



UNIVERSITAS INDONESIA

**PROSES PENGOLAHAN AIR YANG MENGANDUNG
TEMBAGA, TIMBAL DAN AMONIA DENGAN PROSES
OZONASI GELEMBUNG MIKRO DAN FILTRASI
MEMBRAN**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

TEGUH HIKMAWAN

0706200503

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
DEPOK
DESEMBER 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 : Teguh Hikmawan

NPM : 0706200503

Tanda Tangan :



Tanggal : 28 Desember 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Teguh Hikmawan
NPM : 0706200503
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Proses Pengolahan Air yang Mengandung Logam Tembaga, Timbal dan Amonia dengan 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 : Ir. Eva Fathul Karamah, MT

Penguji : Prof. Dr. Ir. Setijo Bismo, DEA

Penguji : Dr. Ir. Nelson Saksono, MT

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 28 Desember 2009

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT serta shalawat dan salam kepada Nabi besar Muhammad SAW atas segala rahmat dan Ridho-nya sehingga penulis dapat menyelesaikan makalah seminar ini dengan sebaik-baiknya.

Seminar yang berjudul **“Proses Pengolahan Air yang Mengandung Logam Tembaga, Timbal dan Amonia dengan Proses Ozonasi Gelembung Mikro dan Filtrasi Membran”** ini disusun sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan studi program sarjana pada Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Pada kesempatan ini pula penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan seminar ini, yaitu kepada:

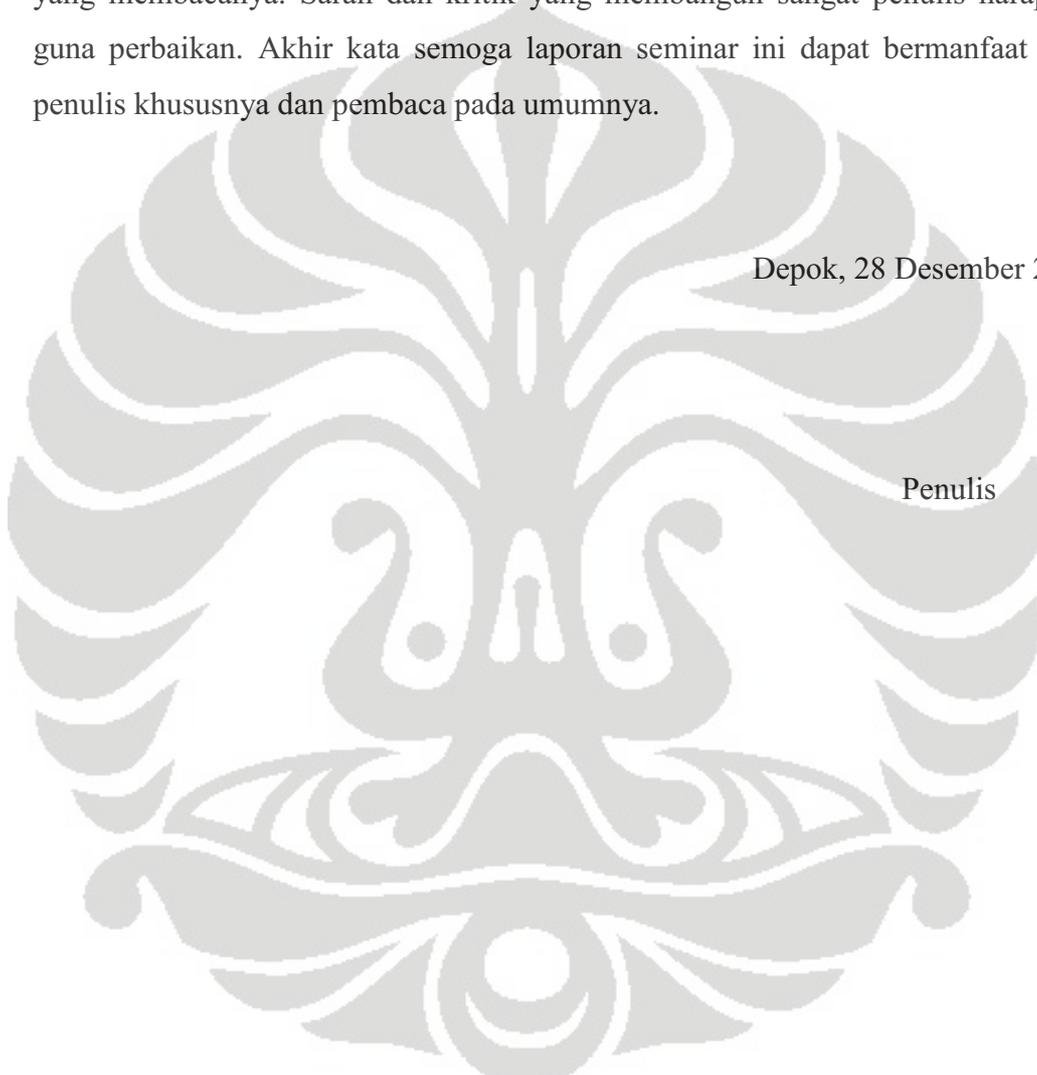
1. Ibu Ir. Eva Fathul Karamah, MT atas bimbingan dan ilmu yang bermanfaat bagi penulis.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Widodo Wahyu Purwanto, DEA selaku ketua Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
3. Bapak Ir. Yuliusman, M.Eng selaku koordinator mata kuliah skripsi.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Setijo Bismo, DEA selaku kepala laboratorium intensifikasi proses yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melakukan penelitian.
5. Seluruh pengajar dan civitas Teknik Kimia FTUI yang telah memberikan bekal ilmu kepada penulis.
6. Keluargaku, ibu, bapak, dan adikku (Deni, Romi, Robi, Rial) serta Dian yang memberikan dukungan materi dan moril, berupa kasih sayang, semangat, perhatian maupun doa.
7. Mahasiswa ekstensi angkatan 2007 yang telah memberikan saran, waktu luang, bantuan dan semangat kepada penulis.
8. Tiwi, Fita, Mas Heri, Mas Taufik, Bang Ijal, Mas Eko, Kang Jajat beserta seluruh karyawan Departemen Teknik Kimia FTUI atas segala bantuan dan kerjasamanya.

9. Teman-teman di PT Pfizer Indonesia, Kak Agus, P'Ramlan, T'sherly, Mas Ocim, Adi, Opik, Robi, P'Buyu, Bang Andre, Mba winar dkk, yang telah mendukung penulis dalam menyelesaikan laporan skripsi ini.
10. Semua pihak lain yang belum disebutkan, baik secara langsung maupun tidak langsung yang telah banyak membantu penulis.

Penulis berharap makalah seminar ini dapat berguna bagi setiap orang yang membacanya. Saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan guna perbaikan. Akhir kata semoga laporan seminar ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan pembaca pada umumnya.

Depok, 28 Desember 2009

Penulis



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Teguh Hikmawan
NPM : 0706200503
Program Studi : Teknik Kimia
Departemen : Teknik Kimia
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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

Proses Pengolahan Air yang Mengandung Logam Tembaga, Timbal dan Amonia dengan Proses Ozonasi Gelembung Mikro dan Filtrasi Membran

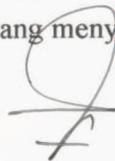
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 28 Desember 2009

Yang menyatakan



(Teguh Hikmawan)

ABSTRAK

Nama : Teguh Hikmawan
Program studi : Teknik Kimia
Judul : Proses Pengolahan Air yang Mengandung Logam Tembaga, Timbal dan Amonia dengan Proses Ozonasi Gelembung Mikro dan Filtrasi Membran

Pada penelitian ini air yang mengandung logam tembaga, timbal dan amonia diolah dengan menggunakan proses ozonasi gelembung mikro dan membran filtrasi. Ozonasi gelembung mikro ini bertujuan untuk memperluas area kontak dan untuk menghasilkan OH radikal yang memiliki sifat oksidasi lebih kuat dibandingkan ozon. Dari penelitian ini didapatkan bahwa proses ozonasi dan filtrasi efektif untuk menyisihkan logam tembaga, timbal dan kurang efektif untuk senyawa amonia. Persentase penyisihan logam tembaga, timbal dan amonia secara terpisah didapatkan hasil penyisihan untuk logam tembaga sebesar 93,65%, logam timbal 98,17 %, dan amonia sebesar 17,07 %. Sedangkan untuk penyisihan limbah sintetik yang dicampur didapatkan penyisihan untuk logam tembaga sebesar 53,79 %, logam tembaga 71,98 % dan amonia sebesar 30,03 %.

Kata Kunci :
Ozonasi, Ozon, Tembaga, Timbal, Amonia, dan Filtrasi

ABSTRACT

Name : Teguh Hikmawan
Study Program : Chemical Engineering
Title : Water Treatment Processes Contains of Metals Copper, Lead and Ammonia with Micro Bubbles Ozonation Process and membrane filtration

The study of the water treatment by using micro bubbles ozonation processes and membrane filtration for remove copper, lead and ammonia. One of the micro bubbles ozonation purpose is to expand the contact area and to produce OH radical oxidation properties stronger than ozone. From this study founded that the ozonation and filtration process effective to remove copper and lead, but uneffective for ammonia compounds. The total removal of copper, lead and ammonia has a result as the following copper 93.65%, lead 98.17% and ammonia 17.07%. While the total removal for mixed synthetic waste can remove copper metal 53.79%, lead 71,98 % and ammonia 30.03%.

Keyword:
Ozonation, Ozone, Copper, Lead, Ammonia and Filtration

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Batasan Masalah	5
1.7 Sistematika Penulisan	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 AIR	7
2.2 PENCEMARAN AIR	7
2.3 PENCEMARAN LOGAM	8
2.3.1 Tembaga (Cu)	10
2.3.2 Timbel (Pb)	11
2.3.3 Amonia (NH ₃)	13
2.3.4 Pengaruh Pencemaran Terhadap Kesehatan dan Lingkungan	14
2.4 OZON	15
2.4.1. Pembuatan Ozon	16
2.4.2 Sifat Fisika Ozon	17
2.4.3 Sifat Kimia	18
2.4.4 Toksisitas Ozon	19

2.5 KAVITASI	19
2.5.1 <i>Acoustic Cavitation</i>	20
2.5.2 Kavitasi Hidrodinamik	21
2.6 PROSES OKSIDASI LANJUT	22
2.6.1 Proses Foton	23
2.6.2 Kombinasi Ozon dan UV	23
2.6.3 Kombinasi Hidrogen Peroksida dan UV	24
2.6.4 Kombinasi Ozon dan Hidrogen Peroksida.....	24
2.6.5 Kombinasi Ozon dan Kavitasi	25
2.7 Membran	26
2.7.1 Jenis-jenis Membran	27
2.7.2 Membran Keramik	29
BAB III METODE PENELITIAN	31
3.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN	31
3.2. DESKRIPSI PENELITIAN	32
3.2.1 Ozonator	32
3.2.2 Injektor	32
3.2.3 Proses Oksidasi	32
3.3 PROSEDUR PENELITIAN	34
3.3.1 Uji Produktivitas Ozonator	34
3.3.2 Prosedur Penyisihan dengan Proses Ozonasi-Filtrasi	36
3.3.3 Prosedur Pengujian Sampel	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1 Penyisihan Logam Timbal (Pb)	40
4.2 Penyisihan Logam Tembaga (Cu)	47
4.3 Penyisihan Seyawa Amonia (NH ₃)	51
4.4 Perbandingan Kinerja Ozonasi-Filtrasi Untuk Logam tembaga, Timbal dan Amonia	56
4.4.1 Proses Ozonasi-Filtrasi Untuk Limbah Sintetik yang Tidak Dicampur	56
4.4.2 Proses Ozonasi-Filtrasi untuk Limbah Sintetik Campuran (Tembaga, Timbal dan Amonia)	58

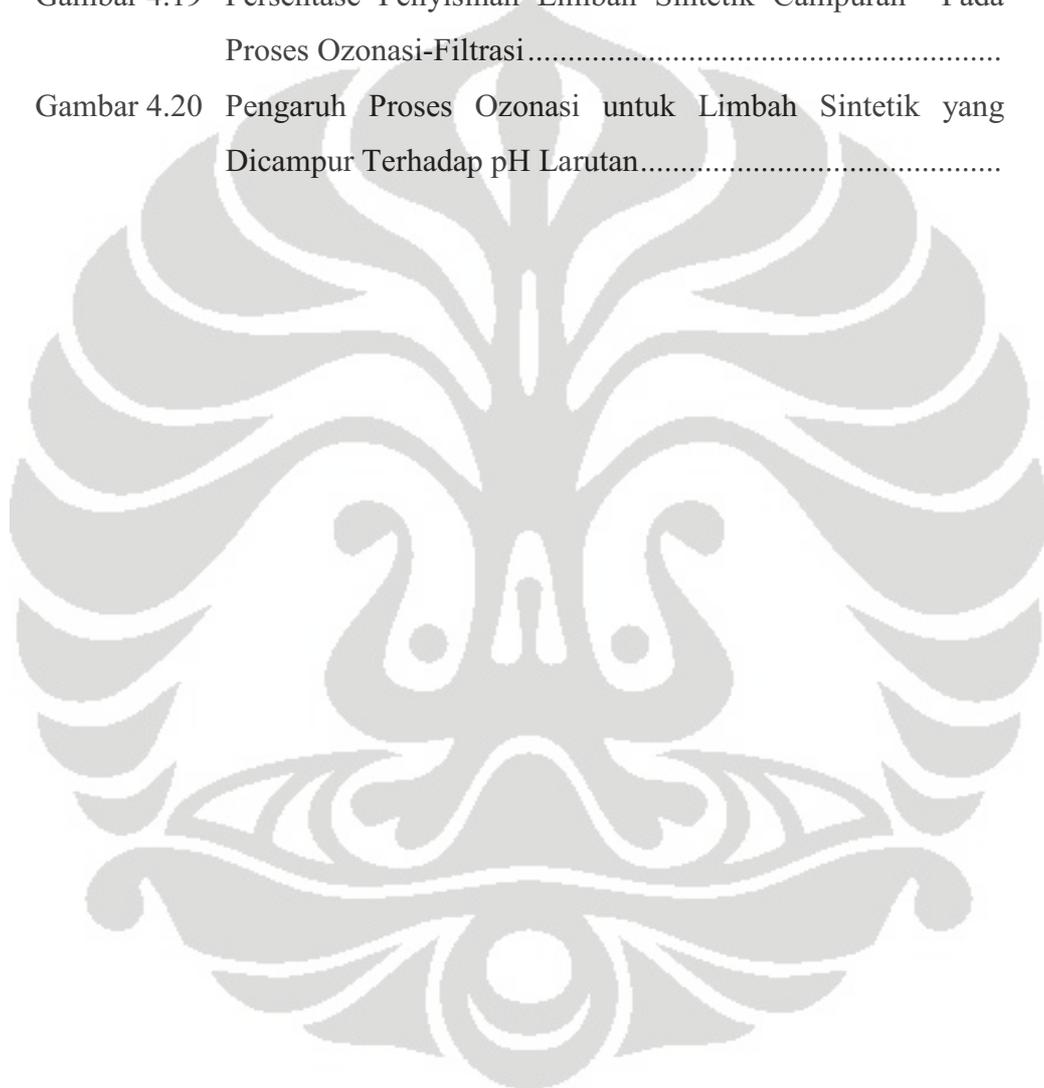
4.5 Penyisihan COD Pada Proses Ozonasi-Filtrasi Logam Tembaga, Timbal dan Amonia	61
BAB V KESIMPULAN	62
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN	65



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema Pencemaran Logam Berat	9
Gambar 2.2	Alat Venturi	21
Gambar 2.3	<i>OrificePlate</i>	21
Gambar 2.4	Skema Perpindahan Melalui Membran	26
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	31
Gambar 3.2	Skema Susunan Peralatan Proses Oksidasi Lanjur	33
Gambar 3.3	Foto Alat Penelitian	34
Gambar 3.4	Skema Rangkaian Percobaan Produktivitas Ozonator	35
Gambar 4.1	Penyisihan Logam Timbal (Pb).....	41
Gambar 4.2	Pengaruh Waktu Proses Ozonasi Terhadap pH.....	42
Gambar 4.3	Reaksi Dekomposisi Ozon dalam Larutan yang Mengandung Zat Terlarut (Kontaminan dalam Air)	43
Gambar 4.4	Pengaruh TDS Terhadap Proses Ozonasi	44
Gambar 4.5	Pengaruh Proses Ozonasi Terhadap DO (<i>Dissolve Oxygen</i>).	45
Gambar 4.6	Pengaruh Proses ozonasi terhadap <i>Pressure Drop</i>	46
Gambar 4.7	Pengaruh Proses ozonasi Penyisihan Logam Timbal Terhadap Laju Alir Permeate	46
Gambar 4.8	Penyisihan Logam Tembaga dengan Proses Ozonasi-Filtrasi	47
Gambar 4.9	Pengaruh Proses Ozonasi Logam Cu Terhadap pH	48
Gambar 4.10	Pengaruh Proses Ozonasi Terhadap TDS (<i>Total Dissolve Solid</i>).....	49
Gambar 4.11	Pengaruh Proses Ozonasi Untuk Logam Tembaga Terhadap <i>Pressure Drop</i> Membran Keramik.....	50
Gambar 4.12	Pengaruh Ozonasi Logam Tembaga Terhadap Laju Alir Permeate	50
Gambar 4.13	Penyisihan Senyawa Amonia dengan Proses Ozonasi.....	52
Gambar 4.14	Pengaruh Proses Ozonasi-Filtrasi Senyawa Amonia Terhadap pH Larutan.....	53
Gambar 4.15	Hubungan Pengaruh Proses Ozonasi Terhadap TDS	54

Gambar 4.16 Pengaruh Proses Ozonasi untuk Senyawa Amonia Terhadap <i>Pressure Drop</i> Membran Keramik.....	55
Gambar 4.17 Pengaruh Proses Ozonasi Senyawa Amonia Terhadap Laju Alir Permeate.....	55
Gambar 4.18 Perbandingan Persentase penyisihan Logam Cu, Pb dan amonia	56
Gambar 4.19 Persentase Penyisihan Limbah Sintetik Campuran Pada Proses Ozonasi-Filtrasi.....	58
Gambar 4.20 Pengaruh Proses Ozonasi untuk Limbah Sintetik yang Dicampur Terhadap pH Larutan.....	60

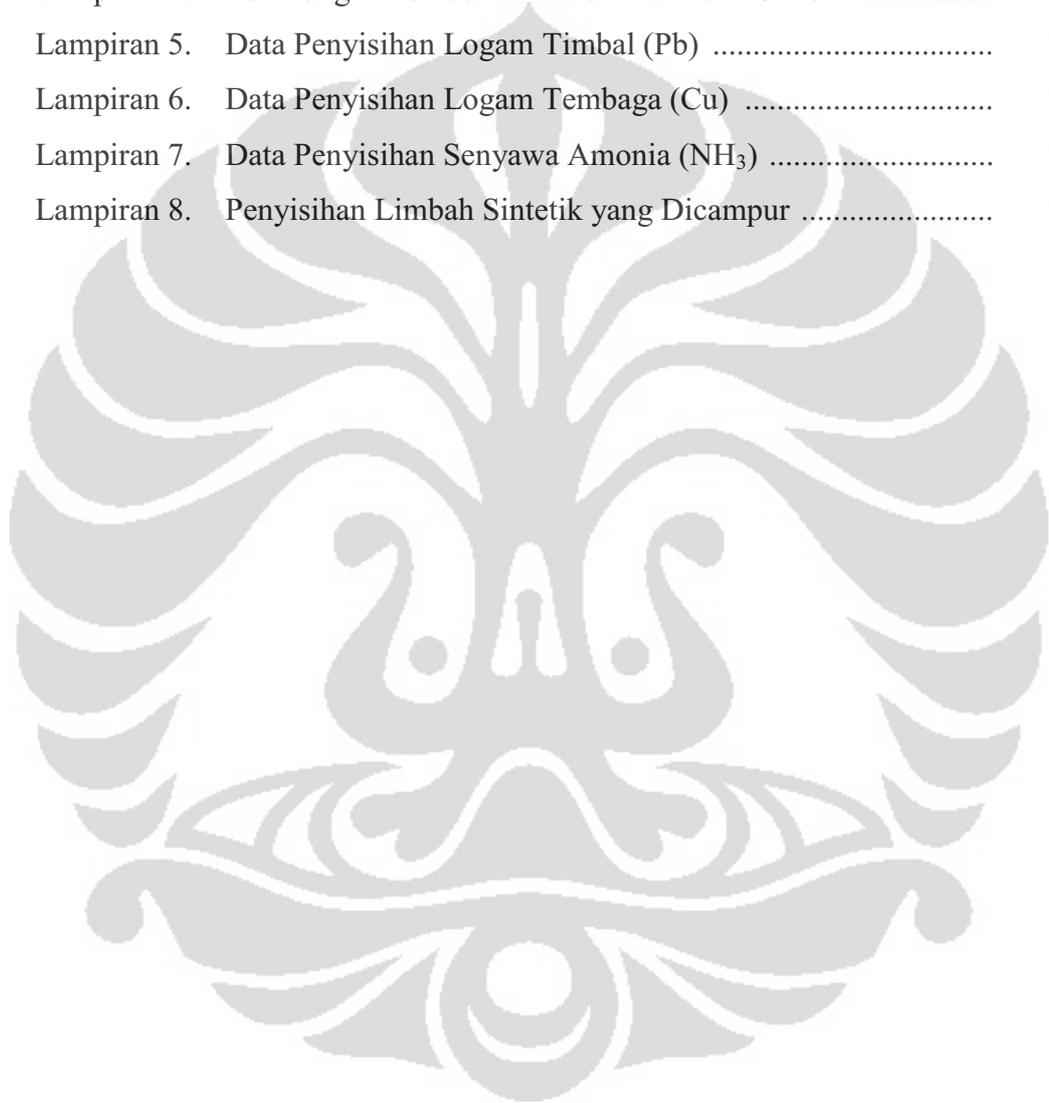


DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sifat Fisika dari Tembaga	10
Tabel 2.2	Kandungan Logam Tembaga dalam Air Limbah Kerajinan Tembaga Cepogo Boyolali, Jawa Tengah	11
Tabel 2.3	Sifat Fisika dari Timbal	12
Tabel 2.4	Sifat Fisika dari Amonia	13
Tabel 2.5	Sifat Fisika Ozon	17
Tabel 2.6	Kelarutan Ozon dan Oksigen Dalam Air	18
Tabel 4.1	Konsentrasi Penyisihan Logam Timbal (Pb)	41
Tabel 4.2	Konsentrasi Penyisihan Logam Tembaga (Cu)	47
Tabel 4.3	Konsentrasi Penyisihan Senyawa Amonia	52
Tabel 4.4	Hasil Analisa Keluaran Permeate Disetiap Tingkat yang dibandingkan dengan Baku Mutu.....	57
Tabel 4.5	Perbandingan penyisihan antara Proses Ozonasi Untuk Limbah Sintetik yang Dicampur dan Limbah Sintetik yang Tidak Dicampur.....	59
Tabel 4.6	Hasil Analisa COD untuk Logam Tembaga, Timbal dan Amonia	61

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Kalibrasi <i>Water</i> Flowmeter	66
Lampiran 2.	Uji Produktivitas Ozonator Merk Resun	68
Lampiran 3.	Perhitungan Kadar Ozon dalam Air	69
Lampiran 4.	Perhitungan Pembuatan Larutan Limbah Sintetik	70
Lampiran 5.	Data Penyisihan Logam Timbal (Pb)	72
Lampiran 6.	Data Penyisihan Logam Tembaga (Cu)	74
Lampiran 7.	Data Penyisihan Senyawa Amonia (NH ₃)	76
Lampiran 8.	Penyisihan Limbah Sintetik yang Dicampur	77



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan senyawa kimia yang melimpah di alam. Jumlahnya menutupi hampir 71% permukaan bumi tetapi kesediaan air memenuhi syarat bagi keperluan makhluk hidup terutama manusia relatif sedikit. Kebutuhan air di muka bumi ini penting sekali karena merupakan sumber kehidupan yang utama, seluruh aktivitas kehidupan baik untuk manusia, hewan dan tumbuhan selalu melibatkan air di dalamnya. Akan tetapi kualitas air menurun selama bertahun-tahun dikarenakan banyaknya pencemaran dari limbah industri, kegiatan pertanian dan limbah yang berasal dari rumah tangga. Limbah buangan tersebut berupa senyawa-senyawa baik organik maupun anorganik yang dapat terdegradasi oleh kondisi lingkungan ataupun yang tidak terdegradasi oleh lingkungan. Senyawa-senyawa yang tidak dapat terdegradasi oleh lingkungan ini yang dapat menyebabkan terjadinya penurunan kualitas air dan apabila terakumulasi terus menerus dapat menyebabkan terjadinya penurunan kualitas air bersih.

