



UNIVERSITAS INDONESIA

**TEKNOLOGI PENGOLAHAN AIR YANG MENGANDUNG
LINEAR ALKIL BENZEN SULFONAT (LAS) DAN AMONIA
DENGAN PROSES OKSIDASI LANJUT DAN FILTRASI
MEMBRAN**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**SRI RETNO P
0706200491**

**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 : Sri Retno P
NPM : 0706200491
Tanda Tangan :
Tanggal : 21 Desember 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Sri Retno P
NPM : 0706200491
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Teknologi Pengolahan Air yang Mengandung
Linear Alkil Benzen Sulfonat (LAS) dan Amonia dengan Proses Oksidasi Lanjut
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 : Dr. Ir. Nelson Saksono, MT (.....)
Penguji : Ir. Yuliusman, M. Eng (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 21 Desember 2009

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT, zat Maha Kuasa yang senantiasa memberikan limpahan rahmat dan karuniaNya kepada hamba-hambaNya dan dengan ridhoNyalah sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi ini dengan sebaik-baiknya. Shalawat dan salam semoga tercurahkan kepada Rasulullah SAW, keluarga, sahabat dan para pengikutnya hingga akhir zaman.

Makalah dengan judul **‘Teknologi Pengolahan Air yang Mengandung Linear Alkil Benzen Sulfonat (LAS) dan Amonia dengan Proses Oksidasi Lanjut dan Filtrasi Membran’** ini dibuat sebagai syarat yang harus dipenuhi dalam menyelesaikan mata kuliah Skripsi di Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Kimia Universitas Indonesia.

Selama proses penyusunan laporan skripsi ini, penulis telah banyak mendapatkan masukan maupun bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya 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 Gas dan Petrokimia 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 yang sangat penulis kasihi, ibu, bapak, dan adikku 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, Mang Ijal, Mas Eko, Kang Jajat beserta seluruh karyawan Departemen Teknik Kimia FTUI atas segala bantuan dan kerjasamanya.
9. Teman-teman dari Balai Besar Kimia dan Kemasan Depperin yang senantiasa memberikan kemudahan dan semangat kepada penulis.
10. Rekan-rekan seperjuangan (*Jati Cempaka Community*) terima kasih atas doa, ilmu dan cinta, yang diberikan, dukungan dalam berjuang melewati liku-liku kehidupan ini dan ukhuwah yang terjalin semoga tetap dalam ridhoNya.
11. Semua pihak lain yang belum disebutkan, baik secara langsung maupun tidak langsung yang telah banyak membantu penulis.

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga laporan skripsi ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 21 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 : Sri Retno P
NPM : 0706200491
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 :

Teknologi Pengolahan Air yang Mengandung Linear Alkil Benzen Sulfonat (LAS) dan Amonia dengan Proses Oksidasi Lanjut 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 : 21 Desember 2009

Yang menyatakan

(Sri Retno P)

ABSTRAK

Nama : Sri Retno P
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Teknologi Pengolahan Air yang Mengandung Linear Alkil Benzen Sulfonat (LAS) dan Amonia dengan Proses Oksidasi Lanjut dan Filtrasi Membran

Salah satu upaya yang dilakukan untuk mengolah air yang mengandung senyawa linear alkil benzen sulfonat (LAS) dan amonia adalah dengan proses oksidasi lanjut dan filtrasi membran. Proses oksidasi lanjut ini memanfaatkan keberadaan radikal hidroksida yang merupakan oksidator kuat yang mampu menguraikan senyawa organik dan anorganik bersifat racun dan sulit terurai di dalam air.

Dari penelitian ini didapatkan bahwa proses oksidasi lanjut dan filtrasi membran cukup efektif untuk menyisihkan senyawa LAS, namun tidak cukup efektif untuk menyisihkan senyawa amonia dalam air. Persentase penyisihan total LAS untuk konsentrasi awal 30 mg/L, 50 mg/L dan 100 mg/L masing-masing diperoleh sebesar 89,82 %; 84,20% dan 81,49% dan amonia sebesar 17,07%.

Kata kunci :

Proses oksidasi lanjut, Filtrasi membran, Teknologi pengolahan air, Linear alkil benzen sulfonat, LAS, Amonia

ABSTRACT

Name : Sri Retno P
Study Program : Chemical Engineering
Title : Water Treatment Technology of Linear Alkyl Benzene Sulfonate (LAS) and Ammonia with Advanced Oxidation Process and Membrane Filtration

One of the methods to treat water of linear alkyl benzene sulfonate and ammonia compounds is by advanced oxidation process and membrane filtration. These advanced oxidation process utilizing the presence of hydroxide radicals which is a strong oxidant that can destroy the organic and inorganic compounds are toxic and difficult to break down in the water.

From this research, it was found that advanced oxidation process and membrane filtration effective for remove linear alkyl benzene sulfonate (LAS), but uneffective for remove ammonia in the water. The total removal of linear alkyl benzene sulfonate was about 89,82 %; 84,20% and 81,49% for initial concentration was 30 mg/L, 50 mg/L and 100 mg/L, respectively and 17,07% for ammonia.

Keywords :

Advanced oxidation process, Membrane filtration, Water treatment technology, Linear alkyl benzene sulfonate, LAS, Ammonia

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	4
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Metode Operasional Penelitian	5
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Air	7
2.1.1 Sifat Fisika	7
2.1.2 Sifat Kimia	9
2.1.3 Sifat Biologi	12
2.2 Linear Alkil Benzen Sulfonat (LAS)	12
2.1.1 Sifat Fisika dan Kimia	13
2.2.2 Toksisitas	16
2.3 Amonia	16

2.3.1 Sifat Fisika dan Kimia	17
2.3.2 Toksisitas	18
2.4 Ozon	18
2.4.1 Sifat Fisika	18
2.4.2 Sifat Kimia	19
2.4.3 Pembuatan Ozon	21
2.4.4 Penggunaan	22
2.4.5 Toksisitas	23
2.5 Proses Oksidasi Lanjut	23
2.5.1 Kombinasi Ozon dan Kavitasasi	24
2.6 Filtrasi Membran	26
2.5.1 Modul Membran	27
2.5.2 <i>Fouling</i> Membran	28
2.5.3 Membran Keramik	29
BAB 3 METODE PENELITIAN	30
3.1 Diagram Alir Penelitian	30
3.2 Rancangan Penelitian	31
3.2.1 Preparasi Sampel	31
3.2.2 Proses Oksidasi Lanjut dan Filtrasi Membran	31
3.2.3 Pengambilan Sampel	31
3.2.4 Analisis Sampel	31
3.3 Deskripsi Penelitian	32
3.3.1 Ozonator	33
3.3.2 Injektor	33
3.3.3 Membran	33
3.4 Prosedur Penelitian	34
3.4.1 Uji Produktivitas Ozon	34
3.4.2 Kinerja Penyisihan LAS	35
3.4.3 Kinerja Penyisihan Amonia	36
3.5 Analisis Sampel	38
3.5.1 Analisis Kandungan LAS	38

3.5.2 Analisis Kandungan Amonia	38
3.5.3 Analisis pH	38
3.5.4 Analisis <i>Dissolved Oxygen</i> (DO)	38
3.5.5 Analisis <i>Total Dissolved Solid</i> (TDS)	38
3.5.6 Analisis <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	39
3.6 Pengolahan Data	39
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1 Produktivitas Ozonator	40
4.2 Kualitas Air dari Proses Oksidasi Lanjut dan Filtrasi Membran	41
4.2.1 Uji Penyisihan LAS	41
4.2.2 Uji Penyisihan Amonia	46
4.2.3 Uji pH	48
4.2.4 Uji <i>Total Dissolved Solid</i> (TDS)	51
4.2.5 Uji <i>Dissolved Oxygen</i> (DO) Terhadap Senyawa LAS dan Amonia	53
4.2.6 Uji <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD) Terhadap Senyawa LAS	55
4.3 Kinerja Membran	56
4.3.1 Kinerja Membran Terhadap Senyawa LAS	57
4.3.2 Kinerja Membran Terhadap Senyawa Amonia	58
BAB 5 KESIMPULAN	59
DAFTAR REFERENSI	60
LAMPIRAN	61

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Senyawa Linear Alkil Benzen Sulfonat (LAS)	12
Gambar 2.2 Skala Elektromagnetik	21
Gambar 2.3 Pembuatan Ozon dengan Korona Medan Listrik Energi Tinggi	22
Gambar 2.4 Skema Proses Separasi Menggunakan Membran	28
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	30
Gambar 3.2 Skema Alat Penelitian	32
Gambar 3.3 Foto Alat Penelitian	32
Gambar 3.4 Skema Percobaan Produktivitas Ozonator	35
Gambar 4.1 Grafik Persentase Penyisihan LAS pada Proses Oksidasi Lanjut – Filtrasi Membran	42
Gambar 4.2 Grafik Persentase Penyisihan Amonia pada Proses Oksidasi Lanjut – Filtrasi Membran	47
Gambar 4.3 Perubahan pH air Umpan dan <i>Permeate</i> LAS pada Proses Oksidasi Lanjut – Filtrasi Membran	49
Gambar 4.4 Pengaruh Proses Oksidasi Lanjut – Filtrasi Membran Senyawa Amonia Terhadap pH Larutan	50
Gambar 4.5 Jumlah TDS pada Proses Oksidasi Lanjut – Filtrasi Membran	51
Gambar 4.6 Hubungan Pengaruh Proses Oksidasi Lanjut – Filtrasi Membran Terhadap TDS	53
Gambar 4.7 Penyisihan COD pada Proses Oksidasi Lanjut – Filtrasi Membran	55
Gambar 4.8 Hubungan ΔP pada Membran untuk Penyisihan LAS ...	57
Gambar 4.9 Grafik Hubungan Laju Permeate pada Membran untuk Penyisihan LAS	58
Gambar 4.10 Hubungan ΔP pada Membran untuk Penyisihan Amonia	59
Gambar 4.11 Grafik Hubungan Laju Permeate pada Membran untuk Penyisihan Amonia	59

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Tingkat Kesadahan Air	11
Tabel 2.2 Sifat Fisika Linear Alkil Benzen Sulfonat (LAS)	13
Tabel 2.3 Sifat Fisika Amonia	17
Tabel 2.4 Sifat Fisika Ozon	19
Tabel 2.5 Reaksi Dekomposisi Ozon	20
Tabel 2.6 Potensial Oksidasi Oksidan Pengolahan Air	24
Tabel 4.1 Data Uji Produktivitas Ozon dari Ozonator Merk Resun RSO 9508	41
Tabel 4.2 Konsentrasi Penyisihan LAS	42
Tabel 4.3 Konsentrasi Penyisihan Amonia	47
Tabel 4.4 Hubungan Konsentrasi LAS dan Jumlah TDS pada Proses Oksidasi Lanjut – Filtrasi Membran	51
Tabel 4.5 Data <i>Dissolved Oxygen</i> (DO) Senyawa LAS	53
Tabel 4.6 Data <i>Dissolved Oxygen</i> (DO) Senyawa Amonia	54
Tabel 4.7 Konsentrasi Penyisihan COD	55

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Kalibrasi Flowmeter	64
Lampiran 2 Uji Produktivitas Ozon	65
Lampiran 3 Perhitungan Kadar Ozon dalam Air	66
Lampiran 4 Pembuatan Air Sintetik yang Mengandung LAS dan Amonia	67
Lampiran 5 Data Persentase Penyisihan Senyawa LAS	68
Lampiran 6 Data Persentase Penyisihan Senyawa Amonia	70
Lampiran 7 Data Parameter Kualitas Air (pH, DO, TDS dan COD) untuk Senyawa LAS	71
Lampiran 8 Data Parameter Kualitas Air (pH, DO, TDS dan COD) untuk Senyawa Amonia	72
Lampiran 9 Kinerja Membran untuk Senyawa LAS	73
Lampiran 10 Kinerja Membran untuk Senyawa Amonia	75
Lampiran 11 KEPMENKES RI No. 907/MENKES/SK/VII/2002	76
Lampiran 12 SNI 06-6989.11-2004	82

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Air merupakan salah satu elemen penting dalam kehidupan manusia. Air umumnya dimanfaatkan oleh manusia antara lain untuk pertanian, peternakan, perindustrian, kebutuhan rumah tangga dan yang paling penting dalam kehidupan sehari-hari adalah sebagai air minum. Semua kebutuhan akan air dapat diperoleh dari berbagai sumber, seperti air hujan, air sungai, danau, waduk dan air tanah.

Bumi menyimpan cadangan air yang cukup besar yaitu berjumlah kira-kira 1,4 miliar km³. Namun, hanya sebagian kecil yang dapat dimanfaatkan yaitu sekitar 0,003% karena sebagian besar air (sekitar 97%) berupa air laut yang mengandung kandungan garam tinggi (<http://www.usembassyjakarta.org>).

Kelangkaan air menjadi salah satu masalah di dunia. Hal ini disebabkan oleh semakin meningkatnya jumlah penduduk yang akan semakin meningkatkan kebutuhan air. Kondisi ini diperparah dengan adanya pencemaran air, situ-situ yang tidak berfungsi atau bahkan beralih fungsi dan terjadi pendangkalan. Oleh karena itu, penyediaan air bersih memiliki peranan penting dalam meningkatkan kesehatan lingkungan dan masyarakat. Air bersih menurut Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1405/MENKES/SK/XI/2002 yaitu air yang dipergunakan untuk keperluan sehari-hari dan kualitasnya memenuhi persyaratan kesehatan air bersih sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku dan dapat diminum apabila dimasak.

Air permukaan yang ada di alam masih mengandung polutan-polutan seperti mikroorganisme, senyawa organik, anorganik dan logam berat yang masih melebihi ambang batas. Beberapa senyawa organik dan anorganik yang cukup banyak berada dalam air permukaan yaitu linier alkil benzen sulfonat (LAS) dan amonia. Senyawa LAS ini merupakan salah satu surfaktan deterjen yang konsentrasinya di perairan cukup tinggi, karena keunggulannya dalam membersihkan, kestabilan kimia,

kemudahannya terurai secara alami dan harganya yang ekonomis. Sedangkan amonia merupakan senyawa yang umumnya digunakan sebagai bahan baku dalam industri pupuk, industri karet, kertas dan plastik. Berdasarkan penelitian, konsentrasi senyawa tersebut ditemukan di salah satu sungai di Malang sebesar 20 – 30 mg/L (<http://digilib.umm.ac.id>) dan pada air limbah *laundry* sebesar 100,3 mg/L (Prasetyo, 2006). Sedangkan untuk konsentrasi amonia ditemukan di sungai Kaliabang Hilir mencapai 59,06 mg/L (<http://www.terranet.or.id>)

Menurut Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 907/MENKES/SK/VII/2002, kandungan LAS yang diperbolehkan untuk kualitas air minum sebesar 0,05 mg/L sedangkan untuk amonia sebesar 1,5 mg/L. Jika kandungan senyawa tersebut melebihi ketentuan yang ditetapkan maka akan menyebabkan efek yang berbahaya. Pengaruh LAS pada tubuh manusia yaitu dapat menyebabkan iritasi (panas, gatal bahkan mengelupas) pada kulit dan memiliki efek karsinogenik. Sedangkan pengaruh amonia pada tubuh manusia yaitu dapat menyebabkan timbulnya gejala gangguan patologis yaitu gangguan terhadap organ-organ dalam seperti hati, ginjal, paru-paru dan dapat menimbulkan komplikasi. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengolahan air sehingga kandungan LAS dan amonia sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Berdasarkan beberapa penelitian, untuk mengurangi senyawa LAS pada perairan dapat menggunakan lumpur aktif. Penyisihan LAS dengan metode tersebut diperoleh sebesar 99,5%. Namun, metode tersebut menghasilkan produk intermediet yang lebih berbahaya dari senyawa asalnya (Ginkel, 1996 dalam Mehvrrar et. al, 2005). Sedangkan untuk mengurangi amonia dapat menggunakan kultur campuran bakteri *Nitrosomonas sp.* dan bakteri *Nitrobacter sp.* Penyisihan amonia dengan metode tersebut diperoleh sebesar 69,23%. Namun, diperlukan waktu yang cukup lama untuk pengolahannya (<http://www.getskripsi.com>). Oleh karena itu, diperlukan suatu teknologi untuk mengurangi kadar LAS dan amonia pada air yang efektif dan mudah diaplikasikan. Ozonasi merupakan salah satu proses yang efektif untuk menguraikan senyawa organik tersebut. Pada proses ozonasi, ozon yang merupakan oksidator kuat, diinjeksikan ke dalam air. Sebagai oksidator kuat, ozon dapat

membunuh bakteri (*desinfection*), menghilangkan warna (*decoloration*), menghilangkan bau (*deodorization*), dan menguraikan senyawa organik (*degradation*) dalam air dan air limbah (Metcalf and Eddy, 1991).

Ozon memiliki kelemahan yaitu kelarutan dan stabilitas yang rendah, prosesnya membutuhkan modal dan biaya produksi yang tinggi serta sifatnya yang selektif terhadap senyawa organik. Oleh karena itu diperlukan suatu metode pengolahan air untuk meningkatkan proses ozonasi yaitu dengan mengkombinasikan ozon dengan peroksida, ultraviolet dengan ozon atau kavitasasi dengan ozon dan ozonasi katalitik dengan menggunakan ion logam, oksida logam atau karbon aktif (Li-Bing Chu et al., 2007). Proses ini dikenal dengan proses oksidasi lanjut. Proses oksidasi lanjut merupakan suatu teknologi yang memanfaatkan keberadaan radikal hidroksida sebagai oksidator. Radikal hidroksida merupakan oksidator yang lebih kuat dengan potensial oksidasi sebesar 2,80 eV dibandingkan dengan ozon yang memiliki potensial oksidasi 2,07 eV. Radikal hidroksida sifatnya sangat reaktif yaitu dapat menguraikan senyawa organik yang memiliki sifat beracun dan sulit terurai di dalam air.

Pada penelitian ini, teknologi oksidasi lanjut yang dilakukan adalah kombinasi proses ozonasi dan kavitasasi. Kavitasasi merupakan fenomena pembentukan, pertumbuhan dan hancurnya gelembung mikro dalam cairan. Jika fenomena ini terjadi karena adanya gelombang suara dengan frekuensi tinggi disebut dengan kavitasasi akustik dan jika terjadi karena adanya variasi tekanan pada cairan yang mengalir akibat perubahan geometri pada sistem yang mengalir disebut dengan kavitasasi hidrodinamik (Jyoti dan Pandit, 2003).

Tekanan dalam gelembung yang tinggi dapat meningkatkan intensitas panas dan *local hot spots*. Temperatur di dalam kavitasasi dapat mencapai sekitar 5200 K pada saat pecahnya gelembung dan 1900 K dalam daerah *interface* yaitu antara larutan dan pecahnya gelembung. Kavitasasi dapat meningkatkan dekomposisi ozon dalam gelembung sehingga mempengaruhi peningkatan konsentrasi radikal hidroksida (M.B. Ray et al, 2007).

Selain itu, kavitasi juga mempengaruhi efektifitas ozonasi dengan adanya gelembung mikro yang dihasilkan. Efektifitas ozonasi dapat ditingkatkan dengan memperluas area permukaan kontak melalui peningkatan jumlah gelembung mikro. Gelembung mikro memiliki luas permukaan dan densitas gelembung yang besar, kenaikan kecepatan yang rendah dalam fasa cairan dan tekanan dalam yang tinggi.

Proses oksidasi lanjut merupakan pralakuan sebelum proses filtrasi yang dilakukan pada penelitian ini. Hal ini dimaksudkan untuk mengatasi masalah *fouling* membran dalam unit pengolahan air yang dapat menurunkan kinerja membran dan periode penggunaan membran. Ozon yang terlarut akan diserap pada permukaan membran serta pori-pori membran sehingga akan mengoksidasi zat organik dan anorganik yang berada pada membran, dengan demikian akan menghalangi pengotor yang mencoba membentuk *fouling* pada membran. Jenis membran yang dipilih yaitu membran mikrofiltrasi yang berbahan keramik karena memiliki daya tahan terhadap ozon paling baik dibandingkan bahan pembentuk membran lainnya.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Teknologi pengolahan air yang mengandung LAS dan amonia dengan proses oksidasi lanjut dan filtrasi membran merupakan salah satu metode pengolahan air yang belum banyak dilakukan di Indonesia. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian terhadap kinerja metode tersebut. Kinerja yang akan diteliti yaitu efektifitas oksidasi ozon dan radikal hidoksida terhadap senyawa LAS dan amonia yang ditinjau dari persentase penyisihan pencemar tersebut di dalam air serta kinerja membran yang ditinjau dari perubahan tekanan dan laju *permeate*.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Mengevaluasi kinerja dari proses oksidasi lanjut dan filtrasi membran terhadap senyawa LAS dan amonia dari air permukaan yang ditinjau dari parameter kinerja, yaitu penyisihan LAS, penyisihan amonia, pH, DO, penyisihan TDS, penyisihan COD, perubahan tekanan dan laju *permeate*.

