



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH LAJU ALIR UMPAN DAN pH PADA PENYISIHAN
AMONIA DARI AIR LIMBAH MENGGUNAKAN KONTAKTOR
MEMBRAN SERAT BERONGGA DENGAN LARUTAN
PENYERAP ASAM SULFAT**

SKRIPSI

**RIEZQA ANDIKA
0706270043**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
DEPOK
JANUARI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH LAJU ALIR UMPAN PADA PENYISIHAN
PENGARUH LAJU ALIR UMPAN DAN pH PADA PENYISIHAN
AMONIA DARI AIR LIMBAH MENGGUNAKAN KONTAKTOR
MEMBRAN SERAT BERONGGA DENGAN LARUTAN
PENYERAP ASAM SULFAT**

SKRIPSI

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

**RIEZQA ANDIKA
0706270043**

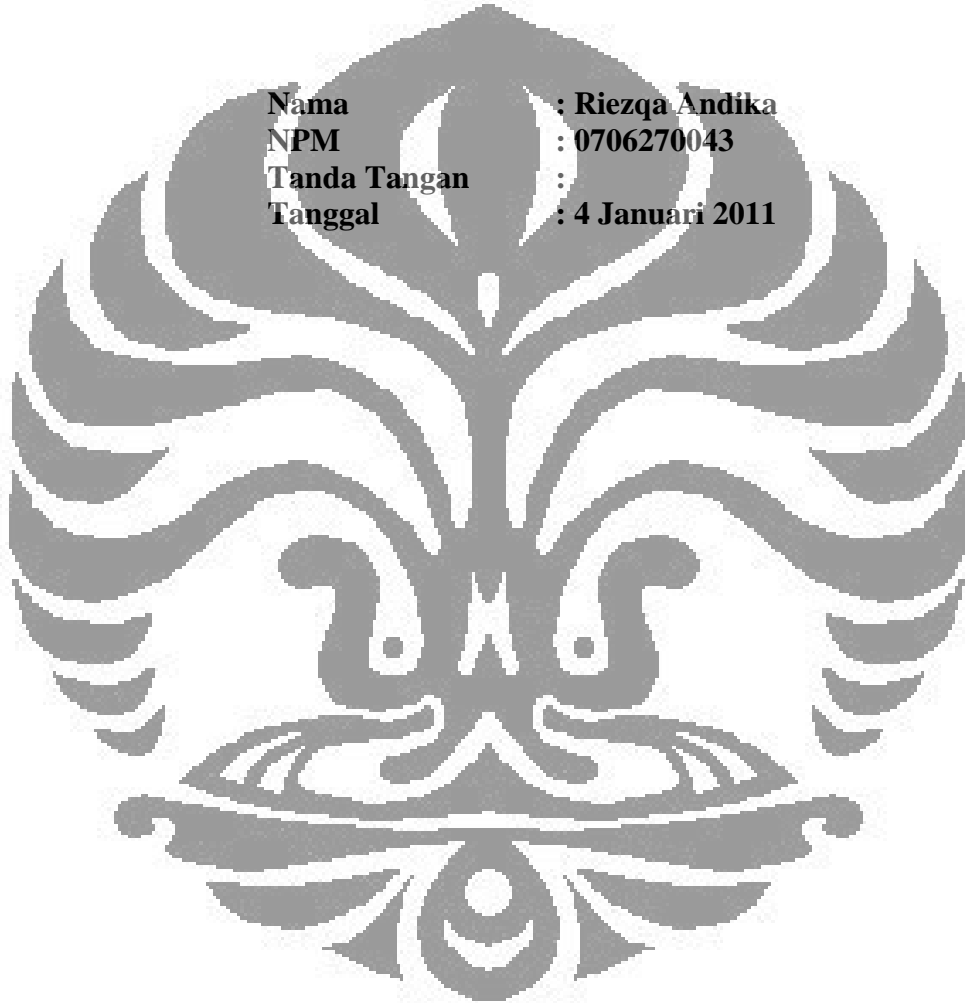
**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
DEPOK
JANUARI 2011**

Universitas Indonesia

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Riezqa Andika
NPM : 0706270043
Tanda Tangan :
Tanggal : 4 Januari 2011



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Riezqa Andika
NPM : 0706270043
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Pengaruh Laju Alir Umpan Dan pH Pada Penyisihan
Amonia Dari Air Limbah Menggunakan Kontaktor
Membran Serat Berongga Dengan Larutan Penyerap Asam
Sulfat

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Sutrasno Kartohardjono, MSc, PhD ()
Penguji 1 : Ir. Eva Fathul Karamah, MT ()
Penguji 2 : Ir. Yuliusman, M.Eng ()
Penguji 3 : Prof. Dr. Ir. M. Nasikin, M.Eng ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 4 Januari 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena hanya atas rahmat dan hidayah-Nya saya dapat menyelesaikan penulisan makalah skripsi ini. Makalah skripsi ini dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Kimia di Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Saya sungguh menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, saya akan sangat sulit menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, ijin saya untuk mengucapkan terima kasih kepada:

- Bapak Ir. Sutrasno Kartohardjono, M.Sc, Ph.D selaku dosen pembimbing saya. Terima kasih atas waktu yang telah diluangkan untuk memberikan pengarahan, memberikan masukan, diskusi, serta persetujuan sehingga saya mampu menyelesaikan makalah skripsi ini dengan baik.
- Kedua orang tua saya serta adik-adik saya yang telah memberikan dukungan baik secara moral maupun material.
- Rekan satu penelitian saya, Diana Beauty dan Rian Bastian, yang telah bersedia berdiskusi dan saling mendukung satu sama lain selama proses penyelesaian makalah skripsi ini.
- Teman-teman Teknik Kimia 2007 yang selalu memperhatikan dan mendukung saya untuk dapat menyelesaikan makalah skripsi ini dengan baik.

Akhirnya, saya berharap Allah SWT berkenan membalas semua kebaikan yang saya peroleh dari berbagai pihak yang telah membantu saya. Semoga skripsi ini dapat memberikan kontribusi dan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta peningkatan daya saing bangsa Indonesia.

Depok, 4 Januari 2011

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Riezqa Andika
NPM : 0706270043
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 Laju Alir Umpan Dan pH Pada Penyisihan Amonia Dari Air Limbah Menggunakan Kontaktor Membran Serat Berongga Dengan Larutan Penyerap Asam Sulfat”

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 4 Januari 2011

Yang menyatakan,

(Riezqa Andika)

ABSTRAK

Nama : Riezqa Andika
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Pengaruh Laju Alir Umpan dan pH Pada Penyisihan Amonia Dari Air Limbah Menggunakan Kontaktor Membran Serat Berongga dengan Larutan Penyerap Asam Sulfat

Kontaktor membran serat berongga menawarkan solusi yang superior untuk pemisahan amonia karena dapat melakukan pemisahan amonia dari air limbah dalam waktu singkat bahkan dengan memasukkan energi yang rendah serta menghemat tempat. Penelitian ini menggunakan membran dengan serat berjumlah 16 dengan variasi laju alir umpan 3 Lpm, 4 Lpm, dan 5 Lpm serta variasi pH absorber 2, 1, dan 0,7. Dapat terlihat semakin tinggi laju alir dan semakin asam pH maka penyisihan akan berlangsung semakin baik.

Kata kunci:

Kontaktor membran serat berongga, bahan alami, laju alir umpan

ABSTRACT

Name : Riezqa Andika
Study Program : Chemical Engineering
Judul : Effect of Feed Flow Rate and pH on Ammonia Separation from Wastewater Using Hollow Fiber Membrane Contactor with Sulfuric Acid Absorber

Hollow fiber membrane contactors offer a superior solution for the separation of ammonia because it can perform the separation of ammonia from wastewater in a short time even with low energy enter and save space. This study uses membranes with fiber number 16 with variation of feed flow (3 Lpm, 4 Lpm, and 5 Lpm) and absorber pH (2, 1, and 0,7). It can be seen that the separation will better in high feed flow and acid pH.

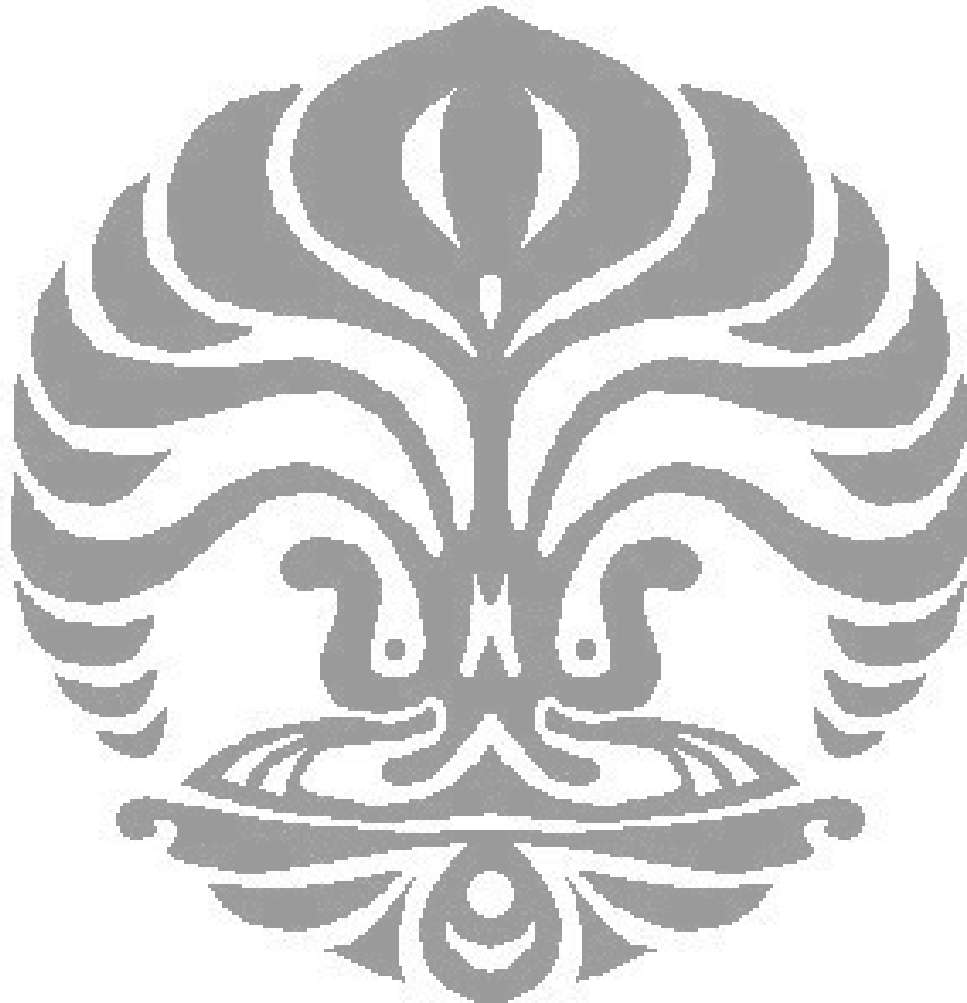
Key words:

Hollow fiber membrane contactor, natural substance, feed flow rate

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pernyataan Orisinalitas	ii
Halaman Pengesahan	iii
Kata Pengantar	iv
Halaman Pernyataan Persetujuan Publikasi	v
Abstrak	vi
Daftar Isi	vii
Daftar Gambar	ix
Daftar Tabel	x
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	5
1.6 Sistematika Penulisan	5
Bab 2 Tinjauan Pustaka	7
2.1 Ammonia	7
2.2 Teknologi Penyisihan Amonia	8
2.3 Absorpsi	9
2.4 Teknologi Membran	12
2.4.1 Membran Polipropilena	14
2.4.2 Kontaktor Membran	16
2.4.3 Kontaktor Membran Serat Berongga	17
2.5 Distilasi Membran	22
2.6 Koefisien Perpindahan Massa	24
2.7 <i>State of the Art</i>	27
Bab 3 Metodologi Penelitian	29
3.1 Pendahuluan	29
3.2 Diagram Alir Penelitian	29
3.3 Prosedur Penelitian	30
3.3.1 Studi Literatur	30
3.3.2 Pembuatan Modul Kontaktor Membran Serat Berongga	31
3.3.2.1. Pembuatan Larutan Asam Sulfat 0,1 M	31
3.3.3 Penyusunan Alat	31
3.3.4 Uji Perpindahan Massa	32
3.3.5 Analisis Data dan Penulisan Laporan	33
3.4 Alat dan Bahan	33
Bab 4 Hasil dan Pembahasan	35

4.1 Pendahuluan	35
4.2 Studi Perpindahan Massa	35
4.2.1 Penelitian	36
Bab 5 Kesimpulan dan Saran	43
Daftar Referensi	44
Lampiran	46