Beberapa contoh pencemar yang ada dalam air adalah logam tembaga (Cu), timbal (Pb) dan amonia (NH_3). Apabila kandungan pencemar tersebut melebihi batas yang ditetapkan oleh pemerintah maka akan menyebabkan terjadinya gangguan bagi kehidupan makhluk hidup yang ada di sekitarnya. Kandungan maksimum yang masih diperbolehkan untuk logam tembaga, timbal dan amonia berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan R.I No: 907/MENKES/SK/VII/2002 tentang syarat-syarat pengolahan air minum adalah sebagai berikut: kandungan tembaga sebesar 1 mg/L, timbal tidak boleh ada dan amonia sebesar 1,5 mg/L.

Pengaruh kelebihan tembaga dalam air dapat menimbulkan rasa kesat, perubahan warna dan korosi pada pipa dan peralatan dapur. Apabila dikonsumsi dapat menyebabkan gangguan ginjal, muntaber, pusing, lemah, anemia, kramp, shock, koma, dan dapat menyebabkan kematian. Kandungan timbal dalam tubuh menyebabkan gejala seperti rasa logam di mulut, garis hitam pada gusi, muntah-muntah, perubahan kepribadian, kelumpuhan dan kebutaan. Sedangkan amonia dapat menyebabkan timbulnya gejala gangguan patologis yaitu gangguan terhadap

organ-organ dalam seperti hati, ginjal, dan menimbulkan komplikasi. Dengan mengetahui bahaya-bahaya tersebut maka perlu dilakukan pengolahan air sehingga kandungan logam berat tembaga, timbal dan amonia dalam air sesuai dengan Peraturan Menteri Kesehatan R.I No: 907/MENKES/SK/VII/2002 tentang syarat-syarat pengolahan air minum.

Salah satu metode untuk mengolah senyawa pencemar tersebut adalah dengan proses oksidasi yaitu dengan menggunakan ozon. Pemilihan oksidasi dengan menggunakan ozon ini karena ozon merupakan oksida kuat dan berfungsi juga sebagai disinfektan, secara luas penggunaan ozon untuk memperbaiki warna dan rasa serta untuk menghilangkan senyawa organik dan anorganik pada air minum dan air limbah (Li-bing Chu et al. 2007).

Namun, terdapat beberapa kelemahan dari ozon yaitu mempunyai kelarutan dan kestabilan dalam air yang lemah, biaya produksi ozon yang mahal dan ozon merupakan pengoksidasi yang selektif dimana ozon bereaksi sangat lambat dengan senyawa organik seperti senyawa aromatik (Li-bing Chu et al. 2007). Salah satu solusi untuk meningkatkan efisiensi ozon adalah menggabungkan ozon dengan hidrogen proksida, ozon dengan radiasi UV atau dengan ozon dan kavitasi (ultrasonik atau Hidrodinamik) dan ozonasi katalitik dengan menggunakan katalis ion logam, oksida logam atau karbon aktif. Teknik penggabungan ini bertujuan untuk menghasilkan OH radikal, dimana proses ini sering disebut dengan proses oksidasi lanjut (AOPs, *Advance Oxidation Processes*).

Proses oksidasi lanjut yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menggabungkan ozon dengan kavitasi. Kavitasi merupakan peristiwa terbentuk, tumbuh dan pecahnya gelembung mikro dalam cairan. Apabila peristiwa ini terjadi dengan adanya gelombang suara dengan frekuensi yang tinggi maka disebut dengan kavitasi ultrasonifikasi (*acoustic cavitation*) dan jika peristiwa ini terjadi karena adanya variasi tekanan dalam cairan yang mengalir akibat dari perubahan geometri pada sistem yang mengalir maka peristiwa ini disebut dengan kavitasi hidrodinamik (K.K Jyoti, 2000).

Gelembung mikro yang dihasilkan dari proses kavitasi ini dapat memperluas area kontak oksidasi dengan pencemar. Selain itu, pecahnya

gelembung mikro ini dapat menghasilkan energi panas (*hotspot*) yang sangat tinggi. Panas yang dihasilkan dapat menyebabkan terbentuknya OH radikal yang merupakan pengoksidasi kuat dan sangat reaktif. Tingkat oksidasi OH radikal lebih kuat dibandingkan dengan ozon, hal ini dikarenakan OH radikal memiliki potensial oksidasi sebesar 2,86 V sedangkan ozon hanya 2,07 V, sehingga dengan adanya OH radikal dari proses kavitasi dapat mengefisienkan penggunaan ozon serta dapat menyempurnakan oksidasi.

Dalam menyisihkan logam tembaga, timbal dan amonia ini dilakukan gabungan ozonasi gelembung mikro dengan membran. Penggunaan membran ini dilakukan untuk menyaring padatan-padatan yang tidak larut dalam air dan menyaring hasil oksidasi dari ozon. Penggunaan membran dalam pengolahan air dipilih karena dapat beroperasi pada temperatur ruang dan tanpa terjadinya perubahan fasa sehingga proses ini lebih ekonomis dibandingkan dengan proses destilasi.

Salah satu kelemahan penggunaan membran untuk proses pemurnian air adalah sering terjadinya *fouling* pada membran sehingga dapat menyebabkan berkurangnya laju permeate pada membran yang berdampak turunnya efisiensi ekonomis unit pengolahan air tersebut. Beberapa hal yang umum dilakukan untuk mengurangi *fouling* dari membran diantaranya melakukan pencucian balik atau *backflushing* membran secara periodik, pembersihan membran dengan bahan kimia dan melakukan perlakuan awal (*pretreatment*) pada air masukan membran.

Pada penelitian ini proses yang digunakan untuk mengurangi *fouling* adalah dengan perlakuan awal dengan menggunakan proses ozonasi gelembung mikro. Penggunaan ozon telah terbukti dapat mencegah terjadinya *fouling* pada membran.

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 proses ozonasi dan mikrofiltrasi dari bahan keramik yang dilakukan untuk menyisihkan logam besi dan Mangan, dimana didapatkan penyisihan logam besi sebesar 98,64 %, sedangkan untuk mangan sebesar 45,83 %. (Fahrur Rozi, 2009).

Pada penelitian kali proses ozonasi dan mikrofiltrasi dari bahan keramik dilakukan untuk logam berat Pb, Cu dan amonia. Dimana untuk logam berat dan senyawa tersebut perlu dilakukan uji kinerja yang ditinjau dari persentase penyisihan logam Pb, Cu dan amonia. Persentase penyisihan tersebut diharapkan dapat memenuhi Peraturan Menteri Kesehatan R.I No: 907/MENKES /SK/VII/2002 tentang syarat-syarat pengolahan air minum.

1.2 Perumusan Masalah

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

1. Apakah unit pengolahan air dengan proses ozonasi filtrasi dapat menyisihkan logam tembaga, timbal dan amonia, sesuai dengan baku mutu yang telah diterapkan oleh pemerintah menurut Peraturan Menteri Kesehatan R.I No: 907/MENKES/SK/VII/2002.
2. Bagaimana kinerja alat untuk mengolah limbah sintetik campuran tembaga, timbal dan amonia.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengevaluasi penyisihan logam tembaga, timbal dan amonia pada unit pengolahan air dengan proses ozonasi filtrasi apakah telah sesuai dengan baku mutu yang telah diterapkan oleh pemerintah menurut Peraturan Menteri Kesehatan R.I No: 907/MENKES /SK/VII/2002.
2. Mengevaluasi kinerja alat untuk mengolah limbah sintetik campuran tembaga, timbal dan amonia.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar untuk penelitian selanjutnya, yaitu pemurnian air permukaan tercemar menjadi air bersih. Serta dapat memicu

lembaga-lembaga pengolahan air bersih agar dapat memanfaatkan air permukaan tercemar sebagai bahan mentah dalam pengolahan air.

1.5 Batasan Penelitian

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

1. Air yang akan diolah adalah air sumur DTK-FTUI
2. Air Limbah sintetik yang digunakan untuk uji kinerja adalah air limbah sintetik yang mengandung tembaga, timbal dan amonia.
3. Membran yang digunakan untuk proses mikrofiltrasi adalah membran keramik dengan ukuran pori 0,9 μm .
4. Ozonator yang digunakan adalah ozonator komersial merk Resun dengan produktivitas rata-rata ozon adalah 0,1013 gram/jam.
5. Injektor ozon yang dipakai adalah injektor mazzei.
6. Kualitas air yang akan diukur dalam penelitian ini adalah kandungan logam tembaga, timbal dan senyawa amonia, TDS, pH, COD dan DO. Sedangkan untuk kinerja membran parameter yang akan diukur adalah ΔP dan laju alir permeat.
7. Variable yang divariasikan adalah variasi senyawa pencemar.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam skripsi ini adalah:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah, serta sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi teori mengenai ozon, kavitasi, Proses Oksidasi lanjut, membran, pencemar logam berat tembaga, timbal dan amonia.

BAB III : METODE PENELITIAN

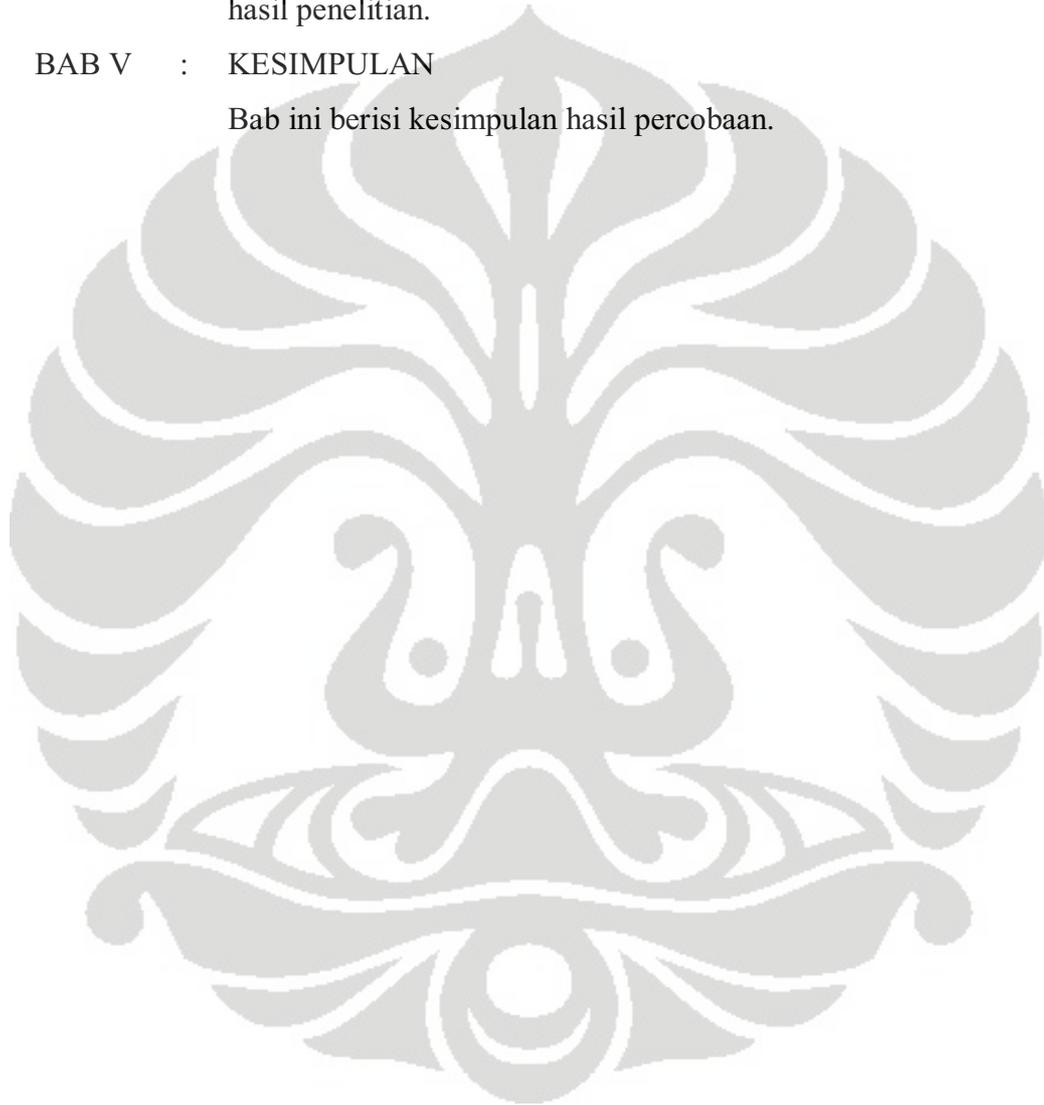
Bab ini berisi diagram alir penelitian, deskripsi dari alat dan bahan yang digunakan, persiapan percobaan serta tahapan percobaan yang dilakukan.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil dan percobaan, pengolahan data serta analisa hasil penelitian.

BAB V : KESIMPULAN

Bab ini berisi kesimpulan hasil percobaan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 AIR

Air merupakan senyawa yang paling banyak di muka bumi ini. Dimana air menutupi hampir 71% permukaan bumi, terdapat 1,4 triliun kilometer kubik (330 juta mil³) tersedia di bumi. Air sebagian besar terdapat di laut (air asin) dan pada lapisan-lapisan es (di kutub dan puncak-puncak gunung), selain itu terdapat juga sebagai awan, air hujan, sungai dan uap air. Air dalam obyek-obyek tersebut bergerak mengikuti suatu siklus air, yaitu: melalui penguapan, hujan, dan aliran air di atas permukaan tanah menuju kembali ke lautan (Wahyu Widjowati, et al., 2008).

Kebutuhan air di muka bumi ini sangat penting sekali karena merupakan sumber kehidupan yang utama, seluruh aktivitas kehidupan baik untuk manusia, hewan dan tumbuhan selalu melibatkan air didalamnya. Akan tetapi kualitas air menurun selama bertahun-tahun hal ini dikarenakan semakin banyak pencemaran dari limbah industri, kegiatan pertanian dan limbah yang berasal dari rumah tangga, limbah buangan tersebut berupa senyawa-senyawa baik organik maupun anorganik yang dapat terdegradasi oleh kondisi lingkungan ataupun yang tidak terdegradasi oleh lingkungan. Senyawa-senyawa yang tidak dapat terdegradasi oleh lingkungan ini yang dapat menyebabkan terjadinya penurunan kualitas air dan apabila terakumulasi terus menerus maka dapat menyebabkan terjadinya penurunan kualitas air bersih.

2.2 PENCEMARAN AIR

Sejalan dengan berkembangnya ilmu dan teknologi, terjadi juga peningkatan aktifitas manusia. Namun tidak jarang aktivitas manusia juga dapat menurunkan kualitas (mutu) air. Bila penurunan kualitas air ini tidak diminimalkan maka akan terjadi pencemaran air. Peraturan pemerintah RI No. 82 tahun 2001 menyebutkan:

“Pencemaran air adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat energi dan atau komponen lain ke dalam air dan atau berubahnya tatanan air oleh kegiatan manusia, sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya”.

Di Indonesia peruntukan badan air atau air sungai menurut kegunaannya ditetapkan oleh Gubernur Peraturan pemerintah R.I No.20 tahun 1990 mengelompokkan kualitas air menjadi beberapa golongan menurut peruntukannya. Adapun pengolahan air menurut peruntukannya adalah sebagai berikut:

- Golongan A : Air yang dapat digunakan sebagai air minum secara langsung tanpa pengolahan terlebih dahulu.
- Golongan B : Air yang dapat digunakan sebagai air baku untuk air minum.
- Golongan C : Air yang dapat digunakan untuk keperluan perikanan dan peternakan.
- Golongan D : Air yang dapat digunakan untuk keperluan pertanian, usaha di perkotaan, industri dan pembangkit listrik tenaga air.

2.3 PENCEMARAN LOGAM

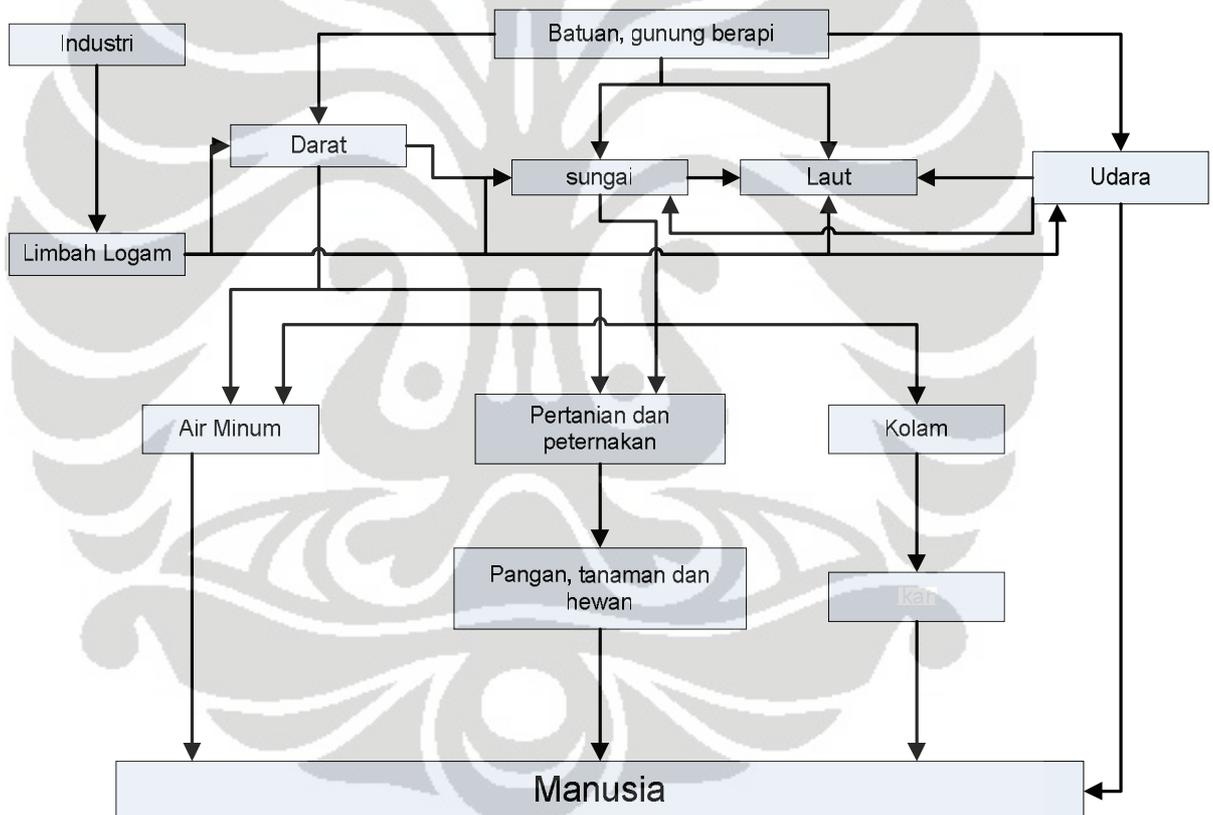
Penggunaan logam sebagai bahan baku berbagai jenis industri untuk memenuhi kebutuhan manusia akan mempengaruhi kesehatan manusia melalui dua jalur, yaitu:

1. Kegiatan industri akan menambah polutan logam dalam lingkungan, udara, air, tanah dan makanan.
2. Perubahan biokimia logam sebagai bahan baku berbagai industri, bisa mempengaruhi kesehatan manusia.

Di Indonesia, pencemaran logam berat cenderung meningkat sejalan dengan meningkatnya proses industrialisasi. Pencemaran logam berat dalam lingkungan dapat menyebabkan bahaya bagi kesehatan, baik pada manusia, hewan, tumbuhan maupun lingkungan. Terdapat 80 jenis logam berbahaya dan 109 unsur kimia di muka bumi ini (Wahyu Widyowati. 2008). Logam dibagi menjadi ke dalam dua jenis, yaitu:

1. Logam berat esensial; yakni logam dalam jumlah tertentu yang sangat dibutuhkan bagi organisme. Dalam jumlah berlebih, logam tersebut dapat menimbulkan efek toksik. Contohnya adalah Zn, Cu, Fe, Co, Mn dan lain sebagainya.
2. Logam berat tidak esensial; yakni logam yang keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya, bahkan bersifat racun, seperti Hg, Cd, Pb, Cr dan lain-lain.

Alur pencemaran logam selain akibat dari kegiatan industri dan limbah rumah tangga dapat juga berasal dari peristiwa alami seperti gunung meletus, banjir dan lain sebagainya.



Gambar 2.1 Skema Pencemaran Logam Berat (Wahyu Widowati, et.al., 2008).

Dalam penelitian ini pencemar logam berat dan senyawa pencemar yang akan diuji meliputi tembaga (Cu), timbal (Pb) dan senyawa amonia (NH_3)

2.3.1 Tembaga (Cu)

Kuprum atau tembaga (Cu) memiliki sistem kubik, yang secara fisika berwarna kuning dan apabila dilihat menggunakan mikroskop akan berwarna pink kecoklatan sampai keabuan. Cu termasuk golongan logam, warna merah serta mudah berubah bentuk. Di alam Cu banyak ditemukan dalam bentuk *pyrite*, Fe-sulfat dan sering bercampur dengan antimony (Sb), merkuri (Hg), timbale (Pb), dan arsen sulfat (Wahyu Widowati, et.al., 2008).

Tabel 2.1 Sifat Fisika dari Tembaga (wikipedia, 2009)

Sifat Fisika	Nilai
Massa jenis and fase	8,94 g/cm ³ , padatan
Fasa	Padatan
Berat Molekul	63,546 gr/mol
Titik lebur	1084.62 °C
Titik didih	2562 °C
Specific heat capacity	24,440 J·mol ⁻¹ ·K ⁻¹ (25 °C)
Oxidation states	+1, +2, +3, +4

Unsur tembaga di alam bisa ditemukan dalam bentuk logam bebas, tetapi lebih banyak ditemukan dalam bentuk mineral. Dalam badan perairan laut, Cu di temukan dalam bentuk persenyawaan ion seperti CuCO₃, CuOH dan lain-lain. Pada batuan mineral atau lapisan tanah, Cu ditemukan dalam bentuk seperti kalkosit (Cu₂S), kovalit (CuS), Kalkopirit (CuFeS₂), Bentonit (Cu₅FeS₄) dan energit (Cu₃AsS₄). Selain dalam bentuk mineral logam Cu banyak ditemukan dalam bentuk teroksidasi seperti bijih kuprit (Cu₂O), tenorit (CuO), malasit (Cu₂(OH)₂CO₃), Azurit (Cu₃(OH)₂(CO₃)₂), krisokola (CuSiO₃·2H₂O) dan bronkanit (Cu₄(OH)₆SO₄).

