



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH SUHU UMPAN PADA PENYISIHAN AMONIA  
DARI AIR LIMBAH MENGGUNAKAN KOMBINASI PROSES  
MEMBRAN DAN OZONASI**

**SKRIPSI**

**SRI FAHMIATI  
0806319406**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JUNI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH SUHU UMPAN PADA PENYISIHAN AMONIA  
DARI AIR LIMBAH MENGGUNAKAN KOMBINASI PROSES  
MEMBRAN DAN OZONASI**

**SKRIPSI**

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

**SRI FAHMIATI  
0806319406**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JUNI 2012**

## 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 Fahmiati

NPM : 0806319406

Tanda Tangan : 

Tanggal : Juni 2012

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Sri Fahmiati  
NPM : 0806319406  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul Skripsi : Pengaruh Suhu Umpan pada Penyisihan Amonia dari  
Air Limbah Menggunakan Kombinasi Proses  
Membran dan Ozonasi

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 1 : Prof. Ir. Sutrasno K, M.Sc., Ph.D.

Penguji 1 : Dr. Ir. Nelson Saksono, MT

Penguji 2 : Dr. Ing. Donni Adinata

Penguji 3 : Prof. Dr. Ir. M. Nasikin, M.Eng

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Juni 2012

## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala atas limpahan nikmatNya yang tak terhingga sehingga makalah skripsi ini dapat selesai dengan baik dan tepat waktu. Penulisan makalah seminar dengan judul **“Pengaruh Suhu Umpan pada Penyisihan Amonia dari Air Limbah Menggunakan Kombinasi Proses Membran dan Ozonasi”** dilakukan dalam rangka memenuhi mata kuliah skripsi. Penulisan makalah skripsi ini tak lepas dari bantuan beberapa pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof.Ir.Sutrasno Kartohardjono,M.Sc,Ph.D sebagai pembimbing skripsi yang telah membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyusun makalah skripsi ini;
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Widodo W. Purwanto, DEA selaku Ketua Departemen Teknik Kimia FTUI;
3. Bapak Ir. Yuliusman, M.Eng selaku kordinator seminar Teknik Kimia FTUI;
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Setijo Bismo, DEA selaku pembimbing akademis;
5. Ibunda dan keluarga tercinta atas dukungan berupa doa maupun materi;
6. Elvina Fitriasia, Candrika Ajeng dan Kak Eki Listya Rini yang telah membantu pengambilan data hingga pengolahannya;
7. Teman-teman Teknik Kimia 2008 dan Laboratorium Intensifikasi Proses yang namanya tak bisa dituliskan satu persatu yang telah mengisi hari-hari di kampus dan lab dengan penuh ceria dan semangat;
8. Mba Tiwi Nistiani, Mang Wanizal dan Mas Eko selaku laboran yang telah banyak membantu dalam penyelesaian penelitian ini.

Penulis menyadari betul bahwa masih terdapat kekurangan dalam makalah seminar ini. Oleh karena itu, diharapkan kritik dan saran yang konstruktif agar dapat menyempurnakan makalah seminar ini. Akhir kata, penulis berharap agar makalah seminar ini bermanfaat bagi orang banyak dalam rangka pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, Juni 2012

Penulis

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

---

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

Nama : Sri Fahmiati  
NPM : 0806319406  
Program Studi : Teknik Kimia  
Departemen : Teknik Kimia  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi


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

**Pengaruh Suhu Umpan pada Penyisihan Amonia dari Air Limbah  
Menggunakan Kombinasi Proses Membran dan Ozonasi**

berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan 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 : Juni 2012  
Yang menyatakan

  
(Sri Fahmiati)

## ABSTRAK

Nama : Sri Fahmiati  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul : Pengaruh Suhu Umpan pada Penyisihan Amonia Dari Air Limbah Menggunakan Kombinasi Proses Membran dan Ozonasi

Efek dari amonia yang ditemukan pada air limbah telah mendorong pengembangan metode yang efisien untuk penyisihannya. Pada penelitian ini, kombinasi kontaktor membran serat berongga dan proses ozonasi digunakan untuk mencapai tujuan tersebut. Limbah amonia sebesar 120 ppm dan absorben mata air panas ciater yang mengandung sulfat digunakan dalam penelitian ini. Efek dari suhu umpan, yakni 30°C, 40°C dan 50°C pada efisiensi pemisahan dan perpindahan massa amonia diinvestigasi. OH<sup>-</sup> yang terbentuk dari OH radikal sebagai produk dari dekomposisi ozon membantu menjaga pH basa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan suhu umpan meningkatkan penyisihan amonia.. Kombinasi kedua proses ini dapat dikatakan efektif dalam menyisihkan 96% amonia pada suhu 50°C .

Kata kunci:

Amonia, Kontaktor membran serat berongga, asam sulfat, suhu umpan, radikal hidroksil

## ABSTRACT

Name : Sri Fahmiati  
Study Program : Chemical Engineering  
Judul : Effect of Feed Temperature on Ammonia Removal from  
Wastewater Using Combination of Hollow Fiber Membrane  
Contactor and Ozonation Process

The effects of ammonia which commonly found in wastewater streams have promoted the development of more efficient methods for their removal. In this study, polypropylene hollow-fiber membranes and ozonation process were used to achieve this purpose. Synthetic ammonium sulfate and Ciater spring water was used. The effects of feed temperature (30°C, 40°C and 50°C) on removal efficiency and the overall mass transfer of the ammonia were investigated. OH<sup>-</sup> which formed from OH radical as a product of ozone decomposition helps to maintain alkalinity of the system. Result shows that feed temperature has significant effect on ammonia removal. This combination process works to be very effective on ammonia removal from the synthetic waste water. For varied temperature on 30°C, 40°C and 50°C, the best result of ammonia removal is around 96 % on 50°C.

Key words: Ammonia, Hollow fiber membrane contactor, Sulphate acid, feed temperature, hydroxyl radical



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	vi
ABSTRAK .....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah .....	3
1.5. Sistematika Penulisan.....	3
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1. Amonia .....	5
2.2. Bahaya Amonia .....	6
2.3. Identifikasi Amonia .....	6
2.4. Metode Penyisihan Amonia.....	7
2.4.1. <i>Ammonia Stripping Tower</i> .....	8
2.4.2. <i>Selective Ion Exchange</i> .....	8
2.4.3. <i>Breakpoint Chlorination</i> .....	8
2.4.4. <i>Biological Nitrification-Denitrification</i> .....	9
2.5. Kontaktor Membran Serat Berongga .....	10
2.6. Kontaktor Membran Cair-Cair .....	10
2.7. Ozonasi .....	11
2.7.1. Ozonasi dalam Air .....	14
2.7.1. Injeksi Ozon dalam Air.....	16
2.8. Studi Perpindahan Massa pada Membran .....	18

2.8.1 Menentukan Koefisien Perpindahan Massa .....	18
2.9. State of The Art .....	20
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN.....</b>	<b>23</b>
3.1. Pendahuluan.....	23
3.2. Prosedur Penelitian .....	24
3.3. Studi Literatur.....	24
3.4. Penyusunan Rangkaian.....	24
3.4.1. Alat dan Bahan.....	24
3.4.2. Pembuatan Modul .....	25
3.4.3. Rangkaian Uji Produktivitas Ozon.....	25
3.4.4. Rangkaian Uji Penyisihan Amonia dengan Menggunakan Membran-Ozonasi.....	26
3.4.5. Rangkaian Uji Penyisihan Amonia dengan Menggunakan Membran. ....	27
3.5. Uji Perpindahan Massa .....	28
3.5.1. Uji Produktivitas Ozonator .....	28
3.5.2. Uji Perpindahan Massa pada Penyisihan Amonia .....	29
3.5.2.1. Persiapan Limbah Amonia .....	30
3.5.2.2 Preparasi Larutan Absorben .....	30
3.5.2.3. Proses Penyisihan Amonia dengan Membran.....	30
3.5.2.4. Proses Penyisihan Amonia dengan Membran-Ozonasi ....	30
3.6. Pengolahan Data dan Analisis .....	30
3.6.1. Uji Produktivitas Ozonator .....	31
3.6.2. Uji Perpindahan Massa .....	32
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>33</b>
4.1. Efisiensi Pemisahan Amonia Terlarut dalam Air .....	33
4.2. Studi Perpindahan Massa.....	37
4.2.1. Pengaruh Suhu Umpan terhadap Perpindahan Massa.....	37
4.3. Pengaruh Suhu terhadap Fluks .....	43
<b>BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>46</b>
5.1. Kesimpulan.....	46

5.2. Saran .....	46
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>47</b>
<b>LAMPIRAN 1</b>	
<b>LAMPIRAN 2</b>	



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1.</b>	Kontaktor <i>Hollow Fiber Membrane</i> .....	10
<b>Gambar 2.2.</b>	Skema Kontaktor Membran Cair-Cair .....	11
<b>Gambar 2.3.</b>	Struktur Resonansi Molekul Ozon .....	13
<b>Gambar 2.4.</b>	Injektor Venturi.....	17
<b>Gambar 2.5.</b>	Bubble Diffuser.....	18
<b>Gambar 3.1.</b>	Diagram alir penelitian.....	23
<b>Gambar 3.2.</b>	Skema Uji Produktivitas Ozonator.....	26
<b>Gambar 3.3.</b>	Skema Alat Penyisihan Amonia Menggunakan Membran-Ozonasi .....	26
<b>Gambar 3.4</b>	Skema Alat Penyisihan Amonia Menggunakan Membran .....	27
<b>Gambar 4.1.</b>	Persen Penyisihan VS Waktu pada Sistem Membran-Ozonasi ....	34
<b>Gambar 4.2.</b>	Persen Penyisihan VS Waktu pada Sistem Membran.....	35
<b>Gambar 4.3.</b>	Penurunan Konsentrasi Amonia Seiring Waktu pada Proses Membran-Ozon .....	36
<b>Gambar 4.4.</b>	Penurunan Konsentrasi Amonia Seiring Waktu pada Proses Membran .....	36
<b>Gambar 4.5.</b>	Grafik K vs T pada Proses Membran-Ozonasi .....	38
<b>Gambar 4.6.</b>	Grafik K vs T pada Proses Membran.....	38
<b>Gambar 4.7.</b>	Grafik K vs t pada T = 30°C .....	39
<b>Gambar 4.8.</b>	Grafik K vs t pada T = 40°C .....	39
<b>Gambar 4.9.</b>	Grafik K vs t pada T = 50°C .....	40
<b>Gambar 4.10.</b>	Grafik C/C0 pada Proses Membran .....	42
<b>Gambar 4.11.</b>	Grafik C/C0 pada Proses Membran-Ozonasi.....	43
<b>Gambar 4.12.</b>	Grafik Fluks vs T pada Proses Membran.....	44
<b>Gambar 4.13.</b>	Grafik Fluks vs T pada Proses Membran-Ozonasi .....	44

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1.</b> Sifat-sifat Amonia.....	5
<b>Tabel 2.2.</b> Beban maksimum pencemaran limbah cair bagi kegiatan industri .	6
<b>Tabel 2.3.</b> Sifat fisika ozon .....	12
<b>Tabel 2.4.</b> Kelarutan ozon pada berbagai suhu pada air .....	13
<b>Tabel 2.6.</b> <i>State of the art</i> penelitian.....	21



# BAB 1 PENDAHULUAN

## 1.1. Latar Belakang

Peningkatan sektor industri di Indonesia mengakibatkan berbagai dampak, baik berupa dampak positif maupun negatif. Di satu sisi, peningkatan sektor industri dapat membantu meningkatkan taraf hidup masyarakat, namun juga memberikan dampak negatif pada lingkungan berupa hasil buangan dari proses industri yang berwujud limbah, padat, cair maupun gas. Salah satu limbah cair yang banyak dihasilkan dalam proses industri adalah amonia. Senyawa amonia merupakan limbah utama dari proses industri pupuk dan beberapa industri lainnya yang dapat mencemari lingkungan. Gas amonia merupakan suatu gas yang tidak berwarna dan menimbulkan bau yang sangat kuat. Pada tingkatan tertentu, amonia dapat menyebabkan gangguan pada paru-paru dan sensitivitas indra penciuman, serta merusak jaringan tubuh.

Berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 04 Tahun 2007 kandungan maksimal ammonia (sebagai  $\text{NH}_3\text{-N}$ ) yang diperbolehkan adalah: 5 mg/L (untuk Kegiatan Eksplorasi dan Produksi Panas Bumi), 8 mg/L (untuk Pembuangan Air Limbah Proses dari Kegiatan Pengolahan Minyak Bumi). Oleh karena itu, dibutuhkan suatu metode alternatif yang efektif untuk mengolah limbah amonia agar kualitas limbah amonia tersebut memenuhi standar baku mutu lingkungan.

Adapun upaya untuk mengurangi kandungan ammonia terlarut dalam air biasa dilakukan dengan proses *packed tower aeration*. Pada proses ini, ammonia dihilangkan dengan mengalirkan udara ke dalam limbahnya. Efek samping dari proses ini berupa gas ammonia yang dibuang ke udara bebas. Selain dengan cara aerasi, penghilangan amonia dapat dilakukan dengan cara separasi, seperti *ammonia stripping*, *biological nitrification-denitrification*, *breakpoint klorinasi* dan *biological treatment*. Namun proses ini membutuhkan konsumsi energi yang cukup besar dan memiliki kendala untuk dioperasikan seperti *flooding*, *loading*, *channeling*, dan *entrainment*

Teknologi separasi yang ada pada saat ini seperti *biological treatment* kurang efisien karena dapat mengakibatkan kurangnya kontak antara oksigen yang dihasilkan dari aerator dengan ammonia, membutuhkan tempat yang cukup besar untuk pengolahan limbah, membutuhkan energi yang besar yang digunakan untuk menggerakkan motor yang berfungsi sebagai penghasil oksigen sehingga akan dibutuhkan biaya yang cukup besar.

Berbagai masalah dalam proses-proses di atas memicu untuk ditemukannya teknologi pemisahan alternatif, salah satunya menggunakan kontaktor membran serat berongga. Teknologi membran menawarkan operasi yang sederhana dan penggunaan energi yang rendah untuk operasi dan perawatan. Selain itu, jika dilihat dari luas permukaan kontak, membran memiliki luas permukaan yang lebih besar jika dibandingkan kolom biasa. Untuk kolom absorber dengan tipe *packed column* memiliki luas permukaan 30-300 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> sedangkan kontaktor membran dapat mencapai 1600-6600 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>, bahkan untuk kontaktor dengan membran serat berlubang (*hollow fiber membrane*) memiliki luas permukaan di atas 33000 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> (Kartohardjono 2008).

Namun pada proses pemisahan dengan menggunakan membran juga terdapat kelemahan yakni adanya tahanan dalam perpindahan massa yaitu tahanan dari membran itu sendiri sehingga perpindahan massa gas amonia ke absorben juga tidak terlalu efisien. Oleh karena itu, perlu adanya suatu perlakuan terhadap gas NH<sub>3</sub> yang keluar dari membran sehingga dapat disisihkan lebih lanjut. Dalam penelitian ini digunakan proses ozonasi sebagai perlakuan lanjutan dalam penyisihan ammonia. Diharapkan dengan menggabungkan kedua teknik ini, penyisihan gas ammonia dari air limbah akan menjadi lebih efektif.

Pada penelitian penyisihan amonia dengan menggunakan membran, kenaikan temperatur akan meningkatkan nilai koefisien perpindahan massa dan meningkatkan efisiensi pemisahan. Efisiensi pemisahan terbesar didapatkan pada suhu 50<sup>0</sup>C dengan nilai 71 % (Bastian 2011). Penyisihan amonia dengan menggunakan proses oksidasi lanjut dan filtrasi membran keramik mampu menyisihkan amonia sebesar 3,73% selama waktu 1 jam (Rahmawati, 2010). Pada penelitian ini, akan dilakukan penyisihan amonia dengan menggunakan kombinasi kontaktor membran serat berongga dan ozonasi serta menggunakan proses

membran saja. Penggabungan proses antara membran dan ozonasi diharapkan akan mampu menyisihkan amonia secara lebih efektif.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah penelitian ini adalah:

1. Bagaimana proses ozonasi dapat meningkatkan proses penyisihan ammonia jika digabungkan dengan proses membran.
2. Bagaimana suhu air limbah amonia mempengaruhi penyisihan ammonia mealui proses kombinasi membran dan teknik ozonasi.

## **1.3. Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan persen penyisihan amonia terbaik pada kombinasi proses membran dan ozonasi pada variasi suhu umpan yang telah ditetapkan yakni 30°C, 40°C, dan 50°C.

## **1.4. Batasan Masalah**

Yang menjadi batasan permasalahan dalam tugas akhir ini adalah:

1. Air limbah yang digunakan sebagai umpan adalah limbah sintetik yang dibuat mengandung ammonia dengan konsentrasi tertentu.
2. Proses absorpsi dilakukan dengan menggunakan larutan absorben dari sumber air alam.
3. Proses ozonasi berlangsung secara kontinyu dengan sirkulasi air limbah.

## **1.5. Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan seminar ini terdiri dari lima bab, yaitu:



**BAB I PENDAHULUAN**

Menjelaskan latar belakang, perumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah serta sistematika penulisan.

**BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Berisi teori-teori tentang membran dan ozonasi. Tentang definisi kontaktor membran serat berongga, kontaktor membran cair-cair, perpindahan massa proses pemisahan ammonia dari dalam air dengan menggunakan kontaktor serat berongga, serta definisi ozon dan ozonasi.

**BAB III METODE PENELITIAN**

Menampilkan prosedur penelitian, diagram alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan, perangkaian alat, dan cara pengolahan data dalam penelitian.

**BAB IV PEMBAHASAN**

Berisi analisis dan pembahasan dari hasil penelitian.

**BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Berisi kesimpulan yang diperoleh dari analisis dan pembahasan hasil penelitian.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Amonia

Amonia adalah senyawa kimia dengan rumus  $\text{NH}_3$ . Biasanya senyawa ini didapati berupa gas dengan bau tajam yang khas. Dalam larutan biasanya terdapat dalam bentuk larutan ammonium hidroksida yang merupakan senyawa kaustik yang dapat merusak kesehatan. Ammonia memiliki sifat-sifat seperti yang tertera pada tabel dibawah ini.

**Tabel 2.1** Sifat-sifat amonia (Rahmawati 2010)

Sifat Fisika Amonia	Nilai
Massa jenis dan fase (g/L)	0,6942
Kelarutan dalam air( g/100 m1 pada 0°C)	89,9
Titik lebur (°C)	-77,73
Titik didih (°C)	-33,34
Keasaman (PKa)	9,25
Kebasaan (PKb)	4,75

Ammonia dalam air mudah terdekomposisi menjadi ion ammonium dengan persamaan sebagai berikut:



Dimana  $\text{NH}_3$  adalah amonia yang tidak larut, dan  $\text{NH}_4^+$  adalah amonia yang terionkan (ion amonium). Pada air dengan temperatur  $0^\circ\text{C}$  dan pH 6, hampir semua ammonia membentuk ion amonium. Hanya 0,01% amonia saja yang berada dalam bentuk tak terionkan. Sedang pada temperatur  $30^\circ\text{C}$  dan pH 10, sebanyak 89% ammonia berada dalam bentuk tak terionkan (Rahmawati 2010). Berbagai industri manufaktur menggunakan yang menggunakan amonia di antaranya adalah industri pestisida, farmasi, cat dan pewarna, petrokimia, deterjen, plastik, kertas, dan sebagainya.