1.4 BATASAN MASALAH

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

1. Air yang akan diolah adalah air sumur DTK FTUI
2. Air limbah yang digunakan untuk uji kinerja adalah air limbah sintetik yang mengandung LAS dan amonia
3. Ozonator yang digunakan adalah ozonator merk resun RSO 9508 dengan produktivitas ozonator rata-rata sebesar 0,1012 g/jam
4. Injektor ozon yang dipakai adalah injektor mazzei
5. Membran yang digunakan untuk proses filtrasi adalah membran mikrofiltrasi yang memiliki ukuran pori sebesar 0,9 μm dan berbahan keramik
6. Kualitas air yang diukur dalam penelitian ini adalah kandungan LAS, pH, DO, TDS dan COD. Sedangkan untuk kinerja membran, parameter yang diukur adalah ΔP dan laju *permeate*
7. Variabel yang divariasikan adalah senyawa yaitu LAS dan amonia, serta variasi konsentrasi LAS sebesar 30 mg/L, 50 mg/L dan 100 mg/L

1.5 METODE OPERASIONAL PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan menggunakan unit pengolahan air skala laboratorium yang menggunakan proses oksidasi lanjut dan membran mikrofiltrasi. Proses oksidasi lanjut dilakukan dengan menggunakan injektor mazzei sehingga terbentuk gelembung mikro. Penyisihan LAS, penyisihan amonia, perubahan pH, perubahan DO, penyisihan TDS, penyisihan COD serta perubahan tekanan dan laju *permeate* yang dihasilkan juga akan dipelajari untuk mendapatkan gambaran kinerja dari unit pengolahan air tersebut.

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

BAB I PENDAHULUAN

Berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penulisan, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi dasar teori yang digunakan untuk menjelaskan proses yang terjadi pada masalah yang dibahas.

BAB III METODE PENELITIAN

Berisi metode dan prosedur yang akan digunakan dalam pengambilan dan pengolahan data dalam proses pengolahan air.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi hasil yang diperoleh dalam penelitian dan pembahasannya.

BAB V KESIMPULAN

Berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 AIR

Air merupakan sumber daya alam yang memenuhi hajat hidup orang banyak, sehingga perlu dipelihara kualitasnya agar tetap bermanfaat bagi hidup dan kehidupan manusia serta makhluk hidup lainnya (PP RI No 20 tahun 1990). Air yang ada di alam masih mengandung polutan-polutan seperti mikroorganisme, senyawa organik, anorganik dan logam berat yang masih melebihi ambang batas sehingga tidak dapat langsung digunakan untuk kehidupan sehari-hari. Oleh karena itu, penyediaan air bersih memiliki peranan penting dalam meningkatkan kesehatan lingkungan dan masyarakat.

Berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1405/MENKES/SK/XI/2002, air bersih yaitu air yang dipergunakan untuk keperluan sehari-hari dan kualitasnya memenuhi persyaratan kesehatan air bersih sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku dan dapat diminum apabila dimasak. Penyediaan air harus memenuhi kuantitas dan kualitas, yaitu:

- a. Aman dan higienis
- b. Baik dan layak minum
- c. Tersedia dalam jumlah yang cukup
- d. Harganya relatif murah atau terjangkau oleh sebagian besar masyarakat

Penyediaan air bersih dapat dilakukan melalui pengolahan air dengan mengetahui sifat-sifat air. Secara umum sifat air dibagi menjadi sifat fisika, sifat kimia dan sifat biologi.

2.1.1 Sifat Fisika

- a. Bau

Bau umumnya disebabkan oleh gas yang dihasilkan dari dekomposisi senyawa organik atau penambahan zat ke dalam air. Bau yang sangat khas dari air limbah umumnya berasal dari hidrogen sulfida yang dihasilkan dari

mikroorganisme anaerob dengan mereduksi sulfat menjadi sulfid (Metcalf and Eddy, 1991).

b. Warna

Air permukaan umumnya berwarna karena adanya zat tersuspensi, ekstrak dari dedaunan atau zat organik yang berupa koloid. Peningkatan warna dalam air dapat dipengaruhi dengan meningkatnya konsentrasi pencemar dalam air. Warna air dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu warna sejati (*true color*) yang disebabkan oleh bahan-bahan terlarut dan warna semu (*apparent color*) yang disebabkan oleh bahan-bahan terlarut dan tersuspensi termasuk yang bersifat koloid (Fardiaz, 1992).

c. Jumlah zat padat terlarut (TDS)

TDS didefinisikan sebagai semua zat yang tersisa yang merupakan residu penguapan pada temperatur 103 – 105⁰C. TDS dapat diklasifikasikan menjadi :

1. *Nonfilterable/ Suspended Solid*

Nonfilterable/suspended solid merupakan padatan yang tidak lolos melewati filter *glass-fiber* (Whatman GF/C) dengan ukuran pori sebesar 1,2 µm yang umumnya digunakan untuk pemisahan.

2. *Filterable Solid*

Filterable solid merupakan padatan yang terdiri dari partikel koloid dan padatan terlarut. Koloid merupakan partikulat dengan ukuran 0,001 sampai 1 µm. Sedangkan padatan terlarut terdiri dari molekul organik dan anorganik serta ion yang ada dalam larutan di air. Padatan ini dapat lolos melewati filter *glass-fiber* dengan ukuran pori sebesar 1,2 µm.

d. Kekeruhan

Kekeruhan dapat disebabkan oleh berbagai jenis zat tersuspensi dengan berbagai ukuran dari koloid sampai dispersi kasar tergantung dari tingkat turbulensinya. Kekeruhan dapat mempengaruhi kinerja filtrasi, mengurangi efektifitas disinfeksi dan masalah estetika air yang dikonsumsi (Metcalf and Eddy, 1991).

e. Rasa

Air yang normal sebenarnya tidak mempunyai rasa. Timbulnya rasa yang menyimpang biasanya dihubungkan dengan baunya, contohnya bau fenol dari air buangan pabrik gas, minyak dan plastik juga dianggap mempunyai rasa fenol (Fardiaz, 1992).

f. Temperatur

Temperatur air merupakan salah satu parameter yang sangat penting karena mempengaruhi reaksi kimia, laju reaksi, kehidupan mikroorganisme dalam air dan kelayakan air sesuai dengan penggunaannya. Peningkatan temperatur akan mempengaruhi beberapa akibat berikut :

1. Jumlah oksigen terlarut di dalam air menurun
2. Kecepatan reaksi meningkat
3. Tingkat kematian mikroorganisme yang ada di dalam air.

2.1.2 Sifat Kimia

Sifat kimia dalam air dapat diklasifikasikan menjadi empat bagian, yaitu :

a. Zat organik

Senyawa organik umumnya merupakan kombinasi dari karbon, hidrogen dan oksigen serta nitrogen yang terkadang ada. Unsur lainnya yang umumnya ada yaitu sulfur, fosfor dan besi. Protein, karbohidrat, lemak, minyak, surfaktan, pestisida dan senyawa organik yang mudah menguap digolongkan ke dalam zat organik (Metcalf and Eddy, 1991).

Parameter yang digunakan untuk mengukur zat organik dalam air yaitu :

1. Kebutuhan Oksigen Biologis (BOD)

BOD merupakan suatu analisa empiris yang mencoba mendekati secara global proses-proses mikrobiologis yang benar-benar terjadi di dalam air. Angka BOD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan (mengoksidasikan) hampir semua zat organik yang terlarut dan sebagian zat-zat organik yang tersuspensi dalam air. Pengujian BOD digunakan untuk mengetahui pencemaran polutan pada air

permukaan yang berasal dari limbah domestik dan industri (Alaerts dan Sumestri, 1987).

2. Kebutuhan Oksigen Kimia (COD)

COD merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasikan zat organik yang ada dalam satu liter sampel air dengan menggunakan oksidator kuat sebagai sumber oksigen. Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasikan melalui proses mikrobiologis dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut di dalam air (Alaerts dan Sumestri, 1987).

3. Karbon Organik Total (TOC)

Karbon Organik Total (TOC) merupakan suatu cara analisis keberadaan senyawa organik dalam air. Pengukuran kadar karbon organik total dilakukan dengan konversi senyawa organik yang dioksidasi secara sempurna menghasilkan CO_2 dan H_2O . Analisa TOC yaitu dengan mengukur karbon total (TC) dikurangi dengan karbon anorganik (IC). TOC merupakan salah satu teknik pengukuran kualitas air dalam proses pemurnian air minum (<http://en.wikipedia.org>)

b. Zat anorganik

Konsentrasi zat anorganik dapat meningkat dengan adanya pembentukan geologis, air limbah yang terakumulasi dan proses penguapan alamiah. Oleh karena itu dibutuhkan parameter yang dapat mengukur jumlah zat anorganik di dalam air, yaitu :

1. pH

pH digunakan untuk menggambarkan intensitas asam atau basa dalam suatu larutan. Ini berhubungan dengan konsentrasi ion hidrogen atau aktivitas ion hidrogen di dalam air. Dalam proses biologis, konsentrasi ion hidrogen ini akan menentukan kehidupan mikroorganisme yang ada di dalam air. Sedangkan dalam proses kimia, pH harus dikontrol pada proses koagulasi kimia, disinfeksi, pelunakkan air dan kontrol terhadap korosi (Sawyer et al, 1994).

2. Alkalinitas

Alkalinitas dalam air merupakan ukuran kapasitas air untuk menetralkan asam. Tingkat alkalinitas dalam air dapat disebabkan oleh hidroksida, karbonat dan bikarbonat (Sawyer et al, 1994).

3. Kesadahan

Kesadahan dapat disebabkan oleh ion kalsium, magnesium, stronsium, besi dan mangan. Tingkat kesadahan pada air dapat dilihat pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2.1 Tingkat Kesadahan Air (Sawyer et al, 1994)

Tingkat Kesadahan	Konsentrasi CaCO ₃ (mg/L)
Kesadahan lemah (<i>soft</i>)	0 - 75
Kesadahan sedang (<i>moderately hard</i>)	75 - 150
Sadah (<i>hard</i>)	150 - 300
Kesadahan kuat (<i>very hard</i>)	> 300

Kesadahan dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu kesadahan karbonat dan kesadahan nonkarbonat tergantung pada ion yang terikat.

- a. Kesadahan karbonat, contohnya Ca(HCO₃) dan Mg(HCO₃)₂. Kesadahan karbonat disebut juga kesadahan sementara yang dapat dihilangkan dengan mendidihkan air tersebut. Kesadahan karbonat sensitif terhadap panas dan mudah terpresipitasi pada temperatur tinggi.
- b. Kesadahan nonkarbonat
Anion yang akan menyebabkan kesadahan ini yaitu sulfat, klorida dan nitrat. Kesadahan nonkarbonat disebut juga dengan kesadahan permanen karena tidak dapat dihilangkan dengan pendidihan.

4. Logam Berat

Adanya logam berat seperti nikel (Ni), mangan (Mn), timbal (Pb), kromium (Cr), kadmium (Cd), seng (Zn), tembaga (Cu), besi (Fe) dan raksa (Hg)

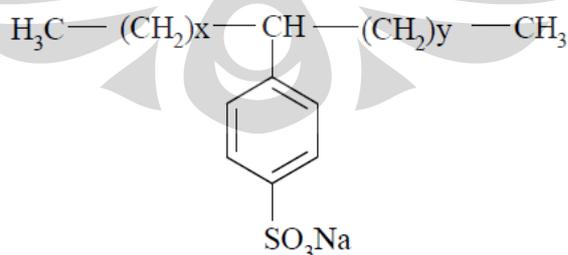
dalam air dapat mencemari air karena sifat racunnya. Logam tersebut dikategorikan ke dalam polutan prioritas (Metcalf and Eddy, 1991).

2.1.3 Sifat Biologi

Air dapat merupakan medium mikroorganisme dari berbagai spesies. Banyaknya mikroorganisme yang ada di dalam air dapat menjadi indikasi kualitas air. Sifat biologi air ditunjukkan dengan adanya organisme hidup dalam air seperti bakteri, jamur, alga, protozoa dan virus. Organisme tersebut jika dapat menyebabkan penyakit dikategorikan ke dalam organisme patogen. Banyaknya bakteri patogen dalam air dengan konsentrasi yang rendah menyebabkan organisme tersebut sulit untuk diidentifikasi. Oleh karena itu, parameter yang umumnya digunakan untuk mengidentifikasi organisme patogen yaitu kandungan bakteri *coliform*, *fecal coli* dan *Escherichia coli* (Metcalf and Eddy, 1991).

2.2 LINEAR ALKIL BENZEN SULFONAT (LAS)

Surfaktan (*surface active agent*) merupakan zat aktif permukaan yang mempunyai ujung berbeda yaitu bagian hidrofil dan hidrofob. Bahan aktif ini berfungsi menurunkan tegangan permukaan air sehingga dapat melepaskan kotoran yang menempel pada permukaan bahan. Secara garis besar, terdapat empat kategori surfaktan yaitu anionik, kationik, ionik dan amfoterik. Linear Alkil benzen Sulfonat (LAS) merupakan salah satu surfaktan dalam bentuk anionik. Senyawa LAS dapat dilihat pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1 Senyawa Linear Alkilbenzen Sulfonat (LAS)

LAS merupakan campuran kompleks homolog yang berbeda panjang rantai alkil (C_{10} - C_{13}) dan isomer posisi fenil 2 sampai 5-fenil, yang masing-masing

memiliki sebuah cincin aromatik tersulfonasi pada posisi para dan melekat pada sebuah rantai alkil linier pada posisi manapun dengan pengecualian dari terminal satu (1-fenil).

LAS merupakan surfaktan sintetis karena biaya yang relatif rendah, memiliki kinerja yang baik dan mudah terdegradasi/ramah lingkungan karena memiliki rantai lurus. LAS digunakan sebagai deterjen rumah tangga, seperti deterjen serbuk, serbuk *laundry* (deterjen serbuk *laundry*), cairan *laundry* (deterjen cair), produk pencuci peralatan rumah tangga dan pembersih. Selain itu, LAS juga digunakan dalam industri tekstil dan fiber, bahan kimia, dan pertanian (HERA, 2009).

Menurut Asosiasi Pengusaha Deterjen Indonesia (APEDI), surfaktan anionik yang digunakan di Indonesia saat ini adalah alkil benzen sulfonat rantai bercabang (ABS) sebesar 40% dan alkil benzen sulfonat rantai lurus (LAS) sebesar 60%, dengan produksi deterjen Indonesia rata-rata per tahun sebesar 380 ribu ton. Sedangkan tingkat konsumsinya, menurut hasil survey yang dilakukan oleh Pusat Audit Teknologi di wilayah Jabotabek pada tahun 2002, per kapita rata-rata sebesar 8,232 kg (<http://buletin.melsa.net.id/news/46deterjen.html>).

LAS pada kondisi aerob (cukup oksigen dan mikroorganisme) mudah terurai. Tetapi, LAS tidak dapat terurai pada kondisi anaerob (tidak terdapat udara), sehingga jika badan air memang sudah menghitam seperti kondisi sungai Jakarta, akan terjadi kondisi anaerobik yang tidak memungkinkan LAS terurai. LAS yang tidak terurai ini memiliki efek sangat toksik bagi organisme (cukup dapat mematikan ikan dalam kadar 3-10 mg/liter) dan bersifat bioakumulatif (tersimpan dalam jaringan) (Sudradjat, 2002).

2.2.1 Sifat Fisika dan Kimia

2.2.1.1 Sifat Fisika

Sifat fisika LAS dapat dilihat pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2 Sifat Fisika Linear Alkil Benzen Sulfonat (HERA, 2009)

Sifat Fisika	Nilai
Berat molekul (g/mol)	342,4

Titik Leleh ($^{\circ}\text{C}$)	277
Titik Didih ($^{\circ}\text{C}$)	637
Densitas (kg/L)	1,06
pH (larutan LAS 5%)	7-9
Tekanan uap pada 25°C (Pa)	$3-17 \cdot 10^{-13}$
Kelarutan dalam air (g/L)	250

2.2.1.2 Sifat Kimia

Reaksi oksidasi untuk senyawa LAS berdasarkan pada panjang rantai alkil adalah sebagai berikut :

1. Oksidasi gugus alkil

a. Pembentukan gugus alkohol

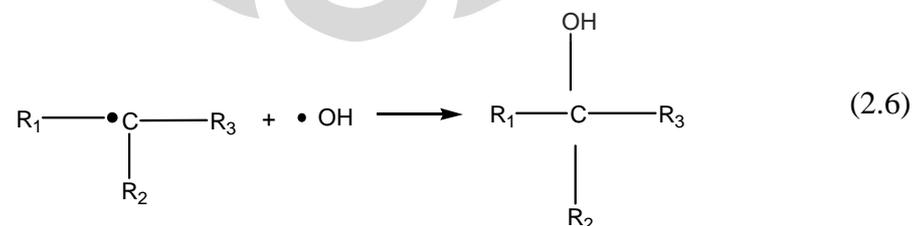
Alkohol Primer



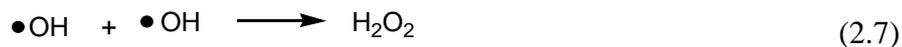
Alkohol Sekunder



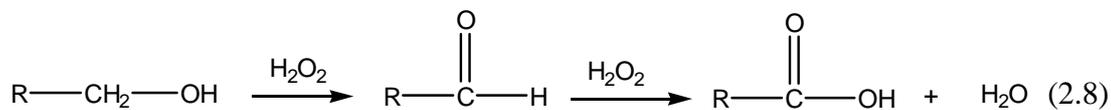
Alkohol Tersier



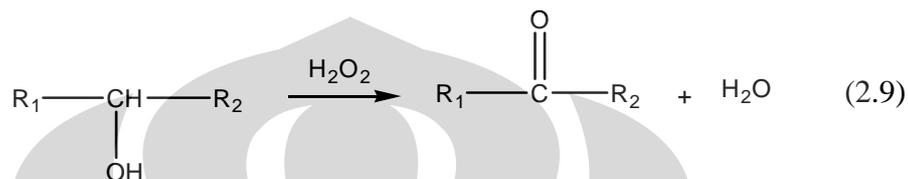
b. Reaksi Oksidasi



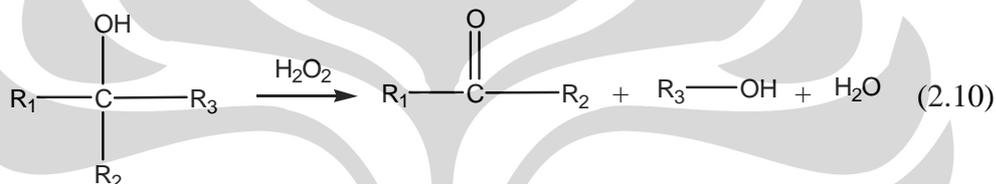
Alkohol Primer



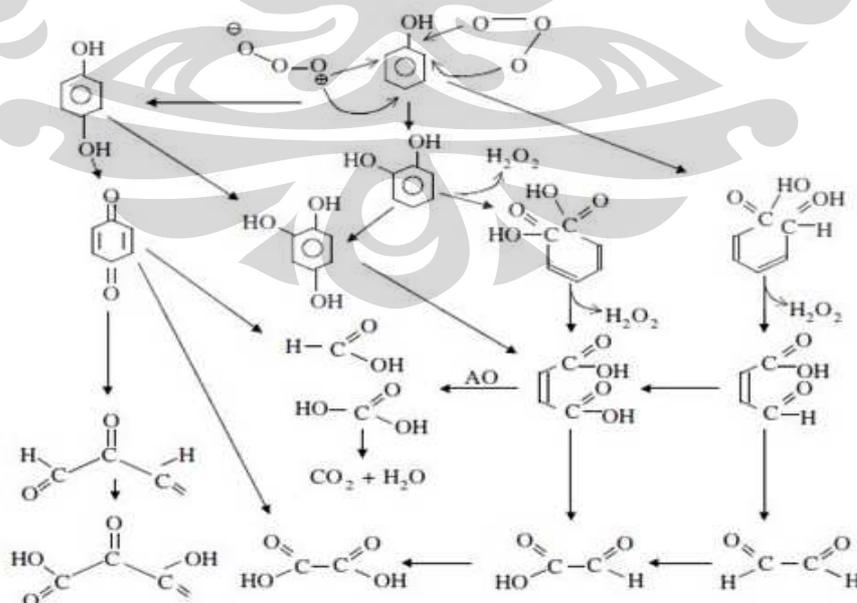
Alkohol Sekunder

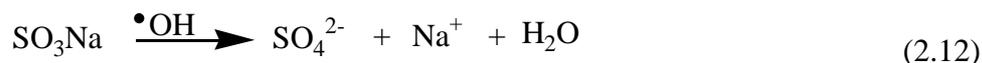


Alkohol Tersier



2. Oksidasi Benzena



3. Oksidasi SO_3Na **2.2.2 Toksisitas**

Keberadaan LAS umumnya sebagai deterjen rumah tangga dapat memberikan dampak jika kontak dengan kulit baik secara langsung maupun tidak langsung, terhirup dan tertelan dari sisa pencucian yang terakumulasi di peralatan makan dan minum. Paparannya diperkirakan 4 $\mu\text{g}/\text{kg}$ berat badan/hari. Pada beberapa percobaan yang dilakukan terhadap tikus, LAS dengan konsentrasi 500 – 2480 mg/kg berat badan dapat bersifat racun akut. LAS juga bersifat racun akut pada konsentrasi 9,1 mg/L untuk alga, pada konsentrasi 4,1 mg/L untuk invertebrata, dan pada konsentrasi 3,5 mg/L untuk ikan (HERA, 2009).

2.3 AMONIA

Amonia adalah senyawa kimia dengan rumus NH_3 . 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. Amonia yang digunakan secara komersial dinamakan amonia anhidrat. Istilah ini menunjukkan tidak adanya air pada bahan tersebut. Karena amonia mendidih di suhu $-33\text{ }^\circ\text{C}$, 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 Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 907/MENKES/SK/VII/2002, konsentrasi amonia yang diperbolehkan berada dalam air bersih adalah sebesar 1,5 mg/L.