Tembaga masuk ke lingkungan melalui jalur alamiah dan non alamiah. Pada jalur alamiah, logam mengalami sirkulasi perputaran dari kerak bumi ke lapisan tanah, kedalam makhluk hidup, ke dalam kolam air, mengendap dan akhirnya kembali lagi kedalam kerak bumi. Sedangkan jalur nonalamiah unsur Cu masuk ke dalam tatanan lingkungan akibat aktivitas manusia, antara lain dari buangan industri yang menggunakan bahan baku Cu, industri gelanggan kapal, industry pengolahan kayu serta limbah rumah tangga.

Tingkat pencemaran Cu dilingkungan tergantung pada aktivitas manusia dan perubahan alam, seperti erosi dan hasil pelapukan batuan oleh air dalam perjalannya. Kandungan logam Cu dalam air apabila melebihi ambang batas yang ditetapkan oleh pemerintah maka dapat menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan.

Tabel 2.2 Kandungan Logam Tembaga dalam Air Limbah Kerajinan Tembaga Cepogo Boyolali, Jawa Tengah (Wahyu Widowati, et.al., 2008).

No	Jenis Logam	Kadar (ppm)
1	Tembaga (Cu^{2+})	8,01
2	Timah Hitam (Pb^{2+})	3,82
3	Kromium (Cr^{3+})	1,05
4	Kadmium (Cd^{2+})	2,01
5	Nikel (Ni^{2+})	1,73
6	Kobalt (Co^{2+})	1,11
7	Seng (Zn^{2+})	3,30

Tembaga (Cu) sebenarnya diperlukan bagi perkembangan tubuh manusia, tetapi dalam dosis tinggi dapat menyebabkan gangguan ginjal, muntaber, pusing, lemah, anemia, kramp, konvulsi, shock, koma, dan dapat menyebabkan kematian. Dalam konsentrasi rendah menimbulkan rasa kesat, warna dan korosi pada pipa, sambungan dan peralatan dapur (Juli Soemirta S., 2007)

2.3.2 Timbal (Pb)

Timbal (Pb) pada awalnya adalah logam berat yang secara alami berada di dalam kerak bumi. Namun timbal juga bisa berasal dari kegiatan manusia bahkan mampu mencapai 300 kali lebih banyak dibandingkan Pb alami.

Pb memiliki titik lebur yang rendah, mudah dibentuk, memiliki sifat kimia yang aktif, sehingga bisa digunakan untuk melapisi logam agar tidak timbul pengkaratan. Apabila dicampur dengan logam lain akan terbentuk logam campuran yang lebih baik dari logam murninnya. Pb adalah logam lunak berwarna abu-abu kebiruan mengkilap serta mudah dimurnikan dari pertambangan (Wahyu Widowati, et.al., 2008).

Tabel 2.3 Sifat Fisika dari Timbal (wikipedia, 2009)

Sifat Fisika	Nilai
Massa jenis and fase	11,34 g/cm ³ , padatan
Fasa	Padatan
Berat Molekul	207,2 gr/mol
Titik lebur	327,46 °C
Titik didih	1749 °C
Specific heat capacity	26,650 J·mol ⁻¹ ·K ⁻¹ (25 °C)
Oxidation states	+4, +2, -4

Secara alami Pb juga ditemukan di air permukaan. Kadar Pb pada air telaga dan air sungai adalah sebesar 1 -10 µg/liter. Dalam air laut kadar Pb lebih rendah dari dalam air tawar. Laut Bermuda yang dikatakan terbebas dari pencemaran mengandung Pb sekitar 0,07 µg/liter. Kandungan Pb dalam air danau dan sungai di USA berkisar antara 1-10 µg/liter. Secara alami Pb juga ditemukan di udara yang kadarnya berkisar antara 0,0001 - 0,001 µg/m³. Tumbuh-tumbuhan termasuk sayur-mayur dan padi-padian dapat mengandung Pb, penelitian yang dilakukan di USA kadarnya berkisar antara 0,1 -1,0 µg/kg berat kering (Wahyu Widowati, et al., 2008).

Logam berat Pb yang berasal dari tambang dapat berubah menjadi PbS (galena), PbCO₃ (*cerusite*) dan PbSO₄ (*anglesite*) dan ternyata galena merupakan sumber utama Pb yang berasal dari tambang. Logam berat Pb yang berasal dari tambang tersebut bercampur dengan Zn (seng) dengan kontribusi 70%, kandungan Pb murni sekitar 20% dan sisanya 10% terdiri dari campuran seng dan tembaga.

Industri yang berpotensi sebagai sumber pencemaran Pb adalah semua industri yang memakai Pb sebagai bahan baku maupun bahan penolong, misalnya:

- a. Industri pengecoran maupun pemurnian, industri ini menghasilkan timbal konsentrat (*primary lead*), maupun *secondary lead* yang berasal dari potongan logam (*scrap*).
- b. Industri battery, industri ini banyak menggunakan logam Pb terutama *lead antimony alloy* dan *lead oxides* sebagai bahan dasarnya.
- c. Industri bahan bakar, Pb berupa *tetra ethyl lead* dan *tetra methyl lead* banyak dipakai sebagai anti knock pada bahan bakar, sehingga baik

industri maupun bahan bakar yang dihasilkan merupakan sumber pencemaran Pb.

- d. Industri kabel, industri kabel memerlukan Pb untuk melapisi kabel. Saat ini pemakaian Pb di industri kabel mulai berkurang, walaupun masih digunakan campuran logam Cd, Fe, Cr, Au dan arsenik yang juga membahayakan untuk kehidupan makhluk hidup.
- e. Industri kimia berperan sebagai bahan pewarna. Pada industri ini seringkali dipakai Pb karena toksisitasnya relatif lebih rendah jika dibandingkan dengan logam pigmen yang lain. Sebagai pewarna merah pada cat biasanya dipakai *red lead*, sedangkan untuk warna kuning dipakai *lead chromate*.

Selain pencemaran berasal dari aktivitas perindustrian, pencemaran logam berat Pb juga berasal dari transportasi. Pencemaran ini terjadi karena bahan bakar yang digunakan menggunakan bensin. Logam Pb ditambahkan kedalam bensin sebagai zat anti ketup. Pencemaran akibat transportasi ini dapat mencemari tanah, air dan udara.

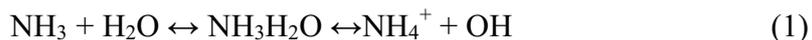
2.3.3 Amonia (NH₃)

Amonia adalah senyawa kimia dengan rumus NH₃. Biasanya senyawa ini didapati berupa gas dengan bau tajam yang khas (disebut bau amonia). Walaupun amonia memiliki sumbangan penting bagi keberadaan nutrisi di bumi, amonia sendiri adalah senyawa kaustik dan dapat merusak kesehatan. Sifat fisika dari amonia dapat dilihat pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 Sifat Fisika dari Amonia (wikipedia, 2009)

Sifat Fisika	Nilai
Massa jenis and fase	0,6942 g/L, gas. ^[3]
Kelarutan dalam air	89,9 g/100 ml pada 0 °C.
Titik lebur	-77,73 °C (195.42 K)
Temperatur autosulutan	651 °C
Titik didih	-33,34 °C (239.81 K)
Keasaman (pK _a)	9,25
Kebasaan (pK _b)	4,75

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



Dimana NH_3 adalah amonia yang tidak larut, NH_4^+ adalah amonia yang terionkan (ion amonium).

Pada air dengan temperatur 0°C dan pH 6, hampir semua amonia membentuk ion amonium. Hanya 0,01% amonia saja yang berada dalam bentuk tak terionkan. Sedang pada temperatur 30°C dan pH 10, sebanyak 89% amonia berada dalam bentuk tak terionkan.

Amonia yang digunakan secara komersial dinamakan amonia anhidrat. Istilah ini menunjukkan tidak adanya air pada bahan tersebut. Karena amonia mendidih di suhu -33°C , cairan amonia harus disimpan dalam tekanan tinggi atau temperatur amat rendah. Walaupun begitu, kalor penguapannya amat tinggi sehingga dapat ditangani dengan tabung reaksi biasa di dalam sungkup asap. "Amonia rumah" atau amonium hidroksida adalah larutan NH_3 dalam air.

Amonia digunakan dalam industri pupuk, industri karet, kertas dan plastik. Amonia dan amonium digunakan sebagai pembersih. Dalam air amonia larut sebagai ion amonium.

Amonia dapat menjadi limbah organik yang beracun dan berbahaya. Amonia yang terlarut dalam lingkungan perairan merupakan masalah besar karena dapat membahayakan kesehatan manusia dan merusak lingkungan. Berdasarkan data Lembaga Kajian Ekologi dan Konservasi Lahan Basah tahun 2003, delapan sungai di Bekasi telah tercemar oleh limbah amonia. Kandungan amonia di Sungai Blencong-Bekasi mencapai 11,60 mg/L; Sungai Bojong mencapai 19,52 mg/L; dan Sungai Kaliabang Hilir mencapai 59,06 mg/L. Selain itu, didapatkan tambahan data bahwa bahan baku air yang dikelola PT Thames PAM Jaya atau TPJ, yang berasal dari Kali Malang, tercemar amonia berkadar tinggi, yakni 1,77 ppm (part per million). Sedangkan berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan R.I No:416/MENKES/PER/IX/1990 konsentrasi amonia yang diperbolehkan berada dalam air bersih adalah sebesar 1,5 mg/L.

2.3.4 Pengaruh Pencemaran Terhadap Kesehatan dan Lingkungan

Kandungan logam-logam berat dalam apabila melebihi ambang batas maksimumnya maka akan menyebabkan beberapa pengaruh terhadap buruk

mahluk hidup dan lingkungan. Kandungan tembaga (Cu) sebenarnya diperlukan bagi perkembangan tubuh manusia, tetapi dalam dosis tinggi dapat menyebabkan gangguan ginjal, muntaber, pusing, lemah, anemia, kramp, konvulsi, shock, koma.

Kandungan Pb dalam tubuh menyebabkan gejala seperti rasa logam di mulut, garis hitam pada gusi, muntah-muntah, perubahan kepribadian, kelumpuhan dan kebutaan. Sedangkan NH_3 (amonia) dapat menyebabkan timbulnya gejala gangguan patologis yaitu gangguan terhadap organ-organ dalam seperti hati, ginjal, dan menimbulkan komplikasi. Dengan mengetahui bahaya logam tersebut maka perlu adanya pengolahan air sehingga kandungan logam berat dalam air sesuai dengan Peraturan Menteri Kesehatan R.I No : 207 /MENKES/SK/IV/2002.

2.4 OZON

Ozon adalah suatu bentuk alotropik dari oksigen (O_2) yang pertama kali di temukan pada tahun 1840, Ozon merupakan pengoksidasi kuat, dimana digunakan secara luas untuk memperbaiki rasa dan warna dengan menghilangkan senyawa-senyawa organik dan anorganik dalam air. Penyebab utama penggunaan ozon ini dikarenakan ozon selain bersifat pengoksidasi, dapat juga berfungsi sebagai disinfektan.

Proses oksidasi dengan menggunakan ozon ini diperkirakan melibatkan 2 jalan proses oksidasi yaitu oksidasi oleh ozon itu sendiri dan oksidasi oleh radikal hidroksi. Terbentuknya radikal hidroksi ini akibat dari serangkaian reaksi tranformasi dari ozon, dimana radikal hidroksi ini merupakan pengoksidasi sangat kuat dan lebih kuat dari pada ozon (Urs von Gunten, 2002).

Ada beberapa kelemahan dari ozon itu sendiri yaitu mempunyai kelarutan dan kestabilan dalam air yang lemah, biaya produksi ozon yang mahal dan ozon merupakan pengoksidasi yang selektif dimana ozon bereaksi sangat lambat dengan senyawa organik seperti senyawa aromatik, pada beberapa khusus ozon tidak dapat mengoksidasikan secara sempurna beberapa senyawa organik seperti keton, aldehyd dan asam karboksilat menjadi karbon dioksida (Li-Bing Chu et.al., 2007). Beberapa solusi untuk meningkatkan efisiensi ozon adalah dengan proses oksidasi lanjut (AOPs, *Advance Oxidation Processes*) dengan menggunakan

gabungan antara O_3 dengan H_2O_2 , O_3 dengan radiasi UV atau dengan O_3 dan kavitasi (ultrasonik atau hidrodinamik) dan ozonasi katalitik dengan menggunakan katalis ion logam, oksida logam atau karbon aktif.

Penggunaan ozon untuk berbagai tujuan pada pengolahan air antara lain:

- Desinfeksi bakteri
- Inaktivasi virus
- Oksidasi besi dan Mn yang terlarut dalam air
- Penghilangan warna bau dan rasa
- Penyisihan ganggang (*algae removal*)
- Penyisihan senyawa organik, misalnya fenolik dan deterjen
- Penyisihan sianida
- Penyisihan zat warna terlarut (*suspended solid*)
- Meningkatkan kemampuan biodegradasi zat organik terlarut (*dissolved organics*)

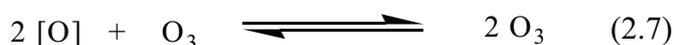
Saat ini di Indonesia ozon sebagai senyawa oksidator dalam industri masih sangat terbatas dan umumnya hanya digunakan sebagai senyawa desinfeksi maupun sterilisasi pada industri pengolahan air minum. Alasan keterbatasan penggunaan ozon ini secara umum adalah besarnya biaya investasi kepraktisan instalasinya.

2.4.1 Pembuatan Ozon

Secara kimiawi ozon merupakan senyawa yang tidak 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.

Pada umumnya pembuatan ozon yang paling efisien dilakukan menggunakan bahan baku udara atau oksigen murni yang dilewatkan diantara 2 elektroda yang saling berdekatan dan aliran arus listrik bertegangan tinggi (antara 15 - 32 kilovolt).

Korona medan listrik yang terbentuk di antara konfigurasi dua elektroda tersebut menyebabkan terurainya O_2 menjadi 2 molekul oksigen tunggal yang kemudian bergabung dengan 2 molekul O_2 lainnya membentuk dua molekul ozon.



Aliran gas yang dihasilkan dari proses tersebut 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 2 kalinya, yaitu sekitar 1-6 % berat (Metcalf dan Eddy, 1991).

2.4.2 Sifat Fisika Ozon

Ozon (O_3) adalah bentuk alotropik dari oksigen, senyawa ini merupakan gas yang tak berwarna (pada suhu kamar) dan mengembun membentuk suatu cairan biru pada suhu $-112\text{ }^{\circ}\text{C}$, dan akan membeku pada suhu $-251,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pada suhu diatas $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ akan dengan cepat mengalami dekomposisi.

Ozon merupakan gas memiliki bau seperti pedas (*pugent*), tajam (*acrid*) tidak enak seperti bahan pemutih klor dan seperti suatu senyawa yang menusuk dalam-dalam lubang hidung. Ozon merupakan gas yang sangat beracun, lebih beracun dari pada sianida (KCN atau NaCN), Striknina dan karbon monoksida. Spesifikasi ozon adalah sebagai berikut:

Tabel 2.5 Sifat Fisika Ozon (Metcalf and Eddy, 1991)

Sifat Fisika	Nilai
Berat molekul	48 g/mol
Titik didih	$-111,9 \pm 0,3$
Titik leleh	$-192,5 \pm 0,4$
Kalor laten penguapan pada $111,9^{\circ}\text{C}$	14,9 kJ/kg
Densitas cairan pada -183°C	1574 kg/m ³
Densitas uap pada 0°C dan 1 atm	2,154 g/mL
Kelarutan dalam air pada 20°C	12,07 mg/L
Tekanan uap pada -183°C	11,0 kPa
Volum spesifik uap pada 0°C dan 1 atm	0,464 m ³ /kg
Temperatur kritis	$-12,1\text{ }^{\circ}\text{C}$
Tekanan kritis	5532,3 kPa

2.4.3 Sifat Kimia

Ozon berbentuk gas pada suhu dan tekanan normal, kelarutan oksigen dalam air tergantung pada temperatur dan tekanan parsial ozon dalam fase gas disamping adanya pH cairan, sebagai senyawa tak stabil yang mudah terurai kembali menjadi oksigen, laju reaksi dekomposisi bertambah besar sebanding dengan kenaikan suhu dan pH, kelarutan ozon dan oksigen dalam air diperlihatkan pada tabel 2.6 dibawah ini:

Tabel 2.6 kelarutan ozon dan oksigen dalam air

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

Dari segi fenomena perpindahan massa yang juga menjadi kendala dalam proses pengolahan secara kimiawi, dalam hal ini yang dianggap paling menentukan adalah proses perpindahan dan transportasi oksidator ke dalam fasa cairan sedemikian rupa sehingga kelarutan oksidator semakin besar. Secara teoritis, kelarutan yang besar maka akan meningkatkan proses oksidasi.

Ozone tidak stabil dalam air, dimana ozon akan memebentuk pengoksidasi sekunder dalam air yaitu OH radikal, kesetabilan ozon dalam air dipengaruhi oleh adanya komponen-komponen dalam air seperti kondisi pH, kandungan senyawa organik alam (*Natural Organic Meter, NOM*) dan alkalinitasnya (Urs von Gunten, 2002).

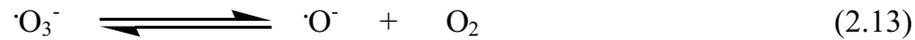
Kondisi pH dalam air sangat penting sekali karena ion hidroksida akan mendekomposisikan ozon menjadi beberapa reaksi seperti dibawah ini (Urs von Gunten, 2002).



Pada $\text{pH} \leq 8$



Pada $\text{pH} > 8$



Pembentukan OH radikal ini merupakan pengoksidasi yang sangat kuat, lebih kuat dari O_3 , selain itu OH radikal ini bukan merupakan pengoksidasi selektif akan tetapi OH radikal dapat mengoksidasi hampir semua senyawa kimia. Sehingga senyawa apapun dapat dioksidasi oleh OH radikal bebas.

2.4.4 Toksisitas Ozon

Occupational Safety and Health Administration (OSHA) telah menetapkan batasan paparan maksimum untuk manusia terhadap ozon dalam periode delapan jam yaitu 0,10 ppm dan pada selama 15 menit dengan dosis sebesar 0,30 ppm. Efek toksik ozon disebabkan oleh reaktivitasnya yang tinggi dan potensial oksidasinya sebesar 2,07 eV. Dampak akibat ozon yang terhirup yaitu menyerang paru-paru, 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 saraf.

Proses ozonasi dapat menghasilkan senyawa yang bersifat toksik mutagenik dan/atau karsinogen. Residual ozon bersifat toksik terhadap kehidupan perairan. Toksisitas dari senyawa intermediet yang terbentuk selama ozonasi tergantung pada dosis ozon, waktu kontak dan paparannya (Metcalf and Eddy, 2003).

2.5 KAVITASI

Kavitasi adalah suatu peristiwa terjadinya pembentukan, tumbuh dan pecahnya gelembung mikro dalam air. Jika peristiwa ini terjadi karena adanya gelombang suara yang tinggi maka disebut *acoustic cavitation* (ultrasonifikasi) dan apabila peristiwa ini terjadi karena adanya perubahan dari variasi tekanan

pada aliran cairan yang menyebabkan terjadinya perubahan aliran geometri dalam aliran sistem maka peristiwa ini disebut *Hydrodynamic cavitation*. (Jyoti dan Pandit, 2000).

Peristiwa kavitasi ini dapat menyebabkan efek mekanik dan kimia, efek mekanik terjadi pada saat terjadinya pemecahan gelembung, gelembung ini pecah karena terdainya perubahan tekanan yang mendekati kondisi normal, pecahnya gelembung mikro ini menimbulkan panas yang sangat tinggi. Sedangkan efek kimia terjadinya karena adanya efek panas dari pecahnya gelembung mikro yang dapat menyebabkan dekomposisi air menghasilkan OH radikal. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



2.5.1 Acoustic Cavitation

Ultrasonifikasi dilakukan dengan menggunakan gelombang ultasonik (supersonik) dengan frekuensi 22 KHz dan menggunakan power 240 Watt. Dengan menjaga temperature sebesar 30-37 °C.

Gelembung yang dihasilkan dari kavitasi ini dapat menyisikan komponen organik, dimana dalam kavitasi ini akan menghasilkan radikal bebas $\cdot\text{H}$, $\cdot\text{OH}$ dan $\cdot\text{OOH}$. dimana reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut (Cristian Pertier, 1997):



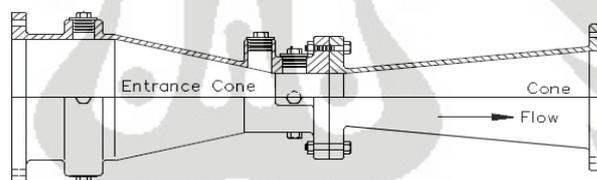
Efek frekuensi yang digunakan dapat mempengaruhi jumlah pembentukan OH radikal, dengan meningkatkan frekuensi maka akan meningkat akan jumlah pembentukan OH radikal juga. Dimana frekuensi yang digunakan adalah 20-60 KHz. Berdasarkan hasil penelitian dengan menggunakan frekuensi antara 20-100

KHz, didapatkan frekuensi ultasonik 60 KHz merupakan kondisi optimum yang dapat mengosidasikan iodide. Sedangkan dengan menggunakan frekuensi tinggi antara 192 – 960 KHz, didapatkan kondisi optimum proses oksidasi yang paling tinggi pada frekuensi 300 KHz. Maka dapat disimpulkan bahwa proses oksidasi yang paling baik adalah dilakukan pada frekuensi 20 Hz sampai 500 KHz. (Cristian Pertier, 1997).

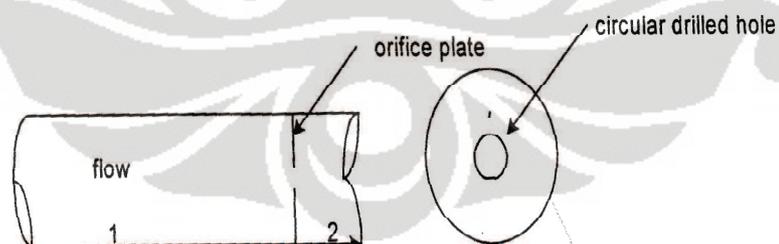
2.5.2 Kavitas Hidrodinamik

Kavitasi hidrodinamik merupakan peristiwa ini terjadi karena adanya perubahan dari variasi tekanan pada aliran cairan yang menyebabkan terjadinya perubahan aliran geometri dalam sistem aliran. Apabila tekanan uap jenuh cairan telah melebihi tekanan uap jenuh lingkungan maka akan terbentuk gelembung-gelembung mikro.

Alat yang digunakan untuk menghasilkan hidrodinamik kavitasi ini dapat menggunakan alat seperti alat venturi atau orifice.



Gambar 2.2 Alat Venturi



Gambar 2.3 Orifice Plate

Dengan adanya penyempitan diameter maka akan menurunkan kecepatan aliran, akan tetapi terjadi penurunan tekanan yang dramatis. Penurunan tekanan ini dikarenakan sebagian besar cairan berubah menjadi fase gas. Perubahan cairan menjadi fase gas ini dikarenakan tekanan uap jenuh cairan melebihi tekanan uap jenuh lingkungannya.

2.6 PROSES OKSIDASI LANJUT

Pengolahan air yang tercemar dengan logam berat Fe, Mn, Pb dan senyawa NH_3 dapat dilakukan secara fisika (pemisahan) atau secara kimia. Dalam pengolahan air itu sendiri, terdapat beberapa parameter kualitas yang digunakan. Parameter kualitas air dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu parameter organik, karakteristik fisik, dan kontaminan spesifik. Parameter organik merupakan ukuran jumlah zat organik yang terdapat dalam limbah. Parameter ini terdiri dari *Total Organic Carbon* (TOC), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biological Oxygen Demand* (BOD), minyak dan lemak, dan *Total Petroleum Hydrocarbons* (TPH). Karakteristik fisik dalam air limbah dapat dilihat dari parameter *Total Suspended Solids* (TSS), pH, temperatur, warna, bau, dan potensial reduksi. Sedangkan kontaminan spesifik dalam air dapat berupa senyawa organik, anorganik atau logam berat.

