



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH TEMPERATUR UMPAN PADA PROSES PENYISIHAN AMMONIA
TERLARUT DARI AIR LIMBAH MELALUI KONTAKTOR MEMBRAN SERAT
BERONGGA MENGGUNAKAN LARUTAN PENYERAP BAHAN ALAM**

SKRIPSI

RIAN BASTIAN

0706270030

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA

DEPOK

JANUARI 2011



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH TEMPERATUR UMPAN PADA PROSES PENYISIHAN AMMONIA
TERLARUT DARI AIR LIMBAH MELALUI KONTAKTOR MEMBRAN SERAT
BERONGGA MENGGUNAKAN LARUTAN PENYERAP BAHAN ALAM**

SKRIPSI

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

Rian Bastian

0706270030

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA

DEPOK

JANUARI 2011

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
Dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
Telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : Rian Bastian

NPM : 0706270030

Tanda Tangan :

Tanggal : 7 januari 2011

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas izin-Nya tugas ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Tak lupa penulis panjatkan shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad S.A.W. beserta keluarga, sahabat, dan pengikut-Nya.

Skripsi dengan judul “Pengaruh temperatur umpan pada proses penyisihan ammonia terlarut dari air limbah melalui kontaktor membran serat berongga menggunakan larutan penyerap bahan alam” ini disusun untuk mencari alternatif solusi yang lebih baik untuk proses penyisihan ammonia dari air limbah. Dalam penyusunan skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Widodo Wahyu Purwanto, DEA, selaku ketua Departemen Teknik Kimia FTUI.
2. Bapak Ir. Sutrasno Kartohardjono, M.Sc, Ph.d atas bimbingan yang telah diberikan.
3. Semua dosen Teknik Kimia FTUI, guru-guru dari SD sampai SMA, dan guru bimbingan belajar Nurul Fikri atas ilmu yang telah diberikan.
4. Ria Badriah Tabrani, Bambang Iriyanto, dan Zulfikar Tabrani yang sangat ingin penulis bahagiakan. Terima kasih atas dukungan, kasih sayang, dan doa yang diberikan.
5. Teman-teman angkatan 2007 teknik kimia atas kebersamaan dan pertemanannya selama ini.
6. Pihak-pihak lain yang telah mendukung dan membantu yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan tugas seminar ini. Untuk itu, penulis mengharapkan saran dan kritik dari pembaca untuk memperbaiki penulisan-penulisan lain di masa yang akan datang.

Depok, Juni 2010

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Rian Bastian
NPM : 0706270030
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 Temperatur Umpan Pada Proses Penyisihan Ammonia Dari Air Limbah Melalui Kontaktor Membran Serat Berongga Dengan Larutan Penyerap Bahan Alam”

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 mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 7 Januari 2011

Yang menyatakan

(Rian Bastian)

ABSTRAK

Nama : Rian Bastian
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Pengaruh Temperatur Pada Proses Penyisihan Ammonia Terlarut Dari Air Limbah Melalui Kontaktor Membran Serat Berongga Menggunakan Larutan Penyerap Bahan Alam

Di Indonesia, ammonia sudah dikenal luas sebagai bahan baku yang merupakan komoditas yang penting dalam perindustrian. Namun, di lain pihak ammonia juga merupakan salah satu polutan yang berbahaya. Beberapa cara yang telah dilakukan untuk mengolah limbah. Namun, cara-cara tersebut memiliki keterbatasan dan kekurangan, sehingga dibutuhkan cara alternatif yang dapat memberi hasil yang lebih efektif dan dengan biaya yang lebih murah. Salah satu metode pengolahan limbah ammonia adalah melalui kontaktor membran serat berongga. Pada penelitian kali ini, akan meninjau pengaruh temperatur dari air limbah terhadap efisiensi penyisihan ammonia, larutan penyerap yang digunakan adalah larutan penyerap dari sumber mata air panas Ciater. Data konsentrasi ammonia yang diambil tiap 30 menit selama 2 jam proses, pada beberapa variasi temperatur akan digunakan untuk mencari koefisien perpindahan massa. Dari penelitian ini didapatkan data penurunan konsentrasi ammonia yang besar seiring dengan kenaikan suhu umpan. Efisiensi tertinggi sebesar 71% dicapai pada suhu umpan 50° C.

Kata kunci:

ammonia, penyisihan, kontaktor membran, koefisien perpindahan masa.

ABSTRACT

Name : Rian Bastian
Study Program : Teknik Kimia
Title : Effect of Temperature on Ammonia Removal From Wastewater Treatment Through Hollow Fiber Membrane Contactor Using Natural Absorbent

In Indonesia, ammonia is well known as a raw material which is an important commodity in the industry. However, on the other hand ammonia is also one of the dangerous pollutant. Some ways that have been done to treat waste. However, these methods have limitations and shortcomings, so we need alternative ways to provide more effective results and with a cheaper cost. One method of waste ammonia is through the hollow fiber membrane contactors. In this research, will review the effect of wastewater temperature on ammonia removal efficiency, absorbent solution used was the absorbent solution from the hot springs Ciater. Ammonia concentration data taken every 30 minutes for 2 hour process, at some temperature variation will be used to find the mass transfer coefficient. From this study, a large decrease in ammonia concentration along with the increase in feed temperature. The highest efficiency of 71% achieved at a feed temperature of 50° C.

Keywords :

ammonia, stripping, membrane contactors, mass transfer coefficient.

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS | ii |
| HALAMAN PENGESAHAN | iii |
| KATA PENGANTAR | iv |
| HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS | v |
| ABSTRAK | vi |
| DAFTAR ISI | viii |
| DAFTAR GAMBAR | x |
| DAFTAR TABEL | xi |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 LATAR BELAKANG..... | 1 |
| 1.2 RUMUSAN MASALAH | 4 |
| 1.3 TUJUAN PENELITIAN | 4 |
| 1.4 BATASAN MASALAH | 4 |
| 1.5 SISTEMATIKA PENULISAN | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 6 |
| 2.1 ABSORPSI..... | 6 |
| 2.2 TEKNOLOGI MEMBRAN | 7 |
| 2.2.1 Membran Polipropilena | 9 |
| 2.3 KONTAKTOR MEMBRAN | 11 |
| 2.3.1 Kontaktor Membran Cair-Cair..... | 12 |
| 2.3.2 Kontaktor Membran Serat Berongga | 13 |
| 2.4 AMMONIA | 17 |
| 2.4.1 Metode Penyisihan Ammonia..... | 19 |
| 2.4.1.1 Ammonia Stripping | 20 |