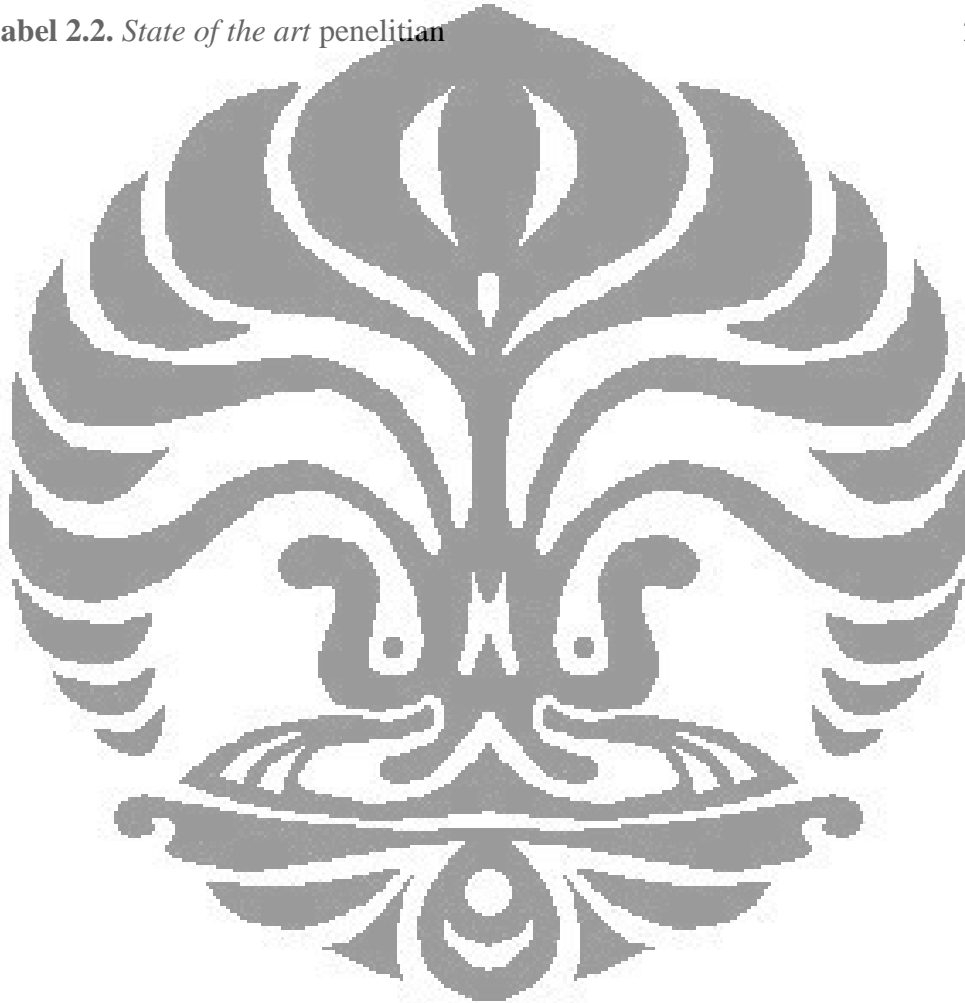


DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Struktur ammonia	7
Gambar 2.2. Kurva kesetimbangan absorpsi	11
Gambar 2.3. Perpindahan massa pada membran	13
Gambar 2.4. Skema aliran membran: (a) <i>dead-end</i> dan (b) <i>cross-flow</i>	14
Gambar 2.5. Struktur molekul polipropilena	15
Gambar 2.6. Struktur molekul polipropilena ataktik	15
Gambar 2.7. Struktur molekul polipropilena isotaktik	16
Gambar 2.8. Variasi kontakor membran: a. kontakor gas-cair; b. kontakor cair-gas; c. kontakor cair-cair	17
Gambar 2.9. Kontakor membran serat berongga	18
Gambar 3.1. Diagram alir penelitian	30
Gambar 3.2. Skema rancangan alat penelitian	31
Gambar 4.1. Grafik k vs laju alir pada pH 1	36
Gambar 4.2. Grafik k_{ov} vs pH pada laju alir 5 Lpm	36
Gambar 4.3. Grafik efisiensi vs waktu pada pH 1	38
Gambar 4.4. Grafik efisiensi vs waktu pada laju alir 5 Lpm	38
Gambar 4.5. Grafik fluks vs waktu pada pH 1	39
Gambar 4.6. Grafik fluks vs waktu pada laju alir 5 Lpm	40
Gambar 4.7. Grafik $\log Sh$ vs $\log Re$ pada pH 1	41
Gambar 4.8. Grafik Sh vs Re pada pH 1	42

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Baku mutu air limbah untuk industri berdasar Kepmen LH No. KEP-51/MENLH/10/1995	1
Tabel 1.2. KEP-122/MENLH/2004 tentang Perubahan atas Keputusan Meneg LH No. KEP-51/MENLH/10/1995	2 9
Tabel 2.1. Perbandingan teknologi penyisihan amonia	
Tabel 2.2. <i>State of the art</i> penelitian	27-28



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keberadaan industri merupakan sesuatu yang vital bagi sebuah negara. Namun, proses-proses industri juga memberikan dampak negatif berupa limbah pencemar yang salah satunya adalah amonia. Amonia tergolong ke dalam bahan kimia berbahaya karena bersifat korosif dan dapat menyebabkan kerusakan jaringan badan. Selain itu, amonia walaupun dalam konsentrasi rendah berdampak buruk pada kehidupan di lingkungan air karena meningkatkan eutrofikasi. Hal ini menyebabkan efek domino yang pada akhirnya mempengaruhi keseimbangan hidup manusia. Oleh karena itu pemerintah membuat regulasi mengenai baku mutu kadar amonia pada air limbah yakni Kepmen LH No. KEP-51/MENLH/10/1995.

Tabel 1.1. Baku mutu air limbah untuk industri berdasar Kepmen LH No. KEP-51/MENLH/10/1995

Parameter	Konsentrasi (mg/L)
COD	100-300
BOD	50-150
Minyak nabati	5-10
Minyak mineral	10-50
Zat Padat Tersuspensi (TSS)	200-400
pH	6,0-9,0
Temperatur	38-40 (^o C)
Amonia Bebas (NH ₃)	1,0-5,0
Nitrat (NO ₃ -N)	20-30
Senyawa Aktif Biru Metilen	5,0-10
Sulfida (H ₂ S)	0,05-0,1
Fenol	0,5-1,0
Sianida (CN)	0,05-0,5

Peraturan Pemerintah No. 18 Tahun 1999 menyatakan bahwa limbah B3 (bahan beracun dan berbahaya) didefinisikan sebagai sisa suatu usaha dan atau kegiatan yang mengandung bahan berbahaya dan atau beracun yang karena sifat dan atau konsentrasinya dan atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan atau merusakkan lingkungan hidup dan atau membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lain. Oleh karena itu perlu dikeluarkan regulasi baru yang mengatur baku mutu limbah amonia yang banyak ditemukan pada industri pembuatan pupuk. Untuk melindungi lingkungan dari pencemaran terutama industri pupuk dengan kadar limbah amonia yang dihasilkan mencapai 180 sampai 250 ppm, Kementrian Negara Lingkungan Hidup mengeluarkan pembaruan peraturan baku mutu lingkungan untuk limbah cair bagi kegiatan industri yakni KEP-122/MENLH/2004.

Tabel 1.2. KEP-122/MENLH/2004 tentang Perubahan atas Keputusan Meneg.LH No. KEP-51/MENLH/10/1995

Parameter	Pupuk Nitrogen		Amonia
	Pupuk Urea	Lain	
	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	0,25
Minyak dan Lemak	0,30	0,30	0,03
NH ₃ -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	15m ³ per ton produk	15m ³ per ton produk	15m ³ per ton produk

Amonia terlarut dapat dihilangkan dari air dengan menggunakan berbagai metode, yaitu metode kimia, fisika, dan metode hibrida (gabungan metode kimia dan fisika). Metode fisika yang digunakan, seperti *thermal degassing*, *vacuum degassing* atau *nitrogen bubble deaeration*, secara tradisional terjadi pada *packed towers*. Kelemahan dari metode ini adalah biaya operasi yang tinggi, membutuhkan tempat yang besar, dan memiliki luas permukaan per unit volume yang kecil (Gabelman dan Hwang, 1999).

Absorpsi oleh membran serat berongga berpori mikro (*microporous hollow fiber membran*) menawarkan solusi yang superior untuk masalah ini karena dapat melakukan pemisahan amonia dari air limbah dalam waktu singkat bahkan dengan masukkan energi yang rendah serta menghemat tempat. Teknologi pemisahan ini sedang berkembang untuk mengatasi permasalahan yang ada pada kolom konvensional.

Proses pemisahan amonia terlarut dari air dengan menggunakan kontaktor membran serat berongga merupakan proses absorpsi dan prinsipnya cukup sederhana. Prinsip dasar sistem membran sebagai kontaktor adalah tidak terjadi dispersi dari satu fase ke fase lainnya atau tidak terjadi kontak langsung antara kedua fase (tidak terjadi kontak antara fase gas dan cair). Perpindahan massa terjadi dikarenakan adanya gaya pendorong (*driving force*) seperti perbedaan konsentrasi (Mulder, 2000). Perpindahan massa yang terjadi sangat bergantung pada jenis membran, bentuk modul, sifat-sifat fluida, dan karakteristik aliran fluida di dalam modul. Jadi, gas amonia terlarut dalam air yang berada pada bagian selongsong (*shell side*) akan berdifusi ke dinding luar membran lalu berdifusi melewati pori-pori membran dan masuk ke dinding dalam membran sehingga akan berada di bagian dalam membran (*lumen tube side*) kemudian akan berdifusi ke larutan penyerap.

Pelarut yang digunakan dalam proses pemisahan amonia ini adalah asam sulfat karena asam sulfat merupakan senyawa asam yang bersifat reaktif terhadap amonia yang bersifat basa, sehingga diharapkan amonia yang terpisahkan dari selongsong akan bereaksi dengan asam sulfat yang berada dalam serat membran membentuk amonium sulfat yang dapat digunakan sebagai pereaksi bahan kimia atau

penggunaan lainnya. Di samping itu asam sulfat merupakan asam kuat yang dalam air akan terionisasi sempurna sehingga tidak akan melewati membran dan berpindah ke selongsong yang mengandung amonia. Di samping itu asam sulfat lebih cocok digunakan dengan membran polipropilena dibandingkan asam lainnya karena tidak bersifat oksidator kuat yang dapat merusak membran polipropilena.

Membran yang digunakan sebagai kontaktor cair-cair dalam penelitian ini merupakan membran serat berongga (*hollow fiber membran*), yang terbuat dari polipropilena. Serat membran dari polipropilena ini merupakan membran organik yang berpori dan bersifat hidrofobik agar air tidak membasahi membran saat terjadi proses kontak. Air diharapkan tidak ikut berdifusi karena dapat menurunkan koefisien perpindahan massa amonia secara drastis.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah seberapa besar efektivitas amonia terlarut dalam air yang dapat dipisahkan oleh larutan penyerap air asam sulfat dengan variabel bebas yang digunakan laju alir umpan (air limbah) dan pH larutan penyerap.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efektivitas larutan penyerap asam sulfat dalam proses penyisihan amonia terlarut dalam air limbah dengan laju alir umpan tertentu dan pH larutan penyerap tertentu. Studi yang dilakukan akan melihat pengaruh laju alir umpan terhadap karakteristik perpindahan massa hasil pemisahan amonia terlarut dalam air limbah melalui kontaktor membran.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk melakukan pengolahan limbah yang mengandung amonia dalam skala *batch* agar kualitas limbah tersebut memenuhi baku mutu lingkungan yang telah ditetapkan serta tidak berbahaya terhadap lingkungan. Penelitian ini merupakan awal *roadmap* untuk meningkatkan hingga skala pilot dan

industri. Penggunaan teknologi ini dapat diaplikasikan pada industri pupuk, tekstil, penyamakan kulit, serta rumah potong.

1.5 Batasan Masalah

Perancangan modul dalam penelitian ini menggunakan parameter-parameter sebagai berikut sebagai acuan dasar :

- Modul yang digunakan adalah membran serat berongga dari polimer polipropilena yang bersifat hidrofobik.
- Variabel proses yang divariasikan adalah laju alir umpan dan pH larutan penyerap.
- Variabel tetap dalam penelitian ini adalah parameter-parameter yang ada, panjang serat membran, diameter serat membran, dan diameter kontaktor.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan tugas penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan tentang definisi membran kontaktor, teori-teori pendukung mengenai proses absorpsi, keuntungan proses, dan teori tentang amonia meliputi baku mutu limbah amonia serta bahaya limbah amonia.

BAB 3 METODE PENELITIAN

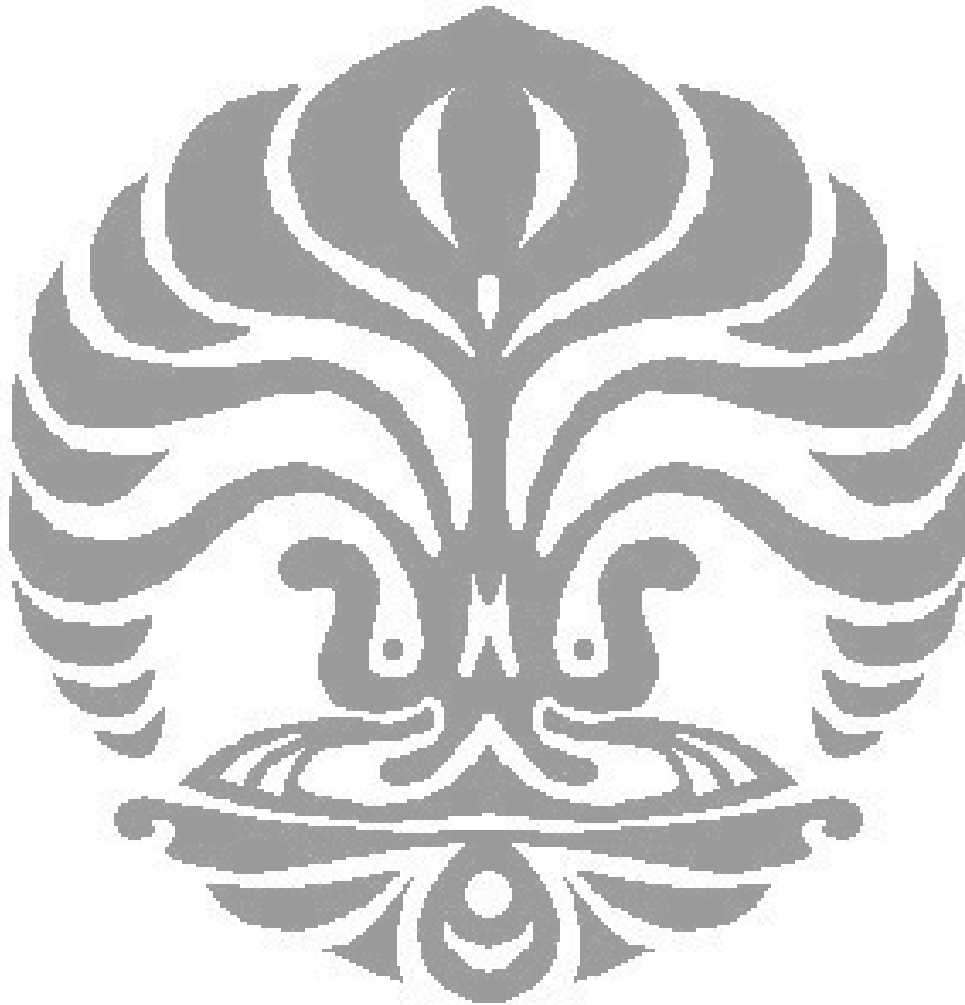
Bab ini menguraikan tahapan penelitian yang akan dilakukan, diagram alir prosedur penelitian, skema rangkaian alat, tahapan operasi, serta studi perpindahan massa.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi analisis dan pembahasan dari hasil penelitian berupa data yang diperoleh.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari analisis dan pembahasan dari hasil penelitian.



BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

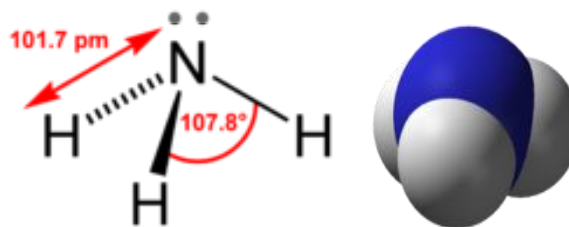
2.1 Amonia

Gas amonia adalah suatu gas yang tidak berwarna, dan menimbulkan bau yang sangat kuat. Dalam udara, amonia dapat bertahan kurang lebih satu minggu. Gas amonia dapat masuk melalui pernapasan dan dapat mengakibatkan iritasi yang kuat terhadap sistem pernapasan. Karena sifatnya yang iritasi, polutan ini dapat merangsang proses peradangan pada saluran pernapasan bagian atas yaitu saluran pernapasan mulai dari hidung hingga tenggorokan. Pada tingkatan tertentu gas amonia dapat menyebabkan gangguan pada fungsi paru-paru dan sensitivitas indera penciuman.

