



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PEMISAHAN AMONIA TERLARUT DI DALAM AIR  
MELALUI KONTAKTOR MEMBRAN KERAMIK DENGAN  
MENGUNAKAN LARUTAN ABSORBEN ASAM SULFAT**

**SKRIPSI**

**NYI MAS ASRI M.  
0706200434**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
DESEMBER 2009**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**HALAMAN JUDUL**

**PEMISAHAN AMONIA TERLARUT DI DALAM AIR MELALUI  
KONTAKTOR MEMBRAN KERAMIK DENGAN MENGGUNAKAN  
LARUTAN ABSORBEN ASAM SULFAT**

**SKRIPSI**

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

**NYI MAS ASRI  
0706200434**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
DESEMBER 2009**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : Nyi Mas Asri M.**  
**NPM : 0706200434**  
**Tanda Tangan :**  
**Tanggal : 30 Desember 2009**

## HALAMAN PENGESAHAN


Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Nyi Mas Asri M.  
NPM : 0706200434  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul Skripsi : Pemisahan Amonia Terlarut di dalam Air melalui  
Kontaktor Membran Keramik dengan Menggunakan  
Larutan Absorben Asam Sulfat

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Sutrasno Kartohardjono, M.Sc, Ph.D (  )

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

Penguji : Ir. Eva F. Karamah, MT (  )

Ditetapkan di: Depok

Tanggal : 30 Desember 2009

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah swt. atas segala karuniaNya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi dengan judul **”PEMISAHAN AMONIA TERLARUT DI DALAM AIR MELALUI KONTAKTOR MEMBRAN KERAMIK DENGAN MENGGUNAKAN LARUTAN ABSORBEN ASAM SULFAT”** ini untuk memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Kimia pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Pada kesempatan ini, penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada:

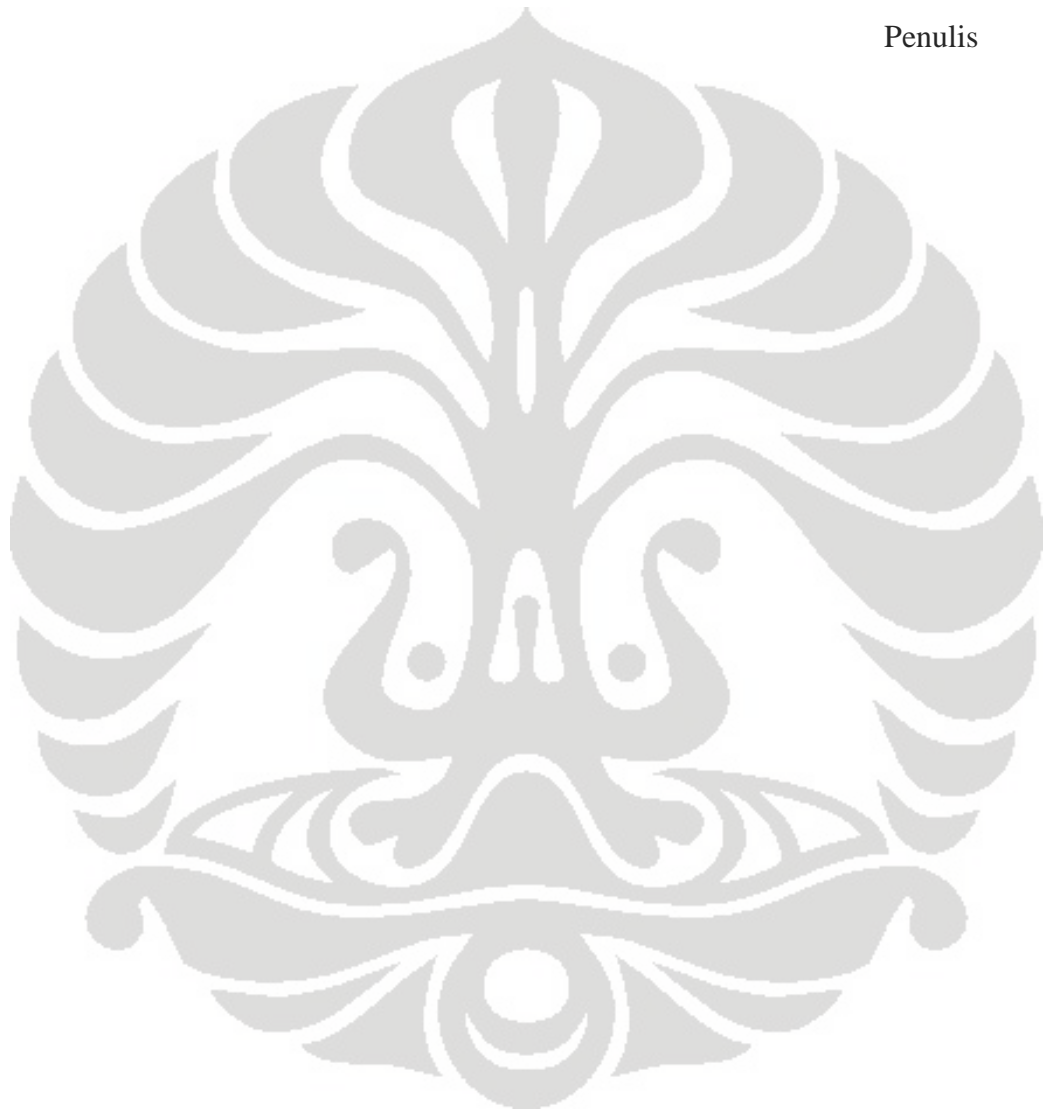
1. Bapak Ir. Sutrasno Kartohardjono, M.Sc, Ph.D selaku pembimbing skripsi yang telah memberikan waktu, tenaga, dukungan serta bimbingan untuk penulis selama penelitian & penulisan skripsi.
2. Bapak Dr. Ir. Widodo W. Purwanto, DEA selaku Ketua Departemen Teknik Kimia FTUI.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Anondho Wijanarko, M.Eng selaku pembimbing akademis.
4. Para dosen pengajar untuk seluruh ilmu yang telah diberikan, semoga senantiasa menjadi amal kebaikan.
5. Seluruh karyawan Departemen Teknik Kimia FTUI, khususnya yang berada di lantai 2, atas sikap ramah & bantuannya kepada penulis.
6. Orang tua yang senantiasa memberikan dukungan, motivasi serta doa kepada penulis dalam menempuh studi sarjana ini.
7. Kakanda Nyi Mas Endah dan Mas Krisna atas dukungan dan doanya.
8. Teman-teman Ekstensi 2007, khususnya Mutia Amida, Sri Retno P. & Eni Febriana yang senantiasa menjadi tempat berbagi untuk penulis.
9. Semua pihak yang telah membantu, baik langsung maupun tidak langsung atas dukungan dan bantuan yang telah diberikan.

Penulis menyadari masih terdapat kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu saran & kritik sangat penulis harapkan untuk perbaikan penulisan di

masa mendatang. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Jakarta, 30 Desember 2009

Penulis



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

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

Nama : Nyi Mas Asri M.

Program Studi : Teknik Kimia

Departemen : Teknik Kimia

NPM : 0706200434

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:

**Pemisahan Amonia Terlarut di dalam Air melalui Kontaktor Membran Keramik dengan Menggunakan Larutan Absorben Asam Sulfat**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 30 Desember 2009

Yang menyatakan

Nyi Mas Asri M.

## ABSTRACT

Name : Nyi Mas Asri M.  
Study Program: Teknik Kimia  
Title : Removal of Dissolved Ammonia Through Ceramic Membrane  
Contactor by using Sulfuric Acid Absorbent

The objective of this study is to find the effectiveness of dissolved ammonia removal through ceramic membrane contactor. The experiment was carried out by holding the circulation ammonia feed solution, contacting it with sulfuric acid absorbent solution and applying the variations of feed's flow rate. The effectiveness must be evaluated by mass transfer and hydrodynamic aspects. Results of this experiment show that the mass transfer coefficient increases by the increasing of feed's flow rate. In hydrodynamic aspect, the increasing of feed's flow rate can cause pressure drop increases in ceramic membrane contactor. The efficiency is about 32,68%.

**Keywords:**

Ceramic membrane contactor, mass transfer, hydrodynamic



## ABSTRAK

Nama : Nyi Mas Asri M.  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul : Pemisahan Amonia Terlarut di dalam Air melalui Kontaktor Membran Keramik dengan Menggunakan Larutan Absorben Asam Sulfat

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas proses pemisahan amonia terlarut di dalam air melalui kontaktor membran keramik. Eksperimen dilakukan dengan cara mensirkulasikan larutan umpan amonia dan mengkontakkannya dengan larutan absorben asam sulfat di dalam kontaktor membran, kemudian laju alir umpan divariasikan. Efektivitas pemisahan ini dievaluasi dengan studi perpindahan massa dan hidrodinamika. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa nilai koefisien perpindahan massa meningkat seiring dengan meningkatnya laju alir umpan. Sedangkan untuk studi hidrodinamika, peningkatan laju alir umpan akan meningkatkan penurunan tekanan di dalam kontaktor membran keramik. Efisiensi yang didapatkan mencapai 32,68%.

Kata kunci:

Kontaktor membran keramik, perpindahan massa, hidrodinamika

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	vi
ABSTRACT.....	vii
ABSTRAK.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
DAFTAR SIMBOL .....	xiv
<b>1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	3
1.3. Tujuan Penelitian .....	3
1.4. Batasan Masalah .....	3
1.5. Sistematika Penulisan .....	4
<b>2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1. Amonia.....	5
2.1.1. Bahaya Amonia .....	6
2.1.2. Baku Mutu Lingkungan Air Limbah bagi Kegiatan Industri.....	9
2.1.3. Analisis Nitrogen.....	10
2.2. Teori Membran .....	11
2.2.1. Klasifikasi Membran.....	12
2.2.2. Perpindahan Massa pada Membran .....	14
2.2.3. Modul membran.....	17
2.2.4. Operasi Membran.....	20
2.2.5. Membran keramik.....	21
2.2.6. Studi Perpindahan Massa Amonia terlarut dari air .....	24
2.2.7. Studi Hidrodinamika Air pada Kontaktor Membran Keramik.....	25
<b>3. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>26</b>

3.1. Pendahuluan .....	26
3.2. Metode Penelitian .....	26
3.3. Skema Rangkaian Alat.....	28
3.4. Prosedur Penelitian .....	30
3.5. Kondisi Operasi .....	30
3.6. Pengolahan Data dan Analisis Hasil .....	31
3.7. Persamaan-persamaan untuk Pengolahan Data.....	32
<b>4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>36</b>
4.1. Pendahuluan .....	36
4.2. Studi Perpindahan Massa.....	36
4.2.1. Perbandingan Laju Alir Umpan .....	37
4.2.2. Korelasi Perpindahan Massa.....	39
4.3 Studi Hidrodinamika .....	40
<b>5. KESIMPULAN .....</b>	<b>44</b>
DAFTAR REFERENSI .....	46
LAMPIRAN.....	48

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Mekanisme perpindahan massa pada membran.....	11
Gambar 2.2	Skema Modul Membran.....	17
Gambar 2.3	Modul <i>Spiral Wound</i> .....	18
Gambar 2.4	Modul Tubular .....	19
Gambar 2.5	Modul Kapiler .....	19
Gambar 2.6	Modul Hollow Fiber untuk Osmosis Tekanan Tinggi .....	20
Gambar 2.7	Penampung Membran Keramik .....	24
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian .....	27
Gambar 3.2	Skema Rangkaian Alat.....	28
Gambar 4.1	Pengaruh kov pada Variasi Laju Alir Amonia.....	37
Gambar 4.2	Variasi Efisiensi Proses Pemisahan Amonia.....	38
Gambar 4.3	Hubungan Fluks dengan Kecepatan Aliran.....	39
Gambar 4.4	Hubungan Bilangan Sherwood & Reynolds .....	40
Gambar 4.5	Hubungan Penurunan Tekanan dengan Q.....	41
Gambar 4.6	Hubungan Penurunan Tekanan dengan Bilangan Reynolds .....	41
Gambar 4.7	Hubungan Rasio Friksi dengan Bilangan Reynolds .....	42

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Konten Amonia-Nitrogen dari Influen dan Efluen Menara Aerasi ....	9
Tabel 2.2	Baku Mutu Limbah Cair bagi Kegiatan Industri .....	10
Tabel 3.1	Tabel Pengamatan Uji Perpindahan Massa .....	32
Tabel 3.2	Tabel Pengamatan Uji hidrodinamika .....	32



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Hasil Penelitian .....	48
Lampiran 2. Contoh Perhitungan .....	51
Lampiran 3. Hasil Perhitungan .....	55



## DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Dimensi
A	Luas membran keramik	[cm <sup>2</sup> ]
$C_0$	Konsentrasi awal amonia terlarut dalam air	[mgL <sup>-1</sup> ]
$C_1$	Konsentrasi amonia terlarut dalam air setelah t menit	[mgL <sup>-1</sup> ]
$C_L$	Konsentrasi cairan	[mgL <sup>-1</sup> ]
$C^*$	Konsentrasi gas amonia pada serat	[mgL <sup>-1</sup> ]
$d_e$	Diameter ekuivalen	[cm]
$d_f$	Diameter serat	[cm]
$d_p, d_s$	Diameter selongsong kontaktor	[cm]
$D$	Koefisien difusivitas	[cm <sup>2</sup> det <sup>-1</sup> ]
$f$	Faktor friksi	-
$Hk_G$	Resistansi lapisan gas	-
$Hk_m$	Resistansi membran	-
$k_{ov}$	Koefisien perpindahan massa total	[cmdet <sup>-1</sup> ]
$k_L$	Koefisien perpindahan massa di fasa cair	[cmdet <sup>-1</sup> ]
$L$	Panjang serat	[cm]
$N, J$	Fluks	mgcm <sup>-2</sup> det <sup>-1</sup>
$n_F$	Jumlah serat ( <i>fiber</i> )	-

$Q$	Laju alir umpan	$\text{cm}^3\text{s}^{-1}$
$R$	efisiensi	%
$Re$	Bilangan Reynolds	-
$Sc$	Bilangan Schmidt	-
$Sh$	Bilangan Sherwood	-
$t$	Waktu	[det]
$V$	Volume	$\text{cm}^3$
$v_L$	Kecepatan cairan	$[\text{cmdet}^{-1}]$
$\nu$	Viskositas kinematik fasa cair	$[\text{cm}^2\text{det}^{-1}]$
$\Delta P$	Penurunan tekanan	[Psi]



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri yang semakin pesat dengan adanya produk yang beragam menyebabkan perekonomian meningkat. Selain produk, industri juga menghasilkan limbah yang penanganannya harus dilakukan secara efektif sehingga tidak berdampak buruk bagi lingkungan. Salah satu limbah yang penting untuk ditangani, yakni amonia. Amonia adalah suatu gas yang tidak berwarna, dan menimbulkan bau yang sangat kuat. Amonia yang teremisi ke atmosfer maupun keluar dari aliran pembuangan limbah, merupakan salah satu polutan berbahaya dan mampu menimbulkan kerusakan lingkungan yang serius (El Bourawi et al., 2007).

Dalam udara, amonia dapat bertahan kurang lebih satu minggu. Gas ammonia terpajan melalui pernapasan dan dapat mengakibatkan iritasi yang kuat terhadap sistem pernapasan. Terpajan gas amonia pada tingkatan tertentu dapat menyebabkan gangguan pada fungsi paru-paru dan sensitivitas indera penciuman. Amonia merupakan zat berbahaya di dalam air buangan dan pengolahan biomassa. Amonia terlarut dapat menurunkan kandungan oksigen melalui proses nitrifikasi, selain juga berbahaya bagi organisme perairan (Mandowara, 2008).