| | |
|--|----|
| 2.4.1.2 <i>Breakpoint Chlorination</i> | 22 |
| 2.4.1.3 <i>Ion Exchange</i> | 23 |
| 2.4.1.4 <i>Biotreatment</i> | 23 |
| 2.4.1.5 Proses Elektrokimia..... | 24 |
| 2.5 KELARUTAN AMMONIA FUNGSI WAKTU | 26 |
| 2.6 AIR PANAS CIATER | 26 |
| 2.7 PENELITIAN SEBELUMNYA | 27 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | 29 |
| 3.1 PENDAHULUAN | 29 |
| 3.2 DIAGRAM ALIR PENELITIAN..... | 29 |
| 3.2.1 Alat dan Bahan..... | 31 |
| 3.2.2 Skema Peralatan..... | 32 |
| 3.2.3 Prosedur Penelitian | 33 |
| 3.3 PENENTUAN KOEFISIEN PERPINDAHAN MASSA..... | 34 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 36 |
| 4.1 STUDI PERPINDAHAN MASSA..... | 36 |
| 4.1.1 Pengaruh Temperatur Umpan Terhadap Koefisien Perpindahan Massa | 36 |
| 4.2 EFISIENSI PEMISAHAN AMMONIA TERLARUT..... | 38 |
| 4.3 PENGARUH SUHU TERHADAP FLUKS..... | 39 |
| BAB V KESIMPULAN | 41 |
| DAFTAR PUSTAKA | 42 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1 Jenis vinyl polimer..... | 8 |
| Tabel 2.2 Baku mutu air limbah kegiatan eksplorasi dan produksi migas fasilitas darat (<i>on-Shore</i>) | 18 |
| Tabel 2.3 Baku mutu pembuangan air limbah badi usaha dan/atau kegiatan .eksplorasi dan produksi panas bumi | 18 |
| Tabel 2.4 Baku mutu pembuangan air limbah proses dari kegiatan pengolahan minyak bumi | 19 |
| Tabel 2.5 Baku mutu pembuangan air limbah proses dari kegiatan industri... | 19 |
| Tabel 2.6 Konten ammonia-nitrogen dari influen menara aerasi | 22 |
| Tabel 2.7 Teknologi Penyisihan Ammonia | 25 |
| Tabel 2.8 Kandungan anion pada air panas Ciater | 26 |
| Tabel 2.9 Penelitian Sebelumnya..... | 27 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Struktur kimia vinyl polimer..... | 7 |
| Gambar 2.2 Skema perpindahan massa pada membran..... | 8 |
| Gambar 2.3 Skema aliran membran..... | 9 |
| Gambar 2.4 Struktur molekul polipropilena..... | 10 |
| Gambar 2.5 Struktur molekul polipropilena ataktik..... | 10 |
| Gambar 2.6 Struktur molekul polipropilena isotaktik..... | 11 |
| Gambar 2.7 Variasi kontaktor membran..... | 12 |
| Gambar 2.8 Skema kontaktor membran cair-cair..... | 13 |
| Gambar 2.9 Kontaktor membran serat berongga..... | 14 |
| Gambar 2.10 Skema alat proses elektrolisa..... | 24 |
| Gambar 2.11 Grafik kelarutan ammonia vs temperatur..... | 26 |
| Gambar 3.1 Skema penelitian..... | 30 |
| Gambar 3.2 Skema rancangan alat penelitian..... | 32 |
| Gambar 4.1 Grafik K vs Suhu..... | 37 |
| Gambar 4.2 Grafik efisiensi penyisihan ammonia..... | 39 |
| Gambar 4.3 Grafik Fluks vs Suhu..... | 40 |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini sektor ekonomi di berbagai negara banyak mengalami kemajuan yang pesat, hal ini ditandai oleh meningkatnya taraf hidup masyarakat negara tersebut. Seiring dengan kemajuan sektor ekonomi di suatu negara maka sektor industrinya juga mengalami kemajuan yang sangat pesat, kemajuan sektor industri akan turut membantu meningkatkan taraf hidup masyarakat di suatu negara namun selain memberikan dampak positif, hal ini juga memberikan dampak negatif bagi lingkungan berupa hasil buangan dari proses industri yang berwujud limbah cair dan gas. Senyawa ammonia merupakan limbah utama dari proses industri pupuk dan beberapa industri lainnya (El-Bourawi et al., 2007) yang dapat menyebabkan pencemaran terhadap lingkungan.

Sesuai dengan Peraturan Pemerintah nomor 18 tahun 1999 tentang pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun pasal 8 ayat 1, ammonia tergolong kedalam limbah B3 karena bersifat korosif, dimana sifat ini dijelaskan pada *Material Safety Data Sheet* (MSDS) ammonia, diantaranya ammonia bersifat korosif yang dapat merusak jaringan badan.

Karena bahaya dan tingkat korosif ammonia sangat berpengaruh terhadap kesehatan dan lingkungan maka pemerintah berfikir perlunya mengatur tentang limbah buangan ammonia ini, sehingga dikeluarkanlah Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 04 Tahun 2007, yang menyatakan bahwa kandungan maksimal ammonia (sebagai $\text{NH}_3\text{-N}$) yang diperbolehkan adalah: 5 mg/L (untuk Kegiatan Eksplorasi dan Produksi Migas dari Fasilitas Darat, *On-Shore*), 10 mg/L (untuk Usaha dan/atau Kegiatan Eksplorasi dan Produksi Panas Bumi), 8 mg/L (untuk Pembuangan Air Limbah Proses dari Kegiatan Pengolahan Minyak Bumi). Oleh karena itu, diperlukan suatu metode alternatif yang efektif untuk pengolahan limbah yang mengandung ammonia agar kualitas limbah tersebut memenuhi baku mutu lingkungan yang telah ditetapkan serta tidak berbahaya terhadap lingkungan.

Adapun upaya untuk mengurangi kandungan ammonia terlarut dalam air secara konvensional, biasa dilakukan dengan proses *packed tower aeration*, *biological treatment*, dan *adsorption as ammonium ion onto zeolit*. Proses operasi kontak dilakukan dengan mengalirkan

udara ke dalam air limbah yang mengandung ammonia, namun proses ini memiliki efek samping yaitu udara hasil proses ini dibuang begitu saja ke udara bebas tanpa diproses terlebih dahulu. Sedangkan proses konvensional lainnya juga sering digunakan namun masalah terbesar yang dihadapi adalah biaya yang mahal, konsumsi energi yang sangat besar untuk menjalankan proses ini, dan kurang efisien (Bonmati' and Flotats, 2003; Liao et al., 1995), selain itu sering juga terjadi beberapa masalah yaitu *flooding*, *unloading*, *channeling*, dan *entrainment*.

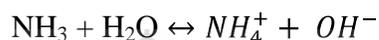
Terdapatnya beberapa masalah yang timbul pada proses konvensional yang ada, memicu untuk ditemukannya teknologi pemisahan alternatif. Salah satu teknologi pemisahan alternatif untuk pemisahan ammonia adalah menggunakan kontaktor membran serat berongga (*Hollow Fiber Membran Contactor*, HFMC).

Pemisahan ammonia terlarut dalam air menggunakan kontaktor membran serat berongga lebih ekonomis jika dibandingkan dengan cara konvensional karena membutuhkan modal awal yang rendah. Kontaktor membran juga dapat mencegah dispersi antara fasa gas dan cair sehingga permasalahan seperti *flooding* dan *unloading* dapat dihindari, mudah di *scale-up*, operasi dapat berlangsung kontinu, dan tidak mencemari lingkungan karena tidak ada zat aditif yang digunakan. Dari aspek luas permukaan kontak, kontaktor membran memiliki luas permukaan yang lebih besar dibandingkan kolom konvensional. Jika kolom absorber dengan jenis *packed column* memiliki luas permukaan 30-300 m²/m³, maka kontaktor membran dapat mencapai 1600-6600 m²/m³, bahkan kontaktor membran serat berongga memiliki luas permukaan di atas 33.000 m²/m³ (<http://www.cheresources.com>, 2009).

Membran yang digunakan sebagai kontaktor cair-cair merupakan membran serat berongga (*hollow fiber membrane*). Membran ini merupakan serat sintesis yang terbuat dari polimer yaitu polipropilena. Membran yang digunakan ini bersifat hidrofobik agar air tidak membasahi membran saat terjadi proses kontak. Namun kelemahan yang sering dialami dalam teknologi membran adalah terjadinya *fouling* (tertutupnya permukaan membran karena adanya polarisasi konsentrasi) yang dapat mengurangi efisiensi dan umur operasi membran, sehingga biaya periodik penggantian membran juga harus diperhitungkan (Gabelman dan Hwang, 1999).

Prinsip dasar sistem membran sebagai kontaktor adalah tidak terjadi dispersi dari satu 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, aliran yang ada bersifat *cross flow*. Perpindahan massa

terjadi dikarenakan adanya gaya pendorong (*driving force*) seperti perbedaan konsentrasi dan perbedaan tekanan (Mulder, 2000). Dasar pemisahan ammonia dengan menggunakan kontaktor membran serat berongga adalah berdasarkan perbedaan konsentrasi ammonia di dalam selongsong dan serat membran. Ammonia dalam air berada dalam bentuk kesetimbangan yang dapat dijelaskan oleh reaksi berikut ini.



Reaksi di atas merupakan kondisi di dalam selongsong, dimana terdapat gas ammonia yang berada dalam keadaan kesetimbangan dalam air. Dengan adanya perbedaan konsentrasi gas ammonia dalam selongsong dan serat membran akan mendorong ammonia melewati membran yang bersifat hidrofobik sehingga ammonia dapat terpisahkan. Peningkatan efisiensi pemisahan dapat dilakukan dengan merubah konstanta kesetimbangan ke arah pembentukan ammonia dengan cara menaikkan pH.