Amonia yang terlarut dalam lingkungan perairan merupakan masalah besar karena dapat membahayakan kesehatan manusia dan merusak lingkungan. Dalam air, amonia amat mudah terdekomposisi menjadi ion amonium dengan persamaan reaksi sebagai berikut:



Dimana NH_3 adalah amonia yang tidak larut, NH_4^+ adalah amonia yang terionkan (ion amonium). Pada air dengan temperatur 0°C dan pH 6, hampir semua amonia membentuk ion amonium. Hanya 0,01% amonia saja yang berada dalam bentuk tak terionkan. Sedang pada temperatur 30°C dan pH 10, sebanyak 89% amonia berada dalam bentuk tak terionkan.



Gambar 2.1. Struktur amonia

Amonia yang digunakan secara komersial dinamakan amonia anhidrat. Istilah ini menunjukkan tidak adanya air pada bahan tersebut. Karena amonia mendidih di suhu $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$, cairan amonia harus disimpan dalam tekanan tinggi atau temperatur amat rendah. Walaupun begitu, kalor penguapannya amat tinggi sehingga dapat ditangani dengan tabung reaksi biasa di dalam sungkup asap

2.2 Teknologi Penyisihan Amonia

Penyisihan produk amonia dicapai melalui refrijerasi mekanis atau absorpsi/distilasi. Pilihan dibuat dengan membandingkan biaya tetap dan operasi. Biasanya, refrijerasi lebih ekonomis pada tekanan operasi 100 atm atau lebih. Pada tekanan rendah, absorpsi/distilasi lebih disukai. Perbandingan dua metode ini disajikan pada Tabel 2.1.

Meminimalkan jumlah amonia di gas daur ulang dari proses amonia adalah sebuah topik yang menarik. Biasanya konsentrasi amonia daur ulang adalah 3-4%, tetapi mengurangi jumlah ini menjadi 1,5% dapat meningkatkan kapasitas pabrik sebesar 2,5%. Namun, pemisahan tambahan seringkali dapat mewakili tambahan yang signifikan terhadap biaya modal dari pabrik dan mungkin tidak ekonomis untuk penyesuaian kembali (tergantung pada tekanan operasi). Namun, pengurangan konsentrasi amonia di daur ulang dapat ditinjau kembali untuk sebuah proyek dimana keuntungan kapasitas dapat direalisasikan dengan investasi tambahan.

Penurunan konsentrasi amonia di aliran daur ulang pabrik yang ada biasanya terhambat oleh diperlukannya biaya energi yang tinggi untuk absorpsi air. Norsk Hydro (Norwegia) mengembangkan metode untuk mengurangi konsentrasi amonia daur ulang mendekati 0,5% melalui absorpsi oleh glikol (DEG). Proses ini dapat dipasang dalam tekanan loop tinggi ($> 100\text{ atm}$) dan dalam kombinasi dengan unit kondensasi. Biaya pemasangan dikatakan lebih rendah daripada sistem refrijerasi mekanik.

Tabel 2.1. Perbandingan teknologi penyisihan amonia

Kondensasi	Absorpsi
Biaya energi tinggi saat tekanan loop rendah (dibawah 100 atm)	Biaya energi hampir selalu konstan tidak bergantung pada tekanan operasi, dan lebih murah dibanding kondensasi dibawah 100 atm
Biaya tetap yang tinggi saat tekanan operasi diatas 100 atm	Biaya tetap hampir selalu konstan tidak bergantung pada tekanan operasi, dan lebih murah dibanding kondensasi dibawah 100 atm
Lebih ekonomis pada tekanan operasi tinggi (di atas 100 atm)	Lebih ekonomis pada tekanan operasi rendah dibanding kondensasi
Konsumsi energi di siklus refrijerasi	Konsumsi energi tidak efisien di proses distilasi
Proses yang sederhana dengan condenser dan separator	Proses lebih rumit dengan absorber, kolom distilasi, pompa, reboiler, condenser, dan akumulator reflux. Instrumentasi lain yang terkait juga rumit
Tidak ada kemungkinan keracunan katalis	Ada kemungkinan keracunan katalis karena oksigen di absorben

2.3 Absorpsi

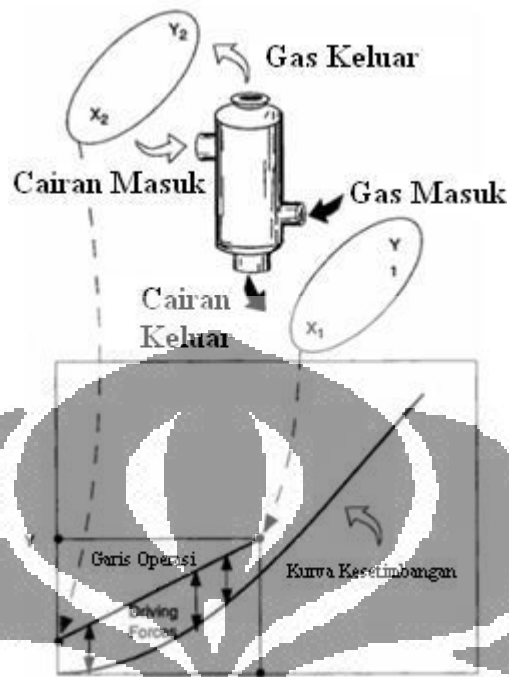
Secara sederhana absorpsi gas merupakan suatu proses untuk menyerap gas yang dikontakan dengan cairan, dimana cairan ini disebut dengan larutan penyerap (absorben). Selama proses absorpsi, molekul dari zat yang diabsorbsikan masuk ke antara molekul bahan penyerap yang hasilnya akan terjadi sistem yang homogen. Hal ini berarti kepekatan dari molekul yang diserap di dalam bahan absorpsi tersebar

merata sepanjang bahan absorpsi tersebut. Absorpsi biasanya dilakukan untuk tujuan tertentu (Bergeyk, 1981) yaitu:

1. Memperoleh zat yang bernilai tinggi dari suatu campuran gas dan atau uap.
2. Mengeluarkan campuran tambahan yang tidak diinginkan dari produk yang berbentuk gas.
3. Pembentukan persenyawaan kimia dari suatu bahan absorpsi dan suatu komponen tertentu dari campuran gas.

Kecepatan absorpsi dalam suatu penyerapan gas oleh cairan dipengaruhi oleh (Bergeyk, 1981):

1. Afinitas atau gaya tarik yang dilakukan oleh suatu zat cair tertentu.
2. Suhu, dimana sifat dapat larut gas dalam cairan menurun pada suhu yang lebih tinggi.
3. Tekanan gas, dimana pada tekanan gas yang lebih tinggi akan larut lebih banyak gas pada tiap jumlah zat cair.
4. Permukaan kontak antara zat cair dan gas, untuk mendorong absorpsi gas dalam zat cair maka permukaan kontak antara gas dan zat cair harus dibuat sebesar mungkin. Makin besar permukaan kontak makin cepat absorpsi berlangsung.
5. Selisih kepekatan antara kepekatan gas dalam campuran gas dan kepekatan gas dalam zat cair penyerap. Makin besar selisih kepekatan ini maka makin cepat pula terjadi pengangkutan gas yang akan diserap ke zat cair penyerap.



Gambar 2.2. Kurva kesetimbangan absorpsi

Pemilihan solven umumnya dilakukan sesuai dengan tujuan absorpsi, yakni diantaranya:

- Jika tujuan utama operasi untuk menghasilkan larutan yang spesifik, maka solven ditentukan berdasarkan sifat produk.
- Jika tujuan utama adalah menghilangkan kandungan tertentu dari gas, maka ada banyak pilihan yang mungkin.

Terdapat beberapa hal lainnya yang perlu kita pertimbangkan dalam memilih solven, yaitu:

- Kelarutan gas harus tinggi sehingga meningkatkan laju absorpsi dan menurunkan kuantitas solven yang diperlukan. Umumnya pelarut yang memiliki sifat yang sama dengan bahan terlarut akan mudah dilarutkan.
- Volatilitas; Pelarut harus memiliki tekanan uap yang rendah karena jika gas yang meninggalkan kolom absorpsi jenuh dengan pelarut, maka akan ada banyak solven yang terbuang. Jika diperlukan, kita dapat menggunakan cairan

pelarut kedua, yaitu yang volatilitasnya lebih rendah untuk menangkap porsi gas yang teruapkan.

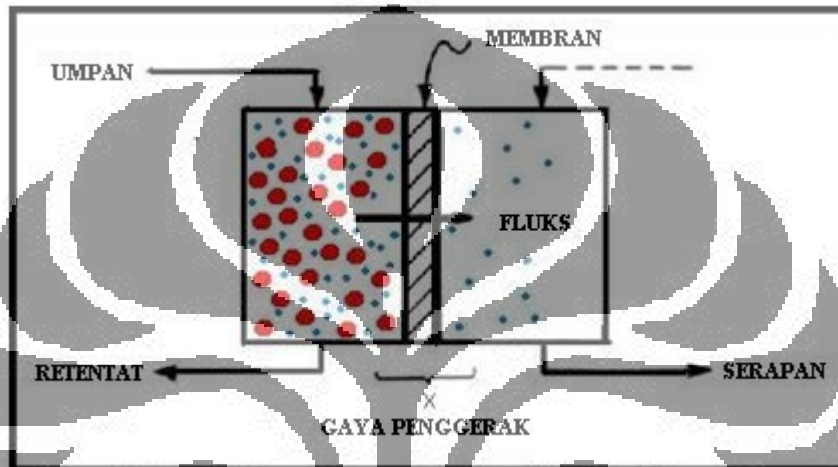
- Korosifitas material bangunan menara dan isinya sedapat mungkin tidak dipengaruhi oleh sifat solven. Solven atau pelarut yang korosif dapat merusak menara dan oleh sebab itu memerlukan material menara yang mahal atau tidak mudah dijumpai (untuk *maintenance* perlu dipertimbangkan material lokal) dan karenanya kurang disukai
- Harga; Serperti juga sudah sedikit dibahas di bagian sebelum ini, penggunaan solven yang mahal dan tidak mudah ter-*recovery* akan meningkatkan biaya operasi menara absorber.
- Ketersediaan pelarut di dalam negri akan sangat mempengaruhi stabilitas harga pelarut dan biaya operasional secara keseluruhan.
- Viskositas pelarut yang rendah amat disukai karena akan terjadi laju absorbs yang tinggi

2.4 Teknologi Membran

Definisi membran secara umum adalah suatu penghalang selektif di antara dua fase, dimana suatu spesi molekul dapat melalui membran sedangkan spesi molekul lainnya tidak. Pemisahan terjadi karena ukuran pori membran hanya dapat dilalui oleh molekul yang mempunyai ukuran tertentu (lebih kecil dari pori membran) sedangkan molekul yang ukurannya lebih besar tidak dapat melewati membran. Selain itu, pemisahan juga terjadi dikarenakan adanya perbedaan ukuran pori membran, sifat molekul tersebut, maupun sifat membran itu sendiri (Mulder, 1997).

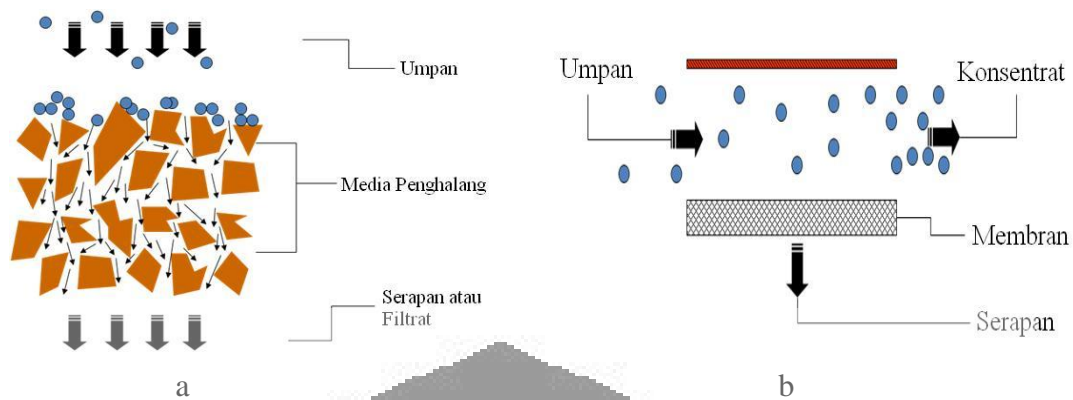
Laju perpindahan massa pada membran ditentukan oleh permeabilitasnya di dalam membran dan gaya pendorong atau gaya penggerak (*driving force*) yang bekerja pada molekul tersebut, yang dapat berupa perbedaan tekanan, konsentrasi, temperatur di antara fluida pada membran, dan potensial listrik antara larutan pada bagian luar membran dengan larutan yang berada pada bagian dalam membran. Perpindahan massa dalam membran dengan pengaruh *driving force* dapat dilihat pada Gambar 2.3. Besar laju perpindahan komponen-komponen yang akan dipisahkan sebanding

dengan besarnya gaya penggerak yang ada. Permeabilitas membran ditentukan oleh konsentrasi dan mobilitas komponen dalam struktur membran. Ketebalan suatu membran juga sangat mempengaruhi derajat permeabilitas dari membran. Semakin tebal membran, maka tahanan terhadap perpindahan massanya semakin besar sehingga laju permeasi yang diperoleh rendah.



Gambar 2.3. Perpindahan massa pada membran
(Mulder, 1997)

Secara umum, jenis aliran umpan yang melalui membran dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu aliran *dead-end* dan aliran *cross-flow* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4. Aliran *dead-end* adalah jenis aliran dimana aliran umpan tegak lurus dengan membran dan tidak terdapat aliran keluaran partikel yang tertolak membran, sehingga akan menyebabkan akumulasi pada permukaan membran yang semakin lama semakin tebal (pembentukan *cake*), yang dapat mengakibatkan laju permeasi akan berkurang. Sementara itu, aliran *cross-flow* adalah jenis aliran dimana aliran umpan sejajar dengan permukaan membran. Aliran ini paling sering digunakan di industri karena lebih fleksibel dan pencucian membran tidak terlalu sering.



Gambar 2.4. Skema aliran membran: (a) *dead-end* dan (b) *cross-flow*

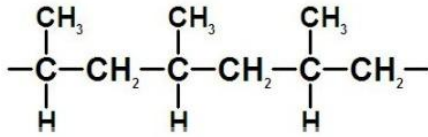
2.4.1 Membran Polipropilena

Pada umumnya membran yang digunakan dalam proses industri dapat dibagi menjadi dua jenis bahan, yaitu membran biologis dan membran sintetik. Membran biologis merupakan membran yang penting bagi kehidupan karena setiap sel hidup pasti memiliki membran di dalamnya, sedangkan membran sintetik merupakan membran yang terbuat baik dari bahan organik maupun bahan anorganik.

