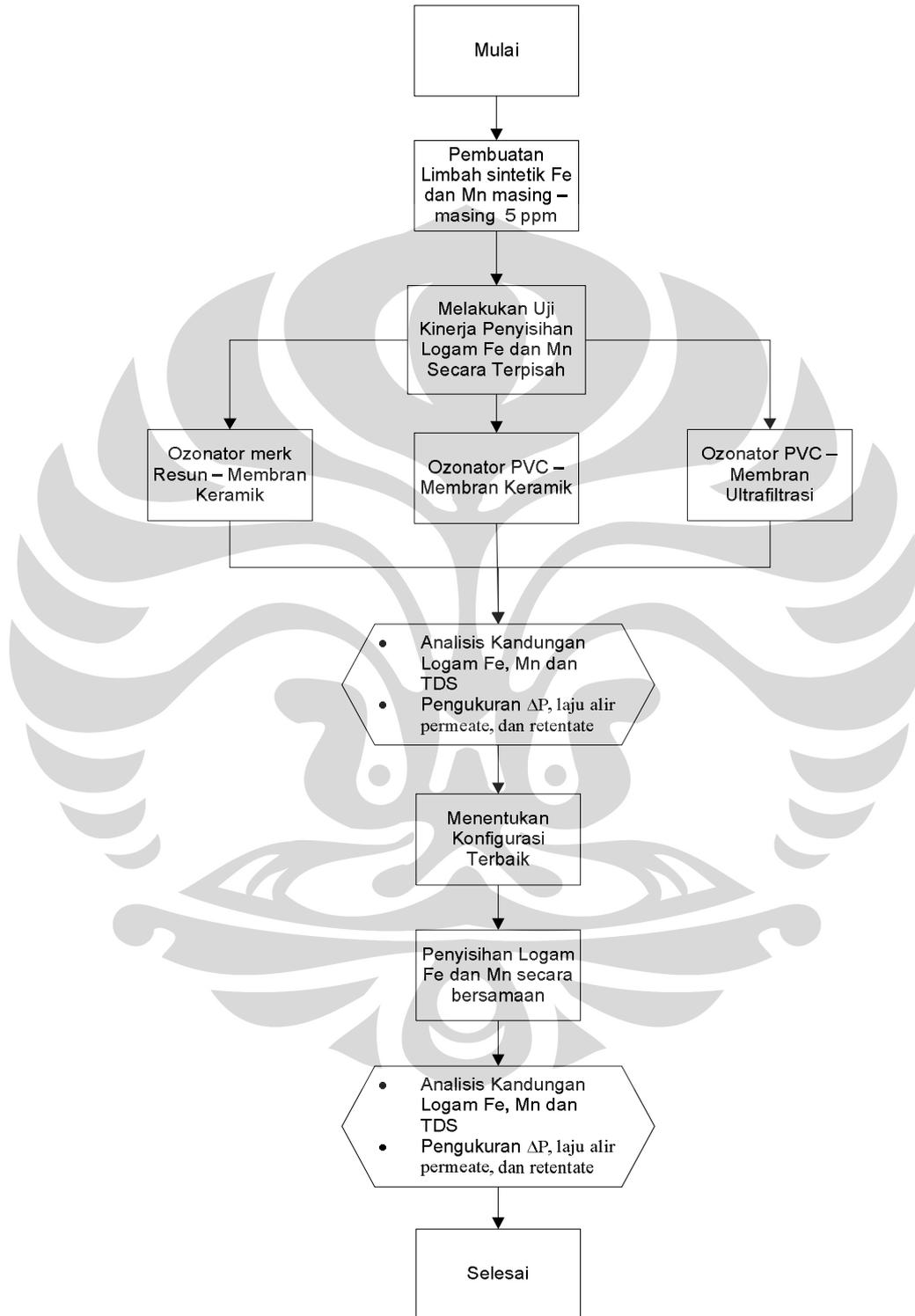
Pengujian kadar ozon dalam air dapat dilakukan dengan metode titrasi iodometri. Prosedur pengujian kadar ozon dalam air adalah sebagai berikut:

1. Mengambil sampel air sebelum masukan membran sebanyak 25 cc dan menambahkan dengan larutan KI 0,12 N hingga volumenya menjadi 50 cc.
2. Menambahkan H_2SO_4 2 N sebanyak 4 ml dan amylum hingga warna larutan menjadi agak ungu.
3. Menitrasi larutan dengan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0,00025 M hingga larutan menjadi bening kembali.



2. Uji Kinerja

Diagram alir uji kinerja dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Diagram Alir Uji Kinerja

Uji kinerja untuk unit pengolahan air ini dikhususkan pada uji kinerja penyisihan logam besi dan mangan.

Alat :

1. Ozonator merk Resun (Produktivitas 0,082 gr/jam dan laju alir 1200 L/jam)
2. Ozonator PVC (Produktivitas 0,244 gr/jam dan laju alir 800 L/jam)
3. Membran Keramik
4. Membran Ultrafiltrasi (modul *Hollow Fiber*) berbahan dasar *Polyacrylonitrile* (PAN)
5. Manometer digital
6. TDS meter

Bahan :

1. Air sumur DTK FTUI
2. $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
3. $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
4. Aquadest

Tahapan percobaan untuk uji kinerja adalah :

1. Pembuatan limbah sintetik

Pada tahap ini dilakukan pembuatan limbah sintetik besi dengan konsentrasi 5 ppm dan mangan dengan konsentrasi 5 ppm dengan melarutkan kristal $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ sebanyak 1,2445 gram dan $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ sebanyak 0,9006 gram dalam 50 liter air.

2. Proses ozonasi dan filtrasi

Laju alir umpan yang digunakan adalah laju alir optimum yang didapatkan pada uji hidrodinamika. Air umpan yang mengandung logam Fe dimasukkan ke unit pengolahan air yang menggunakan proses ozonasi dan filtrasi membran dengan 3 variasi konfigurasi yaitu:

- Ozonator Resun - Membran Keramik (Mikrofiltrasi)
- Ozonator PVC - Membran Keramik (Mikrofiltrasi)
- Ozonator PVC - Membran *Polyacrylonitrile* (Ultrafiltrasi)

Pada tahap ini dilakukan proses ozonasi – filtrasi membran secara bertingkat 3 (Retentate hasil filtrasi dimasukkan lagi ke dalam reservoir untuk diproses kembali, *recycle* terhadap retentate dilakukan 2 kali). Hal yang sama dilakukan untuk air umpan yang mengandung logam Mn. Pada tahap ini juga diukur ΔP pada membran dan laju permeate untuk mengetahui kinerja membran.

Setelah didapatkan konfigurasi yang terbaik limbah sintetik Fe dan Mn dicampur dalam satu reservoir untuk mengetahui pengaruhnya pada kinerja unit pengolahan air jika limbah tersebut dicampur.

3. Pengambilan sampel.

Air umpan dan permeate diambil untuk mengetahui kadar logam dan TDS untuk setiap variasi yang dilakukan.

4. Analisis sampel

Sampel permeate yang telah diambil diukur kadar logam Fe dan Mn dengan menggunakan metode spektrofotometri. Analisis sampel dilakukan di Laboratorium Teknik Penyehatan dan Lingkungan FTUI.

% Pemisahan Logam dihitung dengan rumus :

$$\% \text{Pemisahan Logam} = \frac{\text{KLU} - \text{KLP}}{\text{KLU}} \times 100\% \dots\dots\dots(3.1)$$

Dimana :

KLU : Kandungan Logam pada Umpan

KLP : Kandungan Logam pada Permeate

Analisis TDS

Nilai TDS diukur dengan menggunakan TDS meter. TDS adalah semua zat yang tersisa sebagai residu penguapan pada suhu 103-105°C. TDS menunjukkan jumlah zat padat terlarut yang terdiri dari garam-garam anorganik dan sejumlah kecil zat organik. Ion yang mempengaruhi TDS adalah karbonat, klorida, sulfat, nitrat, natrium,

kalium, kalsium, dan magnesium.. Nilai TDS yang diperkenankan untuk air minum adalah 1000 ppm.

Prosedur percobaan untuk uji kinerja adalah :

1. Menyalakan pompa, kemudian mengatur laju alir air menjadi 240 L/jam dan melihat apakah air telah melalui membran, setelah itu alirkan ozon melalui injektor.
2. Setelah aliran *steady* mulai diukur ΔP dan laju permeatannya selama proses ozonasi-filtrasi berlangsung.
3. Mengambil sampel air pada permeate dan retentate (sebagai umpan untuk proses ozonasi – filtrasi yang kedua) untuk diukur kadar TDSnya.
4. Mengulangi percobaan 1 sampai 3 untuk proses ozonasi-filtrasi yang ketiga.

Uji Produktivitas ozonator

Uji produktivitas ozonator ini menggunakan metode iodometri. Metode iodometri ini berdasarkan reaktivitas ozon terhadap larutan KI. Pada tahun 1985, dikembangkan suatu metode standar untuk menentukan kandungan ozon dalam gas, ion iodida dioksidasi menjadi iodium oleh ozon dalam larutan buffer kalium iodida. pH larutan dibuat menjadi 2 dengan asam sulfat dan pembebasan iodium dengan dititrasi dengan natrium thiosulfat pada saat titik akhir titrasi. Reaksi ozon dengan kalium iodida adalah sebagai berikut (Day & Underwood, 1981):



Pembebasan iodium dengan dititrasi dengan natrium thiosulfat :



Peralatan dan bahan

Peralatan yang digunakan dalam percobaan adalah:

Peralatan:

Buret 50 cc	Beaker glass 50 ml, 500 ml
Statip	Erlenmeyer 500 ml, 1000 ml
Botol aquades	Gelas ukur 10 ml, 50 ml
Stop watch	Labu ukur 250 ml, 1000 ml

Bahan :

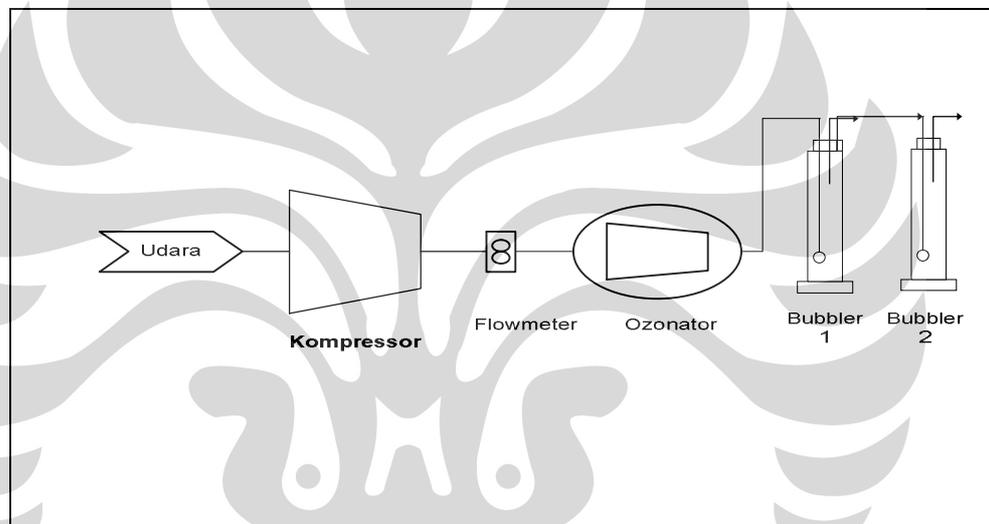
Kalium iodida (KI)	Aquades
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Indikator amyllum
H_2SO_4	

Prosedur Percobaan :

1. Melarutkan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (serbuk putih) sebanyak 0,62 gr (0,005 N) dalam aquades sehingga diperoleh volume sebanyak 1000 ml.
2. Melarutkan KI (serbuk putih) sebanyak 20 gr aquades sehingga diperoleh volume sebanyak 1000 ml.
3. Menyiapkan indikator kanji (amyllum).
4. Melakukan pengenceran H_2SO_4 18 M sebanyak 14 ml sehingga diperoleh larutan H_2SO_4 sebanyak 250 ml dengan konsentrasi 2 N.
5. Setelah larutan KI dimasukkan ke dalam *gas washing bottle (bubb\ler)* yang terdiri dari bagian hulu dan hilir masing-masing sebanyak 200 ml, kemudian kompresor mulai dinyalakan, sehingga udara mengalir menuju ozonator, ozonator kemudian dinyalakan sehingga keluaran dari ozonator yaitu campuran ozon dan udara akan dilewatkan ke dalam bubbler.
6. Kemudian dilakukan pengambilan sampel untuk dititrasi ketika warna larutan KI pada bagian hilir yang semula menjadi bening berubah hingga menjadi kuning muda.

7. Sebelum dititrasi dengan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ sampel ditambahkan H_2SO_4 2N sebanyak 10 ml dan indikator amylum sehingga sampel berwarna biru tua (menandakan terkandungnya I_2 dalam sampel).
8. Proses titrasi dihentikan sampai larutan yang berwarna biru tua tepat menjadi bening.
9. Perlakuan sama terhadap bagian hulu dan hilir.

Gambar 3.5 merupakan skema alat percobaan produktivitas ozonator.