Amonia sering dihilangkan dengan menggunakan teknologi konvensional seperti *packed tower aeration*, *biological treatment* atau adsorpsi ion amonium hingga zeolite (Zonglie Xie et al., 2008). Pemisahan amonia *air-stripping* mengedepankan volatilitas amonia bebas (Semmens, 1990). Metode konvensional dengan *lime treatment* dan aerasi atau *stripping* masih dirasakan mahal dan kurang efisien (El Bourawi et al., 2007). Terdapat beberapa masalah yang sering timbul pada proses konvensional tersebut seperti *flooding*, *unloading*, *chanelling*, *foaming* (Kartohardjono, 2008). Sedangkan pemisahan amonia secara biologi memerlukan tempat yang luas, waktu tinggal yang lama, kontrol operasi yang ketat serta waktu rekoveri yang dibutuhkan untuk regenerasi bakteri (El Bourawi et al., 2007).

Amonia terlarut dapat dihilangkan secara efektif di dalam sebuah kontaktor membran yang mampu menyediakan luas permukaan yang besar sehingga dapat memfasilitasi pemisahan amonia secara cepat dari air buangan (Mandowara, 2008).

Pada kontaktor membran, fluida yang dikontakkan mengalir pada sisi membran yang berlawanan dan permukaan kontak fluida-fluida terbentuk pada pori setiap membran sehingga tidak ada ketergantungan dan dispersi antara dua fluida yang dikontakkan. Dengan demikian, kontaktor membran mampu mengatasi permasalahan yang terjadi pada kontaktor konvensional.

Namun, kontaktor membran juga memiliki kelemahan yaitu adanya resistansi membran, terjadi *fouling* (polarisasi konsentrasi), umur membran yang relatif pendek serta terbatasnya jumlah tahapan kesetimbangan terhadap perubahan tekanan.

Teknologi membran untuk memisahkan amonia terlarut dari air dirasakan tepat sebagai alternatif yang mampu mengatasi masalah yang timbul pada pemisahan konvensional. Prinsipnya cukup sederhana, amonia yang terlarut dalam air, yang berkonsentrasi tinggi pada bagian selongsong (*shell side*), berdifusi ke permukaan dinding luar membran, kemudian berdifusi melewati pori-pori membran dan masuk ke dalam membran (*lumen side*). Setelah itu permeat tersebut diabsorpsi oleh larutan absorben. Gaya penggerak (*driving force*) yang terjadi yaitu perbedaan/gradien konsentrasi antara dua larutan. Perpindahan massa ini dipengaruhi beberapa hal seperti jenis membran, bentuk modul, sifat fluida dan karakteristik aliran fluida dalam modul.

Salah satu bentuk kontaktor membran yang akan digunakan adalah kontaktor membran keramik yang merupakan modul serat berongga. Membran keramik merupakan salah satu jenis membran inorganik (membran yang khusus memiliki lapisan metal oksida) yang secara luas telah diterapkan pada proses ultrafiltrasi dan mikrofiltrasi dan secara komersial umumnya memiliki pori yang kasar antara 5-20  $\mu\text{m}$  dengan ketebalan  $\pm 2$  mm. Membran keramik memiliki stabilitas yang relatif tinggi dan kekerasan yang tinggi dengan daya tahan terhadap perubahan-perubahan kimia yang besar. Aplikasi dari peralatan ini adalah untuk pengolahan air buangan industri.

Selain menggunakan larutan absorben, pemisahan amonia juga dapat dilakukan dengan beberapa metode, diantaranya menggunakan vakum dan *sweep gas*.

Diperlukan penelitian berkelanjutan sebagai bentuk evaluasi untuk mengetahui tingkat keberhasilan dari pemisahan amonia yang diharapkan sehingga pada akhirnya dapat memberikan hasil yang memadai mengenai teknologi membran khususnya bagi industri yang menghasilkan limbah amonia.

### 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimanakah efektivitas dari kontaktor membran keramik dalam pemisahan ammonia terlarut di dalam air menggunakan larutan asam sulfat?
2. Bagaimanakah pengaruh variasi laju alir umpan terhadap efektivitas kontaktor membran keramik?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini yaitu mengetahui efektivitas kontaktor membran keramik dan mengevaluasi pengaruh variasi laju alir umpan terhadap efektivitas membran keramik dalam pemisahan amonia terlarut di dalam air melalui uji perpindahan massa dan hidrodinamika.

### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Modul membran yang digunakan merupakan kontaktor membran serat berongga berbahan keramik.
2. Variabel proses yang divariasikan dibatasi pada laju alir umpan yang disirkulasikan selama proses pemisahan
3. Variabel tetap pada penelitian ini adalah luas permukaan membran keramik, konsentrasi umpan, konsentrasi absorben, panjang modul, diameter selongsong modul.

### 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan makalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### BAB I PENDAHULUAN

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

#### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Menjelaskan teori-teori pendukung tentang membran meliputi amonia, pengolahan amonia metode konvensional, definisi kontaktor membran keramik, aplikasi kontaktor membran keramik, proses pemisahan amonia terlarut dari air serta studi perpindahan massa dan hidrodinamika.

#### BAB III METODELOGI PENELITIAN

Menampilkan tahapan penelitian yang akan dilakukan, diagram alir prosedur penelitian, skema rangkaian alat, tahapan operasi, dan pengolahan data penelitian.

#### BAB IV KESIMPULAN

Menyimpulkan keseluruhan isi makalah yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Amonia

Amonia dibentuk dari unsur-unsur hidrogen dan nitrogen, pada temperatur kamar adalah gas yang berbau khas, tidak berwarna, dan bersifat racun (Culp, 1978). Menurut Peraturan Pemerintah No. 18 tahun 1999, amonia termasuk ke dalam limbah B3 yang berasal dari sumber spesifik.

Amonia  $\text{NH}_3$ , merupakan senyawa nitrogen yang menjadi  $\text{NH}_4^+$  pada pH rendah dan disebut amonium; amonia sendiri berada pada keadaan tereduksi.

Amonia dalam air permukaan berasal dari proses oksidasi zat organik secara mikrobiologis dari air alam dan air buangan industri dan penduduk. Kadar amonia pada air buangan kira-kira 30 mg/L (Santika, 1984).

Kandungan  $\text{NH}_3$  dalam air tanah hanya sedikit karena  $\text{NH}_3$  dapat menempel pada butir-butir tanah liat selama infiltrasi air ke dalam tanah dan sulit terlepas dari butir-butir tanah liat tersebut. Kadar amonia yang tinggi pada air sungai selalu menunjukkan adanya pencemaran (Culp, 1978).

Di dalam air buangan, amonia berada dalam dua bentuk yakni sebagai amonia volatil dan ion amonium. Pemisahan amonia yang dilakukan dimaksudkan untuk menghilangkan komponen amonia volatil. (El Bourawi et al., 2007). Penghilangan amonia di dalam larutan dapat tergantung dari dua faktor yakni temperatur dan pH larutan. Namun jika hanya menaikkan temperatur, tidak semua amonia dapat dipisahkan karena sejumlah amonia berdisosiasi membentuk ion amonium yang tidak stabil di dalam larutan dengan reaksi sebagai berikut:



Pada temperatur  $25^\circ\text{C}$ , konstanta ekuilibrium reaksi mengarah ke pembentukan  $\text{NH}_4^+$  sebesar  $K_1 = 1,8 \times 10^{-5}$  sedangkan ke arah pembentukan amonia sebesar  $K_2 = 5,6 \times 10^{-10}$ . Dapat dilihat bahwa ekuilibrium reaksi  $3,2 \times 10^4$  kali lebih besar ke arah kanan. Sehingga penambahan pH pada larutan perlu dilakukan untuk memperbanyak keberadaan amonia di dalam larutan dan menghasilkan efisiensi pemisahan amonia yang lebih baik (El Bourawi et al., 2007).

### 2.1.1 Bahaya Amonia

Pembuangan atau kontrol terhadap air buangan yang mengandung amonia merupakan suatu cara untuk memproteksi dan melindungi lingkungan yang sangat signifikan. Beberapa masalah lingkungan yang timbul antara lain:

- Senyawa nitrogen merupakan nutrient dan dapat menghambat pertumbuhan alga
- $\text{NH}_3$  bersifat racun terhadap ikan dan kehidupan perairan lainnya
- $\text{NH}_3$  dan nitrogen di dalam efluen dapat menyebabkan DO pada air penerima
- $\text{NH}_3$  bersifat korosif terhadap logam tertentu
- $\text{NH}_3$  mempunyai efek detrimetal pada suplai air pendisinfeksi
- $\text{NH}_3$  dapat membahayakan kesehatan

Banyaknya akibat yang dapat ditimbulkan akibat pencemaran amonia, maka menjadi tantangan tersendiri bagi peneliti dan insiyur untuk mengembangkan proses pembuangan yang baik dan tidak mahal. Terdapat empat proses yang dapat diaplikasikan pada proses pembuangan nitrogen skala pabrik:

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

Proses yang akan lebih dibahas lebih lanjut adalah *ammonia stripping* (Culp, 1978).

#### 2.1.1.1 *Ammonia Stripping*

Dari beberapa metode yang ada untuk proses pembuangan nitrogen dari air buangan, *ammonia stripping* merupakan metode yang paling sederhana dan mudah untuk dikontrol. Bagaimanapun, terdapat dua batasan yang harus diperhatikan oleh disainer dalam *ammonia stripping* yaitu:

- (1) proses tidak dapat beroperasi pada temperatur udara ambient di bawah  $32^\circ\text{F}$ .
- (2) Skala deposisi kalsium karbonat dari air menuju *stripping tower* yang dapat menyebabkan efisiensi menurun dari sirkulasi pengurangan air dan pembentukan droplet terkadang menyebabkan penyumbatan pada *tower*.

### 2.1.1.2 Proses *Ammonia Stripping*

Biasanya lebih dari 90 persen nitrogen dari air buangan rumah tangga berbentuk amonia atau campuran dari amonia yang telah terbentuk. Jika kondisi lingkungan disediakan dalam proses *secondary treatment*, amonia akan dikonversi menjadi nitrat.

Bagaimana pun proses nitrifikasi dapat dieliminasi dengan memelihara muatan organik yang relatif tinggi dalam proses kedua. Cara ini termurah dan termudah untuk mempertahankan nitrogen dalam bentuk amonia daripada mengkonversinya menjadi nitrat. Jadi pembuangan nitrogen dalam bentuk amonia menawarkan beberapa keuntungan ekonomi dan operasional melebihi pembuangan nitrat-nitrogen.

Baik ion amonium ( $\text{NH}_4^+$ ) atau gas amonia terlarut ( $\text{NH}_3$ ) atau keduanya kemungkinan ada terdapat dalam air buangan. Pada pH 7, hanya terdapat ion amonium dalam larutan sempurna. Pada pH 12, hanya terdapat gas amonia terlarut dan gas ini dapat dibebaskan dari air buangan di bawah kondisi yang seharusnya. Persamaan yang terjadi pada saat ekuilibrium



Saat pH naik di atas 7, reaksi bergeser ke arah kanan.

Dua faktor utama yang mempengaruhi laju transfer gas amonia dari air ke udara:

1. Tegangan permukaan pada antarmuka udara-air
2. Perbedaan konsentrasi amonia di dalam air dan di dalam udara. Tegangan permukaan minimum dalam droplet air ketika permukaan film terbentuk dan amonia sangat baik dilepaskan pada saat ini.

Sekali terjadi sedikit penambahan transfer gas sudah terbentuk satu droplet air. Oleh karena itu, pembentukan droplet yang berulang dan penggabungan air membantu proses *ammonia stripping*.

Untuk meminimalkan konsentrasi amonia di dalam udara ambient, cepatnya sirkulasi udara sangat bermanfaat. Agitasi udara pada droplet juga dapat mempercepat pelepasan amonia.

Maka proses *ammonia stripping* terdiri dari:

1. Peningkatkan pH air hingga berada pada rentang 10,8 – 11,5

2. Pembentukan dan pembentukan kembali droplet-droplet air pada menara stripping
3. Penyediaan kontak udara dan agitasi droplet dengan sirkulasi sejumlah besar udara melalui tower/menara.

Sebelum membicarakan pertimbangan disain, efek lingkungan dari proses *stripping* perlu dievaluasi. Hal ini karena proses dengan jelas melepaskan amonia ke atmosfer yang nantinya dapat menimbulkan masalah polusi udara.

#### 2.1.1.3 Pertimbangan Lingkungan

Terdapat tiga potensi dampak lingkungan yang harus dievaluasi jika menggunakan proses *ammonia stripping* yaitu: polusi udara, pembersihan amonia dari udara, dan bising. Jika masalah-masalah tersebut tidak dapat teratasi, maka keuntungan proses yang sederhana dan biaya rendah hanyalah teori.

Pada saat aliran udara 500 ft<sup>3</sup>/gal dan konsentrasi amonia 23 mg/L pada tower influent, konsentrasi amonia pada *stripping tower* melepas sekitar 6 mg/m<sup>3</sup>. Selama ambang kebauan amonia adalah 35 mg/m<sup>3</sup>, proses tidak diperkenankan menimbulkan masalah dalam hal ini. Konsentrasi sebesar 280-490 mg/m<sup>3</sup> dapat menyebabkan iritasi mata, hidung dan tenggorokan. Konsentrasi sebesar 700 berdampak merugikan terhadap tanaman. Konsentrasi 1700-4500 mg/m<sup>3</sup> harus dihindari sebelum manusia dan hewan mengalami keracunan. Amonia yang dilepaskan ke atmosfer merupakan zat yang stabil dan tidak teroksidasi menjadi nitrogen oksida di atmosfer. Amonia dapat bereaksi dengan sulfur dioksida dan air membentuk aerosol amonium sulfat. Bagaimanapun, untuk batas pertimbangan, *tower stripping* harus ditempatkan berdekatan dengan sumber sulfur dioksida.

Produksi dan pelepasan amonia sebagai bagian dari siklus alami nitrogen sekitar 50 x 10<sup>9</sup> ton per tahun. Secara kasar, 99,9 persen konsentrasi amonia di atmosfer diproduksi dari proses biologi secara alami, terutama pemecahan asam amino oleh bakteri. Walaupun sumber relatif kurang



signifikan, pembakaran batu bara dan minyak memproduksi sejumlah kadar amonia. Level dasar amonia di atmosfer yang telah diamati bervariasi dari  $0,001 \text{ mg/m}^3$  sampai  $0,02 \text{ mg/m}^3$  dengan nilai khas  $0,006 \text{ mg/m}^3$ . Teknologi difusi yang ada dapat digunakan untuk memperkirakan konsentrasi amonia di segala penjuru angin di sekitar *tower stripping* (Cooper, 1981).

Efisiensi dari pemisahan amonia dengan menara aerasi dapat dipelajari pada beberapa variasi nilai pH. Pemisahan amonia optimum terjadi pada saat nilai pH berada di atas 9 pada waktu aerasi 0,5 menit atau sekitar  $750 \text{ ft}^3/\text{gal}$ . Ringkasan konten amonia-nitrogen pada efluen dan influen dalam berbagai variasi pH ditunjukkan pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1.** Konten Amonia-Nitrogen dari Influen dan Efluen Menara Aerasi

Menara Influen			Menara Efluen			
pH	Temp (°C)	NH <sub>3</sub> -N (mg/L)	pH	Temp (°C)	NH <sub>3</sub> -N (mg/L)	Persen Pemisahan NH <sub>3</sub> -N
8,0	22	28,8	8,0	16	18,2	37
8,6	21	26,6	8,1	17	15,8	41
9,3	23	26,2	8,6	18	5,3	80
9,7	21	30,0	9,1	16	2,1	93
10,8	22	25,5	10,1	17	0,6	98

Sumber: *Handbook of Advanced Wastewater Treatment*, second edition.