Proses Oksidasi Lanjut (AOPs, *Advance Oxidation Processes*) merupakan proses oksidasi untuk menghasilkan pengoksidasi yang lebih kuat berupa OH radikal bebas. Dimana proses ini digunakan untuk menyingkirkan senyawa-senyawa pencemar dalam air, yang berupa kontaminan spesifik.

Menurut Robert Andreozzi (1999), menyatakan bahwa meskipun proses oksidasi lanjut menggunakan gabungan reaktan yang berbeda tapi karakteristik reaksi yang dihasilkan adalah untuk membentuk OH radikal bebas.

Variasi dari proses oksidasi lanjut yang sering digunakan untuk meningkatkan jumlah OH radikal adalah:

- a. Proses Foton
- b. O_3 / UV
- c. H_2O_2 / UV
- d. O_3 / H_2O_2

e. O₃ / Kavitasasi

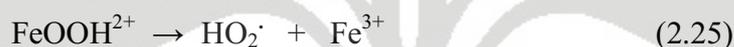
Pada penelitian yang dilakukan adalah proses oksidasi lanjut menggunakan gabungan ozon dan kavitasasi.

2.6.1 Proses Foton

Proses pembentukan OH radikal dapat dilakukan dengan proses foton, dimana dengan cara menambahkan H₂O₂ ke dalam larutan Fe²⁺, reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut: (Robert Andreozzi,1999)



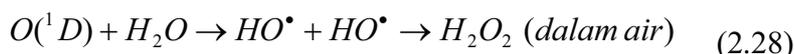
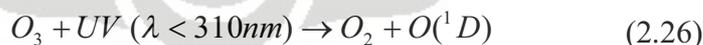
Pembentukan OH radikal dengan proses ini sangat mudah sekali tidak membutuhkan pereaksi dan peralatan khusus. Apabila reaksi 2.6.1 berlangsung pada pH 2,7-2,8 akan mereduksi kembali Fe²⁺ menjadi Fe³⁺ (*Foton-Like*):



2.6.2 Kombinasi Ozon dan UV

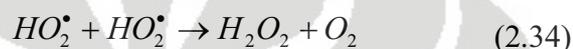
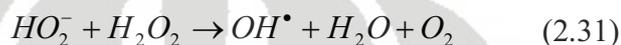
Proses Oksidasi lanjut dengan menggabungkan ozon dan UV untuk pengolahan air sangat efektif untuk menghilangkan senyawa organik dalam air.

Fotolisis ozon dalam udara basah dan air membentuk radikal hidroksida. Radikal hidroksida dapat dibentuk dengan lampu UV tekanan rendah dengan panjang gelombang sebesar 185 nm. Banyak lampu UV tekanan rendah komersial memiliki persentase radiasi yang kecil (sekitar 5%) pada panjang gelombang 185 nm, yang menghasilkan ozon di dalam reaktor. Radikal hidroksida dapat ditingkatkan dengan fotolisis ozon menghasilkan atom oksigen yang tereksitasi (M. B. Ray et al, 2007). Radikal hidroksida yang dihasilkan melalui reaksi berikut (Metcalf and Eddy, 2003) :



2.6.3 Kombinasi Hidrogen Peroksida dan UV

Radikal hidroksida yang dibentuk pada saat air yang mengandung H_2O_2 diekspos pada cahaya UV ($\lambda \approx 200 - 300 \text{ nm}$). Reaksi berikut dapat digunakan untuk menggambarkan fotolisis H_2O_2 yang menghasilkan radikal hidroksida (M. B. Ray et al, 2007):



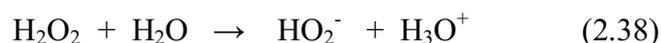
Pada beberapa kasus penggunaan proses kombinasi hidrogen peroksida dengan UV tidak cukup mudah karena H_2O_2 memiliki koefisien absorpsi molar yang kecil, membutuhkan konsentrasi H_2O_2 yang tinggi dan tidak efisien dalam penggunaan energi UV.

2.6.4 Kombinasi Ozon dan Hidrogen Peroksida

Penggabungan ozon dan H_2O_2 katalays yang homogen dimana H_2O_2 dalam air akan terurai menjadi HO_2^- , pembentukan HO_2^- ini akan langsung bereaksi dengan O_3 membentuk OH radikal. Dimana reaksi antara O_3 dengan H_2O_2 sangat lambat sehingga dapat diabaikan, reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut (Marc Pera-Titus et al., 2003):



Reaksi propagasi yang terjadi antara ozon dan H_2O_2 sampai menghasilkan OH radikal adalah sebagai berikut:



Jika tidak ada kontaminan maka reaksi akan berakhir seperti reaksi (2.41) di bawah ini:



2.6.2 Kombinasi Ozon dan Kavitasasi

Proses oksidasi lanjut dengan menggunakan ozon dan kavitasasi ini bertujuan untuk meningkatkan pembentukan jumlah OH radikal bebas. Pembentukan OH radikal yang dihasilkan oleh proses kavitasasi dapat mengurangi penambahan ozon. Selain itu dengan adanya proses kavitasasi dapat menghasilkan gelembung mikro yang berfungsi untuk memperluas area kontak sehingga dapat meningkatkan proses oksidasi (Li-Bing Chu, 2007).

Gelembung mikro didefinisikan sebagai gelembung dengan diameter kurang dari beberapa puluh μm . Dibandingkan dengan gelembung konvensional dengan diameter beberapa mm, gelembung mikro memiliki luas permukaan dan densitas gelembung yang besar, kenaikan kecepatan dalam fase cair yang rendah dan tekanan dalam yang tinggi. Tekanan dalam gelembung yang tinggi meningkatkan intensitas panas dan *local hot spot*. Gelembung mikro dengan tekanan dalam yang lebih tinggi dapat mempengaruhi dekomposisi ozon dan meningkatkan radikal hidroksida yang dihasilkan. Metode kavitasasi dengan teknologi gelembung mikro dapat meningkatkan oksidasi ozon dan transfer massa dengan baik (Li-Bing Chu et al, 2007).

Pada proses oksidasi lanjut dengan menggabungkan ozon dan kavitasasi ini akan meningkatkan proses oksidasi terhadap pencemar Pb^{2+} dan $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$. Proses oksidasi tersebut dapat bereaksi langsung dengan ozon atau melalui OH radikalnya yang dibentuk oleh ozon dan kavitasasi (Urs Von Gunten, 2002).

Ozon dapat bereaksi langsung dengan Pb^{2+} atau pun melalui oksidasi dengan OH radikal. Proses oksidasi ini akan merubah Pb^{2+} menjadi PbO_2 yang mengendap dimana dilakukan pada pH 9 dan 11 yang akan mengilangkan Pb^{2+} sampai 0,1 mg/L selama waktu kontak 2 menit (R.M Horisson, 1984)

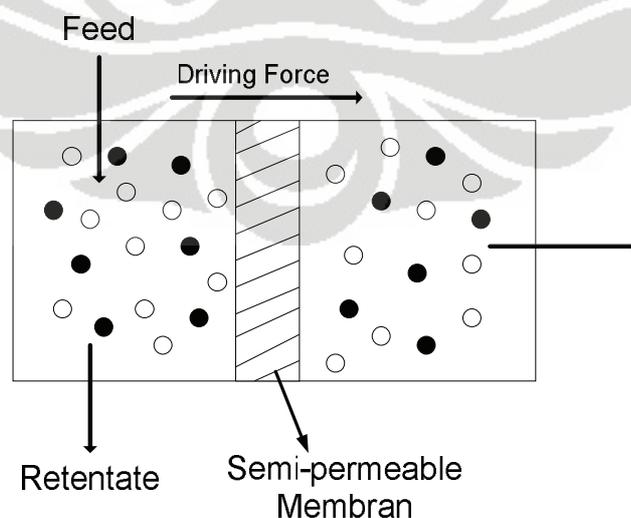
Reaksi amonia ozon berlangsung sangat lambat, diperkirakan konstanta kecepatan reaksinya dengan ozon sekitar $20 \text{ M}^{-1}\text{S}^{-1}$ dengan $t_{1/2} = 96$ jam sedangkan proses oksidasi oleh OH radikal dapat berlangsung lebih cepat yaitu

$9.7 \times 10^7 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$. Reaksi oksidasi yang terjadi dimana amonia akan dioksidasi oleh OH radikal membentuk NO_2^- (Nitrit) yang akan dioksidasi lebih lanjut membentuk NO_3^- (nitrat). Dimana proses oksidasi NO_2^- menjadi NO_3^- berlangsung cepat. (Urs von Gunten, 2002).

2.7 Membran

Pengertian membran secara umum adalah suatu penghalang diantra 2 fasa dimana penghalang tersebut bersifat selektif, sehingga molekul tertentu yang dapat menembus membran sementara molekul yang lain tidak. Hal ini dikarenakan perbedaan ukuran pori membrane dan molekul tersebut ataupun karena sifat membran (Mulder, 1997).

Laju perpindahan molekul pada membrane ditentukan oleh permeabilitasnya di dalam membrane dan dikarenakan adanya gaya penggerak. Gaya penggerak tersebut dapat berupa perbedaan tekanan, konsentrasi, temperature di dalam fluida pada membran dan potensial listrik antara larutan pada aliran luar membran dengan larutan yang berada di dalam membran. Besarnya perpindahan komponen-komponen yang akan dipisahkan sebanding dengan besarnya gaya penggerak yang ada, permeabilitas membran ditentukan oleh konsentrasi dan mobilitas komponen dalam struktur membran. Ketebalan suatu membrane juga sangat mempengaruhi tingkat permeabilitas membran. Semakin tebal membrane maka tahanan terhadap perpindahan massanya akan semakin besar, semakin laju permeasinya yang diperoleh rendah.



Gambar 2.4 Skema Perpindahan Melalui Membran

Pada Gambar 2.5 terdapat skema perpindahan dengan modul membran, dengan umpan yang dimasukkan ke dalam membran akan menghasilkan 2 aliran yang pertama yaitu aliran permeat yang mengandung aliran yang merupakan fraksi umpan yang dapat melewati membran, dan yang kedua adalah retentat yang merupakan fraksi umpan yang tertahan oleh membran.

2.7.1 Jenis-jenis membran

Membran yang ada dapat di kelompokkan berdasarkan diameter pori dan jenis bahan yang digunakan yaitu terdiri dari; Mikromembran, osmosis balik, ultrafiltrasi dan nano filtrasi (Agustina, et al., 2008).

1. Mikrofiltrasi

Mikrofiltrasi merupakan pemisahan partikel berukuran mikron atau submikron. Bentuknya lazim berupa cartridge, gunanya untuk menghilangkan partikel dari air yang berukuran 0,04 sampai 100 mikron. Asalkan kandungan pdatan total terlarut tidak melebihi 100 ppm. *Filtrasi cartridge* merupakan filtrasi mutlak. Artinya partikel padat akan tertahan, terkadang *cartridge* yang berbentuk silinder itu dapat dibersihkan. Cartridge tersebut diletakkan di dalam wadah tertentu (*housing*). Bahan *cartridge* beraneka : katun, wool, rayon, selulosa, *fiberglass*, polypropilen, akrilik, nilon, asbes, ester-ester selulosa, polimer hidrokarbon terfluorinasi.

2. Osmosis Balik (RO)

Membran RO dibuat dari berbagai bahan seperti selulosa asetat (CA), poliamida (PA), poliamida aromatis, polieteramida, polieteramina, polieterurea, polifelilene oksida, polifenilen bibenzimidazol dan lain-lain. Membran komposit film tipis terbuat dari berbagai bahan polimer untuk substratnya ditambah polimer lapisan fungsional di atasnya.

Membran mengalami perubahan karena memampat dan fouling (sumbat). memampatan atau fluks-merosot itu serupa dengan perayapan plastik/logam bila terkena beban tegangan kompresi. Makin besar tekanan dan suhu, biasanya tak reversibel dan membran makin mampat. Normalnya, membran bekerja pada suhu 21- 35 derajat celcius. *Fouling* membran itu diakibatkan oleh zat-zat dalam air baku misalnya kerak, pengendapan koloid, oksida logam, organik dan silika.

Berdasarkan kajian ekonomi menunjukkan osmosis balik mempunyai keuntungan sebagai berikut ;

1. Untuk umpan padatan total terlarut di bawah 400 ppm, osmosis balik merupakan perlakuan yang murah.
2. Untuk umpan padatan total terlarut di atas 400 ppm, dengan penurunan padatan total terlarut 10% semula, osmosis balik sangat menguntungkan disbanding dengan deionisasi.
3. Untuk umpan berapapun konsentrasi padatan total terlarut, disertai kandungan organik lebih dari pada 15 g/liter, osmosis balik sangat baik untuk praperlakuan deionisasi.
4. Osmosis balik sedikit berhubungan dengan bahan kimia, sehingga lebih praktis.

3. Ultrafiltrasi

Membran ultrafiltrasi adalah teknik proses pemisahan (menggunakan) membran untuk menghilangkan berbagai zat terlarut BM (berat molekul) tinggi, aneka koloid, mikroba sampai padatan tersuspensi dari air larutan. Membran semipermeabel dipakai untuk memisahkan makromolekul dari larutan. Ukuran dan bentuk molekul terlarut merupakan faktor penting.

Tekanan sistem ultrafiltrasi biasanya rendah, 10-100 psi (70-700 kPa), maka dapat menggunakan pompa sentrifugal biasa. Membran ultrafiltrasi sehubungan dengan pemurnian air dipergunakan untuk menghilangkan koloid (penyebab *fouling*) dan penghilangan mikroba, pirogen dan partikel dengan modul higienis.

Membran ultrafiltrasi dibuat dengan mencetak polimer selulosa acetate (CA) sebagai lembaran tipis. Fluks maksimum bila membrannya anisotropik, ada kulit tipis rapat dan pengemban berpori. Membran selulosa acetate (CA) mempunyai sifat pemisahan yang bagus namun sayangnya dapat dirusak oleh bakteri dan zat kimia, rentan pH. Adapula membrane dari polimer polisulfon, akrilik, juga polikarbonat, PVC, poliamida, poliviniliden fluoride, kopolimer AN-VC, poliasetal, poliakrilat, kompleks polielektrolit, PVA ikat silang. Juga dapat dibuat membran dari keramik, aluminium oksida dan zirkonium oksida.

4. Nanofiltrasi

Proses nanofiltrasi merejeksi kesadahan, menghilangkan bakteri dan virus, menghilangkan warna karena zat organik tanpa menghasilkan zat kimia berbahaya seperti hidrokarbon terklorinasi. Nanofiltrasi cocok bagi air padatan total terlarut rendah, dilunakkan dan dihilangkan organiknya. Sifat rejeksinya khas terhadap tipe ion : ion dwivalen lebih cepat dihilangkan daripada yang ekavalen, sesuai saat membrane itu diproses, formulasi bak pembuat, suhu, waktu annealing, dan lain-lain. Formulasi dasarnya mirip osmosis balik tetapi mekanisme operasionalnya mirip ultrafiltrasi. Jadi nanofiltrasi itu gabungan antara osmosis balik dan ultrafiltrasi.

2.7.2 Membran Keramik

Membran keramik umumnya berbahan dasar campuran oksida (biasanya oksida-oksida alumunium, silicon, titanium ataupun zircon) yang yang bergabung menjadi struktur Kristal tunggal, seperti silica, 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 silica 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 bahkan 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 membrane keramik merupakan bahan yang ideal untuk berbagai aplikasi dalam industri kimia, farmasi atau pada proses-proses pengolahan air. Membran keramik sangat tahan terhadap suhu tinggi hingga lebih besar dari 500 $^\circ\text{C}$ 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 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 dihasilkan air yang bersih dan aman karena penggunaan bahan-bahan kimia seperti penambahan klorin tidak dibutuhkan.



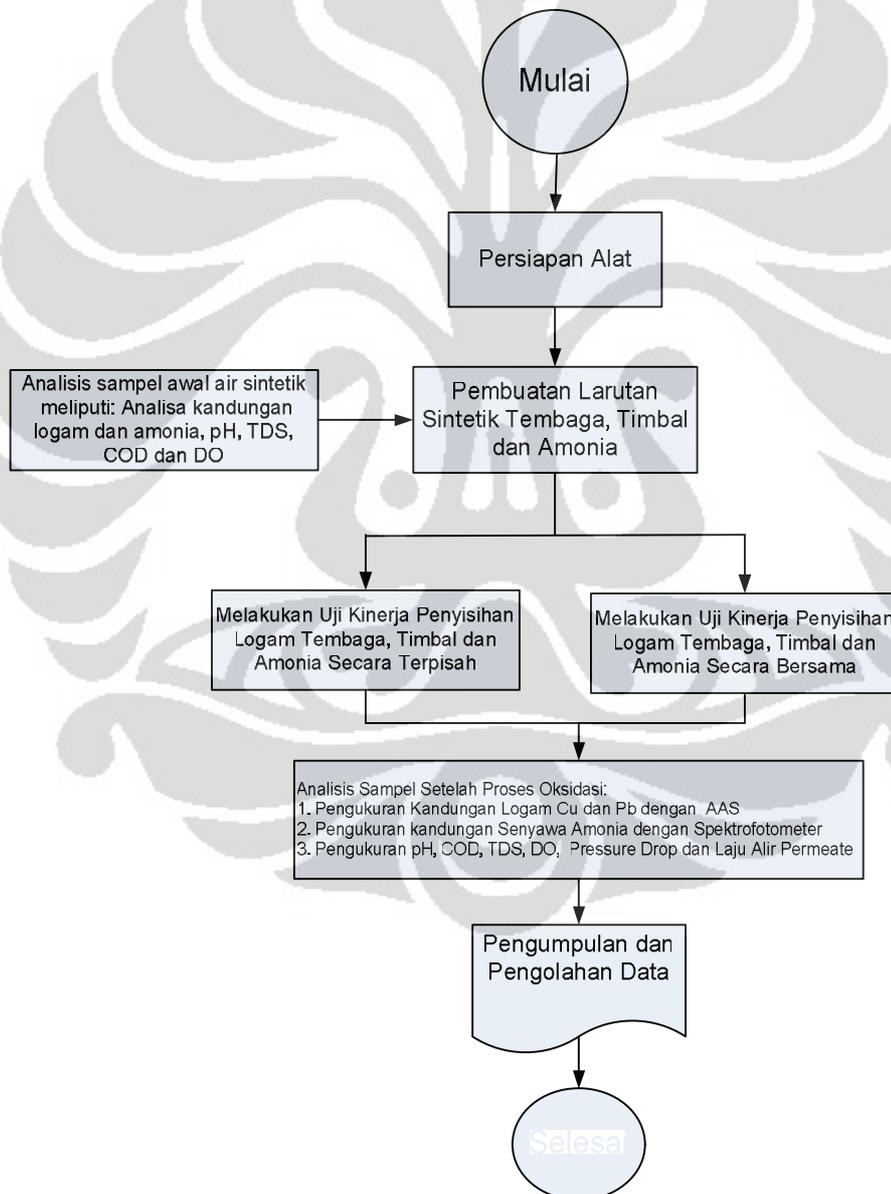
BAB III

METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan proses penelitian yang dilakukan mulai dari persiapan alat dan bahan, bahan dan alat uji yang digunakan serta pengolahan data.

3.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN

Penelitian ini akan dilakukan dalam skala laboratorium dimana alur proses yang dilakukan ditampilkan dalam alur dibawah ini:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 DESKRIPSI PENELITIAN

Pada penelitian ini peralatan utama yang digunakan adalah ozonator, injektor dan membran.

3.2.1 Ozonator

Ozonator yang digunakan adalah ozonator komersial Merk Resun tipe RSO-9805 2,8g. Produktivitas ozon yang dihasilkan berdasarkan label perusahaan adalah 2,8 g O₃/jam, dengan laju alir 1200 L/jam.

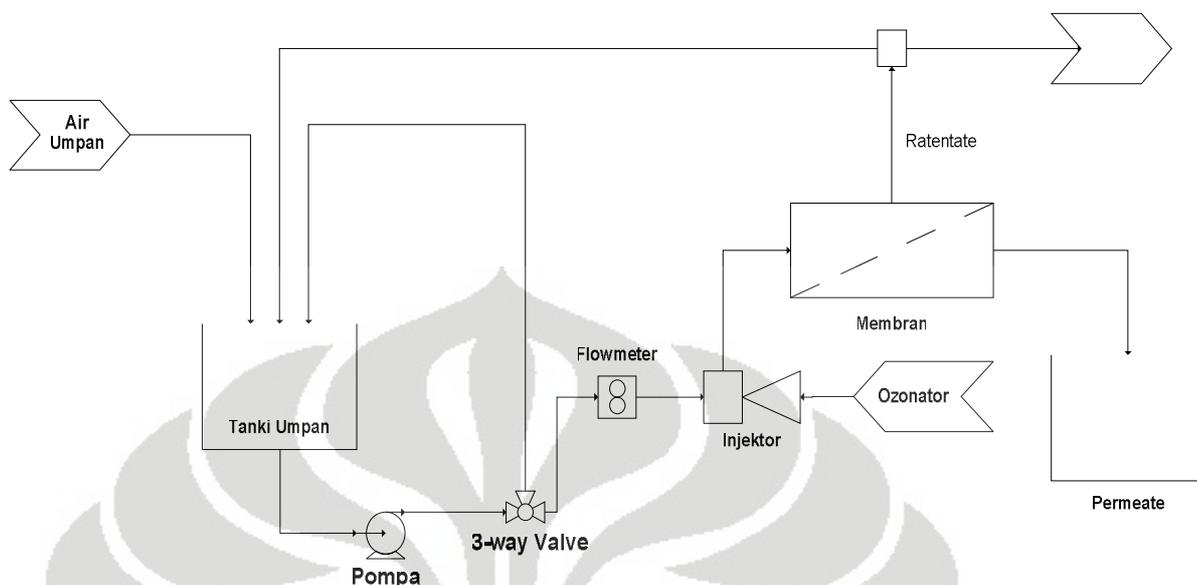
3.2.2 Injektor

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

3.2.3 Membran Keramik

Membran yang digunakan dalam penelitian ini adalah membran keramik dengan diameter pori 0,9 µm. Alasan pemilihan membran ini karena memiliki daya tahan yang baik dengan ozon dibandingkan dengan membran yang terbuat dari bahan lainnya.