Pelarut yang digunakan dalam proses pemisahan ammonia ini adalah air panas dari sumber mata air Ciater karena pada air panas tersebut terkandung berbagai macam mineral dan zat lainnya, salah satunya adalah mineral sulfat, selain itu air ini memiliki pH yang sangat asam. Asam sulfat merupakan senyawa asam yang bersifat reaktif terhadap ammonia yang bersifat basa, sehingga diharapkan ammonia yang terpisahkan dari selongsong akan bereaksi dengan asam sulfat yang berada dalam serat membran membentuk ammonium 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 ammonia. Di samping itu asam sulfat lebih cocok digunakan dengan membran polipropilena dibandingkan asam lainnya karena tidak bersifat oksidator kuat yang dapat merusak membran polipropilena.

Berdasarkan uraian di atas untuk mencegah masalah pada pemisahan dengan konvensional maka dilakukan penelitian pemisahan ammonia terlarut dalam air melalui kontaktor membran serat berongga yang terbuat dari polipropilena dengan larutan penyerap air dari sumber mata air panas Ciater yang cocok digunakan untuk proses pemisahan mikrofiltrasi dengan membran. Membran yang terbuat dari polipropilena ini sangat baik digunakan untuk pemisahan gas-cair ataupun cair-cair karena sifatnya yang hidrofobik sehingga hanya gas ammonia yang berdifusi melewati pori-pori membrane dan air tidak berdifusi sehingga koefisien perpindahan massa ammonia tidak menurun.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah seberapa besar ammonia terlarut dalam air yang dapat dipisahkan melalui kontaktor membran serat berongga dengan menggunakan larutan penyerap bahan alam. Pengaruh temperatur dan laju alir umpan terhadap pemisahan ammonia terlarut dalam air dan karakteristik hidrodinamika air dengan menggunakan kontaktor membran serat berongga juga akan dibahas pada penelitian ini.

1.3 Tujuan Penelitian

Mengetahui efektivitas kontaktor membran serat berongga dalam proses pemisahan ammonia terlarut dalam air dengan temperatur dan laju alir umpan tertentu. Studi yang dilakukan akan melihat pengaruh temperatur terhadap karakteristik hidrodinamika hasil pemisahan ammonia terlarut dalam air melalui kontaktor membran serat berongga.

1.4 Batasan Masalah

1. Modul yang digunakan adalah membran serat berongga dari polimer polipropilena yang bersifat hidrofobik
2. Proses absorpsi dilakukan dengan menggunakan air panas dari sumber mata air panas Ciater
3. Variabel proses yang divariasikan adalah temperatur dan laju alir umpan.
4. Variabel tetap dalam penelitian ini adalah panjang serat, diameter serat, jumlah serat, dan diameter kontaktor.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan makalah 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 serat berongga, keuntungan dan kekurangan membran serat berongga, proses absorpsi dan desorpsi, dan teori pendukung lainnya.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Menampilkan tahapan penelitian yang akan dilakukan, diagram alir prosedur penelitian, skema rangkaian alat, tahapan operasi, studi perpindahan massa, dan studi hidrodinamika.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang hasil analisis dan pembahasan dari hasil penelitian berupa data yang diperoleh.

BAB V KESIMPULAN

Berisi tentang kesimpulan dari analisis dan pembahasan dari hasil penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Absorpsi

Secara sederhana, absorpsi gas merupakan suatu proses untuk menyerap gas yang dikontakan dengan cairan, dimana cairan ini disebut dengan cairan penyerap (absorben). Selama proses absorpsi, molekul dari zat yang diabsorpsikan 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 diakukan oleh suatu zat cair tertentu.
2. Suhu, dimana sifat dapat larut gas 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.

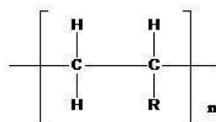
Pada proses absorpsi pemilihan larutan penyerap akan mempengaruhi proses absorpsi. Berikut adalah hal-hal yang harus dipertimbangkan dalam pemilihan pelarut untuk proses absorpsi (Treybal, 1981) :

1. Kelarutan gas. Kelarutan gas yang tinggi akan meningkatkan laju absorpsi dan mengurangi jumlah pelarut yang dibutuhkan.
2. Volatilitas. Pelarut harus memiliki tekanan uap yang rendah.
3. Harga. Harga pelarut yang murah dan mudah didapatkan akan lebih menguntungkan.
4. Viskositas. Viskositas yang rendah lebih disukai untuk laju absorpsi yang cepat.
5. Korosivitas.
6. Pelarut sebaiknya tidak beracun, tidak mudah terbakar, dan stabil.

2.2 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 disebabkan adanya perbedaan ukuran pori membran, sifat molekul tersebut, maupun sifat membran itu sendiri (Mulder, 1997).

Membran dapat dibuat dari beberapa material. Pada umumnya bahan pembuat membran digolongkan kedalam dua bagian yakni membran biologis dan membran sintetik. Membran biologis biasanya terdapat secara alami di alam sedangkan membran sintetik biasanya dibagi menjadi membran organik (polimer) dan membran anorganik, namun membran yang sering digunakan adalah membran polimer. Polimer memiliki berat molekul yang tinggi dan jumlah unit struktur molekul yang terikat dengan molekul lain merupakan rantai molekul yang panjang. Golongan polimer yang sangat penting adalah vinyl polimer dengan rumus umum seperti Gambar berikut ini:



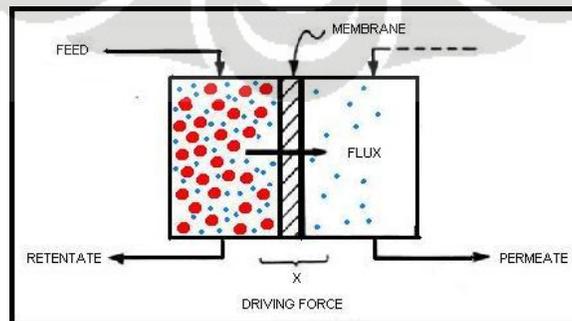
Gambar 2.1. Struktur kimia vinyl polimer (Mulder, 2000)

Simbol R merupakan alkil yang mengikat gugus $\text{CH}_2\text{-CH}$ yang akan membedakan jenis vinyl polimer yang dijelaskan oleh Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1. Jenis vinyl polimer (Mulder, 2000)

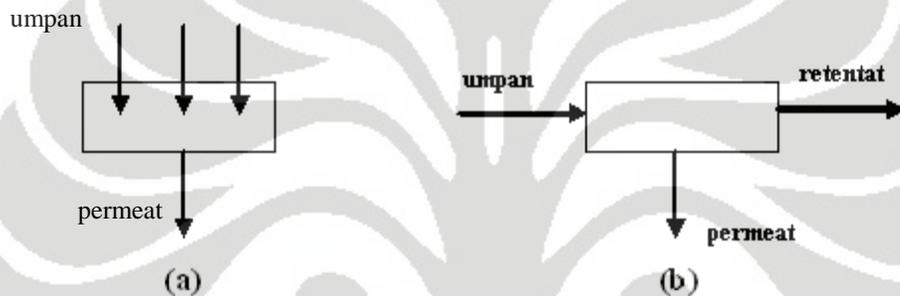
| Nama | -R |
|------------------|-------------------------|
| Polipropilena | $-\text{CH}_3$ |
| Polibutilena | $-\text{C}_2\text{H}_5$ |
| Polistyrena | $-\text{C}_6\text{H}_5$ |
| Polivinylalkohol | $-\text{OH}$ |
| Policrilonitril | $-\text{CN}$ |
| Poliacrylonitril | $-\text{Cl}$ |

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 2.2. 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 2.2. Skema 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 2.3. 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 2.3. Skema aliran membran: (a) *dead-end* dan (b) *cross-flow*.

(Mulder, 1996)

Dari berbagai jenis vinyl polimer lainnya. Pada penelitian yang dilakukan kali ini, membran vinyl polimer yang akan digunakan adalah jenis polypropilen berongga dan bersifat hidrofobik.