### 2.1.2 Baku Mutu Lingkungan Air Limbah bagi Kegiatan Industri

Amonia banyak ditemukan pada industri pembuatan pupuk maupun amonia. Untuk melindungi lingkungan dari pencemaran, Kementerian Negara Lingkungan Hidup mengeluarkan peraturan baku mutu lingkungan untuk limbah cair bagi kegiatan industri yang terdapat pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2.** Baku Mutu Limbah Cair bagi Kegiatan Industri

PARAMETER	PUPUK UREA	PUPUK NITROGEN LAIN	AMONIAK
	BEBAN PENCEMARAN MAKSIMUM (kg/ton)	BEBAN PENCEMARAN MAKSIMUM (kg/ton)	BEBAN PENCEMARAN MAKSIMUM (kg/ton)
COD	3.0	3.0	0.30
TSS	1.5	3.0	0.15
Minyak dan lemak	0.3	0.30	0.03
NH <sub>3</sub> -N	0.75	1.50	0.30
TKN	1.5	2.25	-
pH	6.0 – 10	6.0 – 10	6.0 – 10
Debit air limbah maksimum	15 m <sup>3</sup> per ton produk	15 m <sup>3</sup> per ton produk	15 m <sup>3</sup> per ton produk

Sumber: Kementerian Negara Lingkungan Hidup. KEP-122/MENLH/ 2004 tentang Perubahan atas Keputusan Meneg LH No. KEP-51/MENLH/10/1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair bagi Kegiatan Industri

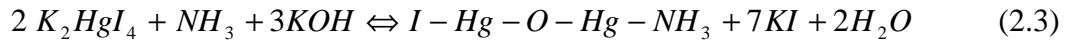
### 2.1.3 Analisis Nitrogen: Cara Nessler- Titrimetris

Nitrogen-amonia dapat ditentukan dengan atau tanpa didahului oleh suatu pengolahan pendahuluan (destilasi). Bila destilasi tidak dilakukan, maka amonia ditentukan langsung dengan analisis Nessler atau melalui titrasi. Destilasi tidak dilakukan bila sampel cukup jernih yang tidak melebihi batas kadar kekeruhan 10 Ntu dan batas kadar warna 5 mg Pt-Co/L (Santika, 1984).

Pada proses destilasi, hasil destilasi yang mengandung amonia ditampung oleh larutan absorben asam borat yang mengikat amonia tersebut.

Amonia kemudian ditentukan dengan metode Nessler atau melalui titrasi dengan standar asam sulfat dan indikator campuran. Pemilihan metode berdasarkan perkiraan kadar amonia dalam sampel. Bila pada sampel diperkirakan terkandung 1 sampai 25 mg NH<sub>3</sub>-N/L maka digunakan titrasi dengan standar asam sulfat.; bila kadar amonia 0,05 sampai 5,0 mg NH<sub>3</sub>-N/L dapat ditentukan dengan menggunakan metode Nessler; kadar NH<sub>3</sub>-N 5 mg/L dapat juga ditentukan dengan metode Nessler dengan pengenceran.

Metode Nessler terdiri dari analisis kimiawi dengan spektrofotometer. Reagen Nessler  $K_2HgI_4$  akan bereaksi dengan  $NH_3$  dalam larutan yang bersifat basa, sesuai reaksi:



(Koloid berwarna kuning coklat)

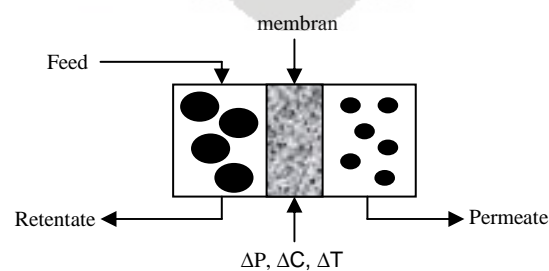
Reaksi menghasilkan larutan berwarna kuning coklat yang mengikuti hukum Beer-Lambert. Intensitas warna yang terjadi berbanding lurus dengan konsentrasi  $NH_3$  yang ada dalam sampel, yang kemudian ditentukan secara spektrofotometris (Santika, 1984). Panjang gelombang sekitar 400-500 nm.

Untuk penelitian yang akan dilakukan, akan menggunakan analisis dengan menggunakan alat pengukur amonia digital sehingga penurunan konsentrasi amonia dapat diketahui secara cepat.

## 2.2 Teori Membran

Selain proses pemisahan yang telah disebutkan di atas, pemisahan amonia dapat dilakukan dengan proses pemisahan menggunakan membran.

Membran adalah sebuah material yang berupa lapisan tipis yang dapat memisahkan dua fasa zat dan bertindak sebagai rintangan selektif dalam perpindahan zat saat suatu daya penggerak diberikan melewati membran tersebut. Daya penggerak bisa berupa perbedaan tekanan, temperatur, potensial listrik dan konsentrasi antara larutan pada bagian luar (Mulder, 1996). Pada kontaktor konvensional daya penggerak yang biasanya terjadi menggunakan perbedaan tekanan, sedangkan pada kontaktor membran cukup dengan perbedaan konsentrasi. Mekanisme perpindahan massa pada membran ditunjukkan pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Mekanisme perpindahan massa pada membran (Mulder, 1996)

Membran memiliki beberapa keuntungan antara lain:

- Pemisahan dapat dilakukan pada temperatur ruang tanpa adanya perubahan fasa, sehingga memberikan efisiensi energi yang lebih baik dibandingkan distilasi.
- Pemisahan dapat berlangsung tanpa adanya akumulasi produk di dalam membran. Membran dapat diterapkan pada aliran kontinu tanpa adanya siklus regenerasi seperti pada operasi pertukaran ion atau siklus elusi pada kromatografi.
- Pemisahan tidak memerlukan penambahan aditif kimia, seperti pada distilasi azeotrop atau pemurnian air dengan pengendapan.
- Luas permukaan kontak yang luas daripada kontaktor konvensional. Kontaktor membran biasanya memberikan luas 30 kali lebih besar daripada kolom absorber gas dan 500 kali dari luas permukaan pada kolom ekstraksi cair-cair.
- Tidak terjadi pembentukan busa (*foam*) karena tidak adanya dispersi antar fluida.
- Efisiensi lebih tinggi (dibandingkan dengan nilai koefisien perpindahan massa dari metode konvensional).

Namun, membran juga memiliki beberapa kekurangan antara lain:

- *Fouling* membran yaitu kotoran mengendap di permukaan membran yang dapat menurunkan selektivitas dan kinerja membran.
- Polarisasi konsentrasi yaitu penumpukan komponen-komponen yang memiliki konsentrasi tinggi pada permukaan membran.
- Rentang temperatur operasi yang tidak terlalu tinggi, karena dapat menyebabkan koyaknya membran khususnya bagi membran polimer.
- Membran yang terbuat dari polimer tidak tahan terhadap kondisi yang terlalu asam atau basa

### 2.2.1 Klasifikasi Membran

Membran dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu:

A. Berdasarkan bahan penyusun

- a. Membran biologi yaitu membran yang terbentuk secara alami. Membran ini umumnya mengandung lipid dan protein. Membran ini banyak digunakan untuk industri farmasi.
- b. Membran sintetik yaitu membran yang terbuat dari bahan organik (polimer) dan inorganik (keramik, gelas atau logam).

#### B. Berdasarkan struktur

- a. Membran simetrik

Membran simetrik merupakan membran yang memiliki struktur yang homogen. Ketebalan membran ini berkisar antara 10-200  $\mu\text{m}$ . Selektivitas membran tinggi namun laju permeabilitasnya rendah. Struktur membran ini terdiri dari film homogen, pori silinder dan struktur spons.

- b. Membran asimetrik

Struktur dari lapisan atas sampai lapisan bawah tidak sama. Membran ini tersusun dari lapisan film yang sangat tipis dengan ketebalan 0,1-1  $\mu\text{m}$  pada bagian atas dan pada bagian bawah memiliki ketebalan 100-200  $\mu\text{m}$ . Lapisan bagian atas berfungsi untuk meningkatkan selektivitas membran. Membran ini banyak digunakan untuk pemisahan gas, ultrafiltrasi dan osmosis balik.

- c. Membran komposit

Seperti membran asimetrik, membran ini tersusun atas lapisan film yang sangat tipis pada bagian atasnya tetapi film itu tidak berpori (*dense*).

#### C. Berdasarkan prinsip pemisahan

- a. Membran berpori

Pemisahan dilakukan berdasarkan perbedaan ukuran partikel. Selektivitas yang tinggi dapat diperoleh jika ukuran partikel zat terlarut lebih besar dari ukuran pori membran. Ukuran pori berdasarkan IUPAC terbagi menjadi tiga macam:

- Makropori, ukuran pori lebih besar dari 50 nm
- Mesopori, ukuran pori antara 2-50 nm

-Mikropori, ukuran pori lebih kecil dari 2 nm

Mikrofiltrasi, ultrafiltrasi dan nanofiltrasi termasuk ke dalam kategori ini.

b. Membran tak berpori perbedaan solubilitas dan difusivitas

Jenis membran ini mampu melakukan pemisahan dari kedua sisinya. Proses pemisahan dipengaruhi oleh perbedaan solubilitas dan difusivitas. Banyak digunakan untuk pemisahan gas. Osmosis balik termasuk dalam kategori ini.

c. Membran *carrier*

Perpindahan massa yang terjadi ditentukan oleh suatu molekul pembawa. Molekul pembawa ini diletakkan di bagian dalam pori dari membran pori. Permeabilitas suatu komponen sangat tergantung pada spesivitas molekul pembawa. Dengan adanya molekul pembawa akan diperoleh selektivitas yang sangat tinggi.

### 2.2.2 Perpindahan Massa pada Membran

Dasar teori perpindahan massa melalui suatu membran adalah difusi dan pelarutan. Mekanisme perpindahan massa melalui suatu membran berpori rapat adalah:

1. Penyerapan molekul permeat oleh membran pada sisi aliran berkonsentrasi tinggi, sedangkan molekul retentat akan tertahan oleh membran
2. Pelarutan molekul permeat ke dalam membran
3. Penyerapan molekul permeat dalam membran ke arah sisi membran berkonsentrasi rendah
4. Pelepasan molekul permeat dari larutannya pada sisi yang berkonsentrasi rendah
5. Desorpsi molekul permeat (Dhaneswara, 2007)

#### 2.2.2.1 Difusi

Difusi merupakan fenomena perpindahan zat akibat adanya pergerakan atom (Callister, 2003). Pada tahun 1815 Parrot mengamati secara kualitatif bahwa bilamana suatu campuran gas terdiri dari dua atau lebih spesies (jenis)

molekuler, yang konsentrasi relatifnya bervariasi dari satu titik ke titik lain, maka akan terjadi suatu proses yang tampaknya alamiah yang cenderung akan mengurangi adanya ketidaksamaan komposisi. Transfer massa makroskopis ini, yang tidak bergantung pada ada atau tidaknya konveksi di dalam sistem, didefinisikan sebagai difusi molekuler (Welty, 2004).

Berdasarkan teori kinetik gas, pada temperatur di atas nol absolut, molekul-molekul individu berada dalam keadaan yang kontinu tetapi acak. Tumbukan antara molekul zat terlarut dan zat pelarut terjadi terus menerus. Hal ini menyebabkan zat terlarut bergerak zig-zag ke arah daerah yang berkonsentrasi rendah atau tinggi. Dengan adanya perbedaan konsentrasi, akan terdapat lebih banyak zat terlarut di salah satu elemen volume dari pada di tempat lain, akibatnya akan terjadi transfer neto dari daerah dengan konsentrasi tinggi ke daerah dengan konsentrasi yang rendah (Welty, 2004).

#### 2.2.2.2 Absorpsi

Absorpsi adalah proses pemisahan atau pemindahan satu atau lebih komponen dari campuran gas ke dalam cairan yang sesuai. Proses pemisahan yang terjadi dikontrol oleh laju difusi dan kontak yang terjadi antara 2 fasa. Pada absorpsi, proses difusi yang terjadi dari fraksi komponen gas ke dalam cairan bersifat irreversibel, proses ini melibatkan difusi molekuler dan turbulen (Lintang, 2001).

Jika absorpsi dilakukan pada konsentrasi gas terlarut yang bervariasi dalam campuran total gas, maka akan menghasilkan suatu kurva kesetimbangan, sehingga apabila konsentrasi gas terlarut melebihi konsentrasi kesetimbangan gas terlarut-cairan, maka akan terjadi perpindahan molekul gas ke dalam cairan. Perpindahan ini menyebabkan konsentrasi gas terlarut dalam cairan akan naik sedangkan dalam total gas masuk akan turun sampai mencapai titik kesetimbangan. *Driving force* perpindahan ini adalah tingkat konsentrasi gas terlarut yang melebihi konsentrasinya dalam cairan pada setiap waktu.

Absorpsi dapat dilakukan pada cairan yang relatif berkonsentrasi rendah maupun konsentrat. Prinsip absorpsi yaitu memanfaatkan besarnya difusivitas molekul-molekul gas pada larutan tertentu. Dengan demikian bahan

yang memiliki koefisien partisi hukum Henry rendah sangat disukai dalam proses absorpsi. Selain itu absorpsi dapat ditingkatkan dengan memperluas area kontak.

Mekanisme absorpsi adalah mengontakkan gas dengan cairan yang mampu melarutkan gas tersebut dalam jangka waktu yang cukup lama pada suhu tetap. Pada kondisi di atas terjadi kesetimbangan dimana tidak terjadi lagi pelarutan. Bila konsentrasi gas terlarut yang kontak dengan cairan pelarut melebihi konsentrasi kesetimbangan gas terlarut-cairan, akan terjadi perpindahan molekul gas terlarut yang terabsorpsi ke dalam cairan. Maka konsentrasi gas terlarut dalam cairan akan naik sedangkan konsentrasi gas terlarut dalam total gas masuk turun hingga berada pada harga kesetimbangannya. (Lintang, 2001)

#### 2.2.2.3 Desorpsi

Desorpsi atau *stripping* adalah operasi pemisahan suatu zat terlarut atau lebih dari larutan cair dengan menggunakan pelarut gas melalui kontak gas-cair. Proses ini melibatkan difusi molekuler dan turbulensi pada pemisahan zat terlarut A dari cairan B menembus C. Peristiwa ini mengikuti prinsip kecenderungan kelarutan zat terlarut A di dalam pelarut C. Pada penelitian ini sebagai zat terlarut A adalah gas amonia, sebagai cairan B adalah air, dan sebagai pelarut C adalah absorben asam sulfat.

Peristiwa yang terjadi pada sistem perpindahan massa ini umumnya terdiri dari dua fasa yang tidak saling larut dan terdapat interfasa (*interphase*) atau antar muka antara kedua fasa. Zat terlarut A akan berdifusi dari fasa *bulk* cair ke fasa gas (permukaan dinding membran) kemudian diabsorpsi kembali oleh absorben ke fasa cair. Agar peristiwa perpindahan massa melalui tahanan pada setiap fasa dapat terjadi, maka harus ada gradien konsentrasi.