Gambar 3. 5. Skema rangkaian percobaan produktivitas ozonator

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

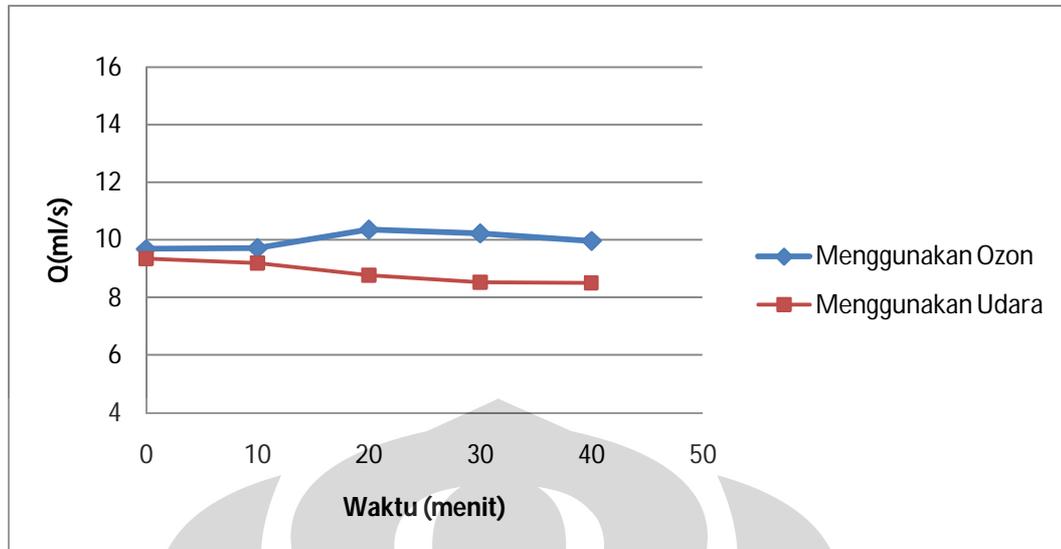
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi optimum dan efektivitas unit pengolahan air yang telah dibuat dalam menyisihkan logam besi dan mangan dalam air. Unit pengolahan air ini terdiri dari ozonator, injektor ozon dan membran. Pada uji kinerja penyisihan logam besi dan mangan dilakukan proses ozonasi-filtrasi membran bertingkat 3 (Retentate hasil filtrasi dimasukkan lagi ke dalam reservoir untuk diproses kembali, *recycle* terhadap retentate dilakukan 2 kali), selain itu juga diteliti pengaruh penggunaan ozon terhadap kinerja membran pada uji penyisihan logam. Air sumber dan air keluaran unit pengolahan air selanjutnya akan diuji dengan menggunakan AAS untuk mengetahui besarnya penyisihan yang terjadi.

4.1. Uji Hidrodinamika

Pada uji hidrodinamika dilihat pengaruh laju alir air dan penggunaan ozon dalam proses filtrasi terhadap kinerja membran dan konsentrasi ozon yang terlarut dalam air. Parameter Kinerja membran yang dievaluasi adalah ΔP dan laju permeate. Hasil terbaik yang didapat dalam uji hidrodinamika akan digunakan dalam uji kinerja penyisihan logam besi dan mangan.

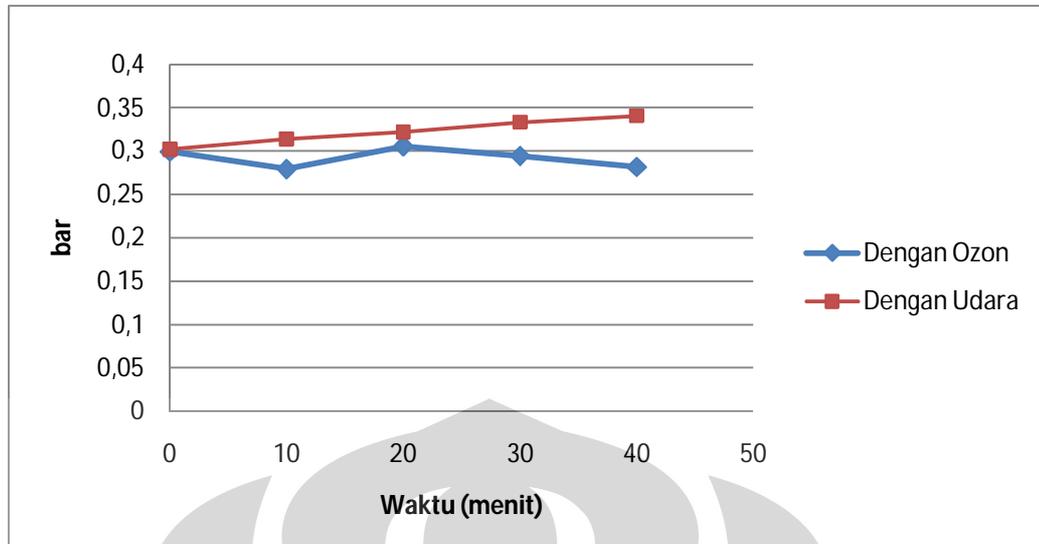
4.1.1. Pengaruh Penggunaan Ozon Dalam Proses Filtrasi Membran

Dalam uji pengaruh penggunaan ozon dalam proses filtrasi ini digunakan ozonator merk resun dengan produktivitas ozonator rata-rata sebesar 0,082 gr/jam dan membran keramik (mikrofiltrasi). Laju alir air yang digunakan adalah 160 L/jam (44,44 ml/s). Laju alir udara dan ozon yang digunakan adalah \pm 1200 L/jam. Air umpan yang digunakan adalah air sumur DTK-FTUI. Data yang diperoleh adalah sebagai berikut :



Gambar 4.1. Hubungan Antara Laju Permeate Terhadap Waktu

Dari Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa cenderung tidak ada penurunan laju permeate pada proses filtrasi dengan menggunakan ozon sebagai *pretreatment* air umpan hal ini disebabkan sedikitnya *fouling* yang terjadi pada membran oleh zat – zat organik dan mikroorganisme yang ada di dalam air karena penggunaan ozon. Seperti diketahui bahwa ozon sangat efektif untuk penyisihan zat – zat organik maupun mikroorganisme yang ada di dalam air. Sedangkan untuk proses filtrasi yang tidak menggunakan ozon (menggunakan udara) sebagai *pretreatment* air umpan laju alir permeatonya cenderung turun selama proses berlangsung. Hal ini mungkin disebabkan oleh adanya *fouling* pada membran oleh zat – zat organik dan mikroorganisme yang ada di dalam air yang menyebabkan tahanan pada membran semakin besar.

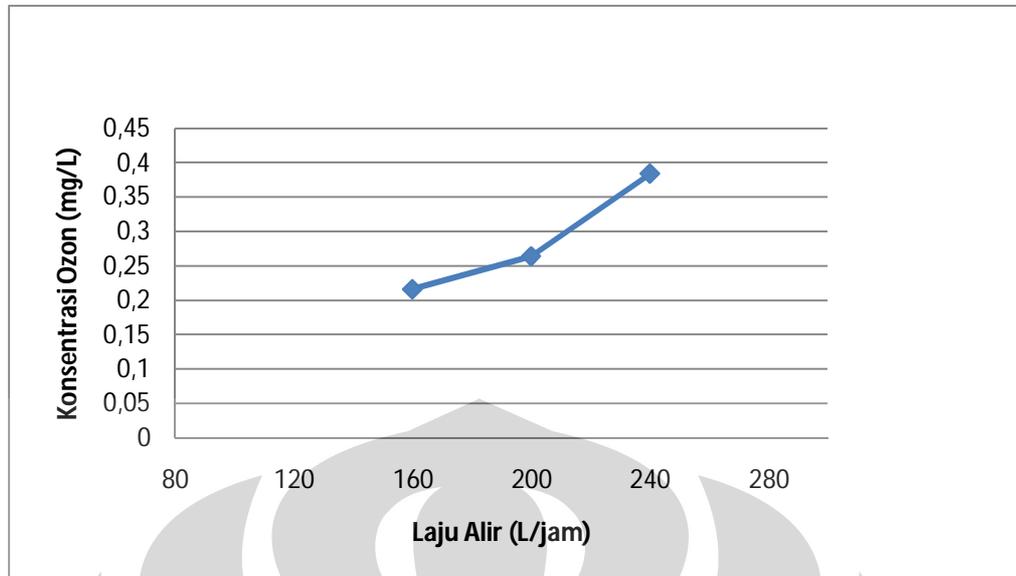


Gambar 4.2. Hubungan Antara ΔP Terhadap Waktu

Dari Gambar 4.2 juga dapat dilihat bahwa ΔP pada proses filtrasi yang menggunakan ozon sebagai *pretreatment* air umpan memiliki ΔP yang cenderung tetap sedangkan pada proses filtrasi yang tidak menggunakan ozon memiliki ΔP yang cenderung naik, hal ini disebabkan oleh meningkatnya tahanan pada membran yang mungkin disebabkan karena terjadinya *fouling* pada membran oleh zat – zat organik dan mikroorganisme dalam air.

4.1.2. Pengaruh Laju Alir Terhadap Ozon yang Terlarut Dalam Air

Dalam uji pengaruh laju alir air terhadap ozon yang terlarut dalam air ini digunakan ozonator merk resun dengan produktivitas ozonator rata-rata sebesar 0,082 gr/jam dan membran keramik (mikrofiltrasi). Laju alir air yang digunakan adalah 160 L /jam, 200 L/jam, dan 240 L/jam. Laju alir ozon yang digunakan adalah \pm 1200 L/jam. Air umpan yang digunakan adalah air sumur DTK-FTUI. Hasil pengujian pengaruh laju alir terhadap ozon yang terlarut dalam air adalah sebagai berikut :



Gambar 4.3. Hubungan Laju Alir Air Terhadap Konsentrasi Ozon Dalam Air

Dari Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa semakin tinggi laju alir air maka ozon yang terlarut dalam air juga semakin besar. Hal ini dikarenakan pada laju alir 240 L/jam injektor yang digunakan bekerja secara optimal sehingga gelembung mikro yang tercipta makin banyak dan memperbesar luas permukaan kontak ozon dengan air sehingga pencampuran ozon dan air dapat terjadi dengan baik. Injektor yang digunakan adalah injektor mazzei yang bekerja dengan menurunkan tekanan pada *suction portnya*, dengan meningkatkan laju alir air maka daya hisap dari injektor tersebut akan semakin baik dan *mixing vanes* yang ada di dalam injektor juga bekerja secara optimal.

4.2. Uji Kinerja Penyisihan Logam Besi dan Mangan

Pada uji kinerja penyisihan logam besi dan mangan ini diputuskan uji kinerja untuk ozonator PVC – Membran *Polyacrylonitrile* (PAN) tidak dapat dilakukan karena terjadi leaching pada membran karena ozon, hal ini diketahui dengan adanya bau pada air permeate yang dihasilkan seperti bau *epoxy* dan TDS pada air permeate yang meningkat hingga 86 ppm dari yang semula hanya 56 ppm. Selain itu, pada laju alir 240 L/jam, tidak ada permeate yang dihasilkan karena tekanan pompa yang kurang besar untuk ukuran membran 50kD (pompa hanya mampu menghasilkan tekanan ± 2 bar). Ketika laju alir air umpan

diperbesar sampai 340 L/jam (94,44 ml/s), laju alir permeate hanya sekitar 1 ml/s (Walaupun tekanan sudah dinaikkan dengan menutup sebagian valve pada aliran retentate). Hal ini tentu sangat tidak menguntungkan. Maka diputuskan untuk tidak melanjutkan percobaan.

Oleh karena itu, pada uji kinerja penyisihan logam besi dan mangan ini hanya dilakukan untuk 2 konfigurasi yaitu :

1. Ozonator merk Resun – Membran Keramik (Mikrofiltrasi)
2. Ozonator PVC – Membran Keramik (Mikrofiltrasi)

Pada setiap konfigurasi dilakukan proses ozonasi-filtrasi membran bertingkat 3 (Retentate hasil filtrasi dimasukkan lagi ke dalam reservoir untuk diproses kembali, *recycle* terhadap retentate dilakukan 2 kali) dengan Penyisihan logam besi dan Mangan dilakukan secara terpisah dahulu untuk masing – masing konfigurasi. Setelah didapatkan konfigurasi yang terbaik limbah sintetik besi dan mangan dicampur dalam satu reservoir untuk mengetahui pengaruhnya pada kinerja unit pengolahan air jika limbah tersebut dicampur. Pada uji kinerja ini juga diukur ΔP pada membran dan laju permeate untuk mengetahui kinerja membran serta penyisihan TDS. Laju alir air umpan yang digunakan adalah 240 L/jam berdasarkan hasil uji hidrodinamika.

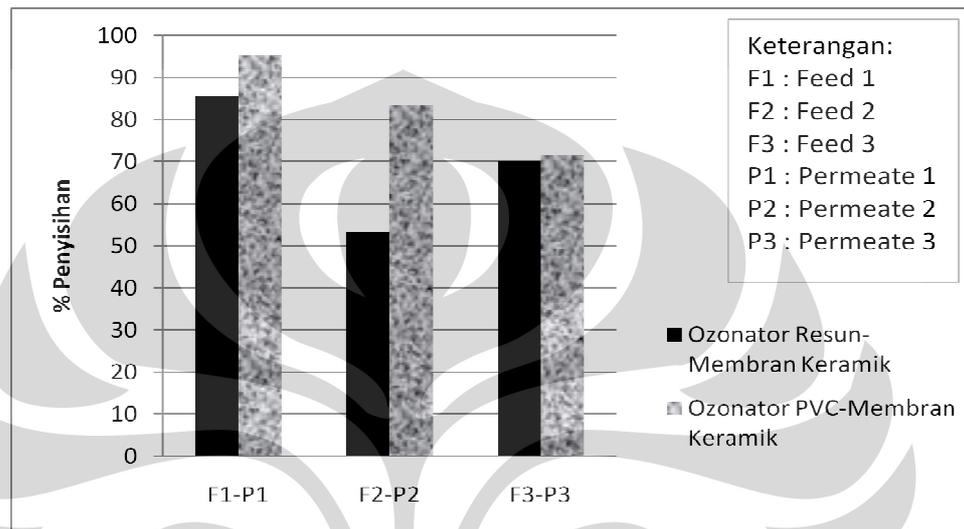
4.2.1. Perbandingan Antara Konfigurasi 1 dan 2

Pada perbandingan uji kinerja dari konfigurasi 1 (Ozonator Resun-Membran Keramik) dan 2 (Ozonator PVC-Membran keramik) ini dibandingkan kinerja kedua konfigurasi dalam penyisihan logam besi dan mangan. Selain itu juga diukur ΔP pada membran dan laju permeate untuk mengetahui kinerja membran dan penyisihan TDS.