## 2.2. Bahaya amonia

Air limbah yang dihasilkan dari limbah amonia sering dikeluarkan dalam bentuk gas. Apabila limbah ini langsung dibuang ke udara dan dihirup oleh manusia, maka akan mengakibatkan gangguan kesehatan seperti iritasi yang kuat terhadap sistem pernafasan bagian atas yakni daerah hidung hingga tenggorokan. Terpapar gas amonia pada tingkatan tertentu dapat menyebabkan gangguan fungsi paru-paru dan sensitivitas indera penciuman. Merujuk kepada bahaya ammonia bagi lingkungan, pemerintah melalui Kementerian Negara Lingkungan Hidup mengeluarkan syarat baku mutu limbah cair bagi kegiatan industri terkait konsentrasi amonia yakni :

**Tabel 2.2** Beban pencemaran maksimum limbah cair bagi kegiatan industri (Beauty 2011)

Parameter	Beban Pencemaran Maksimum (kg/ton)		
	Pupuk Urea	Pupuk Nitrogen Lain	Amonia
COD	3	3	0,3
TSS	1,5	3	0,15
Minyak dan Lemak	0,3	0,3	0,03
NH <sub>3</sub> -N	0,75	1,5	0,3
TKN	1,5	2,25	-
Ph	6,0-1,0	6,0-1,0	6,0-1,0
Debit air limbah maksimum	15 m <sup>3</sup> per ton	15 m <sup>3</sup> per ton Produk	15 m <sup>3</sup> per ton produk

## 2.3. Identifikasi Amonia (Reagen Nessler)

Pemilihan metode identifikasi amonia didasarkan pada perkiraan kadar amonia dalam sampel. Bila pada sampel diperkirakan terkandung lebih dari 50,0 mg NH<sub>3</sub>-N/L maka digunakan titrasi dengan standar asam sulfat; bila kadar amonia berkisar antara 0,06 sampai 50,0 mg NH<sub>3</sub>-N/L, konsentrasinya dapat ditentukan dengan menggunakan metode Nessler; sedangkan penentuan kadar amonia di atas 50,0 mg NH<sub>3</sub>-N/L dengan metode Nessler akan membutuhkan pengenceran terlebih dahulu.

Garam amonia dan amonium dapat segera terdeteksi, setiap menit, dengan penambahan larutan Nessler yang memberikan warna kuning mencolok dalam keberadaan garam amonia dan amonium yang paling sedikit sekalipun.

Reagen Nessler dinamakan sesuai dengan penemunya, Julius Neßler. Ia adalah larutan 0,09 mol/L potassium tetraiodomercurate(II) ( $K_2[HgI_4]$ ) dalam 2,5 mol/L potassium hydroxide. Dalam keberadaan amonia konsentrasi tinggi, endapan coklat dapat terbentuk, sesuai dengan hukum Beer-Lambert. Intensitas warna yang terjadi berbanding lurus dengan konsentrasi  $NH_3$  yang terdapat dalam sampel, yang kemudian ditentukan secara spektrofotometris (Alaerts 1984). Sensitivitasnya sebagai uji noda adalah sekitar 0,3  $\mu g NH_3$  dalam 2  $\mu L$ .



Reagen Nessler disiapkan dari kalium iodida dan raksa(II) iodida. Larutan panas terkonsentrasi dari merkuri (II) klorida ditambahkan pada larutan kalium iodida terkonsentrasi, sampai endapan raksa(II) iodida berhenti melarut. Cairan ini lalu disaring, dan kalium hidroksida dan sedikit larutan raksa(II) klorida ditambahkan. Larutan yang dihasilkan kemudian didinginkan dan diencerkan sampai pada konsentrasi yang dibutuhkan. Reagen Nessler digunakan pada tabung Nessler. Namun reagen Nessler tidak dipersiapkan secara mandiri pada penelitian ini. Sebaliknya, digunakan sebuah ammonia meter digital dengan merk dagang Palintest UK yang sudah dilengkapi dengan *tube-tube* Nessler untuk mempercepat proses identifikasi amonia secara lebih akurat.

## 2.4. Metode Penyisihan Ammonia

Terdapat beberapa proses yang dapat diaplikasikan pada pemrosesan limbah ammonia skala pabrik, yakni :

1. *Ammonia Stripping Tower*
2. *Selective Ion Exchange*
3. *Biological Nitrification-Denitrification*
4. *Breakpoint Chlorination*

### 2.4.1. Ammonia Stripping Tower

*Stripping* udara konvensional untuk pemisahan amonia mengeksploitasi volatilitas dari amonia bebas. Desain yang paling umum digunakan adalah pH 11 dengan suhu air yang rendah atau memanaskan air ke sekitar 120°F (dengan *heat*

*recovery*) dan pH sekitar 9,5. Hal ini ditujukan untuk mengubah mayoritas  $\text{NH}_4^+$  menjadi  $\text{NH}_3$  terlarut yang kemudian akan siap untuk di-*stripping* pada *packed tower* konvensional.

*Stripping* sederhana telah dikritik karena melepaskan amonia ke atmosfer, dan telah diganggu oleh pengendapan kalsium karbonat dan menghasilkan *fouling* dari bahan *packing*. Satu kemungkinan modifikasi dari proses *stripping* melibatkan *loop* tertutup dengan udara *recycle* antara *stripper* udara dengan menara *scrubbing* asam. Dalam sistem ini, amonia tidak dikeluarkan ke atmosfer tetapi diserap dan dinetralkan oleh asam sulfat untuk membuat  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . Bahkan dalam proses tertutup ini, penggunaan pH tinggi masih menghasilkan masalah  $\text{CaCO}_3$ , pengendapan, *fouling*, dan pembuangan lumpur.

#### **2.4.2. Selective Ion Exchange**

*Ion exchange* merupakan proses dimana ion pada senyawa tertentu digantikan oleh material penukar yang tidak larut dari senyawa yang berbeda pada suatu larutan. Proses ini dapat dilakukan baik secara batch maupun kontinyu. Resin yang sudah digunakan dapat diregenerasi dan digunakan lagi.

Penelitian tentang *ion exchange* telah dilakukan oleh Reesema (1974). Penemuan ini menghasilkan metode untuk menukar dan menangkap ion pada ion exchanger dan untuk regenerasi ion exchanger. Penelitian lain dilakukan oleh Laciak (1988) untuk memisahkan ammonia dari campuran dengan gas lain atau dari cairan. Campuran yang mengandung ammonia dikontakkan dengan *ion exchange polymer* berupa membran. Kekurangan dari metode ini adalah ammonia hanya dipisahkan dari limbah sebagai gas ammonia yang dapat mencemari udara.

#### **2.4.3. Breakpoint Chlorination**

Penelitian tentang *breakpoint chlorination* telah dilakukan oleh Matsko (1984). *Breakpoint chlorination* merupakan proses dimana sejumlah klorin ditambahkan untuk mengoksidasi nitrogen dari ammonia pada larutan menjadi gas nitrogen dan senyawa stabil lainnya. Keuntungan dari proses ini adalah semua nitrogen dari ammonia pada air limbah dapat direduksi sampai nol dengan kontrol yang tepat dan ekualisasi aliran. Proses ini juga berfungsi proses disinfeksi.

Reaksi total yang terjadi:



Namun, efek samping dari proses klorinasi ini adalah bahwa klorin dapat bereaksi dengan senyawa organik alami yang ditemukan dalam persediaan air dan menghasilkan senyawa berbahaya, yang dikenal sebagai produk samping desinfeksi atau *disinfection byproducts* (DBPs). DBPs yang paling umum adalah trihalomethanes (THMs) dan asam haloacetic (HAAs). Senyawa ini bersifat karsinogenik.

#### 2.4.4. *Biological Nitrification-Denitrification*

Penelitian Mulder (1983) menghasilkan sebuah proses untuk pemurnian air limbah meliputi tahap fermentasi menggunakan bakteri *Thiobacillus denitrificans*, diikuti tahap denitrifikasi dan oksidasi dengan aerasi. Ammonia yang masih ada pada limbah cair setelah tahap denitrifikasi akan dioksidasi menjadi ion nitrat dengan aerasi.

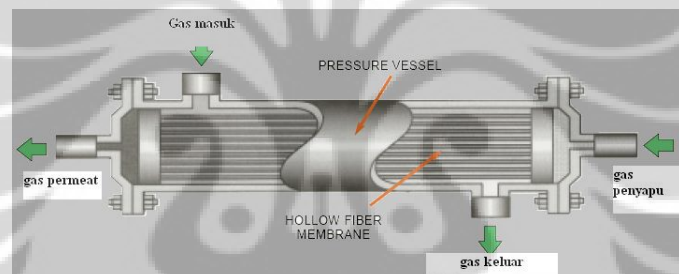
Penelitian lain dilakukan oleh Rittstieg (2001). Air limbah industri yang mengandung nitrogen diolah secara kontinyu dalam reaktor *activated sludge*. Populasi bakteri denitrifikasi yang telah diisolasi mampu mengolah limbah dengan laju 0,1 g nitrogen per liter per hari. Karena laju ini terlalu kecil untuk operasi skala industri, dilakukan stripping terpisah dengan udara atau steam setelah pH diatur sampai 10,5. Air limbah yang telah dicairkan diolah dengan waktu retensi 6 hari.

*Treatment* ini kurang efisien karena membutuhkan tempat yang cukup besar untuk pengolahan limbah, membutuhkan energi yang besar yang digunakan untuk menggerakkan motor yang berfungsi sebagai penghasil oksigen sehingga akan dibutuhkan biaya yang cukup besar.

#### 2.5. **Kontaktor Membran Serat Berongga**

Kontaktor membran serat berongga merupakan teknologi proses membran yang relatif baru. Kontaktor membran serat berongga menggunakan membran serat berongga sebagai pemisah antara fasa yang satu dengan fasa yang lainnya.

Modul membran serat berongga mirip dengan modul kapiler tetapi berbeda dimensi. Struktur serat di dalam modul yang asimetrik memiliki diameter dalam sekitar 42 mikron (0,0016 inci) dan diameter luar sekitar 85 mikron (0,0033 inci). Jutaan serat ini dibentuk menjadi bundel dan dilipat setengah dengan konfigurasi kerapatan pengepakan yang tertinggi hingga mencapai  $30000 \text{ m}^2/\text{m}^3$ . Distribusi air umpan berupa tabung plastik perforasi (*perforated plastic tube*) dimasukkan ke dalam pusatnya untuk memperluas panjang keseluruhan dari benda. Kemudian bundel dibungkus dan kedua sisi ditutup sehingga membentuk lembaran. Modul membran serat berongga mempunyai diameter 10-20 cm yang terdapat dalam *shell* silinder dengan panjang kurang lebih 137 cm dan diameter 15-30 cm. Keseluruhan dari penggabungan ini disebut permeator. Gambar kontaktor membran serat berongga dapat dilihat dibawah ini:



**Gambar 2.1.** Hollow fiber membrane

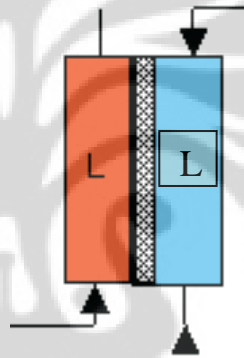
## 2.6. Kontaktor Membran Cair-cair

Kontaktor membran adalah teknologi pemisahan dengan menggunakan membran sebagai alat kontak. Ada dua jenis kontaktor membran yakni kontaktor membran cair-cair dan kontaktor membran gas-cair. Kontaktor membran yang digunakan pada pemisahan amonia adalah kontaktor membran cair-cair. Pada umumnya, membran yang digunakan dalam kontaktor membran cair-cair adalah membran berpori, dimana membran berfungsi sebagai pembatas antara dua jenis cairan. Jika menggunakan membran hidrofobik, maka cairan tidak akan membasahi pori sehingga pori akan diisi oleh gas. Sebaliknya jika menggunakan membran hidrofilik maka cairan akan membasahi pori sehingga pori akan diisi oleh cairan. Membran polipropilena merupakan membran yang memiliki pori

yang bersifat hidrofobik. Jika membran hidrofobik berpori digunakan maka membrannya akan terbasahi sedangkan porinya akan terisi dengan senyawa yang akan dipisahkan dan pemisahan ini akan terjadi pada antarmuka membran (Mulder 2000).

Perpindahan massa antar fasa pada kontaktor membran didorong oleh adanya perbedaan konsentrasi komponen antar fasa dan penurunan tekanan yang diperlukan untuk menahan interfasa antar fluida yang sangat kecil. Pada proses kontak antar fluida melalui membran, langkah-langkah yang terjadi adalah (Kartohardjono 2008):

1. Perpindahan massa komponen dari fluida umpan ke membran.
2. Difusi massa tersebut melewati membran.
3. Perpindahan massa dari membran ke fluida lainnya.



**Gambar 2.2.** Skema kontaktor membran cair-cair (Mulder, 2000).

*Driving force* untuk pemisahan amonia cair-cair melalui kontaktor membran adalah perbedaan konsentrasi amonia antara umpan dan cairan absorben. Untuk pemisahan yang efisien ammonia harus berada dalam bentuk volatilnya. Hal ini dilakukan dengan cara mengoperasikan keseluruhan sistem dalam kondisi basa. Untuk penyisihan yang efisien, amonia harus berada dalam bentuk yang volatil. Meningkatkan pH atau temperatur dimana pada titik amonium-nitrogen ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) berada pada bentuk yang volatil.

## 2.7. Ozonasi

Ozon yang berada pada bagian atas dan bawah dari lapisan stratosfer melindungi bumi dari radiasi berlebihan sinar ultraviolet, namun pada lapisan



troposfer ozon merupakan polutan dan sangat berbahaya bagi makhluk hidup. Karena toksisitasnya, *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) telah menetapkan paparan batasan maksimum untuk manusia terhadap ozon, yaitu sebanyak 0,06 ppm dalam periode delapan jam, lima hari seminggu, dan untuk dosis maksimum 0,30 ppm dalam 15 menit (Permadi 2011).

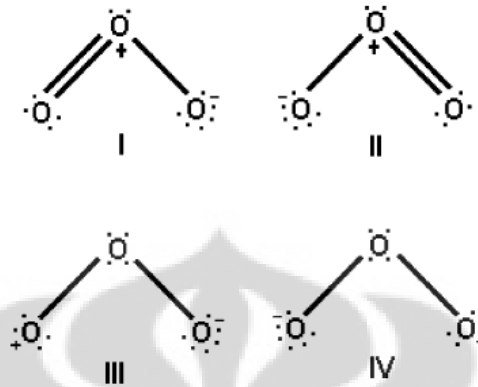
Ozon pertama kali ditemukan oleh peneliti Eropa C. F. Schonbein pada tahun 1839. Ozon pertama kali digunakan secara komersial pada tahun 1907 pada pengolahan air kota di Nice dan pada tahun 1910 di St. Petersburg (Permadi 2011). Sifat fisis ozon murni diberikan pada Tabel 2.3.

**Tabel 2.3.** Sifat fisika ozon (Permadi 2011)

<b>Karakteristik</b>	<b>Nilai</b>
Berat molekul	48 gr/mol
Tekanan kritis	5460 kPa
Temperatur kritis	-12,10 °C
Densitas (0°C dan 1 atm)	2,143 kg/m <sup>3</sup>
Densitas relative (di udara)	1,667 kg/m <sup>3</sup>
Energi	142,3 kJ/mol (34,15 kcal/kmol)
Potensial oksidasi	2,07 volt
Waktu paruh dalam larutan cair (20°C)	20 – 30 menit
Waktu paruh (pada udara kering)	12 jam

Ozon terbentuk dalam stratosfer, smog fotokimia dan pada lampu sterilisasi UV, pancaran listrik tegangan tinggi, dan radiasi gamma (Permadi 2011). Pada temperatur ruang, ozon terdekomposisi dengan cepat sehingga tidak berakumulasi tanpa pembuatan ozon yang berkesinambungan (Permadi 2011). Ozon ditemukan dalam konsentrasi rendah di alam. Ozon mempunyai waktu paruh yang lebih lama ketika berupa gas dibandingkan dalam larutan yang mengandung air (Rice 1981). Ozon dalam air murni cukup cepat terurai menjadi oksigen, dan bahkan lebih cepat dalam larutan tidak murni. Kelarutan ozon dalam air 13 kali daripada oksigen pada 0 – 30 °C dan semakin lebih cepat larut dalam air dingin (Rice 1981). Dekomposisi ozon lebih cepat dalam temperatur air lebih tinggi (Rice 1981).

Tiga atom oksigen pada molekul ozon tersusun pada suatu sudut tumpul di mana atom oksigen pusat terikat dengan dua atom oksigen dengan jarak yang ekuivalen; sudutnya berkisar  $116^{\circ} 49'$  dan panjang ikatannya adalah  $1,278 \text{ \AA}$ . Empat struktur ozon ditunjukkan pada Gambar 2.3:



**Gambar 2.3.** Struktur resonansi molekul ozon

Sumber : (Permadi 2011)

Ozon berbentuk gas pada suhu dan tekanan normal. Seperti halnya oksigen, kelarutan ozon dalam air juga bergantung pada temperatur dan tekanan parsial ozon pada fasa gas disamping adanya pengaruh pH cairan. Kelarutan ozon pada air disajikan pada Tabel 2.4 berikut:

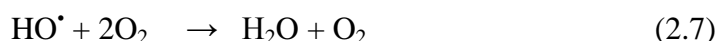
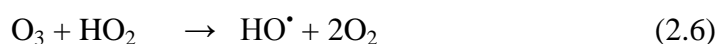
**Tabel 2.4.** Kelarutan Ozon pada Berbagai Suhu pada Air  
(Ullman Encyclopedia of Industrial Chemistry)

Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )	Kelarutan ozon ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
0	1.09
10	0.78
20	0.57
30	0.4
40	0.27
50	0.19
60	0.14

Sebagai senyawa yang tidak stabil, ozon mudah terdekomposisi kembali menjadi oksigen, dan laju dekomposisinya akan bertambah besar sesuai dengan kenaikan suhu dan pH. Selain itu, kelarutan ozon pada air juga sebanding dengan waktu kontak yang diperlakukan.

Secara kimiawi, ozon merupakan senyawa yang tidak stabil, sangat reaktif dan mudah sekali terdekomposisi kembali menjadi oksigen setelah terbentuk pada

ozonator. Oleh karena itu, ozon harus dibuat dalam ozonator yang jaraknya dekat dengan instalasi pengolahan air minum (*on-site*) (Rice dan Browning, 1981). Fenomena terurainya ozon dalam air digambarkan melalui reaksi sebagai berikut (Permadi 2011):



Untuk dapat menghasilkan ozon, satu molekul oksigen diatomik harus dipisah. Oksigen radikal bebas tadi bebas untuk bereaksi dengan oksigen diatomik yang lain untuk membentuk molekul ozon triatomik. Bagaimanapun, supaya dapat mematahkan ikatan O–O memerlukan banyak energi.

### 2.7.1. Ozonasi dalam Air

Ozon merupakan salah satu jenis oksidator terkuat. Penggunaan ozon telah banyak dimanfaatkan untuk penghilangan rasa dan bau dari air minum, selain itu ozon juga dimanfaatkan untuk penghilangan polutan organik dan anorganik dalam air minum dan pengolahan air limbah (Permadi 2011). Ozonasi merupakan suatu proses absorpsi gas yang melibatkan reaksi kimia, dimana laju reaksi total dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu kinetika reaksi dan perpindahan massa (Permadi 2011).