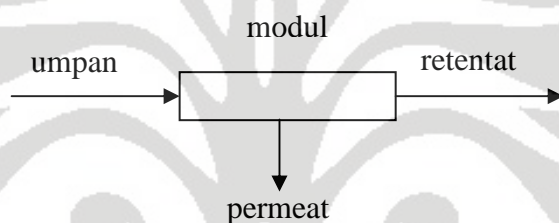
Menurut teori *two-film*, molekul berpindah di bagian *bulk* masing-masing fasa secara konveksi dan perbedaan konsentrasi antara keduanya diabaikan kecuali pada sekitar interfasa. Pada bagian lain dari interfasa, perpindahan molekul tersebut hilang dan terdapat lapisan tipis yang menyebabkan perpindahan molekul terjadi secara difusi molekuler. Lapisan tipis tersebut akan lebih tebal dari *sublayer laminer*, karena memiliki tahanan



yang sama dengan tahanan seluruh lapisan. Faktor penting yang mempengaruhi arah perpindahan massa tersebut adalah perbedaan konsentrasi dan kesetimbangannya, sehingga laju perpindahan molekul dikontrol oleh laju difusi melalui dua lapisan film (gas dan cairan), dimana hanya pada lapisan batas film tersebut yang memiliki tahanan.

### 2.2.3 Modul membran

Unit operasi tunggal dimana membran digunakan disebut modul. Saat umpan masuk ke dalam modul, umpan akan terpisah menjadi dua aliran yaitu permeat dan retentat. Aliran permeat adalah fraksi aliran umpan yang menembus membran. Sedangkan aliran retentat adalah fraksi yang tersisa dari aliran umpan. Skema modul membran ditunjukkan pada Gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Skema Modul Membran

Pemilihan konfigurasi modul dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa aspek seperti jenis separasi yang dilakukan, kemudahan untuk dibersihkan, biaya operasi serta kemudahan untuk dilakukan pergantian membran. Modul membran dibagi menjadi lembaran dan pipa. Modul lembaran terbagi menjadi modul *plate and frame* serta gulungan (*spiral wound*). Sedangkan untuk modul pipa dapat dibagi menjadi modul tubular, kapiler dan *hollow fiber* (Mulder, 1996).

#### A. Modul Lembaran

Modul lembaran terbagi atas (Mulder, 1996):

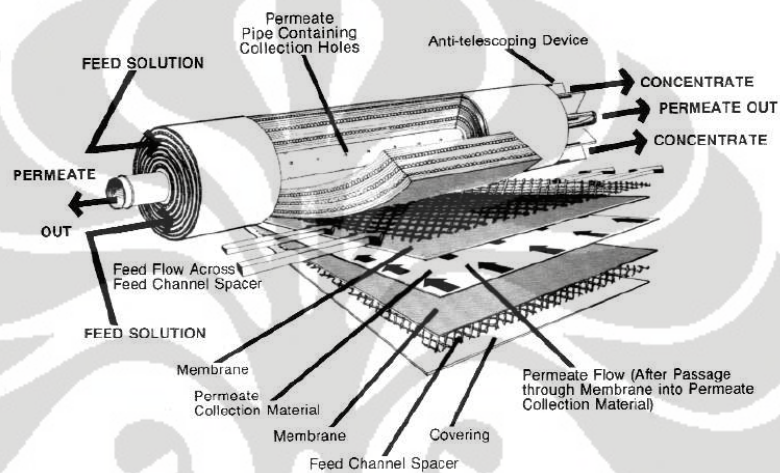
##### a. *Plate and frame*

Modul ini terdiri dari dua lembar membran disusun dan diberi pembatas yang juga berfungsi sebagai penyokong. Beberapa susunan lalu digabungkan dengan

ring penyekat dan diberi dua plat pada ujungnya untuk membentuk *modul plate and frame*.

b. *Spiral wound*

Modul ini terdiri dari lembaran dan pembatas yang digulung pada sebuah pipa. Elemen membran berbentuk silinder dan tersusun rapat pada rumah (*shell*) yang berbentuk silinder. Umpan mengalir secara paralel pada sumbu silinder, sedangkan permeat mengalir mengelilingi spiral menuju ke pipa keluaran permeat. Berikut gambar modul *spiral wound* pada Gambar 2.3.



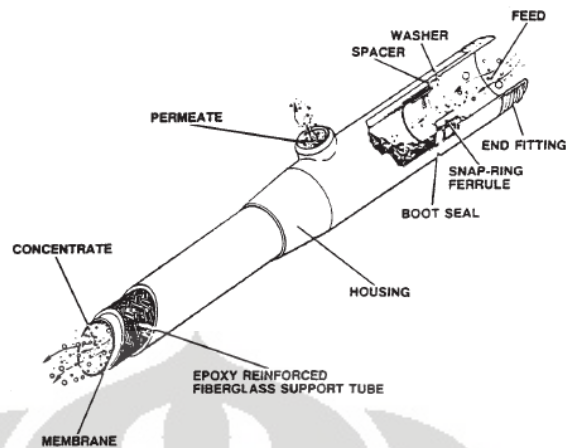
Gambar 2.3 Modul *Spiral Wound* (Perry's Chemical Engineerings' Handbook)

B. Modul Tubular

Modul tubular terbagi atas:

a. Modul tubular

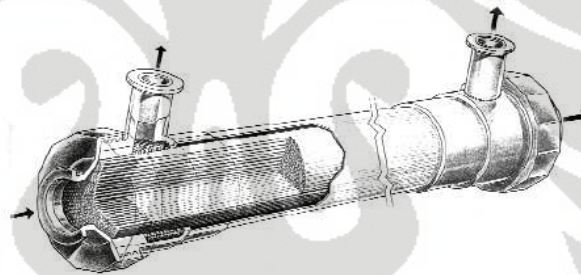
Modul ini tersusun dari membran yang terletak dalam suatu *tube*. Jumlah *tube* tiap modul berkisar antara 4-18 buah. *Tube* penyangga dapat dibuat dari keramik, baja tahan karta atau plastik yang berpori. Modul Tubular dapat ditunjukkan pada Gambar 2.4.



**Gambar 2.4** Modul Tubular

b. Modul kapiler

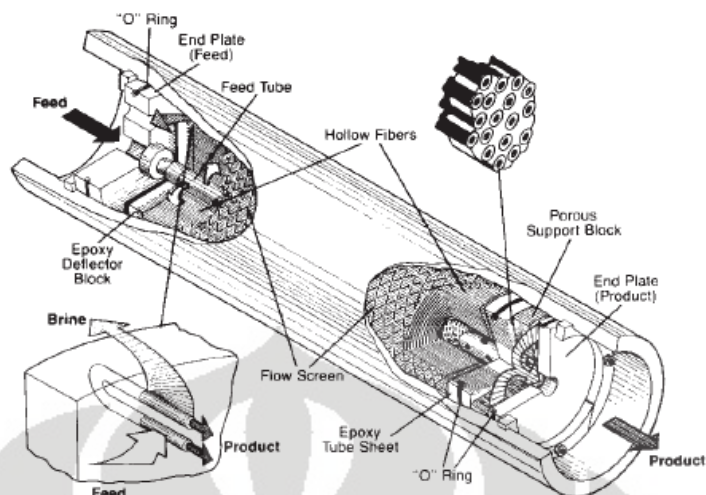
Terdiri dari sejumlah membran yang dipasang bersama dalam satu model dalam sebuah *tube* tanpa ada penyangga. Modul kapiler ditunjukkan pada Gambar 2.5.



**Gambar 2.5** Modul Kapiler

c. Modul hollow fiber

Merupakan modul yang berdiri sendiri, mempunyai dinding kapiler tipis dengan diameter 0,05-0,5 mm. Membran ini terpasang dalam *bundle* yang terdiri dari beberapa ribu serat dan diletakkan di dalam rumah (*shell*). Modul *hollow fiber* ditunjukkan pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.6** Modul Hollow Fiber untuk Osmosis Tekanan Tinggi

#### 2.2.4 Operasi Membran

Operasi pada membran dapat diklasifikasikan dari beberapa jenis material yang dipisahkan dan daya penggerak yang ada. Sebagai contoh, operasi membran yang berdasarkan perbedaan tekanan seperti mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi banyak digunakan dalam proses pengolahan air minum maupun pengolahan limbah industri.

##### a. Osmosis Balik

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

#### b. Nanofiltrasi

Nanofiltrasi atau osmosis balik bertekanan rendah (*membrane softening*) berada diantara osmosis balik dan ultrafiltrasi dalam hal selektivitas dari membran yang didesain untuk memisahkan ion multivalensi (kalsium dan magnesium) pada *softening operations*. Saat ini nanofiltrasi digunakan untuk mengontrol keberadaan zat-zat organik. Pada filtrasi jenis ini, ion monovalensi biasanya tidak akan ikut terfiltrasi sehingga tekanan osmosis akan lebih rendah dibandingkan osmosis balik. Hal ini mengakibatkan tekanan operasi untuk nanofiltrasi jauh lebih rendah dari osmosis balik.

#### c. Ultrafiltrasi

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

#### d. Mikrofiltrasi

Perbedaan utama antara mikrofiltrasi dengan ultrafiltrasi adalah ukuran pori. Mikrofiltrasi mempunyai ukuran pori lebih besar dari 0,1  $\mu\text{m}$ . Tujuan utama dari filtrasi ini adalah penjernihan atau pembersihan air. Tekanan operasi dapat disamakan dengan ultrafiltrasi.

### 2.2.5 Membran keramik

Membran keramik merupakan salah satu jenis membran inorganik (membran yang khusus memiliki lapisan metal oksida, secara luas telah diterapkan pada proses ultrafiltrasi dan mikrofiltrasi), yang secara komersial umumnya memiliki pori yang kasar yaitu 5-20  $\mu\text{m}$  dengan ketebalan relatif  $\pm 2$  mm (Dhaneswara, 2007).

Keramik merupakan perpaduan antara unsur logam dan non logam dalam ikatan kimia. Struktur keramik umumnya kristalin, namun ada juga yang keseluruhannya bersifat gelas, serta campuran dua atau lebih fasa gelas. Rongga pori juga merupakan dasar untuk kebanyakan jenis keramik.

Tidak seperti logam dan gelas yang dapat dibuat dari lelehan, keramik harus dibuat dari bubuk yang dipadatkan dengan proses kompaksi dan sintering. Keramik umumnya mempunyai sifat-sifat yaitu: fisik yang keras, titik lebur yang tinggi, konduktivitas yang rendah dan rapuh. Sifat-sifat ini ditentukan oleh jenis ikatan kimia dan struktur kristal dalam keramik.

Ada dua jenis ikatan kimia yang terdapat dalam keramik, yaitu ikatan ion dan kovalen. Ikatan ion terjadi akibat adanya transfer elektron dari atom elektropositif ke atom elektronegatif, dan menyebabkan keramik memiliki stabilitas yang relatif tinggi. Sesuai dengan sifat dasarnya, unsur logam dalam keramik dapat melepaskan elektron valensinya dan memberikannya kepada atom non logam yang mengikatnya. Setiap kation dikelilingi anion sehingga diperlukan energi yang relatif besar untuk memutuskan ikatan tersebut. Oleh karena itu, keramik memiliki kekerasan yang tinggi dengan daya mekanis dan daya tahan terhadap perubahan-perubahan kimia yang besar.

Dengan banyaknya ikatan kimia dalam keramik menyebabkan keramik tidak memiliki banyak elektron bebas seperti halnya pada logam, sehingga keramik umumnya merupakan isolator listrik dan panas.

Keunggulan membran keramik:

- Mempunyai stabilitas termal yang baik, sehingga dapat digunakan pada suhu tinggi
- Memiliki resistansi kimia yang baik
- Memiliki selektivitas yang tinggi untuk gas tertentu
- Dapat bersifat sebagai katalis untuk reaksi tertentu

Sedangkan kerugiannya antara lain:

- Laju permeasinya relatif rendah
- Proses sintesis relatif mahal

Bahan baku penyusun keramik antara lain:

#### 1. Zeolit

Zeolit didefinisikan sebagai alumina silika yang mempunyai struktur kerangka tiga dimensi. Terbentuk oleh tetrahedral alumina ( $\text{AlO}_4^{-5}$ ) dan silika ( $\text{SiO}_4^{-4}$ ) dengan rongga-rongga di dalam terisi ion-ion logam, biasanya alkali atau

alkali tanah dan molekul air yang dapat bergerak bebas. Zeolit memiliki sifat-sifat sebagai penyerap, penukar ion, katalis dan penyaring/pemisah. Zeolit telah diaplikasikan sebagai penyerap dan pemisah gas CO<sub>2</sub> dari gas alam atau menyerap gas yang tidak diinginkan pada industri batu bara seperti N<sub>2</sub> dan S. Selain itu zeolit juga digunakan sebagai pengolah air, baik air limbah industri, pertanian, maupun rumah tangga.

## 2. Clay

Umumnya mineral *clay* dibentuk dari dekomposisi batuan yang terdiri dari campuran mica, quartz, dan feldspar yang terbentuk oleh solidifikasi material cair dari kerak bumi. Ikatan antar lembaran (*sheets*) *clay* adalah Van der Waals yang menjelaskan kelunakan dari *clay*. Muatan berlebih pada salah satu *sheet* dibandingkan yang lain, menyediakan tempat yang ideal untuk absorpsi molekular polar air. Jadi *clay* memiliki karakteristik plastisitas jika dicampur dengan air.

Pengaruh *clay* pada *body* keramik:

- a. meningkatkan sifat plastisitas
- b. meningkatkan kekuatan tekan  $\pm 50-150 \text{ kg/mm}^2$
- c. memperkecil penyusutan pada saat sinter (maksimum 0,05%)

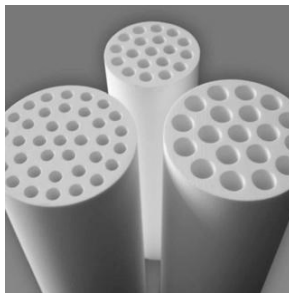
## 3. Talc

*Talc* merupakan mineral yang lunak, bisa dikeringkan dan terdiri dari partikel koloidal dengan rasa bersabun. Merupakan magnesium silikat yang terdehidrasi. *Talc* lunak seperti *clay* berkaitan dengan ikatan Van der Waals antar *sheets*, tetapi tidak menyerap air seperti halnya *clay*.

Pengaruh *talc* terhadap *body* keramik:

- a. mengontrol ekspansi termal/ketahanan terhadap perubahan temperatur
- b. memperkecil porositas keramik
- c. mengurangi pemuaiian karena adanya penguapan air
- d. meningkatkan kekuatan mekanis
- e. membuat *body* keramik tahan terhadap lingkungan asam (Callister, 2003).

Penampang membran keramik ditunjukkan pada Gambar 2.7.



**Gambar 2.7** Penampang Membran Keramik

### 2.2.6 Studi Perpindahan Massa Amonia terlarut dari air

Perpindahan amonia terlarut dari fasa cair-cair dikontrol oleh koefisien perpindahan massa dan gaya penggerak perpindahan massa. Untuk operasi tunak, fluks amonia yang melewati membran dapat ditulis sebagai Persamaan 2.4

$$N = k(C^* - C_L) \quad (2.4)$$

Dimana  $C^*$  adalah konsentrasi gas pada serat dan  $k$  adalah koefisien perpindahan massa keseluruhan, yang berhubungan dengan tahanan (resistansi) perpindahan individual (Persamaan 2.5).

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{Hk_G} + \frac{1}{Hk_m} = \frac{1}{k_L} \quad (2.5)$$

Kontribusi relatif resistansi lapisan gas ( $1/Hk_G$ ) dan resistansi membran ( $1/Hk_m$ ) pada Persamaan 2.5 menjadi kecil, sehingga dapat disederhanakan menjadi Persamaan 2.6.