2.3.1 Sifat Fisika dan Kimia

2.3.1.1 Sifat Fisika

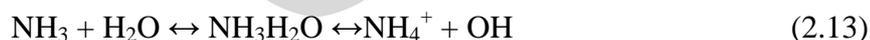
Sifat fisika dari amonia dapat dilihat pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2.3 Sifat Fisika dari Amonia (<http://www.wikipedia.org>, 2009)

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

2.3.1.2 Sifat Kimia

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.

2.3.2 Toksisitas

Administrasi Keselamatan dan Kesehatan Pekerjaan Amerika Serikat memberikan batas 15 menit bagi kontak dengan amonia dalam gas berkonsentrasi 35 ppm volum, atau 8 jam untuk 25 ppm volum. Kontak dengan gas amonia berkonsentrasi tinggi dapat menyebabkan kerusakan paru-paru dan bahkan kematian. Amonia juga dapat menyebabkan timbulnya gejala gangguan patologis yaitu gangguan terhadap organ-organ dalam seperti hati, ginjal dan menimbulkan komplikasi.

2.4 OZON

Ozon merupakan molekul triatomik, yang terdiri dari tiga atom oksigen. Ozon merupakan alotrof dari oksigen dengan wujud gas pada suhu kamar. Ozon dapat terdeteksi pada konsentrasi 0,01 – 0,05 ppm karena memiliki bau. Senyawa ozon bukan merupakan senyawa yang stabil karena sangat mudah dan dengan cepat terdekomposisi kembali menjadi oksigen setelah terbentuk di dalam generator ozon (Metcalf and Eddy, 2003; Kartohardjono et al, 2000).

2.4.1 Sifat Fisika

Kestabilan ozon di udara lebih besar dibandingkan di air. Gas ozon bersifat eksplosif pada konsentrasi ozon sebesar 240 g/m^3 (20% berat di udara). Konsentrasi gas ozon maksimum pada air atau disinfeksi ozon pada air limbah tidak lebih dari 0,05 ppm (4,1 % berat di udara). Temperatur mempengaruhi stabilitas ozon di udara, dalam vesel yang bersih pada temperatur ruangan, waktu paruh ozon berada pada rentang 20 – 100 jam. Pada 120°C (248°F) waktu paruh sebesar 11 - 112 menit dan pada 250°C (482°F) hanya sekitar 0,04–0,4 s (Metcalf and Eddy, 2003).

Kelarutan ozon dalam air sangat penting karena disinfeksi ozon bergantung pada jumlah ozon yang ditransfer ke dalam air. Hubungan hukum Henry dengan sistem ozon menyatakan bahwa massa ozon yang terlarut ke dalam volum air pada temperatur konstan setara dengan tekanan parsial gas ozon di atas air. Secara matematis hukum Henry digambarkan sebagai berikut :

$$H = P/C \text{ atau } P = HC$$

Keterangan.

P = tekanan parsial gas di atas cairan (atm)

C = fraksi mol gas dalam air pada kondisi setimbang dengan gas di atas air

H = konstanta Henry (bervariasi tergantung pada temperatur) (atm/fraksi mol)

Tabel 2.4 Sifat Fisika Ozon (Metcalf and Eddy, 1991)

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

2.4.2 Sifat Kimia

Ozon bereaksi dengan senyawa organik yaitu senyawa aromatik, alifatik, pestisida dan *humic acid* (Shammas et al, 2007).

Reaksi ozon dengan senyawa organik terdiri dari reaksi langsung dan reaksi tidak langsung (Urs von Gunten, 2002). Reaksi tersebut adalah sebagai berikut :

1. Reaksi langsung



Proses selektif (seperti reaksi nukleofil dan elektrofil) dan memiliki laju reaksi yang rendah.

2. Reaksi tidak langsung

1. Ozon tidak stabil di air terdekomposisi menjadi oksidan sekunder (radikal OH)
2. Radikal yang terbentuk bereaksi secara non-selektif terhadap polutan
3. Reaksinya banyak dan belum ada penjelasan terperinci, namun secara umum:

- 1) Tahap inisiasi: terbentuknya radikal anion superoksida
- 2) Tahap propagasi: pembentukan radikal OH dan re-inisiasi dari reaksi rantai
- 3) Tahap terminasi: inhibitor menghentikan pembentukan ulang dari radikal anion superoksida

Tabel 2.5 Reaksi Dekomposisi Ozon (Bealtran, 2004)

Reaksi	Konstanta Reaksi
Inisiasi	
$O_3 + OH^- \xrightarrow{k_{11}} HO_2^\bullet + O_2^{\bullet-}$ (2.15)	$7,0 \text{ M}^{-1} \text{ sec}^{-1}$
Propagasi	
$HO_2^\bullet \xrightarrow{k_1} O_2^{\bullet-} + H^+$ (2.16)	$7,9 \times 10^5 \text{ sec}^{-1}$
$O_2^{\bullet-} + H^+ \xrightarrow{k_1} HO_2^{\bullet-}$ (2.17)	$5,0 \times 10^{10} \text{ M}^{-1} \text{ sec}^{-1}$
$O_3 + O_2^{\bullet-} \xrightarrow{k_2} O_3^{\bullet-} + O_2$ (2.18)	$1,6 \times 10^9 \text{ M}^{-1} \text{ sec}^{-1}$
$O_3^{\bullet-} + H^+ \xrightarrow{k_3} HO_3^\bullet$ (2.19)	$5,2 \times 10^{10} \text{ M}^{-1} \text{ sec}^{-1}$
$HO_3^\bullet \xrightarrow{k_4} O_3^{\bullet-} + H^+$ (2.20)	$3,3 \times 10^2 \text{ sec}^{-1}$
$HO_3^\bullet \xrightarrow{k_5} HO^\bullet + O_2$ (2.21)	$1,1 \times 10^5 \text{ sec}^{-1}$
$O_3 + HO^\bullet \xrightarrow{k_6} HO_4^\bullet$ (2.22)	$2,0 \times 10^9 \text{ M}^{-1} \text{ sec}^{-1}$
$HO_4^\bullet \xrightarrow{k_7} HO_2^\bullet + O_2$ (2.23)	$2,8 \times 10^4 \text{ sec}^{-1}$
Terminasi	
$HO_4^\bullet + HO_4^\bullet \xrightarrow{k_{T1}} H_2O_2 + 2O_3$ (2.24)	$5,0 \times 10^9 \text{ M}^{-1} \text{ sec}^{-1}$
$HO_4^\bullet + HO_3^\bullet \xrightarrow{k_{T2}} H_2O_2 + O_2 + O_3$ (2.25)	$5,0 \times 10^9 \text{ M}^{-1} \text{ sec}^{-1}$

2.4.3 Pembuatan Ozon

Ozon dapat dihasilkan melalui dua proses yaitu dengan menggunakan sinar ultraviolet dan korona medan listrik energi tinggi.

2.4.3.1 Ultraviolet (UV)

Lampu UV telah digunakan selama beberapa dekade untuk meningkatkan jumlah ozon. Lampu UV memancarkan sinar pada panjang gelombang 185 nm. Sinar diukur pada skala yang disebut dengan spektrum elektromagnetik. Skala elektromagnetik dapat dilihat pada **Gambar 2.2**.

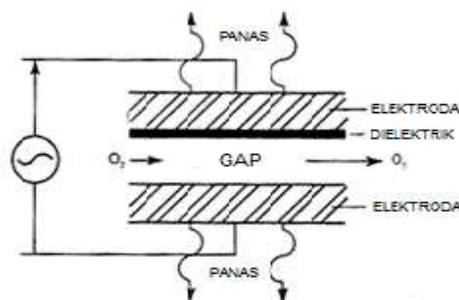


Gambar 2.2 Skala Elektromagnetik
(http://www.ozonesolutions.com/Ozone_Products.html)

Udara (umumnya ambien) dilewatkan pada lampu UV, dimana molekul oksigen (O_2) diputus dalam gas sehingga menghasilkan atom oksigen (O^{\cdot}). Atom oksigen ini berikatan dengan molekul oksigen (O_2) untuk mencapai kestabilan membentuk ozon (O_3). Selanjutnya ozon yang terbentuk diinjeksikan ke dalam air untuk disinfeksi (http://www.ozonesolutions.com/Ozone_Products.html).

2.4.3.2 Korona Medan Listrik Energi Tinggi

Metode yang efisien untuk menghasilkan ozon yaitu korona medan listrik energi tinggi. Ozon dihasilkan dari sumber udara atau oksigen yang memiliki kemurnian tinggi saat voltase tinggi melewati gap (celah) yang sempit di antara dua elektrode (**Gambar 2.3**).



Gambar 2.3 Pembuatan Ozon dengan Korona Medan Listrik Energi Tinggi

Korona medan listrik energi tinggi yang terbentuk di antara dua elektroda tersebut akan memicu terurainya molekul oksigen menjadi oksigen tunggal/ radikal oksigen (O^{\bullet}) yang kemudian akan bergabung dengan dua molekul oksigen (O_2) membentuk dua molekul ozon. Proses pembentukan ozon adalah sebagai berikut :



Bila proses di atas menggunakan udara sebagai gas umpan maka komposisi ozon $\pm 1 - 3\%$ berat. Sedangkan bila gas umpannya menggunakan oksigen dengan kemurnian tinggi maka ozon yang dihasilkan menjadi tiga kalinya, yaitu sekitar $3 - 10\%$ berat (Metcalf and Eddy, 2003).

2.4.4 Penggunaan

Penggunaan ozon dalam pengolahan air adalah sebagai berikut :

- Disinfeksi (meng-inaktivasi mikroorganisme, virus dan bakteri)
- Menghilangkan pencemar organik, anorganik dan logam berat
- Menghilangkan rasa, bau dan meningkatkan kejernihan air
- Mengurangi masalah kekurangan oksigen, turbiditas, dan surfaktan
- Menghilangkan hampir seluruh warna, fenolik, dan sianida
- Meningkatkan oksigen terlarut
- Tidak terbentuk produk samping yang beracun
- Meningkatkan reduksi padatan

2.4.5 Toksisitas

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 PROSES OKSIDASI LANJUT

Proses oksidasi lanjut merupakan suatu proses yang digunakan untuk mengoksidasi senyawa organik dalam air. Proses ini dapat digunakan untuk menyisihkan senyawa organik yang berkonsentrasi rendah sampai tinggi dari sumber yang beragam seperti air tanah, limbah rumah tangga dan industri, destruksi *sludge*, dan pengendalian senyawa organik yang mudah menguap. Dengan menggunakan proses oksidasi lanjut, senyawa organik dapat dimineralisasi secara sempurna membentuk karbondioksida dan air dengan adanya radikal hidroksida. Nilai konstanta laju oksidasi radikal hidroksida dengan senyawa organik berada pada rentang 10^8 sampai $10^{11} \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$ (M. B. Ray et al, 2007).

Proses oksidasi lanjut merupakan suatu metode yang memanfaatkan keberadaan radikal hidroksida sebagai oksidator yang sangat kuat untuk menguraikan senyawa organik, yang tidak dapat dioksidasi dengan oksidator konvensional seperti oksigen, ozon, dan klorin. Radikal hidroksida memiliki potensial oksidasi sebesar 2,80 eV yang lebih tinggi dibandingkan ozon yang memiliki potensial oksidasi sebesar 2,70 eV. Ini yang menjadi alasan bahwa

radikal hidroksida dapat digunakan secara efektif untuk mengoksidasi mikroorganisme dan senyawa organik yang sulit diuraikan.

Tabel 2.6 Potensial Oksidasi Oksidan Pengolahan Air

Oksidator	Potensial Oksidasi (E°, Volt)
Flourin	3,06
Radikal OH	2,80
Oksigen atomik	2,42
Ozon	2,07
H ₂ O ₂	1,77
Radikal hidroperoksida	1,70
Permanganat	1,67
Chlorine dioksida	1,50
Asam hipoklor	1,49
Klorin	1,36

Proses oksidasi lanjut merupakan kombinasi dari beberapa metode oksidasi yaitu ozon dengan hidrogen peroksida, ultraviolet dengan ozon atau kavitasi dengan ozon dan ozonasi katalitik dengan menggunakan ion logam, oksida logam atau karbon aktif (Li-Bing Chu et al, 2007).

2.5.3 Kombinasi Ozon dan Kavitasi

Kombinasi ozon dan kavitasi merupakan salah satu proses oksidasi lanjut yang memanfaatkan gelembung mikro untuk meningkatkan perpindahan massa pada proses ozonasi, meningkatkan pembentukan radikal hidroksida dan meningkatkan oksidasi dari senyawa organik. Proses ozonasi merupakan contoh absorpsi gas dengan reaksi kimia dimana laju reaksi total dapat dipengaruhi oleh kinetika reaksi dan transfer massa. Kondisi tersebut ditentukan dengan tahap laju reaksi pembatas dari laju transfer massa gas-cair yang rendah sampai kelarutan ozon yang rendah. Laju transfer massa tergantung pada karakteristik campuran kontraktor gas-cair yang digunakan, kinetika peluruhan ozon dalam air dan jumlah dan ukuran gelembung mikro yang dihasilkan. Efektifitas ozonasi dapat ditingkatkan dengan memperluas area permukaan ozon melalui peningkatan

gelembung yang lebih kecil. Di banyak kasus ozonasi tidak dapat menguraikan senyawa organik menjadi karbondioksida (mineralisasi) secara sempurna, melainkan hanya mengoksidasi sebagian menghasilkan aldehida, asam organik dan keton (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*. Temperatur dalam kavitas dapat mencapai sekitar 5200 K pada saat pecahnya gelembung dan 1900 K pada daerah *interface* antara cairan dan pecahnya gelembung (M.B. Ray et al, 2007). Gelembung mikro dengan tekanan dalam yang lebih tinggi dapat mempengaruhi dekomposisi ozon dan meningkatkan radikal hidroksida yang dihasilkan. Metode kavitas dengan teknologi gelembung mikro dapat meningkatkan oksidasi ozon dan transfer massa dengan baik (Li-Bing Chu et al, 2007).

Kavitas merupakan fenomena pembentukan, pertumbuhan dan hancurnya gelembung mikro dalam cairan. Jika fenomena ini terjadi karena adanya gelombang suara dengan frekuensi tinggi disebut dengan kavitas akustik dan jika terjadi karena adanya variasi tekanan pada cairan yang mengalir akibat perubahan geometri pada sistem yang mengalir disebut dengan kavitas hidrodinamik (Jyoti dan Pandit, 2003). Kavitas merupakan salah satu metode yang digunakan untuk desinfeksi yang tidak menggunakan bahan kimia sehingga tidak menghasilkan produk samping yang beracun (Jyoti dan Pandit, 2000).

Desinfeksi terjadi pada mikroorganisme yang berada dalam kavitas akan mati akibat getaran gelombang dan intensitas panas yang dihasilkan dengan pecahnya gelembung di daerah kavitas. Mekanisme kavitas terjadi pada saat fluida akan melewati daerah penyempitan, kecepatannya meningkat dan tekanan statiknya menurun. Jika tekanannya di bawah nilai kritis, biasanya di bawah nilai tekanan uap pada temperatur operasi maka gelembung kecil atau kavitas uap akan terbentuk dalam cairan. Kenaikan kecepatan menghasilkan perubahan penurunan tekanan yang besar (sekitar ratusan bar) dan peningkatan intensitas kavitas

sehingga dapat menghancurkan dinding sekitar mikroorganisme (Jyoti dan Pandit, 2000).

2.6 FILTRASI MEMBRAN

Teknik pemisahan dengan membran umumnya berdasarkan ukuran partikel dan berat molekul. Teknologi membran memiliki beberapa keunggulan antara lain (Dhaneswara, 2007) :

1. Konsumsi energi yang relatif rendah karena prosesnya tidak memerlukan perubahan fasa dari gas yang akan dipisahkan
2. Tidak memerlukan aditif sehingga tidak memerlukan biaya tambahan dan tidak menghasilkan limbah tambahan
3. Sistem peralatannya hanya memerlukan ruang yang relatif kecil
4. Biaya investasi dan prosesnya kecil karena peralatan yang digunakan lebih sederhana, murah dan fleksibel dalam penggunaannya
5. Pemisahan dilakukan pada temperatur ruang (relatif rendah) sehingga dapat mencegah kerusakan fluida yang sensitif terhadap suhu
6. Mudah dikombinasikan dengan proses lain (*hybrid processing*)

Selain itu, membran juga memiliki kelemahan yaitu :

1. Khusus untuk membran organik (polimer) tidak dapat dioperasikan pada temperatur tinggi karena cepat rusak
2. Mudah timbul kerak (*membrane fouling*), yaitu kotoran yang mengendap pada permukaan membran. Biasanya hanya terjadi untuk aplikasi fluida cairan
3. Polarisasi konsentrasi, yaitu penumpukan komponen-komponen yang memiliki konsentrasi tinggi pada permukaan membran

Berdasarkan mekanisme pemisahan ukuran partikel membran dan kondisi operasi, membran dapat dibagi menjadi beberapa tipe antara lain (Dhaneswara, 2007) :

1. Mikrofiltrasi

Membran ini memiliki diameter pori antara 0,1 – 50 μm . Diaplikasikan pada tekanan operasi rendah (< 1 bar) untuk memisahkan partikulat, bakteri atau koloid besar tersuspensi dari aliran umpan. Pada operasi normal, mikrofiltrasi hanya menghilangkan sedikit senyawa-senyawa organik, tetapi bila dilakukan perlakuan

awal, penghilangan senyawa-senyawa organik dapat ditingkatkan dan juga dapat mengurangi *fouling* membran.

2. Ultrafiltrasi

Membran yang digunakan memiliki diameter pori 0,001 – 0,2 μm . Diaplikasikan pada tekanan operasi rendah (1 – 10 bar) untuk memisahkan spesies dengan berat molekul tinggi dari aliran umpan. Terutama digunakan untuk memisahkan komponen-komponen organik dari air berdasarkan ukurannya (berat molekul). Membran ini dimanufaktur dengan kemampuan untuk memisahkan kontaminan dengan berat molekul 500 – 1.000.000.

3. Nanofiltrasi

Nanofiltrasi merupakan salah satu bentuk penting yang menggunakan gaya penggerak tekanan, yang diaplikasikan pada kemampuan separasi antara osmosis balik dan ultrafiltrasi, yaitu separasi ion-ion dari solut seperti molekul-molekul gula. Membran ini memiliki diameter pori 0,001 – 0,01 μm dan bekerja pada tekanan operasi 20 – 40 bar.

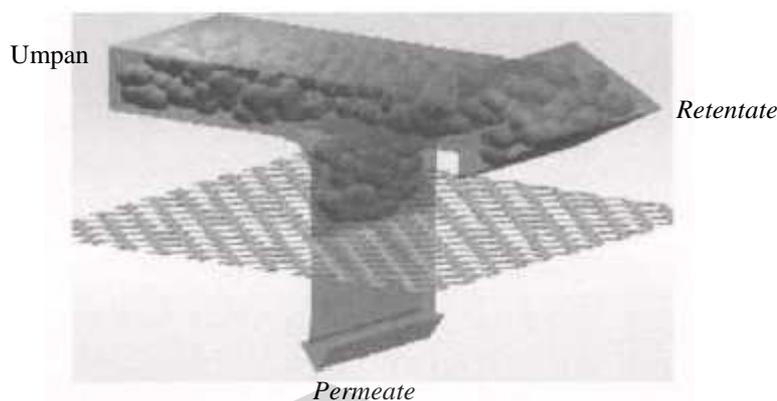
Osmosis Balik

Membran ini memiliki diameter pori 0,0005 – 0,002 μm . Prosesnya menggunakan gaya penggerak tekanan untuk memisahkan solut ionik dan makromolekul dari larutan. Diaplikasikan pada tekanan operasi tinggi (30 – 60 bar) untuk memisahkan spesies dengan berat molekul rendah dari aliran umpan. Ciri khasnya, digunakan untuk memisahkan spesies yang memiliki berat molekul antara 100 - 500.

2.6.1 Modul Membran

Sebuah unit modul membran terdiri dari tiga aliran, yaitu :

1. Aliran umpan (*feed*),
2. Aliran *permeate*, yaitu aliran umpan yang dapat menembus membran
3. Aliran tertahan (*retentate*), yaitu aliran umpan yang terhalang atau tidak dapat menembus membran



Gambar 2.4 Skema proses separasi menggunakan membran

Desain modul penting pada proses separasi menggunakan membran karena unit ini harus beroperasi pada skala teknis dengan luas permukaan membran yang besar. Konfigurasi dasar membran ada dua jenis yaitu konfigurasi berbentuk lembaran (*flat*) dan pipa (*tubular*). Pemilihan desain modul membran tergantung pada keperluan operasi untuk separasi dan pengaplikasiannya.

2.6.2 *Fouling* Membran

Salah satu kelemahan penggunaan teknologi membran adalah *fouling* membran, yaitu kotoran yang mengendap pada permukaan membran dan biasanya terjadi untuk aplikasi fluida cairan. Kondisi tersebut dapat menurunkan kinerja membran, yaitu menurunkan fluks membran dan kualitas air yang dihasilkan.