Pada penelitian kali ini, membran yang digunakan adalah membran sintetik yang terbuat dari salah satu jenis polimer, yaitu polipropilena. Penggunaan polipropilena sebagai membran pada penelitian ini berdasarkan pada sifat hidrofobik yang dimilikinya sehingga air tidak bisa membasahi membran secara spontan (Mulder, 1997). Polipropilena adalah polimer dari salah satu produk utama vinil polimer yang memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap pelarut dengan konfigurasi isotaktik. Dengan demikian, ia memiliki kristalinitas yang tinggi. Kristalinitas ini dipengaruhi oleh regularitas dari struktur. Kristalinitas polipropilena yang tinggi menyebabkan polipropilena memiliki ketahanan kimia yang baik, karena dengan terdapatnya kristalit-kristalit pada matriks polimer, polipropilena menjadi cukup sulit untuk melarutkan zat (*insoluble*) dan reagen-reagen kimia menjadi sulit untuk masuk ke dalamnya.

Polipropilena juga memiliki titik leleh yang cukup tinggi, yaitu 160°C (320°F), yang menyebabkannya memiliki stabilitas termal yang baik. Pada Gambar 2.5,

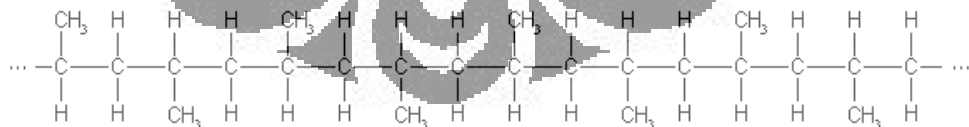
terlihat struktur molekul dari polipropilena yang merupakan rantai propilena yang berulang.



Gambar 2.5. Struktur molekul polipropilena
(Wikimedia Foundation Inc., 2009)

Polipropilena termasuk ke dalam salah satu senyawa *vinyl polymer*. Sebagian besar *vinyl polymer* dibentuk melalui polimerisasi Ziegler-Natta. Alasan digunakannya polimerisasi Ziegler-Natta adalah karena pada polimerisasi radikal bebas, maka jenis polimer yang akan terbentuk ialah polipropilena ataktik. Sedangkan dengan menggunakan polimerisasi Ziegler-Natta maka akan menghasilkan polipropilena isotaktik. Sebagian besar polimer komersial yang beredar di pasaran merupakan polimer isotaktik.

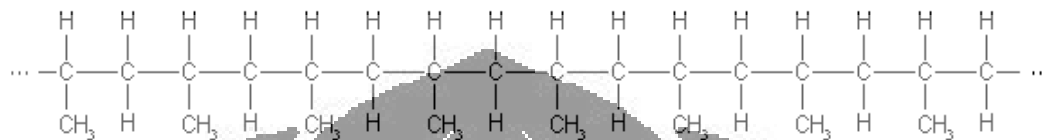
Polipropilena ataktik merupakan jenis polimer yang tergolong lemah karena polimer yang terbentuk merupakan bentuk amorf dengan susunan rantai yang tidak beraturan. Lain halnya dengan polipropilena isotaktik yang memiliki susunan rantai yang teratur, yaitu semua cabang metil terdapat pada sisi rantai yang sama seperti terlihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Struktur molekul polipropilena ataktik
(Wikimedia Foundation Inc., 2009)

Polipropilena isotaktik, seperti yang terlihat pada Gambar 2.7., memiliki karakteristik yang kuat dikarenakan memiliki bentuk kristal. Akan tetapi, gugus metil

pada sisi samping polipropilena dapat mempengaruhi beberapa aspek kimia seperti karbon tersier yang menyebabkan polipropilena menjadi kurang stabil jika terdapat oksigen karena mudah teroksidasi, sehingga perbedaan susunan rantai pada polipropilena akan mempengaruhi karakteristik dari polipropilena itu sendiri.



Gambar 2.7. Struktur molekul polipropilena isotaktik
(Wikimedia Foundation Inc., 2009)

Sifat-sifat dari polipropilena isotaktik diantaranya:

1. Memiliki densitas yang lebih kecil ($0,9 \text{ g/cm}^3$).
2. Mempunyai *softening point* yang lebih tinggi dan dapat dipakai pada suhu tinggi.
3. Polipropilena terhindar dari proses *cracking* oleh lingkungan, kecuali jika terdapat sulfur dan asam kromat.
4. Memiliki tingkat kekuatan yang tinggi.

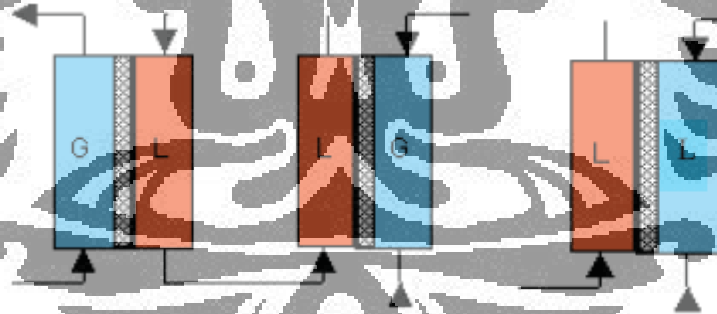
2.4.2 Kontakor Membran

Kontaktor membran adalah suatu alat yang melibatkan proses perpindahan massa gas-cair atau cair-cair tanpa terjadi dispersi antar fasa. Kontakor membran efektif untuk memisahkan atau menambahkan gas ke dalam air. Dengan desain kontakor yang baik, maka koefisien perpindahan massa dapat dioptimalkan dan dapat menurunkan *pressure drop*. Fungsi utama dari kontakor membran yaitu (Sengupta, 1998):

1. Membuat fasa gas-cair tidak bergerak di dalam permukaan *porous membran* karena efek kombinasi tegangan permukaan dan adanya perbedaan tekanan.
2. Memperbesar luas permukaan kontak dengan membran yang sama sehingga perpindahan massanya menjadi besar.

Proses pemisahan ditentukan dari koefisien distribusi komponen dalam dua fasa. Peran membran disini adalah sebagai alat penghubung (kontaktor). Secara umum membran tidak meningkatkan perpindahan massa tapi meningkatkan luas area per volume. *Packed and tray column* diketahui memiliki luas area per volume sekitar 30-300 m²/m³. Dengan menggunakan kontaktor membran, maka luas area per volumenya dapat mencapai 1600 – 6600 m²/m³. Keuntungan lain dari penggunaan kontaktor membran adalah dapat menghindari gangguan yang biasa terjadi di kolom absorpsi konvensional, seperti *flooding* dan *unloading* serta fasa yang terdispersi (<http://www.cheresources.com>, 2009).

Suatu perbedaan fasa gas-cair (G-L) dan cair-cair (L-L) akan terbentuk dalam kontaktor membran dan akan terpisah secara baik oleh kontaktor membran. Dalam (L-L) semua fasa ialah cairan, sedangkan dalam (G-L) kontaktor satu fasa, yaitu gas atau uap dan fasa lain adalah cairan. Kontaktor membran (G-L) dapat mengatur proses gas atau uap yang akan dipindahkan dari fasa cair ke fas gas. Gambar 2.8. adalah variasi kontaktor membran.



Gambar 2.8. Variasi kontaktor membran: a. kontaktor gas-cair; b. kontaktor cair-gas; c. kontaktor cair-cair

(Mulder, 2000)

2.4.3 Kontaktor Membran Serat Berongga

Penggunaan kontaktor membran serat berongga merupakan proses membran yang relatif baru. Kontaktor membran serat berongga, yang memiliki struktur seperti gambar 2.9., menggunakan membran serat berongga (*hollow fiber*) sebagai pemisah

antar fasa satu dengan fasa lainnya. Struktur modul membran serat berongga mirip dengan modul kapiler tetapi yang berbeda adalah dimensinya. 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 akan dibentuk menjadi bundel dan dilipat setengah dengan konfigurasi kepadatan pengepakan yang paling tinggi mencapai $30000 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Distribusi air umpan berupa tabung plastik terperforasi (*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 (4-8 inci) yang terdapat dalam *shell* silinder dengan panjang kurang lebih 137 cm (54 cm) dan diameter 15-30 cm (6-12 inci). Keseluruhan proses penggabungan tersebut disebut sebagai permeator.



Gambar 2.9. Kontaktor membran serat berongga
(Fried Wiesler, Membrana, 2003)

Unit *hollow fibre* dapat beroperasi pada aliran non-turbulen atau laminar dan juga dapat digunakan dengan berbagai orientasi aliran (berlawanan arah atau searah) dan flat vertikal ataupun horizontal. Modul serat berongga membutuhkan umpan air dengan kualitas yang lebih baik (konsentrasi padatan yang rendah) dibandingkan konfigurasi modul *spiral wound* karena sangat rentan terhadap *fouling* akibat banyaknya lubang (atau rongga) pada modul ini. Modul ini juga tidak tahan terhadap tekanan dan temperatur tinggi.

Keunikan dari kontaktor ini adalah membran yang digunakan tidak selektif dan non-dispersif sehingga tidak memengaruhi koefisien partisi. Dengan kontaktor ini, perbedaan konsentrasi merupakan gaya penggerak (*driving force*) yang paling berpengaruh dalam proses pemisahan jika dibandingkan dengan perbedaan tekanan sehingga hanya diperlukan perbedaan tekanan yang kecil pada membran untuk membuat interfasa gas-cair berada tetap tidak bergerak pada mulut pori.

Kinerja perpindahan massa pada kontaktor membran serat berlubang akan bergantung pada serat membran dan modulnya, sifat-sifat fluida, karakteristik aliran di dalam modul membran dan media yang digunakan (Ahmed dkk., 2004). Namun kelemahan yang sering dialami dalam teknologi membran adalah terjadinya penutupan permukaan membran karena adanya polarisasi konsentrasi (*fouling*) yang dapat mengurangi efisiensi dan umur operasi membran sehingga dalam pengoperasiannya dalam industri biaya periodik penggantian membran juga harus diperhitungkan (Gableman dan Hwang, 1999).

Kontaktor membran adalah proses pemisahan dengan membran menggunakan membran sebagai alat kontak. Ada dua jenis kontaktor membran yaitu kontaktor membran gas-cair dan kontaktor membran cair-cair. Jika membran hidrofobik yang digunakan, maka cairan tidak akan membasahi pori sehingga pori akan diisi oleh gas (*non-wetted membran*). Sebaliknya jika digunakan membran hidrofilik maka cairan akan membasahi pori sehingga pori akan diisi oleh cairan (*wetted membran*) (Mulder, 1996).

Prinsip dasar sistem membran sebagai kontaktor adalah tidak terjadinya dispersi dari suatu fasa ke fasa lainnya atau tidak terjadi kontak langsung antara kedua fasa. Pelarut dialirkan pada sisi membran yang satu sedangkan fluida yang memiliki komponen yang akan dihilangkan dialirkan pada sisi membran lainnya. Perpindahan masa terjadi dikarenakan adanya gaya pendorong (*driving force*) seperti perbedaan konsentrasi dan perbedaan tekanan (Mulder, 2000).

Membran yang digunakan untuk kontaktor membran biasanya bersifat hidrofobik seperti polipropilena. Polimer ini memiliki kemampuan untuk melewatkan uap atau gas melalui membran dan menolak fasa cair untuk melewati membran. Komponen

volatil ditransportasikan melalui membran dan dibawa oleh gas atau secara langsung diabsorb oleh cairan yang tepat (asam) yang mengalir sepanjang *interface* membran. *Driving force* untuk penyisihan amonia dengan kontaktor membran cair-cair adalah perbedaan tekanan parsial antara umpan dan cairan pengabsorb. 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 (Norddahl dkk., 2006).

Fungsi utama membran dalam kontaktor membran serat berongga adalah untuk menciptakan luas permukaan kontak yang sangat besar di dalam modul sehingga proses perpindahan massa yang terjadi akan lebih efisien. Selain itu membran serat berongga juga digunakan untuk membuat fasa kontak gas cair pada pori membran tidak bergerak dengan kombinasi efek tegangan permukaan dan perbedaan tekanan pada tiap fasa.

Keuntungan kontaktor membran serat berongga sebagai kontaktor gas-cair dibandingkan dengan peralatan separasi konvensional antara lain yaitu (Gabelman, 1999):

1. Sistem kontak bersifat non-dispersif sehingga memudahkan kontrol terpisah dari laju alir fasa gas dan cairan.
2. Tidak diperlukan adanya perbedaan densitas antar fluida karena kontaktor membran dapat mengakomodir fluida dengan densitas yang sama dan sekaligus dapat dioperasikan pada berbagai orientasi (vertikal atau horizontal, baik searah maupun berlawanan arah).
3. Tidak terjadi pembentukan emulsi (*foaming*) karena tidak ada dispersi antar fluida.
4. Luas permukaan yang ada tidak mempengaruhi variasi laju alir (baik tinggi maupun rendah) karena kedua aliran tidak bergantung satu sama lain. Hal ini merupakan suatu kelebihan yang vital dalam proses industri ketika rasio pelarut terhadap umpan yang diperlukan sangat tinggi ataupun sangat rendah. Jika kondisi yang sama diterapkan dalam kolom ber-*packing* maka dapat terjadi *flooding* pada saat laju alir gas terlalu tinggi relatif terhadap laju alir

air, sebaliknya bila laju alir gas terlalu rendah relatif terhadap laju alir air maka dapat terjadi *unloading*.

5. Efisiensi yang diperoleh lebih tinggi (dengan pengukuran *HTU-Height of Transfer Unit* yang rendah).
6. Luas permukaan kontak yang lebih besar daripada separasi konvensional, kira-kira dapat memberikan luas permukaan 30 kali lebih besar daripada *gas absorber* dan 500 kali lebih besar daripada kolom ekstraksi cair-cair.
7. Penskalaan hasil lebih linier sehingga peningkatan kapasitas dapat diprediksi secara sederhana dengan hanya menambahkan modul membran (dibatasi oleh spesifikasi peralatan pendukung seperti pompa transfer, perpipaan, dan lain-lain).
8. Tidak terjadi pemborosan pelarut sehingga efisien dan efektif dalam pemanfaatan pelarut.
9. Kontakor membran juga dapat meningkatkan batas konversi kesetimbangan reaksi kimia dengan proses sirkulasi kandungan reaktor melalui kontakor menggunakan pelarut ekstraksi atau gas desorpsi produk dapat diambil sehingga reaksi kesetimbangan akan bergeser ke arah kanan (produk).
10. Tidak memiliki bagian yang bergerak sehingga memudahkan perawatan dan pemeliharannya.
11. Desain modularnya memperbolehkan pengaplikasian *plant* membran dalam lingkup kapasitas yang sangat luas. Baik kapasitas yang kecil maupun besar dapat dicapai dengan mudah dengan menggunakan sedikit atau banyak modul membran.
12. Biaya perawatannya rendah jika dibandingkan dengan unit operasi lainnya.
13. Kondisi operasi bebas mikroorganisme (operasi aseptik) akan menguntungkan untuk proses seperti fermentasi.