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_L} \quad (2.6)$$

Koefisien perpindahan massa umumnya dianalisis menggunakan korelasi perpindahan massa. Untuk aliran di luar yang melewati membran keramik, korelasi perpindahan massa yang digunakan adalah Persamaan 2.7.

$$Sh = aRe^b Sc^{1/3} \quad (2.7)$$

Dimana  $Sh$ ,  $Re$ , dan  $Sc$  merupakan bilangan Sherwood, Reynolds dan Schmidt, sedangkan  $a$  dan  $b$  adalah konstanta empiris. Persamaan untuk ketiga bilangan tak berdimensi di atas dapat dilihat pada Persamaan 2.8, 2.9, 2.10.



$$Sh = \frac{k_L \cdot d_e}{D} \quad (2.8)$$

$$Re = \frac{v_L \cdot d_e}{\nu} \quad (2.9)$$

$$Sc = \frac{\nu}{D} \quad (2.10)$$

Dimana  $k_L$  adalah koefisien perpindahan massa fasa cair,  $d_e$  adalah diameter ekuivalen,  $D$  adalah difusivitas amonia pada fasa cair,  $v_L$  adalah kecepatan aliran dan  $\nu$  merupakan viskositas kinematik fasa cair.

### 2.2.7 Studi Hidrodinamika Air pada Kontaktor Membran Keramik

Studi ini mempelajari hubungan antara bilangan Reynolds dengan faktor friksi ( $f$ ) atau dengan *pressure drop* ( $\Delta P$ ). Perpindahan momentum dijelaskan menggunakan faktor friksi ( $f$ ) yang memiliki definisi yang berbeda untuk koefisien perpindahan massa. Persamaan yang digunakan:

$$F = A_w \cdot (0,5 \cdot \rho \cdot v^2) \cdot f \quad (2.11)$$

dimana  $F$  merupakan gaya friksi,  $A_w$  adalah luas permukaan yang terbasahi,  $\rho$  adalah densitas fluida dan  $f$  adalah faktor friksi yang dapat dihitung dengan Persamaan 2.12.

$$f = \frac{de \cdot \Delta P}{2 \cdot L_f \cdot \rho \cdot v^2} \quad (2.12)$$

dengan  $\Delta P$  adalah *pressure drop* untuk aliran cairan melalui membran dan  $de$  adalah diameter ekuivalen yang dapat dihitung dengan Persamaan 2.13.

$$de = \frac{dp^2 - N \cdot df^2}{dp + N \cdot df} \quad (2.13)$$

Dimana  $dp$  adalah diameter selongsong membran,  $N$  adalah jumlah *channel* dan  $df$  adalah diameter dalam *fiber*.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Pendahuluan

Pada penelitian ini proses perpindahan massa amonia terlarut dalam air dilakukan menggunakan kontaktor membran keramik yang berfungsi sebagai media kontak antara fasa cair-cair. Penelitian ini akan dilakukan di Laboratorium Intensifikasi Proses Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

### 3.2 Metode Penelitian

Penelitian yang dilakukan dibagi menjadi lima bagian besar, yaitu studi literatur, uji perpindahan massa dan hidrodinamika, pengolahan data dan analisis hasil. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1. Pada penelitian ini diawali dengan mencari literatur yang berasal dari *texbook* dan jurnal penelitian mengenai bahaya amonia, proses pemisahan amonia konvensional, proses separasi cair-cair melalui kontaktor membran keramik, prinsip kerja membran keramik dan aplikasinya di industri. Selain itu dicari pula literatur tentang persamaan-persamaan yang akan digunakan untuk uji perpindahan massa dan uji hidrodinamika di dalam kontaktor. Kontaktor membran keramik beserta peralatan lainnya kemudian dirangkai menjadi suatu sistem tertutup.

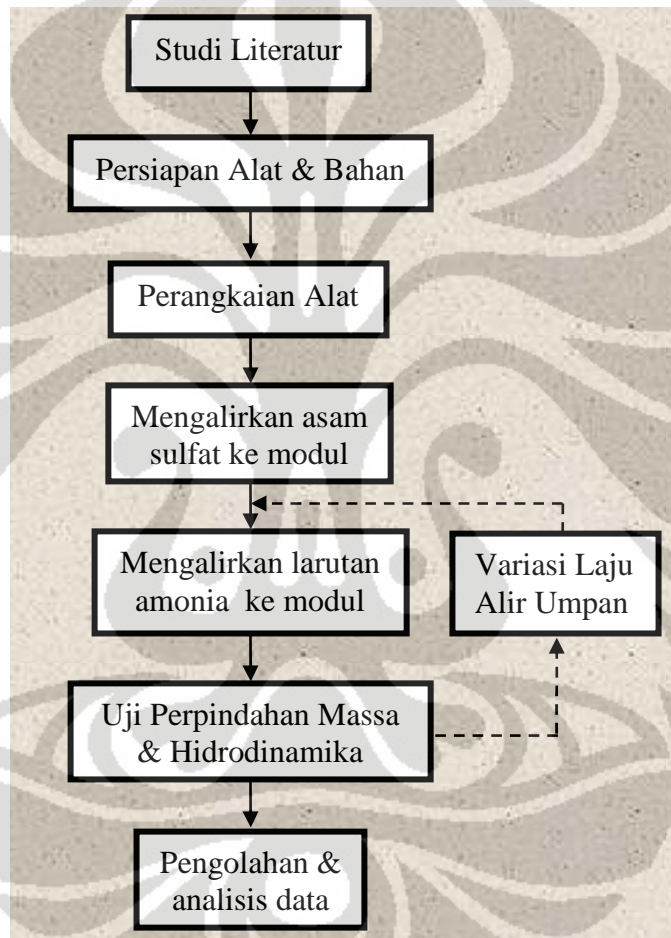
Tahap selanjutnya yaitu menyiapkan berbagai alat dan bahan yang diperlukan seperti kontaktor membran, flowmeter, larutan amonia sintetik, larutan absorben dan lain-lain. Untuk preparasi larutan amonia sintetik dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. menimbang 5,8236 g padatan amonium sulfat
2. memasukkan amonium sulfat ke dalam labu ukur 1000 mL
3. melarutkan amonium sulfat dengan menggunakan akuades hingga batas tera, kemudian dihomogenkan
4. mengencerkan larutan ke dalam wadah 5 L

Sedangkan langkah-langkah pembuatan larutan absorben antara lain:

1. memipet asam sulfat sebanyak 16,5 mL
2. melarutkan asam sulfat hingga 3 L, kemudian dihomogenkan

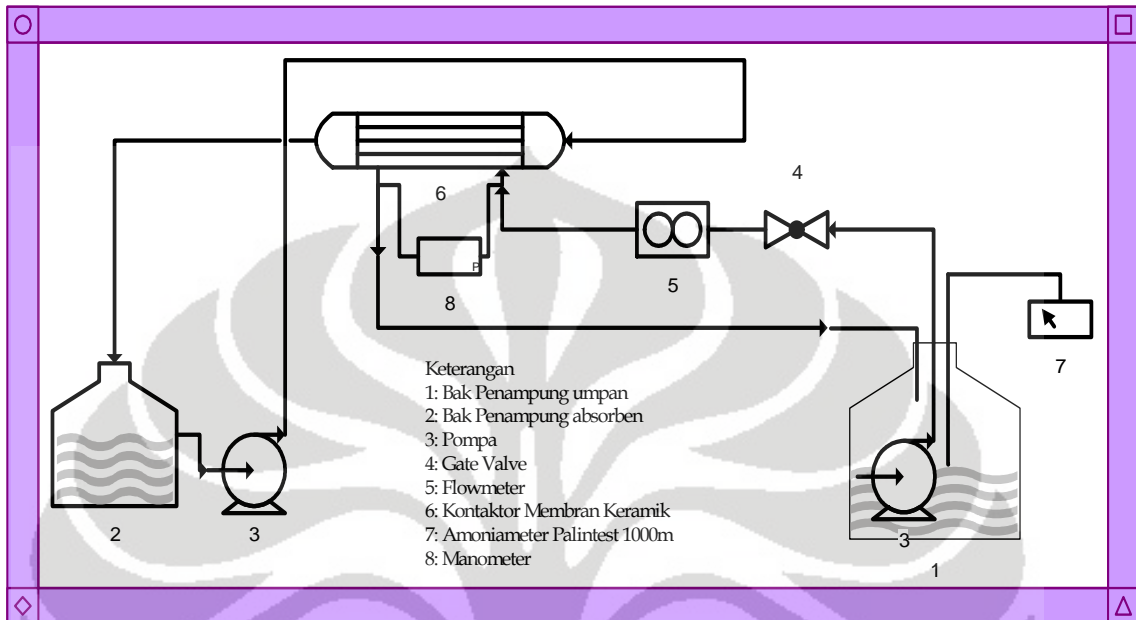
Kemudian kedua larutan dikontakkan dengan variasi laju alir umpan yang diinginkan. Hasil data yang diperoleh kemudian diolah dengan persamaan yang telah ditentukan dan dianalisis berdasarkan uji perpindahan massa dan hidrodinamika.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### 3.3 Skema Rangkaian Alat

Skema rangkaian alat yang digunakan yakni siklus tertutup yang melewati kontaktor membran dapat dilihat pada Gambar 3.2 di bawah ini.



Gambar 3.2 Skema Rangkaian Alat

Sebelum kedua larutan dialirkan, larutan umpan dinaikkan pHnya dengan kisaran 10-11. Hal ini dimaksudkan agar lebih banyak terbentuk  $\text{NH}_3$  di dalam larutan. Pencatatan pH awal dan akhir tidak luput dilakukan menggunakan pHmeter. Kemudian konsentrasi awal larutan umpan diukur menggunakan amoniometer. Setelah itu, larutan absorben dialirkan ke dalam kontaktor selama 1 menit hingga *steady*, lalu larutan amonia memasuki kontaktor dengan pengaturan laju alir menggunakan flowmeter melalui *gate valve*. Untuk uji hidrodinamika, larutan amonia akan dilewatkan melalui bagian selongsong (*shell side*) sedangkan aliran cairan absorben asam sulfat melalui bagian dalam serat (*lumen side*) dari kontaktor yang digunakan. Perpindahan massa terjadi karena perbedaan konsentrasi pada saat larutan yang mengandung amonia terlarut memasuki kontaktor membran. Tahap selanjutnya yaitu mengambil data konsentrasi amonia masing-masing laju alir umpan setiap 30 menit. Data yang diperlukan antara lain konsentrasi amonia awal, konsentrasi amonia setelah  $t$  menit, serta temperatur.

Setelah proses berjalan beberapa waktu, terjadi perubahan konsentrasi/kadar amonia terlarut pada reservoir. Perubahan tersebut diukur menggunakan amoniometer dengan *tubetest* reagen Nessler. Untuk uji hidrodinamika, dilakukan pengukuran penurunan tekanan sebelum dan sesudah larutan masuk ke dalam kontaktor dengan menggunakan manometer untuk setiap variasi laju alir. Kemudian data diolah dengan menghitung nilai koefisien perpindahan massa dan mencari hubungan dengan aspek hidrodinamikanya.

### 3.3.1 Peralatan

Peralatan yang digunakan antara lain:

1. Bak penampung sebagai tempat umpan air
2. Pompa air untuk mengalirkan air dari tangki menuju kontaktor membran
3. Flowmeter untuk mengukur laju alir air yang akan masuk ke dalam dan keluar kontaktor membran yang disesuaikan dengan variasi laju alir yang diinginkan
4. Kontaktor membran keramik sebagai media kontak antara zat terlarut dengan cairan penyerap  
 Diameter selongsong : 3 cm  
 Panjang membran : 33 cm  
 Channel : 19
5. Bak penampung cairan penyerap sebagai tempat cairan penyerap
6. Selang sebagai penghubung antara bak penampung dengan kontaktor membran
7. Termometer
8. pHmeter
9. Larutan amonia dengan konsentrasi 300 ppm
10. Larutan penyerap asam sulfat
11. Amonia Analyzer Digital  
 Merk : Palintest1000m  
 Tipe instrumen : Pulsasi Kolorimeter LED  
 Rentang : 0-15 mg/L N dan 0-50 mg/L N

Rentang Temp. : 0-50°C

Ukuran : Ukuran saku 173 x 75/44 x 41 mm

### 3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan antara lain:

- |                           |            |
|---------------------------|------------|
| 1. Amonium sulfat padatan | 3. NaOH    |
| 2. Asam sulfat            | 4. Akuades |

### 3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini secara bertahap dilakukan seai berikut:

1. Merangkai alat seperti membran keramik, bak penampung, pompa, flowmeter menjadi sistem sirkulasi tertutup.
2. Menyiapkan larutan amonia sintetik dan larutan absorben dengan langkah-langkah yang telah dijelaskan sebelumnya.
3. Mencatat pH larutan dengan menggunakan pHmeter, kemudian menaikkan pH larutan umpam berkisar 10-11.
4. Mengukur konsentrasi amonia awal dengan menggunakan amoniometer.
5. Mengalirkan larutan absorben asam sulfat hingga *steady*.
6. Mengalirkan larutan amonia dengan laju alir tertentu hingga keadaan *steady*.
7. Mengambil data :
  - a. Studi perpindahan massa  
Data yang diambil yaitu perubahan konsentrasi amonia setiap 30 menit, temperatur awal, pH awal dan akhir.
  - b. Studi hidrodinamika  
Data yang diambil yaitu penurunan tekanan masukan dan keluaran kontaktor membran keramik yang tertera pada manometer digital.
8. Melakukan pengambilan data untuk setiap laju alir umpam.

### 3.5 Kondisi Operasi

Kondisi operasi yang dilakukan selama penelitian adalah:

1. Temperatur ruang sekitar 25-33°C.

2. pH larutan umpan dibasakan hingga 10-11.
3. Variasi laju alir umpan yakni 2-5 L/menit.
4. Pengambilan data berupa temperatur, pH awal dan akhir, konsentrasi amonia awal dan konsentrasi amonia setiap 30 menit serta perbedaan tekanan sebelum dan sesudah melewati kontaktor membran keramik.

### 3.6 Pengolahan Data dan Analisis Hasil

Dari data perubahan konsentrasi amonia terlarut di dalam air akan didapat *slope* yang bisa digunakan untuk mencari nilai koefisien perpindahan massa yang terjadi. Selain itu fluks dan efisiensi pemisahan amonia dapat ditentukan pada masing-masing laju alir umpan. Dari data tersebut akan dibuat korelasi perpindahan massa sebagai fungsi karakteristik aliran cairan yang terjadi di dalam kontaktor membran keramik.

Sedangkan dari data penurunan tekanan larutan yang melewati kontaktor akan dibuat korelasi dengan kecepatan aliran dan karakteristik aliran. Faktor friksi aliran air di dalam kontaktor dapat dihitung pula dari penurunan tekanan tersebut sehingga faktor ini dapat dihubungkan dengan karakteristik aliran. Akhirnya faktor friksi yang diperoleh akan dibandingkan dengan faktor friksi dari literatur untuk aliran fluida melalui pipa halus. Perbandingan yang didapatkan menunjukkan besarnya energi yang dibutuhkan kontaktor membran terhadap pipa halus.

Persamaan-persamaan yang akan digunakan untuk menghitung parameter-parameter dalam melakukan pengolahan data akan diberikan pada Bab 3.7.

#### 3.6.1 Data Pengamatan Uji Perpindahan Massa

Laju alir umpan	=
Bobot amonia	=
pH umpan awal	=
pH umpan dibasakan	=
Temperatur awal	=
Temperatur akhir	=

**Tabel 3.1** Tabel Pengamatan Uji Perpindahan Massa

Waktu, t (menit)	Konsentrasi amonia (ppm)
0	
30	
60	
90	
120	

### 3.6.2 Data Pengamatan Uji Hidrodinamika

**Tabel 3.2** Tabel Pengamatan Uji Hidrodinamika

Laju alir umpan (L/menit)	$\Delta P$ (psi)
5	
4	
3	
2	

### 3.7 Persamaan-persamaan untuk Pengolahan data

Studi perpindahan massa baik koefisien perpindahan massa, fluks maupun efisiensi didapatkan dengan menggunakan data perubahan konsentrasi amonia terlarut pada bak penampung. Sedangkan studi hidrodinamika dilakukan dengan menghitung nilai bilangan-bilangan tak berdimensi seperti bilangan Reynolds (Re), bilangan Sherwood (Sh), dan bilangan Schmidt (Sc) serta nilai friksi (f) dengan menggunakan data perbedaan tekanan air sebelum dan setelah melewati membran.