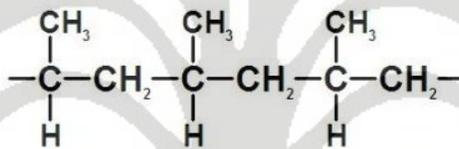
2.2.1 Membran Polipropilena

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

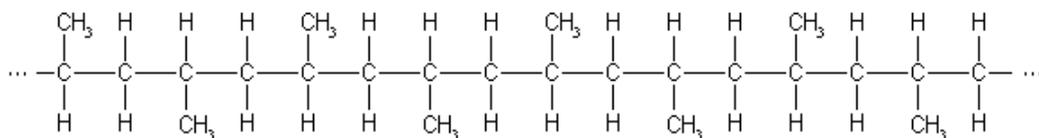


Gambar 2.4. Struktur molekul polipropilena.

(Wikimedia Foundation Inc., 2009)

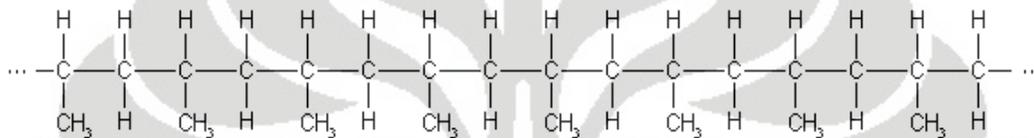
Polipropilena termasuk ke dalam salah satu senyawa *vinyl polymer*. Sebagian besar *vinyl polymer* dibentuk melalui polimerisasi Ziegler-Natta. Alasan digunakannya polimerisasi Ziegler-Natta adalah karena pada polimerisasi radikal bebas, jenis polimer yang akan terbentuk ialah polipropilena ataktik. 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 2.5.



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

Polipropilena isotaktik, seperti yang terlihat pada gambar 2.6, 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 2.6. 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.

2.3 Kontaktor Membran

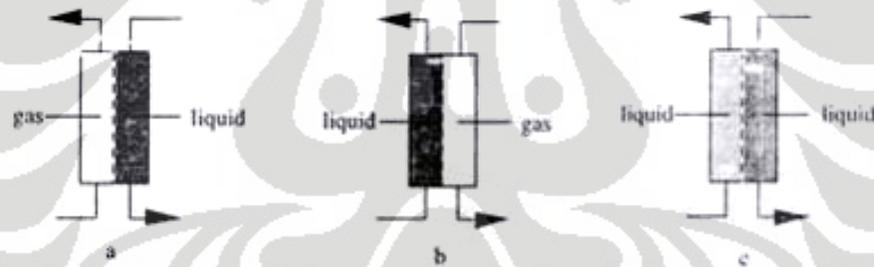
Kontaktor membran adalah suatu alat yang melibatkan proses perpindahan massa gas-cair atau cair-cair tanpa terjadi dispersi antar fasa. Kontaktor membran efektif untuk memisahkan atau menambahkan gas ke dalam air. Dengan desain kontaktor yang baik maka koefisien perpindahan massa dapat dioptimalkan dan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

1. Membuat fasa gas-cair tidak bergerak di dalam permukaan *porous membrane* 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 $30-300 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Dengan menggunakan kontaktor membran, maka luas area per volumenya dapat mencapai $1600 - 6600 \text{ m}^2/\text{m}^3$. 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 7 adalah variasi kontaktor membran.



Gambar 2.7. Variasi kontaktor membran: a. kontaktor gas-cair; b. kontaktor cair-gas; c. kontaktor cair-cair.

(Mulder, 2000)

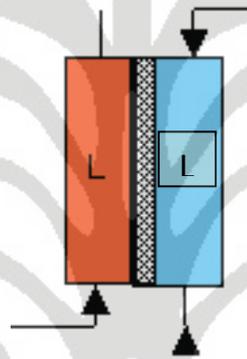
2.3.1 Kontaktor Membran Cair-Cair

Kontaktor membran cair-cair dicirikan dengan pemisahan aliran dua campuran dengan menggunakan membran berpori (*porous membrane*) ataupun membran tidak berpori (*non porous membrane*). Membran polipropilena merupakan membran yang memiliki pori yang bersifat hidrofobik. Jika membran hidrofobik berpori digunakan maka membrannya akan terbasahi

sedangkan porinya akan terisi dengan senyawa yang akan dipisahkan dan pemisahan ini akan terjadi pada antarmuka membran (Mulder, 2000).

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

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

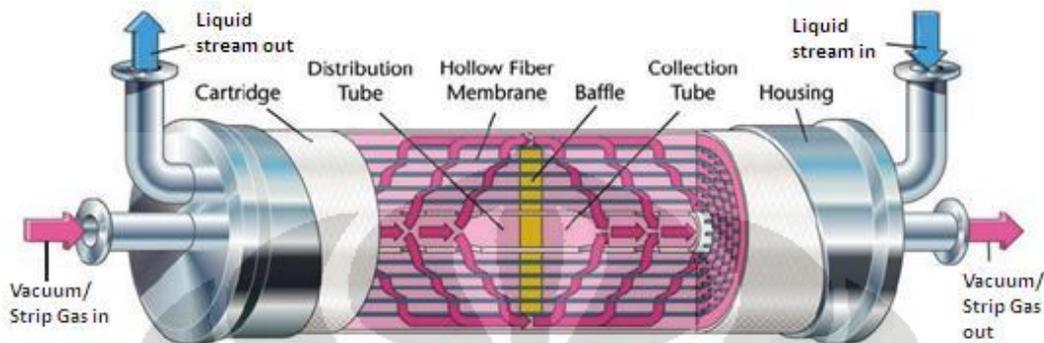


Gambar 2.8. Skema kontaktor membran cair-cair (Mulder, 2000).

2.3.2 Kontaktor Membran Serat Berongga (*Hollow Fiber Membrane Contactor- HMFC*)

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 kerapatan 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 mempengaruhi 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.

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. Kontaktor membran juga dapat meningkatkan batas konversi kesetimbangan reaksi kimia dengan proses sirkulasi kandungan reaktor melalui kontaktor 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 kontaktor 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 kontaktor dengan *driving force* gradien tekanan. Selain itu, polarisasi konsentrasi (penumpukan komponen-komponen yang memiliki konsentrasi tinggi pada permukaan membran) pada permukaan membran juga mempengaruhi 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.

2.4 Ammonia

Ammonia adalah senyawa kimia dengan rumus NH_3 , biasanya berupa gas, berbau tajam, dan memiliki jari-jari 101.7 pm. Dalam larutan biasanya terdapat dalam bentuk larutan *ammonium hidroksida* yang merupakan senyawa kaustik yang dapat merusak kesehatan. Pencemaran ammonia di perairan berbahaya terhadap biota perairan walaupun dalam konsentrasi rendah, disamping itu adanya ammonia dalam perairan juga menyebabkan meningkatnya pertumbuhan alga di perairan (Horan, 1990). Berikut adalah bahaya ammonia terhadap kesehatan berdasarkan Material Safety Data Sheet (MSDS) ammonia sendiri, yakni:

1. Berbahaya terhadap pernafasan, sangat merusak sel-sel dari lendir membran dan saluran pernafasan atas. Gejala mungkin termasuk rasa terbakar, batuk, radang tenggorokan, sesak nafas, sakit kepala, mual dan muntah-muntah.
2. Berbahaya jika tertelan dapat menyebabkan luka bakar di dalam mulut, tenggorokan, dan perut yang bisa menyebabkan kematian. Serta dapat menyebabkan sakit tenggorokan, muntah, diare.
3. Kontak dengan kulit menyebabkan rasa sakit, kemerahan, iritasi parah atau luka bakar karena merupakan larutan basa yang korosif.
4. Kontak dengan mata dapat menyebabkan penglihatan kabur, kemerahan, rasa sakit, jaringan luka bakar parah dan kerusakan mata.
5. Kontak dengan gas ammonia berkonsentrasi tinggi dapat menyebabkan kerusakan paru paru dan bahkan kematian, ammonia masih digolongkan sebagai bahan beracun jika terhirup.