Deskripsi penelitian secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 3.2



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

Air yang berasal dari *reservoir* di alirkan ke sistem dengan menggunakan pompa, sebagian dari air tersebut dialirkan kembali *reservoir*. Air yang menuju sistem kemudian 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 *section port* dan ikut ke dalam aliran. Saat aliran dengan kecepatan ini menuju keluar injektor kecepatan akan berkurang namun tekanannya akan meningkat kembali, tekanan keluaran injektor 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 dan anorganik yang ada dalam air oleh ozon. Setelah itu air akan melewati membran untuk memisahkan partikel-partikel yang ada dalam air. Foto alat yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Foto Alat Penelitian

3.3 PROSEDUR PENELITIAN

Prosedur pengujian yang dilakukan meliputi:

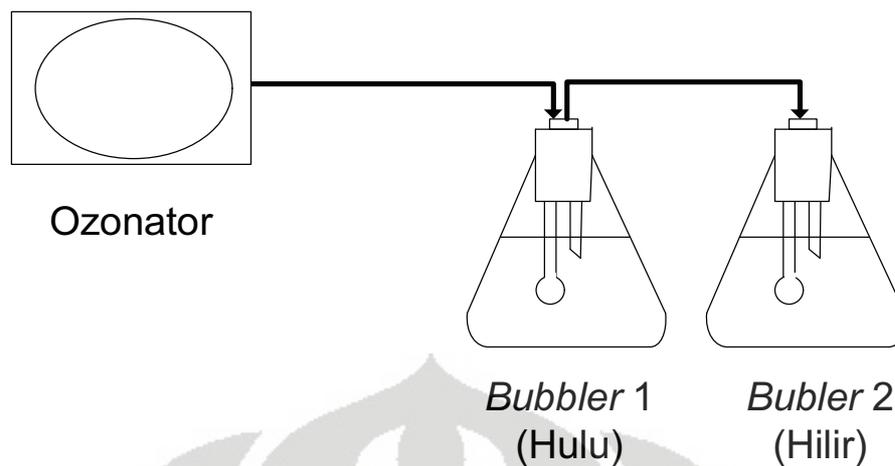
3.3.1 Uji Produktivitas Ozonator:

Uji produktivitas ozonator ini menggunakan metode iodometri. Metode iodometri ini berdasarkan reaktivitas ozon terhadap larutan KI. Penggunaan metode iodometri dilakukan untuk menentukan kadar ozon dalam bentuk gas, dimana ion iodida akan teroksidasi menjadi iodium oleh ozon dalam larutan buffer kalium iodida. pH larutan tersebut menjadi 2 dengan asam sulfat dan pembebasan iodium dititrasi dengan natrium tiosulfat. Reaksi ozonasi kalium iodida adalah sebagai berikut (Day & Underwood, 1981):



Pembebasan iodium (I_2) dititrasi dengan natrium tiosulfat:





Gambar 3.4 Skema Rangkaian Percobaan Produktivitas Ozonator

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam percobaan ini adalah:

1. Ozonator resun
2. Buret 50 mL dan statip
3. Botol aqudest
4. Stopwatch
5. Piala gelas 500 mL
6. Erlenmeyer 500 mL dan 1000 mL
7. Gelas ukur 10 mL dan 50 mL
8. Labu takar 250 mL dan 1000 mL

Bahan yang digunakan dalam percobaan ini adalah:

1. Larutan kalium iodida 2%
2. Larutan natrium thiosulfat 0,005N
3. Asam sulfat 2N
4. Aquadest
5. Indikator amilum 1 %

Prosedur Percobaan:

1. Siapkan 2 buah erlenmeyer 500 mL dan *gas washing bubbler (bubbler)* yang terdiri dari hulu dan hilir. Ditambahkan 200 mL KI 2% ke dalam masing-masing erlenmeyer tersebut. Tutup dengan *gas washing bubbler (bubbler)* dan sambungkan dengan selang ke bagian ozonator.

2. Nyalakan ozonator dan stopwatch, kemudian amati sampai larutan mangasilkan warna kuning baik di hulu maupun hilir.
3. Apabila sudah terbentuk warna kuning, selanjutnya mematikan ozonator dan stopwatch. Catat waktu yang dibutuhkan sampai terjadinya perubahan warna menjadi kuning.
4. Kemudian larutan tersebut ditambahkan dengan H_2SO_4 2N dan dititrasi dengan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,005 N. Penitaran dilakukan sampai warna larutan kuning menjadi sedikit kuning muda. Kemudian ditambahkan dengan indikator amilum sehingga larutan menjadi warna biru, lanjutkan penitaran sampai larutan tidak berwarna. Penitaran dilakuakan untuk sampel hulu dan hilir.
5. Catat valume titrasi yang diperoleh kemudian lakukan perhitungan. Gambar 3.4 merupakan skema alat percobaan produktivitas ozonator.

3.3.2 Prosedur Penyisihan dengan Proses Ozonasi-Filtrasi

Uji kinerja untuk unit pengaolahan air ini dikhususkan pada unit kinerja penyisihan logam tembaga, timbal dan senyawa amonia.

Alat :

1. Ozonator merk Resun
2. Membran Keramik
3. Manometer digital
4. TDS meter
5. pH meter
6. Stopwatch

Bahan:

1. Air sumur DTK FTUI
2. $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
3. $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$
4. NH_4Cl
5. Aquadest

a. Pembuatan Limbah Sintetik

Pada tahap ini dilakukan pembuatan larutan sintetik Cu^{2+} dari $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dengan konsentrasi 8 ppm adalah sebanyak 1,571 gram dalam 50 L dan untuk larutan Pb^{2+} dari PbNO_3 dengan konsentrasi 4 ppm adalah sebanyak 0,3206 gram dalam 50 L dan untuk larutan amonia dari NH_4Cl dengan konsentrasi 60 ppm adalah sebanyak 9,2647 gram.

b. Proses Ozonasi dan Filtrasi

Pada proses ozonasi-filtrasi ini laju alir air yang digunakan adalah sebesar 240 L/jam, hal ini berdasarkan hasil uji hidrodinamika dari penelitian yang dilakukan sebelumnya yang dilakukan oleh Fahrul Rozi. Pengolahan air ini dilakukan untuk masing-masing logam Cu, Pb dan senyawa NH_3 , serta dilakukan juga pengaruh penyisihan proses ozonasi-filtrasi dengan mencampurkan semua logam Cu, Pb dan senyawa amonia.

Proses ozonasi-filtrasi ini dilakukan secara bertingkat 3 (Ratentate hasil filtrasi dimasukkan kembali ke dalam *reservoir* untuk dilakukan proses kembali, *recycle* terhadap ratentate dilakukan sebanyak 2 kali).

Prosedur Percobaan untuk uji kinerja adalah:

1. Di nyalakan pompa, kemudian diatur laju alir air menjadi 240 L/jam dan periksa apakah air telah melalui membran, setelah itu dialirkan ozon melalui injektor.
2. Kemudian diambil sampel permeate pada menit ke 20 dan 40. Serta diukur juga ΔP , laju permeate, pH dan TDS. Pengambilan sampel juga diambil pada ratentat sebagai umpan untuk proses ozonasi-filtrasi yang kedua (0 menit).
3. Diulangi percobaan 1 sampai 2 untuk proses ozonasi filtrasi tingkat 2 dan 3.

3.3.3 Prosedur Pengujian Sampel

Prosedur pengujian ini meliputi proses penentuan konsentrasi masing-masing senyawa dan logam pencemar dari Pb, Cu dan NH_3 .

a. Alat

Alat-alat yang digunakan dalam pengujian sampel ini adalah Spektrofotometer Serapan Atom (AAS, *Absorbstion Atomic Spectrophotometer*), spektrofotometer UV-VIS, DO-Meter, pH meter, TDS-meter, timbangan analitik, piala gelas 250 mL, buret 50 mL, labu ukur 100 mL, corong gelas, pemanas listrik (*hot plate*), dan labu semprot.

b. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan untuk pengujian logam berat yaitu air suling, asam nitrat, larutan standar (tembaga, timbal dan amonia) dan gas asetilen (C_2H_2). Bahan yang digunakan untuk pengujian NH_3/NH_4^+ yaitu larutan fenol, lautan natrium nitroprusida ($C_5FeN_6Na_2O$) 0,5%, larutan alkalin sitrat ($C_6H_5Na_3O_7$) dan natrium hipokloritn ($NaOCl$) 5%. Bahan yang digunakan untuk menguji ozon dalam bentuk gas yaitu larutan KI, amilum, asam sulfat dan natrium tiosulfat.

c. Analisis Logam Pencemar Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb)

Proses pengujian tembaga dan timbal dilakukan dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (AAS, *Atomic Absorbstion spectrophotometer*). Dimana pengujian ini berdasarkan SNI (Standar Nasional Indonesia), untuk mengukur Cu^{2+} dengan menggunakan SNI 06-6989.6-2004 dimana pengukuran dilakukan pada panjang gelombang 324,8 nm. Sedangkan untuk mengukur kadar Pb^{2+} dengan menggunakan SNI No.06-6989.30-2005 dimana pengukuran dilakukan pada panjang gelombang 283,3 nm.

d. Analisis Senyawa Amonia (NH_3)

Pengujian senyawa amonia ini sesuai dengan SNI No.06-6989.30-2005, dimana pengukurannya dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer secara fenat. Prinsip dasar pengukuran amonia dengan menggunakan spektrofotometer ini adalah apabila amonia direaksikan dengan hipoklorit dan fenol dengan menggunakan katalis nitroprusida maka akan membentuk biru indofenol. Warna biru dari indofnol ini diukur dengan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 640 nm.

e. Pengukuran pH

Pengukuran pH dilakukan dengan menggunakan pH-meter, dimana alat pH meter tersebut perlu dikalibrasi terlebih dahulu dengan menggunakan Buffer pH 4; 7 dan 9. baru bisa digunakan untuk mengukur sampel air sintetik.

f. Pengukuran *Dissolved Oxygen* (DO)

Analisis DO dilakukan dengan metode elektrokimia yaitu dengan menggunakan alat DO meter. Semakin tinggi nilai DO, maka akan semakin baik kualitas air tersebut.

g. Analisis *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Analisis COD dilakukan dengan metode spektrofotometri berdasarkan SNI 06-6989.2-2004, yaitu dengan cara merefluks sampel menggunakan larutan kalium dikromat dan asam sulfat 20% selama 2 jam pada temperatur 150°C. Sampel yang telah direfluks selanjutnya diukur dengan menggunakan alat spektrofotometer pada $\lambda = 420$ nm.

h. Pengukuran *Total Dissolve Solid* (TDS)

Pengukuran *Total Dissolve Solid* (TDS) dilakukan dengan menggunakan TDS-meter. Dimana semakin kecil nilai TDS maka semakin baik kualitas air tersebut.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas unit pengolahan air dengan menggunakan proses oksidasi lanjut dan membran dalam menyisihkan logam tembaga, timbal dan senyawa amonia. Unit pengolahan air ini terdiri dari ozonator, injektor ozon dan membran. Pada uji kinerja penyisihan logam tembaga, timbal dan senyawa amonia ini dilakukan ozonasi-filtrasi membran bertingkat 3 (Ratentate hasil filtrasi dimasukkan lagi ke dalam reservoir untuk diproses kembali, *recycle* terhadap ratentate dilakukan 2 kali).

Air sumber dan air keluaran unit pengolahan air selanjutnya akan diuji dengan menggunakan AAS dan spektrofotometer UV-Vis untuk melihat penyisihan yang terjadi. Selain itu diuji juga pH, TDS, ΔP (membran), COD (*Chemical Oxygen Demand*) dan laju alir keluaran permeate. Air yang digunakan untuk membuat limbah sintetik adalah air yang berasal dari sumur DTK-FTUI dan proses ozonasi dengan menggunakan ozonator merk resun yang memiliki produktivitas keluaran ozon sebesar 0,1013 g/jam.

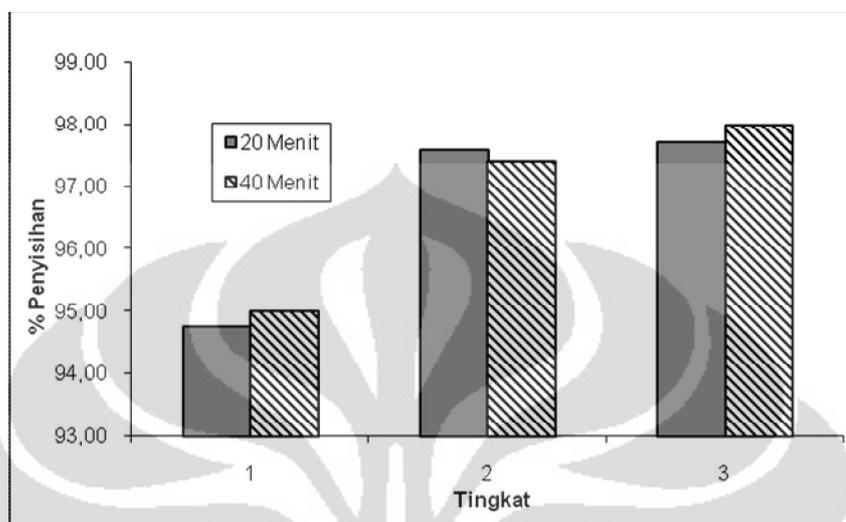
4.1 Penyisihan Logam Timbal (Pb)

Penyisihan logam Pb^{2+} berdasarkan hasil reaksi oksidasi antara Pb^{2+} dengan ozon yang menghasilkan PbO_2 dimana menghasilkan endapan yang berwarna hitam. Reaksi yang terjadi selama proses oksidasi adalah sebagai berikut:



Dari koefisien reaksi persamaan 4.1 kebutuhan ozon untuk mengoksidasikan Pb^{2+} menjadi Pb^{4+} secara teori adalah sebesar 0,927 mg O_3/L . Sedangkan kandungan ozon dalam air adalah sebesar 0,384 mg O_3/L . Sehingga masih kurang sekitar 0,5426 mg O_3/L lagi untuk mengoksidasikan Pb^{2+} menjadi Pb^{4+} . Akan tetapi dari hasil penyisihan yang cukup besar ini kemungkinan

sebagian Pb^{2+} yang tidak teroksidasi mengalami hidrolisis dengan air menghasilkan $Pb(OH)_2$ yang berwarna putih. Persentase penyisihan logam Pb dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Penyisihan Logam Timbal (Pb)

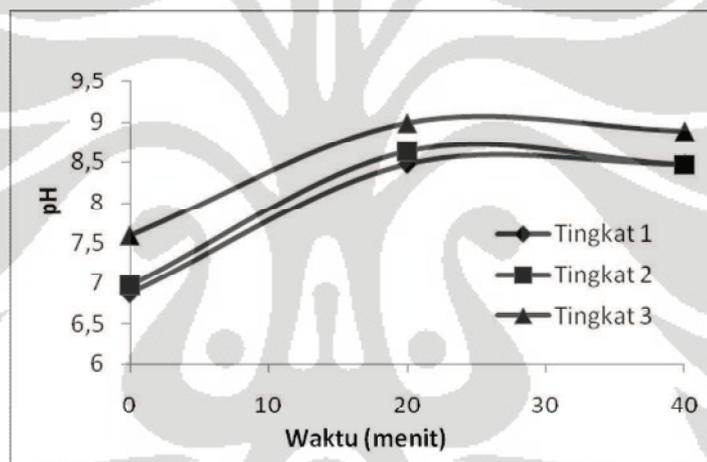
Gambar 4.1 menunjukkan bahwa penyisihan logam timbal cukup besar, dimana pada tingkat 1 penyisihan yang terjadi sebesar 94,99%, pada tingkat ke-2 penyisihan yang terjadi sebesar 97,38 % dan pada tingkat ke-3 sebesar 97,97 %, untuk data lengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 5. Penyisihan yang terjadi cukup baik, akan tetapi pada tingkat ke-3 masih tersisa sekitar 0,0688 ppm timbal yang masih ada dalam permeate (Tabel 4.1), sedangkan berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 907/MENKES/SK/VII/2002 tentang syarat-syarat dan pengawasan air minum konsentrasi Pb tidak di boleh ada.

Tabel 4.1 Konsentrasasi Penyisihan Logam Timbal (Pb)

Waktu (Menit)	Konsentrasi Logam Timbal (Pb)		
	Tingkat 1 (ppm)	Tingkat 2 (ppm)	Tingkat 3 (ppm)
0	3,7615	3,5826	3,3945
20	0,1972	0,0872	0,078
40	0,1881	0,0938	0,06883

Terlihat pada Tabel 4.1 untuk menit ke 20 dan 40 pada tingkat 2 terjadi kenaikan, hal ini kemungkinan disebabkan oleh larutnya kembali $\text{Pb}(\text{OH})_2$ menjadi Pb^{2+} . Proses kelarutan Pb ini dipengaruhi penurunan pH yang terlihat pada Gambar 4.2 dimana pada tingkat ke-2 menit ke-40 terjadi penurunan pH. Penurunan pH yang kecil ini kemungkinan disebabkan oleh ion H^+ (persamaan 4.1) sisa hasil oksidasi Pb^{2+} dengan ozon. Pada Gambar 4.1 terlihat penurunan pH dari 8,63 menjadi 8,46.

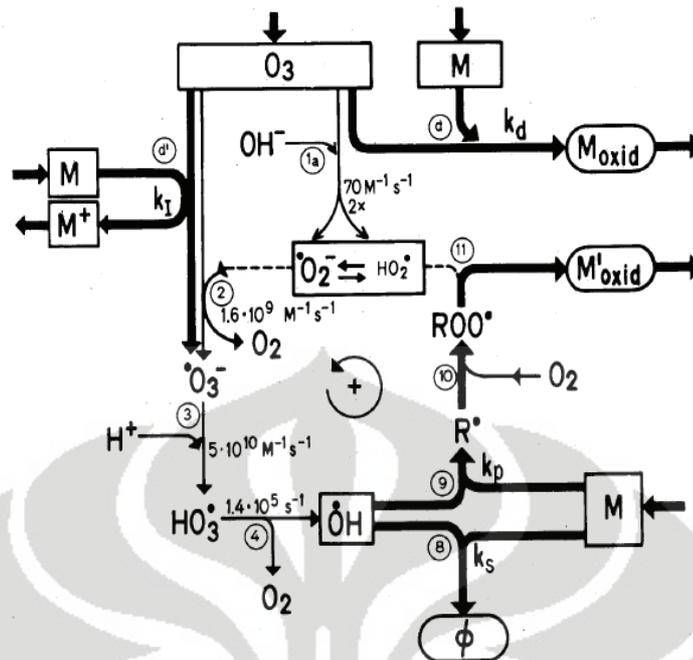
Proses oksidasi Pb^{2+} menjadi Pb^{4+} dapat terjadi pada pH 9 dan 11 dengan menggunakan ozon dapat menghilangkan Pb^{2+} sampai 0,1 ppm selama waktu kontak 2 menit (0,45 μm) (Harrison, 1984). Pada penelitian kondisi pH tidak diatur sehingga mengikuti pH air sumur DTK-FTUI.



Gambar 4.2 Pengaruh Waktu Proses Ozonasi Terhadap pH

Pada proses oksidasi logam timbal ini, pH larutan cenderung meningkat. Dimana pada $\text{pH} > 8$, sebagian besar ozon akan terurai menghasilkan OH radikal. Berdasarkan Gambar 4.2 kemungkinan proses oksidasi yang terjadi mayoritas disebabkan OH radikal. Dimana sifat oksidasi OH radikal bebas ini sangat kuat dibandingkan dengan ozon karena potensial oksidasi OH radikal adalah sebesar 2,86 volt sedangkan untuk ozon adalah sebesar 2,07 volt (U. von Gunten, 2003).

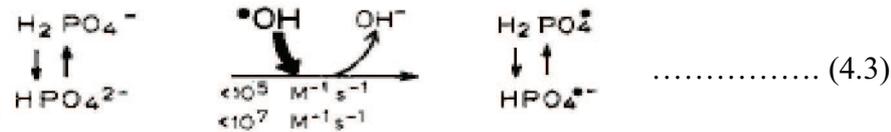
Kenaikan pH pada Gambar 4.2 disebabkan oleh, adanya reaksi ozon atau OH radikal dalam air dengan kontaminan – kontaminan yang ada dalam air dimana reaksi yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 4.3.



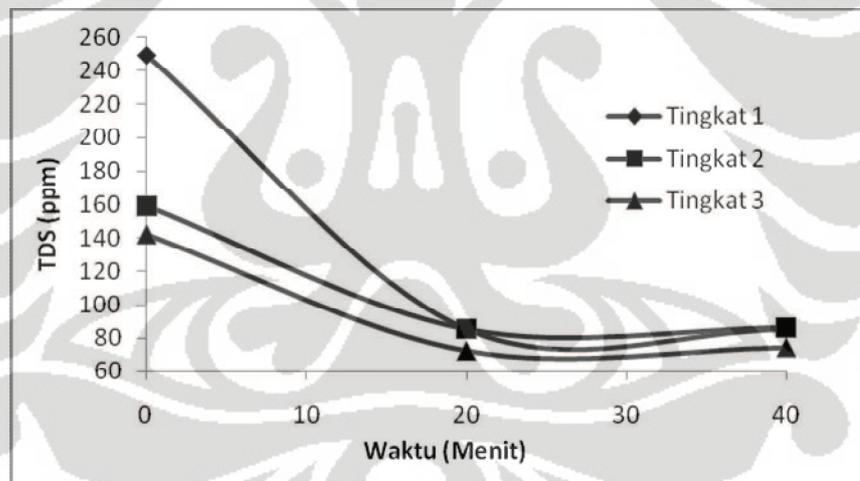
Gambar 4.3 Reaksi Dekomposisi Ozon dalam Larutan yang Mengandung Zat Terlarut (Kontaminan dalam Air).

Dari Gambar 4.3 ozon dalam air akan mengalami beberapa reaksi yaitu; reaksi ozon dengan OH^- , reaksi langsung ozon dengan zat terlarut dalam air dan reaksi transfer elektron dari zat-zat terlarut dengan ozon membentuk ion radikal ozonida (O_3^-).

Kecapatan reaksi ozon dengan OH^- membentuk radikal O_2^- atau HO_2^+ yaitu $70 M^{-1} s^{-1}$ dimana selanjutnya radikal O_2^- akan bereaksi dengan O_3 sehingga membentuk O_3^- . Untuk reaksi ozon dengan zat terlarut dalam air akan langsung membentuk O_3^- , yang kemudian akan bereaksi dengan H^+ membentuk HO_3 dengan kecepatan reaksi sebesar $5 \times 10^{10} M^{-1} s^{-1}$ dan selanjutnya akan membentuk OH radikal. Pembentukan OH ini akan beraksi dengan zat-zat organik dalam air ($10^8-10^{10} M^{-1} s^{-1}$), salah satu contohnya adalah reaksi OH radikal dengan ion HCO_3^- dan CO_3^{2-} atau $H_2PO_4^-$ dan HPO_4^{2-} , dimana akan menghasilkan OH . Reaksi dapat dilihat pada persamaan 4.2 dan 4.3 (J. Staehelld dan J. Hoignd, 1985).



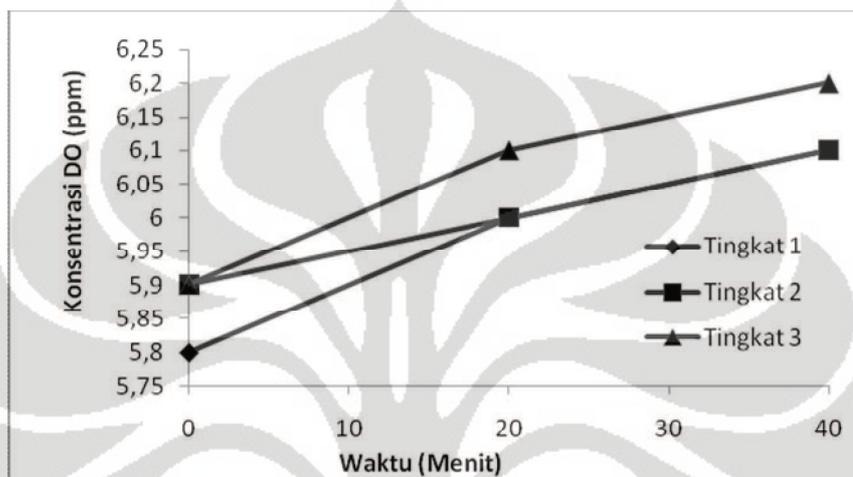
Kecepatan reaksi pengurangan H^+ dalam larutan lebih cepat dibandingkan dengan reaksi ozon dengan OH^- , sehingga menyebabkan kandungan H^+ dalam larutan berkurang sedangkan kandungan OH^- meningkat. Dengan meningkatnya kandungan OH^- ini menyebabkan pH larutan pada Gambar 4.2 semakin meningkat. Peningkatan jumlah OH^- dalam air dapat menyebabkan terhidrolisisnya beberapa logam yang terlarut dalam air membentuk hidroksida. Pembentukan hidroksida ini kemungkinan besar dapat terjadi pula untuk logam Pb menjadi $\text{Pb}(\text{OH})_2$ yang berwarna putih.