Akan tetapi kontakor membran serat berongga juga memiliki berbagai kelemahan, diantaranya (Gabelman, 1999):

1. Memiliki umur tertentu sehingga biaya periodik pergantian membran juga perlu diperhitungkan.

2. Untuk membran serat berongga jenis polimer, hanya dapat beroperasi pada rentang temperatur yang tidak terlalu tinggi karena dapat merusak membran. Selain itu juga tidak tahan terhadap kondisi yang terlalu asam atau basa.
3. Adanya membran menambah tahanan lain pada perpindahan massa, yaitu tahanan membran itu sendiri. Akan tetapi tahanan ini tidak terlalu penting dan dapat dilakukan usaha untuk meminimalkan tahanan tersebut
4. Dapat terjadi *fouling* walaupun tidak sebesar pada kontakor dengan *driving force* gradien tekanan. Selain itu, polarisasi konsentrasi (penumpukan komponen-komponen yang memiliki konsentrasi tinggi pada permukaan membran) pada permukaan membran juga memengaruhi kekotoran pada membran sehingga kinerja operasi membran akan menurun. Kekotoran ini dipengaruhi oleh tipe pemisahan dan tipe membran yang digunakan. Berikut ini adalah tiga tipe pengotor pada peristiwa *fouling* (Mulder, 1997) :
 - a. Endapan organik (makromolekul, zat-zat biologis dan lain-lain)
 - b. Endapan anorganik (garam kalsium, hidroksi logam dan lain-lain)
 - c. Partikulat

Untuk mengatasi *fouling* pada membran dapat digunakan metode koagulasi dan *backwash*.

5. Efisiensinya berkurang karena adanya aliran *bypass* dalam *shell* (*shell-side bypassing*) sehingga ada sebagian fluida dalam *shell* yang tidak kontak dengan membran. Oleh karena itu, aliran lebih baik dibuat menjadi turbulen.
6. Jumlah tahapan kesetimbangan dibatasi oleh penurunan tekanan.
7. Pemakaian *adhesive*/ perekat (seperti epoksi) untuk menahan "buntelan" serat pada *tube* kemungkinan mudah rusak oleh pelarut organik.

2.5 Distilasi Membran

Dalam beberapa tahun terakhir, distilasi membran telah menarik banyak perhatian untuk menghilangkan senyawa volatil seperti amonia karena kebutuhan energinya yang rendah. Selain itu distilasi membran juga memiliki potensi untuk daur ulang dan penggunaan ulang air limbah industri, dan dapat sangat bermanfaat

untuk aliran air limbah yang memiliki suhu tinggi namun memiliki tingkat komponen organik volatil dan amonia yang rendah.

Proses distilasi membran adalah proses termal dan hanya molekul uap yang dapat melalui membran hidrofobik mikropori. Membran bertindak sebagai penghambat untuk memisahkan larutan umpan (sisi panas) dari permeat (sisi dingin) yang berisi fasa cair maupun gas (Banat dan Simandi, 1998). Sifat hidrofobik dari membran mikropori mencegah cairan memasuki porinya, dan menjaga lapisan interfasa yang terbentuk di lubang masuk ke pori-pori. Perbedaan konsentrasi dan suhu di lubang masuk pori menghasilkan gradien tekanan uap, yang merupakan *driving force* untuk molekul uap dari senyawa yang lebih volatil untuk bermigrasi dari umpan ke sisi permeat membran. Di sisi permeat, molekul yang bermigrasi akan dikondensasikan atau dipindahkan pada fasa uap tergantung pada konfigurasi (El-Bourawi et al., 2006, 2007; Lawson dan Lloyd, 1996, 1997).

Ada empat konfigurasi distilasi membran yang umum dikenal: *direct contact*, *air gap*, *sweep gas*, dan *vacuum*. Berbagai konfigurasi distilasi telah ditelaah secara luas (Alklaibi dan Lior, 2004; Burgoyne dan Vahdati, 2000; El-Bourawi et al., 2006; Lawson dan Lloyd, 1997; Qin et al., 1996). Teknologi membran lain yang telah diuji untuk penyisihan amonia adalah distilasi membran osmotik (Wang et al., 2004) dan pèrvaporasi (Banat dan Simandi, 1996).

Amonia dalam larutan air ada dalam dua bentuk: molekul amonia volatil NH_3 dan ion NH_4^+ . Hanya molekul amonia volatil yang disisihkan oleh distilasi membran. Jumlah amonia yang dapat disisihkan tergantung pada pH dan suhu (El-Bourawi et al., 2007). Peningkatan pH membalikkan reaksi disosiasi amonia untuk menghasilkan amonia yang lebih volatil dalam larutan air. Peningkatan temperatur juga menghasilkan amonia yang lebih volatil dalam larutan air. Hal ini karena kelarutan amonia menurun dengan meningkatnya temperatur, sehingga tekanan uap total lebih tinggi. Untuk larutan amonia 10% berat, tekanan uap total meningkat dari 12,1 kPa pada 20 °C ke 48,3 kPa pada 50 °C (Salavera et al., 2005). Selain itu, peningkatan konsentrasi amonia dalam air juga meningkatkan tekanan uap total larutan. Pada 20

°C, tekanan uap meningkat dari 12,1 ke 148,8 kPa, ketika konsentrasi amonia ditingkatkan dari 10 ke 40% berat (Salavera et al., 2005).

Penyisihan amonia dari larutan air dengan distilasi membran *sweep gas* terdiri dari tiga resistensi perpindahan massa yang ada di sisi umpan, membran itu sendiri, dan sisi permeat (Ding et al., 2006). Perpindahan ini juga termasuk difusi amonia dari *bulk* umpan ke interfasa membran, di sepanjang pori membran gas dan dari fasa *bulk* permeat. Perpindahan massa amonia lebih rumit dengan adanya disosiasi amonia. Untuk penghapusan amonia dengan distilasi membran, *driving force* untuk perpindahan amonia di sepanjang membran adalah perbedaan dari tekanan parsial amonia pada setiap sisi membran (Cussler, 2000). Molekul amonia dapat disisihkan langsung pada interfasa membran, tetapi ion amonia NH_4^+ harus terlebih dahulu direaksikan dengan hidroksida untuk membentuk molekul amonia sebelum mereka dapat disisihkan. Reaksi 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 et al., 1990). Laju alir umpan yang tinggi meningkatkan laju difusi OH^- terhadap permukaan membran, sehingga meningkatkan efisiensi penyisihan amonia. Setelah laju difusi OH^- dan laju disosiasi mencapai tingkat optimal, kecuali ada perubahan dalam sifat membran dan kondisi operasi, maka akan dicapai penyisihan amonia maksimum.

2.6 Koefisien Perpindahan Massa

Perpidahan amonia melewati tiap satuan serat membran dapat dituliskan dengan persamaan berikut:

$$v_L \left(-\frac{dC_L}{dz} \right) = K.a.(C_L - C^*) \quad (2.2)$$

Tekanan amonia pada fasa gas sama dengan tekanan amonia pada serat sehingga konsentrasi amonia dalam fasa gas pada serat (C^*) cenderung konstan dan sangat kecil dan dapat diabaikan. Pada laju alir gas yang sangat kecil didalam serat penurunan tekanan sepanjang serat dapat diabaikan dan asumsi tekanan konstan. Jika

pengaruh konsentrasi amonia terlarut (C_L) konstan maka batas kondisi $C_L = C_1$ pada $z=0$ dan $C_L = C_2$ pada $Z=L$ diaplikasikan maka integrasi persamaan akan menghasilkan persamaan:

$$\begin{aligned}
 \int_{C_L=C_1 \rightarrow \text{pada } z=0}^{C_L=C_2 \rightarrow \text{pada } z=L} -\frac{dC_L}{(C_L - C^*)} &= \int_{z=0}^{z=L} \frac{K.a.L}{v_L} dz \\
 \left[\ln(C_L - C^*) \right]_0^L &= \frac{K.a.L}{v_L} \\
 \ln\left(\frac{C_1 - C^*}{C_2 - C^*}\right) &= \frac{K.a.L}{v_L} \\
 \ln\left(\frac{C_2 - C^*}{C_1 - C^*}\right) &= -\frac{K.a.L}{v_L} \\
 \left(\frac{C_2 - C^*}{C_1 - C^*}\right) &= \exp\left(-\frac{K.a.L}{v_L}\right) \\
 C_2 - C^* &= (C_1 - C^*) \cdot \exp\left(-\frac{K.a.L}{v_L}\right) \\
 C_2 &= C^* + (C_1 - C^*) \cdot \exp\left(-\frac{K.a.L}{v_L}\right) \quad (2.3)
 \end{aligned}$$

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:

$$V \left(-\frac{dC_1}{dt} \right) = Q.C_1 - Q.C_2 \quad (2.4)$$

Substitusi nilai C_2 dari persamaan (2.2) di atas dan pengaturan ulang menghasilkan persamaan berikut ini:

$$\begin{aligned} \frac{dC_1}{dt} &= \frac{Q}{V} \left[C^* + (C_1 - C^*) \cdot \exp\left(-\frac{K \cdot a \cdot L}{v_L}\right) - C_1 \right] \\ \frac{dC_1}{dt} &= \frac{Q}{V} \left[(C_1 - C^*) \cdot \exp\left(-\frac{K \cdot a \cdot L}{v_L}\right) - (C_1 - C^*) \right] \\ \frac{dC_1}{(C_1 - C^*)} &= \frac{Q}{V} \left[\exp\left(-\frac{K \cdot a \cdot L}{v_L}\right) - 1 \right] dt \end{aligned} \quad (2.5)$$

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

$$\begin{aligned} \int_{C_1=C_0 \rightarrow \text{pada } t=0}^{C_1=C \rightarrow \text{pada } t=t} \frac{dC_L}{(C_1 - C^*)} &= \int_{t=0}^{t=t} \frac{Q}{V} \left[\exp\left(-\frac{K \cdot a \cdot L}{v_L}\right) - 1 \right] dt \\ \ln\left(\frac{C - C^*}{C_0 - C^*}\right) &= \frac{Q}{V} \left[\exp\left(-\frac{K \cdot a \cdot L}{v_L}\right) - 1 \right] t \end{aligned} \quad (2.6)$$

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 (2.6)

$$\begin{aligned} \text{slope} &= \frac{Q}{V} \left[\exp\left(-\frac{K \cdot a \cdot L}{v_L}\right) - 1 \right] \\ K &= \frac{-v_L}{aL} \left[\ln\left(\frac{V(\text{slope})}{Q}\right) + 1 \right] \end{aligned} \quad (2.7)$$

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

- Waktu respon perhitungan amonia cukup cepat untuk mengawasi laju perubahan amonia secara akurat.
- Asumsi umpan konstan yang masuk ke dalam modul harus realistis dengan konsentrasi amonia 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.

2.7 State of the Art

Tabel 2.2. State of the art penelitian

Peneliti	Judul	Penelitian
Michael J. Semmens, D.M. Fister, dan E.L. Cussler	Amonia Removal from Water Using Microporous Hollow Fibers (1990)	Penyisihan amonia dengan serat berongga poli propilena menggunakan umpan yang pH-nya diatur dengan penambahan H ₂ SO ₄ dan NaOH.
B. Norddahl, V.G. Horna, M. Larssona, J.H. du Preezb, dan K. Christensen	A Membran Contactor for Amonia Stripping, Pilot Scale Experience and Modeling (2006)	Permodelan penyisihan amonia skala pilot dengan memvariasikan pH dan temperatur.
M.S. EL-Bourawi, M. Khayet, R. Ma, Z. Ding, Z. Lia, dan X. Zhang	Application of Vacuum Membran Distillation for Amonia Removal (2007)	Penyisihan amonia menggunakan vacuum membran distillation PTFE dengan variabel pengaturan laju alir umpan, konsentrasi awal amonia, temperatur umpan, pH umpan, dan tekanan <i>downstream</i> .
Shao Jiahui, Fang Xuliang, He Yiliang, dan Jin Qiang	Emergency Membran Contactor Based Absorption System for Amonia Leaks in Water Treatment Plants (2008)	Penyisihan amonia dalam kasus kebocoran dengan variabel pengaturan parameter proses, desain ruang penyimpanan amonia dan kombinasi membran-pelarut.

Tabel 2.2. Lanjutan

<p>Zongli Xie, Tuan Duong, Manh Hoang, Cuong Nguyen, dan Brian Bolto</p>	<p>Amonia Removal by Sweep Gas Membran Distillation (2008)</p>	<p>Penyisihan amonia menggunakan distilasi membran PTFE dengan variabel pengaturan laju alir umpan, laju alir gas penyapu, temperatur umpan, dan temperatur <i>inlet</i> gas penyapu.</p>
<p>Sutrasno Kartohardjono dan Riezqa Andika</p>	<p>Pengaruh Laju Alir Umpan dan pH Pada Penyisihan Amonia Terlarut Dari Air Limbah Melalui Kontaktor Membran Serat Berongga Menggunakan Larutan Penyerap Asam Sulfat</p>	<p>Penyisihan amonia terlarut dalam air limbah menggunakan kontaktor membran serat berongga dengan larutan penyerap air asam sulfat dengan variabel pengaturan laju alir umpan dan pH absorben.</p>

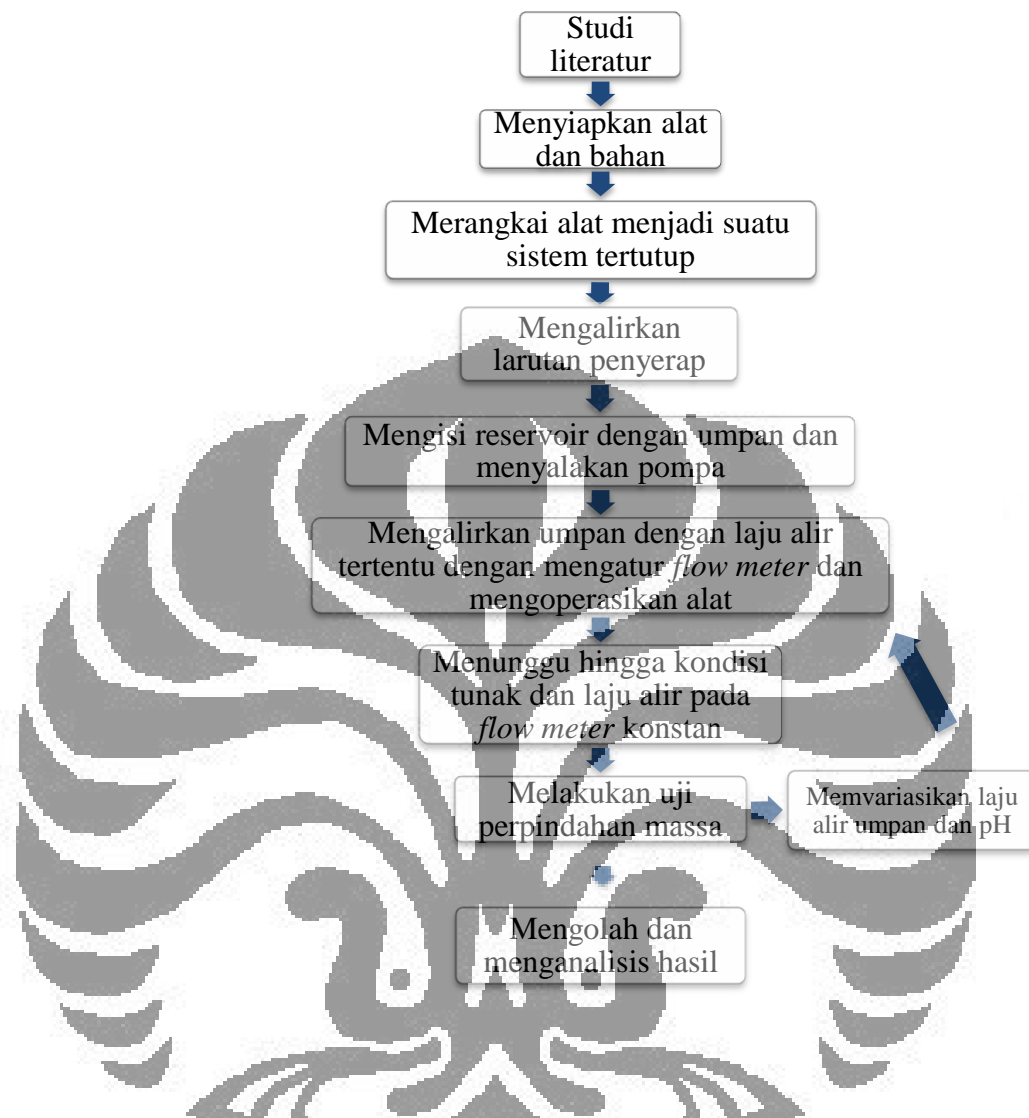
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pendahuluan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas penyisihan amonia menggunakan kontaktor membran serat berongga dengan larutan penyerap asam sulfat. Pada proses ini penyisihan amonia dilakukan dengan absorpsi dengan kontaktor membran serat berongga. Membran yang digunakan adalah polipropilena yang bersifat hidrofobik. Dalam penelitian ini akan dipelajari perpindahan massa yang terjadi pada membran serat berongga.