Aplikasi dari pemanfaatan ozon untuk proses pengolahan air telah dikenal hampir diseluruh penjuru dunia. Alasan utama dari penggunaan ozon untuk pengolahan air minum karena sifat ozon sebagai disinfektan dan sebagai oksidan (dapat mengontrol rasa dan bau, penghilang warna, dan penghilang mikropolutan) atau kombinasi dari keduanya. Sama halnya seperti jenis disinfektan lainnya pada air, seperti *chlorine* atau *chlorine dioxide*, ozone tidak stabil dalam air dan dapat membentuk reaksi lain dengan komponen-komponen lain dalam air. Namun, di samping sifat tidak stabil dalam air yang dimilikinya, ozon juga memiliki kelebihan lain, yaitu ozon dapat terdekomposisi membentuk radikal hidroksil ( $\text{OH}^\bullet$ ), yang merupakan oksidator kuat dalam air.

Oleh karena itu, penekanan dari proses ozonasi di dalam air selalu melibatkan dua spesies, yakni ozon dan radikal hidroksil. Namun, pemilihan

kedua spesies tersebut juga bergantung dari tujuan yang ingin dicapai dengan menggunakan proses ozonasi. Jika ingin memanfaatkan ozon sebagai disinfektan, maka proses ozonasi akan melibatkan kedua oksidan, yaitu ozon dan radikal hidroksil. Ozon merupakan oksidan yang sangat selektif (hanya dapat bereaksi dengan senyawa tertentu dalam air). Sedangkan radikal hidroksil dapat bereaksi dengan mikropolutan organik maupun anorganik dalam air.

Saat ozon larut dalam air, ozon akan mengalami tiga reaksi secara bersamaan, yaitu (Bollyky, 2002) :

- Disinfeksi

Proses disinfeksi pada air dapat menghilangkan bakteri, virus, dan parasit. Ozon merupakan disinfektan yang paling efektif dalam penghilangan bakteri, virus, dan parasit dalam air.

- Oksidasi

Ozon merupakan pengoksidasi yang kuat dan efektif, terutama untuk penghilangan rasa dan bau akibat adanya pencemar organik maupun anorganik. Konsentrasi ozon yang dibutuhkan dan lama reaksi oksidasi tergantung pada jenis dan konsentrasi polutan dan kualitas air tersebut.

- Dekomposisi

Ozon merupakan senyawa yang tidak stabil pada suhu kamar atau suhu yang mendekati suhu kamar. Pada suhu kamar, ozon akan terdekomposisi dengan cepat menjadi oksigen. Laju dekomposisi ozon akan dipengaruhi oleh suhu air dan pH.

Kemampuan ozon untuk mengoksidasi senyawa anorganik tergantung dari beberapa faktor, seperti temperatur dan pH. Pada pH rendah ( $<7$ ), ozon bereaksi sebagai molekul  $O_3$  dengan reaksi yang lambat dan hanya dapat mengoksidasi senyawa-senyawa tertentu dalam air, melalui reaksi elektrofilik, nukleofilik, atau reaksi penambahan dipolar (reaksi langsung oleh ozon), sedangkan pada pH yang tinggi ( $>8$ ) secara cepat ozon akan terdekomposisi menjadi radikal bebas hidroksil (radikal OH) yang dapat bereaksi dengan mikropolutan organik maupun anorganik (reaksi tidak langsung oleh radikal hidroksil). Umumnya, pada kondisi asam ( $pH < 4$ ) ozonasi langsung lebih mendominasi. Dalam rentang pH 4-9 baik

ozonasi langsung maupun tidak langsung terjadi bersamaan, serta pada kondisi basa ( $\text{pH} > 9$ ) reaksi tidak langsung oleh radikal hidroksil lebih banyak terjadi.

Penggunaan ozon dalam pengolahan air juga akan meningkatkan biodegradabilitas dari senyawa-senyawa organik (Permadi 2011). Selain itu ozon juga relatif tidak berbahaya jika dibandingkan dengan desinfektan lain seperti klor. Ozon tidak akan membentuk akumulasi pada produk air minum yang akan dihasilkan sehingga mengurangi jumlah aditif kimia yang berbahaya bagi kesehatan manusia.

### 2.7.2. Injeksi Ozon dalam Air

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

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

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

Penjelasan mengenai keduanya adalah sebagai berikut :

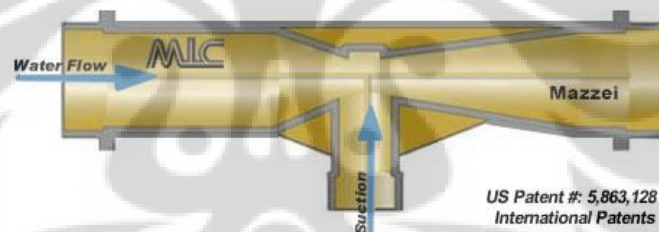
#### 1. Injektor venturi

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

Keuntungan dari injektor jenis ini adalah diperolehnya laju perpindahan massa ozon yang tinggi (hingga 90%), efisiensi cenderung tetap, konstruksinya yang sederhana dan tidak membutuhkan aliran listrik. Bahan yang dapat digunakan untuk membuat injektor venturi yaitu PVDF, *polypropylene* dan *stainless steel 316* (ozone, 2009). Alat ini dapat

digunakan pada berbagai laju aliran, mulai dari 0,5 GPM hingga 4000 GPM, dan hanya membutuhkan perbedaan tekanan yang kecil antara masukan dan keluaran injektor untuk menginisiasi kondisi vakum pada *suction*.

Cara kerja injektor adalah sebagai berikut : ketika cairan operasi bertekanan masuk ke dalam injektor, aliran ini ditarik menuju arah ruang injeksi dan berubah menjadi aliran dengan kecepatan yang sangat tinggi. Peningkatan kecepatan yang melalui ruang injeksi akan menurunkan tekanan, yang demikian akan memungkinkan ozon dimasukkan ke dalam *suction port* dan ikut ke dalam aliran. Dan saat aliran dengan kecepatan tinggi ini menuju keluaran injektor, kecepatannya berkurang namun tekanannya akan meningkat kembali, namun tekanan keluaran ini masih lebih rendah dibandingkan tekanan masukan injektor. Gambaran mengenai injektor venturi dapat dilihat pada gambar berikut:



**Gambar 2.4.** Injektor venturi

Sumber : (Permadi 2011)

## 2. Bubble diffuser

Alat ini bekerja dengan cara melepaskan ozon melalui suatu kolom gelembung yang terdiri dari ratusan gelembung dibawah permukaan air. Konstruksi alat bubble diffuser ini sederhana dan cocok untuk aliran dengan kecepatan tinggi. Seiring dengan meningkatnya kedalaman air, efisiensinya akan meningkat. Namun, laju perpindahan massa ozon yang diperoleh lebih rendah bila dibandingkan dengan injektor venturi, yaitu hanya sekitar 10-15 % dan bubble diffuser ini membutuhkan wadah yang tinggi untuk meningkatkan efisiensinya. Selain itu, lubang-lubang difusi

dapat tersumbat dan akan menurunkan efisiensi perpindahan. Contoh dari *bubble diffuser* dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.5. *Bubble diffuser*

Sumber: (Permadi, 2011)

## 2.8. Studi Perpindahan Massa pada Membran

### 2.8.1 Menentukan Koefisien Perpindahan Massa

Perpindahan ammonia melewati tiap satuan serat membran dapat dituliskan dengan persamaan berikut :

$$v_L \left( \frac{dC_L}{dz} \right) = K \times a \times (C_L - C^*) \quad (2.8)$$

Tekanan ammonia pada fasa gas sama dengan tekanan ammonia pada serat sehingga konsentrasi ammonia dalam fasa gas pada serat ( $C^*$ ) cenderung konstan dan sangat kecil dan dapat diabaikan. Pada laju alir gas yang sangat kecil di dalam serat penurunan tekanan sepanjang serat dapat diabaikan dan asumsi tekanan konstan. Jika pengaruh konsentrasi ammonia terlarut ( $C_L$ ) konstan maka batas kondisi  $C_L = C_1$  pada  $z=0$  dan  $C_L = C_2$  pada  $Z=L$  diaplikasikan maka integrasi persamaan akan menghasilkan persamaan:

$$\int_{C_L = C_1 \rightarrow \text{pada } z=0}^{C_L = C_2 \rightarrow \text{pada } z=L} - \frac{dC_L}{(C_L - C^*)} = \int_{z=0}^{z=L} \frac{K a}{v_L} dz$$

$$[-\ln(C_L - C^*)]_{C_1}^{C_2} = \frac{K a L}{v_L}$$

$$\ln \left( \frac{C_1 - C^*}{C_2 - C^*} \right) = \frac{K a L}{v_L}$$

$$\ln \left( \frac{C_1 - C^*}{C_2 - C^*} \right) = - \frac{K a L}{v_L}$$

$$\left( \frac{C_1 - C^*}{C_2 - C^*} \right) = \exp \left( - \frac{K a L}{v_L} \right)$$

$$C_2 - C^* = (C_1 - C^*) \times \exp\left(-\frac{K a L}{v_L}\right)$$

$$C_2 = C^* + (C_1 - C^*) \times \exp\left(-\frac{K a L}{v_L}\right) \quad (2.9)$$

Luas permukaan spesifik ( $a$ ) telah diketahui nilainya dalam modul serat berongga dan siap dihitung dari jumlah dan ukuran serat serta dimensi modul.

Apabila tangki air dicampur dengan baik (*well mixed reservoir*) maka neraca massa pada tangki adalah :

$$V\left(-\frac{dC_1}{dt}\right) = Q \cdot C_1 - Q \cdot C_2 \quad (2.10)$$

Substitusi nilai  $C_2$  dari persamaan di atas dan pengaturan ulang menghasilkan persamaan berikut ini :

$$\frac{dC_1}{dt} = \frac{Q}{V} \left[ C^* + (C_1 - C^*) \exp\left(-\frac{K a L}{v_L}\right) - C_1 \right]$$

$$\frac{dC_1}{dt} = \frac{Q}{V} \left[ (C_1 - C^*) \exp\left(-\frac{K a L}{v_L}\right) - (C_1 - C^*) \right]$$

$$\frac{dC_1}{(C_1 - C^*)} = \frac{Q}{V} \left[ \exp\left(-\frac{K a L}{v_L}\right) - 1 \right] \quad (2.11)$$

Integrasi pada batas kondisi  $t=0$ ,  $C_1=C_0$  dan  $t=t$ ,  $C_1=C$  memberikan hubungan perubahan konsentrasi terhadap waktu yang disajikan pada persamaan berikut :

$$\int_{C_1=C_0 \rightarrow \text{pada } t=0}^{C_1=C \rightarrow \text{pada } t=t} \frac{dC_L}{(C_L - C^*)} = \int_{t=0}^{t=t} \frac{Q}{V} \left[ \exp\left(-\frac{K a L}{v_L}\right) - 1 \right] dt$$

$$\ln\left(\frac{C-C^*}{C_0-C^*}\right) = \frac{Q}{V} \left[ \exp\left(-\frac{K a L}{v_L}\right) - 1 \right] t \quad (2.12)$$

Dari persamaan ini, koefisien perpindahan massa overall ( $K$ ) dapat dicari dengan memplotkan  $\ln[C^*/C^* - C_1]$  vs  $t$ , kemudian slope (kemiringan) garis dapat dihitung, dengan demikian nilai  $K$  dapat diketahui dengan persamaan :

$$\text{slope} = \frac{Q}{V} \left[ \exp\left(-\frac{K a L}{v_L}\right) - 1 \right]$$

$$K = -\frac{v_L}{a L} \left[ \ln\left(\frac{V(\text{slope})}{Q} + 1\right) \right] \quad (2.13)$$

Dua asumsi penting yang diterapkan dalam dua persamaan di atas adalah:



1. Waktu respon perhitungan ammonia cukup cepat untuk mengawasi laju perubahan ammonia secara akurat.
2. Asumsi umpan konstan yang masuk ke dalam modul harus realistis dengan konsentrasi ammonia dalam tangki yang berubah secara perlahan-lahan jika dibandingkan dengan perubahan konsentrasi didalam modul.

Kedua asumsi di atas akan memuaskan jika tangki air dengan volume besar digunakan pada desain eksperimen.

## 2.9. State of The Art

Michael J. Semmens pada tahun 1990 melakukan penelitian untuk memisahkan ammonia terlarut dari air dengan menggunakan membran serat berongga, pada penelitian tersebut digunakan asam sulfat sebagai larutan penyerap. Penentuan konsentrasi akhir ammonia digunakan elektroda ion selektif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *hollow fiber* dapat beroperasi dalam laju alir yang kecil yang tidak mungkin dilaksanakan dalam konvensional *packed tower*. Diwaktu yang sama terkadang transfer masa di *hollow fiber* lebih rendah dibandingkan dengan *packed tower* konvensional, ada dua alasan mengenai hal tersebut, pertama terjadi aliran laminar pada lumen tanpa terjadi aliran turbulen dimana aliran turbulen memperbesar transfer massa, dan kedua tahanan pada *hollow fiber* cukup besar.

M.S. El-Bourawi et al, 2007 melakukan penelitian dengan menggunakan destilasi membran vakum untuk menghilangkan ammonia, konsentrasi dan perbedaan suhu merupakan gaya gerak komponen yang berpindah. Dari data penelitian diketahui bahwa walaupun daya larut ammonia cukup tinggi, ammonia dalam larutan mempunyai bentuk yang tidak stabil sehingga dapat menyebabkan pemindahan ammonia menjadi sulit. Penambahan NaOH kepada larutan umpan akan meningkatkan pH larutan, sehingga akan meningkatkan ammonia yang terbentuk dan efisiensi akan meningkat, kecepatan dan tekanan juga akan mempengaruhi efisiensi pemindahan.

Nofi Rahmawati pada tahun 2010 melakukan penelitian tentang Pengolahan Air Tanah yang Mengandung Besi, Mangan, Amonia dan Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS) dengan proses oksidasi lanjut dan Filtrasi Membran Keramik. Penurunan konsentrasi amonia begitu kecil, hal tersebut terjadi karena proses

oksidasi  $\text{NH}_3$  dengan ozon berlangsung lambat, sehingga penyisihan amonia selama ozonasi juga berjalan lambat. Selain bereaksi dengan ozon, amonia juga bereaksi dengan OH radikal, dimana amonia lebih reaktif terhadap OH radikal dibandingkan dengan ozon.

Rian Bastian pada tahun 2010 melakukan penelitian tentang penyisihan ammonia dengan menggunakan hollow fiber membrane dengan memvariasikan suhu umpan. Koefisien perpindahan massa pemisahan amonia terlarut dalam air terbesar didapatkan pada temperatur  $50^\circ\text{C}$  dengan nilai koefisien perpindahan massa mencapai  $1,27 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ . Secara keseluruhan, temperatur akan meningkatkan efisiensi pemisahan. Efisiensi pemisahan terbesar didapatkan pada suhu  $50^\circ\text{C}$  dengan nilai 71 %.

Sahawet Bampernga et al pada tahun 2010 melakukan penelitian tentang penghilangan warna limbah pewarna tekstil dengan menggunakan membran serat berongga PVDF dan PTFE dan ozonasi. Kinerja penghilangan warna dengan menggunakan kombinasi kedua teknik ozonasi meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan dan temperatur fasa cair.

Pada penelitian ini, akan dilakukan penyisihan amonia dengan menggunakan kombinasi membran serat berongga dan ozonasi dengan memvariasikan suhu umpan sebesar  $30^\circ\text{C}$ ,  $40^\circ\text{C}$ , dan  $50^\circ\text{C}$ . Lalu, akan dibandingkan tingkat efektivitas penyisihan ammonia dengan menggunakan proses membran saja.

**Tabel 2.5.** State of The Art Penelitian

Peneliti	Judul	Penelitian
Michael J. Semmens	<i>Ammonia Removal From Water Using Microporous Hollow Fibers</i>	Penyisihan amonia dengan serat berongga poli propilena menggunakan umpan yang pH-nya diatur dengan penambahan $\text{H}_2\text{SO}_4$ dan $\text{NaOH}$

M.S. El-Bourawi et al, (2007)	<i>Application of Vacuum Membran Distillation for Amonia Removal</i>	Penyisihan amonia menggunakan vacuum membran distilation PTFE dengan variabel pengaturan laju alir umpan, konsentrasi awal amonia, temperatur umpan, pH umpan, dan tekanan <i>downstream</i> .
Rahmawati (2010)	Teknologi Pengolahan Air Tanah yang Mengandung Besi, Mangan, Amonia dan Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS) dengan proses oksidasi lanjut dan Filtrasi Membran Keramik.	Melakukan Penyisihan Amonia dengan konsentrasi awal 60 mg/L dengan menggunakan kombinasi proses oksidasi lanjut dan membrane keramik.
Rian Bastian (2010)	Pengaruh Temperatur Pada Proses Penyisihan Ammonia Terlarut Dari Air Limbah Melalui Kontaktor Membran Serat Berongga Menggunakan Larutan Penyerap Bahan Alam	Penyisihan ammonia dengan menggunakan hollow fiber membrane dengan pelarut bahan alam dengan memvariasikan suhu umpan.
Sahawet Bampernga et al (2010)	Ozonation of dye wastewater by membrane contactor using PVDF and PTFE membranes	Untuk larutan warna dengan fasa liquid, maka fluks ozon akan meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur operasi, karena meningkatnya laju reaksi kimia di antara ozon dan larutan pewarna di mana konstanta laju ozon bergantung pada temperatur.
Sri Fahmiati (2011)	Penyisihan Amonia dari Air Limbah Menggunakan Proses Kombinasi Membran dan Teknik Ozonasi : Pengaruh Suhu Umpan.	Penelitian kali ini akan mencoba menyisihkan ammonia dengan menggabungkan proses membran menggunakan pelarut dari sumber mata air alam dan ozonasi dengan variasi suhu umpan.

## **BAB 3 METODE PENELITIAN**

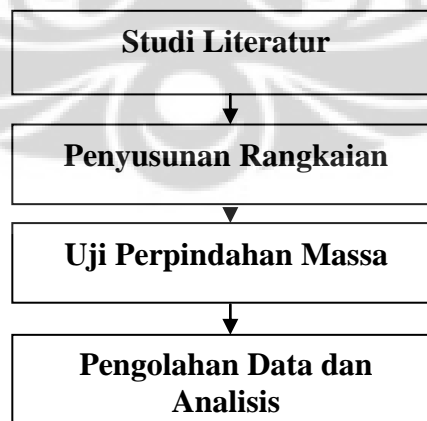
### **3.1. Pendahuluan**

Penelitian yang dilakukan adalah menyisahkan amonia yang terkandung dalam air dengan cara sistem gabungan membran serat berongga dengan fasa cair absorben air alam dan proses ozonasi. Pemisahan yang dilakukan dengan membran serat berongga bertujuan untuk mengatasi masalah-masalah yang ditimbulkan dengan proses konvensional seperti adanya endapan, fouling, dan masalah pembuangan lumpur. Dengan proses ozonasi juga bertujuan untuk memaksimalkan proses pemisahan ammonia tersebut.

Dalam studi ini akan dipelajari perpindahan massa yang terjadi pada membran serat berongga dan sifat hidrodinamika air dari proses penghilangan ammonia terlarut tersebut. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Intensifikasi Proses Lantai 2 Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia.