4.2.1.1. Penyisihan Logam Besi (Fe)

Pada Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa penyisihan logam besi untuk konfigurasi 1 dapat berjalan cukup baik dengan penyisihan total 97,61% dengan kandungan logam besi awal (F1) sebesar 2,51 ppm dan kandungan logam besi akhir (P3) sebesar 0,06 ppm (perhitungan dapat dilihat di lampiran) meskipun

kadar logam besi dalam air yang memenuhi standar KEPMENKES No. 907/MENKES/SK/VII/2002 yaitu sebesar 0,3 ppm didapat setelah proses ozonasi – filtrasi yang ke 3 (P3) sebesar 0,06 ppm (perhitungan dapat dilihat di lampiran). Hal ini disebabkan kecilnya produktivitas ozonator yang digunakan yang hanya 0,082 gr/jam.



Gambar 4.4. Penyisihan Logam Besi (Fe)

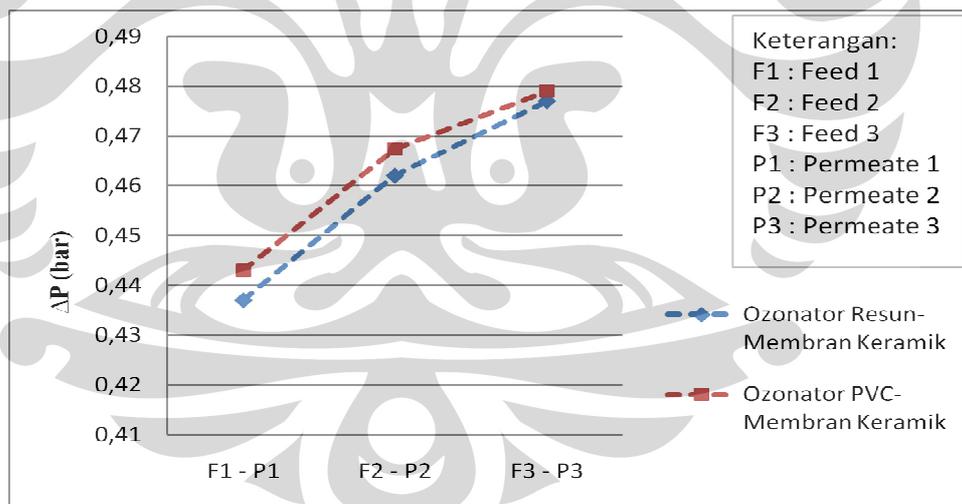
Reaksi oksidasi besi oleh ozon berlangsung menurut persamaan reaksi :



Dari persamaan diatas, secara teoritis kebutuhan ozon untuk mengoksidasi besi dalam air adalah 0,43 mg O₃/mg Fe²⁺. Sehingga untuk mengoksidasi kandungan Fe²⁺ sebesar 5 ppm dibutuhkan kadar ozon sebesar 2,15 mg O₃/L sedangkan kandungan ozon dalam air hanya sekitar 0,384 mg O₃/L di dalam air, tetapi karena Fe²⁺ juga sangat mudah teroksidasi membentuk Fe³⁺ (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 Fe²⁺ yang teroksidasi juga meningkat. Hal ini pula yang menyebabkan pada saat analisis AAS kandungan awal Fe²⁺ tidak sama dengan 5 ppm, karena ion-ion Fe²⁺ sebelum dilakukan analisis telah banyak teroksidasi oleh kandungan DO dalam air maupun karena oksigen dari lingkungan.

Pada Gambar 4.4 juga dapat dilihat bahwa penyisihan logam besi untuk konfigurasi 2 dapat berjalan lebih baik daripada konfigurasi 1 dengan penyisihan total 98,64% dengan kandungan logam besi awal (F1) sebesar 1,47 ppm dan kandungan logam besi akhir (P3) sebesar 0,02 ppm (Perhitungan dapat dilihat di lampiran). Kadar logam besi dalam air yang memenuhi standar KEPMENKES No. 907/MENKES/SK/VII/2002 yaitu sebesar 0,3 ppm langsung didapat pada proses ozonasi – filtrasi yang ke 1 (P1) (Perhitungan dapat dilihat pada lampiran) sebesar 0,07 ppm. Hal ini disebabkan produktivitas ozonator yang digunakan lebih besar yaitu 0,244 gr/jam.

Kandungan ozon dalam air dengan menggunakan ozonator PVC ini diperkirakan sekitar 0,984 mg O₃/L di dalam air, jauh lebih besar daripada konfigurasi 1 yang hanya 0,348 mg O₃/L, ditambah pula dengan sifat Fe²⁺ yang sangat mudah teroksidasi membentuk Fe³⁺ oleh oksigen yang terdapat di dalam air maupun oksigen yang masuk karena pertukaran dengan udara sekitar, maka jumlah Fe²⁺ yang teroksidasi juga meningkat.

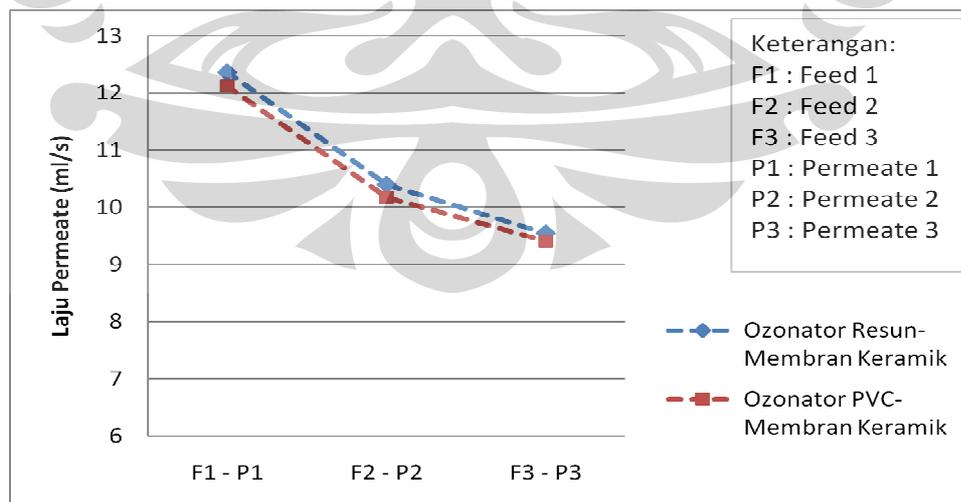


Gambar 4.5. Hubungan ΔP (rata-rata) Pada Membran Untuk Penyisihan Logam Besi Pada Setiap Proses Ozonasi-Filtrasi

Pada Gambar 4.5 dapat dilihat peningkatan ΔP (rata-rata) pada membran untuk konfigurasi 1 cenderung meningkat dari ozonasi – filtrasi ke-1 (F1-P1), ozonasi -filtrasi ke-2 (F2-P2) hingga ozonasi - filtrasi ke-3 (F3-P3). Hal ini

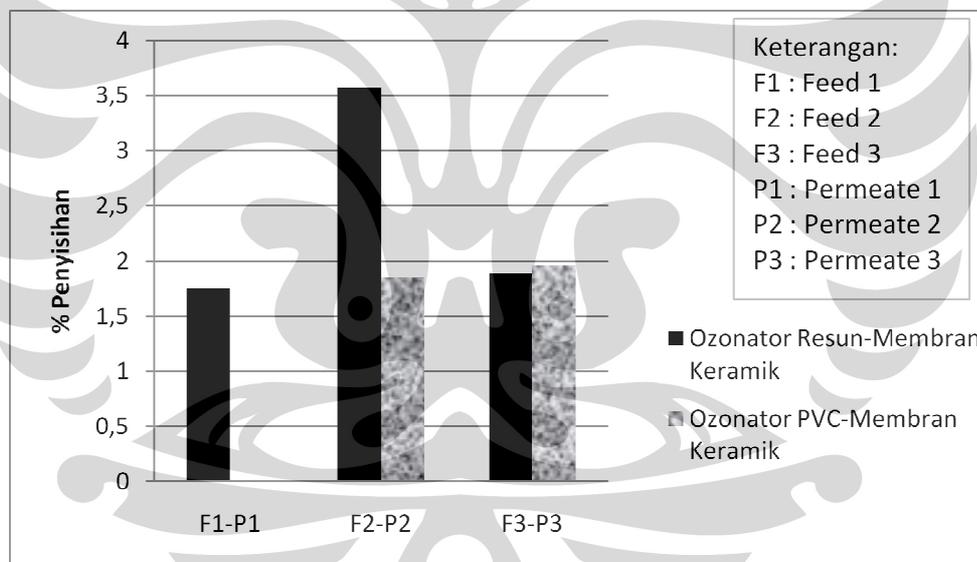
disebabkan karena terjadinya *fouling* pada membran oleh $\text{Fe}(\text{OH})_3$ yang terbentuk sebagai hasil dari oksidasi ion Fe^{2+} dalam air. *Fouling* pada membran ini menyebabkan tahanan pada membran menjadi meningkat sehingga ΔP pada membran pun meningkat. Hal ini juga akan berpengaruh kepada laju permeate yang dihasilkan. Semakin banyak *fouling* pada membran maka tahanan membran akan semakin besar pula, akibatnya ΔP membran meningkat dan laju permeate yang dihasilkan akan menurun. Gambar 4.6 menunjukkan penurunan laju permeate pada setiap proses ozonasi-filtrasi.

Pada Gambar 4.5 juga dapat dilihat juga peningkatan ΔP (rata-rata) pada membran untuk konfigurasi 2 ini cenderung meningkat dari ozonasi – filtrasi ke-1 (F1-P1), ozonasi -filtrasi ke-2 (F2-P2) hingga ozonasi - filtrasi ke-3 (F3-P3). Sama seperti konfigurasi 1, hal ini disebabkan karena terjadinya *fouling* pada membran oleh $\text{Fe}(\text{OH})_3$ yang terbentuk sebagai hasil dari oksidasi ion Fe^{2+} dalam air. Tetapi pada konfigurasi 2 ini ΔP pada membran lebih besar daripada ΔP pada konfigurasi 1, hal ini dikarenakan pada konfigurasi 2, Fe^{2+} yang teroksidasi lebih banyak sehingga *fouling* pada membran juga makin besar, *fouling* yang lebih banyak ini menyebabkan penurunan laju permeate pada konfigurasi 2 lebih besar dibanding konfigurasi 1.



Gambar 4.6. Hubungan Laju Permeate (rata-rata) Pada Membran Untuk Penyisihan Logam Besi Pada Setiap Proses Ozonasi-Filtrasi

Pada Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa untuk konfigurasi 1, penyisihan TDS tidak di dapatkan penyisihan yang signifikan. Dari TDS air umpan sebesar 57 ppm, didapat pada aliran permeate proses ozonasi – filtrasi ke-3 (P3) TDS sebesar 52 ppm atau dengan kata lain % penyisihan TDS total hanya 8,77% (Perhitungan dapat dilihat di lampiran). Hal ini 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 μm , 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 ukurannya yang sangat kecil hingga kurang dari 10 Angstrom.



Gambar 4.7. Penyisihan TDS Untuk Penyisihan Logam Besi

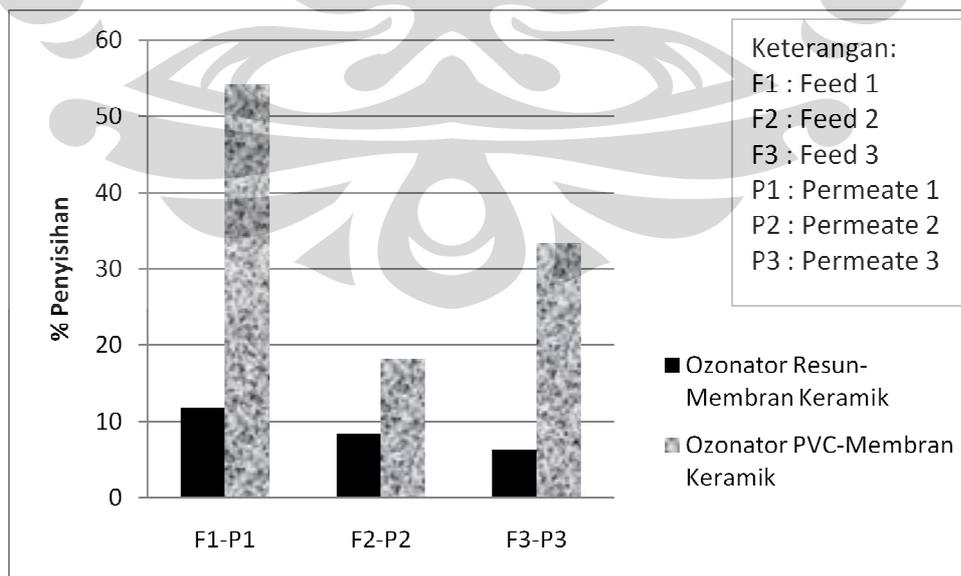
Pada Gambar 4.7 juga dapat dilihat bahwa untuk konfigurasi 2 penyisihan TDS juga tidak didapatkan penyisihan yang signifikan, karena menggunakan membran yang sama. Dari TDS air umpan sebesar 57 ppm, didapat pada aliran permeate proses ozonasi – filtrasi ke-3 (P3) TDS sebesar 50 ppm atau dengan kata lain % penyisihan TDS total hanya 12,28% (Perhitungan dapat dilihat di lampiran).

4.2.1.2. Penyisihan Logam Mangan

Pada Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa penyisihan logam Mn untuk konfigurasi 1 dengan kondisi yang sama dengan uji penyisihan logam besi tidak mendapatkan hasil yang memuaskan sesuai dengan standar KEPMENKES No. 907/MENKES/SK/VII/2002 yaitu sebesar 0,1 ppm. Hal ini dikarenakan produktivitas ozonator terlalu kecil untuk mencukupi kadar ozon yang harus dipenuhi untuk mengoksidasi ion Mn^{2+} . Reaksi oksidasi managan oleh ozon adalah sebagai berikut :



Dari persamaan diatas, secara toritis kebutuhan ozon untuk mengoksidasi besi dalam air adalah 0,88 mg O_3 /mg Mn^{2+} . Sehingga untuk mengoksidasi kandungan Mn^{2+} sebesar 5 ppm dibutuhkan kadar ozon sebesar 4,4 mg O_3 /L sedangkan kandungan ozon dalam air hanya sekitar 0,384 mg/L. Maka dari itu hanya sedikit logam mangan yang dapat disisihkan. Dari konsentrasi awal (F1) sebesar 5,1 ppm, hasil konsentrasi permeate baik pada proses ozonasi-filtrasi ke-1 (P1),ke-2 (P2), maupun ke-3 (P3) hanya berkisar 4,4 -4,5 ppm, atau dengan kata lain di dapatkan % penyisihan total adalah sebesar 11,76% (Perhitungan dapat dilihat pada lampiran).