3.2 Diagram Alir Penelitian

Secara garis besar, penelitian yang dilakukan dibagi menjadi lima bagian besar, yaitu studi literatur, pembuatan modul kontaktor membran serat berongga, penyusunan alat, uji perpindahan massa, serta pengolahan data dan analisis hasil.



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Studi Literatur

Pada studi literatur dikumpulkan literatur mengenai teori-teori absorpsi oleh kontaktor membran serat berongga baik buku, jurnal, ataupun artikel. Teori yang utama adalah adalah proses absorpsi larutan penyerap melalui kontaktor membran serat berongga. Selain itu, dicari juga literatur mengenai teori dan persamaan-persamaan yang akan digunakan untuk laju perpindahan massa di dalam kontaktor.

3.3.2 Pembuatan Modul Kontaktor Membran Serat Berongga

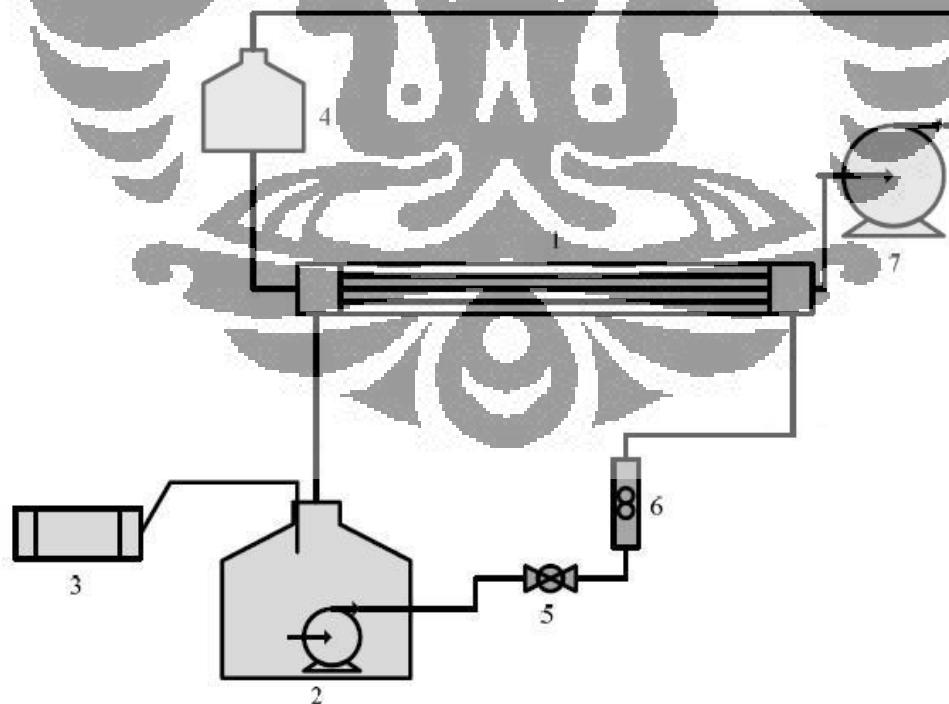
Pada pembuatan modul kontaktor, kontaktor dibeli dari pasaran sehingga pekerjaan yang harus dilakukan adalah merakit kontaktor dengan membran serat berongga dengan diameter dan jumlah serat tertentu sesuai dengan kebutuhan penelitian serta preparasi larutan penyerap asam sulfat. Panjang membran serat berongga tidak dapat divariasikan karena merupakan variabel yang bergantung dengan panjang kontaktor yang digunakan.

3.3.2.1. Pembuatan Larutan Asam Sulfat pH 0,7, 1, dan 2.

Pada penelitian ini larutan penyerap yang digunakan adalah larutan asam sulfat dengan pH 0,7, 1, dan 2 sebanyak 3 liter yang dibuat dari asam sulfat pekat dengan konsentrasi 36,39 N.

3.3.3 Penyusunan Alat

Skema rancangan alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.2. Skema rancangan alat penelitian

Keterangan:

1. Modul membran serat berongga polipropilena
2. Tangki reservoir amonia dan pompa amonia
3. Amonia-1000 meter
4. Tangki reservoir larutan penyerap
5. Valve
6. Flow meter
7. Pompa Peristatik

Amonia yang akan digunakan sebagai larutan untuk pengujian adalah limbah dari pabrik pupuk. Kemudian amonia ini dipompakan ke dalam shell yang laju alirnya diatur menggunakan valve yang dapat dibaca pada alat flowmeter. Kemudian langkah selanjutnya adalah mengalirkan larutan penyerap asam sulfat ke dalam tube (membran polipropilena). Membran polipropilena bersifat hidrofobik dan mempunyai pori, sehingga dengan adanya perbedaan konsentrasi gas amonia pada membran dan selongsong akan menyebabkan gas amonia dalam selongsong bergerak menuju pori-pori membran kemudian akan melewati pori-pori dan masuk ke bagian dalam serat membran yang kemudian diserap oleh larutan penyerap. Larutan amonia yang telah keluar dari selongsong yang ada dalam bak penampung diukur kembali konsentrasinya setiap 30 menit selama sirkulasi 2 jam. Pengambilan data konsentrasi dilakukan untuk setiap variasi laju alir sebanyak lima kali. Data pengurangan konsentrasi amonia dalam larutan akan digunakan untuk menentukan koefisien perpindahan massa dari penelitian ini.

3.3.4 Uji Perpindahan Massa

Dalam penelitian ini eksperimen yang akan dilakukan adalah absorpsi amonia terlarut dalam air melalui kontaktor membran serat berongga. Prinsip proses pemisahan menggunakan membran adalah air yang mengandung amonia terlarut dilewatkan di dalam kontaktor berisi membran, sehingga amonia akan dilewatkan melalui membran dan akan terpisah dari air pelarutnya. Perbedaan konsentrasi

amonia antara air dan larutan penyerap akan memberikan *driving force* untuk proses transfer amonia dari air melewati membran. Pada saat air memasuki kontraktor membran, terjadi perpindahan amonia dan seiring dengan bertambahnya waktu, konsentrasi amonia dalam bak penampung akan berkurang. Untuk menentukan jumlah amonia terlarut digunakan amonia meter.

3.3.5 Analisis Data dan Penulisan Laporan

Data perubahan konsentrasi amonia terlarut dalam air akan dibuat korelasi perpindahan massa sebagai fungsi karakteristik aliran cairan yang terjadi di dalam kontakor membran serat berongga.

3.4 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 : $0^{\circ}C - 50^{\circ}C$

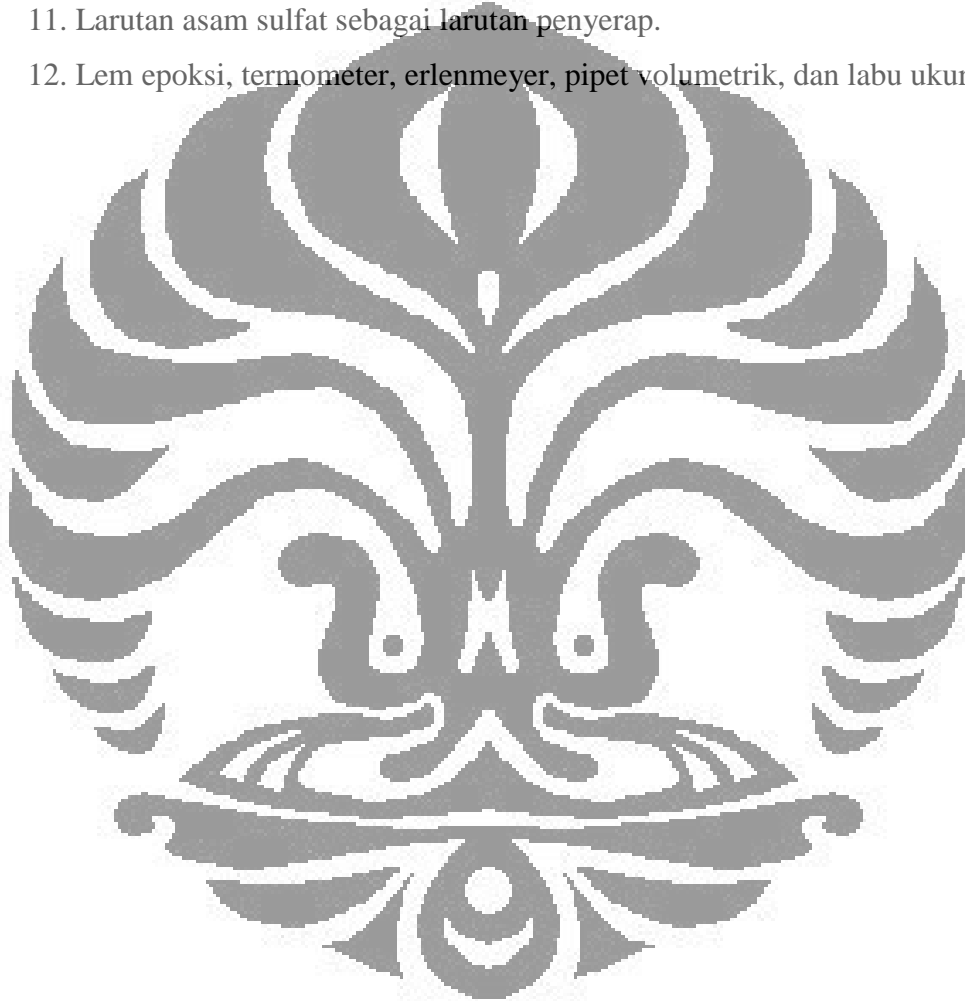
3. Pompa, digunakan untuk mengalirkan air dari reservoir menuju modul membran, dengan spesifikasi sebagai berikut:

- 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.
10. Air limbah sebagai umpan
11. Larutan asam sulfat sebagai larutan penyerap.
12. Lem epoksi, termometer, erlenmeyer, pipet volumetrik, dan labu ukur.



BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pendahuluan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas pemisahan amonia terlarut di dalam air oleh absorben asam sulfat melalui membran polipropilena yang dapat ditentukan dari studi perpindahan massa. Kinerja perpindahan massa pada kontaktor membran serat berlubang akan bergantung pada serat membran dan modulnya, sifat-sifat fluida, karakteristik aliran di dalam modul membran dan media yang digunakan (Ahmed dkk., 2004).

Untuk evaluasi kinerja membran dari studi perpindahan massa dinilai dari koefisien perpindahan massa yang terjadi dengan pengaruh laju alir dan pH yang divariasikan. Efektivitas pemisahan amonia terlarut dalam air melalui kontaktor membran serat berongga polipropilena dengan menggunakan larutan penyerap asam sulfat dapat dilihat dari koefisien perpindahan massa. Studi perpindahan massa ditinjau dari nilai koefisien perpindahan massa pada variasi laju alir dan pH.

Terdapat tiga variasi pH yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu 0,7, 1, dan 2. Jumlah serat yang digunakan untuk kontaktor adalah 16. Untuk memperoleh parameter perpindahan massa digunakan tiga variasi laju alir air untuk setiap kontaktor yaitu 3, 4, dan 5 Lpm.

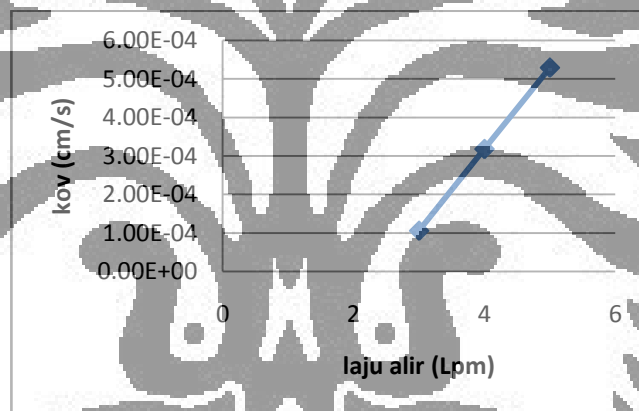
4.2 Studi Perpindahan Massa

Studi perpindahan massa dapat dilihat dari besaran koefisien perpindahan massa. Besaran koefisien perpindahan massa juga dapat dijadikan tolak ukur dari efektivitas proses pemisahan amonia dengan menggunakan larutan penyerap asam sulfat. Nilai koefisien perpindahan massa ini diperoleh dari pengolahan data perubahan konsentrasi amonia sebelum dan setelah melewati membran selama 2 jam sirkulasi dengan laju alir 3, 4, dan 5 Lpm dan serta pH 0,7, 1, dan 2 dalam selang waktu 30 menit selama 2 jam.