### **3.2. Prosedur Penelitian**

Secara garis besar penelitian akan dilakukan menjadi lima bagian yaitu studi literatur, persiapan alat dan bahan, uji perpindahan massa, serta pengolahan data dan analisa. Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini, dapat dilihat pada gambar berikut ini :



**Gambar 1. Alur Penelitian**

### 3.3. Studi Literatur

Pada studi literatur dilakukan dengan mencari teori serta referensi dari buku, jurnal maupun artikel terutama mengenai kontaktor membran serat berongga dan ozonasi, sifat-sifat ammonia, dan bahaya yang dapat ditimbulkan.

### 3.4. Penyusunan Rangkaian

#### 3.4.1. Alat dan Bahan

1. Membran serat berongga, dengan spesifikasi sebagai berikut:

Material : Polipropilena

Ukuran pori :  $0,2 \mu m$

Ukuran modul :

- Diameter serat : 0,2 cm
- Panjang membran : 47 cm

2. Amonia 1000 Meter untuk mengukur konsentrasi amonia dengan spesifikasi:

- Type : PT-240
- Produk : Palintest-UK
- Range : 0-15 mg/L N dan 0-50 mg/L N
- Range temperatur :  $0^{\circ}C - 50^{\circ}C$

3. Amonia Meter Mi 405 Produk Martini Instrument.

4. Pompa, digunakan untuk mengalirkan air dari reservoir menuju modul membran, dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Produk : Aquila P.3900
- H max : 2,5 meter

4. pH meter, digunakan untuk mengukur pH larutan

Merek : Thermo Electron Corporation

5. *Liquid flow meter / rotameter* untuk mengatur laju alir dari pelarut.

6. *Acrylic*, sebagai selongsong kontaktor membran.

7. Pipa PVC, sebagai tempat mengalirnya pelarut dan menghubungkan antara

tangki reservoir pelarut dengan kontaktor membran serat berongga.

8. Wadah reservoir sebagai tempat untuk larutan amonia dan absorben.

9. Air limbah sebagai umpan

10. Larutan sumber air alam sebagai larutan absorben.
11. Larutan asam sulfat yang akan ditambahkan ke larutan absorben.
12. Lem epoksi, termometer, erlenmeyer, pipet volumetrik, dan labu ukur.
13. *Thermal Circulator* sebagai alat pengatur suhu umpan limbah ammonia.

#### 3.4.2. Pembuatan Modul

Kontaktor membran serat berongga sendiri dibuat dengan cara merangkai membran polipropilena, selongsong acrylic, T drat, shock drat, *double nipple* dan pipa pralon dalam menjadi suatu kesatuan dengan menggunakan perekat resin Epoxy. Ukuran modul yang digunakan adalah  $\frac{1}{2}$ " dan jumlah membran 16 berdiameter 2 mm. Tidak dilakukan kalibrasi secara manual pada peralatan digital seperti *ammonia meter* karena terdapat kalibrasi otomatis yang telah terbukti cukup akurat. Selanjutnya menyiapkan peralatan-peralatan seperti wadah limbah amonia, wadah absorben, larutan penyerap (air dari sumber air panas alam), pompa peristaltik dan pompa aquarium (*submersible pump*), *liquid flow meter*, *ammonia meter* dan merangkai peralatan tersebut menjadi suatu sistem tertutup yang melewati kontaktor membran.

#### 3.4.3. Rangkaian Uji Produktivitas Ozon

Peralatan yang digunakan dalam percobaan ini adalah:

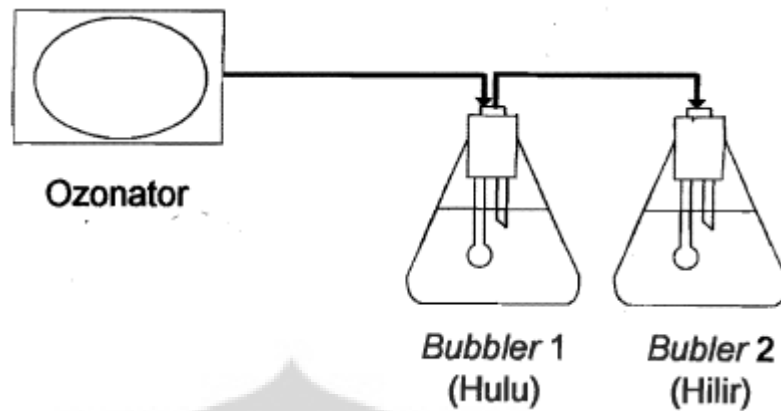
1. Ozonator
2. Buret 50 mL dan statip
3. Botol aqudest
4. Stopwatch
5. Piala gelas 500 mL
6. Erlenmeyer 500 mL dan 1000 mL
7. Gelas ukur 10 mL dan 50 mL
8. Labu takar 250 mL dan 1000 mL

Bahan yang digunakan dalam percobaan ini adalah:

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

5. Indikator amilum 1 %

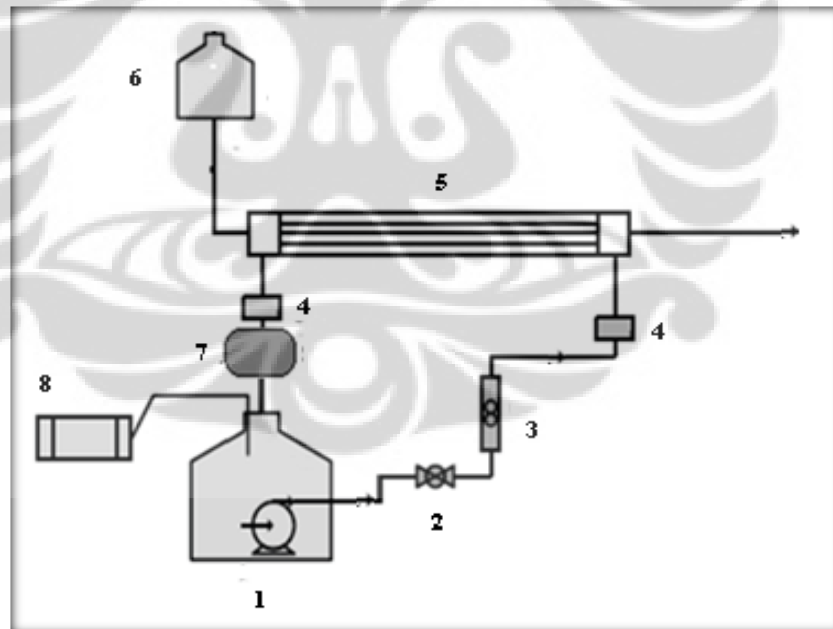
Skema Uji Produktivitas Ozonator adalah sebagai berikut :



Gambar 3.2. Skema Uji Produktivitas Ozonator

#### 3.4.4. Rangkaian Uji Penyisihan Amonia Menggunakan Membran-Ozonasi

Skema rancangan alat yang akan digunakan dalam penyisihan ammonia ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3.3. Skema alat penyisihan ammonia menggunakan Membran-Ozonasi

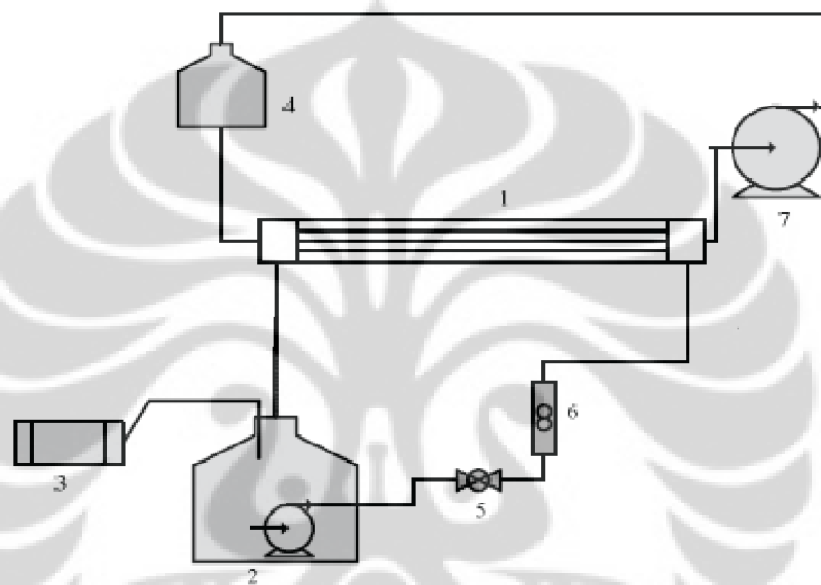
Keterangan:

1. Tangki reservoir amonia dan pompa amonia
2. Valve
3. Flow meter

4. Manometer
5. Modul membran serat berongga polipropilena
6. Tangki reservoir asam sulfat
7. Ozonator
8. Amoniameter

### 3.4.5. Rangkaian Uji Penyisihan Amonia Menggunakan Proses Membran

Skema rancangan alat yang akan digunakan dalam penyisihan ammonia ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3.4. Skema alat penyisihan ammonia menggunakan proses membran

Keterangan:

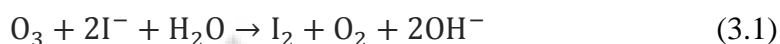
1. Modul membran serat berongga Polipropilena
2. Tangki reservoir ammonia dan pompa ammonia
3. Ammoniameter
4. Tangki reservoir absorben
5. Valve
6. Flow meter
7. Pompa Peristatik

### 3.5. Uji Perpindahan Massa

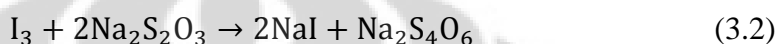
#### 3.5.1. Uji Produktivitas Ozonator



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



Pembebasan iodium ( $\text{I}_2$ ) dititrasi dengan natrium tiosulfat:



Prosedur Percobaan untuk uji produktivitas ozonator ini adalah :

1. Menyiapkan 2 buah erlenmeyer 500 mL dan *gas washing bubbler* (*bubbler*) yang terdiri dari hulu dan hilir. Ditambahkan 200 mL KI 2% ke dalam masing-masing erlenmeyer tersebut. Tutup dengan *gas washing bubbler* (*bubbler*) dan disambungkan dengan selang ke bagian ozonator.
2. Menyalakan ozonator dan stopwatch, kemudian diamati sampai larutan mangasilkan warna kuning baik di hulu maupun hilir.
3. Apabila sudah terbentuk warna kuning, selanjutnya mematikan ozonator dan stopwatch. Mencatat waktu yang dibutuhkan sampai terjadinya perubahan warna menjadi kuning.
4. Kemudian larutan tersebut ditambahkan dengan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  2N dan dititrasi dengan  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  0,005 N. Penitaran dilakukan sampai warna larutan kuning menjadi sedikit kuning muda. Kemudian ditambahkan dengan indikator amilum sehingga larutan menjadi warna biru, lanjutkan penitaran sampai larutan tidak berwarna. Penitaran dilakukan untuk sampel hulu dan hilir.
5. Mencatat volume titrasi yang diperoleh kemudian lakukan perhitungan.

### **3.5.2. Uji perpindahan Massa pada Penyisihan Amonia**

#### **3.5.2.1. Persiapan Limbah Amonia**

Pada penelitian ini ammonia sebagai limbah sintetik yang akan digunakan dibuat dari ammonium sulfat pure analysis. Ammonia sebagai gas

NH<sub>3</sub> yang digunakan pada penelitian ini memiliki konsentrasi 200 ppm dalam 5 liter air yang dibuat dengan cara sebagai berikut:

1. Ditimbang dengan teliti 4 gram ammonium sulfat
2. Dimasukkan ke dalam wadah labu ukur 1 L dan dilarutkan hingga tepat tanda tera aquadest (kemudian dilanjutkan dengan pengenceran 4 liter air Aquadest)
3. Diaduk hingga homogen.

### **3.5.2.2. Persiapan Larutan Absorben**

Pada penelitian ini, absorben yang digunakan adalah penyerap sumber air alami yang mengandung sulfat dengan kadar yang cukup tinggi. Sumber air alami dipanaskan terlebih dahulu agar kandungan ammonia yang kemungkinan terdapat di dalamnya diharapkan menguap sehingga air dari sumber air alami dapat digunakan secara lebih efektif sebagai absorben. Air sumber air alami yang telah didinginkan kemudian ditambahkan dengan asam sulfat pekat (96%) hingga mencapai pH 1. Sumber air alami akan diambil dalam jumlah yang cukup besar dan disimpan dalam wadah tertutup untuk memastikan tidak terjadi penguapan maupun kontaminasi. Diperkirakan kebutuhan absorben untuk satu kali *running* percobaan adalah sekitar 5 liter. Kontaminan logam pada sumber air panas alami berjumlah sangat kecil sehingga dapat diasumsikan tidak memiliki pengaruh yang signifikan pada proses perpindahan massa maupun reaksi kesetimbangan ammonia pada modul membran.

### **3.5.2.3. Proses Penyisihan Amonia dengan Membran**

Larutan ammonia yang digunakan dipompakan ke dalam *shell* (selongsong acrylic). Kemudian langkah selanjutnya adalah mengalirkan larutan absorben (air dari mata air panas Ciater) ke dalam *tube* (membran polipropilena). Membran polipropilena bersifat hidrofobik dan mempunyai pori sehingga dengan adanya perbedaan konsentrasi gas ammonia pada membran dan selongsong akan menyebabkan gas ammonia yang berada di dalam selongsong bergerak menuju pori-pori dan masuk ke bagian dalam serat membran yang kemudian diserap oleh larutan absorben. Larutan ammonia yang telah keluar dari selongsong akan diukur kembali konsentrasinya dengan

menggunakan ammonia meter setiap selang waktu 30 menit selama sirkulasi 2 jam. Pengambilan data konsentrasi dan perbedaan tekanan ini dilakukan untuk setiap variasi temperatur. Data pengurangan konsentrasi ammonia dalam larutan akan digunakan untuk menentukan koefisien perpindahan massa.

#### **3.5.2.4. Proses Penyisihan Amonia dengan Membran-Ozonasi**

Prosedur yang dilakukan pada penyisihan ammonia dengan cara membran dan ozonator sama dengan proses penyisihan ammonia dengan ozonator saja, namun pada proses ini, sebelum melewati ozonator, limbah dilewatkan pada membran serat berongga.

Ammonia yang akan digunakan sebagai larutan untuk pengujian adalah ammonia pure analisis dengan konsentrasi inlet 200 ppm. Kemudian ammonia ini dipompakan ke dalam shell (selongsong acrylic). Kemudian langkah selanjutnya adalah mengalirkan larutan penyerap bahan alam ke dalam *tube* (membran polipropilen). Membran polipropilen bersifat hidrofobik dan mempunyai pori, sehingga dengan adanya perbedaan konsentrasi gas ammonia pada membran dan selongsong akan menyebabkan gas ammonia dalam selongsong bergerak menuju pori-pori membran kemudian akan melewati pori-pori dan masuk ke bagian dalam serat membran yang kemudian diserap oleh larutan absorben.

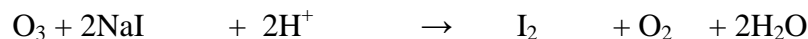
Larutan ammonia yang telah keluar dari selongsong akan diinjeksikan ozon dari ozonator, yang kemudian akan kembali ke dalam bak penampung dan akan dialirkan lagi ke dalam selongsong membran serat berongga, dan terjadi berulang. Larutan ammonia yang telah mengalami siklus dan berada pada bak penampung, akan diukur konsentrasinya dengan menggunakan ammonia meter setiap selang waktu 30 menit selama sirkulasi 2 jam.

### **3.6. Pengolahan Data dan Analisis**

#### **3.6.1. Uji Produktivitas Ozonator**

Uji produktivitas ozon dilakukan dengan metode titrasi iodometri.

Reaksi Ozon dengan KI :



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



Prosedur perhitungan :

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

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

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

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

### 3.6.2. Uji Perpindahan Massa

Kinerja proses penyisihan amonia dari membran kontaktor (E) dideskripsikan sebagai:

$$E = 1 - C_{\text{out}} / C_{\text{in}} \quad (3.4)$$

dimana,

$E$  = Persen penyisihan amonia

$C_{\text{in}}$  = konsentrasi amonia terlarut (DO) pada air sebelum masuk modul

$C_{\text{out}}$  = konsentrasi amonia terlarut (DO) pada air setelah melewati modul

Untuk mengetahui efisiensi penyisihan amonia pada berbagai suhu, maka akan dibuat grafik antara waktu (x) dan % efisiensi amonia (y) untuk masing-masing suhu.

Berdasarkan persamaan (2.11), koefisien perpindahan massa overall (K) dapat dicari dengan memplotkan  $\ln[C^*/C^* - C_l]$  vs  $t$ , kemudian slope (kemiringan) garis dapat dihitung, dengan demikian nilai K dapat diketahui dengan persamaan :

$$\text{slope} = \frac{Q}{V} \left[ \exp \left( -\frac{K a L}{v_L} \right) - 1 \right]$$
$$K = -\frac{v_L}{a L} \left[ \ln \left( \frac{V (\text{slope})}{Q} \right) + 1 \right] \quad (3.5)$$

Nilai K yang diperoleh pada persamaan di atas akan diplotkan dengan suhu dan akan dilihat bagaimanakah pengaruh perubahan suhu terhadap koefisien perpindahan massa. Lalu, nilai efisiensi dan k yang diperoleh akan dibandingkan dengan nilai yang didapat jika menggunakan gabungan proses membran-ozonasi dan membran saja.



## **BAB 4**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas penyisihan limbah sintetik amonia menggunakan absorben mata air panas Ciater. Pada penelitian ini dilakukan 2 pengujian, yaitu penyisihan amonia dengan menggunakan gabungan antara membran dan ozonator serta dengan menggunakan membran saja. Untuk mengetahui keefektivitasan penyisihan amonia terlarut dengan menggunakan kedua proses tersebut diketahui dengan perbandingan penurunan konsentrasi  $NH_3$ . Selain itu dapat diketahui juga perbandingan nilai koefisien perpindahan massa antara penyisihan amonia proses tunggal membran dengan proses gabungan membran dan ozonator.

Pada penyisihan ini dilakukan variasi terhadap suhu umpan limbah 30, 40 dan 50°C sehingga dapat diketahui tingkat keefektivitasan yang terbaik dari masing-masing variasi. Dari keseluruhan proses penyisihan dapat dibandingkan tingkat keefektivitasan yang terbaik antara masing-masing proses penyisihan, dan merupakan bagian dari studi perpindahan massa.