#### 3.7.1 Menghitung Koefisien Perpindahan Massa

Perpindahan amonia melewati setiap satuan serat membran dituliskan dalam Persamaan 3.1.

$$v_L \left( -\frac{dC_L}{dz} \right) = k.a.(C_L - C^*) \quad (3.1)$$



$C^*$  merupakan konsentrasi gas pada serat membran, nilainya cenderung konstan, sangat kecil dan dapat diabaikan. Jika pengaruh konsentrasi amonia terlarut ( $C_L$ ) konstan maka batas kondisi  $C_L=C_1$  pada  $z=0$  dan  $C_L=C_2$  pada  $z=L$  digunakan, maka integrasi persamaan menghasilkan:

$$\begin{aligned}
 -\frac{dC_L}{C_L} &= \frac{k.a}{v_L} dz \\
 \int_{C_L=C_1 \rightarrow \text{pada } z=0}^{C_L=C_2 \rightarrow \text{pada } z=L} -\frac{dC_L}{C_L} &= \int_{z=0}^{z=L} \frac{k.a}{v_L} dz \\
 [-\ln C_L]_{C_1}^{C_2} &= \frac{k.a.L}{v_L} \\
 \ln \frac{C_2}{C_1} &= -\frac{k.a.L}{v_L} \\
 \frac{C_2}{C_1} &= \exp\left(-\frac{k.a.L}{v_L}\right) \\
 C_2 &= C_1 \cdot \exp\left(-\frac{k.a.L}{v_L}\right) \quad (3.2)
 \end{aligned}$$

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

$$V \left( -\frac{dC_1}{dt} \right) = Q.C_1 - Q.C_2 \quad (3.3)$$

Substitusikan nilai  $C_2$  pada Persamaan 3.2 ke Persamaan 3.3, menghasilkan persamaan di bawah ini:

$$\begin{aligned}
 \left( \frac{dC_1}{dt} \right) &= \frac{Q}{V} \left( C_1 \cdot \exp\left(-\frac{k.a.L}{v_L}\right) - C_1 \right) \\
 \left( \frac{dC_1}{C_1} \right) &= \frac{Q}{V} \left( \exp\left(-\frac{k.a.L}{v_L}\right) - 1 \right) dt \quad (3.4)
 \end{aligned}$$

$$\int_{C_1=C_0 \rightarrow \text{pada } t=0}^{C_1=C \rightarrow \text{pada } t=1} \frac{dC_1}{C_1} = \int_{t=0}^{t=1} \frac{Q}{V} \left( \exp\left(-\frac{k.a.L}{v_L}\right) - 1 \right) dt$$

$$\ln \frac{C}{C_0} = \frac{Q}{V} \left( \exp\left(-\frac{k.a.L}{v_L}\right) - 1 \right) t \quad (3.5)$$

Koefisien perpindahan massa overall (k) dicari dengan memplotkan ( $\ln C/C_0$ ) vs t, kemudian slope dapat dihitung, dengan demikian nilai k dapat diketahui melalui persamaan:

$$Slope = \frac{Q}{V} \left( \exp\left(-\frac{k \cdot a \cdot L}{v_L}\right) - 1 \right)$$

$$k = -\frac{v_L}{a \cdot L} \left( \ln\left(\frac{V(slope)}{Q}\right) + 1 \right) \quad (3.6)$$

### 3.7.2 Korelasi Perpindahan Massa

Untuk mengetahui karakteristik hidrodinamika, dapat dikorelasikan dengan bilangan-bilangan tak berdimensi seperti bilangan Reynolds (Re), bilangan Sherwood (Sh), dan bilangan Schmidt (Sc) serta nilai friksi (f) sebagai berikut:

$$Re = \frac{v_L \cdot d_e}{\nu} \quad (3.7)$$

dimana:

Re = bilangan Reynolds

$v_L$  = kecepatan alir umpan (cm/s)

$\nu$  = viskositas kinematik (cm<sup>2</sup>/s)

$d_e$  = diameter ekuivalen (cm)

$$Sh = \frac{k_L \cdot d_e}{D} \quad (3.8)$$

dimana:

Sh = bilangan Sherwood

k = koefisien perpindahan massa (cm/s)

$d_e$  = diameter ekuivalen (cm)

D = difusivitas pelarut (cm<sup>2</sup>/s)

atau

$$Sh = a Re^b Sc^{1/3} \quad (3.9)$$

$$Sc = \frac{\nu}{D} \quad (3.10)$$

dimana:

Sc = bilangan Schmidt

- $\nu$  = viskositas kinematik ( $\text{cm}^2/\text{s}$ )  
 $D$  = difusivitas pelarut ( $\text{cm}^2/\text{s}$ )

### 3.7.3 Menghitung Faktor Friksi

Penurunan tekanan dihubungkan dengan nilai friksi dari aliran yang terjadi, nilai friksi modul dapat diperoleh dari persamaan:

$$f = \frac{de \cdot \Delta P}{2 \cdot L_f \cdot \rho \cdot v_L^2} \quad (3.11)$$

dimana:

- $f$  = faktor friksi                       $L_f$  = panjang selongsong membran (cm)  
 $de$  = diameter ekuivalen (cm)         $\rho$  = massa jenis larutan ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )  
 $\Delta P$  = penurunan tekanan (psi)       $v_L$  = kecepatan larutan umpan (cm/s)

Dengan  $de$  (diameter ekuivalen) dihitung dengan persamaan:

$$de = \frac{dp^2 - N \cdot df^2}{dp + N \cdot df} \quad (3.12)$$

dimana:

- $dp$  = diameter selongsong membran (cm)  
 $N$  = jumlah *channel*  
 $df$  = diameter dalam fiber (cm)

Nilai friksi yang akan dihitung terdiri dari

- Friksi modul yang diperoleh dengan menghitung nilai friksi pada tiap laju alir air yang dilakukan
- Friksi literatur yang diperoleh dari literatur pada laju alir yang akan digunakan pada penelitian

Aliran laminar:  $f = \frac{16}{\text{Re}} \quad (3.13)$

Aliran turbulen:  $f = \frac{0,0792}{\text{Re}^{1/4}} \quad (3.14)$

- Friksi rasio yang diperoleh dari perbandingan antara nilai friksi modul dengan

nilai friksi literatur  $f_{rasio} = \frac{f_{modul}}{f_{literatur}} \quad (3.15)$

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pendahuluan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas pemisahan amonia terlarut di dalam air oleh absorben asam sulfat melalui membran keramik yang dapat ditentukan dari studi perpindahan massa dan hidrodinamika. Pertama, untuk evaluasi kinerja membran dari studi perpindahan massa dinilai dari koefisien perpindahan massa yang terjadi dengan pengaruh laju alir yang divariasikan. Kedua, studi hidrodinamika dapat ditinjau dari faktor friksi aliran fluida, yang direpresentasikan oleh bilangan Reynolds, terhadap kemampuan asam sulfat untuk mengabsorb amonia terlarut sehingga dapat diketahui adanya pengaruh jenis aliran terhadap kinerja membran keramik. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Intensifikasi Proses Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia.

#### 4.2 Studi Perpindahan Massa

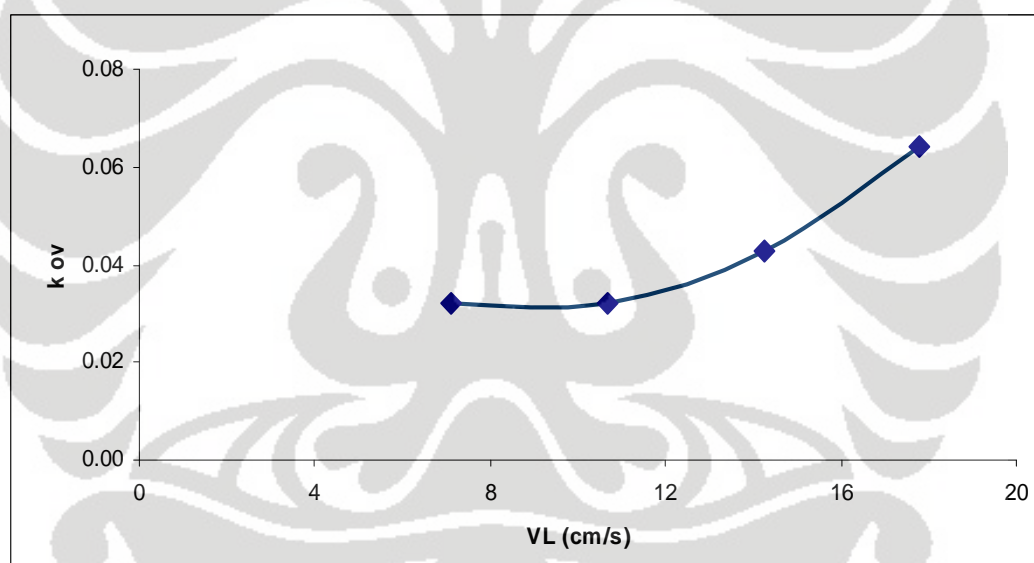
Studi perpindahan massa menggunakan kontaktor membran keramik dilakukan untuk menurunkan konsentrasi amonia terlarut di dalam air 300 ppm sebanyak 5 L yang disirkulasikan. Larutan absorben yang digunakan adalah asam sulfat 0,01 M. Percobaan ini dilakukan dengan memvariasikan laju alir umpan 2-5 L/menit. Data konsentrasi amonia sebelum dan sesudah melewati membran kemudian diolah sehingga didapatkan koefisien perpindahan massa overall ( $k_{ov}$ ) yang dapat dijadikan tolak ukur efektivitas proses absorpsi amonia oleh asam sulfat.

Selain itu, dalam uji perpindahan massa dianalisis juga korelasi perpindahan massa yang digunakan untuk mengetahui hubungan antara kecepatan dan jenis aliran yang melewati modul terhadap koefisien perpindahan massa yang dipengaruhi geometri membran. Korelasi ini ditunjukkan oleh bilangan tidak berdimensi, bilangan Sherwood, yang merupakan fungsi dari bilangan Reynolds.

#### 4.2.1 Perbandingan Laju Alir Umpan

Perbedaan laju alir umpan mempengaruhi proses pemisahan yang terjadi. Di dalam modul membran, dinamika fluida yang terjadi akibat pengaruh variasi laju alir, akan menentukan koefisien perpindahan massa sehingga berpengaruh pula terhadap efektivitas. Hal ini ditunjukkan melalui kecepatan linear ( $v_L$ ).

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan sesuai dengan Lampiran 2, pada Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa semakin meningkatnya kecepatan linear yang diakibatkan peningkatan laju alir akan meningkatkan koefisien perpindahan massa. Hal ini disebabkan oleh semakin tinggi laju alir umpan akan menyebabkan sifat aliran fluida semakin turbulen dan memperkecil tahanan yang ada pada larutan dan membran yang dilalui. Adanya arus Eddy pada aliran turbulen dapat memperbesar nilai koefisien yang terjadi.



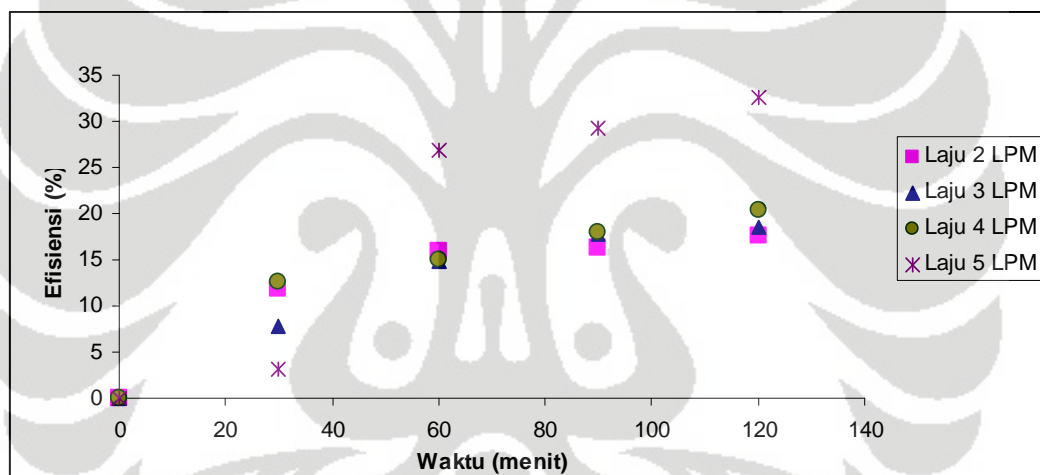
**Gambar 4.1** Pengaruh  $k_{ov}$  pada Variasi Laju Alir Umpan amonia

Di dalam air, ammonia terdisosiasi menjadi ion amonium yang tidak stabil yang ditunjukkan oleh Persamaan 1 berikut.



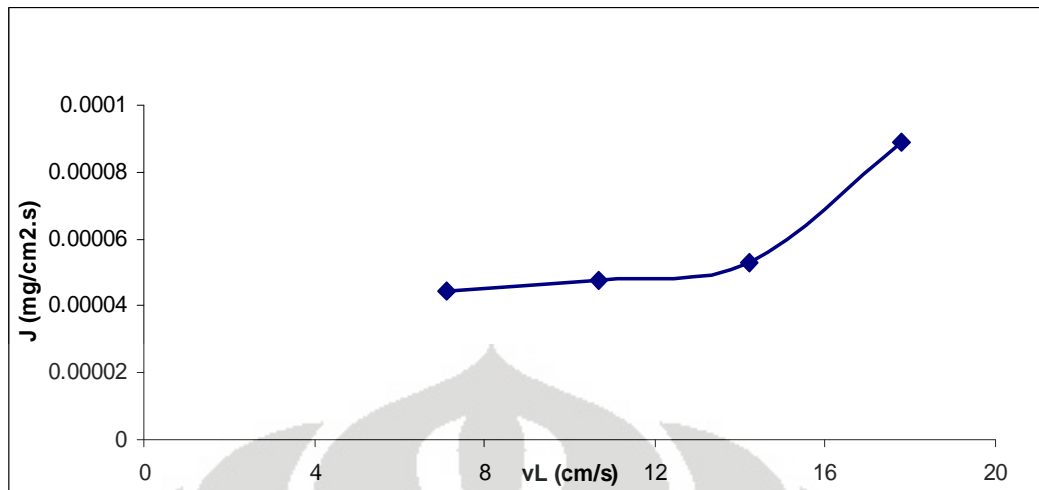
Baik ion gas amonia terlarut ( $\text{NH}_3$ ) atau amonium ( $\text{NH}_4^+$ ) atau keduanya kemungkinan ada terdapat dalam air buangan. Perpindahan massa amonia yang terjadi melalui membran maupun peralatan konvensional sangat dipengaruhi oleh ionisasi tersebut. Molekul amonia dapat langsung disisihkan dari antar muka

membran, akan tetapi ion amonium ( $\text{NH}_4^+$ ) harus bereaksi terlebih dahulu dengan ion hidroksida membentuk amonia untuk kemudian dapat disisihkan. Reaksi antara ion amonium dengan ion hidroksida merupakan reaksi yang cepat; akan tetapi, difusi ion hidroksida di permukaan membran tidak selalu cepat. Jadi tidak adanya ion hidroksida akan menghambat proses penyisihan amonia (Semmens, 1990). Semakin tinggi sirkulasi larutan umpan, maka akan meningkatkan laju difusi ion hidroksida ke permukaan membran, sehingga akan meningkatkan efisiensi proses pemisahan amonia. Namun ukuran pori membran yang terlalu kecil juga dapat mengakibatkan terhambatnya pemisahan amonia karena pori-pori membran tertutupi oleh ion-ion  $\text{OH}^-$  sehingga proses berjalan kurang maksimal. Berdasarkan Gambar 4.2 didapatkan efisiensi proses pemisahan amonia melalui kontaktor membran keramik dapat mencapai 32,68%.