Berdasarkan peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 04 Tahun 2007 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Minyak dan Gas serta Panas Bumi kandungan maksimal ammonia yang diperbolehkan adalah:

Tabel 2.2. Baku mutu Air limbah Kegiatan Eksplorasi dan Produksi Migas Fasilitas Darat
(*on-Shore*)

| No | Jenis Air Limbah | Parameter | Kadar Maksimum |
|----|---------------------|---|----------------|
| 1 | Air terproduksi | COD | 200 mg/L |
| | | Minyak dan Lemak | 25 mg/L |
| | | Sulfida terlarut (sebagai H ₂ S) | 0.5 mg/L |
| | | Ammonia (sebagai NH ₃ -N) | 5 mg/L |
| | | Phenol Total | 2 mg/L |
| | | Temperatur | 40 °C |
| | | pH | 6 – 9 |
| | TDS | 4000 mg/L | |
| 2 | Air limbah drainase | Minyak dan Lemak | 15 mg/L |
| | | Karbon Organik Total | 110 mg/L |

Sumber : Kepmen LH No.04.Thn.2007

Tabel 2.3. Baku Mutu Pembuangan Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan
Eksplorasi dan Produksi Panas Bumi

| No | Jenis Air Limbah | Parameter | Kadar Maksimum |
|----|---------------------|---|----------------|
| 1 | Air terproduksi | Sulfida terlarut (sebagai H ₂ S) | 1 mg/L |
| | | Ammonia (sebagai NH ₃ -N) | 10 mg/L |
| | | Air Raksa (Hg) Total | 0.005 mg/L |
| | | Arsen (As) Total | 0.5 mg/L |
| | | Temperatur | 45 °C |
| | | pH | 6 – 9 |
| 2 | Air limbah drainase | Minyak dan Lemak | 15 mg/L |
| | | Karbon Organik Total | 110 mg/L |

Sumber : Kepmen LHNo.04.Thn.2007

Tabel 2.4. Baku Mutu Pembuangan Air Limbah Proses dari Kegiatan Pengolahan Minyak Bumi

| No | Parameter | Kadar Maksimum |
|----|---|---|
| 1 | BOD 5 | 80 mg/L |
| 2 | COD | 160 mg/L |
| 3 | Minyak dan Lemak | 20 mg/L |
| 4 | Sulfida terlarut (sebagai H ₂ S) | 0.5 mg/L |
| 5 | Ammonia (sebagai NH ₃ – N) | 8 mg/L |
| 6 | Phenol total | 0.8 mg/L |
| 7 | Temperatur | 45 °C |
| 8 | pH | 6 – 9 |
| 9 | Debit air limbah maksimum | 1000 m ³ per 1000 m ³ bahan baku minyak |

Sumber : Kepmen LH No.04.Thn.2007

Tabel 2.5. Baku Mutu Pembuangan Air Limbah Proses dari Kegiatan Industri

| Parameter | Pupuk Urea | Pupuk Nitrogen Lain | Ammonia |
|------------------------------|--|--|--|
| | Beban Pencemaran Maksimum (kg/ton) | Beban Pencemaran Maksimum (kg/ton) | Beban Pencemaran Maksimum (kg/ton) |
| COD | 3.0 | 3.0 | 0.3 |
| TSS | 1.5 | 3.0 | 0.15 |
| Minyak dan Lemak | 0.3 | 0.3 | 0.03 |
| NH ₃ -N | 0.75 | 1.5 | 0.3 |
| TKN | 1.5 | 2.25 | - |
| pH | 6.0 – 10 | 6.0 – 10 | 6.0 – 10 |
| Debit air limbah maksimum | 15 m ³ per ton produk | 15 m ³ per ton produk | 15 m ³ 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

2.4.1 Metode Penyisihan Ammonia

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

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

2.4.1.1 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 berlangsung pada temperatur udara ambient di bawah 32° 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 tower.

Biasanya lebih dari 90 persen nitrogen dari air buangan rumah tangga berbentuk ammonia atau campuran dari ammonia yang telah terbentuk. Jika kondisi lingkungan disediakan dalam proses *secondary treatment*, ammonia 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 ammonia daripada mengkonversinya menjadi nitrat. Jadi pembuangan nitrogen dalam bentuk ammonia menawarkan beberapa keuntungan ekonomi dan operasional melebihi pembuangan nitrat-nitrogen. Baik ion amonium (NH_4^+) atau gas amonia terlarut (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.

Dua faktor utama yang mempengaruhi laju transfer gas ammonia dari air ke udara antara lain :

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

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

Untuk meminimalkan konsentrasi ammonia di dalam udara ambient, cepatnya sirkulasi udara sangat bermanfaat. Agitasi udara pada droplet juga dapat mempercepat pelepasan ammonia maka proses *ammonia stripping* terdiri dari :

1. Peningkatan 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 desain, efek lingkungan dari proses *stripping* perlu dievaluasi. Hal ini karena proses dengan jelas melepaskan ammonia ke atmosfer yang nantinya dapat menimbulkan masalah polusi udara.

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 ft³/gal dan konsentrasi amonia 23 mg/L pada tower influent, konsentrasi amonia pada *stripping tower* melepas sekitar 6 mg/m³. Selama ambang kebauan amonia adalah 35 mg/m³, proses tidak diperkenankan menimbulkan masalah dalam hal ini. Konsentrasi sebesar 280- 490 mg/m³ dapat menyebabkan iritasi mata, hidung dan tenggorokan. Konsentrasi sebesar 700 berdampak merugikan terhadap tanaman. Konsentrasi 1700-4500 mg/m³ 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 50×10^9 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, pembakatan batu bara dan minyak memproduksi sejumlah kadar amonia. Level dasar amonia di atmosfer yang telah diamati bervariasi dari 0,001 mg/m³ sampai 0,02 mg/m³ dengan nilai khas 0,006 mg/m³. 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 ft³/gal. Ringkasan konten amonia-nitrogen pada efluen dan influen dalam berbagai variasi pH ditunjukkan pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6. Konten Ammonia-Nitrogen dari Influen Menara Aerasi

| Menara Influen | | | Menara Efluen | | | |
|----------------|--------------|------------------------------|---------------|--------------|------------------------------|---|
| pH | Temp (°C) | NH ₃ -N (mg/L) | pH | Temp (°C) | NH ₃ -N (mg/L) | Persen Pemisahan NH ₃ -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.

2.4.1.2 Breakpoint Chlorination

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

Reaksi total yang terjadi:

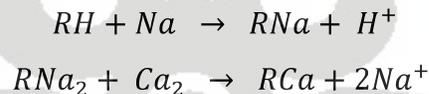


Kekurangan dari metode ini adalah gas NH_3 hanya diubah sebagai nitrogen, tetapi tidak dapat menghasilkan H_2 .

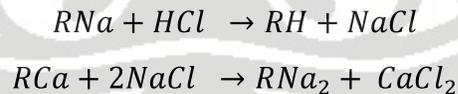
2.4.1.3 Ion Exchange

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

Reaksi yang terjadi:



Reaksi regenerasi yang terjadi:



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

2.4.1.4 Biotreatment

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

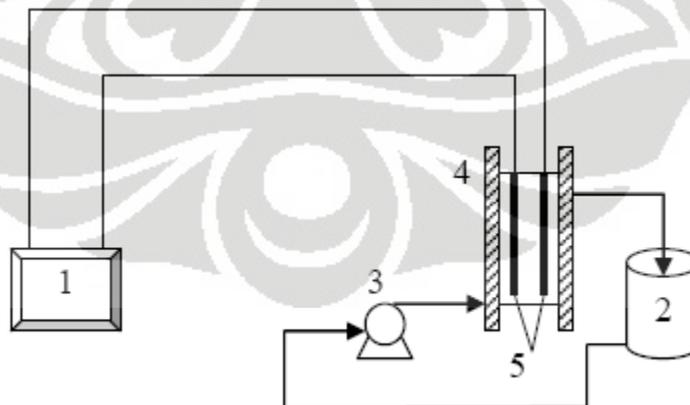
Penelitian lain dilakukan oleh Rittstiegl (2001). Air limbah industri yang mengandung nitrogen diolah secara kontinyu dalam reaktor *activated sludge*. Populasi bakteri denitrifikasi yang telah diisolasi mampu mengolah limbah dengan laju 0,1 g nitrogen per liter per hari. Karena laju ini terlalu kecil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

2.4.1.5 Proses Elektrokimia

Dalam unit elektrolisa, ammonium diubah menjadi gas nitrogen. Proses elektrolisa ammonia dapat menghasilkan hidrogen dengan kemurnian tinggi dalam *alkaline electrolytic cell* menurut reaksi:



Penyisihan ammonia terjadi akibat adanya arus listrik yang dialirkan ke dalam larutan ammonia. Kemudian terjadi oksidasi ammonia menjadi gas nitrogen dan hidrogen menurut reaksi diatas.