Beberapa faktor yang mempengaruhi *fouling* membran, antara lain :

1. Sifat membran, seperti ukuran pori dan bahan membran
2. Sifat cairan, seperti konsentrasi, sifat komponennya dan distribusi ukuran partikel
3. Kondisi operasi, seperti pH, laju alir dan tekanan

Fouling membran dapat diminimalisasi dengan berbagai strategi yaitu pembersihan, pemilihan membran sesuai dengan kondisi operasi dan melakukan perlakuan awal sebelum melalui proses filtrasi dengan menggunakan membran. Membran dapat dibersihkan baik secara fisik, biologis maupun kimiawi. Termasuk pembersihan fisik dengan menggunakan spon, air jet atau *backflushing*. Pembersihan biologis menggunakan *biocide* untuk menghilangkan

mikroorganisme, sedangkan pembersihan kimia melibatkan penggunaan asam dan basa untuk menghilangkan pengotor (<http://en.wikipedia.org>).

Perlakuan awal pada membran dapat mengatasi permasalahan *fouling* membran, misalnya dengan melakukan proses oksidasi lanjut yang berbasis ozonasi dan kavitasi sehingga dapat meningkatkan kualitas air dan periode penggunaan membran.

2.6.3 Membran Keramik

Membran keramik merupakan salah satu jenis membran anorganik (membran yang khusus memiliki lapisan metal oksida yang secara luas diterapkan pada proses ultrafiltrasi dan mikrofiltrasi). Secara komersial, umumnya memiliki pori yang kasar (5 – 20 μm) dengan ketebalan relatif ± 2 mm (Dhaneswara, 2007).

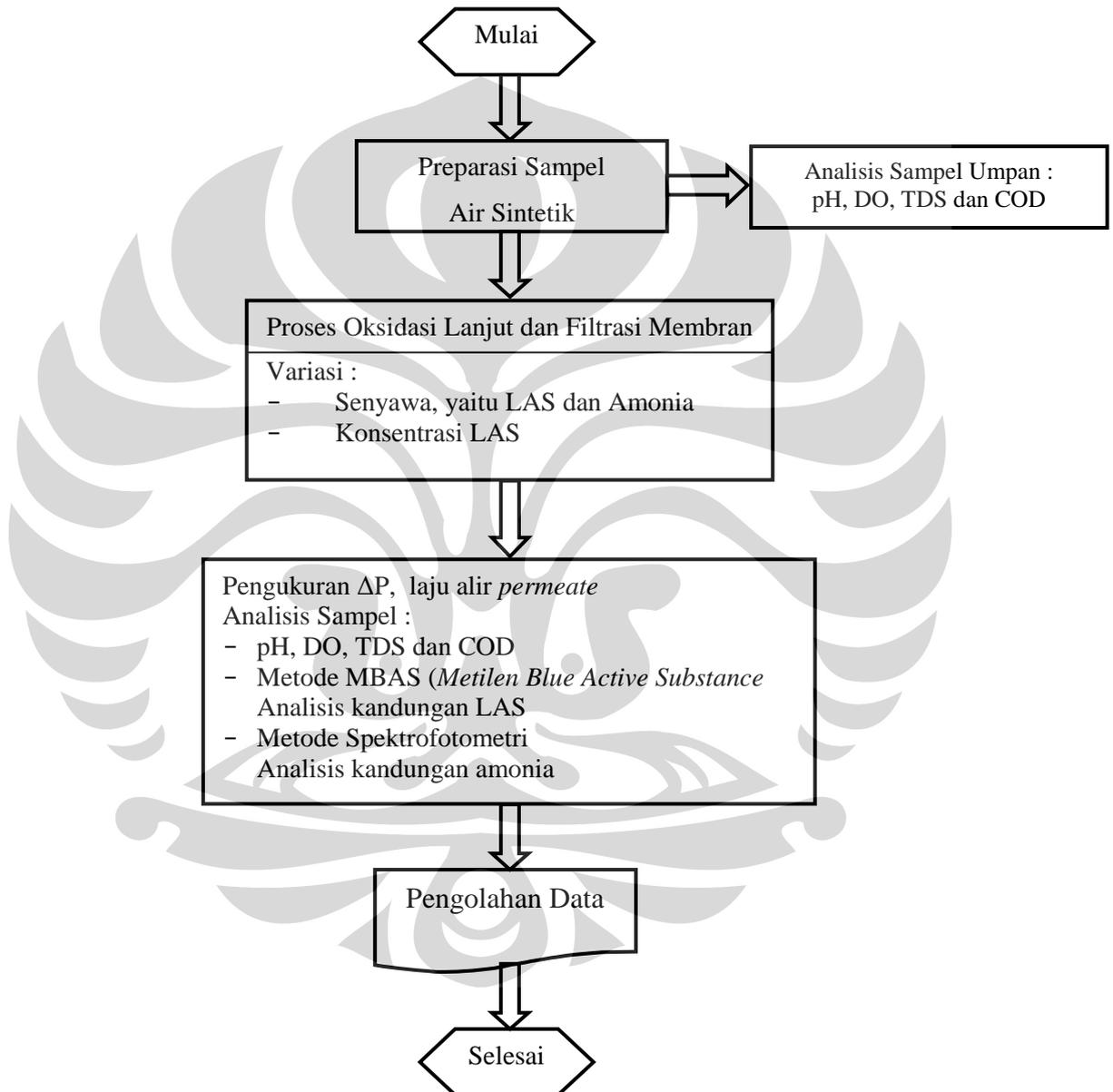
Membran keramik merupakan salah satu struktur membran yang asimetris (dengan lapisan *dense* atau berpori). *Support* yang berpori terdiri dari partikel keramik (alumina (Al_2O_3), titania (TiO_2) dan zirconia (ZrO_2) atau kombinasi material tersebut), dimana porinya direduksi ukurannya (dalam 3 - 5 tahapan) sebelum lapisan atas terbentuk. Lapisan terakhir *support* memiliki ukuran pori 1 - 5 μm . Bentuk keramik yang lebih disukai yaitu rod, karena jika dalam bentuk piringan tipis mudah retak (Rijn, 2005).

Keunggulan membran keramik adalah (Rijn, 2005) :

1. Tidak menyerap air
2. Tidak mengembang/membesar
3. Stabil terhadap suhu
4. Memiliki kekuatan (secara fisik keras), dapat menyisihkan partikel tanpa merusak membran
5. Ketahanan terhadap bahan kimia yang tinggi

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 RANCANGAN PENELITIAN

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

3.2.1 Preparasi Sampel

Air sintetik yang digunakan dalam penelitian ini adalah air sintetik yang mengandung LAS dan amonia. Variasi konsentrasi LAS yang dibuat dalam air sintetik yaitu 30 mg/L, 50 mg/L dan 100 mg/L. Sedangkan untuk konsentrasi amonia dibuat dalam air sintetik yaitu 60 mg/L.

3.2.2 Proses Oksidasi Lanjut dan Filtrasi Membran

Laju alir umpan yang digunakan adalah laju alir optimum yang didapatkan pada uji hidrodinamika pada penelitian sebelumnya, yaitu sebesar 240 L/jam (Rozi, 2009). Air umpan yang mengandung LAS dimasukkan ke unit pengolahan air yang menggunakan proses oksidasi lanjut dan filtrasi membran dengan Ozonator Resonansi – Membran Keramik (Mikrofiltrasi). Pada tahap ini dilakukan proses oksidasi lanjut – filtrasi membran secara bertingkat tiga (*retentate* hasil filtrasi dimasukkan lagi ke dalam reservoir untuk diproses kembali, *recycle* terhadap *retentate* dilakukan dua kali). Hal yang sama dilakukan untuk sampel amonia.

3.2.3 Pengambilan Sampel

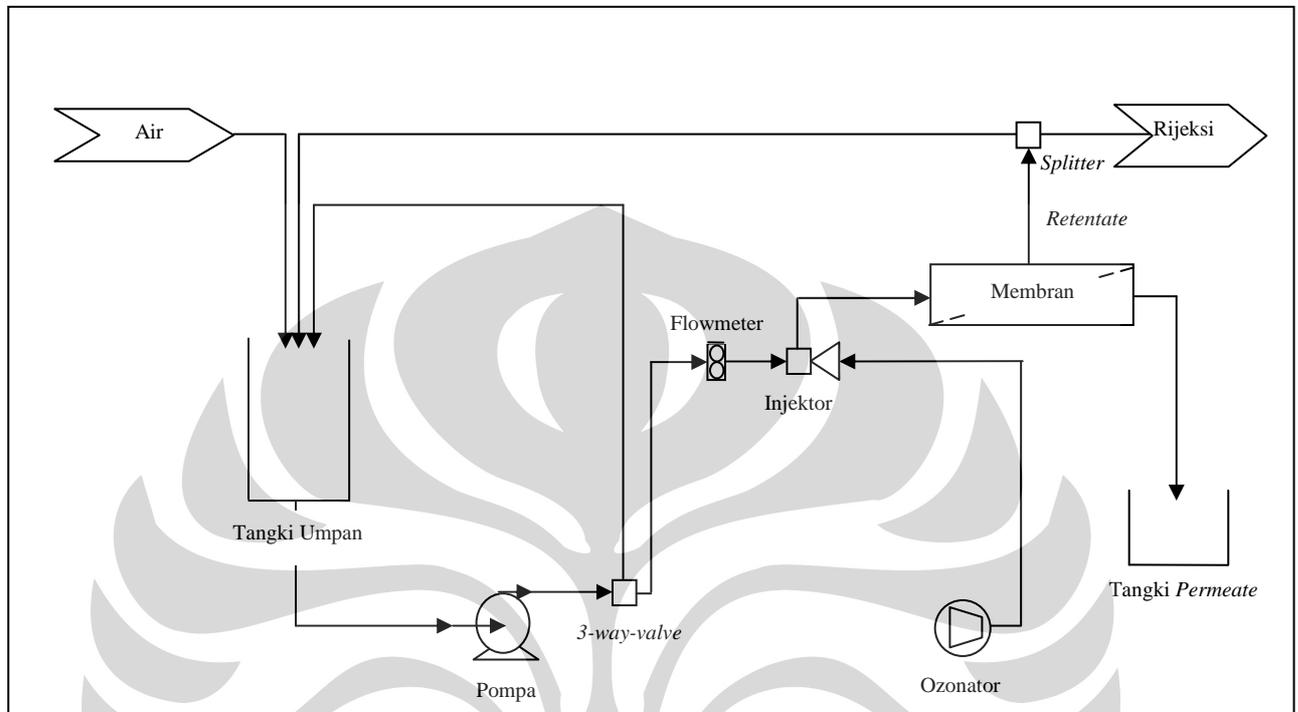
Air umpan dan *permeate* diambil untuk mengetahui parameter pH, DO, TDS, COD serta kandungan LAS dan amonia. Sampel diambil setiap awal, 20 menit dan 40 menit selama proses oksidasi lanjut – filtrasi membran untuk dianalisis.

3.2.4 Analisis Sampel

Sampel dianalisis berdasarkan parameter-parameter kualitas air seperti pH, DO, TDS, COD serta kandungan LAS dan amonia.

3.3 DESKRIPSI ALAT PENELITIAN

Alat yang digunakan terdiri dari tiga bagian utama, yaitu ozonator, injektor dan membran, seperti terlihat pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3.2 Skema Alat Penelitian



Gambar 3.3 Foto Alat Penelitian

3.3.1 Ozonator

Ozonator yang digunakan yaitu ozonator merk Resun RSO 9508 dengan produktivitas ozon sebesar 0,1012 g/jam dan laju alir 1200 L/jam. Ozonator ini berfungsi untuk menghasilkan ozon yang akan diinjeksikan ke dalam air melalui injektor.

3.3.2 Injektor

Injektor yang digunakan merupakan injektor tipe venture 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.

3.3.3 Membran

Membran yang digunakan dalam penelitian ini adalah membran mikrofiltrasi berbahan keramik. Alasan pemilihan membran ini adalah karena membran berbahan jenis ini memiliki daya tahan yang baik terhadap ozon.

Air umpan yang berasal dari reservoir dialirkan ke sistem dengan menggunakan pompa, sebagian dari air tersebut dialirkan kembali menuju resevoir. Air yang menuju ke sistem kemudian dilewatkan ke injektor. Dalam injektor, kecepatan aliran air akan meningkat sehingga akan menurunkan tekanan dalam ruang dan memungkinkan ozon yang dihasilkan oleh ozonator dimasukkan ke dalam *suction port* dan ikut masuk ke dalam aliran. Saat aliran dengan kecepatan tinggi ini menuju keluaran injektor kecepatannya berkurang, namun tekanannya akan meningkat kembali. Tekanan keluaran ini masih lebih rendah dibandingkan tekanan masukan injektor. Gelembung yang dihasilkan oleh injektor mazzei ini adalah gelembung mikro. Ketika ozon sudah terlarut dalam air terjadi proses oksidasi senyawa organik yang ada di dalam air oleh ozon. Setelah itu air akan melewati membran untuk memisahkan partikel-partikel yang ada dalam air. Foto alat penelitian dapat dilihat pada **Gambar 3.3**.

3.4 PROSEDUR PENELITIAN

Prosedur penelitian yang akan dilakukan diuraikan sebagai berikut :

3.4.1 Uji Produktivitas Ozon

Uji produktivitas ozon ini menggunakan metode iodometri, yaitu berdasarkan reaktivitas ozon terhadap larutan KI. Ion iodida dioksidasi menjadi iodium oleh ozon dalam larutan KI dan pH larutan dibuat menjadi dua dengan asam sulfat. Selanjutnya pembebasan iodium dititrasi dengan natrium tiosulfat. Titik akhir titrasi ditandai dengan berubahnya warna larutan menjadi bening atau tidak berwarna. Reaksi ozon dengan KI adalah sebagai berikut (Day and Underwood, 2001) :



Pembebasan iodium dititrasi dengan natrium tiosulfat :



3.4.1.1 Alat dan Bahan

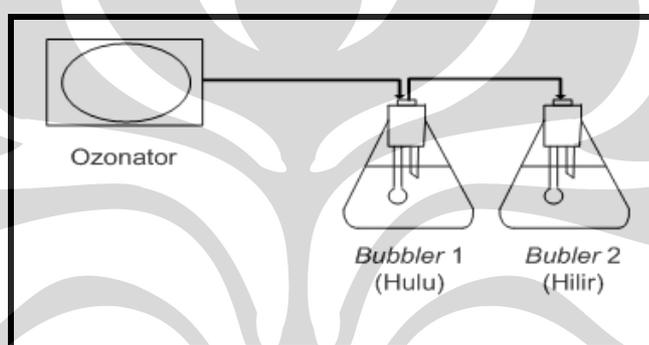
Alat yang digunakan adalah ozonator merek Resun RSO 9508 (produktivitas ozon sebesar 0,1012 g/jam dan laju alir 1200 L/jam); gelas *beaker* 50 mL dan 500 mL; erlenmeyer 500 mL dan 1000 mL; gelas ukur 10 mL dan 50 mL, labu ukur 250 mL dan 1000 mL; botol akuades, buret 50 mL; statif dan *stopwatch*.

Bahan yang digunakan adalah larutan KI, H₂SO₄, akuades, serbuk Na₂S₂O₃.5H₂O dan indikator amilum.

3.4.1.2 Prosedur

1. Melarutkan KI (serbuk putih) sebanyak 20 gram dengan akuades hingga mencapai volum 1000 mL
2. Melarutkan Na₂S₂O₃.5H₂O (serbuk putih) sebanyak 0,62 gram (0,005 N) dengan akuades hingga mencapai volum 1000 mL
3. Mengencerkan larutan H₂SO₄ 18 N sebanyak 14 mL sehingga diperoleh larutan H₂SO₄ 2N sebanyak 250 mL

4. Larutan KI dimasukkan ke dalam *gas washing bottle (bubbler)* yang terdiri dari bagian hulu dan hilir masing-masing sebanyak 200 mL, kemudian ozonator mulai dinyalakan dan dilewatkan ke dalam *bubbler*
5. Pengambilan sampel dilakukan ketika warna larutan KI berubah dari bening menjadi kuning muda
6. Sebelum titrasi dengan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, sampel ditambahkan H_2SO_4 2N sebanyak 10 mL dan indikator amilum hingga warna larutan menjadi biru tua (menandakan terkandungnya I_2 dalam sampel)
7. Proses titrasi dihentikan sampai larutan yang berwarna biru tua menjadi bening
8. Perlakuan ini dilakukan terhadap sampel bagian hulu dan hilir



Gambar 3.4 Skema percobaan produktivitas ozonator

3.4.2 Kinerja Penyisihan LAS

Pada penelitian ini, proses berlangsung secara *semi batch* untuk penyisihan senyawa LAS.

3.4.2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan adalah ozonator merek Resun RSO 9508 (produktivitas ozon sebesar 0,1012 g/jam dan laju alir 1200 L/jam), membran keramik (ukuran pori sebesar 0,9 μm), manometer digital, pH meter, DO meter, TDS meter dan *stop watch*.

Bahan yang digunakan adalah air sintetik yang mengandung LAS 30 mg/L, 50 mg/L dan 100 mg/L.

3.4.2.2 Prosedur

Prosedur penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan Air Sintetik :

Pada tahap ini dilakukan pembuatan air sintetik yang mengandung senyawa LAS sebesar 30 mg/L, 50 mg/L dan 100 mg/L, yaitu dengan melarutkan serbuk surfaktan LAS masing-masing sebesar 1,5000 gram; 2,5000 gram dan 5,000 gram dalam 50 liter air.

2. Proses Oksidasi Lanjut dan Filtrasi Membran

Pada tahap ini dilakukan dilakukan proses oksidasi lanjut – filtrasi membran secara bertingkat tiga (*retentate* hasil filtrasi dimasukkan kembali ke dalam reservoir untuk diproses kembali, *recycle* terhadap *retentate* dilakukan dua kali). Pada tahap ini juga dilakukan pengukuran ΔP pada membran dan laju *permeate* untuk mengetahui kinerja membran.

Langkah-langkah percobaan adalah sebagai berikut :

- a. Mengisi reservoir dengan air sintetik
- b. Menyalakan pompa, kemudian mengatur laju alir menjadi 240 L/jam dan melihat kondisi air apakah telah melalui membran
- c. Mengalirkan ozon melalui injektor
- d. Setelah aliran *steady*, mulai diukur ΔP dan laju *permeatenya* selama proses oksidasi lanjut – filtrasi membran berlangsung.
- e. Mengambil sampel air pada *permeate* dan *retentate* (sebagai umpan untuk proses oksidasi lanjut – filtrasi membran yang kedua) dan diukur pH, DO, TDS dan CODnya.
- f. Mengulangi percobaan di atas kembali untuk proses oksidasi lanjut – filtrasi membran yang ketiga

3.4.3 Kinerja Penyisihan Amonia

Pada penelitian ini, proses berlangsung secara *semi batch* untuk penyisihan amonia.

3.4.3.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan adalah ozonator merek Resun RSO 9508 (produktivitas ozon sebesar 0,1012 g/jam dan laju alir 1200 L/jam), membran

keramik (ukuran pori sebesar 0,9 μm), manometer digital, pH meter, DO meter, TDS meter dan *stop watch*.

Bahan yang digunakan adalah air sintetik yang mengandung amonia 60 mg/L.

3.4.3.2 Prosedur

Prosedur penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan Air Sintetik :

Pada tahap ini dilakukan pembuatan air sintetik yang mengandung senyawa amonia sebesar 60 mg/L, yaitu dengan melarutkan 9,2647 gram NH_4Cl dalam 50 liter air.

2. Proses Oksidasi Lanjut dan Filtrasi Membran

Pada tahap ini dilakukan dilakukan proses oksidasi lanjut – filtrasi membran secara bertingkat tiga (*retentate* hasil filtrasi dimasukkan kembali ke dalam reservoir untuk diproses kembali, *recycle* terhadap *retentate* dilakukan dua kali). Pada tahap ini juga dilakukan pengukuran ΔP pada membran dan laju *permeate* untuk mengetahui kinerja membran.

Langkah-langkah percobaan adalah sebagai berikut :

- a. Mengisi reservoir dengan air sintetik
- b. Menyalakan pompa, kemudian mengatur laju alir menjadi 240 L/jam dan melihat kondisi air apakah telah melalui membran
- c. Mengalirkan ozon melalui injektor
- d. Setelah aliran *steady*, mulai diukur ΔP dan laju *permeatenya* selama proses oksidasi lanjut – filtrasi membran berlangsung.
- e. Mengambil sampel air pada *permeate* dan *retentate* (sebagai umpan untuk proses oksidasi lanjut – filtrasi membran yang kedua) dan diukur pH, DO, TDS dan CODnya.
- f. Mengulangi percobaan di atas kembali untuk proses oksidasi lanjut – filtrasi membran yang ketiga

3.5 ANALISIS SAMPEL

Prosedur saat melakukan analisis dengan metode-metode yang digunakan dalam penelitian ini akan di jelaskan sebagai berikut :

3.5.1 Analisis Kandungan LAS

Analisis LAS menggunakan metode MBAS (*Metilen Blue Active Substances*) yaitu dengan menambahkan biru metilen dan diekstraksi dengan kloroform kemudian diukur kadar LASnya.

3.5.2 Analisis Kandungan Amonia

Pengujian senyawa amonia ini menggunakan metode spektrofotometri, 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 indofenol ini diukur dengan menggunakan spektrofotometer pada $\lambda = 640$ nm.

3.5.3 Analisis pH

Analisis pH sampel menggunakan metode potensiometri berdasarkan SNI 06-6989.11-2004 (dapat dilihat pada **Lampiran 12**) dengan cara mencelupkan elektroda ke dalam sampel sampai pH meter menunjukkan pembacaan yang tetap.

3.5.4 Analisis *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.

3.5.5 Analisis *Total Dissolved Solids* (TDS)

Analisis TDS dilakukan dengan menggunakan alat TDS meter yaitu dengan mencelupkan elektroda ke dalam larutan sampel sampai TDS meter menunjukkan pembacaan yang tetap.