Gambar 4.8. Penyisihan Logam Mangan

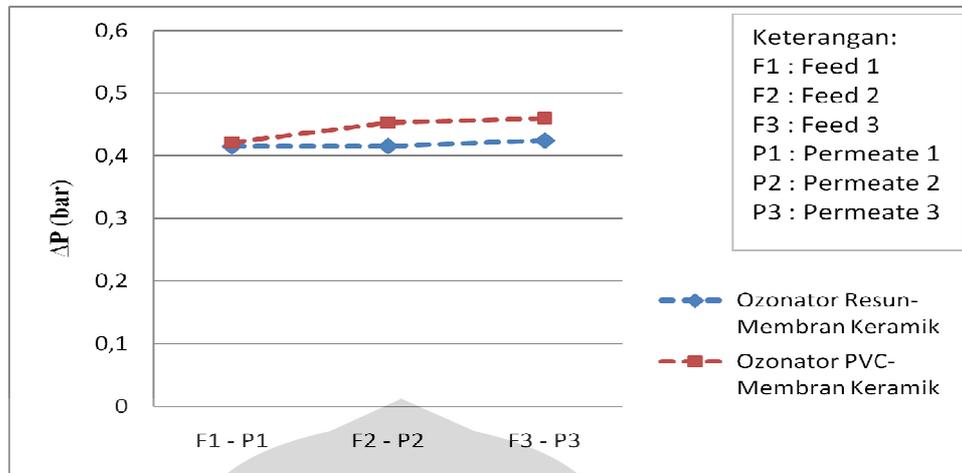
Berbeda dengan ion Fe^{2+} yang sangat mudah teroksidasi oleh oksigen, ion Mn^{2+} sulit teroksidasi untuk membentuk MnO_2 hanya dengan oksigen. Hal ini dapat diketahui dengan melihat harga potensial reduksi dari masing – masing unsur tersebut :

- $\text{MnO}_{2(s)} + 4 \text{H}^+_{(aq)} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mn}^{2+}_{(aq)} + 2 \text{H}_2\text{O} \quad : +1,23 \text{ eV} \dots\dots\dots(4.3)$
- $\text{Fe}^{3+}_{(aq)} + \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}_{(aq)} \quad : +0,771 \text{ eV} \dots\dots\dots(4.4)$
- $\text{O}_{2(g)} + 4 \text{H}^+_{(aq)} + 4 \text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} \quad : +1,229 \text{ eV} \dots\dots\dots(4.5)$
- $\text{O}_{3(g)} + 2\text{H}^+_{(aq)} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \quad : +2,075 \text{ eV} \dots\dots\dots(4.6)$

Jika dilihat dari potensial reduksinya, maka ion Mn^{2+} akan sulit teroksidasi menjadi MnO_2 karena memiliki potensial reduksi yang lebih besar daripada oksigen. Oleh karena itu proses oksidasi Mn^{2+} sangat bergantung pada konsentrasi ozon dalam air.

Pada Gambar 4.8 juga dapat dilihat bahwa penyisihan logam Mn untuk konfigurasi 2 mendapatkan hasil yang lebih baik daripada konfigurasi 1 meskipun belum menghasilkan kualitas air yang sesuai standar KEPMENKES No. 907/MENKES/SK/VII/2002 yaitu sebesar 0,1 ppm . Sama dengan penyisihan logam besi, hal ini dikarenakan produktivitas ozonator yang digunakan lebih besar daripada ozonator resonansi yaitu sebesar 0,244 gr/jam.

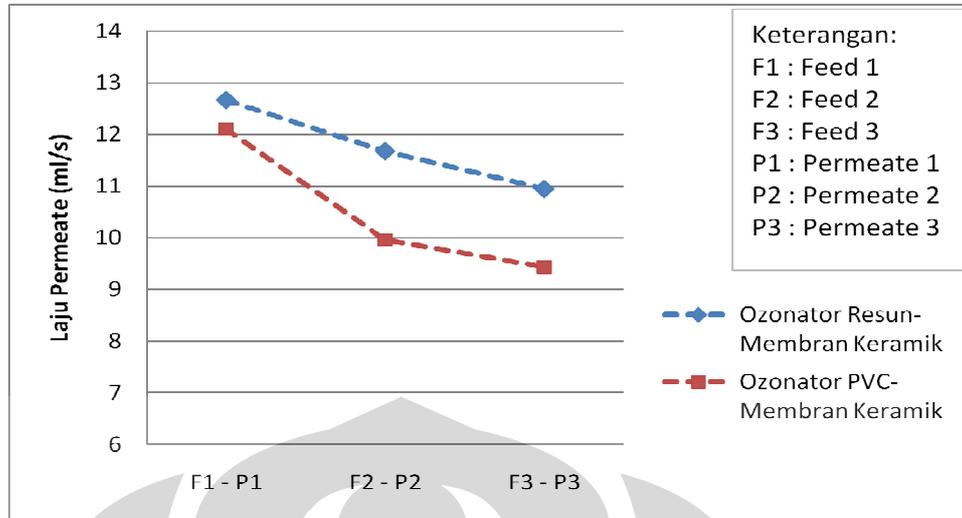
Kandungan ozon dalam air pada konfigurasi ini diperkirakan sekitar 0,984 mg/L. Konsentrasi ozon ini masih kurang untuk menyisihkan logam Mn dengan konsentrasi sekitar 5 ppm yang secara teori membutuhkan kadar ozon sebesar 4,4 mg O_3/L . Maka dari itu hanya sebagian logam mangan yang dapat disisihkan. Penyisihan total logam Mn yang didapat sebesar 45,83 %, dengan kandungan logam besi awal (F1) sebesar 4,8 ppm dan kandungan logam besi akhir (P3) sebesar 2,6 ppm (Perhitungan dapat dilihat pada lampiran).



Gambar 4.9. Hubungan ΔP (rata-rata) Pada Membran Untuk Penyisihan Logam Mangan Pada Setiap Proses Ozonasi-Filtrasi

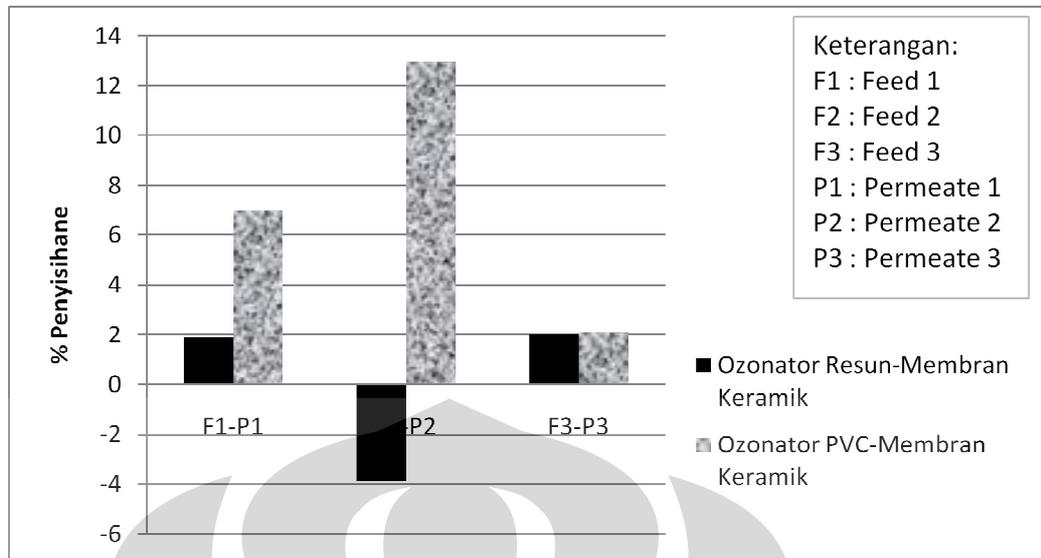
Pada Gambar 4.9 dapat dilihat juga ΔP (rata-rata) pada membran untuk konfigurasi 1 cenderung konstan dari ozonasi – filtrasi ke-1 (F1-P1), ozonasi - filtrasi ke-2 (F2-P2) hingga ozonasi filtrasi ke-3 (F3-P3). Hal ini disebabkan karena sedikitnya *fouling* pada membran yang disebabkan oleh MnO_2 sebagai hasil dari oksidasi Mn^{2+} . Karena hanya sedikit ion Mn^{2+} yang dapat dioksidasi oleh ozon maka *fouling* yang disebabkan oleh adanya MnO_2 pun tidak terlalu berpengaruh secara signifikan pada membran. Aliran pada membran yang bertipe *cross-flow* pun ikut mempengaruhi agak sulitnya terjadi *fouling* membran yang dapat menyebabkan meningkatnya ΔP pada membran. Dengan sedikitnya *fouling* yang terjadi pada membran maka laju permeate yang dihasilkan juga tidak menunjukkan penurunan yang terlalu signifikan seperti pada penyisihan logam besi.

Berbeda dengan konfigurasi 1, pada konfigurasi 2 karena cukup banyak ion Mn^{2+} yang dapat dioksidasi oleh ozon maka *fouling* yang disebabkan oleh adanya MnO_2 menyebabkan meningkatnya ΔP pada membran karena bertambahnya tahanan pada membran. Dengan adanya *fouling* yang terjadi pada membran maka laju permeate yang dihasilkan juga menunjukkan penurunan yang cukup signifikan. Gambar 4.10 menunjukkan penurunan laju permeate pada setiap proses ozonasi-filtrasi.



Gambar 4.10. Hubungan Laju Permeate (rata-rata) Pada Mmembran Untuk Penyisihan Logam Mangan Pada Setiap Proses Ozonasi-Filtrasi

Pada Gambar 4.11 dapat dilihat bahwa untuk penyisihan TDS tidak di dapatkan penyisihan yang signifikan seperti pada penyisihan logam besi karena membran yang digunakan tetap membran keramik yang memiliki ukuran pori sebesar $0,9 \mu\text{m}$, dan tidak mampu untuk digunakan dalam penyisihan TDS. Untuk konfigurasi 1, dengan TDS air umpan sebesar 53 ppm, didapat pada aliran permeate proses ozonasi – filtrasi ke-3 (P3) TDS sebesar 49 ppm atau dengan kata lain % penyisihan TDS total hanya 7,55% (perhitungan dapat dilihat di lampiran). Pada proses ozonasi-filtrasi ke-2 (F2-P2) didapatkan peningkatan TDS, hal ini mungkin disebabkan oleh adanya leaching pada membran keramik sehingga kadar TDS pada P2 meningkat.



Gambar 4.11. Penyisihan TDS Untuk Penyisihan Logam Mangan

Sedangkan untuk konfigurasi 2 untuk penyisihan TDS hasilnya tidak berbeda jauh dengan konfigurasi 1 karena yang digunakan tetap membran keramik yang memiliki ukuran pori sebesar $0,9 \mu\text{m}$, dan tidak mampu untuk digunakan dalam penyisihan TDS. Dengan TDS air umpan sebesar 57 ppm, didapat pada aliran permeate proses ozonasi – filtrasi ke-3 (P3) TDS sebesar 47 ppm atau % penyisihan TDS total hanya 17,54% (perhitungan dapat dilihat di lampiran).

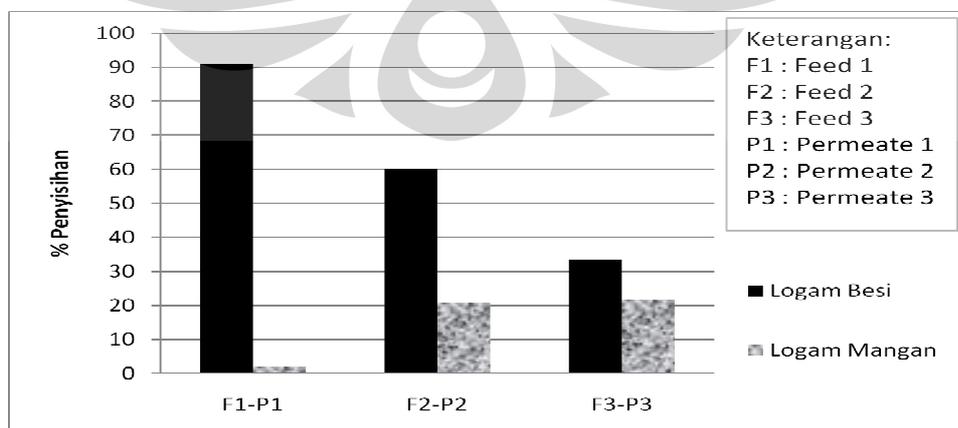
Dari analisa kedua konfigurasi diatas, diketahui bahwa konfigurasi ke-2 memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan konfigurasi ke-1. Maka dari itu untuk uji penyisihan logam besi dan mangan secara bersamaan digunakan konfigurasi yang ke-2 dengan laju alir air umpan tetap 240 L/Jam.

4.2.2. Penyisihan Logam Besi dan Mangan Secara Bersamaan dengan Konfigurasi Ozonator PVC – Membran Keramik (Mikrofiltrasi)

Pada perbandingan uji kinerja penyisihan logam besi dan mangan secara bersamaan ini, dianalisa pengaruh dari pencampuran limbah tersebut terhadap kinerja alat dalam penyisihan logam besi dan mangan. Selain itu juga diukur ΔP pada membran dan laju permeate untuk mengetahui kinerja membran dan penyisihan TDS.