**Gambar 4.2** Variasi Efisiensi Proses Pemisahan Amonia melalui Membran Keramik

Berdasarkan Gambar 4.3, fluks perpindahan massa amonia dipengaruhi oleh kecepatan sirkulasi larutan air limbah di dalam kontaktor. Hal ini juga dipengaruhi oleh tingkat difusi ion hidroksida di permukaan membran.



Gambar 4.3 Hubungan Fluks terhadap Kecepatan Aliran

#### 4.2.2 Korelasi Perpindahan Massa

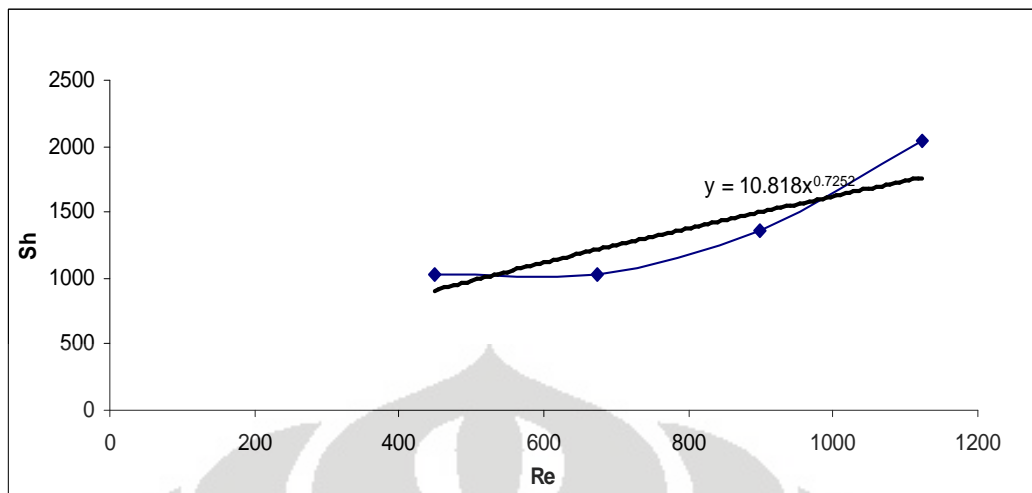
Hubungan antara koefisien perpindahan massa dengan jenis aliran dapat ditemui dari fungsi bilangan Sherwood yang mewakili perpindahan massa yang terjadi dan bilangan Reynolds yang memberikan gambaran jenis aliran pelarut. Korelasi perpindahan massa ini ditunjukkan dengan Persamaan 2 di bawah ini.

$$Sh = a Re^b Sc^{1/3} \quad (4.2)$$

Nilai Reynolds diperoleh berdasarkan penurunan tekanan untuk setiap laju alir umpam sedangkan pengaruh bilangan Scmidth pada percobaan ini tidak dievaluasi. Nilai pangkat dari bilangan Scmidth diasumsikan konstan sesuai dengan literatur untuk korelasi perpindahan massa yaitu 1/3, sehingga persamaan dapat disederhanakan menjadi Persamaan 3.

$$Sh = a' Re^b \quad (4.3)$$

Bilangan Sherwood dan Reynolds kemudian dihubungkan melalui grafik dengan menggunakan *trendline power* untuk setiap variasi laju alir, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.4 berikut.



**Gambar 4.4** Hubungan Bilangan Sherwood & Reynolds pada Pemisahan Amonia melalui Membran Keramik

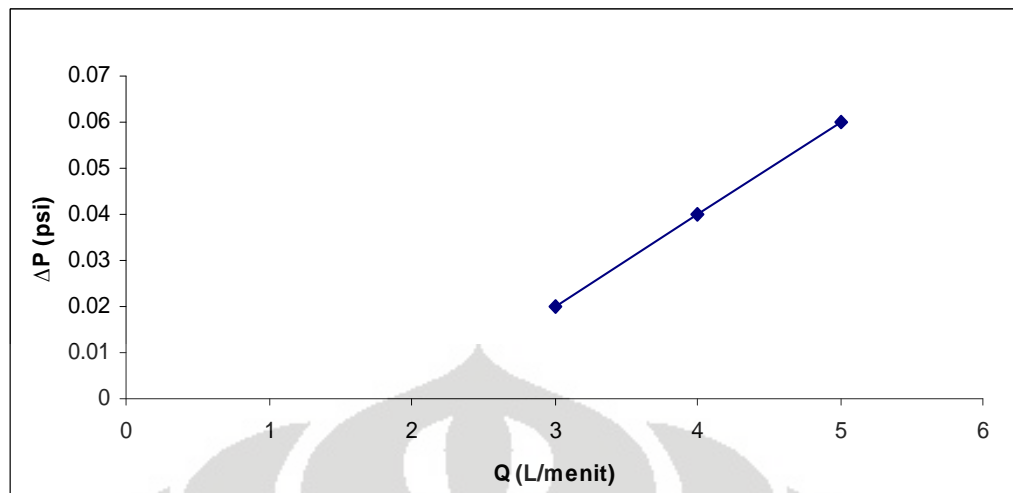
Setelah menghubungkan bilangan Sherwood dan Reynolds menggunakan *trendline power*, nilai pangkat (orde) yang diperoleh dari persamaan garis adalah 0,7252. Sehingga persamaan korelasi perpindahan massa untuk percobaan ini menjadi  $Sh = 10,818Re^{0,7252}$ .

#### 4.3 Studi Hidrodinamika

Tujuan dari pengujian hidrodinamika ini adalah untuk melihat faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja membran keramik terutama yang berkaitan dengan fluida yang bergerak, seperti faktor friksi dan penurunan tekanan. Gambar 4.5 berikut menunjukkan adanya hubungan antara laju alir umpan dengan perbedaan tekanan yang diukur sebelum dan sesudah melewati kontaktor membran keramik.

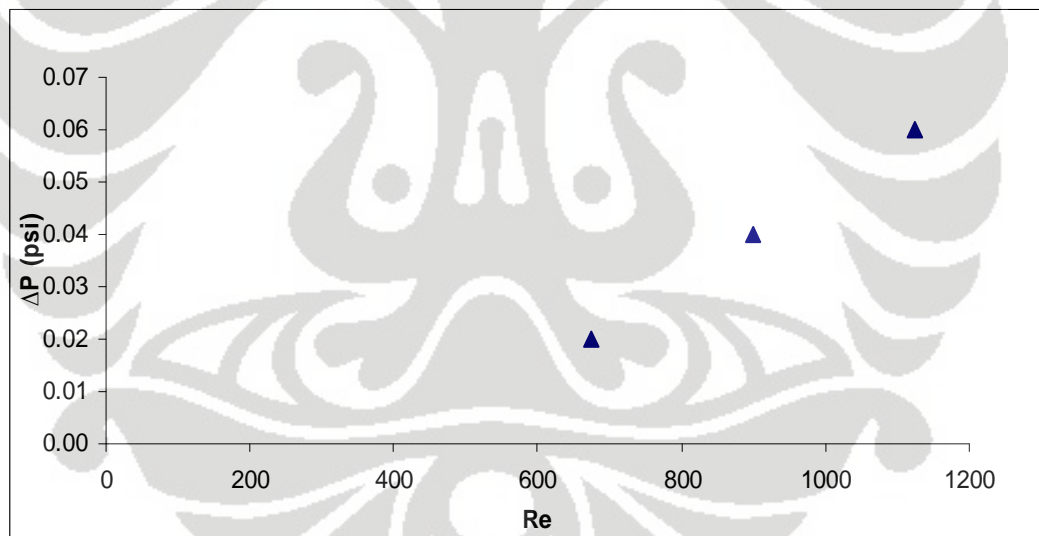
Dari Gambar 4.5 didapat bahwa kenaikan laju alir dapat meningkatkan penurunan tekanan yang terjadi di dalam modul, namun tidak signifikan. Semakin tinggi kecepatan aliran di dalam modul berarti jenis aliran tersebut makin ke arah turbulen dan kemungkinan terjadi friksi atau gesekan semakin besar sehingga mengakibatkan penurunan tekanan yang terjadi di dalam modul semakin besar.





**Gambar 4.5** Hubungan Penurunan Tekanan terhadap Q

Kecepatan laju sirkulasi pelarut juga dapat direpresentasikan dengan bilangan Reynolds yang menunjukkan jenis aliran fluida, seperti yang terlihat pada Gambar 4.6 berikut.



**Gambar 4.6** Hubungan Penurunan Tekanan dengan Bilangan Reynolds

Dari Gambar 4.6 dapat diketahui bahwa semakin tinggi bilangan Reynolds maka penurunan tekanan yang terjadi di dalam modul pun akan semakin besar. Hal ini seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa kenaikan laju alir akan menaikkan bilangan Reynolds dan membuat kondisi aliran menjadi semakin turbulen dan mengakibatkan kemungkinan terjadinya friksi atau gesekan di dalam

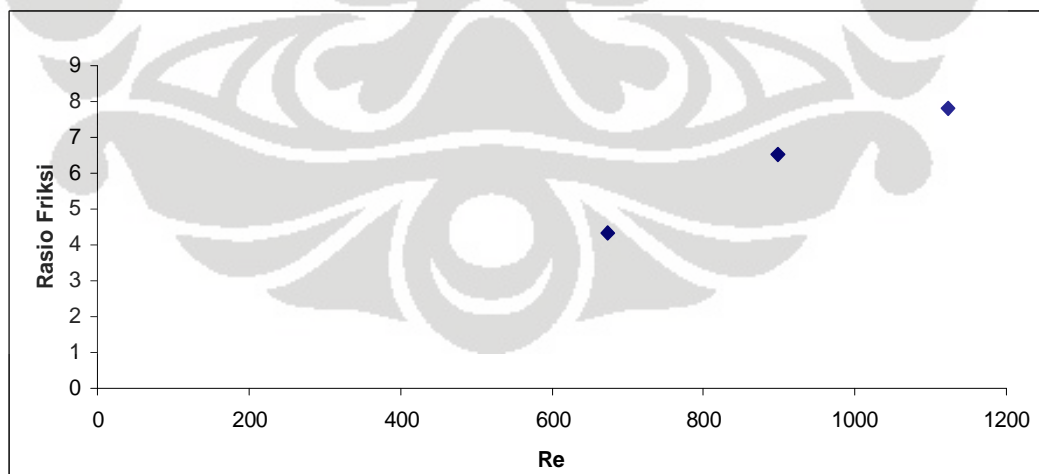
modul semakin tinggi. Semakin tinggi penurunan tekanan yang terjadi maka gaya gesek akan semakin tinggi pula yang disebabkan tingginya kecepatan aliran tetapi faktor friksi yang terjadi justru semakin rendah. Hal ini disebabkan faktor friksi berbanding terbalik dengan kecepatan aliran sesuai dengan Persamaan 4.4 berikut:

$$f = \frac{d_e \Delta P}{2 L_f \rho v^2} \quad (4.4)$$

Nilai faktor friksi berbanding lurus dengan diameter ekivalen dan penurunan tekanan, namun berbanding terbalik dengan kecepatan aliran. Selain faktor friksi di dalam modul, perhitungan friksi juga dilakukan untuk membandingkan besarnya friksi yang terbentuk dengan friksi ideal yang hanya dipengaruhi oleh bilangan Reynolds. Perbandingan faktor friksi antara faktor friksi di dalam modul dengan faktor friksi literatur disebut rasio friksi yang ditunjukkan oleh Persamaan 4.5 berikut.

$$f_{rasio} = \frac{f_{modul}}{f_{literatur}} \quad (4.5)$$

Berdasarkan perhitungan pada Lampiran 2, hubungan Rasio friksi dengan Bilangan Reynolds dapat dilihat pada Gambar 4.7 berikut.



**Gambar 4.7** Hubungan Rasio Friksi dengan Bilangan Reynolds

Dari Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa aliran fluida bersifat laminar. Dalam menentukan faktor friksi ini dinyatakan bahwa setiap fluida yang melewati

saluran dengan luas penampang yang seragam memiliki gaya pada permukaan padat berupa gaya fluida itu sendiri dan gaya lain yang berkaitan dengan perilaku kinetika fluida tersebut (Bird, 1960). Gaya tersebut tidak dapat diukur, sehingga dilakukan pengukuran berupa perbedaan tekanan. Dengan demikian, didapatkan hubungan faktor friksi dengan energi kinetik yang dipengaruhi oleh kecepatan aliran. Faktor friksi tersebut berbanding terbalik dengan energi kinetik. Semakin cepat aliran fluida, maka energi kinetiknya semakin besar dan faktor friksi yang terjadi semakin kecil. Rasio faktor friksi kontaktor membran yang digunakan dengan faktor friksi pada pipa halus (Bird, 1960). Berdasarkan hasil eksperimen, didapatkan rasio friksi berkisar antara 4 hingga 7 kali lebih besar dari pipa halus.

Untuk aliran yang bersifat laminar, bilangan Reynolds berbanding terbalik dengan faktor friksi modul, sedangkan peningkatan bilangan Reynolds akan meningkatkan rasio friksi pada jenis aliran tersebut. Hal ini dapat terjadi karena faktor tahanan perpindahan massa pada sisi umpan, membran dan pada larutan absorben yang terdapat selama proses pemisahan amonia melalui membran keramik berlangsung.

## BAB V

### KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari keseluruhan isi skripsi ini, berkaitan dengan penelitian yang telah dilakukan antara lain:

1. Pemisahan dengan membran memungkinkan terjadi perpindahan massa dengan permukaan kontak yang lebih luas.
2. Pemisahan yang dilakukan antara fasa cair-cair dan dilakukan dengan memvariasikan laju alir.
3. Efektivitas kontaktor membran keramik pada proses pemisahan amonia terlarut dalam air dipengaruhi oleh laju alir umpan.
4. Secara keseluruhan, nilai koefisien perpindahan massa amonia berbanding lurus dengan laju alir umpan.
5. Nilai koefisien perpindahan massa yang dapat dicapai dengan absorben amonia pada laju alir umpan 5 Lpm hingga 2 Lpm berturut-turut adalah 0,0641 cm/s; 0,0427 cm/s; 0,0320 cm/s; 0,0320 cm/s.
6. Korelasi perpindahan massa amonia oleh absorben asam sulfat yang terjadi di dalam kontaktor membran keramik adalah  $Sh = 10,818Re^{0,7252}$
7. Efisiensi pemisahan amonia yang mampu dilakukan pada percobaan ini mencapai 32,68%.
8. Penurunan tekanan yang terjadi di dalam kontaktor membran keramik berbanding lurus dengan laju alir umpan.
9. Rasio faktor friksi kontaktor membran yang digunakan dengan faktor friksi pada pipa halus berdasarkan hasil penelitian berkisar antara 4 hingga 7 kali lebih besar.

Sedangkan saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pemisahan amonia melalui membran keramik yang memiliki diameter pori yang lebih besar agar proses pemisahan lebih efektif.

2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan memvariasikan konsentrasi absorben, pH, pengaturan temperatur atau menggunakan jenis absorben yang lain.
3. Penggunaan membran keramik dapat digabungkan dengan metode lain untuk menghasilkan pemisahan yang lebih efisien.