Gambar 2.10. Skema alat elektrokimia

Liang dan Liu (2008) melakukan penelitian elektrolisa ammonia menggunakan RuO_2/Ti sebagai anoda dan stainless steel sebagai katoda. Dari penelitian tersebut, pH

basa dan konsentrasi ammonia yang tinggi menyebabkan 6 peningkatan konsentrasi NH_3 . Peningkatan konsentrasi NH_3 akan mendukung oksidasi ammonia. Namun, laju penghilangan NH_3 tersebut tergolong lambat karena tidak ada ion klorida. Pada larutan ammonia yang mengandung ion klorida, laju penghilangan ammonia lebih cepat karena ammonia dapat teroksidasi seluruhnya dan diubah menjadi nitrogen. Namun, dalam penelitian tersebut dihasilkan gas klorida yang memerlukan *treatment* lebih lanjut.

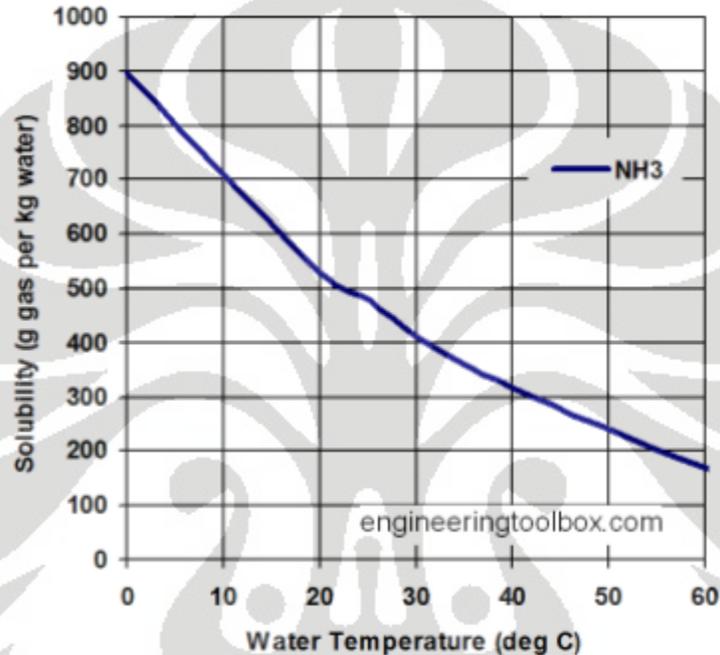
Penelitian yang dilakukan oleh Zhou dan Cheng (2008) menggunakan Pt sebagai katode dan anode. Dengan meningkatnya konsentrasi ammonia pada larutan, semakin banyak $\text{NH}_{3(\text{aq})}$ yang akan teradsorpsi pada permukaan elektroda untuk dioksidasi sehingga rapat arus anodik meningkat dengan meningkatnya konsentrasi ammonia. Ketika mencapai konsentrasi tertentu, adsorpsi ammonia pada elektroda Pt akan mencapai kondisi relatif jenuh. Peningkatan konsentrasi ammonia yang lebih jauh tidak akan meningkatkan jumlah ammonia yang teroksidasi.

Tabel 2.7. Teknologi Penyisihan Ammonia

| Teknologi Denitrifikasi | Keuntungan | Masalah |
|--------------------------------|---|---|
| Biotreatment | Dihasilkan gas nitrogen yang tidak berbahaya, aplikasi penggunaannya luas | Mebutuhkan tempat instalasi yang luas dan waktu <i>treatment</i> lama. |
| Breakpoint Chlorination | Biaya konstruksi rendah dan aplikasinya mudah. | Biaya <i>treatment</i> tinggi dan menghasilkan by product. |
| Packed Tower | Efektif untuk limbah dengan konsentrasi tinggi. | Memungkinkan penghilangan ammonia, biaya <i>treatment</i> tinggi. |
| <i>Ion exchange</i> | Efektif untuk limbah dengan konsentrasi rendah | Biaya konstruksi dan <i>treatment</i> tinggi, memerlukan <i>reprocessing</i> larutan limbah |
| Proses Elektrokimia | Menghasilkan hidrogen murni yang bisa menjadi bahan bakar alternatif | Efisiensi pemisahan tidak tinggi |

2.5 Kelarutan Ammonia Fungsi Suhu

Ammonia adalah salah satu gas yang larut dalam air. Pada 0°C dan tekanan 760 mm of Hg, satu liter air mampu melarutkan 1200 liter ammonia, namun pada suhu 20°C dan tekanan yang sama kelarutannya menurun menjadi 700 liter saja. Penurunan tersebut berlangsung hampir secara linier, berikut akan ditampilkan grafik kelarutan ammonia terhadap fungsi suhu.



Gambar 2.11. Grafik Kelarutan Ammonia vs Temperatur

2.6 Air Panas Ciater

Larutan penyerap yang digunakan pada penelitian ini adalah air yang berasal dari sumber air panas Ciater. Seperti yang telah kita ketahui bahwa air dari sumber mata air panas Ciater mengandung berbagai mineral yang sangat tinggi yaitu seperti yodium, sulfur, sodium, dan khlor. Selain itu air panas Ciater termasuk dalam kategori *calcium magnesium chloride sulfates thermomineral hyperthermal* dengan kandungan aluminium tinggi (38,5%) serta pH sangat asam (2,45).

Penggunaan air panas Ciater didasarkan pada adanya kandungan ion sulfat dalam jumlah yang tinggi. Keberadaan ion sulfat dalam jumlah tinggi ditambah dengan pH yang asam juga temperatur yang cukup tinggi, merupakan faktor yang sangat mendukung untuk menyerap

ammonia yang terkandung dalam air limbah (M.S. EL-Bourawi, 2007). Asam sulfat merupakan senyawa asam yang bersifat reaktif terhadap ammonia yang bersifat basa, sehingga diharapkan ammonia yang terpisahkan dari selongsong akan bereaksi dengan asam sulfat yang berada dalam serat membran membentuk ammonium 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 ammonia. Di samping itu asam sulfat lebih cocok digunakan dengan membran polipropilena dibandingkan asam lainnya karena tidak bersifat oksidator kuat yang dapat merusak membran polipropilena. Selain itu dengan menggunakan air panas Ciater sebagai larutan penyerap dapat menghemat biaya untuk pengadaan larutan penyerap bila menggunakan larutan penyerap sintetis karena bisa dibayangkan bahwa air panas Ciater tersedia dalam jumlah melimpah dan tidak akan habis.