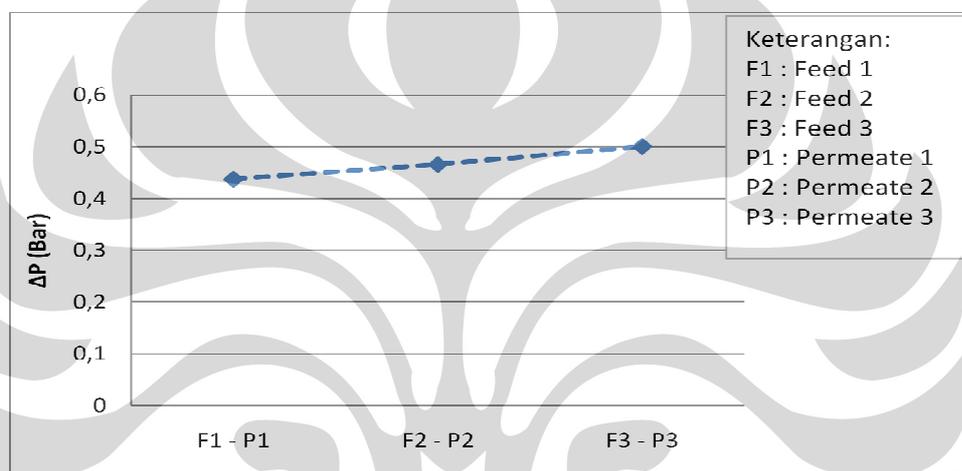
4.2.2.1. Penyisihan Logam Besi (Fe) dan Mangan (Mn)

Pada Gambar 4.12 dapat dilihat bahwa penyisihan mangan baru mulai terjadi pada proses ozonasi – filtrasi ke-2 (F2-P2). Hal ini dikarenakan besi lebih cepat bereaksi dengan ozon bila dibandingkan dengan mangan (Laju reaksi besi dengan ozon lebih besar daripada laju reaksi mangan dengan ozon). Oleh karena itu, oksidasi mangan baru terjadi setelah hampir semua logam Fe^{2+} teroksidasi. Penyisihan total logam Fe tetap besar sekitar 98,49 % sedangkan penyisihan total logam Mn hanya 25 % (Perhitungannya dapat dilihat di lampiran). Penyisihan total logam Mn yang hanya 25 % ini disebabkan karena pada proses ozonasi-filtrasi yang pertama sebagian besar ozon hanya mengoksidasi Fe^{2+} saja (90% Fe^{2+} teroksidasi pada proses filtrasi pertama sedangkan pengoksidasian Mn^{2+} hanya sekitar 2%). Pengoksidasian baru Mn^{2+} mulai terjadi pada proses ozonasi-filtrasi yang kedua setelah hampir semua Fe^{2+} teroksidasi.

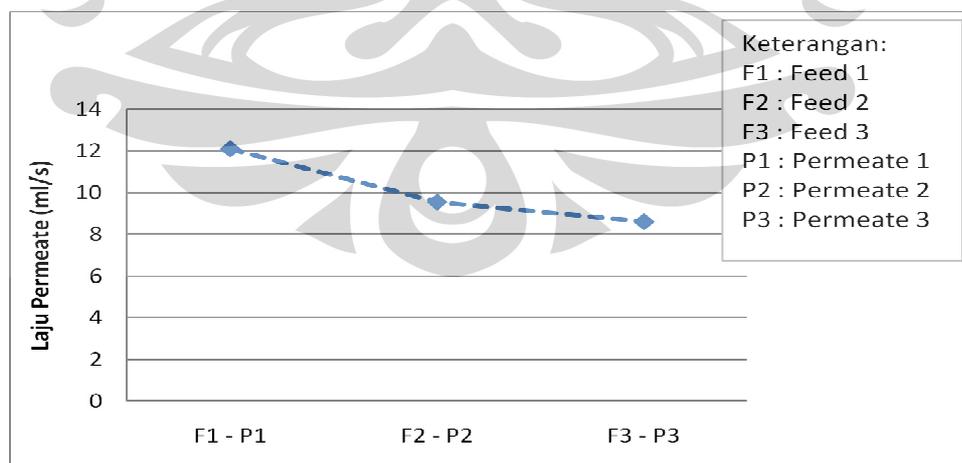


Gambar 4.12. Penyisihan Logam Besi dan Mangan Untuk Konfigurasi 2

Pada Gambar 4.13 dapat dilihat juga ΔP (rata-rata) pada membran cenderung meningkat lebih tinggi dibanding dengan penyisihan logam secara terpisah sebelumnya. Hal ini disebabkan oleh adanya *fouling* pada membran yang tidak hanya disebabkan oleh $\text{Fe}(\text{OH})_3$ sebagai hasil oksidasi Fe^{2+} tapi juga disebabkan MnO_2 sebagai hasil dari oksidasi Mn^{2+} . *Fouling* yang lebih besar otomatis mengakibatkan meningkatnya ΔP pada membran yang lebih besar. Penurunan laju permeate yang didapat juga lebih besar dibanding dua proses sebelumnya karena *fouling* yang terjadi lebih banyak. Gambar 4.14 menunjukkan penurunan laju permeate pada setiap proses ozonasi-filtrasi.

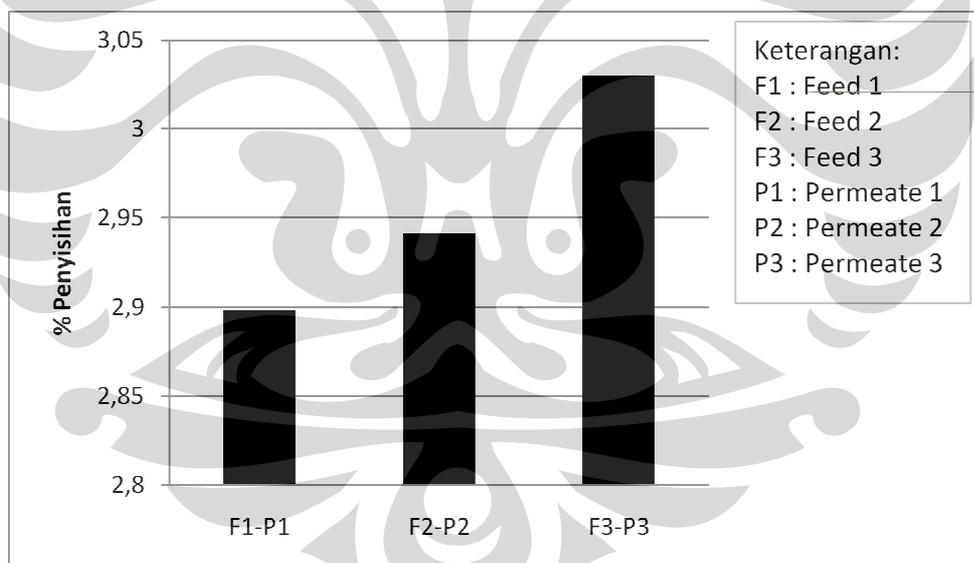


Gambar 4.13. Hubungan ΔP (rata-rata) Pada Membran Untuk Penyisihan Logam Besi dan Mangan Pada Setiap Proses Ozonasi-Filtrasi Pada Konfigurasi 2



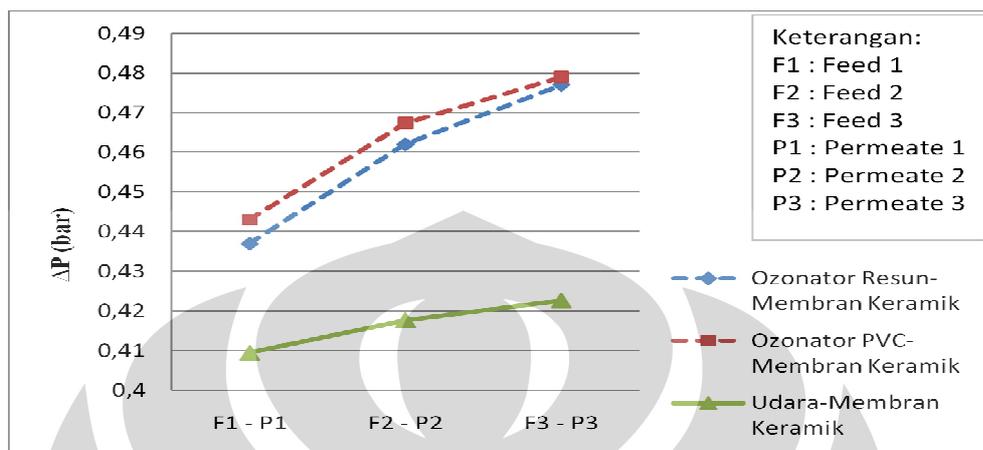
Gambar 4.14. Hubungan Laju Permeate (rata-rata) Pada Membran Untuk Penyisihan Logam Besi dan Mangan Pada Setiap Proses Ozonasi-Filtrasi Pada Konfigurasi 2

Pada Gambar 4.15 dapat dilihat bahwa untuk penyisihan TDS hasilnya pun tidak berbeda jauh dengan hasil-hasil sebelumnya karena yang digunakan tetap membran yang sama. Dari TDS air umpan sebesar 69 ppm, didapat pada aliran permeate proses ozonasi – filtrasi ke-3 (P3) TDS sebesar 64 ppm atau % penyisihan TDS total hanya 7,25 % (perhitungan dapat dilihat di lampiran). Hal yang menarik disini adalah kadar TDS di air umpan yang biasanya berkisar antara 53-57 ppm pada kali ini TDS umpan mencapai 69 ppm. Peningkatan ini dikarenakan pemakaian limbah sintetik yang memiliki ion sulfat dan klor. Sebagai informasi, untuk membuat limbah sintetik Fe^{2+} digunakan garam $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ sedangkan untuk membuat limbah sintetik Mn^{2+} digunakan garam $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ yang keduanya mengandung ion SO_4^{2-} dan Cl^- yang akan mempengaruhi kadar TDS dalam air. Air sumur DTK-FTUI yang digunakan dalam proses ini sendiri pada awalnya memiliki kadar TDS 47 ppm.



Gambar 4.15. Penyisihan TDS Untuk Penyisihan Logam Besi dan Mangan Pada Konfigurasi 2

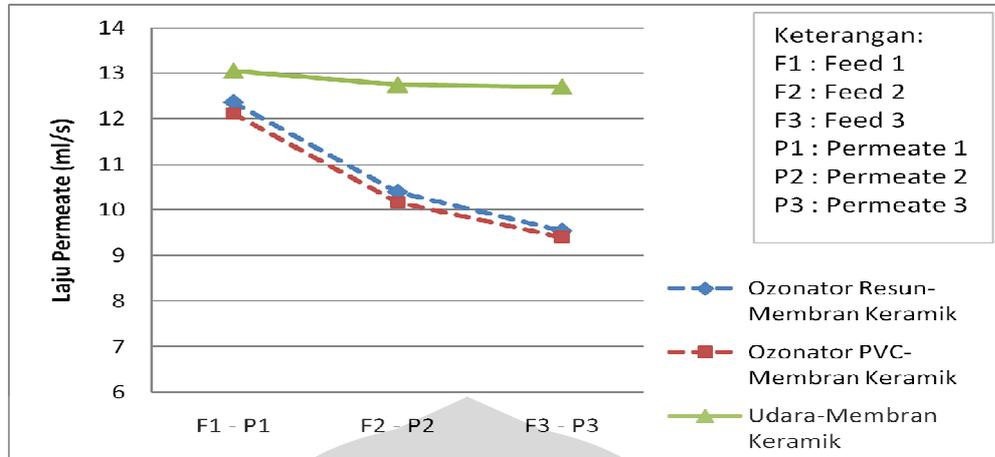
4.2.3. Pengaruh Penggunaan Ozon Terhadap Kinerja Membran Pada Uji Penyisihan Logam



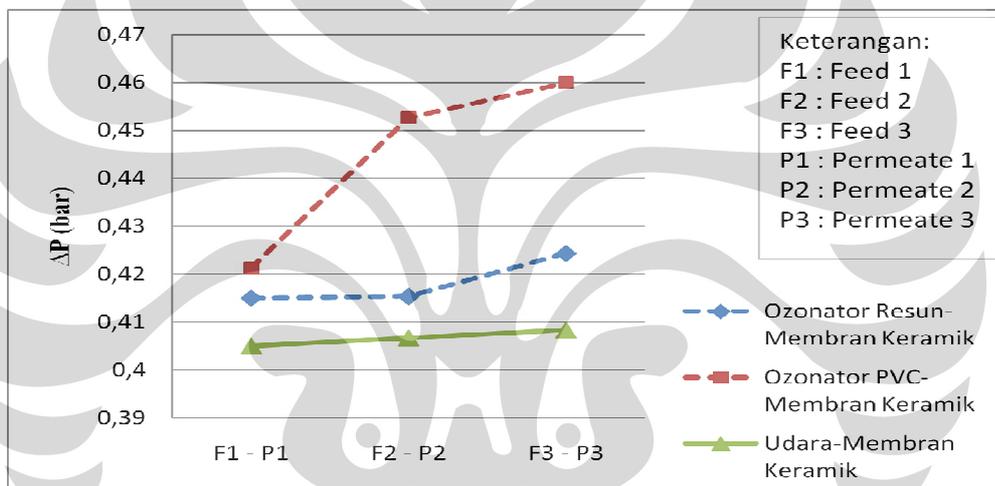
Gambar 4.16. Perbandingan ΔP (rata-rata) Membran Untuk Penyisihan Logam Besi Pada Setiap Proses Ozonasi-Filtrasi

Pada Gambar 4.16 dapat dilihat bahwa pengaruh penggunaan ozon terhadap ΔP pada membran. Dengan penggunaan ozon, ΔP pada membran jauh lebih besar dibanding dengan tidak menggunakan ozon. Hal ini disebabkan oleh banyaknya ion logam Fe^{2+} yang teroksidasi menjadi $Fe(OH)_3$, yaitu bentuk tak larut dari besi yang akan menyebabkan adanya *fouling* pada membran. Hal ini dapat dilihat dengan adanya endapan berwarna kuning kecoklatan pada membran. Adanya *fouling* ini menyebabkan tahanan membran menjadi lebih tinggi sehingga ΔP Meningkat. Adanya *fouling* ini juga menyebabkan turunnya laju permeate yang dihasilkan. Gambar 4.17 menunjukkan penurunan laju permeate pada setiap proses ozonasi-filtrasi.