## DAFTAR REFERENSI

- Bird, R. Byron, et.al. (1960). *Transport Phenomenon*. John Wiley & Sons. USA.
- Callister, William D, Jr. (2003). *Material Science and Engineering*. John Wiley & Sons Inc. USA.
- Cooper, William J. (1981). *Chemistry in Water Reuse*, volume 2. Ann Arbor Science Company. USA.
- Culp, Russell L., Wesner, G. M. and Culp, Gordon L. (1978). *Handbook of Advanced Wastewater Treatment*, second edition. Van Nostrand Reinhold Company. New York.
- Dhaneswara, Donanta (2007). *Diktat Kuliah Membran Keramik*. Departemen Metalurgi dan Material FTUI.
- Geankoplis, Christi J. (1993). *Transport and Unit Operation*, third edition. Prentice Hall International. New Jersey.
- Kartohardjono, et al. (2007). *Absorpsi CO<sub>2</sub> dari Campurannya dengan CH<sub>4</sub> atau N<sub>2</sub> melalui Kontaktor Membran Serat Berongga Menggunakan Pelarut Air*. Makara, Teknologi, Vol. 11, NO. 2, November 2007: 97-10.
- 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, Edisi No. 2 Tahun XXII, Juni 2008, 147-152 ISSN 0215-1685.
- Klaassen, R., Feron, P. and Jansen, A. (2007). *Membrane contactor applications*. Journal of Desalination, 224 (2008) 81–87.
- Lintang, Ninik. (2001). *Perpindahan Massa Difusional*. Politeknik Negeri Bandung. Bandung.
- Mandowara, A and Bhattacharya, P.K. (2008). *Membrane contactor as degasser operated under vacuum for ammonia removal from water: A numerical simulation of mass transfer under laminar flow conditions*. Journal of Computers and Chemical Engineering, doi:10.1016/j.compchemeng.2008.12.005.
- Mulder, Marcel (1996). *Basic Principles of Membrane Technology*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht.

Santika, S. Sumestri dan Alaerts, G. (1984). *Metoda Penelitian air*. Penerbit Usaha Nasional. Surabaya.

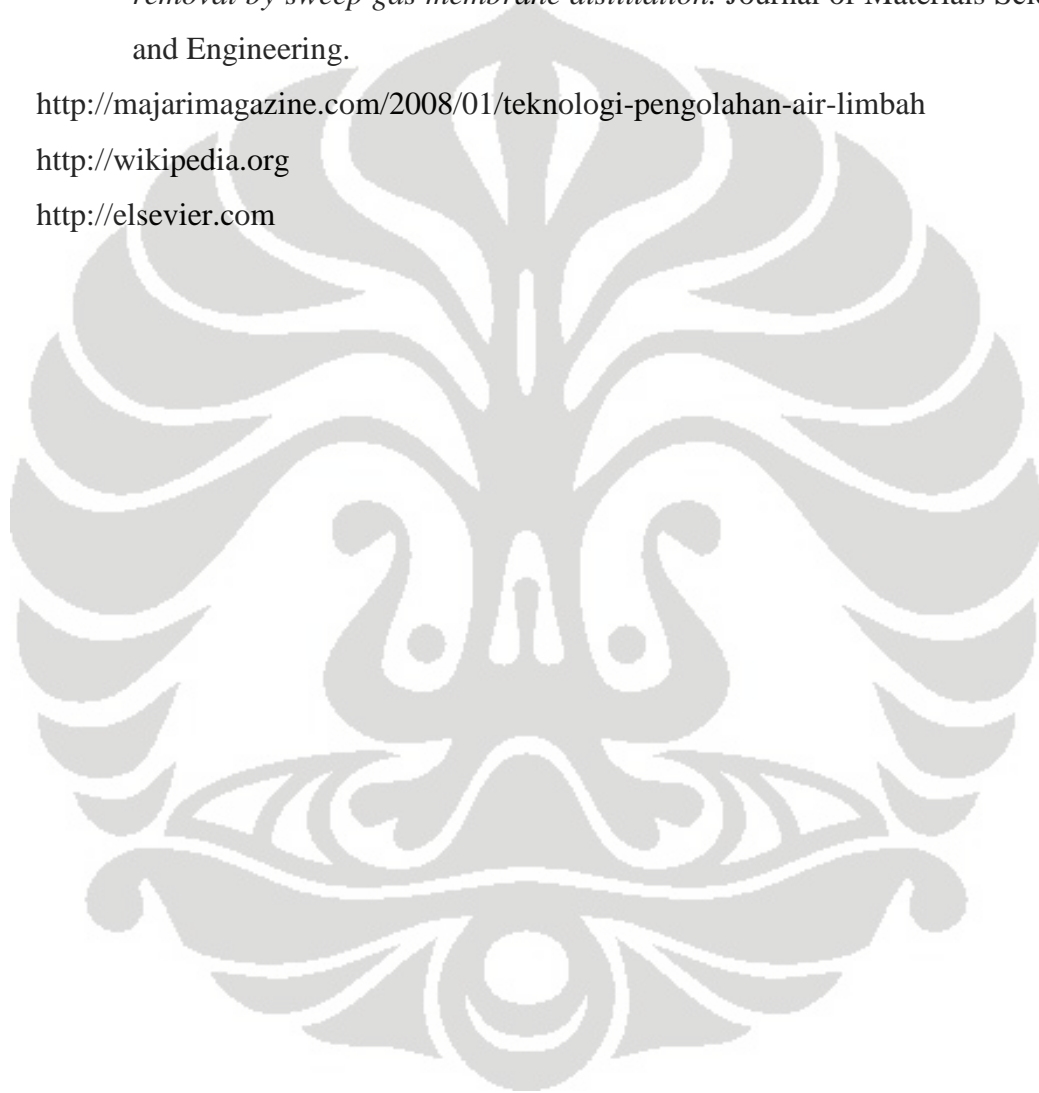
Semmens, Michael J. (1990). *Ammonia Removal from Water using Microporous Hollow Fibers*. *Journal of Membran Science*, 51(1990)-127-140.

Xie, Z., Duong, T., Hoang, M., Nguyen, C. and Bolto, B. (2008). *Ammonia removal by sweep gas membrane distillation*. *Journal of Materials Science and Engineering*.

<http://majarimagazine.com/2008/01/teknologi-pengolahan-air-limbah>

<http://wikipedia.org>

<http://elsevier.com>



**Lampiran 1**  
**Data Hasil Penelitian**

**1.1 Studi Perpindahan Massa**

1.1.1 Data Perpindahan Massa pada Laju 5 Liter per menit

Laju alir umpan	= 5 Lpm
Bobot amonia	= 5,8237 gram
pH umpan awal	= 5,9
pH umpan dibasakan	= 10,06
Temperatur awal	= 31,0 °C
Temperatur akhir	= 33,0 °C

Waktu, t (menit)	Konsentrasi amonia (ppm)
0	308,4
30	298,8
60	225,6
90	218,4
120	207,6

1.1.2 Data Perpindahan Massa pada Laju 4 Liter per menit

Laju alir umpan	= 4 Lpm
Bobot amonia	= 5,8237 gram
pH umpan awal	= 3,46
pH umpan dibasakan	= 10,32
Temperatur awal	= 32,0 °C
Temperatur akhir	= 34,0 °C



Waktu, t (menit)	Konsentrasi amonia (ppm)
0	295,2
30	258,0
60	250,8
90	242,4
120	235,2

### 1.1.3 Data Perpindahan Massa pada Laju 3 Liter per menit

Laju alir umpan	= 3 Lpm
Bobot amonia	= 5,8238 gram
pH umpan awal	= 5,35
pH umpan dibasakan	= 10,77
Temperatur awal	= 31,5 °C
Temperatur akhir	= 34,0 °C

Waktu, t (menit)	Konsentrasi amonia (ppm)
0	291,6
30	268,8
60	248,4
90	240,0
120	237,6

### 1.1.4 Data Perpindahan Massa pada Laju 2 Liter per menit

Laju alir umpan	= 2 Lpm
Bobot amonia	= 5,8236 gram
pH umpan awal	= 4,36
pH umpan dibasakan	= 11,05
Temperatur awal	= 31,0 °C

Temperatur akhir = 33,5 °C

Waktu, t (menit)	Konsentrasi amonia (ppm)
0	285,6
30	252,0
60	240,0
90	238,8
120	235,2

## 1.2 Studi Hidrodinamika

Laju alir umpan (L/menit)	$\Delta P$ (psi)
5	0,06
4	0,04
3	0,02
2	0,00

## Lampiran 2 Contoh Perhitungan

### 2.1 Perhitungan Koefisien Perpindahan Massa

Untuk mendapatkan nilai koefisien perpindahan massa overall digunakan persamaan:

$$k_{ov} = \frac{\text{slope} \cdot V_{umpan}}{A} \quad (2.1)$$

Dimana

$$A_m = n_f \cdot \pi \cdot d_f \cdot l \quad (2.2)$$

$$A_{flow} = \frac{1}{4} \pi (d_s^2 - n \cdot d_f^2) \quad (2.3)$$

Dan  $v_l = \frac{Q}{A_{flow}} \quad (2.4)$

Contoh data yang diperoleh untuk laju alir umpan 5 Lpm:

$$n_f = 19$$

$$d_f = 0,4 \text{ cm}$$

$$d_s = 3 \text{ cm}$$

$$l = 33 \text{ cm}$$

$$Q = 83,33 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$V_{umpan} = 5 \text{ L} = 5000 \text{ mL} = 5000 \text{ cm}^3$$

Sehingga didapat

$$\begin{aligned} A_m &= 19 \times 3,14 \times 0,4 \text{ cm} \times 33 \text{ cm} \\ &= 787,512 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{flow} &= 0,25 \times 3,14 \times (3^2 - 0,4^2) \text{ cm}^2 \\ &= 4,6829 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$v_l = \frac{83,33 \text{ cm}^3 / \text{s}}{4,6829 \text{ cm}^2} \\ = 17,7954 \text{ cm} / \text{s}$$

Dan slope didapatkan dari plot  $\ln = \frac{C_0}{C}$  dengan waktu (t). Setelah diplot didapatkan slope 0,00006, maka didapatkan:

$$k_{ov} = \frac{0,00006 / \text{s} \cdot 5000 \text{ cm}^3}{4,6829 \text{ cm}^2} \\ = 0,0641 \text{ cm} / \text{s}$$

Koefisien perpindahan massa  $k_{ov}$  untuk masing-masing laju alir sebesar 0,0641 untuk laju alir umpan 5 Lpm, 0,0427 untuk laju alir umpan 4 Lpm, 0,0320 untuk laju alir umpan 3 Lpm, 0,0320 untuk laju alir umpan 2 Lpm.

Setelah itu menghitung nilai efisiensi perpindahan massa yang terjadi dengan persamaan:

$$R\% = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \quad (2.5)$$

Untuk penelitian dengan laju alir 5 Lpm selama 2 jam, diperoleh data

$$C_0 = 308,4 \text{ ppm}$$

$$C_{120} = 207,6 \text{ ppm}$$

maka didapatkan:

$$R\% = \frac{308,4 - 207,6}{308,4} \times 100\% \\ = 32,68\%$$

Fluks dihitung dengan persamaan:

$$J = \frac{\Delta C \times V}{A \times t} \quad (2.6)$$

Fluks yang dihasilkan

$$J = \frac{(308,4 - 207,6) \text{ mg} / \text{L} \times 5 \text{ L}}{787,512 \text{ cm}^2 \times 7200 \text{ s}} \\ = 8,89 \times 10^{-5} \text{ mg} / \text{cm}^2 \cdot \text{s}$$

## 2.2 Perhitungan Bilangan Reynolds dan Bilangan Sherwood

Untuk menghitung bilangan Reynolds dan bilangan Sherwood, maka perlu menggunakan persamaan-persamaan berikut:

$$\text{Re} = \frac{v_l \cdot d_e}{\nu} \quad (2.7)$$

$$d_e = \frac{d_s^2 - N \cdot d_f^2}{d_s + N \cdot d_f} \quad (2.8)$$

$$\text{Sh} = k_{ov} \frac{d_e}{D} \quad (2.9)$$

Dari data-data yang telah dikemukakan di atas, dan data tambahan berupa:

$$\text{Viskositas kinematis} = 8,9 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$\text{Difusivitas} = 1,76 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$$

dapat dihitung de:

$$\begin{aligned} d_e &= \frac{(3\text{cm})^2 - 19 \cdot (0,4\text{cm})^2}{(3\text{cm}) + 19 \cdot 0,4} \\ &= 0,5623\text{cm} \end{aligned}$$

Bilangan Re untuk laju alir umpan 5 Lpm adalah:

$$\begin{aligned} \text{Re} &= \frac{17,7954\text{cm} / \text{s} \cdot 0,5623\text{cm}}{8,90\text{E} - 03\text{cm}^2/\text{s}} \\ &= 1123,73 \end{aligned}$$

Sementara bilangan Sh sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Sh} &= 0,0640635 \times \frac{0,5623\text{cm}}{1,76 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}} \\ &= 7,28 \end{aligned}$$

## 2.3 Perhitungan Hidrodinamika

Untuk melakukan perhitungan hidrodinamika maka dihubungkan dengan persamaan faktor friksi modul dan literatur.

Contoh data yang diperoleh pada membran keramik:

Laju alir (L/menit)	$\Delta P$ (Psi)
5	0,06
4	0,04
3	0,02

Data hidrodinamika selanjutnya diolah lebih lanjut untuk mendapatkan nilai friksi seperti persamaan di bawah ini:

$$f = \frac{d_e \Delta P}{2 L_f \rho v^2} \quad (3.0)$$

$$f = \frac{0,5623 \text{ cm} \cdot 4137,9 \text{ gr/cm} \cdot \text{s}^2}{2,33 \text{ cm} \cdot 1 \text{ gr/cm}^3 \cdot (17,7954 \text{ cm/s})^2}$$

$$= 0,1113$$

Sedangkan nilai literatur karena aliran bersifat laminar menjadi:

$$f = \frac{16}{\text{Re}}$$

$$f = \frac{16}{1123,73}$$

$$= 0,0142$$

Sehingga bisa didapatkan Rasio friksi

$$f_{\text{rasio}} = \frac{f_{\text{modul}}}{f_{\text{literatur}}} = \frac{0,1113}{0,0142} = 7,82$$

### Lampiran 3

#### Hasil Perhitungan

#### 3.1 Hasil Efisiensi Perpindahan Massa Melalui Membran Keramik

Waktu, t (menit)	Efisiensi, R (%)			
	Laju 2 L/mnt	Laju 3 L/mnt	Laju 4 L/mnt	Laju 5 L/mnt
0	0,00	0,00	0,00	0,00
30	11,76	7,82	12,60	3,11
60	15,97	14,81	15,04	26,85
90	16,39	17,70	17,89	29,18
120	17,65	18,52	20,30	32,68

#### Hasil Koefisien dan Fluks Perpindahan Massa

Slope (1/s)	V umpan (L)	k overall (cm/s)	J (Flux), mg/cm <sup>2</sup> .s
0,00006	5	0,0641	8,88E-05
0,00004	5	0,0427	5,29E-05
0,00003	5	0,0320	4,76E-05
0,00003	5	0,0320	4,44E-05

#### 3.2 Hasil Perhitungan Bilangan Reynolds dan Bilangan Sherwood

Laju alir (L/menit)	k overall (cm/s)	v <sub>L</sub> (cm/s)	Re	Sh
5	0,0641	17,79	1123,73	2046,62
4	0,0427	14,23	898,99	1364,42
3	0,0320	10,68	674,24	1023,31
2	0,0320	7,12	449,49	1023,31

### 3.3 Hasil Perhitungan Hidrodinamika

$\Delta P$ (psi)	$\Delta P$ (gr/cm.s <sup>2</sup> )	f literatur	f modul	f rasio
0,06	4137,93	0,0142	0,1113	7,8182
0,04	2758,62	0,0178	0,1159	6,5152
0,02	1379,31	0,0237	0,1031	4,3434