Tabel 2.8. Kandungan anion pada air panas Ciater

| Ion | mg/L | Persentase |
|--------------------------------|-------|------------|
| Cl | 290.8 | 45.516 |
| F | 6.46 | 2.171 |
| I | 0.3 | 0 |
| Br | 0 | 0 |
| NO ₃ | 0.1 | 0.01 |
| SO ₄ | 336.5 | 51.652 |
| H ₂ PO ₄ | 4.9 | 0.651 |
| H ₂ CO ₃ | 0 | 0 |

2.7 Penelitian Sebelumnya

Tabel 2.9. Penelitian sebelumnya

| Peneliti | Judul | Kesimpulan |
|---|---|--|
| Amish Mandowara Prashant K. Bhattacharya (2008) | Membrane contactor as degasser operated under vacuum for ammonia removal from water : A numerical simulation of mass transfer under laminar flow conditions | Pada kecepatan aliran fluida yang rendah konsentrasi pada keluaran diarah radial lebih rendah jika dibandingkan pada kecepatan fluida yang tinggi (pada particular r). Peningkatan laju alir akan menurunkan laju pemisahan ammonia |
| Zongli Xie, Tuan Haong, Cuong Nguyen, Brian Bolto (2008) | Ammonia removal by sweep gas membrane distillation | Pemisahan ammonia dengan konsentrasi 100 ppm melalui destilasi membran menggunakan gas penyapu bisa mencapai efisiensi pemisahan 97%.Semakin tinggi laju alir, temperatur, laju alir gas akan meningkatkan efisiensi pemisahan ammonia ini |
| Rob Klaasen, Paul Feron, Albert Jansen (2007) | Membrane contactor applications | Aplikasi kontaktor membran adalah untuk gas-cair kontaktor dan cair-cair kontaktor. Pemisahan ini |

Lanjutan Tabel 2.9. Penelitian sebelumnya

| | | |
|---------------------|--|---|
| | | memiliki keunggulan antara lain kapasitas fleksibel, ringan, butuh sedikit tempat untuk pemisahanya |
| Rian Bastian (2010) | Pengaruh temperatur pada proses penyisihan ammonia terlarut dari air limbah melalui kontaktor membran serat berongga menggunakan larutan penyerap bahan alam | |



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

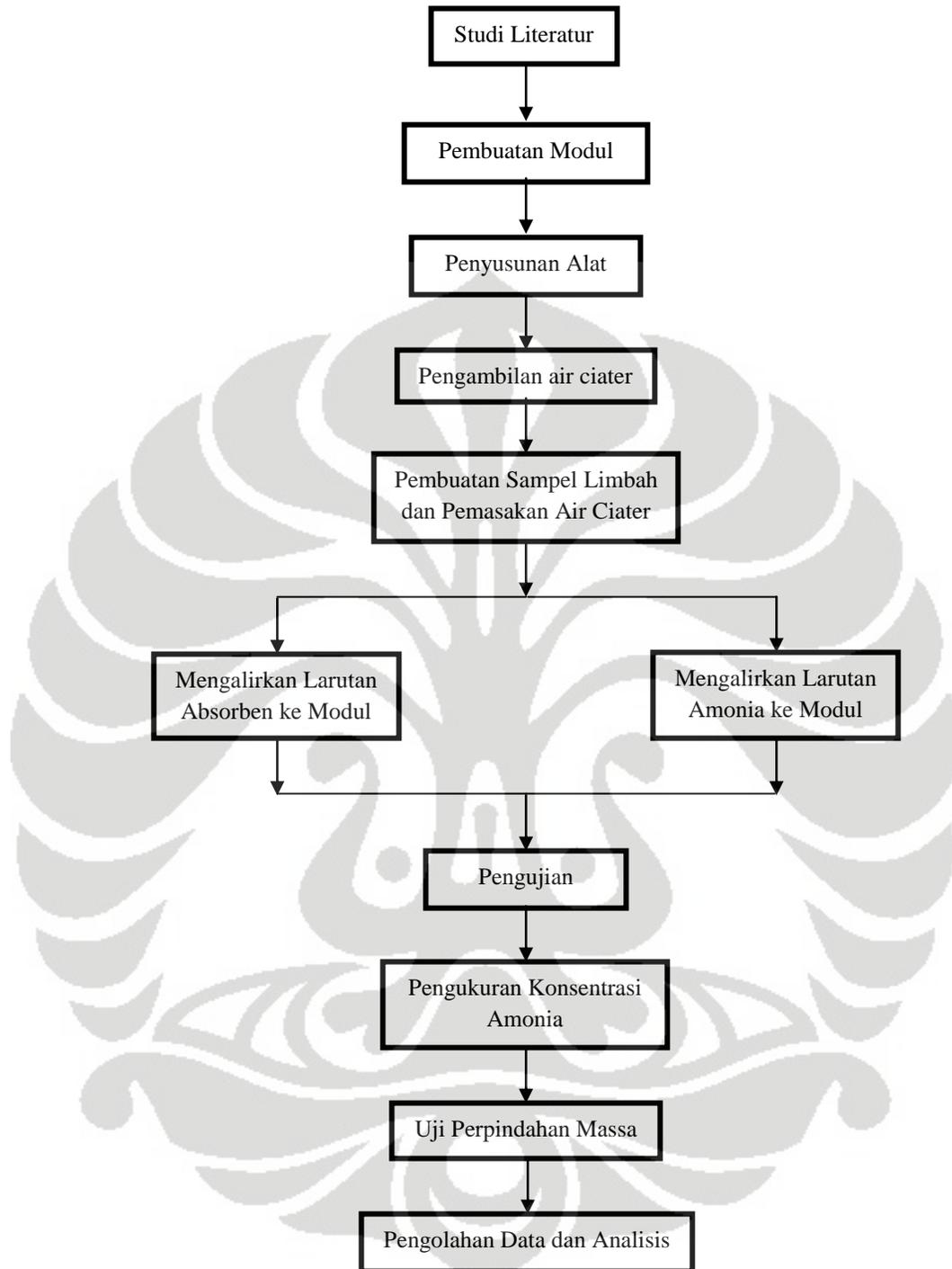
3.1 Pendahuluan

Tujuan proses pemisahan ammonia terlarut dari air ini adalah untuk menurunkan kadar ammonia terlarut pada air. Salah satu sebab dilakukannya pemisahan ini karena adanya ammonia terlarut pada air dapat menyebabkan korosi dan efek buruk bagi kesehatan dan hal ini amat merugikan. Pemisahan ammonia terlarut menggunakan membran serat berongga juga bertujuan mengatasi masalah-masalah yang ditimbulkan pada proses pemisahan dengan cara konvensional seperti adanya endapan, *fouling*, dan masalah pembuangan lumpur. Pada penelitian ini, proses pemisahan ammonia terlarut dari dalam air dilakukan dengan menggunakan kontaktor membran serat berongga (*hollow fiber membrane contactor*) sebagai media kontak antara fasa cair dan fasa cair tanpa adanya dispersi antara kedua fasa. Kemudian akan dipelajari perpindahan massa yang terjadi pada membran serta hidrodinamika air dalam kontaktor. Penelitian dilakukan di Laboratorium Intensifikasi Proses, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

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 dan hidrodinamika, serta pengolahan data dan analisis hasil. Studi literatur dilakukan dengan mencari teori dan informasi yang menunjang dalam pembuatan makalah ini dari buku, jurnal maupun artikel-artikel yang ada terutama mengenai kontaktor membran serat berongga, ammonia, larutan penyerap dari mata air Ciater, dan kekurangan yang ditimbulkan oleh pengolahan ammonia secara konvensional.

Setelah itu melakukan pembuatan modul, modul akan digunakan sebagai kontaktor antara ammonia terlarut dalam air dengan larutan penyerap. Setelah pembuatan modul selesai, langkah selanjutnya adalah menyiapkan peralatan-peralatan seperti reservoir ammonia dan larutan penyerap, pompa, *liquid flow meter*, dan menghubungkan semuanya menjadi satu sistem secara utuh. Diagram alir penelitian yang akan dilakukan diperlihatkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.1. Skema penelitian

Kemudian dilakukan preparasi air limbah sebagai umpan dan air panas dari mata air Ciater sebagai larutan penyerap. Pada penelitian ini juga akan dilakukan variasi temperatur dari

umpan sebesar 30° C, 40° C, dan 50° C. Data perubahan konsentrasi ammonia pada berbagai temperatur umpan selama sirkulasi 2 jam digunakan untuk mengetahui koefisien perpindahan massa.