Pada proses tanpa menggunakan ozon, ion Fe^{2+} yang teroksidasi oleh oksigen hanya sedikit sehingga *fouling* yang terjadi lebih kecil. Sedikitnya oksidasi Fe^{2+} menjadi $Fe(OH)_3$ memungkinkan lolosnya ion-ion Fe^{2+} melalui membran sehingga tidak menurunkan konsentrasi logam besi dalam air.

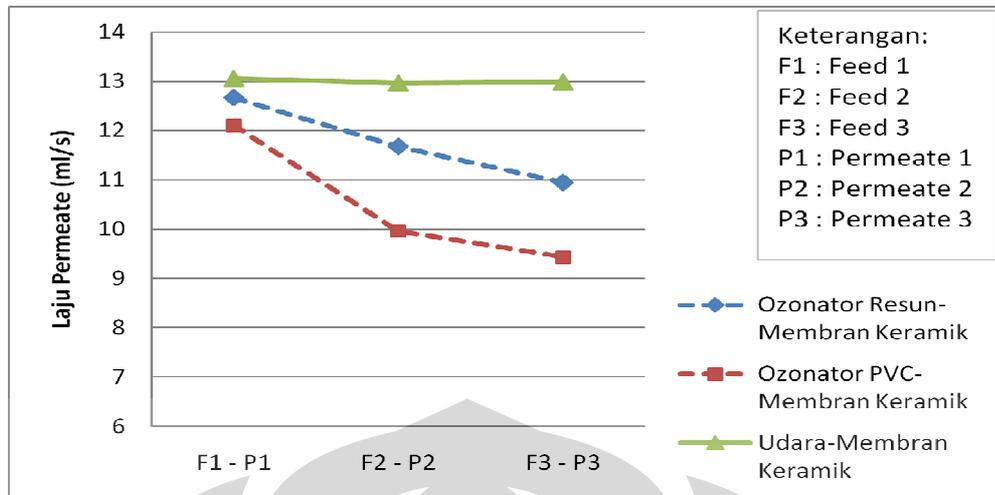


Gambar 4.17. Perbandingan Laju Permeate (rata-rata) Membran Untuk Penyisihan Logam Besi Pada Setiap Proses Ozonasi-Filtrasi



Gambar 4.18. Perbandingan ΔP (rata-rata) Membran Untuk Penyisihan Logam Mangan Pada Setiap Proses Ozonasi-Filtrasi

Pada Gambar 4.18 dapat dilihat bahwa pengaruh penggunaan ozon terhadap ΔP pada membran. Dengan penggunaan ozon, ΔP disebabkan oleh teroksidasinya ion logam Mn^{2+} yang terlarut dalam air menjadi MnO_2 , yaitu bentuk tak larut mangan yang akan menyebabkan adanya *fouling* pada membran. Hal ini dapat dilihat dengan adanya endapan berwarna kuning kecoklatan pada membran. Adanya *fouling* ini menyebabkan tahanan membran menjadi lebih tinggi sehingga ΔP Meningkat. Peningkatan ΔP membran untuk penyisihan logam mangan ini tidak sebesar seperti penyisihan logam besi, hal ini karena untuk mengoksidasi logam Mn^{2+} dibutuhkan konsentrasi ozon yang lebih besar.



Gambar 4.19. Perbandingan Laju Permeate (rata-rata) Membran Untuk Penyisihan Logam Mangan Pada Setiap Proses Ozonasi-Filtrasi

Adanya *fouling* ini juga menyebabkan turunnya laju permeate yang dihasilkan. . Gambar 4.19 menunjukkan penurunan laju permeate pada setiap proses ozonasi-filtrasi. Sedangkan pada proses tanpa menggunakan ozon, hampir tidak ada ion Mn^{2+} yang teroksidasi yang teroksidasi oleh oksigen, hali ini dapat dilihat dengan tidak adanya endapan berwarna kuning kecoklatan pada membran. Tidak seperti logam besi yang mampu dioksidasi oleh oksigen, logam mangan mempunyai potensial reduksi yang lebih besar daripada oksigen, sehingga oksidasi logam mangan hanya bergantung pada kadar ozon yang terlarut dalam air. Hampir tidak adanya oksidasi Mn^{2+} menjadi MnO_2 memungkinkan lolosnya ion-ion Mn^{2+} melalui membran sehingga tidak menurunkan konsentrasi logam mangan dalam air.

BAB 5

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Laju alir air optimum untuk injektor Mazzei adalah 240 L/jam.
2. Penggunaan membran keramik (Mikrofiltrasi) dalam proses ozonasi-filtrasi terbukti mampu menyisihkan logam besi dan mangan.
3. Penggunaan membran *polyacrylonitrile* (Ultrafiltrasi) tidak dapat diterapkan karena terjadi *leaching* pada membran yang disebabkan oleh ozon dan laju permeate yang dihasilkan terlalu kecil.
4. Persentasi penyisihan logam besi dan mangan secara terpisah yang terbesar didapat dengan menggunakan konfigurasi 2 dengan penyisihan sebesar 98,63% untuk logam besi dan 45,83% untuk logam mangan.
5. Pada penyisihan logam besi dan mangan secara bersamaan didapat bahwa logam besi lebih mudah teroksidasi oleh ozon dibanding logam mangan. Besar penyisihan yang didapat sebesar 98,48% untuk logam besi dan 25% untuk logam mangan.
6. Pada penyisihan TDS tidak didapat hasil yang memuaskan karena membran yang dipakai tidak mampu untuk digunakan dalam penyisihan TDS karena memiliki pori yang jauh lebih besar dari ion-ion TDS.
7. Penggunaan ozon dalam proses penyisihan logam besi dan mangan menyebabkan adanya *fouling* yang disebabkan oleh ion besi dan mangan yang teroksidasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. *Ozone Injectors*. [http:// www.ozone.co.uk](http://www.ozone.co.uk) (27 Januari 2009)
- Anonim. *Venturi Injectors*. <http://www.ozoneapplication.com> (27 Januari 2009)
- Anonim. *Bubble diffuser*. <http://www.ozoneapplication.com> (27 Januari 2009)
- Eckenfelder, W.Wesley. (1989) . *Industrial Water Pollution Control 2nd ed.* New York:McGraw-Hill Book Company.
- Handoyo, I. (2004). *Studi Instalasi Pengolahan Air Minum: Kasus Pengotor Logam-Logam Berat, Besi, dan Mangan serta Penyisihannya Menggunakan Ozon. Skripsi* .Depertemen Teknik Gas dan Petrokimia.
- Hermanson, Ronald.E.(1991). *The Strainers-Iron and Manganese Removal* “, Washington State University.
- Jeonghwan Kim, *et al* .(2007). *Effect of Ozone Dosage and Hydrodynamic Conditions on The Permeate Flux in a Hybrid Ozonation-Ceramic Ultrafiltration System Treating Natural Waters* . Desalination, Vol 311, 165-172.
- Langlais,B., Reckhow D.A. dan Brink D.R. (1991). *Ozone in Water Treatment, Application and Engineerning*. Florida : Lewis Publishers.
- Maartina, V.R. (2005). *Proses Membran Keramik dan Ozonasi untuk Perolehan air Minum dari Olahan Air Danau UI. Skripsi*. Depertemen Teknik Gas dan Petrokimia.
- Mallevalle, Joel.(1996). *Water Treatment membrane Process*. New York: McGraw-Hill.
- Metcalf & Eddy. Inc. (Tchobangoglous, G. & F.L. Burton).(1991). *Wastewater Engineering Treatment, Disposal, and Reuse*. Singapore: McGraw-Hill Book Co.

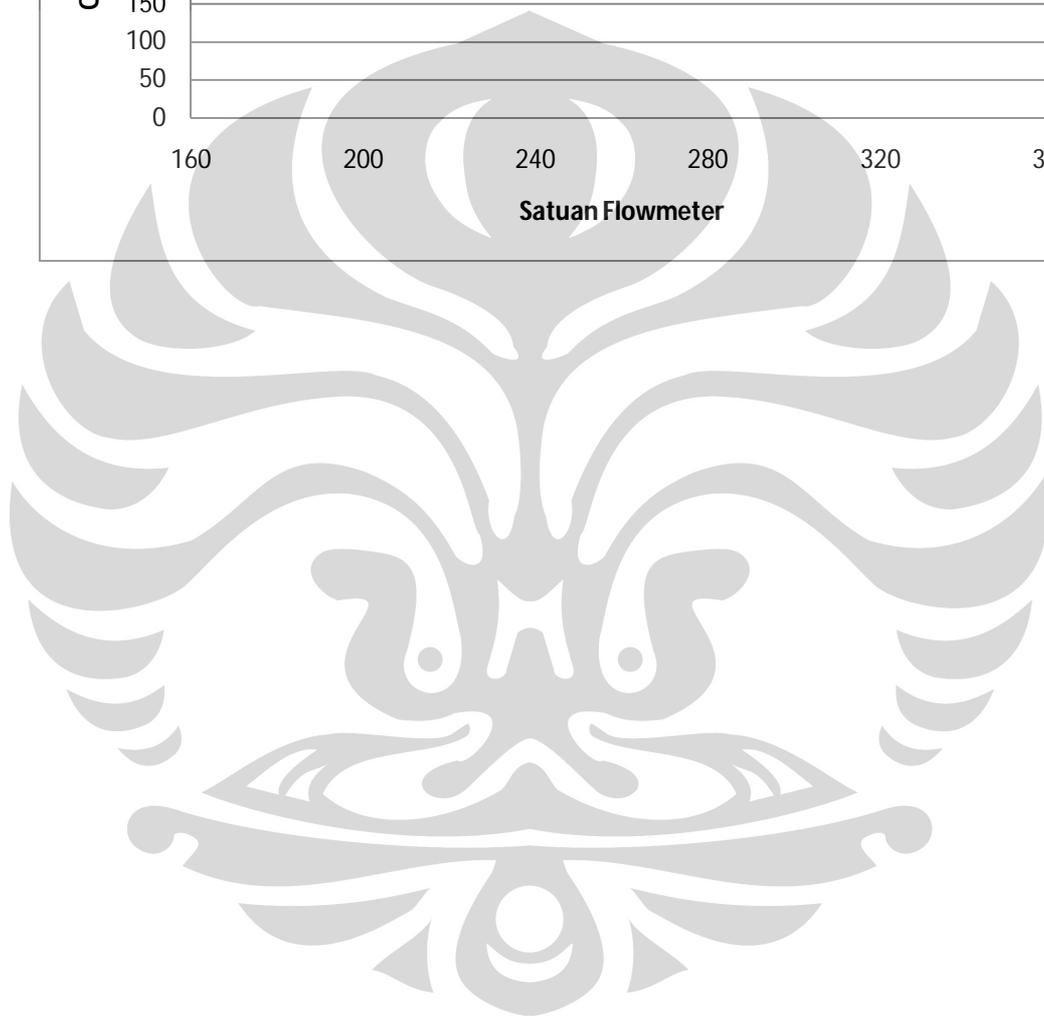
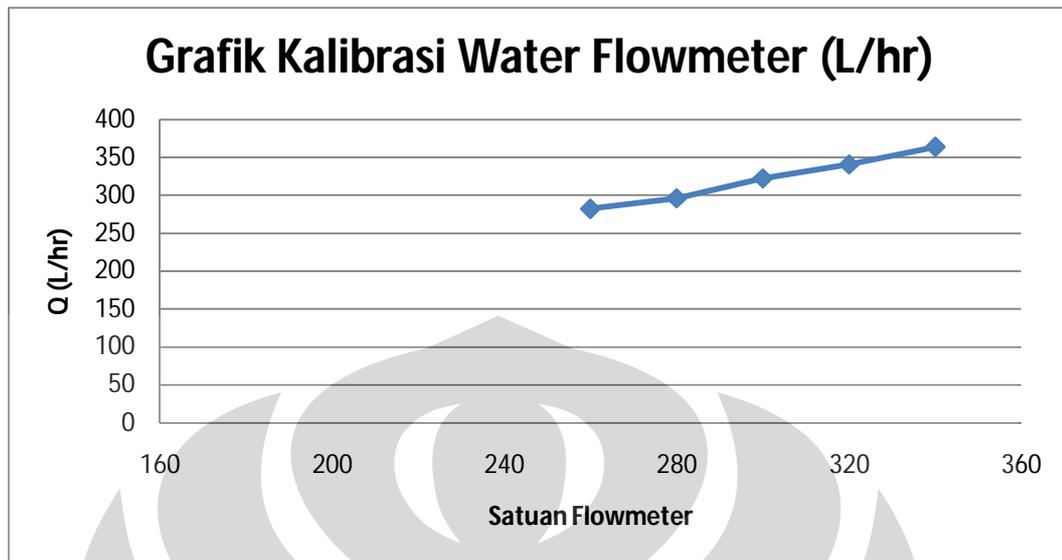
- Mulder, M. (1996). *Basic Principles of Membrane Technology*. Netherlands : Kluwer Academic Publishers.
- Rice, R.G. and M.E. Browning. (1981). *Ozone Treatment of Industrial Wastewater*. Notes Data Corroration, Park Ridly.
- Sartor, *et al* .(2007). *Demonstration of a New Hybrid Process for the Decentralised Drinking and Service Water Production from Surface Water in Thailand* . Desalination, Vol 222, 528-540.
- Sawyer, Clain N. (1994) . *Chemistry for Enviromental Engineering* . New York: McGraw-Hill.
- Schlichter, B., V. Mavrov, H. Chmiel. (2003). *Study of a Hybrid Process Combining Ozonation and Membrane Filtration-Filtration of Model Sulitions*. Desalination, Vol.156, 257-265.
- Schlichter, B., V. Mavrov, H. Chmiel. (2004). *Study of a Hybrid Process Combining Ozonation and Microfiltration/Ultrafiltration for Drinking Water Production From Surface Water*. Desalination, Vol.168, 307-317.
- Shu-Hai You, Dyi-Hwa Tseng, Wei-Chun Hsu. (2005). *Effect and Mechanism of Ultrafiltration Membrane Fouling Removal by Ozonation*. Desalination, Vol.202, 224-230.
- Suslow, Trevor W. (2004) . *Ozone Applications for Postharvest Disinfection of Eddible Horticultural Corps*. University of California: UC Peer Reviewed Publication 8113.