3.5.6 Analisis *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Analisis COD dilakukan dengan metode spektrofotometri, yaitu dengan cara merefluks sampel selama dua jam pada suhu 150⁰C menggunakan larutan kalium dikromat dan asam sulfat. Sampel yang telah direfluks selanjutnya diukur dengan menggunakan alat spektrofotometer pada $\lambda = 420$ nm.

3.6 PENGOLAHAN DATA

Pengolahan data dilakukan dengan menghitung persentase penyisihan LAS dan amonia. Persentase penyisihan senyawa LAS dan amonia tersebut dilakukan dengan rumus berikut :

$$\% \text{ Penyisihan} = \frac{F - P}{F} \times 100\% \quad (3.1)$$

Keterangan :

F = Kandungan Pencemar pada *Feed* (Umpan)

P = Kandungan Pencemar pada *Permeate*

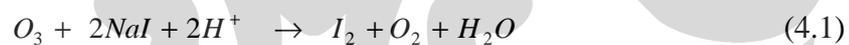
BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

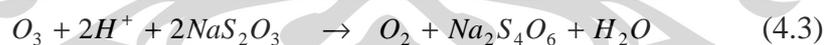
Pada bab ini akan dievaluasi mengenai proses oksidasi lanjut dan filtrasi membran yang telah dilakukan berdasarkan dari data penelitian. Analisa dan pembahasan yang akan dikaji yaitu produktivitas ozonator, kualitas air yang dihasilkan dari proses tersebut dan kinerja membran.

4.1 PRODUKTIVITAS OZONATOR

Dari percobaan ini diperoleh informasi mengenai jumlah ozon yang diproduksi dari ozonator merk resun RSO 9508 melalui metode iodometri. Ozon yang dihasilkan dari ozonator tersebut dikontakkan dengan larutan KI, sehingga ozon akan mengoksidasi larutan KI dalam *bubbler*. Hal ini ditandai dengan adanya perubahan warna larutan menjadi kuning, warna tersebut merupakan warna dari I_2 yang terbentuk dari reaksi oksidasi antara ozon dan KI. Adapun reaksi oksidasinya adalah sebagai berikut :



Pembebasan Iodium dititrasi dengan $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$



Reaksi ini berjalan cepat sampai selesai dan tidak ada reaksi samping. Dari persamaan reaksi di atas, maka jumlah mol ozon yang terbentuk oleh ozonator akan sama dengan setengah jumlah mol natrium tiosulfat yang terpakai. Jumlah tersebut dibagi dengan waktu yang diperlukan ozon untuk mengoksidasi KI sehingga akan diperoleh produktivitas ozon.

Jumlah ozon yang dihasilkan berdasarkan pengolahan data dapat dilihat pada **Tabel 4.1**. Produktivitas ozon dari ozonator merk resun RSO 9508 sebesar 0,1012 g/jam (yang mengklaim bahwa ozonator ini mampu menghasilkan 2,8 g/jam).

Tabel 4.1 Data Uji Produktivitas Ozon dari Ozonator Merk Resun RSO 9508

NO.	t (s)	V Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O hulu (mL)	V Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O hilir (mL)	Produktivitas Ozon (g/jam)
1	112,69	51,10	0,80	0,0995
2	132,31	61,20	1,20	0,1019
3	156,87	70,30	3,90	0,1022
Produktivitas Ozon rata-rata (g/jam)				0,1012

4.2 KUALITAS AIR DARI PROSES OKSIDASI LANJUT DAN FILTRASI MEMBRAN

Kualitas air merupakan bagian yang perlu dievaluasi pada penelitian ini. Kualitas air yang dihasilkan dari proses oksidasi lanjut dan filtrasi membran akan dibandingkan dengan air sumur DTK FTUI sebelum diproses sebagai umpan dan persyaratan kualitas air minum menurut KEPMENKES No. 907/MENKES/SK/VII/2002 sehingga dapat diketahui kualitas air yang dihasilkan layak atau tidak air tersebut untuk dikonsumsi sebagai air minum.

Pada uji kinerja penyisihan LAS dan amonia dilakukan proses oksidasi lanjut – filtrasi membran bertingkat tiga (*retentate* hasil filtrasi dimasukkan lagi ke dalam reservoir untuk diproses kembali, *recycle* terhadap *retentate* dilakukan dua kali), selain itu juga diuji parameter pH, DO, TDS dan COD.

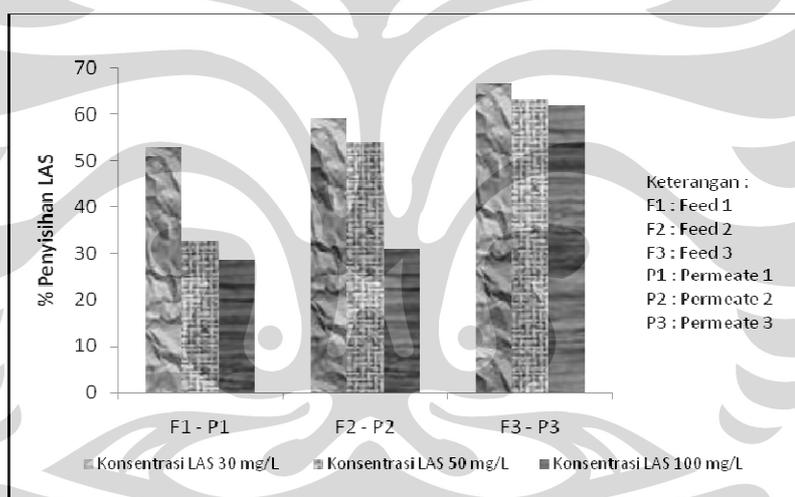
4.2.1 Uji Penyisihan LAS

Pada penelitian ini dilakukan variasi konsentrasi sehingga dapat dilihat efektifitas proses oksidasi lanjut – filtrasi membran dalam menyisihkan air yang mengandung senyawa LAS.

Gambar 4.1 menunjukkan persentase penyisihan senyawa LAS pada proses oksidasi lanjut – filtrasi membran. Hasil konsentrasi penyisihan dapat dilihat pada **Tabel 4.2**, penyisihan LAS dapat berjalan dengan baik dengan diperoleh konsentrasi LAS dari air *permeate* tingkat tiga sebesar 3,392 mg/L; 8,533 mg/L dan 17,481 mg/L untuk konsentrasi awal LAS 30 mg/L, 50 mg/L dan 100 mg/L dan % penyisihan total masing-masing sebesar 89,82%; 84,20% dan 81,49% (perhitungan dapat dilihat pada **Lampiran 5**). Peningkatan persentase LAS dapat

disebabkan karena kondisi pH larutan umpan yang cenderung meningkat (**Gambar 4.3a**).

Berdasarkan salah satu penelitian, pada air limbah sintetik yang mengandung konsentrasi LAS sekitar 15 mg/L pada rentang pH antara 2 – 10, kondisi pH mempengaruhi penyisihan LAS. Peningkatan pH mempengaruhi dekomposisi ozon menjadi radikal hidroksida sehingga meningkatkan persentase penyisihan LAS, karena pada saat pH dinaikkan dihasilkan radikal hidroksida yang akan mengoksidasikan LAS dengan cepat. Pada pH 7 dengan waktu pengolahan selama 60 menit dan konsumsi ozon sebesar 180 mg/L dapat menyisihkan LAS sebesar 79,3%, sedangkan pada pH yang lebih tinggi yaitu pH 10 dengan waktu pengolahan yang sama dapat menyisihkan LAS sebesar 82,7 % (Bealtran, 2000).



Gambar 4.1 Grafik persentase penyisihan LAS pada proses oksidasi lanjut – filtrasi membran

Tabel 4.2 Konsentrasi Penyisihan LAS

Tingkat	Konsentrasi Penyisihan LAS (mg/L)					
	Konsentrasi Awal LAS 30 mg/L		Konsentrasi Awal LAS 50 mg/L		Konsentrasi Awal LAS 100 mg/L	
	Umpan (F)	Permeate (P)	Umpan (F)	Permeate (P)	Umpan (F)	Permeate (P)
1.	33,328	15,671	54,020	36,349	94,460	67,317
2.	23,899	9,733	41,470	19,107	74,016	51,040
3.	10,134	3,392	23,261	8,533	46,258	17,481

Pada pH antara 4 – 9 akan terjadi reaksi antara LAS dengan ozon yaitu reaksi langsung dan tidak langsung. Reaksi langsung terjadi antara senyawa LAS

dan ozon, sedangkan reaksi tidak langsung, yaitu dengan memanfaatkan radikal hidroksida yang merupakan hasil dekomposisi dari ozon. Reaksi antara ozon dan senyawa LAS berlangsung lambat ($k_{O_3} = 3,68/M.s$), namun bereaksi cepat dengan radikal hidroksida ($k_{\bullet OH} = 1,16 \cdot 10^{10}/M.s$). Reaksi antara radikal hidroksida dengan gugus sulfonat, gugus benzena dan gugus hidrokarbon pada rantai lurus yang terdapat pada senyawa LAS berlangsung cepat sehingga akan meningkatkan penyisihan LAS (Bealtran, 2000).

Penyisihan senyawa LAS berdasarkan reaksi oksidasi antara LAS dan ozon, adapun reaksinya adalah sebagai berikut :

Reaksi oksidasi LAS oleh ozon berlangsung menurut reaksi,

1. Oksidasi gugus alkil

a. Pembentukan gugus alkohol

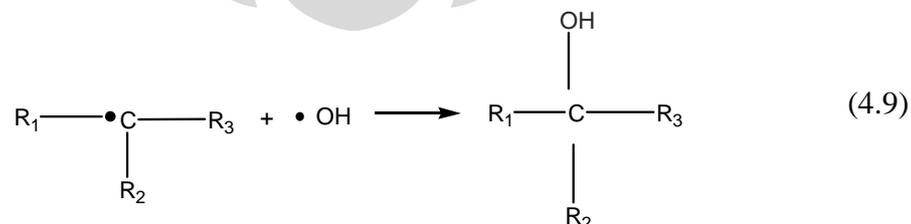
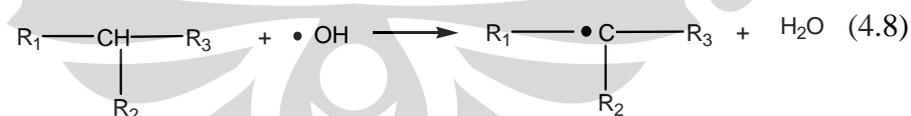
Alkohol Primer



Alkohol Sekunder



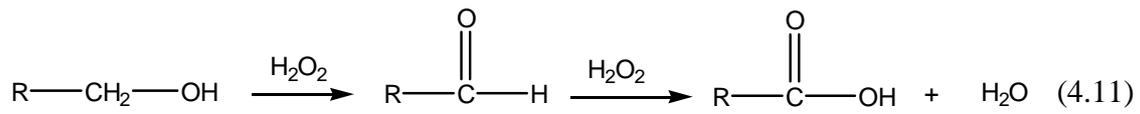
Alkohol Tersier



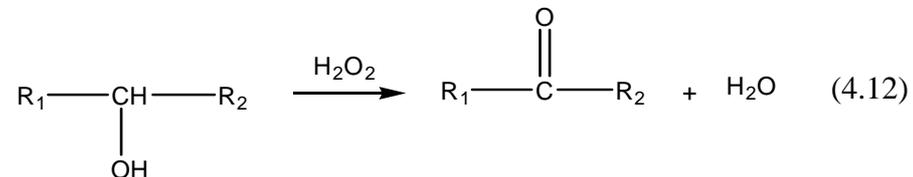
b. Reaksi Oksidasi



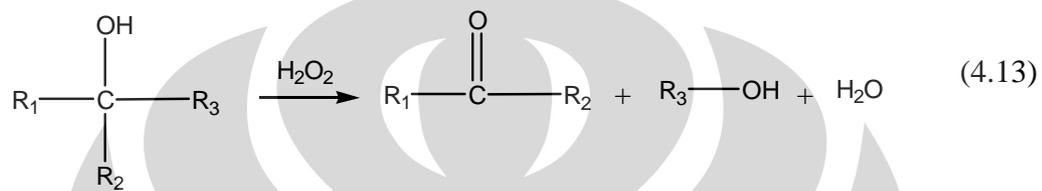
Alkohol Primer



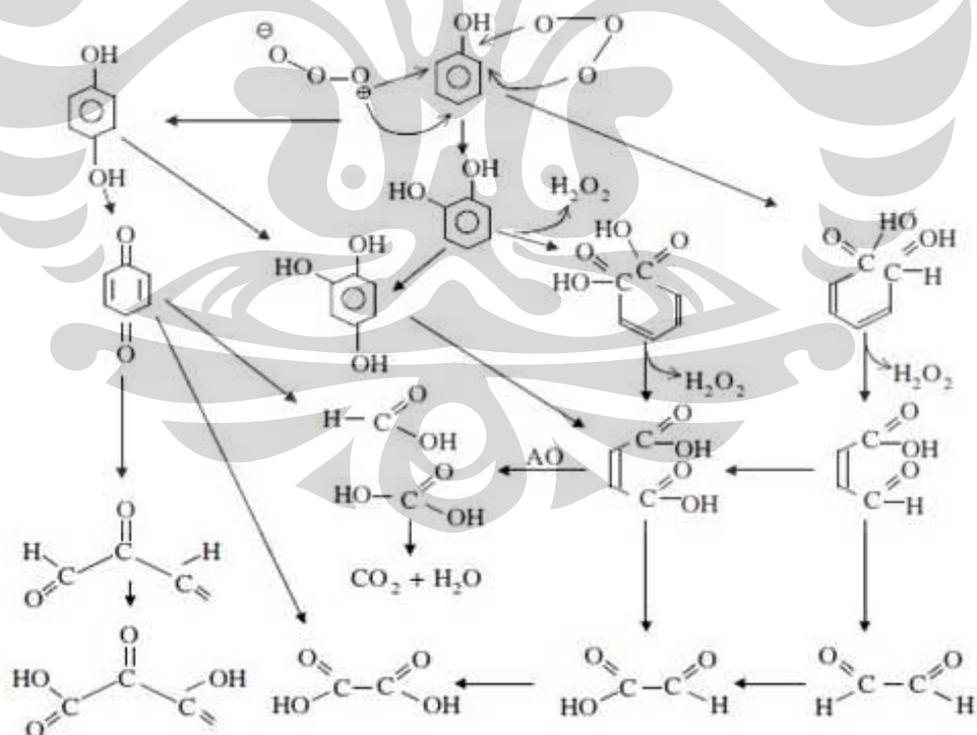
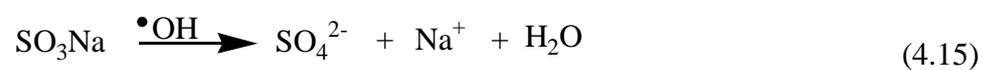
Alkohol Sekunder



Alkohol Tersier



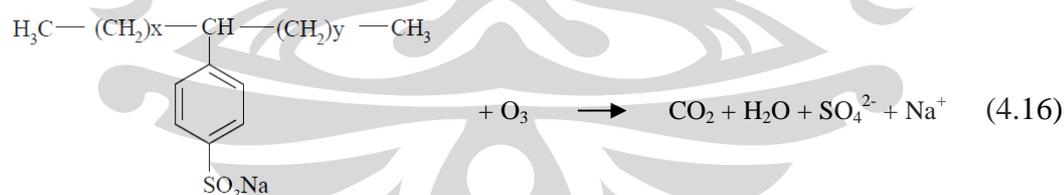
2. Oksidasi Benzena

3. Oksidasi SO_3Na 

Tabel 4.2 menunjukkan ketidakseimbangan jumlah LAS dalam air limbah antara konsentrasi umpan di awal pada tiap tingkat dengan konsentrasi di *permeate* dan *retentate*. Sebagai contoh, pada konsentrasi awal LAS 30 mg/L konsentrasi umpan LAS pada tingkat satu sebesar 33,328 mg/L, konsentrasi LAS pada *permeate* sebesar 15,671 mg/L dan pada *retentate* sebesar 23,899 mg/L, volum pada *permeate* sebesar 25,728 L (dapat dilihat pada **Lampiran 9**) dan volum pada *retentate* sebesar 174,272 L untuk volum total pada umpan sebesar 200 L, maka masih tersisa jumlah LAS sebesar 2,097 gram LAS yang tidak terdapat pada air *permeate* maupun *retentate*. Kemungkinan senyawa LAS tersebut terdapat di permukaan membran.

Gambar 4.1 juga menunjukkan penurunan persentase penyisihan LAS dengan kenaikan konsentrasi awal LAS. Hal ini disebabkan kondisi operasi proses oksidasi lanjut – filtrasi membran diperlakukan sama untuk setiap konsentrasi sehingga kebutuhan ozon dalam air semakin tidak mencukupi. Selain itu, pada konsentrasi awal LAS 100 mg/L, kondisi membran akan bekerja lebih berat dibandingkan konsentrasi LAS yang lebih rendah. Hal ini disebabkan adanya *fouling* pada membran yang lebih banyak pada konsentrasi awal LAS 100 mg/L yang disebabkan oleh akumulasi senyawa-senyawa organik, partikulat atau pengotor lainnya pada permukaan membran.

Secara sederhana reaksi antara ozon dengan LAS adalah sebagai berikut :



Berdasarkan persamaan reaksi 4.16, untuk mengoksidasi LAS sebesar 30 mg/L menjadi CO_2 dan H_2O dibutuhkan ozon sebesar 68,25 – 72,26 mg O_3/L , sedangkan ozon yang terdapat di dalam air terdapat 0,384 mg/L (perhitungan dapat dilihat pada **Lampiran 3**), tetapi dengan adanya kavitas pada proses oksidasi lanjut dapat meningkatkan konsentrasi radikal hidroksida yang cukup efektif untuk menyisihkan senyawa LAS.

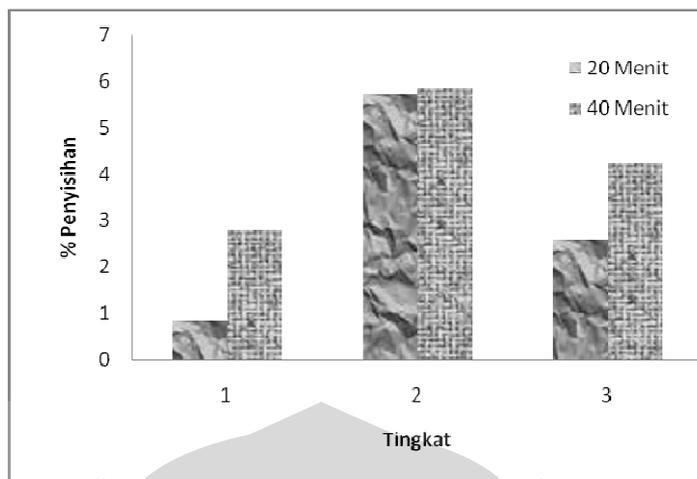
Air *permeate* tingkat tiga pada konsentrasi awal 30 mg/L dan 50 mg/L diperoleh sebesar 3,392 mg/L dan 8,533 mg/L, sedangkan untuk konsentrasi 100 mg/L diperoleh sebesar 17,481 mg/L (dapat dilihat pada **Tabel 4.2**). Dari data tersebut dapat dinyatakan bahwa proses oksidasi lanjut – filtrasi membran dapat menyisihkan LAS untuk konsentrasi awal 30 mg/L dan 50 mg/L yang tidak dapat terdegradasi menjadi senyawa yang dapat terdegradasi. Berdasarkan salah satu penelitian dinyatakan bahwa senyawa LAS dapat terdegradasi dalam kondisi aerob pada konsentrasi < 10 mg/L (Rittmann et. al, 2001 dalam Mehrvar et. al, 2005).

Air *permeate* tingkat tiga yang merupakan air hasil olahan dari proses ini memiliki konsentrasi sebesar 3,392 mg/L; 8,533 mg/L dan 17,481 mg/L untuk konsentrasi awal LAS 30 mg/L, 50 mg/L dan 100 mg/L. Jika dilihat berdasarkan parameter nilai deterjen untuk air minum menurut KEPMENKES No. 907/MENKES/SK/VII/2002, nilai deterjen maksimum yang diperbolehkan sebesar 0,05 mg/L, hasil tersebut berada di atas 0,05 mg/L, artinya air *permeate* dari hasil proses ini belum memenuhi persyaratan kualitas air sebagai air minum. Perlu adanya pengolahan kembali atau pengkondisian pada unit pengolahan air.

4.2.2 Uji Penyisihan Amonia

Gambar 4.2 menunjukkan penyisihan senyawa amonia yang sangat kecil yaitu untuk tingkat satu sebesar 2,79 %, tingkat dua sebesar 5,86 % dan tingkat tiga sebesar 4,32 %. Penyisihan senyawa amonia ini sebagai akibat reaksi antara ozon dengan amonia yang akan membentuk senyawa nitrat dan nitrit.

Reaksi $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ dengan ozon berlangsung sangat lambat, diperkirakan konstanta kecepatan reaksinya dengan ozon sekitar 20/M.s dengan $t_{1/2} = 96$ jam sedangkan proses oksidasi oleh radikal hidroksida dapat berlangsung lebih cepat yaitu $9,7 \times 10^7/\text{M.s}$. Reaksi oksidasi yang terjadi yaitu amonia akan dioksidasi oleh radikal hidroksida membentuk NO_2^- (Nitrit) yang akan dioksidasi lebih lanjut membentuk NO_3^- (nitrat). Reaksi oksidasi NO_2^- menjadi NO_3^- berlangsung cepat. (Urs von Gunten, 2002).