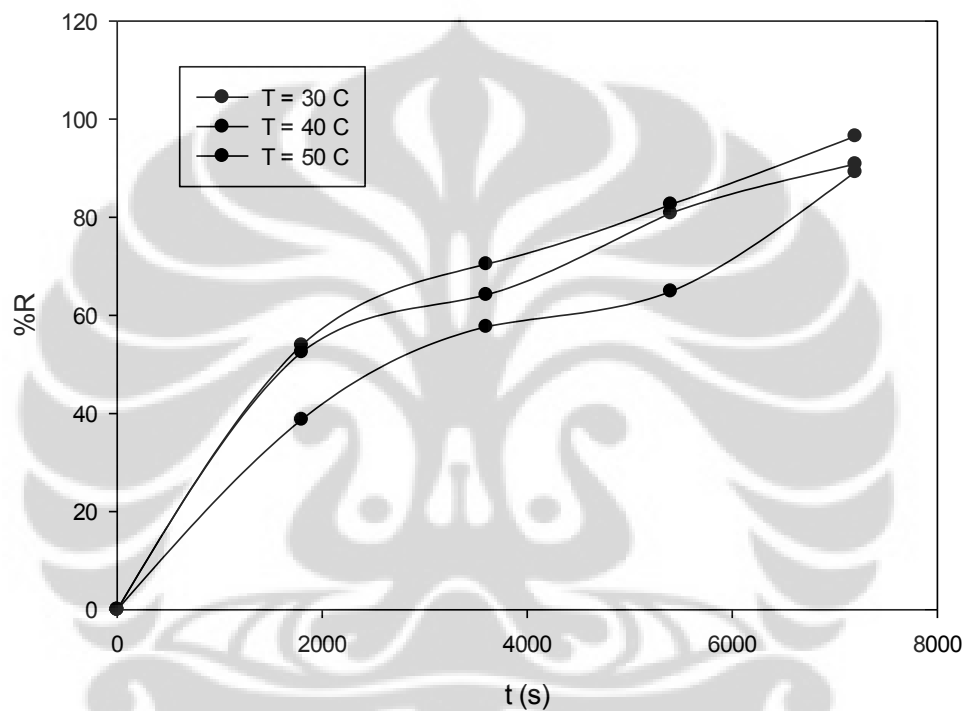
Modul serat berongga yang digunakan bersifat hidrofobik, tidak terbasahi baik oleh amonia maupun larutan asam. Amonia berdifusi melewati pori pada membran, sehingga konsentrasi amonia berkurang seiring dengan berjalannya waktu. Sampel dari amonia diukur dengan menggunakan amonia meter bermerk Palintest UK.

#### **4.1. Efisiensi Pemisahan Ammonia Terlarut Dalam Air**

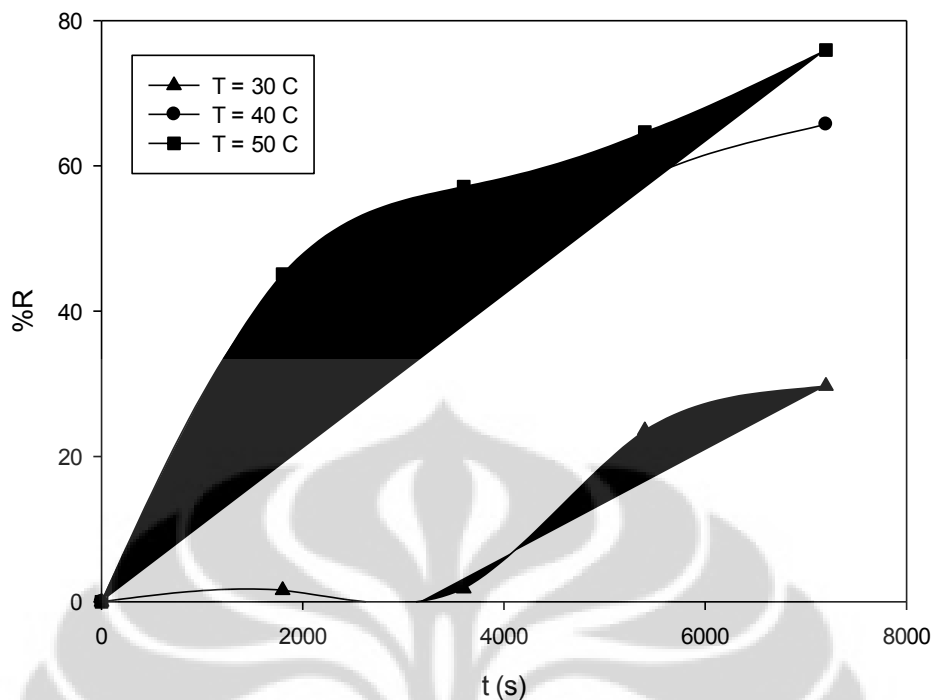
Efektifitas pemisahan ammonia terlarut dalam air melalui kontaktor membran serat berongga dapat dilakukan dengan mengukur perubahan konsentrasi ammonia yang telah melewati modul membran polipropilen selama 2 jam sirkulasi dengan variasi temperatur 30°, 40°, dan 50° C dan selang waktu analisis konsentrasi ammonia setiap 30 menit.

Gambar 4.1 memperlihatkan bahwa trend efisiensi pemisahan ammonia akan meningkat seiring dengan peningkatan temperatur. Peningkatan suhu umpan akan meningkatkan jumlah molekul ammonia ( $NH_3$ ) yang terkandung di dalam air limbah dan meningkatkan banyaknya ammonia yang disisihkan. Oleh karena

itu peningkatan temperatur akan meningkatkan efisiensi pemisahan. Pada percobaan ini efisiensi pemisahan ammonia terbesar terjadi pada temperatur  $50^{\circ}\text{C}$  dengan laju alir 5 Lpm, menurut Xie, dkk (2008), performa kondisi yang baik dan temperatur menghasilkan pemisahan ammonia sampai 97% pada kondisi temperatur  $75^{\circ}\text{C}$ . Namun pada penelitian ini dengan menggunakan kombinasi membran-ozon diperoleh pemisahan maksimal sebesar 96% dengan laju alir 5 Lpm.



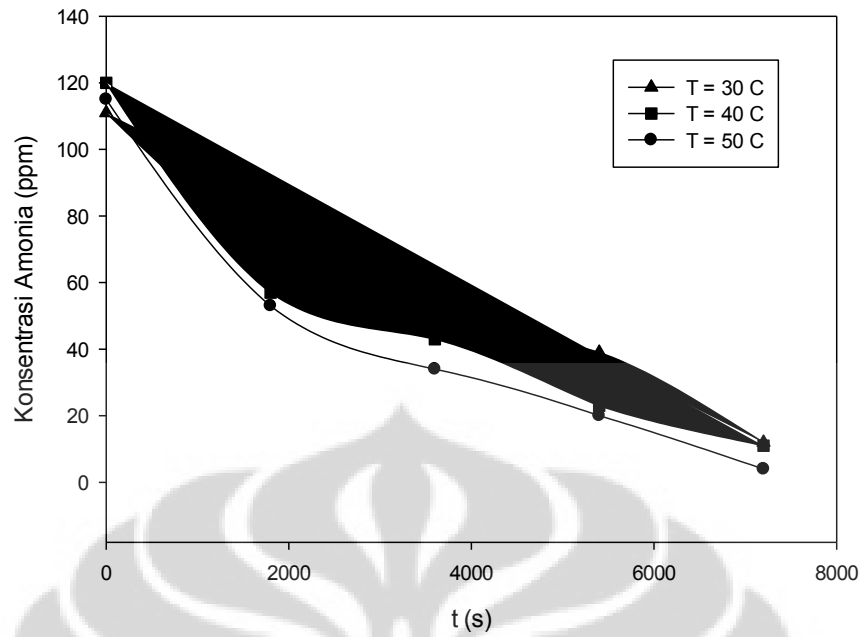
Grafik 4.1. Persen Penyisihan VS Waktu pada Sistem Membran-Ozonasi



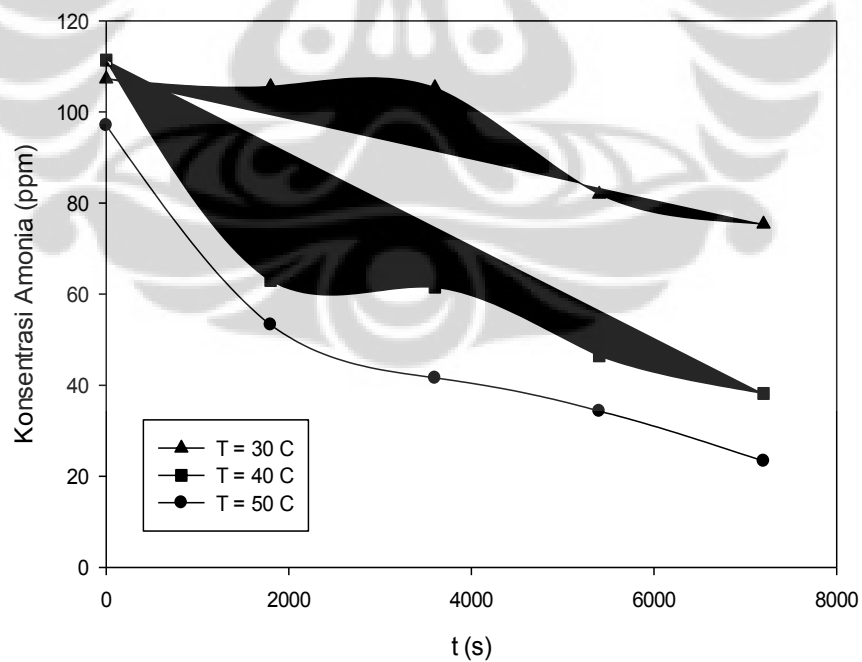
**Grafik 4.2.** Persen Penyisihan vs Waktu pada Sistem Membran

Konsentrasi amonia seiring waktu diperlihatkan oleh gambar 4.3 dan 4.4. Dari gambar tersebut terlihat bahwa pada suhu 50°C menunjukkan penurunan nilai konsentrasi amonia yang paling signifikan pada kedua proses. Namun, untuk penyisihan terbaik adalah pada proses membran-ozonasi pada suhu 50°C. Hal ini disebabkan pada suhu tersebut, lebih banyak tersedia amonia volatil yang akan dipisahkan oleh membran dan dioksidasi oleh OH radikal.





**Gambar 4.3.** Penurunan Konsentrasi Amonia seiring Waktu pada Proses Membran-Ozon



**Gambar 4.4.** Penurunan Konsentrasi Amonia seiring Waktu pada Proses Membran

## 4.2. Studi Perpindahan Massa

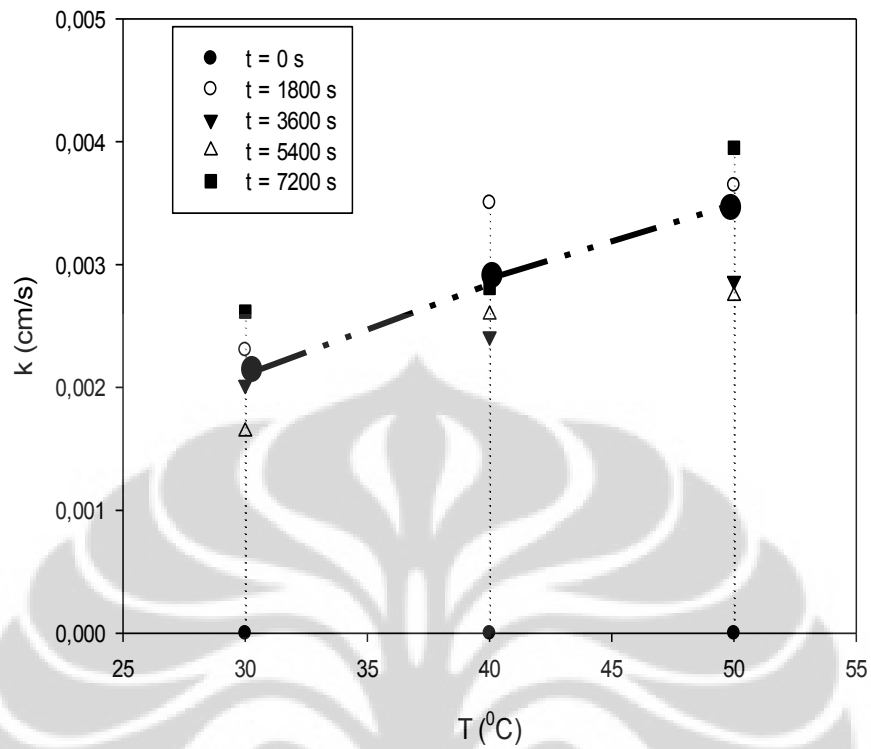
Studi perpindahan massa dapat dilihat dari besaran koefisien perpindahan massa. Besaran koefisien perpindahan massa juga dapat dijadikan tolak ukur dari efektifitas proses pemisahan ammonia dengan menggunakan larutan penyerap air ciater. Nilai koefisien perpindahan massa ini diperoleh dari pengolahan data perubahan konsentrasi ammonia sebelum dan setelah melewati membran dan membran-ozonator selama 2 jam sirkulasi dengan selang waktu analisis setiap 30 menit dengan variasi temperatur 30<sup>o</sup>, 40<sup>o</sup>, dan 50<sup>o</sup> C.

### 4.2.1 Pengaruh Suhu Umpam Terhadap Perpindahan Massa

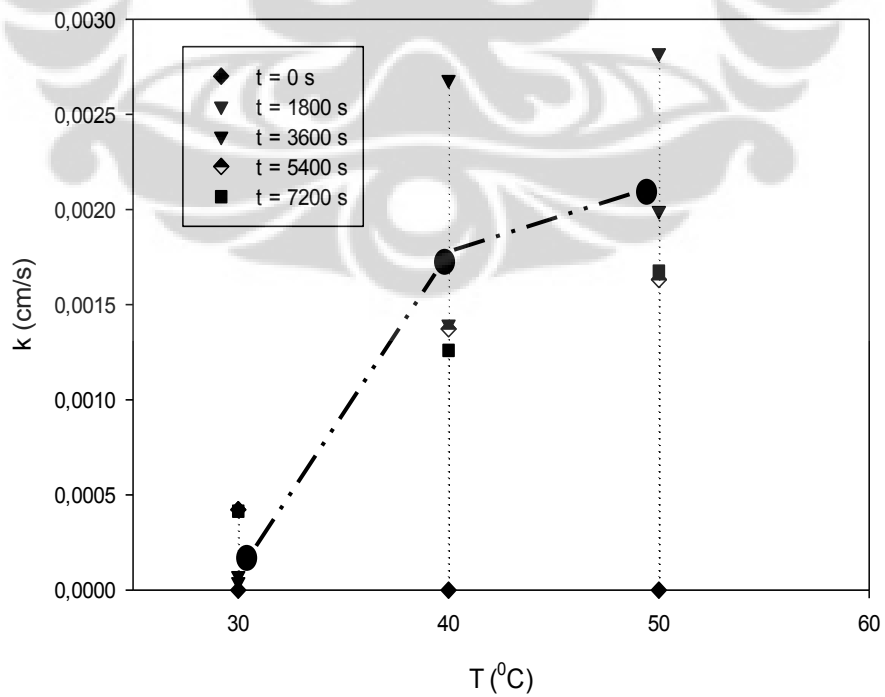
Penggunaan suhu umpam yang bervariasi dilakukan untuk melihat efektivitas penyisihan ammonia pada tiap suhu. Suhu umpam yang divariasikan adalah 30<sup>o</sup>, 40<sup>o</sup>, dan 50<sup>o</sup> C. Pengaruh suhu umpam terhadap proses perpindahan massa dapat dilihat dari nilai koefisien perpindahan massa yang didapat. Koefisien perpindahan massa dapat dihitung dengan mengolah data perubahan konsentrasi ammonia setelah melewati membran.

Gambar 4.5 dan 4.6 memperlihatkan trend koefisien perpindahan massa semakin meningkat seiring dengan bertambahnya temperatur dari umpam. Hal ini disebabkan semakin tinggi suhu umpam yang digunakan maka jumlah molekul ammonia ( $NH_3$ ) yang terkandung di dalam umpam akan semakin tinggi pula.

Pada proses penyisihan ammonia menggunakan membran serat berongga, ammonia yang dipisahkan harus berwujud molekul ammonia ( $NH_3$ ) karena hanya dengan wujud itulah proses penyisihan dapat terjadi. Reaksi kesetimbangan ammonia di dalam air bersifat eksotermis, apabila suhu dinaikkan maka reaksi akan bergeser ke sebelah kiri dan bisa dipastikan bahwa jumlah molekul ammonia ( $NH_3$ ) akan semakin banyak sehingga jumlah ammonia yang disisihkan juga semakin banyak. Hal ini berbanding lurus dengan nilai koefisien perpindahan massa.

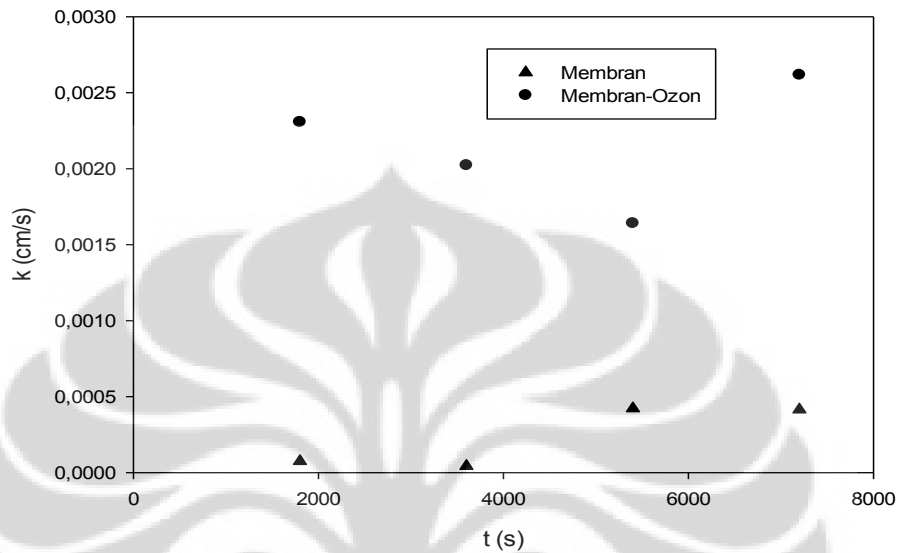


Gambar 4.5.  $k$  vs  $T$  pada Proses Membran-Ozonasi

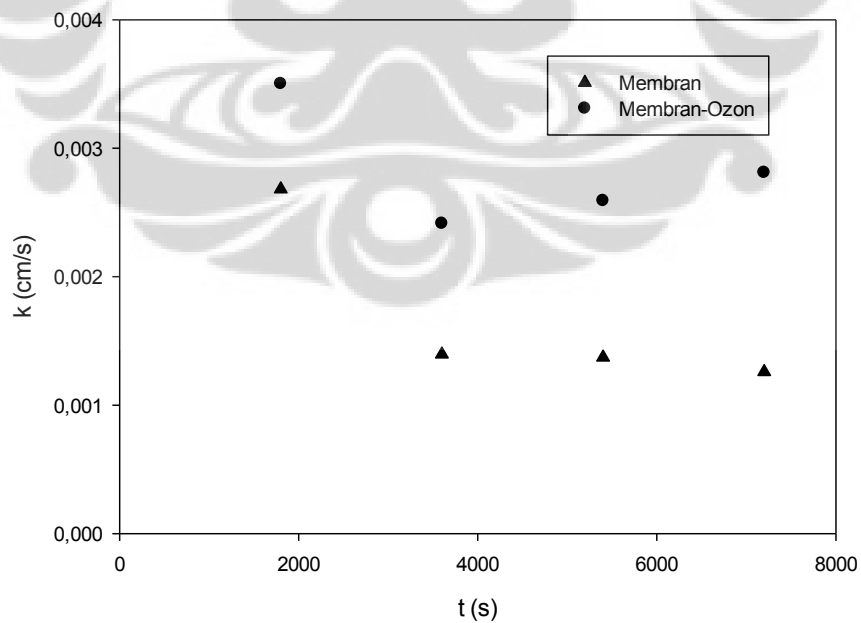


Gambar 4.6.  $k$  vs  $T$  pada Prose Membran

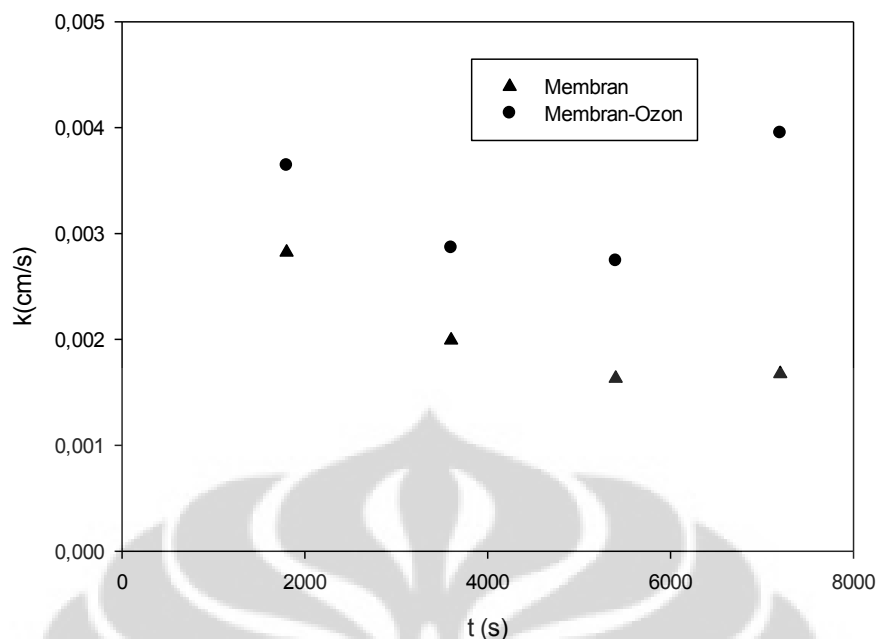
Sedangkan grafik 4.7 dan 4.8 menunjukkan persebaran nilai  $k$  terhadap waktu pada berbagai suhu umpan untuk masing-masing proses. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa untuk proses membran-ozonasi menunjukkan nilai koefisien perpindahan massa yang lebih besar daripada proses membran saja.