Lampiran 1. Kalibrasi Gas Flowmeter dan Water Flowmeter

1. Kalibrasi Water Flowmeter

No	Q (Flowmeter)		Volume (ml)	Waktu (T) (s)	Q (ml/s)	Q (L/menit)	Q (L/hr)	Q Rata2 (L/menit)	Q Rata2 (L/hr)		
1.	260	L/hr	1480	19,13	77,36539	4,64192368	278,515421	4,705747994	282,3448797		
		L/menit		19,03	77,77194	4,66631634	279,978981				
			940	11,83	79,459	4,76754015	286,052409				
			1110	14,03	79,11618	4,74697078	284,818247				
				14,07	78,89126	4,73347548	284,008529				
			1090	13,78	79,10015	4,74600871	284,760522				
				13,8	78,98551	4,73913043	284,347826				
			1530	19,69	77,70442	4,66226511	279,735907				
				19,75	77,46835	4,64810127	278,886076				
2.	280	L/hr	810	9,47	85,53326	5,13199578	307,919747	4,935846665	296,1507999		
		L/menit		9,59	84,46298	5,06777894	304,066736				
			970	11,78	82,34295	4,94057725	296,434635				
			1030	11,9	86,55462	5,19327731	311,596639				
				12,15	84,77366	5,08641975	305,185185				
			830	9,9	83,83838	5,03030303	301,818182				
				9,97	83,24975	4,99498495	299,699097				
			1280	17,16	74,59207	4,47552448	268,531469				
				17,06	75,02931	4,5017585	270,10551				
3.	300	L/hr	800	8,88	90,09009	5,40540541	324,324324	5,37366676	322,4200056		
		L/menit		8,78	91,11617	5,46697039	328,018223				
			920	10,28	89,49416	5,36964981	322,178988				
				10,28	89,49416	5,36964981	322,178988				
			1060	11,75	90,21277	5,41276596	324,765957				
				12	88,33333	5,3	318				
			880	9,82	89,61303	5,37678208	322,606925				
				9,89	88,97877	5,33872599	320,323559				
			1030	11,53	89,33218	5,35993062	321,595837				
				11,58	88,94646	5,33678756	320,207254				
4.	320	L/hr	980	10,49	93,42231	5,60533842	336,320305	5,678360215	340,7016129		
		L/menit		12,20	95,68627	5,74117647	344,470588				
			1120	11,87	94,35552	5,66133109	339,679865				
				11,87	94,35552	5,66133109	339,679865				
			900	9,37	96,05123	5,76307364	345,784418				
				9,37	96,05123	5,76307364	345,784418				
			1140	12,16	93,75	5,625	337,5				
				12,2	93,44262	5,60655738	336,393443				
5.	340	L/hr	1000	9,75	102,5641	6,15384615	369,230769	6,065033884	363,902033		
		L/menit		9,92							
			1040	10,25	101,4634	6,08780488	365,268293				
				10,32	100,7752	6,04651163	362,790698				
			1160	11,37	102,0229	6,12137203	367,282322				
				11,41	101,6652	6,09991236	365,994741				
			1120	11,18	100,1789	6,01073345	360,644007				
				11,31	99,02741	5,94164456	356,498674				
			1080	10,69	101,029	6,06173994	363,704397				
				10,69	101,029	6,06173994	363,704397				

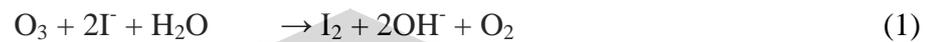
(Lanjutan)



Lampiran 2. Uji Produktivitas Ozonator

Pengukuran Kadar ozon dengan Metode Iodometri

Reaksi ozon dengan KI :



Pembebasan iodium menggunakan metode titrasi dengan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$:



Prosedur perhitungan :

$$[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}] = 0,0025 \text{ M}$$

- ❖ $\text{mmol Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = (\text{V hulu} + \text{V Hilir}) \times 0,0025 \text{ M}$
- ❖ $\text{mol Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = (\text{V hulu} + \text{V Hilir}) \times 0,0025 / 1000$
- ❖ $\text{mol O}_3 = \frac{1}{2} \times \text{mol Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
- ❖ $\text{gram O}_3 = \text{mol} \times 48$
- ❖ $\text{Produktivitas ozon} = \text{gr O}_3 / t \text{ (detik)}$
- ❖ $\text{Produktivitas ozon} = \text{gr O}_3 \times 3600 / t \text{ (jam)}$

Uji Produktivitas Ozonator Merk Rresun

Q (L/jam)	t (detik)	V $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ Hulu (ml)	V $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ Hilir (ml)	P ozon (gr/ Jam)
1200	60	18,8	3,2	0,079
1200	104	35,8	5,3	0,085

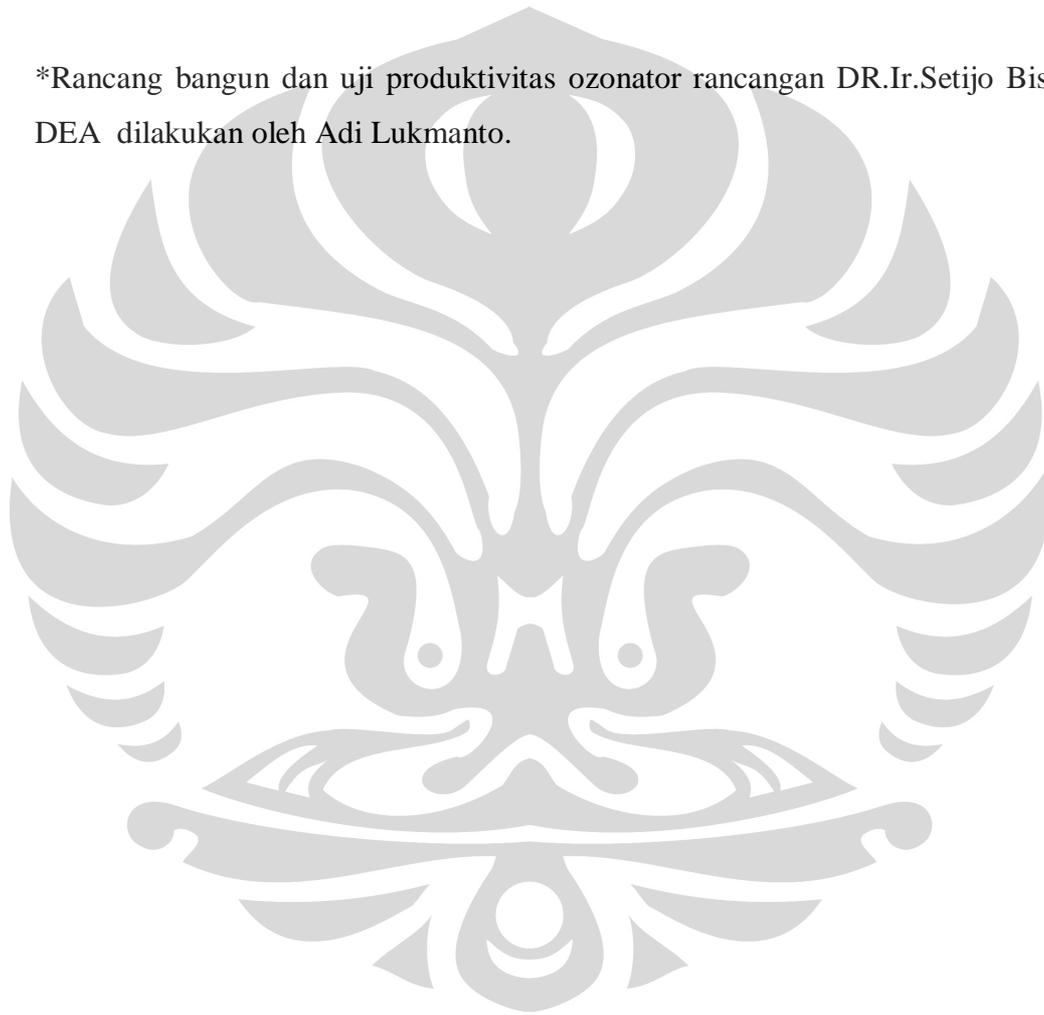
(Lanjutan)

Uji Produktivitas Ozonator Rancangan DR.Ir.Setijo Bismo, DEA.

Q udara = 800L/jam

V (volt)	I (ampere)	t (detik)	Na ₂ S ₂ O ₃ hulu	Na ₂ S ₂ O ₃ hilir	Prod ozon (gr/jam)	P ozon (VA)	P ozon (kVAh/kg)
140	0,16	176,78	195,1	4,8	0,24424019	22,4	91,71299772

*Rancang bangun dan uji produktivitas ozonator rancangan DR.Ir.Setijo Bismo, DEA dilakukan oleh Adi Lukmanto.



Lampiran 3. Perhitungan Kadar Ozon Dalam Air
--

Volume sampel yang diambil : 25 cc

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

Prosedur Perhitungan:

- $\text{mmol Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = (\text{Volume Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) \times 0,00025 \text{ M}$
- $\text{mol Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = (\text{V Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) \times 0,00025 / 1000$
- $\text{mol O}_3 = \frac{1}{2} \times \text{mol Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
- $\text{gram O}_3 = \text{mol} \times 48$
- $\text{Konsentrasi O}_3 = \text{gr O}_3 / 25 \text{ gr/ml}$
- $\text{Konsentrasi O}_3 = (\text{gr O}_3 / 25) \times 1000 \text{ gr/L (ppm)}$

Ozonator Resun dengan Produktivitas 0,082 gr/jam

NO.	Laju Alir Air (L/Jam)	V $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (ml)	Gr O_3/ml	Kadar O_3 (ppm)
1	160	0,9	0,000000216	0,216
2.	200	1,1	0,000000264	0,264
3.	240	1,6	0,000000384	0,384

Ozonator PVC dengan Produktivitas 0,244 gr/jam

NO.	Laju Alir Air (L/Jam)	V $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (ml)	Gr O_3/ml	Kadar O_3 (ppm)
1	240	4,1	0,000000984	0,984

Lampiran 4. Perhitungan Pembuatan Larutan Limbah Sintetik

1. Contoh pembuatan larutan logam yang mengandung $\text{Fe}^{2+} = 5 \text{ ppm}$

Bahan $\text{Fe}(\text{SO}_4) \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

Fe^{2+} yang dibutuhkan = 5 ppm = 5 mg $\text{Fe}^{2+} / \text{L H}_2\text{O}$

BM $\text{Fe}(\text{SO}_4) \cdot 7\text{H}_2\text{O} = 278,028 \text{ g/gmol}$

BM Fe = 55,85 g/gmol.

$$\text{Massa garam yang dibutuhkan/L} = \frac{\text{BM garam}}{\text{BM Fe}} \times [\text{Fe}] \text{ yang diinginkan}$$

$$\frac{278,028 \text{ g/gmol}}{55,85 \text{ g/gmol}} \times [5 \text{ mg/L}] = 24,891 \text{ mg/L}$$

Karena tangki reservoir mempunyai volume 50 L, maka :

Massa garam Fe yang ditimbang adalah = $24,891 \times 50 = 1244,530 \text{ mg}$

2. Contoh pembuatan larutan logam yang mengandung $\text{Mn}^{2+} = 5 \text{ ppm}$

Bahan $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

Mn^{2+} yang dibutuhkan = 5 ppm = 5 mg $\text{Mn}^{2+} / \text{L H}_2\text{O}$

BM $\text{MnCl}_2 = 197,91 \text{ g/gmol}$

BM Mn = 54,93805 g/gmol.

$$\text{Massa garam yang dibutuhkan/L} = \frac{\text{BM garam}}{\text{BM Fe}} \times [\text{Mn}] \text{ yang diinginkan}$$

$$\frac{197,91 \text{ g/gmol}}{54,93805 \text{ g/gmol}} \times [5 \text{ mg/L}] = 18,012 \text{ mg/L}$$

Karena tangki reservoir mempunyai volume 50 L, maka :

Massa garam Mn yang ditimbang adalah = $18,012 \times 50 = 900,605 \text{ mg}$

Lampiran 5. Perhitungan Penyisihan Logam Besi dan Mangan

1. Penyisihan Logam Besi

Ozonator Resun dan Membran Keramik				Ozonator PVC dan Membran Keramik			
Penyisihan Logam Fe				Penyisihan Logam Fe			
F1	P1	% Penyisihan	%Penyisihan Total	F1	P1	% Penyisihan	%Penyisihan Total
2,51	0,36	85,65737052		97,60956175	1,47	0,07	
F2	P2		F2		P2		
0,75	0,35	53,33333333	0,18		0,03	83,33333333	
F3	P3		F3		P3		
0,2	0,06	70	0,07		0,02	71,42857143	

Ozonator Resun dan Membran Keramik			Ozonator PVC dan Membran Keramik		
Penyisihan Logam Fe			Penyisihan Logam Fe		
Perubahan ΔP			Perubahan ΔP		
F1 - P1		Average	F1 - P1		Average
0,434		0,437	0,448		0,443
0,436			0,444		
0,44			0,442		
0,438			0,438		
F2 - P2			F2 - P2		
0,462		0,462	0,464		0,467333
0,464			0,468		
0,46			0,47		
F3 - P3			F3 - P3		
0,474		0,477	0,476		0,479
0,472			0,478		
0,48			0,482		
0,482			0,48		