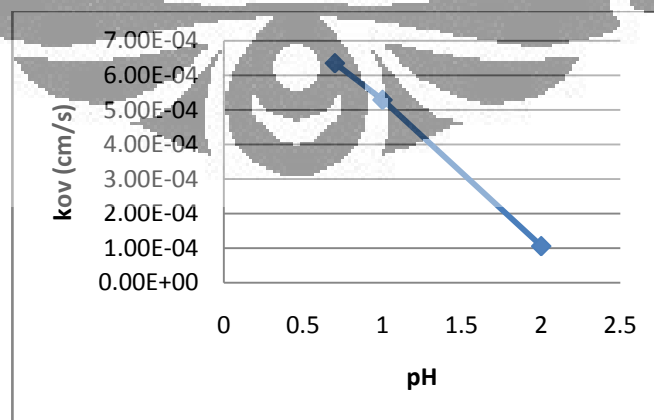
4.2.1 Penelitian

Perbedaan laju alir umpam 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.

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, 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 umpam 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 Grafik kov vs laju alir pada pH 1

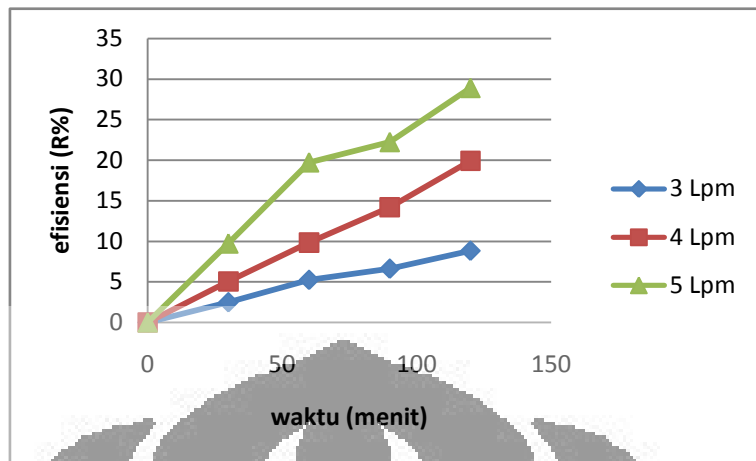


Gambar 4.2 Grafik kov vs pH pada laju alir 5 Lpm

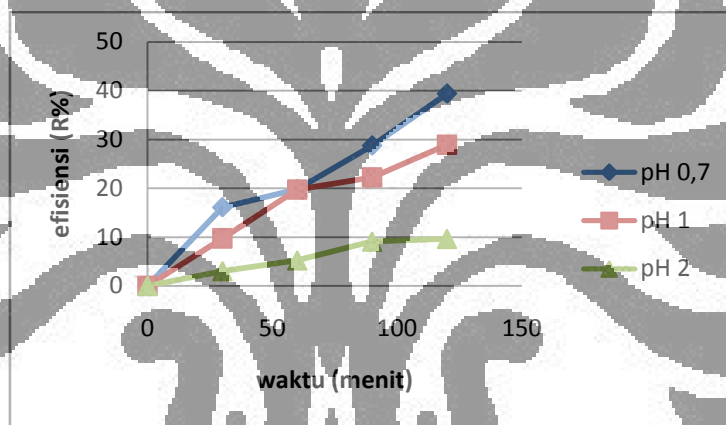
Berdasarkan Gambar 4.1 di atas, dapat diambil kesimpulan bahwa koefisien perpindahan massa untuk masing-masing laju alir akan semakin besar dengan meningkatnya laju alir. Semakin besar laju alir, semakin tinggi nilai Re (*Reynold number*)-nya atau alirannya akan semakin turbulen. Apabila alirannya semakin turbulen, kemampuan difusi amonia terlarut ke dalam membran akan semakin meningkat sehingga bisa dikatakan bahwa koefisien perpindahan massanya akan semakin tinggi.

Amonia dalam larutan air ada dalam dua bentuk: molekul amonia volatil NH_3 dan ion NH_4^+ . Hanya molekul amonia volatil yang disisihkan oleh distilasi membran. Jumlah amonia yang dapat disisihkan tergantung pada pH dan suhu (El-Bourawi et al., 2007). Peningkatan pH membalikkan reaksi disosiasi amonia untuk menghasilkan amonia yang lebih volatil dalam larutan air.

Berdasarkan Gambar 4.2 di atas, dapat diambil kesimpulan bahwa koefisien perpindahan massa untuk masing-masing pH akan semakin besar dengan asamnya larutan. Semakin asam larutan, semakin banyak amonia yang berpindah ke larutan penyerap asam sulfat dan bereaksi menjadi ammonium sulfat. Apabila absorben semakin asam, kemampuan difusi amonia akan semakin meningkat sehingga bisa dikatakan bahwa koefisien perpindahan massanya akan semakin tinggi. Hal ini dikarenakan semakin banyaknya asam H_2SO_4 yang akan membentuk $(NH_4)_2SO_4$ bersama-sama dengan NH_3 . Asam sulfat yang semakin banyak menggeser arah reaksi kesetimbangan ke sebelah kanan, sehingga makin banyak amonia yang dibutuhkan atau terkonversi menjadi ammonium sulfat.



Gambar 4.3 Grafik efisiensi vs waktu pada pH 1



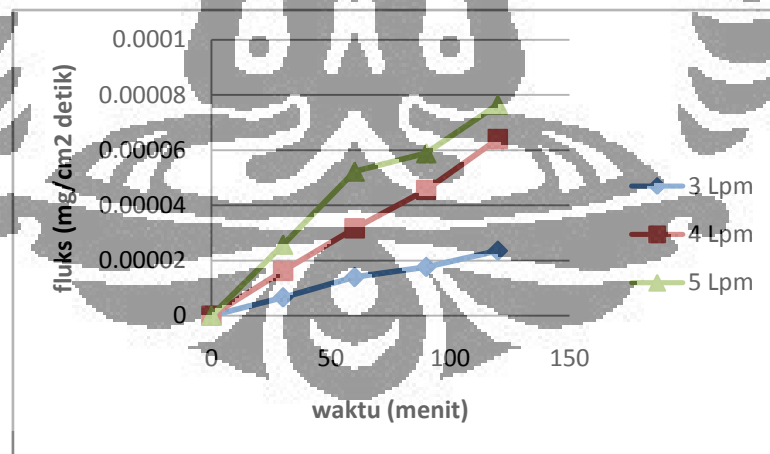
Gambar 4.4 Grafik efisiensi vs waktu pada laju alir 5 Lpm

Di dalam air, amonia terdisosiasi menjadi ion amonium yang tidak stabil yang ditunjukkan oleh Persamaan 4.1 berikut.

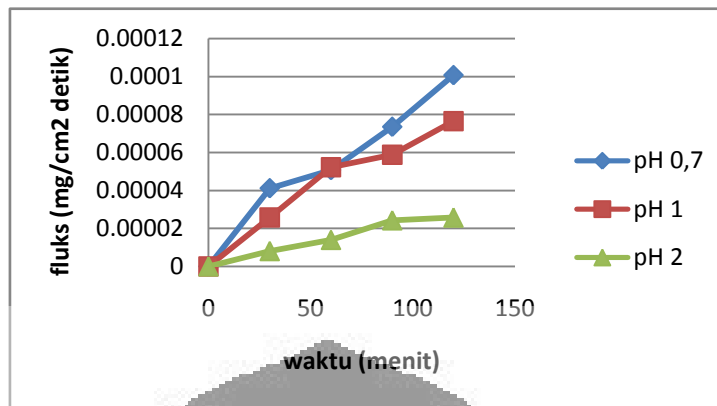


Baik ion gas amonia terlarut (NH_3) atau amonium (NH_4^+) atau keduanya kemungkinan ada terdapat dalam air buangan. Perpindahan massa amonia yang terjadi melalui membran maupun peralatan konvensional sangat dipengaruhi oleh ionisasi tersebut. Molekul amonia dapat langsung disisihkan dari antar muka membran, akan tetapi ion amonium (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. Hal ini sesuai dengan Gambar 4.3 dimana laju alir yang semakin tinggi akan meningkatkan efisiensi pemisahan. Namun ukuran pori membran yang terlalu kecil juga dapat mengakibatkan terhambatnya pemisahan amonia karena pori-pori membran tertutupi oleh ion-ion OH^- sehingga proses berjalan kurang maksimal. Hal yang sama juga terjadi pada keasaman larutan. Sesuai Gambar 4.4, efisiensi pemisahan akan meningkat seiring dengan keasaman larutan karena penyisihan yang terjadi akan semakin besar karena semakin banyaknya asam H_2SO_4 yang akan membentuk $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ bersama-sama dengan NH_3 akan menggeser reaksi kesetimbangan ke kanan dan mengkonversi lebih banyak NH_3 . Hal ini akan membuat efisiensi pemisahan lebih tinggi.



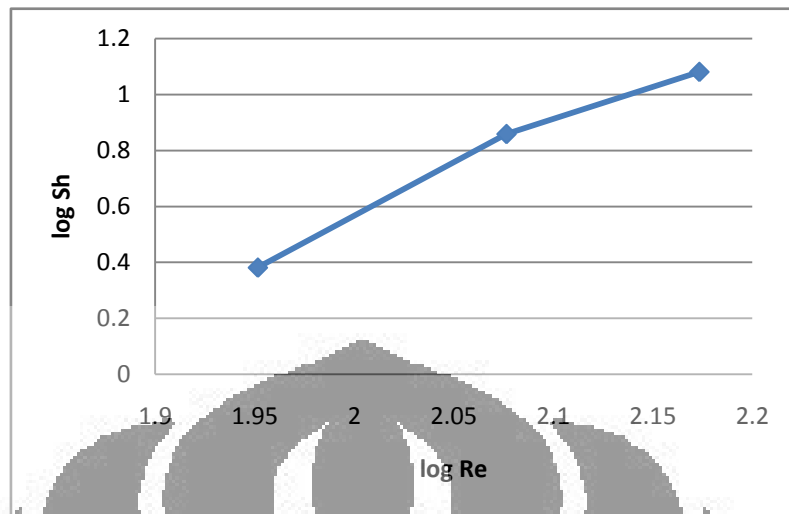
Gambar 4.5 Grafik fluks vs waktu pada pH 1



Gambar 4.6 Grafik fluks vs waktu pada laju alir 5 Lpm

Pada percobaan ini dibahas tentang pengaruh laju alir terhadap fluks yang dihasilkan. Berdasarkan Gambar 4.5 di atas terlihat bahwa semakin besar laju alir maka fluks akan semakin meningkat. Fluks merupakan banyaknya jumlah amonia terpisahkan per luas area membran persatuan waktu. Banyaknya jumlah berat amonia yang dipisahkan juga akan mempengaruhi nilai fluks. Hal ini sesuai dengan Gambar 4.5 dimana laju alir yang besar akan meningkatkan penyisihan ammonia. Laju alir yang besar pada sistem semi-batch akan membuat penyisihan jumlah berat amonia yang dipisahkan dan hal ini akan meningkatkan nilai fluks.

Berdasarkan Gambar 4.6 di atas terlihat bahwa semakin asam larutan maka fluks akan semakin meningkat. Hal ini dikarenakan semakin banyaknya asam H_2SO_4 yang akan membentuk $(NH_4)_2SO_4$ bersama-sama dengan NH_3 . Asam sulfat yang semakin banyak menggeser arah reaksi kesetimbangan ke sebelah kanan, sehingga makin banyak ammonia yang dibutuhkan atau terkonversi menjadi ammonium sulfat. Banyaknya jumlah berat amonia yang dipisahkan ini akan mempengaruhi nilai fluks. Hal ini sesuai dengan Gambar 4.6 dimana semakin asam larutan maka akan meningkatkan penyisihan ammonia.



Gambar 4.7 Grafik log Sh vs log Re pada pH 1

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 4.2 di bawah ini.

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

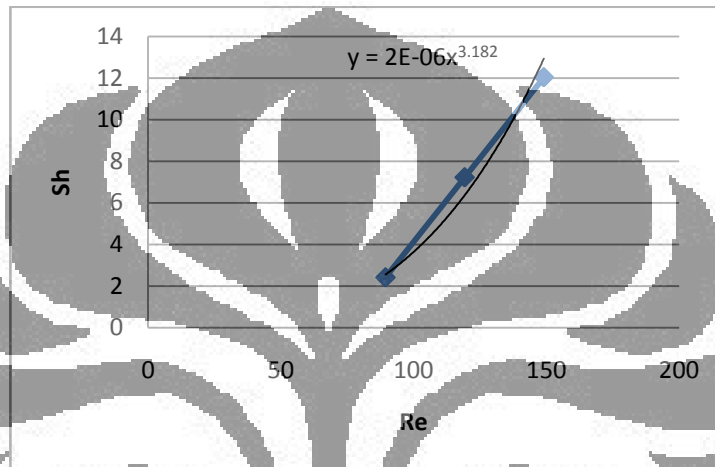
Nilai Reynolds diperoleh berdasarkan laju alir umpan sedangkan pengaruh bilangan Schmidt pada percobaan ini tidak dievaluasi. Nilai pangkat dari bilangan Schmidt diasumsikan konstan sesuai dengan literatur untuk korelasi perpindahan massa yaitu 1/3, sehingga persamaan dapat disederhanakan menjadi Persamaan 4.3.

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

Dari persamaan di atas, untuk menghindari pangkat dari koefisien b maka kedua sisi di log-kan dan menjadi Persamaan 4.4.

$$\log Sh = \log a' + b \log Re \quad (4.4)$$

Berdasarkan persamaan di atas, maka diplot antara log Re dan log Sh sehingga didapatkan Gambar 4.7. Berdasarkan gambar maka dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi laju alir maka semakin tinggi pula perpindahan massa. Hal ini adalah rangkuma kesimpulan setelah beberapa gambar grafik sebelumnya yang mengukur perpindahan massa dari variable laju alir.



Gambar 4.8 Grafik Sh vs Re pada pH 1

Untuk mencari nilai koefisien a' dan b diperlukan plot antara bilangan Sherwood dan bilangan Reynold seperti Gambar 4.8. Dari plot tersebut didapatkan garis yang akan dicari rumus persamaannya. Setelah itu didapatkan persamaan $y = 2 \times 10^{-6} x^{3,182}$. Hal ini berarti nilai koefisien a' adalah 2×10^{-6} dan nilai koefisien b adalah 3,182.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari pembahasan di atas adalah:

1. Amonia yang terdapat dalam air merupakan basa lemah yang tidak terionisasi sempurna oleh karena itu untuk meningkatkan efisiensi pemisahan amonia terlarut dalam air melalui kontaktor membran dapat dilakukan dengan merubah konstanta kesetimbangan fasa amonia terlarut dalam air ke arah pembentukan amonia itu sendiri guna meningkatkan efektivitas pemisahan.
2. Koefisien perpindahan massa pemisahan amonia terlarut dalam air terbesar didapatkan pada laju alir 5 Lpm dan pH 0,7 dengan nilai koefisien perpindahan massa mencapai 0,000635 cm/s.
3. Pada studi perpindahan massa, kenaikan laju alir atau kecepatan linier pelarut dan keasaman larutan penyerap akan meningkatkan nilai koefisien perpindahan massa.
4. Secara keseluruhan, peningkatan keasaman larutan penyerap dan laju alir umpan akan meningkatkan efisiensi pemisahan.