Gambar 4.4 Pengaruh TDS Terhadap Proses Ozonasi

Pada Gambar 4.4 menunjukkan bahwa TDS yang ada dalam larutan setelah proses ozonasi mengalami penurunan yang cukup signifikan yaitu dari 249 ppm menjadi 74 ppm pada akhir tingkat 3. Hal ini mengindikasikan bahwa terjadinya oksidasi Pb^{2+} menjadi Pb^{4+} atau terjadinya hidrolisis Pb^{2+} menjadi $\text{Pb}(\text{OH})_2$ yang mengendap sehingga menyebabkan jumlah kation yang ada dalam larutan terus berkurang.

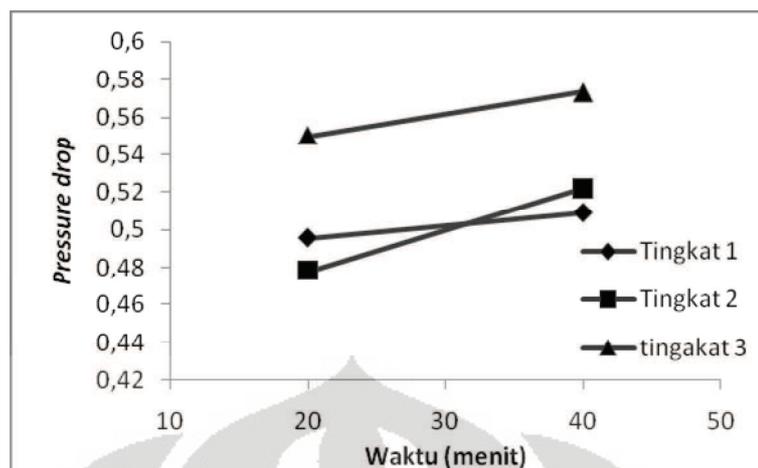
Untuk pengukuran DO (*Dissolve Oxygen*) dengan menggunakan DO-meter, terjadi kenaikan konsentrasi oksigen dalam larutan permeate, hal ini sesuai dengan hasil reaksi yang terjadi pada persamaan 4.1 dimana hasil reaksi menghasilkan oksigen selain itu juga disebabkan oleh adanya penguraian dari ozon yang menghasilkan oksigen. Gambar 4.5 menunjukkan hubungan antara waktu proses ozonasi terhadap DO (*Dissolve Oxygen*).



Gambar 4.5 Pengaruh Proses Ozonasi Terhadap DO (*Dissolve Oxygen*)

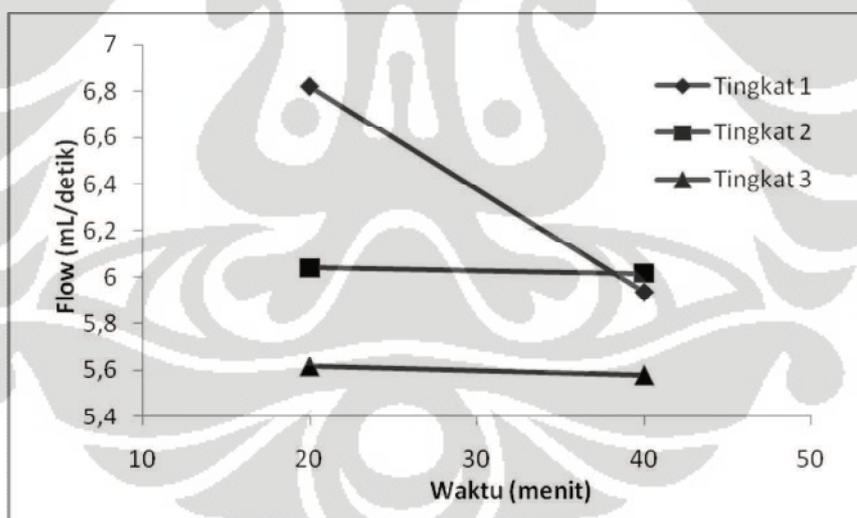
Kinerja Penggunaan Membran Keramik Pada Proses Ozonasi-Filtrasi Logam Pb

Pada proses ozonasi logam Pb^{2+} ini terjadi proses pengendapan yaitu PbO_2 dimana proses pemisahan yang terjadi dapat dilakukan dengan menggunakan membran keramik. Membran keramik yang digunakan mempunyai pori sebesar $0,9 \mu m$, sehingga semua PbO_2 akan tertahan pada membran tersebut. Dengan tertahannya endapan tersebut membuat kerja dari membran tersebut sangat besar hal ini terlihat pada peningkatan *pressure drop* (ΔP) yang terjadi pada air umpan dan keluaran filter (*permeate*). Peningkatan ΔP dapat dilihat pada Gambar 4.10 dibawah ini:



Gambar 4.6 Pengaruh Proses ozonasi terhadap *Pressure Drop*

Gambar 4.6 terlihat bahwa terjadi kenaikan *pressure drop* yang cukup tinggi antara tingkat 1 dan tingkat 3 hal ini menunjukkan bahwa semakin berat kinerja dari membran untuk menyaring endapan PbO_2 . Hal ini sejalan dengan penurunan laju alir pada permeate yang ditunjukkan pada Gambar 4.7 yaitu sebagai berikut:

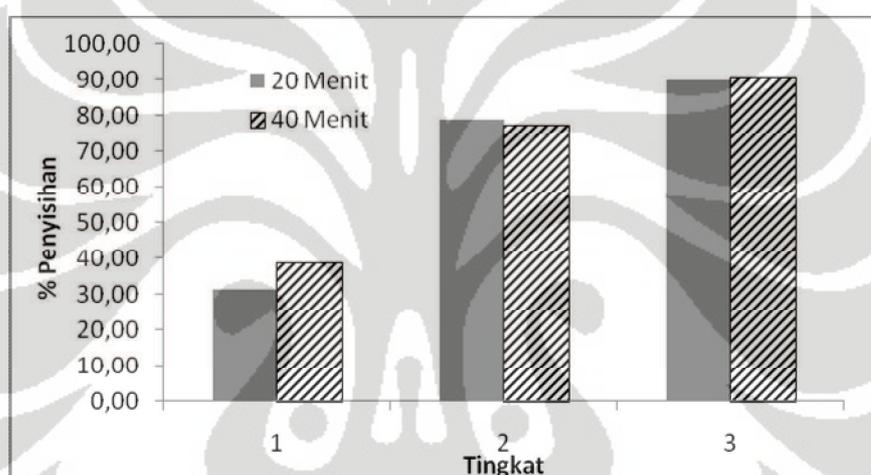


Gambar 4.7 Pengaruh Proses ozonasi Penyisihan Logam Timbal Terhadap Laju Alir Permeate

Pada Gambar 4.7 terjadi penurunan laju alir permeate hal ini dikarenakan *pressure drop* akibat adanya *fouling* dari endapan PbO_2 sehingga menyebabkan penurunan jumlah aliran permeate.

4.2 Penyisihan Logam Tembaga (Cu)

Pada proses penyisihan logam tembaga terlihat pada Gambar 4.7 dimana pada tingkat 1 penyisihan yang terjadi sebesar 38,9 % , penyisihan pada tingkat 2 sebesar 77,47 % dan penyisihan pada tingkat 3 sebesar 90,57 % . Meningkatnya jumlah penyisihan ini dikarenakan oleh semakin selektifnya fungsi membran sehingga dapat menyaring endapan $\text{Cu}(\text{OH})_2$, selektifitas fungsi membran keramik ini kemungkinan dikarenakan oleh akumulasi jumlah endapan yang menempel pada membran. Sehingga pori-pori diameter membran akan semakin kecil, akan tetapi berpengaruh terhadap kenaikan *pressure drop* membran dan penurunan laju alir permeate. Untuk data yang lebih detailnya dapat dilihat pada Lampiran 6.



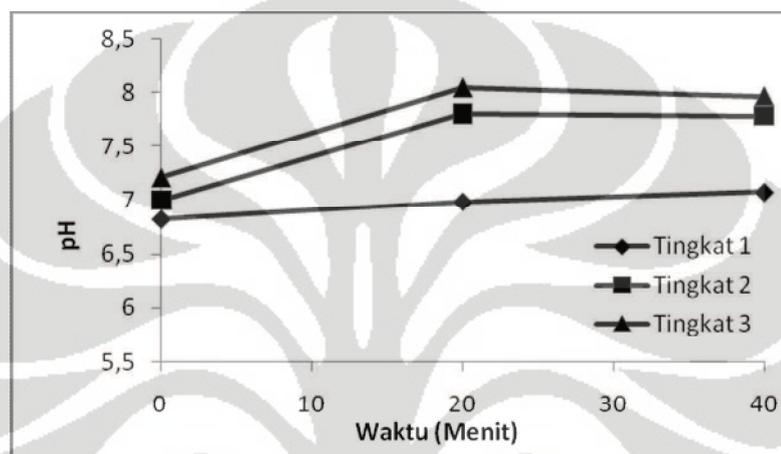
Gambar 4.8 Penyisihan Logam Tembaga dengan Proses Ozonasi-Filtrasi

Pada uji kinerja ozonator untuk penyisihan logam tembaga dapat dilihat pada Tabel 4.2. Dimana terlihat bahwa terjadi penurunan konsentrasi disetiap tingkat.

Tabel 4.2 Konsentrasi Penyisihan Logam Tembaga

Waktu (Menit)	Konsentrasi Logam Tembaga		
	Tingkat 1 (ppm)	Tingkat 2 (ppm)	Tingkat 3 (ppm)
0	6,0007	4,7993	4,0406
20	4,1112	1,0043	0,4035
40	3,6664	1,0811	0,3811

Konsentrasi logam tembaga sebelum mengalami proses ozonasi-filtrasi adalah sebesar 6,0007 ppm dimana mengalami penurunan untuk setiap tingkatnya sehingga hasil akhir penurunan untuk tingkat 3 selama 40 menit didapatkan konsentrasi Cu^{2+} pada larutan permeate sebesar 0,3811 ppm. Penurunan ini dikarenakan oleh adanya pengendapan Cu^{2+} menjadi $\text{Cu}(\text{OH})_2$ yang berwarna biru muda, pengendapan ini dikarenakan oleh meningkatnya pH yang terjadi selama proses ozonasi. Dimana kenaikan pH setelah ozonasi terlihat pada Gambar 4.9.

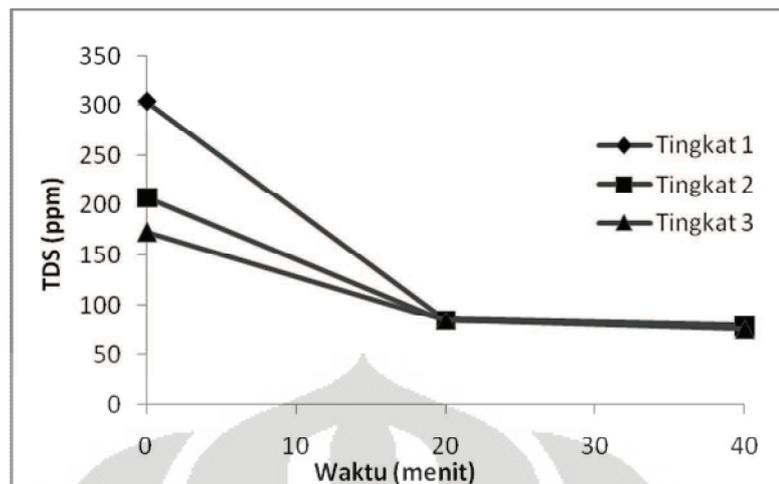


Gambar 4.9 Pengaruh Proses Ozonasi Logam Cu Terhadap pH

Kenaikan pH di setiap tingkat sejalan dengan meningkatnya hidrolisis Cu^{2+} membentuk $\text{Cu}(\text{OH})_2$. Peningkatan pH larutan ini dikarenakan oleh reaksi dekomposisi ozon itu sendiri yang menghasilkan OH^- , sehingga memperkaya jumlah OH^- dalam larutan. Untuk senyawa tembaga itu sendiri karena bervalensi +2 tidak dapat mengalami oksidasi.



Penyisihan logam Cu tersebut sejalan dengan penurunan *Total Dissolve Solid* (TDS), hal ini dikarenakan jumlah Cu^{2+} yang ada dalam larutan telah membentuk endapan $\text{Cu}(\text{OH})_2$ sehingga akan tersaring ketika melewati fase filtrasi dengan membran keramik. Penurunan TDS dapat dilihat pada Gambar 4.10 dibawah ini.

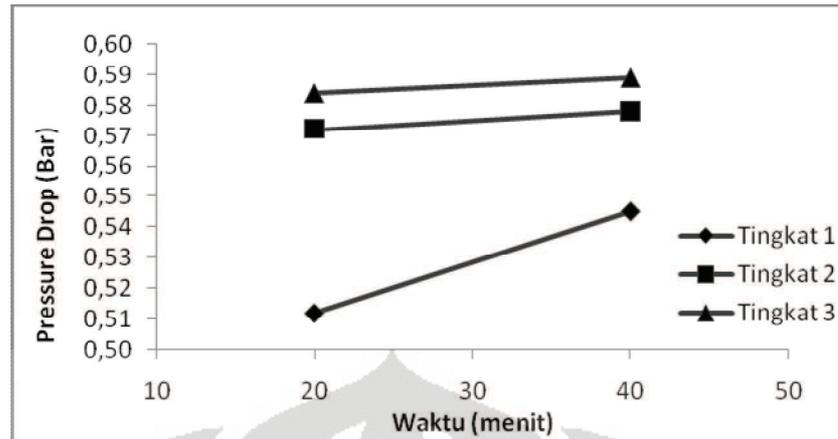


Gambar 4.10 Pengaruh Proses Ozonasi Terhadap TDS (*Total Dissolve Solid*)

Dimana pada Gambar 4.10 terlihat bahwa TDS pada tingkat 1 (0 menit) yaitu 303 ppm yang mengalami penurunan untuk menit ke 20 menit dan 40 menit yaitu 85 ppm dan 79 ppm. Dan setelah mengalami pengolahan pada tingkat ke-3 didapatkan jumlah TDS keluaran permeate sebesar 75 ppm. Pengurangan jumlah TDS ini sebagai indikasi berkurangnya kandungan Cu^{2+} dalam larutan.

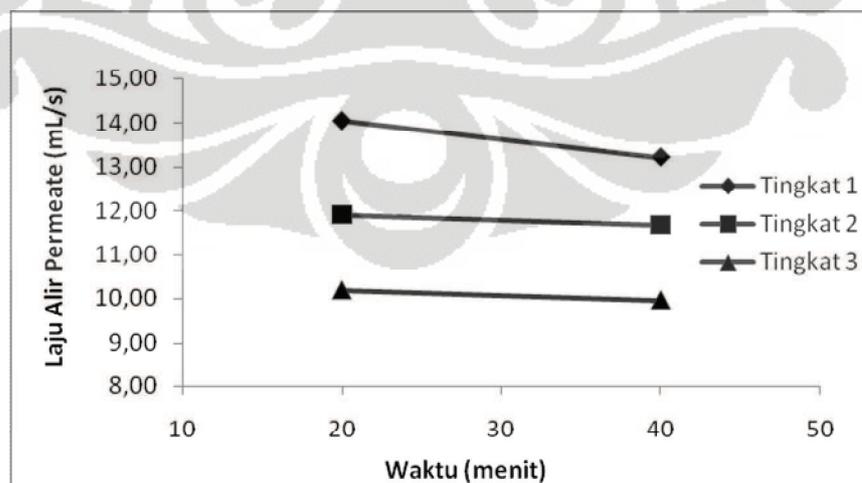
Kinerja Penggunaan Membran Keramik Pada Proses Ozonasi-Filtrasi Logam Cu

Pada proses ozonasi logam Cu ini terjadi proses pengendapan yaitu $\text{Cu}(\text{OH})_2$ dimana proses pemisahan yang terjadi dapat dilakukan dengan menggunakan membran keramik. Membran keramik yang digunakan mempunyai pori sebesar $0,9 \mu\text{m}$, sehingga semua $\text{Cu}(\text{OH})_2$ akan tertahan pada membran tersebut. Dengan tertahannya endapan tersebut membuat kerja dari membran tersebut sangat besar hal ini terlihat pada peningkatan *pressure drop* (ΔP) yang terjadi pada air umpan dan keluaran filter (*permeate*). Peningkatan ΔP dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Pengaruh Proses Ozonasi Untuk Logam Tembaga Terhadap *Pressure Drop* Membran Keramik

Pada tingkat 1 perubahan *pressure drop* antara menit ke-20 dan menit ke-40 meningkat sangat signifikan dimana pada menit ke-20 sebesar 0,5120 bar meningkat menjadi 0,5450 bar. Serta terjadi peningkatan pula untuk tingkat 2 dan tingkat 3. Hal ini dikarenakan terjadinya *fouling* pada membran oleh $\text{Cu}(\text{OH})_2$. *Fouling* membran ini menyebabkan tahanan pada membran semakin meningkat sehingga ΔP membranpun meningkat. Hal ini juga berpengaruh pada laju permeate yang dihasilkan semakin banyak *fouling* pada membran maka tahanan membran akan semakin banyak pula, akibatnya ΔP membran meningkat dan laju permeate yang dihasilkan akan menurun. Gambar 4.12 menunjukkan penurunan laju permeate selama proses ozonasi logam tembaga.



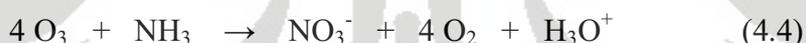
Gambar 4.12 Pengaruh Ozonasi Logam Tembaga Terhadap Laju Alir Permeate

Sehingga dapat disimpulkan bahwa peningkatan *pressure drop* dari 0,5120 bar sampai pada akhirnya tingkat 3 sebesar 0,5890 bar, sedangkan jumlah permeate yang dihasilkan pada tingkat 1 sampai tingkat 3 yaitu dari 14,0130 ml/detik sampai pada tingkat 3 sebesar 9,9640 ml/detik. Sehingga perlu adanya kerja yang ekstra yang terjadi pada membran karena pada tingkat 3 terjadi akumulasi *fouling* dari pengendapan $\text{Cu}(\text{OH})_2$.

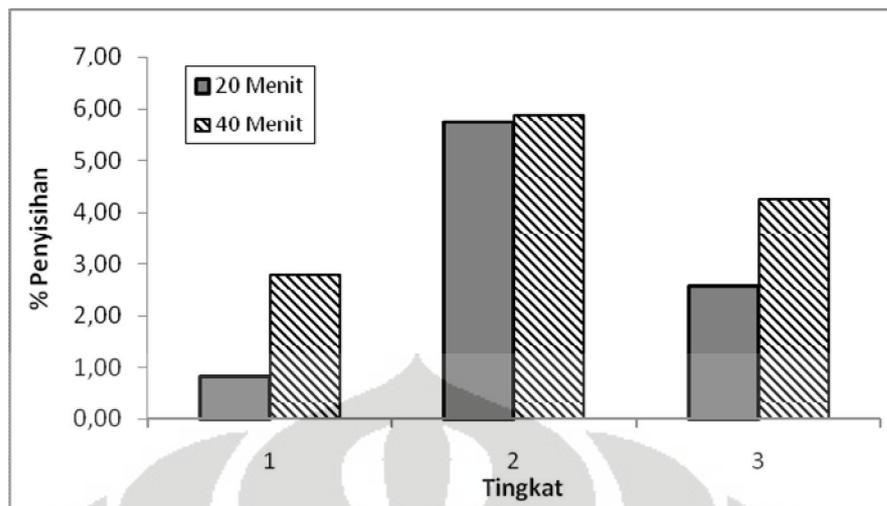
4.3 Penyisihan Senyawa Amonia (NH_3)

Reaksi $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ dengan ozon berlangsung sangat lambat, diperkirakan konstanta kecepatan reaksinya dengan ozon sekitar $20 \text{ M}^{-1}\text{S}^{-1}$ dengan $t_{1/2} = 96$ jam sedangkan proses oksidasi oleh OH radikal dapat berlangsung lebih cepat yaitu $9.7 \times 10^7 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$. Reaksi oksidasi yang terjadi dimana amonia akan dioksidasi oleh OH radikal membentuk NO_2^- (Nitrit) yang akan dioksidasi lebih lanjut membentuk NO_3^- (nitrat). Dimana proses oksidasi NO_2^- menjadi NO_3^- berlangsung cepat. (Urs von Gunten, 2002).

Reaksi antara amonia dengan ozon dapat dilihat pada persamaan 4.4.



Dari koefisien reaksi persamaan 4.4 kebutuhan ozon untuk mengoksidasikan NH_3 menjadi NO_3^- secara teori adalah sebesar 677,65 mg O_3/L . Sedangkan kandungan ozon dalam air adalah sebesar 0,384 mg O_3/L . Kebutuhan ozon yang digunakan untuk mengoksidasikan amonia sangat kurang, hal ini dapat terlihat pada Gambar 4.13 dimana persenyisihan amonia sangat kecil. Selain reaksi dengan ozon, amonia bereaksi pula dengan OH radikal, dimana amonia lebih reaktif terhadap OH radikal dibandingkan dengan ozon.



Gambar 4.13 Penyisihan Senyawa Amonia dengan Proses Ozonasi

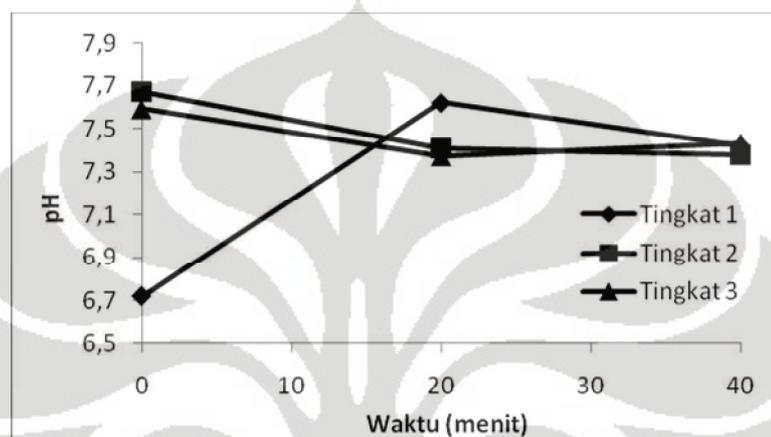
Dari Gambar 4.13 terlihat penyisihan senyawa NH_3 yang sangat kecil sekali yaitu untuk yaitu untuk tingkat 1 adalah sebesar 2,79 %, tingkat 2 adalah sebesar 5,86 % dan tingkat 3 adalah sebesar 4,32 %, untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada lampiran 7. Penyisihan senyawa amonia ini sebagai akibat reaksi antara ozon dengan amonia yang akan membentuk senyawa nitrat dan nitrit.

Tabel 4.3 Konsentrasi Penyisihan Senyawa Amonia

Waktu (menit)	Konsentrasi Amonia (ppm)		
	Tingkat 1	Tingkat 2	Tingkat 3
0	51,567	51,363	44,654
20	51,139	48,419	43,502
40	50,130	48,355	42,763

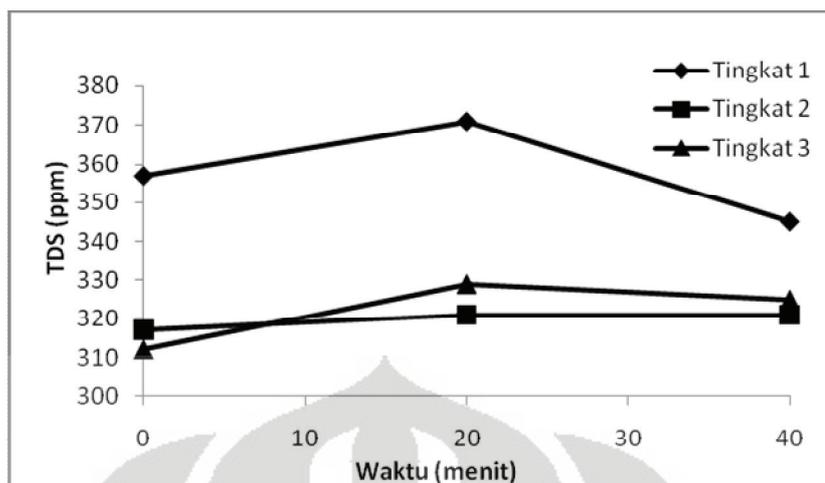
Dari Tabel 4.3 dan Gambar 4.13 penurunan konsentrasi dari amonia relatif kecil dibandingkan dengan penurunan konsentrasi dari logam tembaga dan timbal, hal ini dikarenakan ozon kurang reaktif terhadap senyawa amonia. Penurunan pada konsentrasi yang terjadi kemungkinan disebabkan karena reaksi antara ozon atau OH radikal dimana reaksi ini terjadi pada pH kurang dari 8. Dimana perubahan pH yang sangat signifikan yang dapat dilihat pada Gambar 4.14, perubahan pH tersebut bisa disebabkan oleh hasil dekomposisi dari ozon yaitu

membentuk ion OH^- . Sehingga terjadi kenaikan pH di awal reaksi sebelum terjadi reaksi dengan amonia, karena pada pH 6 amonia masih dalam kationnya. Terjadinya reaksi antara ozon dengan amonia salah satunya adalah ditandai dengan turunnya pH larutan. Penurunan pH larutan ini disebabkan oleh terbentuknya anion nitrat (NO_3^-) dan nitrit (NO_2^-). Pembentukan ini bersifat asam sehingga dapat mempengaruhi pH larutan.