**Gambar 4.7.** Grafik  $k$  vs  $t$  pada  $T = 30^{\circ}\text{C}$

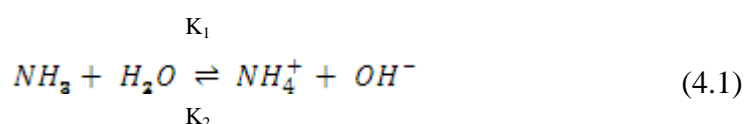


**Gambar 4.8.** Grafik  $k$  vs  $t$  pada  $T = 40^{\circ}\text{C}$



**Gambar 4.9.** Grafik k vs t pada T = 50°C

Penurunan konsentrasi ammonia selama proses pemisahan terjadi akibat adanya perbedaan konsentrasi molekul ammonia yang berada pada *shell* dengan konsentrasi molekul ammonia dalam larutan penyerap yang berada pada tube atau serat membran. Perbedaan konsentrasi ini akan mendorong molekul ammonia tersebut berdifusi ke permukaan membran dan masuk ke dalam larutan lumen yang berisi larutan penyerap asam sulfat. Banyaknya konsentrasi molekul ammonia di dalam larutan dipengaruhi oleh konstantan fasa kesetimbangan ammonia itu sendiri. Berikut adalah fasa kesetimbangan ammonia dalam air yang dapat digambarkan pada reaksi berikut ini.



Pada reaksi di atas  $K_1$  bernilai  $1,8 \times 10^{-5}$  dan  $K_2$   $5,6 \times 10^{-10}$ . Hal ini berarti pembentukan ion ammonium lebih besar  $3,2 \times 10^4$  kali dibandingkan dengan pembentukan molekul  $\text{NH}_3$  sendiri, namun untuk mengoptimalkan pemisahan dapat dilakukan dengan meningkatkan pH hingga 11 dengan menggunakan Natrium Hidroksida. Peningkatan pH ini akan mengubah arah kesetimbangan

kearah pembentukan molekul ammonia ( $\text{NH}_3$ ) sehingga akan banyak molekul ammonia yang terdapat dalam larutan. Besarnya pembentukan molekul ammonia akan meningkatkan jumlah ammonia dalam larutan yang akan dipisahkan melalui kontaktor membran serat berongga.

Pada pH rendah ( $<7$ ), ozon bereaksi sebagai molekul  $\text{O}_3$  dengan reaksi yang lambat dan hanya dapat mengoksidasi senyawa-senyawa tertentu dalam air, melalui reaksi elektrofilik, nukleofilik, atau reaksi tambahan dipolar (reaksi langsung oleh ozon), sedangkan pada pH yang tinggi ( $>8$ ) secara cepat ozon akan terdekomposisi menjadi radikal bebas hidroksil (radikal  $\text{OH}$ ) yang dapat bereaksi dengan mikropolutan organik maupun anorganik (reaksi tidak langsung oleh radikal hidroksil). Umumnya, pada kondisi asam ( $\text{pH}<4$ ) ozonasi langsung lebih mendominasi. Dalam rentang pH 4-9 baik ozonasi langsung maupun tidak langsung terjadi bersamaan, serta pada kondisi basa ( $\text{pH}>9$ ) reaksi tidak langsung oleh radikal hidroksil lebih banyak terjadi.

Dengan pH di atas 9, di mana rasio antara  $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$  lebih mengarah ke  $\text{NH}_3$ , dekomposisi ozon pada air cukup cepat sehingga menghasilkan kondisi yang kurang diharapkan untuk reaksi langsung oleh ozon. Bagaimanapun, dekomposisi ozon ini akan menghasilkan radikal hidroksil yang merupakan oksidan yang sangat reaktif. Sehingga pada nilai pH di atas 9, dekomposisi cepat dari ozon menjadi radikal hidroksil akan mempercepat proses oksidasi amonia (Bader 1978).

Hidroksil  $\bullet\text{OH}$  dipercaya mampu untuk mengoksidasi amonia pada kondisi basa. Produk utama dari hasil reaksi ini adalah  $\text{NO}_3^-$ . Bagaimanapun, laju reaksi untuk amonia dan  $\bullet\text{OH}$  hanya  $1 \times 10^8 \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$  pada  $20^\circ\text{C}$ . Untuk itu, disarankan untuk menggunakan  $\bullet\text{OH}$  bersama oksidan lainnya (Li Huang 2008).

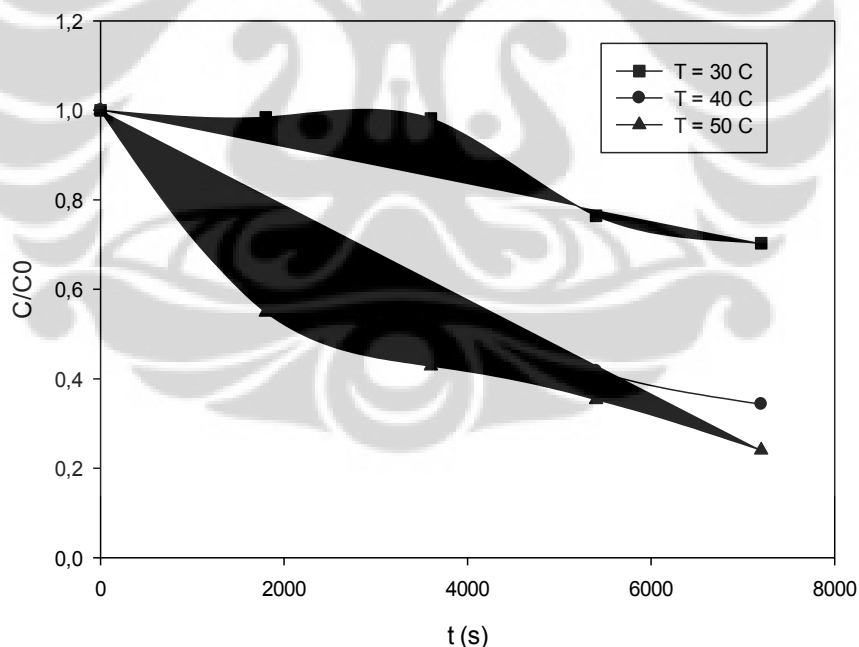
Berdasarkan tabel 2.3 dapat dilihat bahwa semakin tinggi suhu, maka kelarutan ozon pada air akan semakin menurun. Meskipun demikian, masih ada radikal  $\bullet\text{OH}$  yang terbentuk dari proses dekomposisi ozon untuk mengoksidasi amonia.

Molekul amoniak dapat disisihkan langsung pada interfasa membran, tetapi ion ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) harus terlebih dahulu direaksikan dengan hidroksida untuk membentuk molekul amonia sebelum mereka dapat disisihkan. Reaksi

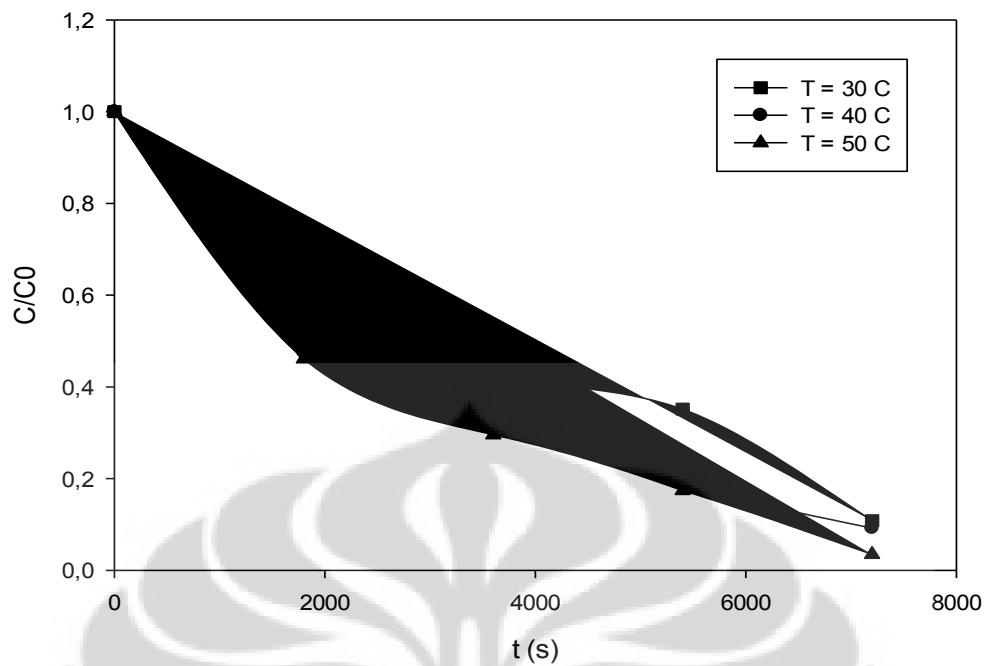
$\text{NH}_4^+$  dengan hidroksida merupakan reaksi kimia cepat, namun, difusi hidroksida dekat permukaan membran tidak selalu cepat. Jadi dengan tidak adanya hidroksida lokal dapat menyebabkan penghambatan penyisihan amonia (Semmens, 1990).

pH basa akan meningkatkan konsentrasi  $\text{OH}^-$ . Laju umpan yang tinggi serta peningkatan temperatur akan meningkatkan laju difusi  $\text{OH}^-$  tersebut ke permukaan membran, sehingga meningkatkan efisiensi penyisihan amonia. Dan dengan keberadaan  $\text{OH}^-$  radikal yang akan menghasilkan ion  $\text{OH}^-$  untuk mencegah penurunan pH, maka akan dicapai penyisihan amonia maksimum (Asri, 2009).

Konsentrasi amonia seiring waktu diperlihatkan oleh gambar 4.9 dan 4.10. Konsentrasi awal amonia tidak akan mempengaruhi koefisien perpindahan massa secara keseluruhan. Selama jumlah absorben cukup untuk menyisihkan amonia, proses penyisihan tetap berlanjut dengan tidak adanya kebergantungan penyisihan amonia dari konsentrasi awalnya.



**Gambar 4.10.** Grafik  $C/C_0$  vs  $t$  pada proses membran

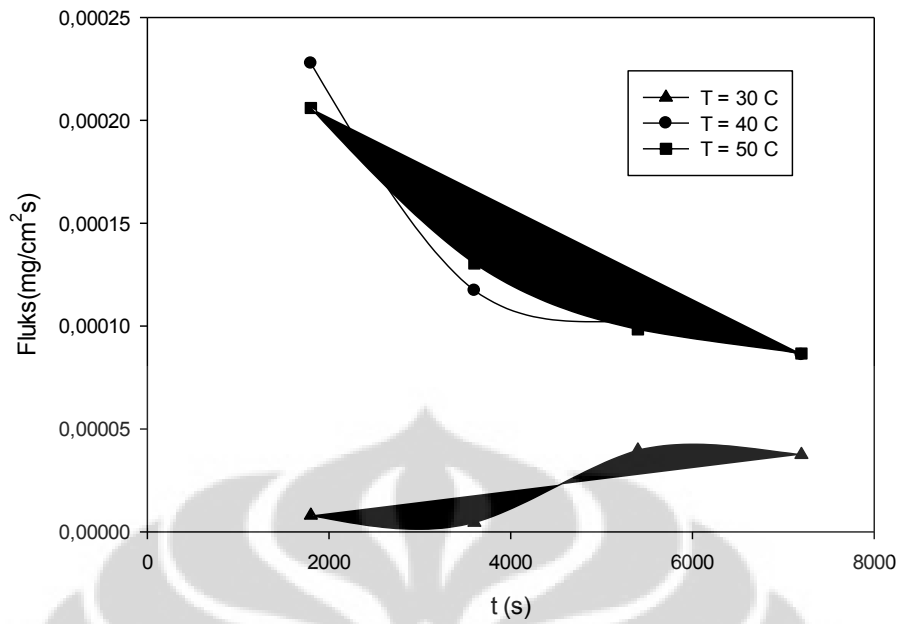


**Gambar 4.11.** Grafik  $C/C_0$  pada proses membran-ozonasi

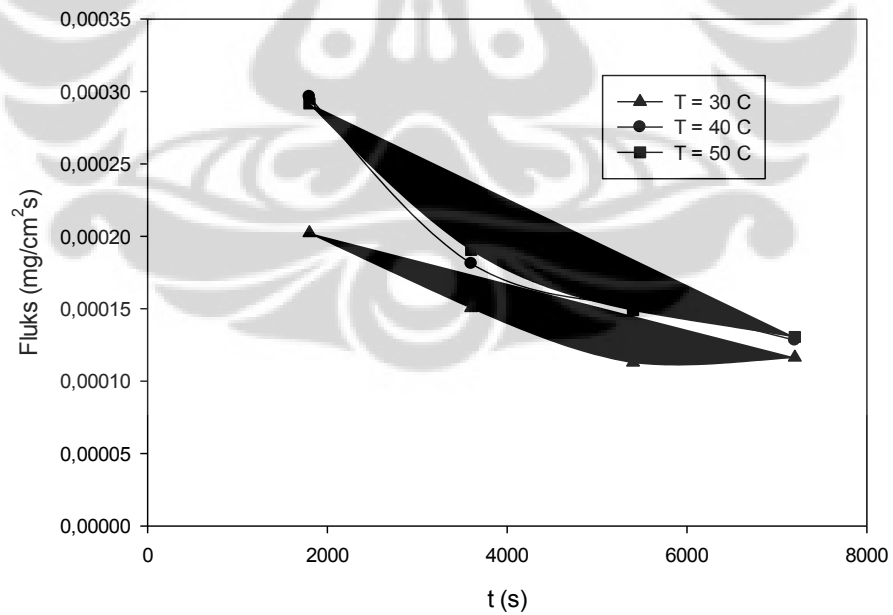
### 4.3 Pengaruh Suhu Terhadap Fluks

Pada percobaan ini akan ditampilkan korelasi antara suhu umpan terhadap besarnya fluks yang diperoleh. Fluks adalah banyaknya jumlah amonia terpisahkan per luas area membran per satuan waktu. Gambar ini akan memperlihatkan perubahan fluks terhadap berbagai variasi suhu untuk proses penyisihan menggunakan membran dan gabungan membran-ozonasi.





**Gambar 4.6** Grafik fluks VS T pada Proses Membran



**Gambar 4.7.** Grafik fluks VS T pada Proses Membran-Ozonasi

Dengan luas permukaan dan waktu penyisihan yang sama, maka satu-satunya faktor yang mempengaruhi perbedaan fluks adalah perbedaan konsentrasi. Semakin besar perbedaan konsentrasi yang diperoleh dari waktu ke waktu terhadap konsentrasi awal amonia, maka nilai fluks juga semakin menurun.

Kecenderungan menurunnya fluks amonia seiring berjalannya waktu dikarenakan penurunan konsentrasi amonia yang tersedia pada sisi umpan. Penurunan tersebut bergantung pada penurunan tekanan uap total dari umpan. Tekanan uap umpan merupakan fungsi dari konsentrasi amonia pada larutan umpan. Semakin berkurang konsentrasi amonia pada larutan maka tekanan uap totalnya juga semakin berkurang.

Terlihat bahwa semakin tinggi suhu umpan, semakin menurun pula nilai fluks yang dihasilkan, dimana suhu 50°C menunjukkan penurunan nilai fluks yang lebih signifikan dibandingkan dengan suhu 30 °C dan 40 °C pada masing-masing proses. Hal ini disebabkan penurunan konsentrasi amonia yang lebih signifikan pada suhu tersebut. Maka dapat dikatakan bahwa pada penelitian ini, suhu optimum perpindahan massa amonia melalui kontaktor membran serat berongga dengan pelarut bahan alam dikombinasikan dengan ozonasi adalah 50°C.

Dalam penelitian ini ditemukan bahwa pH dan temperatur yang tinggi dapat menyisihkan amonia secara signifikan. Namun perlu dipertimbangkan dengan pH dan suhu yang tinggi pula ozon merupakan senyawa yang tidak stabil dalam larutan. Dengan pH dan suhu yang tinggi seperti ini, dikhawatirkan akan ada amonia menguap selama operasi berlangsung. Untuk itu, diperlukan pengukuran kadar amonia pada keluaran membran untuk mengetahui seberapa besar amonia yang terabsorpsi oleh larutan penyerap bahan alam.

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

1. Kombinasi proses membran serat berongga dan ozonasi dapat membantu menyisihkan amonia. Hal ini dapat dilihat dari % penyisihan dan koefisien perpindahan massa. Proses kombinasi ini mampu menyisihkan amonia sebesar 96% pada suhu 50°C.
2. Peningkatan temperatur akan menggeser kesetimbangan ke arah pembentukan amonia, sehingga makin banyak amonia yang dipisahkan oleh membran.

#### 2.1. Saran

1. Karena laju dekomposisi  $\bullet\text{OH}$  yang terbilang cepat maka untuk memaksimalkan proses penyisihan amonia dari air limbah hendaklah menggunakan  $\bullet\text{OH}$  radikal bersama oksidan lainnya.
2. Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk mengukur kadar amonia pada keluaran membran pada larutan penyerap untuk mengetahui jumlah amonia yang terabsorpsi.