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Untuk meningkatkan efektivitas pemisahan dapat dilakukan dengan meningkatkan temperatur percobaan karena temperatur akan mengeser konstanta kesetimbangan ke arah pembentukan amonia, sehingga pemisahan akan semakin optimal.
2. Peningkatan laju alir dan waktu sirkulasi dapat dijadikan variasi untuk lebih melihat efektivitas pemisahan amonia terlarut dalam air melalui kontaktor membran serat berongga.

DAFTAR REFERENSI

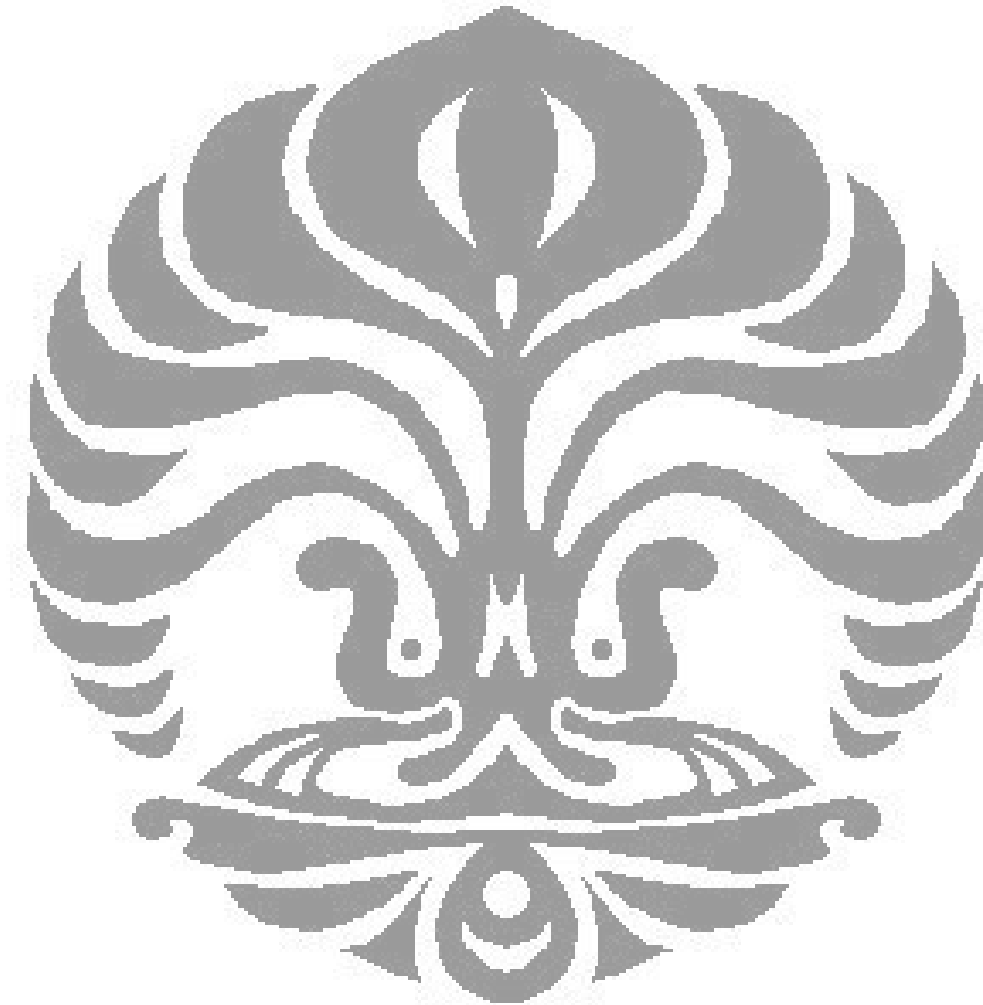
- Baker, R. W. 2004. *Membran Technology and Applications*. 2nd edition. Singapore: John Wiley & Sons (Asia) Pte. Ltd.
- Bird, R. B., Stewart, W. E., & Lightfoot, E. N. 1994. *Transport Phenomena*. Singapore: John Wiley & Sons (SEA) Pte. Ltd.
- Gabelman, A. & Sun-Tak Hwang. 1999. Hollow Fiber Membran Contactors. *J. Membr. Sci.* 159: 61 – 106.
- Kartohardjono, S. 2004. Pemindahan Oksigen Terlarut dari Air melalui Kontaktor Membran Tak Berpori via Proses Degassing Vakum. *Jurnal Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia*.
- Leiknes, T., & Semmens, M. J. 2000. Vacuum Degassing Using Microporous Hollow Fiber Membrans. *Sep. Purif. Technol.* 22 – 23: 287 – 294.
- Maxwell, Gary R. 2004. *Synthetic Nitrogen Products: A Practical Guide to the Products Processes*. New York: Kluwer Academic Publisher.
- Mulder, M. 1997. *Basic Principles of Membran Technology*. Netherlands: Kluwer Academic Publisher.
- Norddahl, B., Horn, V. G., Larsson, M., du Preez, J. H., dan Christensen, K., A membran contactor for amonia stripping, pilot scale experience and modeling, *Journal of Desalination*, 199 (2006), halaman 172-174.
- Peng, Zan-Guo, Swin-Hui Lee, Tong Zhou, Jyh-Jeng Shieh, Tai-Shung Chung. 2008. A Study on Pilot-Scale Degassing by Polypropylene (PP) Hollow Fiber Membran Contactors. *J. Desal.* 234: 316 – 322.
- T. Ahmed, M. J. Semmens, M. A. Voss, (2004), "Oxygen transfer characteristics of hollow-fiber, composite Membrans" *Advances in Environmental Research* 8, halaman 637-646.
- Tan, X. Y., Goksen Capar, & K. Li. 2005. Analysis of Dissolved Oxygen Removal in Hollow Fibre Membran Modules: Effect of Water Vapour. *J. Membr. Sci.* 251: 111 – 119.
- Wiesler, F. 2004. *Membran Contactors: Reduce Chemical Use and Blowdowns*. PennWell.

Wikimedia Foundation, Inc. Polypropylene. 2009.

<http://en.wikipedia.org/Polypropylene.html> [28 Maret 2010]

Yee, Foo Chwan. 2008. Hollow Fiber Membran.

<http://www.cheresources.com/hmembrans.shtml> [28 Maret 2010]



LAMPIRAN

1. Data Penelitian

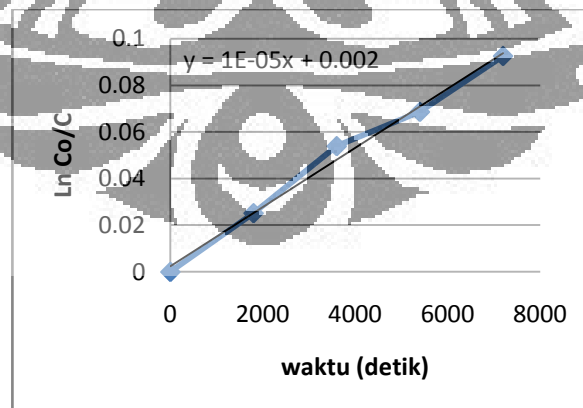
Waktu	3 Lpm, pH 1		4 Lpm, pH 1		5 Lpm, pH 1		5 Lpm, pH 2		5 Lpm, pH 0.7	
	50n	ppm	50n	ppm	50n	ppm	50n	ppm	50n	ppm
0	36.2	181	43.7	218.5	36	180	36.3	181.5	34.8	174
30	35.3	176.5	41.5	207.5	32.5	162.5	35.2	176	29.2	146
60	34.3	171.5	39.4	197	28.9	144.5	34.4	172	27.9	139.5
90	33.8	169	37.5	187.5	28	140	33	165	24.8	124
120	33	165	35	175	25.6	128	32.8	164	21.1	105.5

2. Data Perhitungan Koefisien Perpindahan Massa

Untuk menghitung koefisien perpindahan massa diperlukan slope perubahan konsentrasi ammonia. Slope ini diperoleh dari grafik hubungan $\ln C_0/C$ terhadap waktu. Berikut adalah data hasil perhitungan $\ln C/C_0$, serta grafik hubungan $\ln C/C_0$.

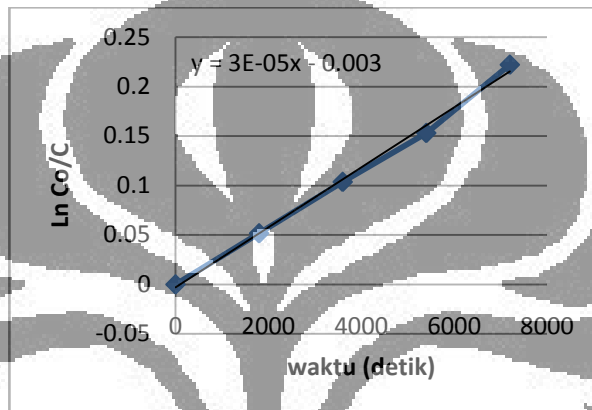
a. Laju Alir 3 Lpm, pH 1

Waktu (detik)	$\ln C_0/C$
0	0
1800	0.025176155
3600	0.053913765
5400	0.068598316
7200	0.092551557



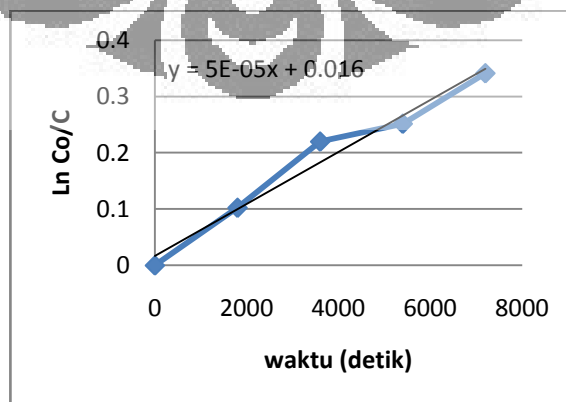
b. Laju Alir 4 Lpm, pH 1

Waktu (detik)	Ln Co/C
0	0
1800	0.051655
3600	0.103582
5400	0.153007
7200	0.222



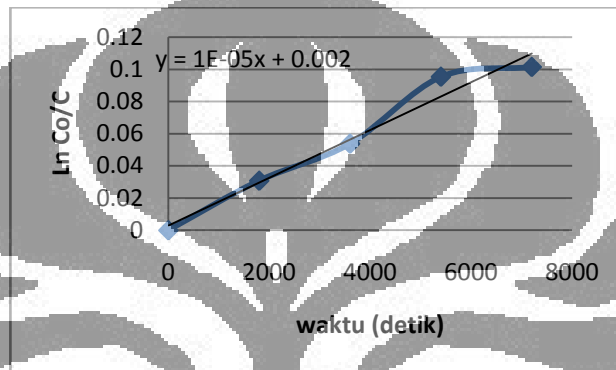
c. Laju Alir 5 Lpm, pH 1

Waktu detik)	Ln Co/C
0	0
1800	0.102279
3600	0.219677
5400	0.251314
7200	0.340927



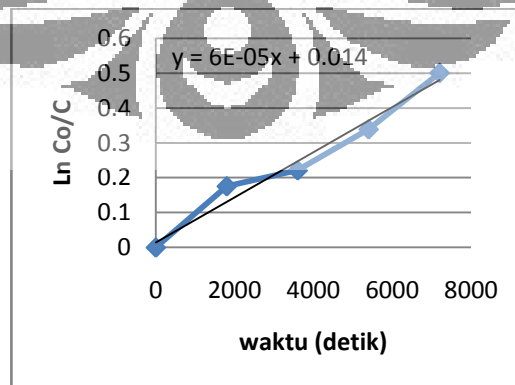
d. Laju Alir 5 Lpm, pH 2

Waktu (detik)	Ln Co/C
0	0
1800	0.030772
3600	0.053761
5400	0.09531
7200	0.101389



e. Laju Alir 5 Lpm, pH 0,7

Waktu (detik)	Ln Co/C
0	0
1800	0.175449
3600	0.220991
5400	0.338774
7200	0.500344



Perhitungan koefisien perpindahan massa

$$k_{ov} = \frac{\text{slope} \times \text{volume}}{\text{luas penampang membran}}$$

$$\text{luas penampang membran} = 3,14 \times nf \times Lf \times df$$

dimana:

k_{ov} = koefisien overall

nf = jumlah membran

df = diameter membran

Lf = panjang membran

Perhitungan fluk

$$fluk = \frac{(C_o - C_t) \times V}{A_m \times t}$$

dimana:

C_o = konsentrasi ammonia awal (mg/dm^3)

C_t = konsentrasi ammonia pada saat 7200 detik (mg/dm^3)

V = volume ammonium sulfat (dm^3)

t = lama sirkulasi (7200 detik)

A_m = luas penampang membran (cm^2)

Perhitungan bilangan Sherwood

$$Sh = k_{ov} \frac{de}{D}$$

$$de = \frac{dp^2 + N \cdot df^2}{dp^2 + N \cdot df}$$

dimana:

Sh = bilangan Sherwood

k_{ov} = koefisien perpindahan massa (cm/s)

D = difusitas ammonia (cm^2/s)

de = diameter ekivalen (cm)

N = jumlah serat dalam modul

df = diameter serat (cm)

dp = diameter selongsong (cm)

Perhitungan efisiensi pemisahan

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

dimana:

C_o = konsentrasi awal

C_t = konsentrasi amonia pada saat t

Perhitungan bilangan Reynold

$$Re = \frac{d_e \cdot v}{\mu_{kinematis}}$$

dimana:

d_e = diameter ekuivalen (cm)

v = kecepatan aliran (cm/s)

μ_{kinematis} = viskositas kinematis (cm²/s)

Hasil perhitungan

laju alir	3	4	5	5	5
kov	1.06E-04	3.18E-04	5.29E-04	1.06E-04	6.35E-04
fluk	2.35277E-05	6.4E-05	7.65E-05	2.57E-05	0.000101
d _e	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Sh	2.406244995	7.218735	12.03122	2.406245	14.43747
R%	8.839779006	19.90847	28.88889	9.641873	39.36782
A	1.5072	1.5072	1.5072	1.5072	1.5072
v	1.99044586	2.653928	3.31741	3.31741	3.31741
Re	89.45824089	119.2777	149.0971	149.0971	149.0971
R%	3 Lpm, pH 1	4 Lpm, pH 1	5 Lpm, pH 1	5 Lpm, pH 2	5 Lpm, pH 0,7

Fluk

3 Lpm, pH 1	4 Lpm, pH 1	5 Lpm, pH 1	5 Lpm, pH 2	5 Lpm, pH 0,7
0	0	0	0	0
6.61717E-06	1.62E-05	2.57E-05	8.09E-06	4.12E-05
1.39696E-05	3.16E-05	5.22E-05	1.4E-05	5.07E-05
1.76458E-05	4.56E-05	5.88E-05	2.43E-05	7.35E-05
2.35277E-05	6.4E-05	7.65E-05	2.57E-05	0.000101