Gambar 4.14 Pengaruh Proses Ozonasi-Filtrasi Senyawa Amonia Terhadap pH Larutan

Pada tingkat 1 terlihat terjadi kenaikan pH larutan yaitu dari 6,72 menjadi 7,62 hal ini terlihat pada proses penyisihan senyawa amonia (Gambar 4.13 dan Tabel 4.3) pada tingkat ke-1 hampir tidak terjadi penurunan konsentrasi berkisar sekitar 50 ppm, hal ini menunjukkan hanya sebagian kecil yang bereaksi dengan ozon. Akan tetapi pada tingkat 2 dimana pH larutan awal sudah naik menjadi 7,67 dan mengalami penurunan menjadi pH 7,41 ini menunjukkan bahwa terjadinya reaksi ozonasi antara amonia dengan ozon, dan penurunan pH ini terjadi karena pembentukan asam (H^+) dan nitrat yang ditunjukkan pada persamaan 4.4.

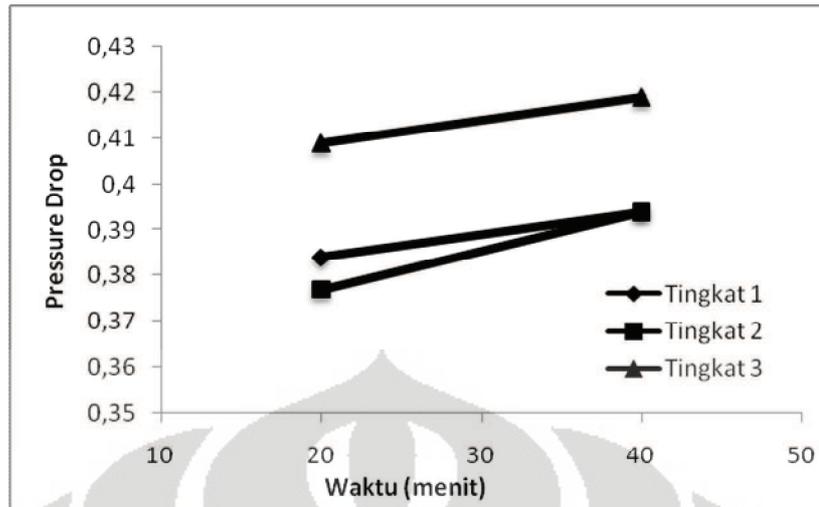


Gambar 4.15 Hubungan Pengaruh Proses Ozonasi Terhadap TDS

Dari Gambar 4.15 terlihat bahwa terjadi sedikit kenaikan jumlah TDS pada masing-masing tingkat kemungkinan disebabkan oleh terjadinya reaksi antara amonia membentuk anion dari NO_2^- dan NO_3^- , serta kation dan anion lainnya yang sudah ada dalam larutan. Adanya jumlah ion-ion dalam larutan itu menyebabkan terjadinya kenaikan jumlah TDS (*Total Dissolve Solid*). Karena Membran Keramik Tidak dapat menyaring sejumlah padatan terlarut yang dimeternya sangat kecil, dimana membran yang digunakan memiliki diameter pori sekitar $0,9 \mu\text{m}$.

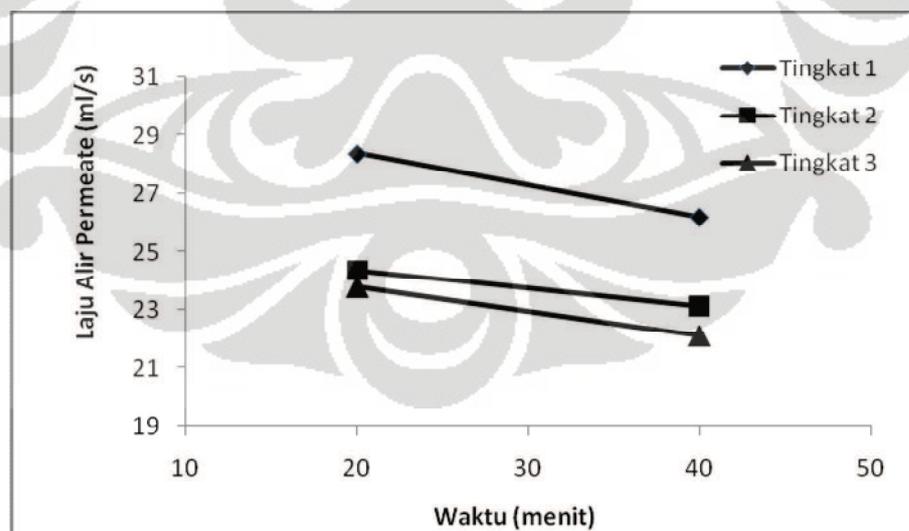
Kinerja Penggunaan Membran Keramik Pada Proses Ozonasi-Filtrasi Senyawa Amonia

Pada proses ozonasi pada senyawa amonia ini berdasarkan oksidasi senyawa amonia membentuk senyawa nitrat dan nitrit. Pada Gambar 4.15 terlihat adanya adanya kenaikan *pressure drop* yang mungkin diakibat adanya *fouling* oleh senyawa-senyawa organik yang tertahan pada membran dan senyawa-senyawa hasil oksidasi oleh ozon lainnya. Pada proses oksidasi senyawa amonia tidak terjadi pengendapan hal ini menyebabkan kerja dari membran tidak seberat pada saat melakukan ozonasi logam timbal dan tembaga.



Gambar 4.16 Pengaruh Proses Ozonasi untuk Senyawa Amonia Terhadap *Pressure Drop* Membran Keramik

Terlihat pada Gambar 4.16 terjadinya kenaikan *pressure drop* disetiap tingkatnya, yaitu pada tingkat 1 sebesar 0,384 bar (20 menit) dan pada tingkat 3 menit ke-40 adalah sebesar 0,419 bar, pada tingkat 3 *pressure drop* yang terjadi semakin meningkat hal ini di akibatkan oleh akumulasi *fouling* pada tingkat 1 dan tingkat 2. Adanya *fouling* pada membran ini diikuti oleh penurunan jumlah permeate yaitu dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Pengaruh Proses Ozonasi Senyawa Amonia Terhadap Laju Alir Permeate

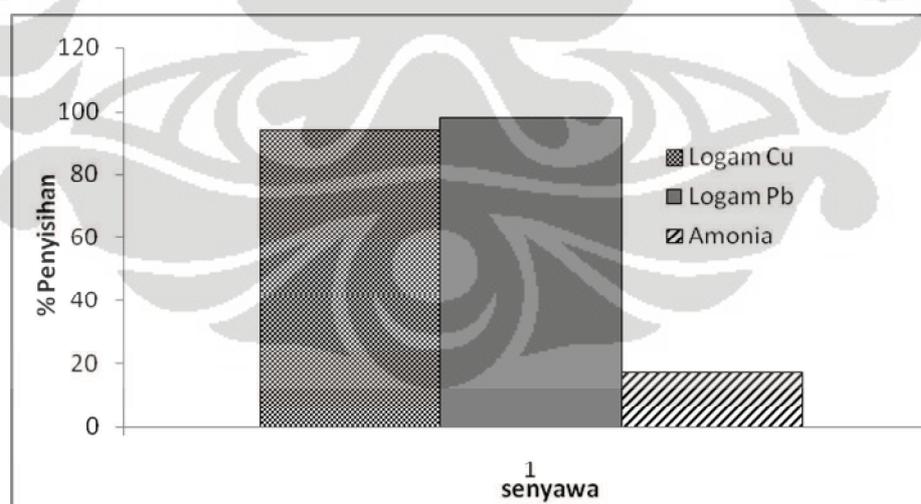
Gambar 4.17 menunjukkan jumlah alir permeate yang dihasilkan semakin menurun dengan *pressure drop* yang meningkat juga. Pada proses ini penyisihan senyawa amonia tidak terlalu besar disebabkan oleh kurang reaktifnya senyawa amonia terhadap proses ozonasi, dimana konsentrasi amonia yang tersisa pada permeate relatif besar.

4.4 Perbandingan Kinerja Ozonasi-Filtrasi Untuk Logam tembaga, Timbal dan Amonia

Pada perbandingan kinerja ini membandingkan antara pengaruh proses ozonasi untuk limbah sintetik yang dicampur dengan limbah sintetik yang dicampur.

4.4.1 Proses Ozonasi-Filtrasi Untuk Limbah Sintetik yang Tidak Dicampur

Logam berat Pb, Cu dan Amonia merupakan komponen yang kandungannya di alam cukup banyak dan apabila melebihi ambang batas maka dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Proses ozonasi ini dilakukan terhadap logam yang tidak dapat teroksidasi, logam yang teroksidasi dan senyawa yang kurang aktif terhadap ozon. Perbandingan kinerja ozon terhadap masing-masing pencemar tersebut secara total dapat dilihat pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Perbandingan Persentase penyisihan Logam Cu, Pb dan amonia

Dari Gambar 4.18 penyisihan terbesar terjadi pada penyisihan logam Pb dimana total penyisihan sampai tingkat 3 mempunyai total sebesar 98,17 %, dan

penyisihan berikutnya adalah logam tembaga yaitu sebesar 93,65 % penyisihan logam tembaga cukup besar mengingat logam tembaga tidak dapat dioksidasi oleh ozon akan tetapi hanya mengandalkan sifat mudah terhidrolisis logam tembaga tersebut dengan memanfaatkan kenaikan pH yang terjadi selama proses ozonasi serta adanya membran keramik yang dapat melakukan filtrasi secara efektif terhadap endapan $\text{Cu}(\text{OH})_2$, akan tetapi mengakibatkan kerja yang cukup berat terhadap membran, dengan *pressur drop* yang cukup tinggi yaitu sebesar 0,589 bar.

Untuk senyawa amonia memiliki persentase penyisihan yang sangat kecil dibandingkan kedua logam berat yaitu sebesar 17,07 %, hal ini di karenakan sifat dari amonia yang kurang reaktif terhadap ozon, sehingga masih banyak sekali jumlah amonia yang tersisa. Sehingga proses oksidasi lanjut terhadap senyawa amonia kurang efektif digunakan pada senyawa amonia.

Konsentrasi sisa dari penyisihan logam timbal, tembaga dan amonia ini pada setiap tingkat dan dibandingkan dengan baku mutu baku mutu yang ditetapkan pemerintah menurut KEPMENKES No.907/MENKES/SK/VII/2002 tentang syarat-syarat dan pengawasa air minum, yang dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Analisa Keluaran Permeate Disetiap Tingkat yang dibandingkan dengan Baku Mutu.

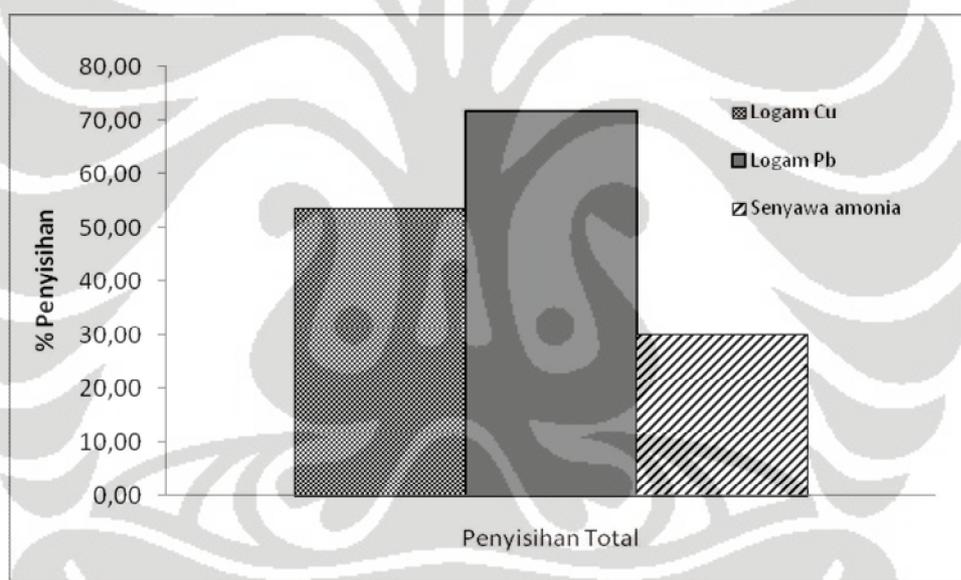
No	Unsur/Senyawa	Tingkat	Konsentrasi Permeate (ppm)	Baku Mutu (ppm)
1	Cu (Tembaga)	1	3,664	2
		2	1,0811	
		3	0,3811	
2	Pb (Timbal)	1	0,1881	Tidak Boleh Ada
		2	0,0938	
		3	0,0688	
3	NH_3 (Amonia)	1	50,13	1,5
		2	48,36	
		3	42,72	

Dari data Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa konsentrasi tembaga pada tingkat 2 dan 3 telah memenuhi syarat baku mutu air minum, akan tetapi untuk logam timbal dan amonia masih belum memnuhi baku mutu. Hal ini perlu dilakukan

pengolahan lagi atau dengan merubah ozonator yang digunakan dengan menggunakan ozonator yang memiliki produktivitas yang lebih tinggi lagi sehingga persentase penyisihan dapat lebih ditingkatkan.

4.4.2 Proses Ozonasi-Filtrasi untuk limbah sintetik Campuran (Tembaga, Timbal dan Amonia)

Proses ini ozonasi-filtrasi untuk limbah sintetik yang mengandung logam Pb, Tembaga dan amonia ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh persentase penyisihan proses ozonasi terhadap limbah sintetik yang dicampur. Konsentrasi campuran dari limbah sintetik ini terdiri dari; tembaga (Cu) sebesar 5 ppm, Timbal (Pb) sebanyak 5 ppm dan amonia (NH_3) sebanyak 40 ppm. Persentase penyisihan yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 4.19.



Gambar 4.19 Persentase Penyisihan Limbah Sintetik Campuran Pada Proses Ozonasi-Filtrasi

Dari hasil penelitian untuk proses ozonasi-filtrasi limbah sintetik yang dicampur ini, dapat dilihat pada Gambar 4.19. Total persentase penyisihan yang terjadi untuk logam tembaga adalah sebesar 50,79 %, logam timbal sebesar 71,98 % dan amonia sebesar 30,03%. Proses ozonasi-filtrasi ini dilakukan pada kondisi operasi yang sama dengan proses ozonasi limbah sintetik yang tidak dicampur,

dimana perbandingan antara penyisihan logam sintetik yang dicampur dengan limbah sintetik yang tidak dicampur dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Perbandingan penyisihan antara Proses Ozonasi Untuk Limbah Sintetik yang Dicampur dan Limbah Sintetik yang Tidak Dicampur.

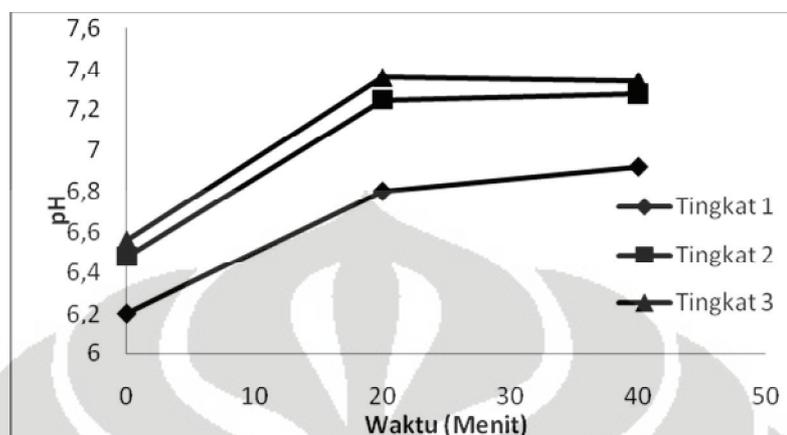
Limbah sintetik	Ozonasi Untuk Setiap Limbah Sintetik	Ozonasi Untuk Limbah Sintetik Campuran
Tembaga (Cu)	93,65 %	53,79 %
Timbal (Pb)	98,17 %	71,98 %
Amonia (NH ₃)	17,07 %	30,03 %

Pada Tabel 4.5 terlihat juga perbandingan penyisihan untuk tembaga dimana terjadi penurunan dari limbah sintetik yang tidak dicampur yaitu 93,65 % sedangkan persentase penyisihan logam tembaga untuk limbah sintetik yang digabung sebesar 71,98 %. Perbedaan tingkat penyisihan ini kemungkinan disebabkan oleh terjadinya reaksi antara tembaga dengan amonia yang berasal dari senyawa sintetik itu membentuk senyawa kompleks $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^+$ yang larut dalam air. Sehingga ada sebagian Cu^{2+} yang tidak mengendap membentuk $\text{Cu}(\text{OH})_2$.

Pembentukan senyawa kompleks $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^+$ kemungkinan menyebabkan persentase penyisihan amonia meningkat menjadi 30,03 % untuk limbah sintetik yang dicampur, sedangkan untuk limbah sintetik yang tidak dicampur yaitu sebesar 17,07 %.

Sedangkan untuk penyisihan timbal untuk limbah sintetik yang dicampur sebesar 71,98 %, hal ini kemungkinan kurangnya proses oksidasi yang terjadi. Dimana proses oksidasi juga kemungkinan terjadi pada senyawa amonia, serta jumlah OH^- yang dikonsumsi oleh Cu^{2+} menyebabkan pembentukan $\text{Pb}(\text{OH})_2$ berkurang juga. Selain itu kondisi lain yang mendukung persentase penyisihan lainnya adalah pH, kondisi pH yang terjadi pada proses ozonasi-filtrasi yang dicampur ini hanya sekitar pH 7. Sedangkan untuk proses oksidasi Pb^{2+} menjadi

Pb^{4+} terjadi pada pH 9. Gambar 4.20 menunjukkan pengaruh proses ozonasi terhadap pH.



Gambar 4.20 Pengaruh Proses Ozonasi untuk Limbah Sintetik yang Dicampur Terhadap pH Larutan

Pada Gambar 4.20 terlihat bahwa untuk proses ozonasi-filtrasi untuk limbah sintetik yang dicampur hanya sampai pH 7,36. Pada pH dibawah atau sama dengan 8 reaksi oksidasi selain reaksi langsung dengan ozon terjadi reaksi huga dengan OH radikal. Sedangkan pH larutan pada proses ozonasi-filtrasi untuk limbah sintetik yang tidak dicampur didapatkan untuk timbal sebesar 8,98, tembaga sebesar 8,05 dan untuk amonia sebesar 7,67. Sedangkan untuk pH limbah sintetik yang dicampur hanya mencapai 7,36. Hal ini menunjukkan kondisi pH larutan sangat mempengaruhi kondisi penyisihan baik untuk logam tembaga, timbal dan amonia.

Kandungan ozon yang ada dalam air yang dihasilkan oleh ozonator merk resun adalah sebesar 0,384 mg O_3/L , sedangkan kebutuhan ozon yang digunakan untuk mengoksidasi timbal dan amonia masing-masing adalah sebesar 1,159 mg O_3/L dan 451,76 mg/L, sehingga total kebutuhan ozon adalah sebesar 452,919 mg O_3/L . ozon yang digunakan untuk menyisihkan limbah sintetik campuran tersebut sangat kurang. Sehingga perlu adanya ozonator yang memiliki produktivitas yang lebih besar sehingga tingkat penyisihannya meningkat.

4.5 Penyisihan COD Pada Proses Ozonasi-Filtrasi Logam Tembaga, Timbal dan Amonia

Kebutuhan Oksigen Kimia (KOK) atau *Chemical Oxygen Demand* (COD) adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam 1 liter contoh air. Uji COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasikan melalui proses mikrobiologi.

Tabel 4.6 Hasil Analisa COD untuk Logam Tembaga, Timbal dan Amonia

No	Sampel	Hasil	Satuan
1	Amonia 0 menit (Tingkat I)	ND	mg/L
2	Amonia 40 Menit (Tingkat I)	ND	mg/L
3	Amonia 0 Menit (Tingkat II)	ND	mg/L
4	Amonia 40 (Tingkat II)	17.19	mg/L
5	Amonia 0 (Tingkat III)	ND	mg/L
6	Amonia 40 (Tingkat III)	62.02	mg/L
7	Logam Cu 0 menit (Tingkat I)	ND	mg/L
8	Logam Cu 40 menit (Tingkat I)	ND	mg/L
9	Logam Cu 0 menit (Tingkat II)	ND	mg/L
10	Logam Cu 40 menit (Tingkat II)	ND	mg/L
11	Logam Cu 0 menit (Tingkat III)	ND	mg/L
12	Logam Cu 40 menit (Tingkat III)	ND	mg/L
13	Logam Pb 0 menit (Tingkat I)	ND	mg/L
14	Logam Pb 40 menit (Tingkat I)	ND	mg/L
15	Logam Pb 0 menit (Tingkat II)	56.97	mg/L
16	Logam Pb 40 menit (Tingkat II)	ND	mg/L
17	Logam Pb 0 menit (Tingkat III)	52.53	mg/L
18	Logam Pb 40 menit (Tingkat III)	ND	mg/L

*ND = *Not Detected*

Pada Tabel 4.2 terlihat bahwa secara umum hasil analisis COD tidak terdeteksi baik sebelum proses ozonasi atau setelah proses ozonasi. Hal ini kemungkinan disebabkan kandungan senyawa organik yang terdapat dari sumber air DTK-FTUI sangat kecil sekali.

BAB V

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Proses Ozonasi-filtrasi dalam unit pengolahan air terbukti dapat menyisihkan logam timbal dan tembaga, akan tetapi kurang efektif untuk menyisihkan senyawa amonia.
2. Untuk proses ozonasi-filtrasi limbah sintetis yang tidak dicampur, penyisihan yang paling baik terjadi untuk logam timbal dengan penyisihan sebesar 98,17 %, yang berikutnya logam tembaga sebesar 93,65 % dan senyawa amonia sebesar 17,07 %.
3. Untuk proses ozonasi-filtrasi limbah sintetis campuran, didapatkan logam timbal masih lebih mudah dioksidasi dibandingkan logam Cu dan amonia, besarnya penyisihan yang didapatkan adalah 71,98 % untuk logam Pb, 53,79 % untuk logam tembaga dan 30,03 % untuk amonia.
4. Penggunaan ozon dalam proses penyisihan logam timbal dan tembaga menyebabkan adanya *fouling* yang cukup besar karena adanya pengendapan yang terjadi selama proses ozonasi. Terjadinya *fouling* ini ditunjukkan oleh besarnya *pressure drop* (ΔP) dan kecilnya laju permeate.