## DAFTAR PUSTAKA

- A. Hasanoglu, b, J. Romeroa, B. Péreza, A. Plaza (2010), 'Ammonia removal from wastewater streams through membrane contactors: Experimental and theoretical analysis of operation parameters and configuration', *Chemical Engineering Journal*, 160, 530–37.
- Alaerts (1984), *Metode Penelitian Air* (Surabaya: Penerbit Usaha Nasional).
- Bader, Jurg Hoigne and Heinz (1978), 'Ozonation of Water: Kinetics of Oxidation of Ammonia by Ozone and Hydroxyl Radicals', *American Chemical Society*, 12, 79-84.
- Bastian, Rian (2011), 'Pengaruh Temperatur Pada Proses Penyisihan Ammonia Terlarut Dari Air Limbah Melalui Kontaktor Membran Serat Berongga Menggunakan Larutan Penyerap Bahan Alam', (Departemen Teknik Kimia UI).
- Beauty, Diana (2011), 'Pengaruh pH Pada Proses Penyisihan Amonia dari Air Limbah Melalui Kontaktor Membran Serat Berongga Menggunakan Larutan Penyerap Sumber Air Alami', Skripsi (Universitas Indonesia).
- Bergeyk, K.V.a.L., Ing.A.J (1981), 'Teknologi Proses ', (Bharata Karya Aksara).
- Bhavana S. Karnika, Simon H.R. Daviesa, b, Kuan C. Chena, David R. Jaglowskic, and Melissa J. Baumannc, S.J. Mastena, (2004), 'Effects of ozonation on the permeate flux of nanocrystalline ceramic membranes', *Water Research*, 39, 728–34.
- Chandra, Dodi (2009), 'Pemisahan Ammonia Terlarut Dalam Air Melalui Kontaktor Membran Serat Berongga Menggunakan Larutan Penyerap Asam Sulfat', (Universitas Indonesia).
- Chiang-Hai Kuo, Fang Yuan, and Donald O. Hill (1997), 'Kinetics of Oxidation of Ammonia in Solutions Containing Ozone with or without Hydrogen Peroxide', *Ind. Eng. Chem. Res*, 36, 4108-13.
- Fitrisia, Elvina (2011), 'Penyisihan Amonia dari Air Limbah dengan Kombinasi Proses Membran dan Ozonasi : Variasi Laju Alir Penyerap', (Universitas Indonesia).

- Holgn, Johannes Staehelln and Jurg (1992), 'Decomposition of Ozone in Water: Rate of Initiation by Hydroxide Ions and Hydrogen Peroxide', *Environ. Sci. Technol*, 16, 676-81.
- Hsub, Shu-Hai Youa Dyi-Hwa Tsengb Wei-Chun (2005), 'Effect and mechanism of ultrafiltration membrane fouling removal by ozonation', *Desalination* 202, 224-30.
- Kartohardjono, Sutrasno (2008), 'Penggunaan Kontaktor Membran Serat Berlubang untuk Proses Penyerapan Gas CO<sub>2</sub> oleh Pelarut Air dan Larutan Encer NaOH', *JURNAL TEKNOLOGI*, 2, 147-52.
- Li Huang, Li Angli, Wenbodong, Yan Liu and Hui Qi Hou (2008), 'Removal of Ammonia by OH Radical in Aqueous Phase', *Environment Science Technology*, 42, 8070-75.
- Michael J. Semmens, D.M. Foster, E.L. Cussler (1990), 'Ammonia Removal From Water Using Microporous Hollow Fibers', *Journal of Membrane Science*, 51, 127-40.
- Mulder (2000), *Basic Principles of Membrane Technology*. (Netherland: Kluwer Academic Publisher).
- Permadi, Sonny Citra (2011), 'Penyisihan Fenol dengan Menggunakan Proses Oksidasi Lanjut Berbasis Ozon : Pengaruh Kavitasi dan Konsentrasi Awal Fenol', Skripsi (Universitas Indonesia).
- Rahmawati, Nofi (2010), 'Teknologi Pengolahan Air Tanah yang Mengandung Besi, Mangan, Amonia dan Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS) dengan Proses Oksidasi Lanjut dan Filtrasi Membran Keramik', (Universitas Indonesia.).
- Rice, Browning (1981), *Ozone Treatment of Industrial Wastewater* (Noves Data Corporation).
- S.N. Ashrafizadeh, Z. Khorasani (2010), 'Ammonia removal from aqueous solutions using hollow-fiber membrane contactors', *Chemical Engineering Journal*, 162, 242-49.
- SEHESTED, B. HICKEL t and K. (1991), 'Reaction of Hydroxyl Radicals With Ammonia In Liquid Water at Elevated Temperatures', *Radiat. Phys. Chem*, 39, 355-57.

Singer, Philip C. (1975), 'Ozonation of Ammonia in Wastewater', *Water Research*, 9, 127 -34.

WERNER R. HAAG, JURG HOIGNE and HEINZ BADER (1984), 'Improved Ammonia Oxidation By Ozone In the Presence of Bromide Ion during Water Treatment', *Water Res*, 18, 1125-28.

Zhongwei Ding, Liying Liu, Zhaoman Li, Runyu Ma, Zurong Yang (2006), 'Experimental study of ammonia removal from water by membrane distillation (MD): The comparison of three configurations', *Journal of Membrane Science*, 286, 93–103.



## LAMPIRAN 1 DATA PENGAMATAN

### 1.1 Produktivitas Ozon

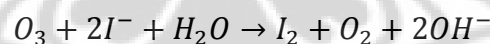
Sebelum memulai percobaan, ozonator yang akan digunakan dihitung produktivitasnya untuk mengetahui besarnya ozon yang dihasilkan. Pengujian produktivitas ozon dilakukan pada setiap nilai voltase dan laju udara yang digunakan kurang lebih 400 L/jam. Berikut ini adalah data rata-rata dari tiap pengujian:

**Tabel 1.** Data Pengamatan Uji Produktivitas Ozon

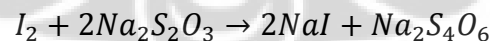
t (s)	Voltase (V)	mA	V Na-tiosulfat (ml)		Produktivitas Ozon (gr/h)
			Hulu (fp=8)	Hilir	
15,1735	100	80	5,05	1,4	0,1309
95,105	150	125	6,925	0,75	0,2805
81,02	190	180	7,7	0,65	0,3651

Semakin besar voltase yang digunakan, maka semakin singkat waktu yang dibutuhkan KI untuk berubah warna, hal ini terjadi karena semakin banyak O<sub>2</sub> (oksigen) yang terkonversi menjadi O<sub>3</sub> (ozon).

Reaksi kimia KI dengan Ozon:



Pembebasan iod dengan Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.5H<sub>2</sub>O:



Dari reaksi kimia diatas, dapat dihitung produktivitas ozon. Contoh perhitungan pada tegangan listrik 190 V:

$$\begin{aligned} mmol\ 2Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O &= (V\ 2Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O\ hulu + hilir) \times M\ Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O \\ &= ((7,7 \times 8) + 0,65) \cdot 5,5 \cdot 10^{-3} \\ &= 0,3424\ mmol \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{mol Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} &= \text{mmol } 2\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \div 1000 \\ &= 3,424 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{mol O}_2 &= \frac{1}{2} \text{mol Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 0,5(3,424 \cdot 10^{-4}) \text{ mol} \\ &= 1,7119 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{WO}_3 &= \text{mol O}_3 \times \text{Mr O}_3 = 1,7119 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \times 48 \text{ g/mol} \\ &= 8,217 \cdot 10^{-3} \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Produktivitas Ozon} &= \frac{\text{WO}_3 \times 3600 \left(\frac{\text{s}}{\text{hr}}\right)}{t(\text{s})} \\ &= \frac{8,217 \cdot 10^{-3} \text{ g} \times 3600 \left(\frac{\text{s}}{\text{hr}}\right)}{81,02 \text{ (s)}} \\ &= 0,3651 \text{ g/hr} \end{aligned}$$

## 1.2 Preparasi Absorben Air Ciater

Air Ciater dengan volume 5 liter memiliki pH 2,6. Untuk mengatur derajat keasamaan (pH) Air Ciater, ditambahkan asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 18 M (96% v/v) hingga mencapai pH ±1,00. Penambahan asam sulfat yang cukup banyak ke dalam air ciater kemungkinan besar karena kehadiran *impurities* pada air Ciater dalam jumlah besar.

Salah pengotor adalah Aluminium yang memiliki sifat amfoter, yakni dapat bersifat basa dan asam pada berbagai kondisi. Sifat ini menyebabkan sulitnya menurunkan pH larutan tersebut sehingga membutuhkan asam sulfat dalam jumlah besar untuk melewati kesetimbangan amfoter tersebut.

Beberapa asumsi yang digunakan:

- Air Ciater terdiri dari beberapa kation dan anion dalam larutannya, seperti Aluminium, Kalsium, Sulfat, Klor, dan sebagainya.
- Molaritas atau pH air Ciater diperoleh dari observasi menggunakan pH meter, artinya pH meter sudah mendeteksi total mol asam dalam volume larutan.
- Reaksi yang terjadi adalah reaksi volumetrik, tidak terjadi penyusutan ataupun ekspansi volume akibat pengaruh *intermolecular forces*.
- Jika menggunakan pipet tetes yang baik, 1 ml = 20 tetes.



### 1.3 Preparasi Larutan Limbah Sintetik Amonium Sulfat

Larutan ammonium sulfat dibuat dengan melarutkan  $\pm 2$  gram  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  dalam 5 liter aquades. Larutan ini memiliki pH  $\pm 6$ , untuk mencapai pH 11 perlu ditambahkan larutan NaOH 10 M, sekitar 0,5 ml (10-11 tetes). Beberapa asumsi yang digunakan:

- Volume  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  tidak signifikan terhadap keseluruhan volume.
- Penentuan pH awal sebesar  $\pm 6$  menggunakan pH meter, pH meter dianggap telah mendeteksi seluruh ion  $\text{H}^+$  dalam larutan.
- NaOH yang digunakan adalah 100% murni.
- Reaksi yang berlangsung adalah reaksi volumetrik, tidak terjadi penyusutan ataupun ekspansi volume akibat pengaruh *intermolecular forces*.

### 1.4 Data Studi Perpindahan Massa

#### 1.4.1 Data Proses Hibrid Membran-Ozon Variasi Suhu 30°C

Data pengamatan dengan kontaktor serat polipropilen 22 serat

- Laju alir larutan amoniak = 5 L/menit
- pH awal larutan amoniak = 5,1
- pH akhir (penambahan NaOH) = 11,04
- pH air Ciater = 1,15
- Berat penimbangan ammonium sulfat = 4,1178 gram

Tabel 2. Data Pengamatan Proses Hibrid Membran-Ozon 30°C

No.	t (S)	$[\text{NH}_3]$ Alat	Fp	$[\text{NH}_3]$ Hasil
1.	0	11,1	10	111
2.	1800	6,8	10	68
3.	3600	4,7	10	47
4.	5400	3,9	10	39
5.	7200	1,2	10	12

#### 1.4.2 Data Proses Hibrid Membran-Ozon Variasi Suhu Umpan 40°C

- Laju alir larutan amoniak = 5 L/menit
- pH awal larutan amoniak = 6,09
- pH akhir (penambahan NaOH) = 11,06

- pH air Ciater = 1,5
- Berat penimbangan ammonium sulfat = 4,800 gram

**Tabel 3.** Data Pengamatan Proses Hibrid Membran-Ozon pada Suhu Umpan 40°C

No.	t (S)	[NH <sub>3</sub> ] Alat	Fp	[NH <sub>3</sub> ] Hasil
1.	0	12	10	120
2.	1800	5,7	10	57
3.	3600	4,3	10	43
4.	5400	2,3	10	23
5.	7200	1,1	10	11

#### 1.4.3 Data Proses Hibrid Membran-Ozon Variasi Suhu 50°C

- Laju alir larutan amoniak = 5 L/menit
- pH awal larutan amoniak = 6,03
- pH akhir (penambahan NaOH) = 11,06
- pH air Ciater = 1,5
- Berat penimbangan ammonium sulfat = 2,951 gram

**Tabel 4.** Data Pengamatan Proses Hibrid Membran-Ozon Suhu 50°C

No.	t (s)	[NH <sub>3</sub> ] Alat	Fp	[NH <sub>3</sub> ] Hasil
1.	0	11,5	10	115
2.	1800	5,3	10	53
3.	3600	3,4	10	34
4.	5400	2	10	20
5.	7200	0,4	10	4

#### 1.4.5 Data Proses Membran dengan Variasi Suhu Umpan 30°C

**Tabel 5.** Data Pengamatan Proses Membran pada Suhu Umpan 30°C

No.	t (s)	[NH <sub>3</sub> ] Alat	Fp	[NH <sub>3</sub> ] Hasil
1.	0	5,36	20	107.25
2.	1800	5,27	20	105.55
3.	3600	5,26	20	105.3
4.	5400	4,09	20	81.95
5.	7200	3,77	20	75.39

#### 1.4.6 Data Proses Membran dengan Variasi Suhu Umpan 40°C

**Tabel 6.** Data Pengamatan Proses Membran pada Suhu Umpan 40°C

No.	t (s)	[NH <sub>3</sub> ] Alat	Fp	[NH <sub>3</sub> ] Hasil
1.	0	5.57	20	111.38
2.	1800	3.14	20	62.98
3.	3600	3.07	20	61.53
4.	5400	2.32	20	46.45
5.	7200	1.90	20	38.18

#### 1.4.7 Data Proses Membran dengan Variasi Suhu 50°C

Tabel 7. Data Pengamatan Proses Membran pada Suhu Umpan 50°C

No.	t (s)	[NH <sub>3</sub> ] Alat	Fp	[NH <sub>3</sub> ] Hasil
1.	0	4.85	20	97.03
2.	1800	2.66	20	53.26
3.	3600	2.07	20	41.58
4.	5400	1.71	20	34.29
5.	7200	1.16	20	23.34



## LAMPIRAN 2 DATA PERHITUNGAN

### 2.1 Studi Perpindahan Massa

Pada studi perpindahan massa, dilakukan perhitungan seperti efisiensi, slope perubahan konsentrasi, koefisien perpindahan massa, dan fluks yang terjadi pada aliran limbah sintetik yang disirkulasi dengan variasi laju alir umpan.

#### 2.1.1 Perhitungan % Penyisihan (%R)

Efisiensi penyisihan amoniak dari limbah sintetik dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini:

$$\%R = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\%$$

dimana:

$C_0$  = Konsentrasi awal limbah

$C_t$  = Konsentrasi amoniak pada saat  $t$

Contoh perhitungan efisiensi pemisahan amoniak pada proses hibrid membran-ozonasi dengan kontaktor 22 serat di waktu 7200 s dengan laju alir 5 LPM pada suhu 50°C

$$\%R = \frac{115 - 4}{115} \times 100\%$$

$$\%R = 96\%$$

Berikut adalah tabel besar %R untuk masing-masing laju alir dengan serat kontaktor yang berbeda-beda,

**Tabel 1.** %R Pada Suhu 30°C

t (sekon)	[NH <sub>3</sub> ](ppm)	% R
0	111	0%
1800	68	39%
3600	47	58%
5400	39	65%
7200	12	89%

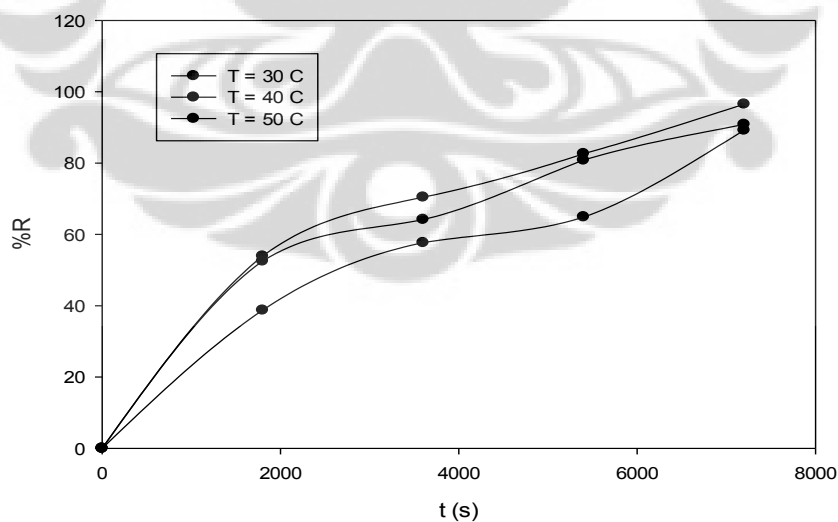
**Tabel 2.** %R Pada Suhu Umpan 40°C

t (sekon)	[NH <sub>3</sub> ]	% R
0	120	0%
1800	57	52%
3600	43	64%
5400	23	81%
7200	11	91%

**Tabel 3.** %R Pada Suhu Umpan 50°C

t (sekon)	[NH <sub>3</sub> ]	% R
0	115	0%
1800	53	53,9%
3600	34	70,43%
5400	20	82,6%
7200	4	96,52%

Dari ketiga tabel di atas maka dibuatlah plot antara persen penyisihan terhadap waktu untuk melihat peningkatan efisiensi seiring dengan meningkatnya suhu adalah sebagai mana berikut,



**Gambar 1.** Persen Penyisihan Amoniak (%R) Terhadap Waktu pada Proses Membran-Ozonasi

**Tabel 4.** %R Pada 30°C proses membran

t (sekon)	[NH <sub>3</sub> ]	% R
0	107.25	0%
1800	105.55	1,58%
3600	105.3	1,81%
5400	81.95	23,58%
7200	75.39	29,7%

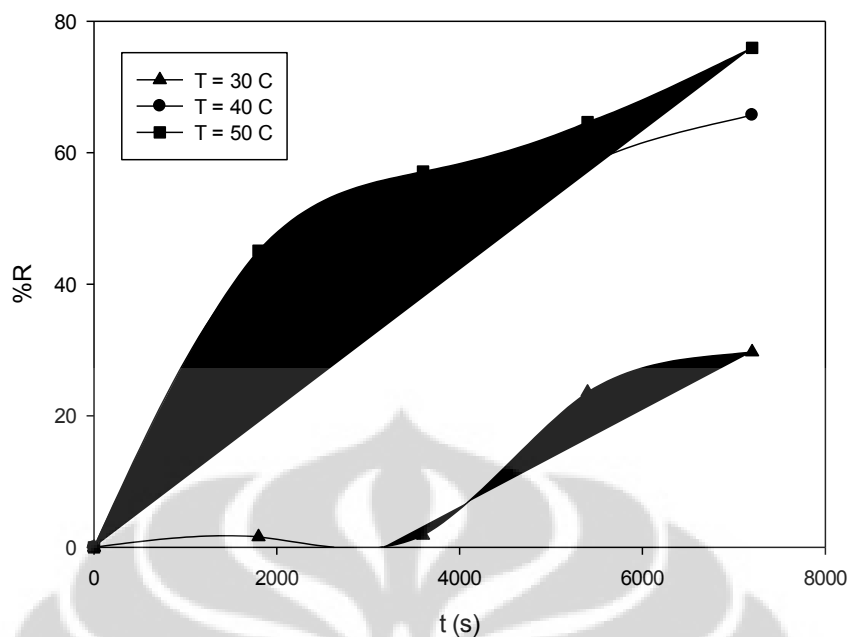
**Tabel 5.** %R Pada 40°C proses membran

t (sekon)	[NH <sub>3</sub> ]	% R
0	111.38	0%
1800	62.98	43,45%
3600	61.53	44,75%
5400	46.45	58,29%
7200	38.18	65,72%

**Tabel 6.** %R Pada Pada 50°C proses membran

t (sekon)	[NH <sub>3</sub> ]	% R
0	97.03	0%
1800	53.26	45,11%
3600	41.58	57,14%
5400	34.29	64,66%
7200	23.34	75,93%

Dari ketiga tabel di atas juga dibuatlah plot antara persen penyisihan terhadap waktu untuk melihat peningkatan efisiensi seiring dengan meningkatnya suhu umpan pada proses membran sebagai mana berikut,



**Gambar 2.** Persen Penyisihan Amoniak (%R) Terhadap Waktu pada proses membran

### 2.1.2 Perhitungan Slope Perubahan Konsentrasi Terhadap Waktu

Untuk menghitung koefisien perpindahan massa ( $k$ ), diperlukan *slope* dari perubahan konsentrasi amoniak terhadap waktu. *Slope* ini diperoleh dengan memplot grafik  $\ln C_0/C_t$  terhadap waktu. Berikut adalah tabel data hasil perhitungan  $\ln C_0/C_t$ , serta grafik hubungan  $\ln C_0/C_t$  vs  $t$ .