Gambar 4.2 Grafik persentase penyisihan amonia pada proses oksidasi lanjut – filtrasi membran

Tabel 4.3 Konsentrasi Penyisihan Senyawa Amonia

Waktu (menit)	Konsentrasi Amonia (mg/L)		
	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 4.2** penurunan konsentrasi dari amonia relatif kecil dibandingkan dengan penurunan konsentrasi LAS. Hal ini dikarenakan ozon kurang reaktif terhadap senyawa amonia. Penurunan pada konsentrasi yang terjadi kemungkinan disebabkan karena reaksi antara ozon atau radikal hidroksida dimana reaksi ini terjadi pada pH kurang dari 8. Dimana perubahan pH yang sangat signifikan dapat dilihat pada **Gambar 4.4**, 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.

Tabel 4.3 menunjukkan ketidakseimbangan jumlah amonia dalam air limbah antara konsentrasi umpan di awal pada tiap tingkat dengan konsentrasi di *permeate* dan *retentate*. Sebagai contoh, pada konsentrasi awal amonia 60 mg/L

konsentrasi umpan amonia pada tingkat satu sebesar 51,567 mg/L, konsentrasi amonia pada *permeate* sebesar 50,130 mg/L dan pada *retentate* sebesar 51,363 mg/L, volum pada *permeate* sebesar 65,496 L dan volum pada *retentate* sebesar 134,504 L untuk volum total pada umpan sebesar 200 mg/L, maka masih tersisa jumlah amonia sebesar 0,122 gram amonia yang tidak terdapat pada air *permeate* maupun *retentate*. Kemungkinan senyawa amonia tersebut terdapat di permukaan membran.

Air *permeate* tingkat tiga yang merupakan air hasil olahan dari proses ini memiliki konsentrasi sebesar 42,763 mg/L untuk konsentrasi awal amonia 60 mg/L. Jika dilihat berdasarkan parameter nilai amonia untuk air minum menurut KEPMENKES No. 907/MENKES/SK/VII/2002, nilai amonia maksimum yang diperbolehkan sebesar 1,5 mg/L, hasil tersebut berada di atas 1,5 mg/L, artinya air *permeate* dari hasil proses ini belum memenuhi persyaratan kualitas air sebagai air minum. Perlu adanya pengolahan kembali atau pengkondisian pada unit pengolahan air.

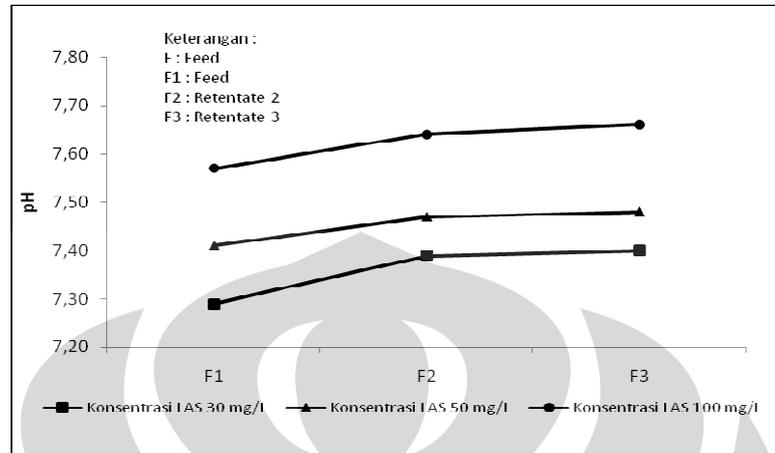
4.2.3 Uji pH

4.2.3.1 Uji pH Terhadap Senyawa LAS

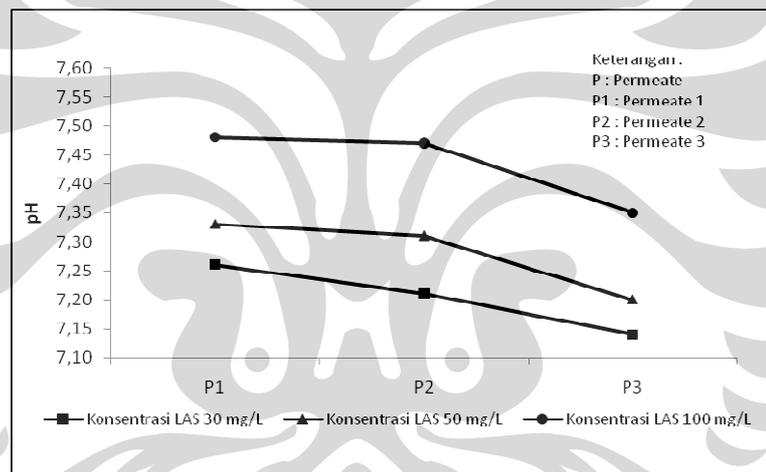
Dari hasil penelitian yang telah dilakukan diperoleh nilai pH yang cenderung meningkat pada umpan dan menurun pada *permeate*. Kondisi tersebut dapat dilihat pada **Gambar 4.3**. pH pada umpan berkisar antara 7,2 – 7,7 sedangkan air pada *permeate* berkisar antara 7,1 – 7,5. Hal tersebut disebabkan air pada *permeate* yang merupakan hasil proses oksidasi lanjut dan filtrasi membran mengandung senyawa antara hasil oksidasi LAS yang sebagian besar bersifat asam seperti senyawa yang memiliki gugus aldehid, keton dan asam karboksilat, yaitu asam maleat, asam mukonat, asam oksalat, asam glioksalat dan asam formiat dari hasil oksidasi gugus benzena pada LAS serta oksidasi gugus sulfonat dan hidrokarbon rantai lurus.

Air sumur DTK FTUI sebelum ada penambahan senyawa LAS memiliki pH sebesar 6,89, setelah penambahan LAS terjadi perubahan pH berkisar antara 7,2 – 7,7 untuk variasi konsentrasi awal LAS 30 mg/L, 50 mg/L dan 100 mg/L. Kondisi

ini sesuai dengan sifat fisika LAS dalam larutan memiliki nilai pH berkisar antara 7 – 9 (HERA, 2009).



(a)



(b)

Gambar 4.3 Perubahan pH air (a) umpan dan (b) *permeate* pada proses oksidasi Lanjut – filtrasi membran terhadap air yang mengandung LAS 30 mg/L, 50 mg/L dan 100 mg/L

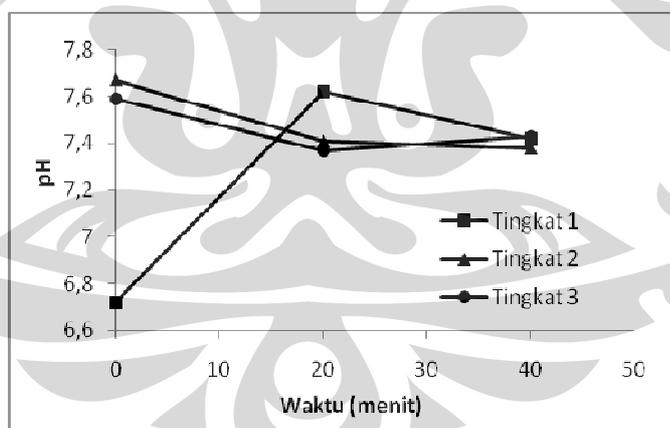
Jika dikaitkan dengan penyisihan LAS, maka kondisi pH akan mempengaruhi proses ozonasi karena nilai pH merupakan variabel penting dalam dekomposisi ozon. Seperti yang sebelumnya disebutkan, dalam rentang pH larutan antara 4 – 9 maka akan terjadi reaksi langsung dan tidak langsung dengan ozon. Reaksi oksidasi langsung oleh ozon dalam air merupakan reaksi molekul ozon dengan ikatan tak jenuh dan akan memicu terjadinya pemecahan ikatan.

Pada penelitian ini, pH pada umpan berkisar antara 7,2 – 7,7 sehingga akan terjadi reaksi langsung dan tidak langsung dengan ozon.

Air *permeate* yang merupakan air hasil olahan dari proses ini berkisar antara 7,1 – 7,5. Jika dilihat berdasarkan parameter nilai pH untuk air minum menurut KEPMENKES No. 907/MENKES/SK/VII/2002, hasil tersebut berada dalam rentang 6,5 – 8,5, artinya pH untuk air dari hasil proses ini memenuhi persyaratan kualitas air sebagai air minum.

4.2.3.2 Uji pH Terhadap Senyawa Amonia

Gambar 4.4 menunjukkan perubahan pH pada senyawa amonia yang 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 4.4 Pengaruh proses oksidasi lanjut – filtrasi membran senyawa amonia terhadap pH larutan

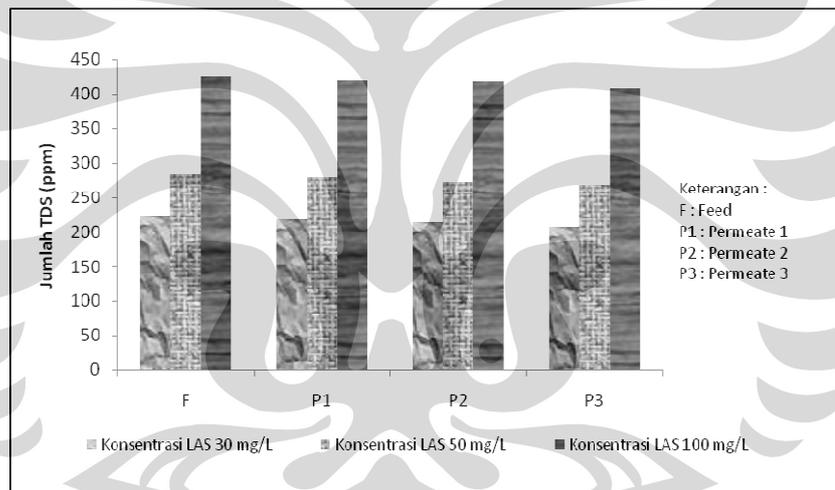
Pada tingkat satu terlihat terjadi kenaikan pH larutan yaitu dari 6,72 menjadi 7,62 hal ini terlihat pada proses penyisihan senyawa amonia (**Gambar 4.4** dan **Tabel 4.3**) pada tingkat satu hampir tidak terjadi penurunan konsentrasi berkisar sekitar 50 mg/L, hal ini menunjukkan hanya sebagian kecil yang bereaksi dengan ozon. Akan tetapi pada tingkat dua 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 anion nitrat dan nitrit. Apabila melihat **Gambar 4.2** dan **Tabel 4.3** membuktikan bahwa terjadinya penyisihan yang cukup besar dibandingkan pada penyisihan tingkat satu.

4.2.4 Uji *Total Dissolved Solid* (TDS)

4.2.4.1 Uji TDS Terhadap Senyawa LAS

Uji TDS dilakukan dengan menggunakan TDS meter. Uji ini dilakukan untuk mengetahui total padatan yang terlarut dalam air yang mengandung LAS. Air sumber yang digunakan dalam penelitian ini adalah air sumur DTK FTUI. Penyisihan TDS terhadap sampel umpan LAS dengan konsentrasi awal LAS 30 mg/L, 50 mg/L dan 100 mg/L dan air pada *permeate* dapat dilihat pada **Gambar 4.5**.



Gambar 4.5 Jumlah TDS pada proses oksidasi lanjut – filtrasi membran

Tabel 4.4 Hubungan Konsentrasi Awal LAS dan Jumlah TDS pada Proses Oksidasi Lanjut – Filtrasi Membran

Tingkat	Jumlah TDS (mg/L)					
	Konsentrasi Awal LAS 30 mg/L		Konsentrasi Awal LAS 50 mg/L		Konsentrasi Awal LAS 100 mg/L	
	Umpan (F)	Permeate (P)	Umpan (F)	Permeate (P)	Umpan (F)	Permeate (P)
1.	224	219	284	280	424	419
2.	223	218	283	273	422	418
3.	223	207	283	269	419	409

Dari **Gambar 4.5** dan **Tabel 4.4** dapat dilihat penurunan jumlah TDS pada tiap tingkat yang tidak terlalu signifikan. Hal ini disebabkan senyawa LAS belum

dioksidasi secara sempurna menjadi CO_2 dan H_2O sehingga masih terdapat produk antara (asam maleat, asam mukonat, asam oksalat, asam glioksalat dan asam formiat) pada air *permeate*. Hal ini juga ditunjukkan adanya penurunan pH pada air *permeate* yang berasal dari senyawa-senyawa tersebut (dapat dilihat pada **Gambar 4.3**). Berdasarkan salah satu penelitian dinyatakan bahwa senyawa aldehid dan keton yang merupakan produk antara hasil oksidasi senyawa organik dengan ozon atau radikal hidroksida dapat berada pada air *permeate* setelah melewati membran mikrofiltrasi dengan pralakuan ozonasi (Masten et.al, 2009).

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

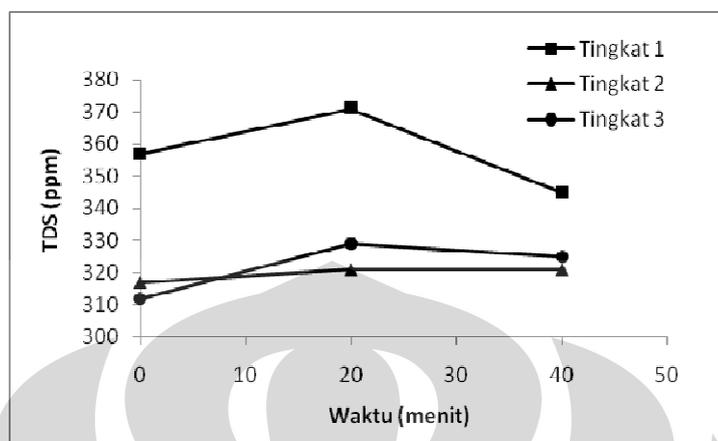
Konsentrasi LAS yang semakin meningkat akan semakin meningkatkan jumlah TDS. Hal ini disebabkan akan semakin banyak ion-ion dan produk antara yang dihasilkan dari reaksi antara ozon atau radikal hidroksida dengan senyawa LAS yang terdapat pada air limbah serta ion-ion yang terdapat pada air sumur jika konsentrasi LAS semakin besar.

Air *permeate* yang merupakan air hasil olahan dari proses ini memiliki nilai TDS berkisar antara 200 - 425. Jika dilihat berdasarkan parameter nilai TDS untuk air minum menurut KEPMENKES No. 907/MENKES/SK/VII/2002, nilai TDS maksimum yang diperbolehkan sebesar 1000 mg/L, hasil tersebut berada di bawah 1000 mg/L, artinya TDS untuk air dari hasil proses ini memenuhi persyaratan kualitas air sebagai air minum.

4.2.4.2 Uji TDS Terhadap Senyawa Amonia

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa terjadi kenaikan jumlah TDS pada masing-masing tingkat tidak terlalu signifikan kemungkinan disebabkan oleh terjadinya reaksi antara amonia yang 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 μm .



Gambar 4.6 Hubungan pengaruh proses oksidasi lanjut – filtrasi membran terhadap TDS

4.2.5 Uji *Dissolved Oxygen* (DO) Terhadap Senyawa LAS dan Amonia

Pengukuran oksigen terlarut dalam air pada penelitian dilakukan dengan metode elektrokimia yaitu menggunakan alat DO meter, yang pada prinsipnya menggunakan elektroda yang terendam dalam larutan elektrolit (larutan garam). Dari hasil pengukuran DO yang dilakukan terhadap air yang mengandung LAS dengan variasi konsentrasi 30 mg/L, 50 mg/L dan 100 mg/L maka diperoleh data yang dapat dilihat pada **Tabel 4.5** dan **Tabel 4.6** untuk senyawa amonia.

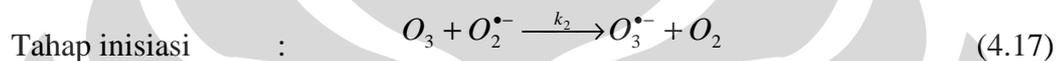
Tabel 4.5 Data *Dissolved Oxygen* (DO) Senyawa LAS

Tingkat	Umpan (F)	Permeate (P)	t (menit)	<i>Dissolved Oxygen</i> (DO)		
				30 mg/L	50 mg/L	100 mg/L
1.	F1	P1	0	6,80	6,63	6,60
			20	6,98	6,71	6,67
			40	6,99	6,79	6,69
2.	F2	P2	0	6,88	6,80	7,06
			20	7,11	7,01	7,06
			40	7,26	7,19	7,15
3.	F3	P3	0	7,27	6,99	7,19
			20	7,40	7,20	7,20
			40	7,46	7,22	7,21

Tabel 4.6 Data *Dissolve Oxygen* (DO) Senyawa Amonia

Waktu	<i>Dissolved Oxygen</i> (DO)		
	Tingkat 1	Tingkat 2	Tingkat 3
0	5,7	5,8	6
20	6	6	6,2
40	6	6,1	6,3

Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 menunjukkan bahwa ada kecenderungan DO yang semakin meningkat pada proses oksidasi lanjut – filtrasi membran. Oksigen yang terlarut dalam air dapat diperoleh dari reaksi tidak langsung ozon dimana ozon terdekomposisi menjadi O_2 . Adapun reaksinya adalah sebagai berikut (Bealtran, 2004) :

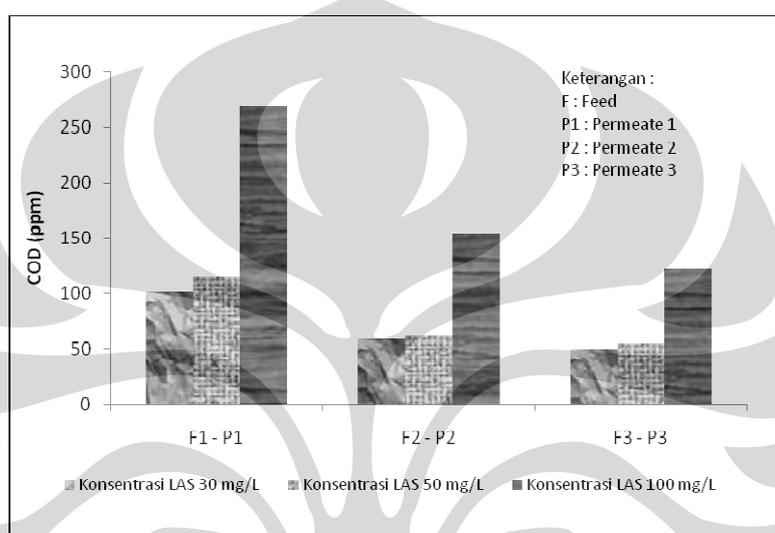


Kondisi ozon yang tidak stabil memungkinkan untuk menghasilkan gas oksigen sehingga kadar DO dalam air meningkat. Kondisi lain juga dapat meningkatkan oksigen terlarut yaitu gas oksigen yang ada pada lingkungan dapat terlarut dalam air yang juga dapat menembus membran sehingga mempengaruhi pengukuran.

Air permeate yang merupakan air hasil olahan dari proses ini memiliki nilai DO berkisar antara 6,7 – 7,6 mg/L. Sedangkan untuk senyawa amonia nilai DO dari air *permeate* berada pada rentang 6 – 6,3. Jika dilihat berdasarkan parameter nilai DO untuk air minum menurut KEPMENKES No. 907/MENKES/SK/VII/2002 nilai DO tidak disebutkan, namun jika dibandingkan dengan PP RI No. 82 tahun 2001, nilai DO minimum yang diperbolehkan sebesar 6 mg/L untuk air minum, hasil tersebut berada di atas 6 mg/L, artinya nilai DO untuk air dari hasil proses ini memenuhi persyaratan kualitas air sebagai air minum.

4.2.6 Uji *Chemical Oxygen Demand* (COD) Terhadap Senyawa LAS

COD merupakan parameter yang umumnya digunakan untuk mengetahui tingkat konsentrasi pencemar di dalam air limbah selama pengolahan air berlangsung. COD mewakili jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mineralisasi secara sempurna terhadap zat-zat yang ada di dalam air melalui oksidasi kimia. Hasil uji COD pada proses oksidasi lanjut – filtrasi membran yang telah dilakukan dapat dilihat pada **Gambar 4.7**.



Gambar 4.7 Penyisihan COD pada proses oksidasi lanjut – filtrasi membran

Tabel 4.7 Konsentrasi Penyisihan COD

Tingkat	Konsentrasi Penyisihan COD (mg/L)					
	Konsentrasi Awal LAS 30 mg/L		Konsentrasi Awal LAS 50 mg/L		Konsentrasi Awal LAS 100 mg/L	
	Umpan (F)	Permeate (P)	Umpan (F)	Permeate (P)	Umpan (F)	Permeate (P)
1.	195,30	101,61	211,5	115,66	451,57	269,65
2.	111,55	59,20	111,67	61,66	248,63	154,99
3.	86,15	50,17	92,66	55,20	151,75	122,47

Dari **Gambar 4.7** dan **Tabel 4.7** dapat dilihat bahwa terjadi penurunan COD dari setiap tahap yang dilakukan, yaitu proses oksidasi lanjut – filtrasi 1 (F1 – P1), proses oksidasi lanjut – filtrasi 2 (F2 – P2) hingga proses oksidasi lanjut – filtrasi 3 (F3 – P3). Hal ini disebabkan oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi terhadap zat-zat yang ada di dalam air melalui oksidasi kimia menurun, kondisi ini menyatakan adanya penyisihan senyawa LAS dari proses oksidasi lanjut – filtrasi membran.