DAFTAR PUSTAKA

- Andreozzi, Roberto. At al. “*Advance Oxidation Processes (AOP) for Water Purification and Recovery.*” 1999. Dari sciencedirect.
- Chu, Li-bing et.al. “*Enhanced Ozonation of Simulated Dyestuff Wastewater by microbubbles.*” Diakses 2007. Dari sciencedirect.
- Day, R.A dan A.L Underwood. 1996. *Analisis Kimia Kualitatif*. Edisi ke empat. Diterjemahkan oleh Dr. R. Soedoro. Erlangga. Jakarta.
- Gunten, Urs von. “*Ozonation of Drinking Water: Part I. Oxidation, kinetics and Product Formation.*” 2002. Dari sciencedirect.
- Harrison, Roy M dan D.P.H Laxen. 1984. *Lead Pollution*. Chapman and Hall Association with Methuen Inc. New York.
- Joyti, K.K., dan A.B. Pandit. “*Ozon and Cavitation For Water disinfectant.*” *Biochemical Engineering Journal*. 2002. Dari sciencedirect.
- Metcalf dan Eddy, Inc. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. Edisi Keempat. The McGraw-Hill Companies, Inc. New York
- Mulder, M. 1996. *Basic Principles of membrane Technology*. Netherland : Kluwer Academic Publishers.
- Muliana, Ricki M. 2005. *Kesehatan Lingkungan*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Pare-Titus, Marc, et al., “*Degradations of Chlorophenols by Means of Advance Oxidation Processes.*” 2003. Dari sciencedirect.
- Patrier, Christian dan Anne Francony. “*Ultrasonic Waste-water Treatment: Incidence of Ultrasonic Frequency on The Rate of Phenol and Carbon Tetrachloride Degradation.*” 1997. Dari sciencedirect.

Peavy, Howard S., Donald R. Rowe dan George Tchobanoglous. 1985. *Environmental Engineering*. McGraw-Hill-International Edition, civil engineering series. New York.

Sartor. M, B. Schlichter, H. Gattjal, and V. Mavrov. 2008. “*Demonstration of a new hybrid process for the decentralised drinking and service water production from surface water in Thailand*”, *Desalination*, Dari sciencedirect.

Slamet, Juli soemirat. 1994. *Kesehatan Lingkungan*. Gadjah mada university press. Yogyakarta.

Stahelld, Johannes dan Jurg Hoignd. 1984. “*Decomposition of Ozone in Water in the Presence of Organic Solutes Acting as Promoters and Inhibitors of Radical Chain Reactions*”. Swiss Federal Institute for Water Resources and Water Pollution Control, EAWAG, Switzerland

Svehla, G. 1985. *Vogel Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro*. Edisi kelima. Bagian I dan II. Diterjemahkan oleh Ir. L. Setiono dan Dr. A Hadyana Putjaatmaka. PT Kalman Media Pustaka.

Widowati, Wahyu., Astiana sationo dan Raymond Jusuf. 2008. *Efek Toksik Logam*. Penerbit andi. Yogyakarta.

“*Ammonia*”. Diakses 14 may 2009 <http://en.wikipedia.org/wiki/Ammonia>

“*Copper*”. akses : september 2009 <http://en.wikipedia.org/wiki/Copper>

“*Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 907/MENKES/SK/VII/2002 tentang syarat-syarat dan pengawasan air minum.*” Diakss tanggal 19 Mei 2009. www.icel.or.id/index2.php?option=com_content&do_pdf=1

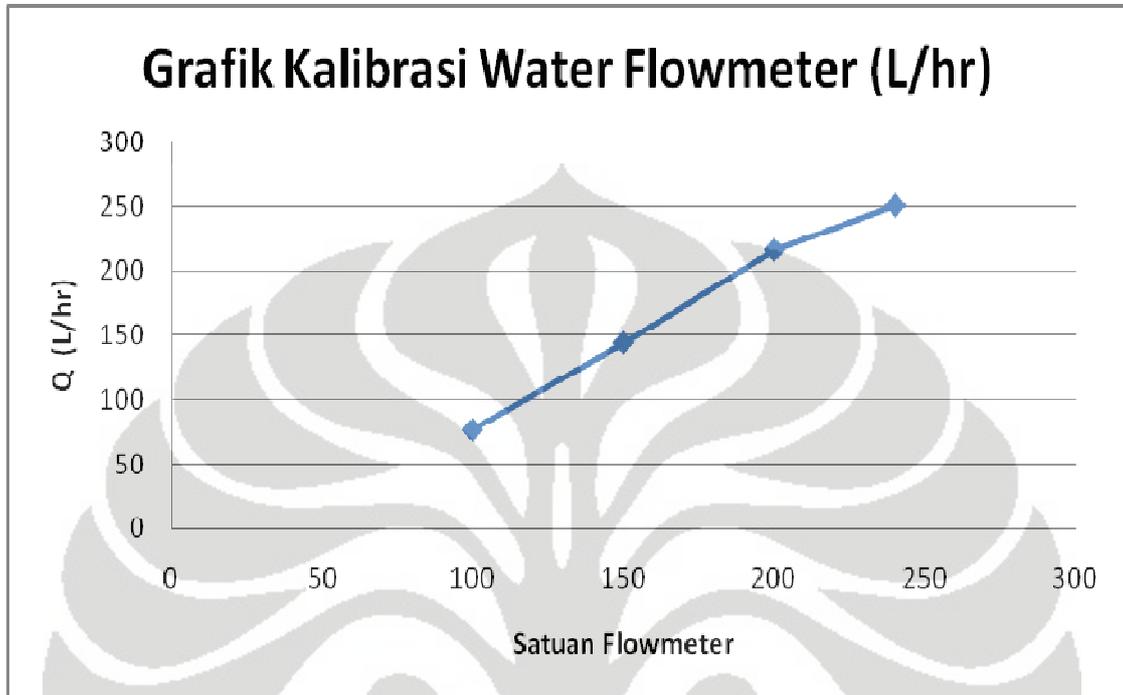
Lampiran 1. Kalibrasi Water Flowmeter

Q Alat (L/h)	Volume (mL)	t (detik)	Q (mL/s)	Q (L/h)	Rata Q (L/h)	STD (Q) Pengulangan
100	498	22,62	22,01592	79,25729	77,03274355	1,56883912
	500	23,56	21,22241	76,40068		
	517	24,74	20,89733	75,2304		
	512	24,14	21,20961	76,3546		
	508	23,47	21,64465	77,92075		
150	500	12,44	40,19293	144,6945	144,2328101	2,113752374
	489	12,03	40,64838	146,3342		
	502	12,44	40,3537	145,2733		
	504	12,59	40,03177	144,1144		
	502	12,84	39,09657	140,7477		
200	1002	16,89	59,32504	213,5702	215,8158926	2,416385903
	960	16	60	216		
	998	16,53	60,37508	217,3503		
	1000	16,88	59,24171	213,2701		
	985	16,2	60,80247	218,8889		
240	1000	14,47	69,1085	248,7906	250,1422355	2,513099717
	980	14,19	69,06272	248,6258		
	975	14	69,64286	250,7143		
	960	13,59	70,64018	254,3046		
	980	14,21	68,96552	248,2759		

% Kesalahan Alat Flowmeter Air

Q Pada Alat (L/hr)	Q Sebenarnya (L/hr)	% Error
100	77,03274355	29,81493
150	144,2328101	3,998528
200	215,8158926	7,328419
240	250,1422355	4,054587

(Lanjutan Lampiran 1)



Lampiran 2. Uji Produktivitas Ozonator Merek Resun

Pengukuran Konsentrasi Ozon dengan Metode Iodometri

Reaksi Ozon dengan KI:



Iodium (I_2) yang dibebaskan dititrasi dengan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$:



Prosedur Perhitungan :

$$[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}] = 0.0025 \text{ M}$$

- mmol $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ = (V hulu + V hilir) x 0.0025 M
- mol $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ = (V hulu + V hilir) x 0.0025 / 1000
- Mol O_3 = $\frac{1}{2}$ x mol $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
- Gram O_3 = mol x 48
- Produktivitas Ozon = gr O_3 / t (detik)
- Produktivitas Ozon = gr O_3 x 3600 / t (jam)

Uji Produktivitas Ozonator Merk Resun

$$Q = 1200 \text{ (L/Jam)}$$

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)
112.69	51.10	0.80	0,0999
132.31	61.20	1.20	0.1019
156.87	70.30	3.9	0,1022
Rata-rata			0,1013

Lampiran 3. Perhitungan Kadar Ozon Dalam Air

Volume sampel yang diambil : 25 mL

$[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}] = 0.00025 \text{ M}$

Prosedur Perhitungan:

- $\text{mmol Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = (\text{V hulu} + \text{V hilir}) \times 0.00025 \text{ M}$
- $\text{mol Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = (\text{V hulu} + \text{V hilir}) \times 0.00025 / 1000$
- $\text{Mol O}_3 = \frac{1}{2} \times \text{mmol Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
- $\text{Gram O}_3 = \text{mol} \times 48$
- $\text{Produktivitas Ozon} = \text{gr O}_3 / 25 \text{ mL}$
- $\text{Produktivitas Ozon} = (\text{gr O}_3 \times 1000) / (25 \text{ mL}/1000) = (\text{mg/L}) \text{ atau ppm}$

Ozonator Resun

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	1.6	0,000000384	0.384

* Uji Kadar ozon dalam air (ozonator Merk Resun) dilakukan oleh Fahrul Rozi.

Lampiran 4. Perhitungan Pembuatan larutan Limbah sintetik

1. Contoh pembuatan larutan logam yang mengandung $\text{Cu}^{2+} = 8 \text{ ppm}$

Bahan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Cu^{2+} yang dibutuhkan = 8 ppm = 8 mg Cu^{2+} /1 L H_2O

BM $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 249.5 \text{ g/mol}$

BM $\text{Cu}^{2+} = 63.5 \text{ g/mol}$

$$\begin{aligned} \text{Massa garam yang dibutuhkan /L} &= \frac{BM \text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}}{BM \text{Cu}^{2+}} \times [\text{Cu}] \text{ yang diinginkan} \\ &= \frac{249,5}{63,5} \times 8 \text{ mg/L} = 31,43307 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Karena Tanki Reservoir mempunyai volume 50 L, Maka:

Massa $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ yang ditimbang adalah sebesar $31,43307 \times 50 = 1571,654 \text{ mg} = 1,571 \text{ gram}$

2. Contoh pembuatan larutan logam yang mengandung $\text{Pb}^{2+} = 4 \text{ ppm}$

Bahan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$

Pb^{2+} yang dibutuhkan = 4 ppm = 4 mg Pb^{2+} /1 L H_2O

BM $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 = 331,2 \text{ g/mol}$

BM $\text{Pb}^{2+} = 207,2 \text{ g/mol}$

$$\begin{aligned} \text{Massa garam yang dibutuhkan /L} &= \frac{BM \text{Pb}(\text{NO}_3)_2}{BM \text{Pb}^{2+}} \times [\text{Pb}^{2+}] \text{ yang diinginkan} \\ &= \frac{331,2}{207,2} \times 4 \text{ mg/L} = 6,3938 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Karena Tanki Reservoir mempunyai volume 50 L, Maka:

Massa $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ yang ditimbang adalah sebesar = 0,3206 gram

3. Contoh pembuatan larutan logam yang mengandung $\text{NH}_3 = 60 \text{ ppm}$

Bahan NH_4Cl

NH_3 yang dibutuhkan = 60 ppm = 60 mg NH_3 /1 L H_2O

BM $\text{NH}_4\text{Cl} = 53,5 \text{ g/mol}$

BM $\text{NH}_3 = 17 \text{ g/mol}$

$$\text{Massa garam yang dibutuhkan /L} = \frac{BM \text{NH}_4\text{Cl}}{BM \text{NH}_3} \times [\text{NH}_3] \text{ yang diinginkan}$$

(Lanjutan lampiran 4)

$$= \frac{53,5}{17} \times 60 \text{ mg/L} = 185,294 \text{ mg/L}$$

Karena Tanki Reservoir mempunyai volume 50 L, Maka:

Massa NH₄Cl yang ditimbang adalah sebesar = 9,2647 gram



Lampiran 5. Data Penyisihan Logam Pb

1) Data Konsentrasi dan % Penyisihan Logam Pb

Tingkat	Waktu (Menit)	Konsentrasi Pb (ppm)	Penyisihan (%)	Penyisihan Total (%)
Tingkat 1	0	3,7615	-	98,17
	20	0,1972	94,76	
	40	0,1881	94,999	
Tingkat 2	0	3,5826	-	
	20	0,0872	97,57	
	40	0,0938	97,38	
Tingkat 3	0	3,3945	-	
	20	0,078	97,70	
	40	0,06883	97,972	

2) Data pH Selama Proses Ozonasi

Waktu	pH		
	Tingkat 1	Tingkat 2	Tingkat 3
0	6,87	6,96	7,59
20	8,47	8,63	8,98
40	8,47	8,46	8,88

3) Data TDS

Waktu (Menit)	TDS		
	Tingkat 1 (ppm)	Tingkat 2 (ppm)	Tingkat 3 (ppm)
0	249	159	142
20	85	85	72
40	85	86	74

(Lanjutan Lampiran 5)

4) Data Pressure Drop (ΔP)

Waktu	Tingkat 1		Tingkat 2		Tingkat 3	
	Pembacaan (bar)	Rata-rata (bar)	Pembacaan (bar)	Rata-rata (bar)	Pembacaan (bar)	Rata-rata (bar)
20	0,493	0,495667	0,48	0,478	0,542	0,55
	0,494		0,476		0,558	
	0,5		0,478		0,55	
40	0,516	0,509	0,522	0,522	0,575	0,573333
	0,5		0,52		0,572	
	0,511		0,524		0,573	

5) Data Laju Alir Permeate

Waktu	Penurunan Laju Alir		
	Tingkat 1 (L/Jam)	Tingkat 2 (L/Jam)	Tingkat 3 (L/Jam)
20	6,819	6,039	5,618
40	5,934	6,015	5,581

6) Data Dissolve Oxygen (DO)

Waktu (Menit)	Pengaruh Dissolve Oxygen		
	Tingkat 1 (ppm)	Tingkat 2 (ppm)	Tingkat 3 (ppm)
0	5,8	5,9	5,9
20	6	6	6,1
40	6,1	6,1	6,2

Lampiran 6. Penyisihan Logam Cu

1) Data Konsentrasi dan % Penyisihan Logam Cu

Tingkat	Waktu (Menit)	Konsentrasi (ppm)	Penyisihan (%)	Total penyisihan (%)
Tingkat 1	0	6,0007	-	35,19
	20	4,1112	31,49	
	40	3,6664	38,90	
Tingkat 2	0	4,7993	-	78,27
	20	1,0042	79,08	
	40	1,0811	77,47	
Tingkat 3	0	4,0406	-	90,29
	20	0,4035	90,01	
	40	0,3811	90,57	

2) Data pH selama Proses Ozonasi

Waktu	pH		
	Tingkat 1	Tingkat 2	Tingkat 3
0	6,82	7	7,21
20	6,99	7,81	8,05
40	7,08	7,79	7,97

3) Data TDS

Waktu	TDS (ppm)		
	Tingkat 1	Tingkat 2	Tingkat 3
0	303	207	173
20	85	85	84
40	79	78	75

4) Data Pressure Drop (ΔP)

Waktu	Pressure Drop (Bar)		
	Tingkat 1	Tingkat 2	Tingkat 3
20	0,5120	0,5720	0,5840
40	0,5450	0,5780	0,5890

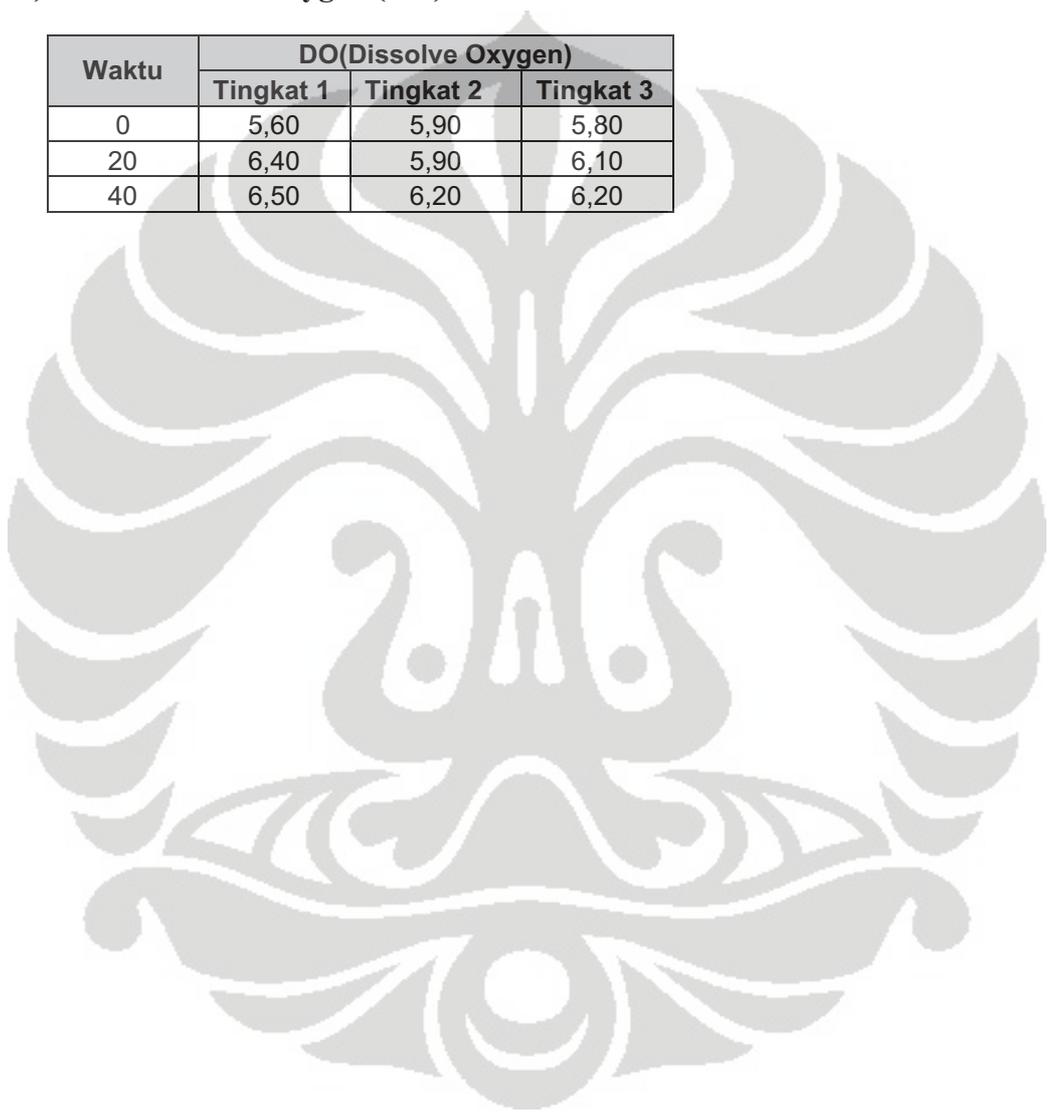
(Lanjutan Lampiran 6)

5) Data Laju Alir Permeate

Waktu	Laju Alir Permeate (L/h)		
	Tingkat 1	Tingkat 2	Tingkat 3
20	14,0380	11,9010	10,1966
40	13,2127	11,6730	9,9640

6) Data Dissolve Oxygen (DO)

Waktu	DO(Dissolve Oxygen)		
	Tingkat 1	Tingkat 2	Tingkat 3
0	5,60	5,90	5,80
20	6,40	5,90	6,10
40	6,50	6,20	6,20



Lampiran 7. Penyisihan Senyawa Amonia

1) Data Konsentrasi dan % Penyisihan Senyawa Amonia

Tingkat	Waktu	Konsentrasi Amonia	Penyisihan (%)	Total Penyisihan (%)
Tingkat 1	0	51,567	-	17,07
	20	51,139	0,83	
	40	50,130	2,79	
Tingkat 2	0	51,363	-	
	20	48,419	5,73	
	40	48,355	5,86	
Tingkat 3	0	44,654	-	
	20	43,502	2,58	
	40	42,763	4,24	

2) Data pH Selama Proses Ozonasi

Waktu	pH		
	Tingkat 1	Tingkat 2	Tingkat 3
0	6,72	7,67	7,59
20	7,62	7,41	7,37
40	7,42	7,38	7,43

3) Data TDS

Waktu	TDS		
	Tingkat 1	Tingkat 2	Tingkat 3
0	357	317	312
20	371	321	329
40	345	321	325

4) Data Dissolve Oxygen (DO)

Waktu	DO (Dissolve Oxygen)		
	Tingkat 1	Tingkat 2	Tingkat 3
0	5,7	5,8	6
20	6	6	6,2
40	6	6,1	6,3

5) Data Pressure Drop (ΔP)

Waktu	Pressure Drop Membran		
	Tingkat 1	Tingkat 2	Tingkat 3
20	0,384	0,377	0,409
40	0,394	0,394	0,419

6) Data Laju Alir Permeate

Waktu	Laju Alir Permeate		
	Tingkat 1	Tingkat 2	Tingkat 3
20	28,38	24,351	23,8
40	26,2	23,127	22,114

Lampiran 8 Penyisihan Limbah Sintetik yang Dicampur

1. Data Konsentrasi dan % Penyisihan Pb

Tingkat	Waktu (menit)	Konsentrasi Pb (ppm)	% Penyisihan	% Penyisihan Total
Tingkat 1	0	5,183	-	71,98
	20	2,596	49,92	
	40	2,557	50,67	
Tingkat 2	0	4,270	-	
	20	1,926	54,89	
	40	1,504	64,77	
Tingkat 3	0	4,087	-	
	20	1,491	63,51	
	40	1,452	64,47	

2. Data Konsentrasi dan % Penyisihan Logam Cu

Tingkat	Waktu (Menit)	Konsentrasi Cu (ppm)	% Penyisihan	% Penyisihan Total
Tingkat 1	0	4,844	-	53,79
	20	3,739	22,82	
	40	3,782	28,42	
Tingkat 2	0	4,306	-	
	20	3,065	28,81	
	40	3,043	29,34	
Tingkat 3	0	3,530	-	
	20	2,287	35,23	
	40	2,239	36,58	

3. Data Konsentrasi dan % Penyisihan Senyawa Amonia

Tingkat	Waktu (Menit)	Konsentri NH ₃ (ppm)	% Penyisihan	% penyisihan total
Tingkat 1	0	41,533	-	30,03
	20	35,967	13,40	
	30	35,567	14,37	
Tingkat 2	0	39,611	-	
	20	34,068	13,99	
	30	33,478	15,48	
Tingkat 3	0	36,436	-	
	20	31,731	12,91	
	30	29,062	20,24	

4. Data pH Selama Proses Ozonasi

Waktu	pH		
	Tingkat 1	Tingkat 2	Tingkat 3
0	6,2	6,48	6,56
20	6,8	7,25	7,36
40	6,92	7,28	7,34

5. Data TDS

Waktu	TDS (ppm)		
	Tingkat 1	Tingkat 2	Tingkat 3
0	232	223	220
20	217	213	213
40	215	211	213

6. Data Dissolve Oxygen (DO)

Waktu	DO (Dissolve Oxygen)		
	Tingkat 1	Tingkat 2	Tingkat 3
0	5,7	6	6,1
20	6,2	6,5	6,4
40	6,3	6,5	6,7

7. Laju Alir Permeat

Waktu	Laju Alir Permeate		
	Tingkat 1	Tingkat 2	Tingkat 3
20	8,97	7,96	7,47
40	8,65	7,60	7,18

8. Data Pressure Drop (ΔP)

Waktu	Pressure Drop (Bar)		
	Tingkat 1	Tingkat 2	Tingkat 3
20	0,472	0,522	0,585
40	0,492	0,542	0,596