Ozonator Resun dan Membran Keramik			Ozonator PVC dan Membran Keramik		
Penyisihan Logam Fe			Penyisihan Logam Fe		
Penurunan Laju laju Permeate			Penurunan Laju laju Permeate		
F1 - P1			F1 - P1		
12,39669	12,36178		12,12121	12,12121	
12,32687					
F2 - P2			F2 - P2		
10,48159	10,39683		10,43724	10,17176	
10,31208			9,906292		
F3 - P3			F3 - P3		
9,712722	9,546016		9,549795	9,40577	
9,37931			9,261745		

(Lanjutan)

2. Penyisihan Logam Mangan

Ozonator Reson dan Membran Keramik				Ozonator PVC dan Membran Keramik			
Penyisihan Logam Mn				Penyisihan Logam Mn			
F1	P1	% Penyisihan	% Penyisihan Total	F1	P1	% Penyisihan	% Penyisihan Total
5,1	4,5	11,76470588	11,76470588	4,8	2,2	54,16666667	45,83333333
F2	P2			F2	P2		
4,8	4,4	8,333333333		4,4	3,6	18,18181818	
F3	P3			F3	P3		
4,8	4,5	6,25		3,9	2,6	33,33333333	

Ozonator Reson dan Membran Keramik				Ozonator PVC dan Membran Keramik			
Penyisihan Logam Mn				Penyisihan Logam Mn			
Perubahan ΔP				Perubahan ΔP			
F1 - P1		Average		F1 - P1		Average	
0,418		0,415		0,418		0,4212	
0,414				0,416			
0,416				0,422			
0,412				0,426			
F2 - P2				0,424			
0,42		0,415333		F2 - P2		0,452667	
0,412				0,466			
0,414				0,462			
F3 - P3				0,43			
0,426		0,424333		F3 - P3		0,46	
0,436				0,45			
0,434				0,46			
0,42				0,47			
0,418							
0,412							

Ozonator Reson dan Membran Keramik				Ozonator PVC dan Membran Keramik			
Penyisihan Logam Mn				Penyisihan Logam Mn			
Penurunan Laju laju Permeate				Penurunan Laju laju Permeate			
F1 - P1				F1 - P1			
12,5		12,6621		12,19178		12,1039	
12,82421				12,01602			
F2 - P2				F2 - P2			
11,73975		11,67724		10,04127		9,960553	
11,61473				9,87984			
F3 - P3				F3 - P3			
11,09531		10,94931		9,366391		9,435262	
10,80332				9,504132			

(Lanjutan)

3. Penyisihan Logam Besi dan Mangan Secara Bersamaan

Ozonator PVC dan Membran Keramik Penyisihan Logam Fe dan Mn							
Logam Fe				Logam Mn			
F1	P1	% Penyisihan	% Pnyisihan Total	F1	P1	% Penyisihan	% Penyisihan Total
1,32	0,12	90,90909091	98,48484848	4,8	4,7	2,083333333	25
F2	P2			F2	P2		
0,05	0,02	60		4,8	3,8	20,83333333	
F3	P3			F3	P3		
0,03	0,02	33,33333333		4,6	3,6	21,73913043	

Ozonator PVC dan Membran Keramik Penyisihan Logam Fe dan Mn			
Perubahan ΔP		Average	
F1 - P1	0,426		0,437714
	0,434		
	0,328		
	0,472		
	0,466		
	0,468		
	0,47		
F2 - P2	0,466		0,466
	0,47		
	0,462		
F3 - P3	0,466		0,500667
	0,504		
	0,512		
	0,514		
	0,508		
	0,5		

Ozonator PVC dan Membran Keramik Penyisihan Logam Fe dan Mn			
Penurunan Laju Pemeate			
F1 - P1	12,07386	12,10145	
	12,12903		
F2 - P2	9,543011	9,555254	
	9,567497		
F3 - P3	8,628006	8,615836	
	8,603667		

Lampiran 6. KEPMENKES No. 907/MENKES/SK/VII/2002

PERSYARATAN KUALITAS AIR MINUM

1. BAKTERIOLOGIS

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum yang diperbolehkan	Keterangan
1	2	3	4
a. <u>Air Minum</u>			
<i>E. Coli</i> atau <i>fecal coli</i>	Jumlah per 100 ml sampel	0	
b. <u>Air yang masuk sistem distribusi</u>			
<i>E. Coli</i> atau <i>fecal coli</i>	Jumlah per 100 ml sampel	0	
Total Bakteri Coliform	Jumlah per 100 ml sampel	0	
c. <u>Air pada sistem distribusi</u>			
<i>E. Coli</i> atau <i>fecal coli</i>	Jumlah per 100 ml sampel	0	
Total Bakteri Coliform	Jumlah per 100 ml sampel	0	

2. KIMIAWI

2.1. Bahan kimia yang memiliki pengaruh langsung pada kesehatan.

A. Bahan Anorganik

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum yang diperbolehkan	Keterangan
1	2	3	4
Antimon	(mg/liter)	0.005	
Air Raksa	(mg/liter)	0.001	
Arsenic	(mg/liter)	0.01	
Barium	(mg/liter)	0.7	
Boron	(mg/liter)	0,3	

(Lanjutan)

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum yang diperbolehkan	Keterangan
1	2	3	4
Kadmium	(mg/liter)	0,003	
Kromium (Valensi 6)	(mg/liter)	0,05	
Tembaga	(mg/liter)	2	
Sianida	(mg/liter)	0.07	
Fluorida	(mg/liter)	1,5	
Timbal	(mg/liter)	0.01	
Molybdenum	(mg/liter)	0.07	
Nikel	(mg/liter)	0.02	
Nitrat(sebagai NO ₃)	(mg/liter)	50	
Nitrit(sebagai NO ₂)	(mg/liter)	3	
Selenium	(mg/liter)	0.01	

B. Bahan Organik

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum yang diperbolehkan	Keterangan
1	2	3	4
<i>Chlorinated alkanes</i>			
Carbon tetrachloride	(µg/liter)	2	
Dichloromethane	(µg/liter)	20	
1,2-dichloroethane	(µg/liter)	30	
1,1,1-trichloroethane	(µg/liter)	2000	
<i>Chlorinated ethenes</i>			
Vinyl chloride	(µg/liter)	5	
1,1-dichloroethene	(µg/liter)	30	
1,2-dichloroethene	(µg/liter)	50	
Trichloroethene	(µg/liter)	70	
Tetrachloroethene	(µg/liter)	40	
<i>Aromatic hydrocarbons</i>			
Benzene	(µg/liter)	10	
Toluene	(µg/liter)	700	
Xylenes	(µg/liter)	500	
Benzo[a]pyme	(µg/liter)	0,7	
<i>Chlorinated benzenes</i>			
Monochlorobenzene	(µg/liter)	300	

(Lanjutan)

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum yang diperbolehkan	Keterangan
1	2	3	4
1,2-dichlorobenzene	($\mu\text{g/liter}$)	1000	
1,4-dichlorobenzene	($\mu\text{g/liter}$)	300	
Trichlorobenzenes (togonal)	($\mu\text{g/liter}$)	20	
Lain-lain			
Di(2-ethyl hexyl)adipate	($\mu\text{g/liter}$)	80	
Di(2-ethylhexyl) phthalate	($\mu\text{g/liter}$)	8	
Acrylamide	($\mu\text{g/liter}$)	0,5	
Epichlorohydrin	($\mu\text{g/liter}$)	0,4	
Hexachlorobutadiene	($\mu\text{g/liter}$)	0,6	
Edetic acid (EDTA)	($\mu\text{g/liter}$)	200	
Tributyltin oxide	($\mu\text{g/liter}$)	10	

C. Pestisida

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum yang diperbolehkan	Keterangan
1	2	3	4
Alachlor	($\mu\text{g/liter}$)	20	
Aldicarb	($\mu\text{g/liter}$)	10	
Aldrin/dieldrin	($\mu\text{g/liter}$)	0,03	
Atrazine	($\mu\text{g/liter}$)	2	
Bentazone	($\mu\text{g/liter}$)	30	
Carbofuran	($\mu\text{g/liter}$)	5	
Chlordane	($\mu\text{g/liter}$)	0,2	
Chlorotoluron	($\mu\text{g/liter}$)	30	
DDT	($\mu\text{g/liter}$)	2	
1,2-dibromo -	($\mu\text{g/liter}$)		
3-chloropropane	($\mu\text{g/liter}$)	1	
2,4-D	($\mu\text{g/liter}$)	30	
1,2-dichloropropane	($\mu\text{g/liter}$)	20	
1,3-dichloropropene	($\mu\text{g/liter}$)	20	
Heptachlor and	($\mu\text{g/liter}$)		
Heptachlor epoxide	($\mu\text{g/liter}$)	0,03	
Hexachlorobenzene	($\mu\text{g/liter}$)	1	
Isoproturon	($\mu\text{g/liter}$)	9	

(Lanjutan)

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum yang diperbolehkan	Keterangan
1	2	3	4
Lindane	($\mu\text{g/liter}$)	2	
MCPA	($\mu\text{g/liter}$)	2	
Methoxychlor	($\mu\text{g/liter}$)	20	
Metolachlor	($\mu\text{g/liter}$)	10	
Molinate	($\mu\text{g/liter}$)	6	
Pendimethalin	($\mu\text{g/liter}$)	20	
Pentachlorophenol	($\mu\text{g/liter}$)	9	
Permethrin	($\mu\text{g/liter}$)	20	
Propanil	($\mu\text{g/liter}$)	20	
Pyridate	($\mu\text{g/liter}$)	100	
Simazine	($\mu\text{g/liter}$)	2	
Trifluralin	($\mu\text{g/liter}$)	20	
Chlorophenoxy	($\mu\text{g/liter}$)		
<i>Herbicides</i>	($\mu\text{g/liter}$)		
<i>selain 2,4D dan MCPA</i>	($\mu\text{g/liter}$)		
2,4-DB	($\mu\text{g/liter}$)	90	
Dichlorprop	($\mu\text{g/liter}$)	100	
Fenoprop	($\mu\text{g/liter}$)	9	
Mecoprop	($\mu\text{g/liter}$)	10	
2,4,5-T	($\mu\text{g/liter}$)	9	

D. Desinfektan dan hasil sampingannya

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum yang diperbolehkan	Keterangan
1	2	3	4
Monochloramine	(mg/liter)	3	
Chlorine	(mg/liter)	5	
Bromate	($\mu\text{g/liter}$)	25	
Chlorite	($\mu\text{g/liter}$)	200	
Chlorophenol	($\mu\text{g/liter}$)		
2,4,6-trichlorophenol	($\mu\text{g/liter}$)	200	
Formaldehyde	($\mu\text{g/liter}$)	900	
Trihalomethanes			

(Lanjutan)

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum yang diperbolehkan	Keterangan
1	2	3	4
Bromoform	($\mu\text{g/liter}$)	100	
Dibromochloromethane	($\mu\text{g/liter}$)	100	
Bromodichloromethane	($\mu\text{g/liter}$)	60	
Chloroform	($\mu\text{g/liter}$)	200	
Chlorinated acetic acids			
Dichloroacetic acid	($\mu\text{g/liter}$)	50	
Trichloroacetic acid	($\mu\text{g/liter}$)	100	
Chloral hydrate			
(trichloroacetaldehyde)	($\mu\text{g/liter}$)	10	
Halogenated acetonitriles			
Dichloroacetonitrile	($\mu\text{g/liter}$)	90	
Dibromoacetonitrile	($\mu\text{g/liter}$)	100	
Trichloroacetonitrile	($\mu\text{g/liter}$)	1	
Cyanogen chloride			
(sebagai CN)	($\mu\text{g/liter}$)	70	

2.2 Bahan Kimia yang kemungkinan dapat menimbulkan keluhan pada konsumen

A. Bahan Anorganik

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum yang diperbolehkan	Keterangan
1	2	3	4
Ammonia	mg/l	1,5	
Aluminium	mg/l	0,2	
Klorida	mg/l	250	
Tembaga	mg/l	1	
Kesadahan	mg/l	500	
Hidrogen Sulfida	mg/l	0.05	
Besi	mg/l	0.3	
Mangan	mg/l	0.1	
pH	-	6,5-8,5	
Sodium	mg/l	200	
Sulfat	mg/l	250	
Total zat padat terlarut	mg/l	1000	

(Lanjutan)

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum yang diperbolehkan	Keterangan
1	2	3	4
Seng	mg/l	3	

B. Bahan Organik, Desinfektan dan hasil sampingannya

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum yang diperbolehkan	Keterangan
1	2	3	4
Organik			
Toluene	($\mu\text{g/l}$)	24-170	
Xylene	($\mu\text{g/l}$)	20-1800	
Ethylbenzene	($\mu\text{g/l}$)	2-200	
Styrene	($\mu\text{g/l}$)	4-2600	
Monochlorobenzene	($\mu\text{g/l}$)	10-120	
1,2-dichlorobenzene	($\mu\text{g/l}$)	1-10	
1,4-dichlorobenzene	($\mu\text{g/l}$)	0,3-30	
Trichlorobenzenes (total)	($\mu\text{g/l}$)	5-50	
Deterjen	($\mu\text{g/l}$)	50	
Desinfektan dan hasil sampingannya			
Chlorine	($\mu\text{g/l}$)	600-1000	
2-chlorophenol	($\mu\text{g/l}$)	0.1-10	
2,4-dichlorophenol	($\mu\text{g/l}$)	0,3-40	
2,4,6-trichlorophenol	($\mu\text{g/l}$)	2-300	

3. RADIOAKTIFITAS

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum yang diperbolehkan	Keterangan
1	2	3	4
Gross alpha activity	(Bq/liter)	0,1	
Gross beta activity	(Bq/liter)	1	

(Lanjutan)

4. FISIK

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum yang diperbolehkan	Keterangan
1	2	3	4
Parameter Fisik			
Wama	TCU	15	tidak berbau dan berasa
Rasa dan bau	–	–	
Temperatur	°C	Suhu udara $\pm 3^{\circ}\text{C}$	
Kekeruhan	NTU	5	