Penurunan ini dipengaruhi oleh reaksi antara ozon dan senyawa LAS berlangsung lambat ($k_{O_3} = 3,68/M.s$), namun bereaksi cepat dengan radikal hidroksida ($k_{\bullet OH} = 1,16.10^{10}/M.s$) yang merupakan hasil dekomposisi dari ozon. Dalam rentang pH larutan antara 4 – 9 maka akan terjadi reaksi langsung dan tidak langsung dengan ozon. Reaksi oksidasi langsung oleh ozon dalam air merupakan reaksi molekul ozon dengan dengan ikatan tak jenuh dan akan memicu terjadinya pemecahan ikatan. Pada penelitian ini, pH pada umpan berkisar antara 7,2 – 7,7 sehingga akan terjadi reaksi langsung dan tidak langsung dengan ozon. Reaksi ozon secara langsung terjadi antara ozon dengan senyawa LAS, sedangkan reaksi ozon tidak langsung, yaitu reaksi antara radikal hidroksida yang dihasilkan dari dekomposisi ozon. Berdasarkan peneliti sebelumnya, penurunan COD dapat dipengaruhi oleh perubahan pH. Kondisi pH yang lebih basa akan meningkatkan penyisihan COD (Al-Kdasi et. al, 2005).

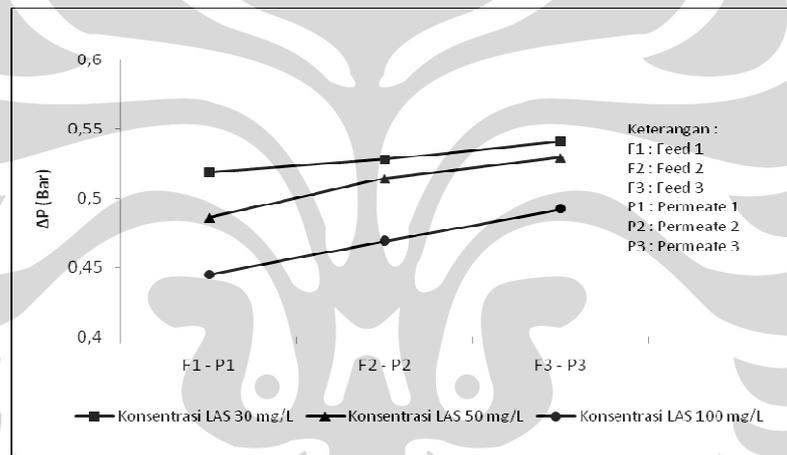
Air *permeate* yang merupakan air hasil olahan dari proses ini memiliki nilai COD berkisar antara 50 – 100. Jika dilihat berdasarkan parameter nilai COD untuk air minum menurut KEPMENKES No. 907/MENKES/SK/VII/2002 nilai COD tidak disebutkan, namun jika dibandingkan dengan PP RI No. 82 tahun 2001, nilai COD maksimum yang diperbolehkan sebesar 10 mg/L untuk air minum, hasil tersebut berada di atas 10 mg/L, artinya nilai COD untuk air dari hasil proses ini belum memenuhi persyaratan kualitas air sebagai air minum, namun dapat digunakan sebagai untuk mengairi pertanaman dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

4.3 KINERJA MEMBRAN

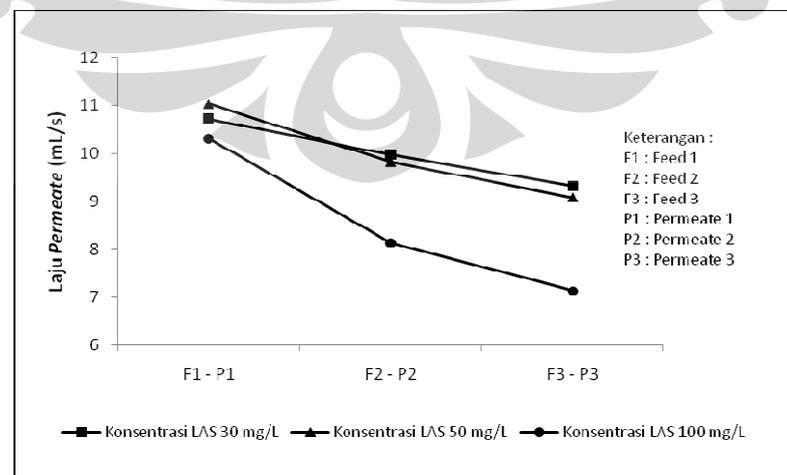
Parameter yang digunakan untuk melihat kinerja membran adalah ΔP dan laju alir *permeate*. Pada percobaan ini akan dievaluasi proses oksidasi lanjut sebagai *fouling control*. Ozonator yang digunakan yaitu ozonator merk resun dengan produktivitas 0,1012 g/jam dan membran yang digunakan adalah membran mikrofiltrasi berbahan keramik. Laju alir air yang digunakan adalah 240 L/jam yang merupakan laju alir maksimum untuk menghasilkan gelembung mikro dari penelitian sebelumnya. Laju alir udara dan ozon yang digunakan adalah 1200 L/jam. Air umpan yang digunakan adalah air sumur DTK FTUI.

4.3.1 Kinerja Membran Terhadap Senyawa LAS

Pada **Gambar 4.8** dapat dilihat ΔP (rata-rata) pada membran cenderung meningkat dari proses oksidasi lanjut – filtrasi 1 (F1 – P1), proses oksidasi lanjut – filtrasi 2 (F2 – P2) hingga proses oksidasi lanjut – filtrasi 3 (F3 – P3). Hal ini disebabkan *fouling* pada membran yang disebabkan oleh zat – zat organik, partikulat, virus, alga maupun bakteri. *Fouling* pada membran ini menyebabkan tahanan pada membran meningkat sehingga ΔP pada membran cenderung meningkat. Peningkatan konsentrasi awal LAS disertai dengan penurunan ΔP (rata-rata) pada membran. Hal ini dapat disebabkan *fouling* yang terbentuk lebih banyak berada pada konsentrasi yang lebih tinggi karena terakumulasinya senyawa-senyawa organik pada permukaan membran.



Gambar 4.8 Hubungan ΔP pada membran untuk penyisihan LAS pada proses oksidasi lanjut dan filtrasi membran



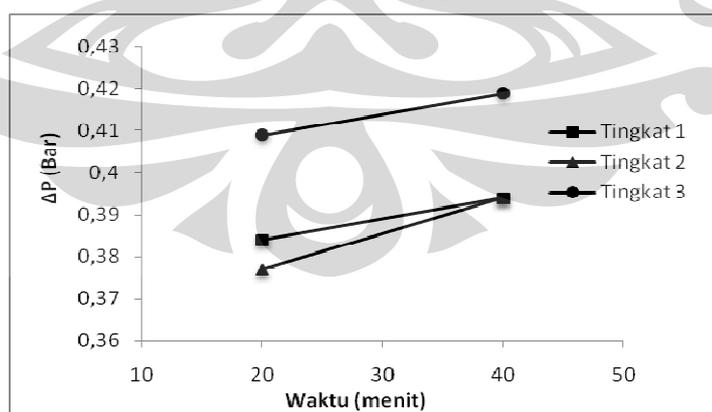
Gambar 4.9 Grafik hubungan laju permeate pada membran untuk penyisihan LAS pada proses oksidasi lanjut dan filtrasi membran

Gambar 4.9 menunjukkan penurunan laju *permeate* pada membran yang cenderung menurun. Hal ini disebabkan semakin lama waktu operasi mikrofiltrasi, semakin banyak *fouling* yang terjadi pada membran. *Fouling* ini semakin lama akan semakin meningkat yang membuat kerja membran menjadi semakin berat.

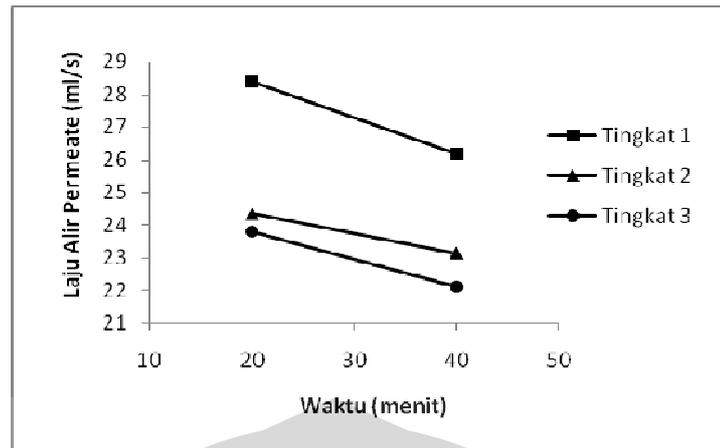
Selain itu, busa yang terdapat dalam air juga dapat mengganggu proses filtrasi, kondisi busa yang terdeposit pada permukaan membran akan membentuk *cake*. *Cake* akan berperan sebagai filter tambahan untuk menyaring air sebelum berkontak dengan permukaan membran mikrofiltrasi. Hal ini membuat semakin sulitnya partikel terlarut dan komponen organik untuk menembus membran bersama air.

4.3.2 Kinerja Membran Terhadap Senyawa Amonia

Gambar 4.10 menunjukkan peningkatan ΔP yang mungkin diakibatkan adanya *fouling* oleh senyawa-senyawa organik yang tertahan pada membran dan senyawa-senyawa hasil oksidasi oleh ozon lainnya. Peningkatan ΔP disetiap tingkatnya, yaitu pada tingkat satu sebesar 0,384 bar (20 menit) dan pada tingkat tiga (menit ke-40) adalah sebesar 0,419 bar, pada tingkat tiga ΔP yang terjadi semakin meningkat hal ini di akibatkan oleh akumulasi *fouling* pada tingkat satu dan tingkat dua.



Gambar 4.10 Hubungan ΔP pada membran untuk penyisihan amonia pada proses oksidasi lanjut dan filtrasi membran



Gambar 4.11 Grafik hubungan laju *permeate* pada membran untuk penyisihan amonia pada proses oksidasi lanjut dan filtrasi membran

Adanya *fouling* pada membran ini diikuti oleh penurunan laju *permeate* yaitu dapat dilihat pada **Gambar 4.11**. **Gambar 4.11** menunjukkan laju *permeate* yang dihasilkan semakin menurun dengan ΔP yang meningkat juga. Pada proses ini penyisihan senyawa amonia tidak terlalu besar selain disebabkan oleh kurang reaktifnya senyawa amonia terhadap proses oksidasi lanjut. Hal ini ditandai dengan masih besarnya senyawa amonia yang tersisa pada air *permeate*.

BAB 5

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian mengenai teknologi pengolahan air yang mengandung LAS dengan proses oksidasi lanjut dan filtrasi membran yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan yaitu :

1. Proses oksidasi lanjut dan filtrasi membran cukup efektif untuk menyisihkan senyawa LAS, namun belum cukup efektif untuk menyisihkan senyawa amonia
2. Penyisihan total LAS untuk konsentrasi awal LAS 30 mg/L, 50 mg/L dan 100 mg/L masing-masing diperoleh sebesar 89,82%; 84,20% dan 81,49%.
3. Penyisihan total amonia untuk konsentrasi awal 60 mg/L diperoleh sebesar 17,07%
4. Penggunaan ozon dalam proses penyisihan LAS dan amonia menyebabkan adanya *fouling*. Terjadinya *fouling* ini ditunjukkan oleh meningkatnya ΔP dan menurunnya laju *permeate*.

Berdasarkan dari data di atas maka kualitas air yang dihasilkan dari proses oksidasi lanjut dan filtrasi membran belum memenuhi persyaratan sebagai air minum menurut KEPMENKES No. 907/MENKES/SK/VII/2002 dan PP RI No. 82 tahun 2001 karena ada parameter yang tidak masuk dalam baku mutu.

DAFTAR REFERENSI

- Alaerts, G., dan Sri Sumestri Santika. *Metoda Penelitian Air*. Surabaya : Usaha Nasional, 1984.
- Al-Kdasi, Adel., et. al. "Treatment of Textile Wastewater by Advanced Oxidation Process – A Review." *Global Nest* (2004). 9 Februari 2005.
- Bealtran, Fernando J., Juan F. Garcia-Araya and Pedro M. Alvarez. "Sodium Dodecylbenzenesulfonate Removal from Water and Wastewater 1. Kinetics of Decomposition of Ozone." *American Chemical Society* (2000). 13 Juni 2000.
- Bealtran, Fernando J. *Ozone Reaction Kinetics for Water and Wastewater Treatment*. Florida : Lewis Publishers, 2004.
- Kartohardjono, S., et al. "Kinerja Penyisihan Senyawa Fenolik dengan Teknik Ozonasi pada Suasana Basa dalam Kolom Sistem Injeksi Ozon Berganda." *Jurnal Teknologi* Edisi No.3/Tahun XIV/September/2000.
- Chu, Li-Bing, et al. "Enhanced Ozonation of Simulated Dye Wastewater by Microbubbles." *Chemosphere* 68 (2007) 1854-1860. 27 April 2007.
- Day, R. A., dan A. L. Underwood. *Analisis Kimia Kuantitatif Edisi Keenam*. Jakarta : Penerbit Erlangga, 2001.
- Dhaneswara, Donanta. *Diktat Kuliah Membran Keramik*. Depok : Departemen Metalurgi dan Material FTUI, 2007.
- Departemen Kesehatan RI. Peraturan Menteri Kesehatan No. 416/MENKES/PERIX/1990 tentang Syarat-Syarat dan Pemantauan Kualitas Air. Jakarta, 1990.
- Departemen Kesehatan RI. Peraturan Menteri Kesehatan No. 1405/MENKES/SK/XI/2002 Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Kantor dan Industri.
- Fardiaz, Srikandi. *Polusi Air dan Udara*. Yogyakarta : Penerbit Kanisius, 1992.
- Gunten, Urs von. "Ozonation of Drinking Water : Part I. Oxidation Kinetics and Products Formation." *Water Research* (2002). 25 September 2002.
- <<http://www.sciencedirect.com>>
- HERA. *Linear Alkylbenzene Sulphonate*. June 2009.

K., Lawrence, and Yan Li. *Chemical Reduction/Oxidation*. 2006. 10 Nopember 2007.

<<http://www.springerlink.com/journals/>>

Jyoti, K.K., and A.B. Pandit. "Water Disinfection by Acoustic and Hydrodynamic Cavitation." *Biochemical Engineering Journal* (2000). 7 Nopember 2000

<<http://www.sciencedirect.com>>

----- . "Hybrid Cavitation Methods for Water Disinfection." *Biochemical Engineering Journal* (2001). 25 Juli 2002

<<http://www.sciencedirect.com>>

----- . "Ozone and Cavitation for Water Disinfection." *Biochemical Engineering Journal* (2002). 16 April 2003.

<<http://www.sciencedirect.com>>

Langlais, Bruno, David A. Reckhow and Deborah R. Brink. *Ozone in Water Treatment Application and Engineering*. USA : Lewis Publishers, 1991.

Masten, Susan J., et. al. "Ceramic Membran Water Filtration." *United States Patent* (US 7578939B2). 25 Agustus 2009.

<<http://www.patentstorm.us>>

Metcalf and Eddy. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse* (4th ed.). New York : Mc Graw Hill, 2003.

----- . *Wastewater Engineering Treatment and Reuse* (3rd ed.). New York : Mc Graw Hill, 1991.

Mehrvar, Mehrab, Gelareh Bankian and Nabil Abdel-Jabbar. "Effects of Pilot-Plant Photochemical Pre-Treatment (UV/H₂O₂) on The Biodegradability of Aqueous Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS)." *International Journal of Photoenergy* (2005).

Middleton, Richard. "Air Bersih : Sumber Daya yang Rawan". *Seri Makalah Hijau US Embassy Jakarta*

<<http://www.usembassyjakarta.org/ptp/airbrs1.html>>

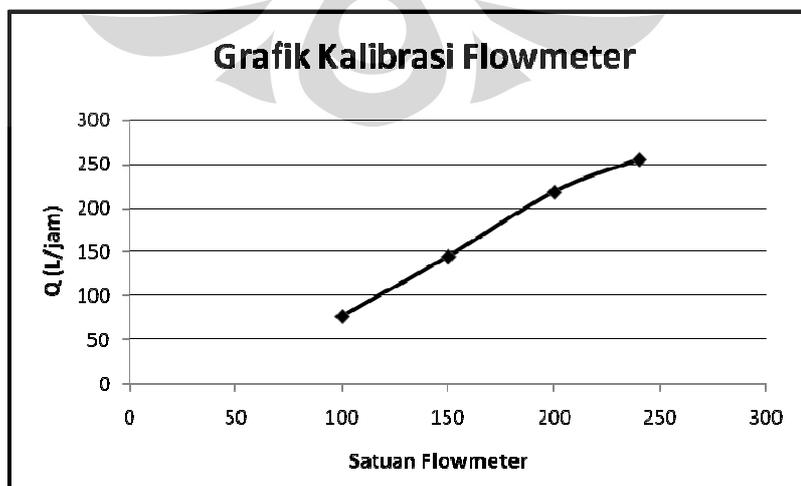
MENSEKNEG RI. Peraturan Pemerintah No. 20 Tahun 1990 tentang Pengendalian Pencemaran Air. Jakarta, 1990.

- Prasetyo, Heru. “Perbedaan Penurunan Kadar Deterjen Antara Filtrasi Media Karbon Aktif dan Proses Antifoaming pada Air Limbah *Laundry*.” Pusat Data Jurnal dan Skripsi FKM Undip. 2006.
< <http://www.fkm.undip.ac.id/data/index.php?action=4&idx=2943>>
- Ray, M.B., et al. *Advanced Oxidation Processes*. 2006. 10 Nopember. 2007.
<<http://www.springerlink.com/journals/>>
- Rijn, C.J.M. van. *Nano and Micro Engineered Membrane Technology*. Netherlands : Elsevier, 2005.
- Rozi, Fahrur. “Studi Hidrodinamika dan Uji Kinerja Penyisihan Logam Besi (Fe) dan Mangan (Mn) pada Unit Pengolahan Air yang Menggunakan Proses Ozonasi Gelembung Mikro dan Filtrasi Membran.” Departemen *Teknik Kimia*, 2009.
- Sawyer, Clair N., Perry L. Mc Carty and Gene F. Parkin. *Chemistry for Environmental Engineering and Science* (5th ed.). New York : Mc Graw Hill, 2003.
- Sartor, M, et.al. “Demonstration of A New Hybrid Process for The Decentralised Drinking and Service Water Production from Surface Water in Thailand. *Desalination* 222 (2008) 528–540. 1 Maret 2007.
<<http://www.sciencedirect.com>>
- Shammas, Nazih, et al. *Ozonation*. 2005. 13 Nopember. 2007.
<<http://www.springerlink.com/journals/>>
- “Amonia.” Wikipedia.
< <http://en.wikipedia.org/wiki/Amonia>>
- “Corona Discharge vs UV.” *Ozone Solutions, Inc*. Diakses 13 Maret 2006.
<http://www.ozonesolutions.com/Ozone_Products.html>
- “Membrane.” Wikipedia.
<<http://en.wikipedia.org/wiki/Membrane>>
- “Penggunaan Deterjen Bagi Kesehatan dan Lingkungan.” *Buletin Melsa Edisi 46*. Diakses Desember 2004.
< <http://buletin.melsa.net.id/news/46deterjen.html>>
- “Total Organic Carbon.” Wikipedia.
< http://en.wikipedia.org/wiki/Total_organic_carbon>

Lampiran 1. Kalibrasi *Flowmeter*

Kalibrasi *Flowmeter*

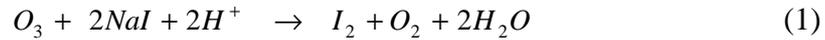
NO.	Q alat (L/jam)	VOLUM (mL)	WAKTU (s)	Q (mL/s)	Q (L/jam)	Q rata-rata (L/jam)
1	100	500	22,62	22,1043	79,5756	75,9983
			23,56	21,2224	76,4007	
			24,74	20,2102	72,7567	
			24,14	20,7125	74,5650	
			23,47	21,3038	76,6937	
2	150	500	12,44	40,1929	144,6945	144,4345
			12,03	41,5628	149,6259	
			12,44	40,1929	144,6945	
			12,59	39,7141	142,9706	
			12,84	38,9408	140,1869	
3	200	1000	16,89	59,2066	213,1439	218,2844
			16,00	62,5000	225,0000	
			16,53	60,4961	217,7858	
			16,88	59,2417	213,2701	
			16,20	61,7284	222,2222	
4	240	1000	14,47	69,1085	248,7906	255,5753
			14,19	70,4722	253,6998	
			14,00	71,4286	257,1429	
			13,59	73,5835	264,9007	
			14,21	70,3730	253,3427	



Lampiran 2. Uji Produktivitas Ozon

Uji Produktivitas Ozon Dilakukan dengan Metode Titrimetri

Reaksi Ozon dengan KI :



Pembebasan Iodium dititrasi dengan $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$



Prosedur Perhitungan :

$$mol \ Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O = \frac{(V_{hulu} + V_{hilir}) \times 0,0025}{1000}$$

$$mol \ O_3 = \frac{1}{2} \times mol \ Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$$

$$gram \ O_3 = mol \ O_3 \times 48$$

$$Produktivitas \ Ozon = \frac{gram \ O_3}{t(s)} = \frac{gram \ O_3}{t(jam)} \times 3600$$