**Tabel 7.** Perhitungan Slope pada suhu 30°C pada proses membran-ozonasi

t (sekon)	[NH <sub>3</sub> ]	$\ln C_0/C_t$
0	111	0,0000
1800	68	0,49
3600	47	0,8593
5400	39	1,0459
7200	12	2,2246

**Tabel 8.** Perhitungan Slope pada suhu 40°C pada proses membran-ozonasi

t (sekon)	[NH <sub>3</sub> ]	$\ln C_0/C_t$
0	120	0,0000
1800	57	0,7444
3600	43	1,0262

5400	23	1,6519
7200	11	2,3895

**Tabel 9.** Perhitungan Slope pada suhu 50°C pada proses membran-ozonasi

t (sekon)	[NH <sub>3</sub> ]	ln C <sub>0</sub> /C <sub>t</sub>
0	115	0,0000
1800	53	0,7746
3600	34	1,2185
5400	20	1,7492
7200	4	3,3586

**Tabel 10.** Perhitungan Slope pada suhu 30°C pada proses membran-ozonasi

t (sekon)	[NH <sub>3</sub> ]	ln C <sub>0</sub> /C <sub>t</sub>
0	107	0,0000
1800	105,5	0,016
3600	105,3	0,0183
5400	82	0,2689
7200	75	0,3524

**Tabel 11.** Perhitungan Slope pada suhu 40°C pada proses membran-ozonasi

t (sekon)	[NH <sub>3</sub> ]	ln C <sub>0</sub> /C <sub>t</sub>
0	111	0,0000
1800	63	0,5700
3600	61	0,5934
5400	46	0,8745
7200	38	1,0706

**Tabel 12.** Perhitungan Slope pada suhu 50°C pada proses membran-ozonasi

t (sekon)	[NH <sub>3</sub> ]	ln C <sub>0</sub> /C <sub>t</sub>
0	97	0,0000
1800	53	0,5998
3600	41	0,8472
5400	34	1,0402
7200	23	1,4246

### 2.1.3. Perhitungan Koefisien Perpindahan Massa



Koefisien perpindahan massa sendiri dapat diperoleh dari mengalikan slope grafik konsentrasi amoniak terhadap waktu dengan volume limbah umpan, kemudian dibagi dengan luas permukaan membran seperti pada persamaan di bawah ini :

$$K = \frac{V}{At} \ln \frac{C_0}{C_t}$$

Dimana,

$V$  = Volume umpan ( $\text{cm}^3$ )

$A_{\text{flow}}$  = luas permukaan membran ( $\text{cm}^2$ )

$$A_m = \pi n_f l_f d_f$$

$n_f$  = jumlah membran (22)

$l_f$  = panjang membran (47 cm)

$d_f$  = diameter membran (0,2 cm) 0.00023872

Sehingga,

$$A_m = \pi (22)(47 \text{ cm})(0,2 \text{ cm}) = 649,35 \text{ cm}^2$$

Contoh perhitungan koefisien massa pada proses hibrid membran-ozonasi, pada laju alir 5 LPM jumlah serat 22 pada suhu  $30^\circ\text{C}$  pada  $t = 7200 \text{ s}$

$$K = \frac{5000 \text{ cm}^3}{649,35 \text{ cm}^2 \times 7200 \text{ s}} \times 2,2246 = 0,002 \text{ cm/s}$$

Maka dari hasil perhitungan ketiga data slope akan didapatkan tabel nilai koefisien perpindahan massa sebagaimana berikut ini :

Suhu	K rata-rata Membran-Ozon	K rata-rata Membran
30	2,1463e-3	2,3872e-4
40	2,8300e-3	1,6775e-3
50	3,3017e-3	2,0309e-3

**Tabel 14.** Data perhitungan nilai k untuk tiap waktu pada proses membran pada suhu 30°C

T	K	K rata-rata
0	#DIV/0!	<b>2.39E-04</b>
1800	7.53E-05	
3600	4.31E-05	
5400	4.22E-04	
7200	4.15E-04	

**Tabel 15.** Data perhitungan nilai k untuk tiap waktu pada proses membran pada suhu 40°C

T	K	K rata-rata
0	#DIV/0!	<b>1,68E-03</b>
1800	0.0026	
3600	0.0013	
5400	0.0013	
7200	0.0012	

**Tabel 16.** Data perhitungan nilai k untuk tiap waktu pada proses membran- pada suhu 50°C

T	K	K rata-rata
0	#DIV/0!	<b>2,03E-03</b>
1800	0.0028	
3600	0.0019	
5400	0.0016	
7200	0.0016	

**Tabel 17.** Data perhitungan nilai k untuk tiap waktu pada proses membran- ozonasi pada suhu 30°C

T	K	K rata-rata
0	#DIV/0!	<b>0,0021</b>
1800	0.0023	
3600	0.0020	
5400	0.0016	
7200	0.0026	

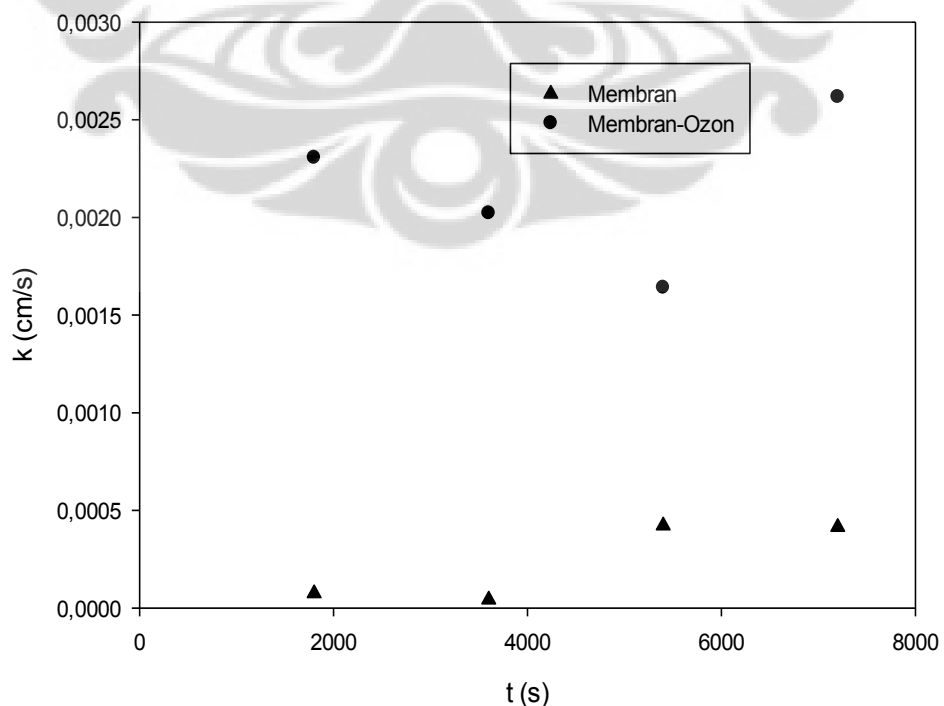
**Tabel 18.** Data perhitungan nilai k untuk tiap waktu pada proses membran- ozonasi pada suhu 40°C

T	K	K rata-rata
0	#DIV/0!	<b>0,0028</b>
1800	0.0035	
3600	0.0024	
5400	0.0025	
7200	0.0028	

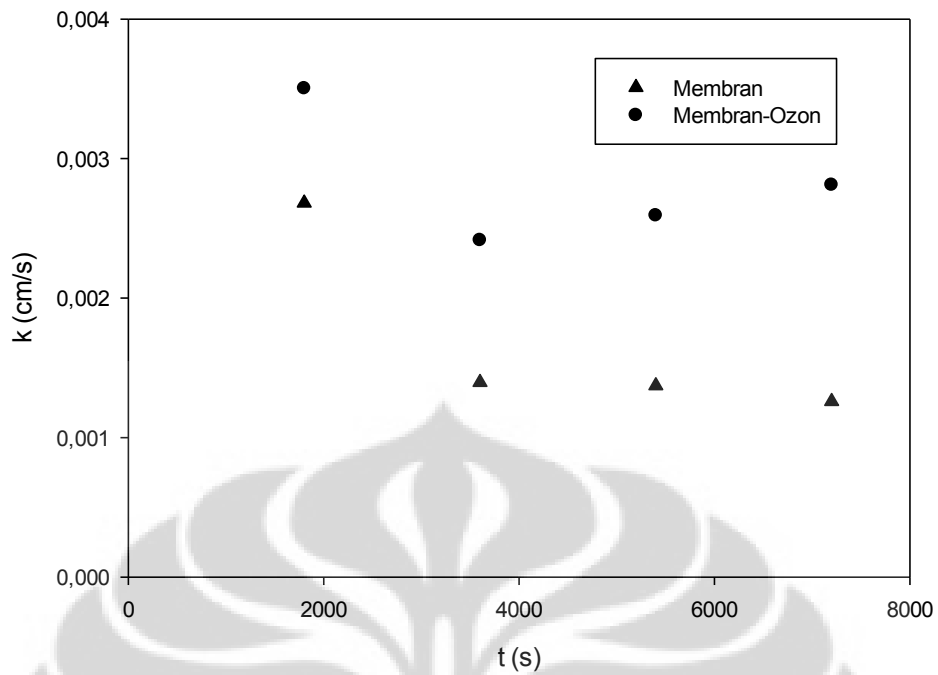
**Tabel 19.** Data perhitungan nilai k untuk tiap waktu pada proses membran- ozonasi pada suhu 50°C

T	K	K rata-rata
0	#DIV/0!	<b>0,0033</b>
1800	0.0036	
3600	0.0028	
5400	0.0027	
7200	0.0039	

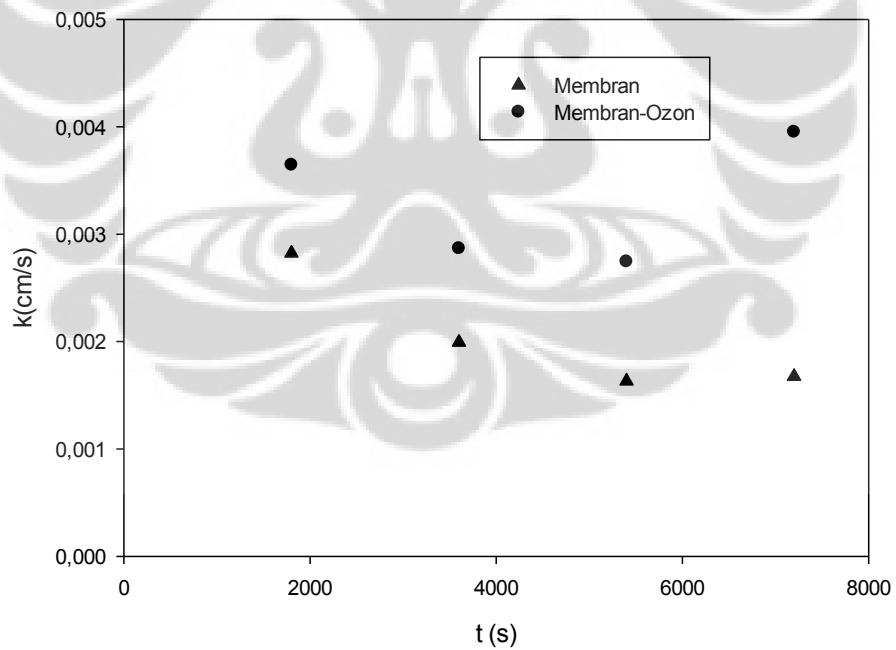
Dan dari data di atas didapatkan plot kurva koefisien perpindahan massa terhadap waktu sebagai berikut :



**Gambar 3.** Grafik K vs t pada suhu umpan 30°C



**Gambar 4.** Grafik nilai K vs t pada Suhu Umpan 40°C



**Gambar 5.** Grafik nilai K vs t pada Suhu Umpan 50°C

**Tabel 14.** Koefisien Perpindahan Massa Rata-Rata Pada Suhu Umpan Tertentu

Suhu	Membran-Ozonasi	Membran
30	2,15E-3	2,39E-4

40	2,83E-3	1,68E-3
50	3,3E-3	2,03E-3

### 2.1.3 Perhitungan Fluks Perpindahan Massa

Fluks amoniak dapat didefinisikan sebagai banyaknya jumlah amoniak yang berpindah per satuan luas membran per satuan waktu. Pada penelitian ini, dibahas tentang pengaruh perbedaan laju alir limbah sintesis terhadap fluks yang dihasilkan pada luas penampang yang semakin membesar.

Berikut adalah hasil perhitungan terhadap fluks amoniak,

$$fluks = \frac{(c_0 - c_t)V_{umpan}}{A_m t}$$

Dimana,

$C_0$  = konsentrasi amoniak awal ( $mg/cm^3$ )

$C_t$  = konsentrasi amoniak akhir saat  $t_{7200}$  ( $mg/cm^3$ )

$V_{umpan}$  = Volume umpan limbah sintesis ( $cm^3$ )

$t$  = lama sirkulasi (7200 detik)

$A_m$  = luas penampang membran ( 295, 16  $cm^2$  untuk 10 serat dan 649, 352  $cm^2$  untuk 22 serat )

Contoh perhitungan fluks pada proses hibrid membran-ozonasi pada suhu  $30^\circ C$  pada  $t = 7200$  s,

$$fluks = \frac{(111 - 12) (5000 cm^3)}{(649,35 cm^2) (7200 s)} = 1,47 \times 10^{-3}$$

Maka dari perhitungan seperti di atas dapat diperoleh data fluks sebagai berikut :

**Tabel 15.** Nilai Fluks Terhadap Waktu Pada Suhu Tertentu pada proses membran

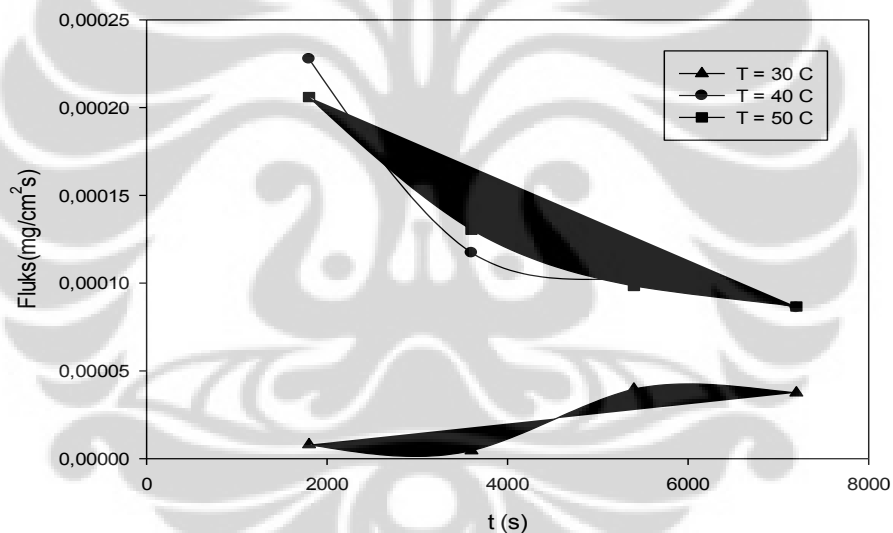
t (s)	Fluks pada proses membran		
	$30^\circ C$	$40^\circ C$	$50^\circ C$
0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
1800	8.01E-06	2.28E-04	2.06E-04

3600	4.58E-06	1.17E-04	1.30E-04
5400	3.97E-05	1.02E-04	9.84E-05
7200	3.75E-05	8.61E-05	8.67E-05

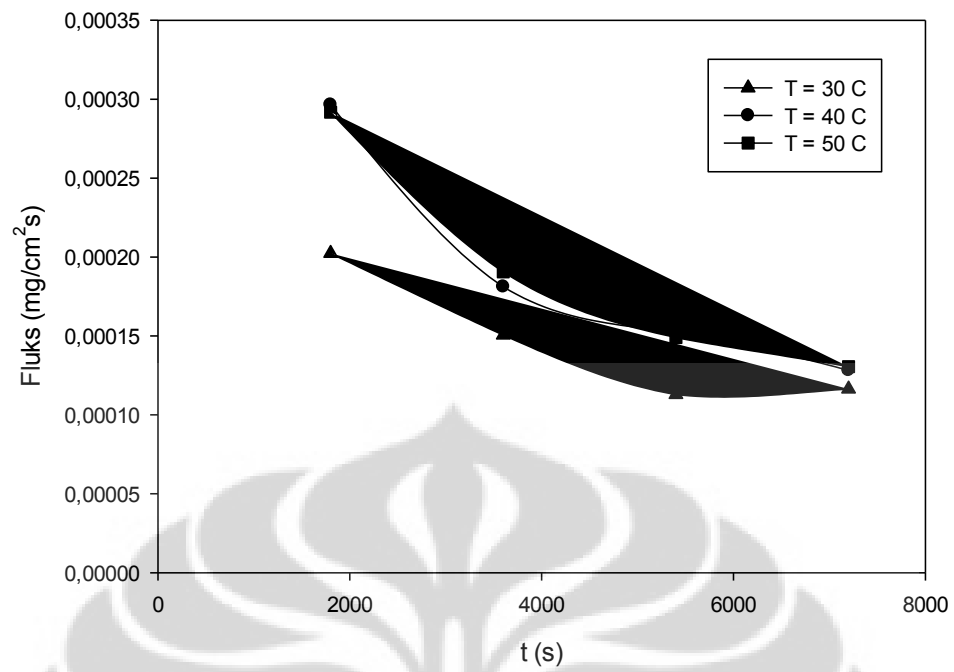
**Tabel 16.** Perhitungan Nilai Fluks Terhadap Waktu Pada Tertentu pada proses membran-ozonasi

t (s)	Fluks pada Kombinasi Proses		
	30°C	40°C	50°C
0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
1800	2.02E-04	2.96E-04	2.92E-04
3600	1.51E-04	1.81E-04	1.91E-04
5400	1.13E-04	1.52E-04	1.49E-04
7200	1.16E-04	1.28E-04	1.31E-04

Dan dari tabel data di atas dapat diperoleh grafik antara fluks dengan waktu seiring kenaikan laju alir limbah sintetik sebagai berikut :



**Gambar 6.** Fluks Perpindahan Massa di Setiap Suhu Umpan Pada Proses Membran



**Gambar 7.** Fluks Perpindahan Massa di Setiap Suhu Umpan Pada Proses Membran-Ozonasi