Data Uji Produktivitas Ozon dari Ozonator Merk Resun RSO 9508

NO.	t (s)	V $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ hulu (mL)	V $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ hilir (mL)	Prod. Ozon (g/jam)
1	112,69	51,10	0,80	0,0995
2	132,31	61,20	1,20	0,1019
3	156,87	70,30	3,90	0,1022
Produktivitas Ozon rata-rata (g/jam)				0,1012

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:

- $\text{mmol Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = (\text{V hulu} + \text{V hilir}) \times 0.00025 \text{ M}$
- $\text{mol Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = (\text{V hulu} + \text{V hilir}) \times 0.00025 / 1000$
- $\text{Mol O}_3 = \frac{1}{2} \times \text{mmol Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
- $\text{Gram O}_3 = \text{mol} \times 48$
- $\text{Produktivitas Ozon} = \text{gr O}_3 / t \text{ (detik)}$
- $\text{Produktivitas Ozon} = \text{gr O}_3 \times 3600 / t \text{ (jam)}$

Ozonator Merk Resun RSO 9508

No	Laju Alir Air (L/Jam)	V $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (mL)	Gram 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. Pembuatan Air Sintetik yang Mengandung LAS dan Amonia

1. Pembuatan Air Sintetik yang Mengandung LAS

LAS yang digunakan merupakan serbuk LAS dengan kemurnian diatas 90%. Adapun pembuatan air sintetik yang mengandung LAS untuk penelitian ini adalah sebagai berikut :

No.	Konsentrasi LAS (mg/L)	Massa LAS (g)	Volun Reservoir (L)
1	30	1,5000	50
2	50	2,5000	50
3	100	5,0000	50

2. Pembuatan Air Sintetik yang Mengandung Amonia

Bahan NH_4Cl

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

BM NH_4Cl = 53,5 g/mol

BM NH_3 = 17 g/mol

$$\begin{aligned} \text{Massa garam yang dibutuhkan /L} &= \frac{\text{BM } \text{NH}_4\text{Cl}}{\text{BM } \text{NH}_3} \times [\text{NH}_3] \text{ yang diinginkan} \\ &= \frac{53,5}{17} \times 60 \text{ mg/L} = 185,294 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Karena tanki reservoir mempunyai volume 50 L, maka:

Massa NH_4Cl yang ditimbang adalah sebesar = 9,2647 gram

Lampiran 5. Data Persentase Penyisihan Senyawa LAS

1. Data Persentase Penyisihan Konsentrasi Awal LAS 30 mg/L

Tingkat	t (menit)	Konsentrasi LAS (mg/L)	Penyisihan LAS (%)	Penyisihan Total LAS (%)
1.	0	33,328	52,98	89,82
	20	20,149		
	40	15,671		
2.	0	23,899	59,27	
	20	14,532		
	40	9,733		
3.	0	10,134	66,53	
	20	5,458		
	40	3,392		

2. Data Persentase Penyisihan Konsentrasi Awal LAS 50 mg/L

Tingkat	t (menit)	Konsentrasi LAS (mg/L)	Penyisihan LAS (%)	Penyisihan Total LAS (%)
1.	0	54,020	32,71	84,20
	20	41,375		
	40	36,349		
2.	0	41,470	53,93	
	20	22,166		
	40	19,107		
3.	0	23,261	63,32	
	20	20,305		
	40	8,533		

(Lanjutan)

3. Data Persentase Penyisihan Konsentrasi Awal LAS 100 mg/L

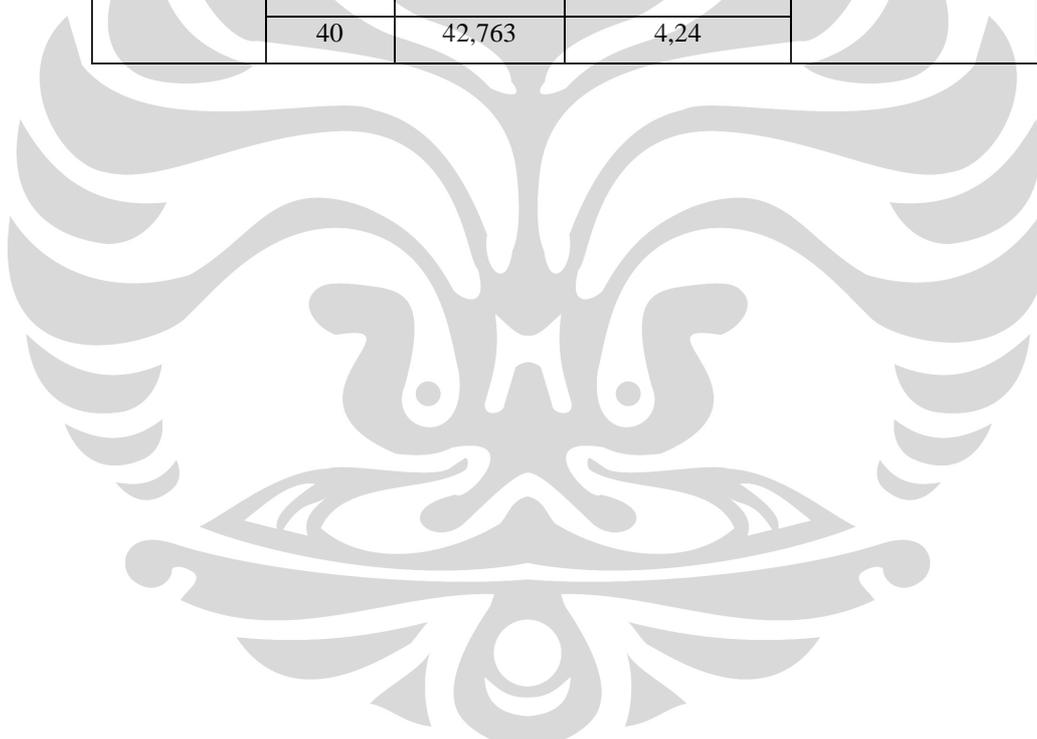
Tingkat	t (menit)	Konsentrasi LAS (mg/L)	Penyisihan LAS (%)	Penyisihan Total LAS (%)
1.	0	94,460	28,73	81,49
	20	69,715		
	40	67,317		
2.	0	74,016	31,04	
	20	71,356		
	40	51,040		
3.	0	46,258	62,21	
	20	27,099		
	40	17,481		



Lampiran 6. Data Persentase Penyisihan Senyawa Amonia

Data Persentase Penyisihan Senyawa Amonia

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



Lampiran 7. Data Parameter Kualitas Air (pH, DO, TDS dan COD) untuk Senyawa LAS

1. Konsentrasi Awal LAS 30 mg/L

Tingkat	Umpan (F)	Permeate (P)	t (menit)	Parameter Kualitas Air			
				pH	DO (mg/L)	TDS (mg/L)	COD (mg/L)
1.	F1	P1	0	7,29	6,80	224	195,30
			20	7,27	6,98	221	136,55
			40	7,26	6,99	219	101,61
2.	F2	P2	0	7,39	6,88	223	111,55
			20	7,36	7,11	219	76,95
			40	7,21	7,26	218	59,20
3.	F3	P3	0	7,40	7,27	223	86,15
			20	7,20	7,40	210	63,12
			40	7,14	7,46	207	50,17

2. Konsentrasi Awal LAS 50 mg/L

Tingkat	Umpan (F)	Permeate (P)	t (menit)	Parameter Kualitas Air			
				pH	DO (mg/L)	TDS (mg/L)	COD (mg/L)
1.	F1	P1	0	7,41	6,63	284	211,5
			20	7,37	6,71	281	125,71
			40	7,33	6,79	280	115,66
2.	F2	P2	0	7,47	6,80	283	111,67
			20	7,33	7,01	277	89,37
			40	7,31	7,19	273	61,66
3.	F3	P3	0	7,48	6,99	283	92,66
			20	7,22	7,20	270	87,93
			40	7,20	7,22	269	55,20

3. Konsentrasi Awal LAS 100 mg/L

Tingkat	Umpan (F)	Permeate (P)	t (menit)	Parameter Kualitas Air			
				pH	DO (mg/L)	TDS (mg/L)	COD (mg/L)
1.	F1	P1	0	7,57	6,60	424	451,57
			20	7,55	6,67	421	345,87
			40	7,48	6,69	419	269,65
2.	F2	P2	0	7,64	7,06	422	248,63
			20	7,53	7,06	419	165,77
			40	7,47	7,15	418	154,99
3.	F3	P3	0	7,66	7,19	419	151,75
			20	7,46	7,20	411	135,13
			40	7,35	7,21	409	122,47

Lampiran 8. Data Parameter Kualitas Air (pH, DO dan TDS) untuk Senyawa Amonia

Tingkat	Umpan (F)	Permeate (P)	t (menit)	pH	DO (mg/L)	TDS (mg/L)
				1.	F1	P1
			20	7,62	6,0	371
			40	7,42	6,0	345
2.	F2	P2	0	7,67	5,8	317
			20	7,41	6,0	321
			40	7,38	6,1	321
3.	F3	P3	0	7,59	6,0	312
			20	7,37	6,2	329
			40	7,43	6,3	325



Lampiran 9. Kinerja Membran untuk Senyawa LAS

1. Konsentrasi Awal LAS 30 mg/L

Tingkat	t (menit)	Perubahan P (ΔP)		Penurunan Laju Alir Permeate (mL/s)	
		Umpan (F) - Permeate (P)	Rata-rata	Laju Alir	Rata-rata
1.	0	-	0,519	-	10,72
	20	0,516		11,28	
	40	0,522		10,16	
2.	0	-	0,528	-	9,97
	20	0,523		9,98	
	40	0,533		9,95	
3.	0	-	0,541	-	9,32
	20	0,540		9,43	
	40	0,542		9,21	

2. Konsentrasi Awal LAS 50 mg/L

Tingkat	t (menit)	Perubahan P (ΔP)		Penurunan Laju Alir Permeate (mL/s)	
		Umpan (F) - Permeate (P)	Rata-rata	Laju Alir	Rata-rata
1.	0	-	0,486	-	11,03
	20	0,485		11,52	
	40	0,487		10,53	
2.	0	-	0,514	-	9,82
	20	0,512		9,93	
	40	0,516		9,71	
3.	0	-	0,529	-	9,07
	20	0,523		9,25	
	40	0,534		8,90	

(Lanjutan)

3. Konsentrasi Awal LAS 100 mg/L

Tingkat	t (menit)	Perubahan P (ΔP)		Penurunan Laju Alir Permeate (mL/s)	
		Umpan (F) - Permeate (P)	Rata-rata	Laju Alir	Rata-rata
1.	0	-	0,445	-	10,30
	20	0,443		10,76	
	40	0,447		9,84	
2.	0	-	0,469	-	8,13
	20	0,467		8,52	
	40	0,470		7,74	
3.	0	-	0,492	-	7,14
	20	0,490		7,20	
	40	0,493		7,07	



Lampiran 10. Kinerja Membran untuk Senyawa Amonia

Data Kinerja Membran untuk Senyawa Amonia

Tingkat	t (menit)	Perubahan P (ΔP)		Penurunan Laju Alir Permeate (mL/s)	
		Umpan (F) - Permeate (P)	Rata-rata	Laju Alir	Rata-rata
1.	0	-	0,445	-	10,30
	20	0,384		28,38	
	40	0,394		26,2	
2.	0	-	0,469	-	8,13
	20	0,377		24,351	
	40	0,394		23,127	
3.	0	-	0,492	-	7,14
	20	0,409		23,8	
	40	0,419		22,114	



Lampiran 11. KEPMENKES RI NO. 907/MENKES/SK/VII/2002

KEPUTUSAN MENTERI KESEHATAN RI

Nomor : 907/MENKES/SK/VII/2002

Tanggal : 29 Juli 2002

PERSYARATAN KUALITAS AIR MINUM

1. BAKTERIOLOGIS

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

(Lanjutan)

2. KIMIAWI

2.1. Bahan kimia yang memiliki pengaruh langsung pada kesehatan.

A. Bahan Anorganik

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum yang diperbolehkan	Keterangan
1	2	3	4
Antimon	(mg /liter)	0,005	
Air raksa	(mg /liter)	0,001	
Arsen	(mg /liter)	0,01	
Barium	(mg /liter)	0,7	
Boron	(mg /liter)	0,3	
Kadmium	(mg /liter)	0,003	
Kromium (Valensi 6)	(mg /liter)	0,05	
Tembaga	(mg /liter)	2	
Sianida	(mg / liter)	0,07	
Fluorida	(mg / liter)	1,5	
Timbal	(mg / liter)	0,01	
Molybdenum	(mg / liter)	0,07	
Nikel	(mg / liter)	0,02	
Nitrat (sebagai NO_3^-)	(mg / liter)	50	
Nitrit (sebagai NO_2^-)	(mg / liter)	3	
Selenium	(mg / liter)	0,01	

B. Bahan Organik

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum yang diperbolehkan	Keterangan
1	2	3	4
Chlorinated alkanes			
Carbon tetrachloride	(μg /liter)	2	
Dichloromethane	(μg /liter)	20	
1,2-dichloroethane	(μg /liter)	30	
1,1,1-trichloroethane	(μg /liter)	2000	

(Lanjutan)

A. Chlorinated ethenes			
vinyl chloride	(µg/liter)	5	
1,1-dichloroethene	(µg/liter)	30	
1,2-dichloroethene	(µg/liter)	50	
Trichloroethene	(µg/liter)	70	
tetrachloroethene	(µg/liter)	40	
Aromatic hydrocarbons			
Benzene	(µg/liter)	10	
Toluene	(µg/liter)	700	
Xylenes	(µg/liter)	500	
benzo[a]pyrene	(µg/liter)	0,7	
B. Chlorinated benzenes			
monochlorobenzene	(µg/liter)	300	
1,2-dichlorobenzene	(µg/liter)	1.000	
1,4-dichlorobenzene	(µg/liter)	300	
Trichlorobenzenes (total)	(µg/liter)	20	

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum yang diperbolehkan	Keterangan
1	2	3	4
C. Lain-lain			
Di(2-ethylhexyl)adipate	(µg/liter)	80	
Di(2-ethylhexyl)phthalate	(µg/liter)	8	
Acrylamide	(µg/liter)	0,5	
epichlorohydrin	(µg/liter)	0,4	
hexachlorobutadiene	(µg/liter)	0,6	
edetic acid (EDTA)	(µg/liter)	200	
Tributyltin oxide	(µg/liter)	2	

(Lanjutan)

C. Pestisida

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum yang diperbolehkan	Keterangan
1	2	3	4
Alachlor	($\mu\text{g/liter}$)	20	
Aldicarb	($\mu\text{g/liter}$)	10	
Aldrin/dieldrin	($\mu\text{g/liter}$)	0,03	
Atrazine	($\mu\text{g/liter}$)	2	
Bentazone	($\mu\text{g/liter}$)	30	
Carbofuran	($\mu\text{g/liter}$)	5	
Chlordane	($\mu\text{g/liter}$)	0,2	
Chlorotoluron	($\mu\text{g/liter}$)	30	

D. Desinfektan dan hasil sampingannya

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum yang diperbolehkan	Keterangan
1	2	3	4
Monochloramine	mg/liter	3	
Chlorine	mg/liter	5	
Bromate	($\mu\text{g/liter}$)	25	
Chlorite	($\mu\text{g/liter}$)	200	
Chlorophenol			
2,4,6-trichlorophenol	($\mu\text{g/liter}$)	200	
Formaldehyde	($\mu\text{g/liter}$)	900	
Trihalomethanes			
Bromoform	($\mu\text{g/liter}$)	100	
Dibromochloromethane	($\mu\text{g/liter}$)	100	
Bromodichloromethane	($\mu\text{g/liter}$)	60	
Chloroform	($\mu\text{g/liter}$)	200	
Chlorinated acetic acids			
Dichloroacetic acid	($\mu\text{g/liter}$)	50	
Trichloroacetic acid	($\mu\text{g/liter}$)	100	
Chloral hydrate (trichloroacetaldehyde)	($\mu\text{g/liter}$)	10	

(Lanjutan)

Halogenated Acetonitriles			
Dichloroacetonitrile	($\mu\text{g/liter}$)	90	
Dibromoacetonitrile	($\mu\text{g/liter}$)	100	
Trichloroacetonitrile	($\mu\text{g/liter}$)	1	
Cyanogen chloride (sebagai CN)	($\mu\text{g/liter}$)	70	

2.2. Bahan kimia yang kemungkinan dapat menimbulkan keluhan pada konsumen.

A. Bahan Anorganik

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum yang diperbolehkan	Keterangan
1	2	3	4
Ammonia	mg/l	1,5	
Alumunium	mg/l	0,2	
Klorida	mg/l	250	
Tembaga	mg/l	1	
Kesadahan	mg/l	500	
Hidrogen sulfida	mg/l	0,05	
Besi	mg/l	0,3	
Mangan	mg/l	0,1	
pH	-	6,5 – 8,5	
Sodium	mg/l	200	
Sulfat	mg/l	250	
Total zat padat terlarut	mg/l	1000	
Seng	mg/l	3	

B. Bahan organik, Desinfektan dan hasil sampingannya

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum yang diperbolehkan	Keterangan
1	2	3	4
Organik			
Toluene	$\mu\text{g/l}$	24 - 170	
Xylene	$\mu\text{g/l}$	20 - 1800	
ethylbenzene	$\mu\text{g/l}$	2 - 200	
Styrene	$\mu\text{g/l}$	4 - 2600	
monochlorobenzene	$\mu\text{g/l}$	10 - 120	

(Lanjutan)

1,2 -dichlorobenzene	µg/l	1 - 10	
1,4-dichlorobenzene	µg/l	0,3 - 30	
trichlorobenzenes(total)	µg/l	5 - 50	
Deterjen	µg/l	50	
<i>Desinfektan dan hasil sampingannya</i>			
<i>Chlorine</i>	µg/l	600 - 1000	
2-cholorophenol	µg/l	0,1 - 10	
2,4-dichlorophenol	µg/l	0,3 - 40	
2,4,6-trichlorophenol	µg/l	2 - 300	

3. RADIOAKTIFITAS

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

4. FISIKA

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

Lampiran 12. SNI 06-6989.11-2004**SNI 06-6989.11-2004**

Air dan air limbah – Bagian 11 : Cara uji derajat keasaman (pH) dengan menggunakan alat pH meter

1. Ruang lingkup

Metode ini meliputi cara uji derajat keasaman (pH) air dan air limbah dengan menggunakan alat pH meter.

2. Acuan normatif

ASTM D1293 – 95, *Standard Test Methods for pH of Water*

3. Istilah dan definisi**3.1 pH larutan**

minus logaritma konsentrasi ion hidrogen yang ditetapkan dengan metode pengukuran secara potensiometri dengan menggunakan pH meter

3.2 larutan penyangga (buffer) pH

larutan yang dibuat dengan melarutkan garam dari asam lemah-basa kuat atau basa lemah-asam kuat sehingga menghasilkan nilai pH tertentu dan stabil

3.3 Certified Reference Material (CRM)

Bahan standar bersertifikat yang tertelusur ke sistem nasional atau internasional.

4. Cara uji**4.1 Prinsip**

Metode pengukuran pH berdasarkan pengukuran aktifitas ion hidrogen secara potensiometri/ elektrometri dengan menggunakan pH meter.

4.2 Bahan**4.2.1 Larutan penyangga (buffer)**

Larutan penyangga 4, 7 dan 10 yang siap pakai dan tersedia di pasaran, atau dapat juga dibuat dengan cara sebagai berikut :

a) Larutan penyangga pH 4,004 (25⁰C)

Timbangkan 10,12 g kalium hidrogen ptalat, $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$, larutkan dalam 1000 mL air suling.

b) Larutan penyangga pH 6,863 (25⁰C)

Timbangkan 3,387 g kalium dihidrogen fosfat, KH_2PO_4 dan 3,533 g dinatrium hidrogen fosfat, Na_2HPO_4 , larutkan dalam 1000 mL air suling.

- c) Larutan peyangga, pH 10,014 (25°C)
Timbangkan 2,092 g natrium hidrogen karbonat, NaHCO_3 dan 2,640 g natrium karbonat, Na_2CO_3 , larutkan dalam 1000 mL air suling

4.3 Peralatan

- a) pH meter dengan perlengkapannya;
- b) pengaduk gelas atau *magnetic stirrer*;
- c) gelas piala 250 mL;
- d) kertas tisu;
- e) timbangan analitik; dan
- f) termometer

4.4 Persiapan pengujian

- a) Lakukan kalibrasi alat pH meter dengan larutan penyangga sesuai instruksi kerja alat setiap kali akan melakukan pengukuran.
- b) Untuk contoh uji yang mempunyai suhu tinggi, kondisikan contoh uji sampai suhu kamar.

4.5 Prosedur

- a) Keringkan dengan kertas tisu selanjutnya bilas elektroda dengan air suling
- b) Bilas elektroda dengan contoh uji
- c) Celupkan elektroda ke dalam contoh uji sampai pH meter menunjukkan pembacaan yang tetap
- d) Catat hasil pembacaan skala atau angka pada tampilan dari pH meter

5. Jaminan mutu dan pengendalian mutu

5.1 Jaminan mutu

- a) Gunakan bahan kimia berkualitas pro analisis (p.a)
- b) Gunakan alat gelas bebas kontaminasi dan terkalibrasi
- c) Gunakan pH meter yang terkalibrasi
- d) Dikerjakan oleh analis yang kompeten
- e) Lakukan analisis segera atau lakukan analisis di lapangan

5.2 Pengendalian mutu

- a) Lakukan analisis duplo untuk kontrol ketelitian analisis.
- b) Buat kartu kendali (control chart) untuk akurasi analisis dengan CRM.