3.2.1 Alat dan Bahan yang Digunakan

1. Membran serat berongga, dengan spesifikasi sebagai berikut :

Material : Polipropilena

Ukuran Pori : 0.2 μm

Ukuran Modul :

- Diameter serat : 0.27 cm
- Panjang membran : 40 cm

2. Ammonia 1000 meter untuk mengukur konsentrasi ammonia dengan spesifikasi :

- Type : PT-240
- Produk : Palintest-UK
- Range : 0-15 mg/L N dan 0-50 mg/L N
- Range temperatur: 0 °C – 50 °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 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 ammonia dan absorben air panas Ciater

9. Ammonium Sulfat untuk membuat limbah sintetik untuk umpan

10. Air dari mata air panas Ciater sebagai absorben

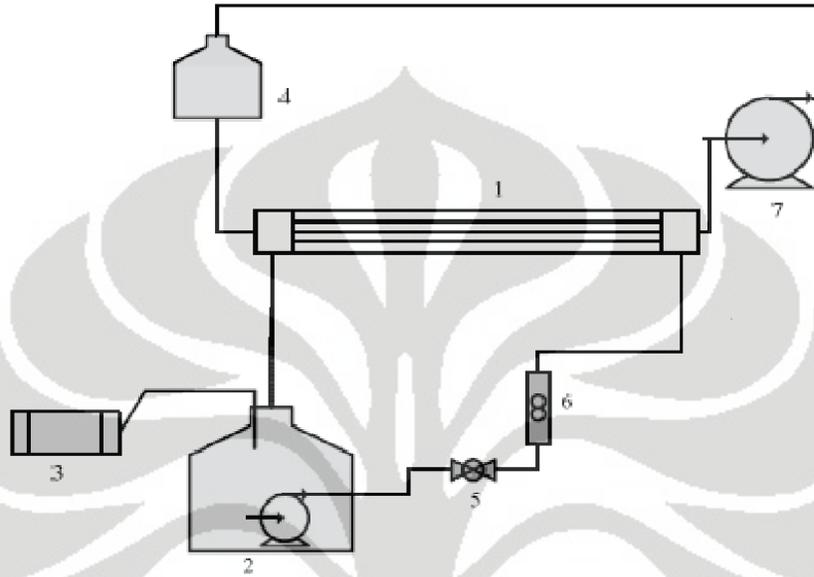
11. Lem epoksi, termometer, erlenmeyer, pipet volumetrik, dan labu ukur

12. Kompor untuk mendidihkan air ciater

13. Heater untuk menaikkan temperatur umpan

3.2.2 Skema Peralatan

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



Gambar 3.2. Skema rancangan alat penelitian

Keterangan:

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

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

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

3.2.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian secara bertahap dilakukan melalui tahapan berikut ini:

1. Pembuatan modul.

Modul yang dibuat berbentuk selongsong dan tabung (*shell & tube*) dengan sisi selongsong terbuat dari *acrylic* dan sisi tabung terbuat dari membran serat berongga dengan bahan polipropilena.

2. Menghubungkan peralatan seperti wadah reservoir, pompa, flowmeter, dan modul membran polipropilena.

3. Persiapan air limbah sebagai limbah sintetik dan larutan penyerap air panas Ciater.

Air limbah yang telah divariasikan temperaturnya dan larutan penyerapnya berasal dari mata air panas Ciater. Sebelum digunakan, air ciater dipanaskan hingga mendidih selama 20 menit untuk menghilangkan kandungan ammonia di dalamnya kemudian didinginkan kembali.

4. Memanaskan air limbah sesuai dengan variasi temperatur yang akan diuji

5. Tahap selanjutnya dilakukan pengaliran ammonia ke dalam selongsong (*shell*) dan larutan penyerap ke dalam membran polipropilena (*tube*) hingga keadaan steady.

6. Kemudian setelah keadaan steady dilakukan pengambilan data Studi perpindahan massa.

Pada studi perpindahan massa data yang diambil adalah konsentrasi ammonia yang keluar dari modul membran dengan menggunakan ammoniameter.

7. Data yang diambil dilakukan untuk setiap variasi temperatur 30°, 40°, dan 50° C dengan selang waktu pengambilan data 30 menit selama 2 jam laju sirkulasi.

8. Tahap akhir dilakukan analisis data yang telah didapatkan seperti studi perpindahan massa.

3.3 Penentuan Koefisien Perpindahan Massa

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$C_2 = C^* + (C_1 - C^*) \times \exp \left(- \frac{K a L}{v_L} \right) \quad (3.2)$$

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

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

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

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

$$\begin{aligned}\frac{dC_1}{dt} &= \frac{Q}{V} \left[C^* + (C_1 - C^*) \exp\left(-\frac{K a L}{v_L}\right) - C_1 \right] \\ \frac{dC_1}{dt} &= \frac{Q}{V} \left[(C_1 - C^*) \exp\left(-\frac{K a L}{v_L}\right) - (C_1 - C^*) \right] \\ \frac{dC_1}{(C_1 - C^*)} &= \frac{Q}{V} \left[\exp\left(-\frac{K a L}{v_L}\right) - 1 \right]\end{aligned}\quad (3.4)$$

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 :

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

$$\ln\left(\frac{C - C^*}{C_0 - C^*}\right) = \frac{Q}{V} \left[\exp\left(-\frac{K a L}{v_L}\right) - 1 \right] t \quad (3.5)$$

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 (3.6)

$$\begin{aligned}\text{slope} &= \frac{Q}{V} \left[\exp\left(-\frac{K a L}{v_L}\right) - 1 \right] \\ K &= -\frac{v_L}{a L} \left[\ln\left(\frac{V(\text{slope})}{Q}\right) + 1 \right]\end{aligned}\quad (3.6)$$

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

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

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

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Efektivitas pemisahan ammonia terlarut dalam air melalui kontaktor membran serat berongga polipropilen dengan menggunakan larutan penyerap air ciater dapat dilihat dari koefisien perpindahan massa dan hidrodinamika air. Pada penelitian kali ini hanya akan dilakukan studi perpindahan massa, studi perpindahan massa ditinjau dari nilai koefisien perpindahan massa pada variasi laju alir dan serat membran.

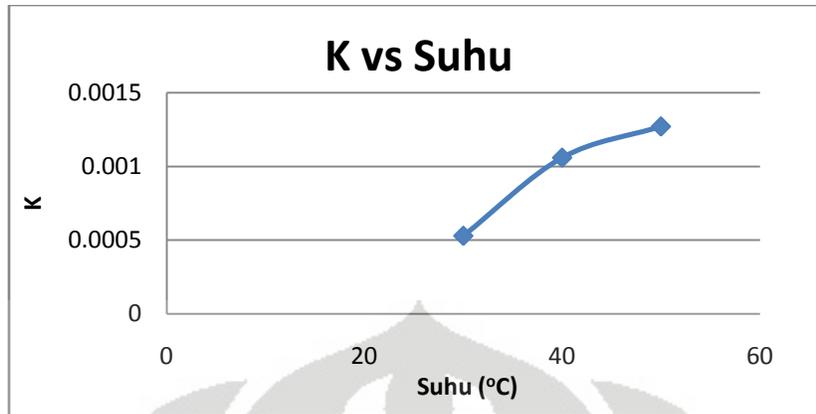
4.1 Studi Perpindahan Massa

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

Pada studi perpindahan massa juga dilakukan korelasi perpindahan massa untuk mengetahui hubungan antara kecepatan dan jenis aliran yang melewati modul terhadap koefisien perpindahan massa yang dapat dilihat dari bilangan tak berdimensi Sherwood.

4.1.1 Pengaruh Temperatur Umpan Terhadap Perpindahan Massa

Penggunaan temperatur umpan yang berbeda dilakukan untuk melihat efektivitas penyisihan ammonia pada tiap temperatur. Temperatur yang divariasikan adalah 30° , 40° , dan 50° C. Pengaruh variasi temperatur umpan terhadap proses perpindahan massa dapat dilihat dari nilai koefisien perpindahan massa yang didapat. Koefisien perpindahan massa dapat dihitung dengan mengolah data perubahan konsentrasi ammonia setelah melewati membran. Berikut adalah grafik yang memperlihatkan koefisien perpindahan massa pada berbagai variasi temperatur umpan.

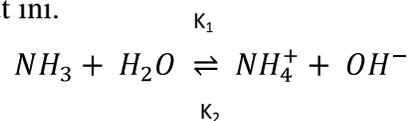


Gambar 4.1. Grafik K vs Suhu

Dari Gambar 4.1 diatas terlihat bahwa trend koefisien perpindahan massa semakin meningkat seiring dengan bertambahnya temperatur dari umpan. Hal ini disebabkan semakin tinggi temperatur feed yang digunakan maka jumlah molekul ammonia (NH_3) yang terkandung di dalam feed akan semakin tinggi pula.

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

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



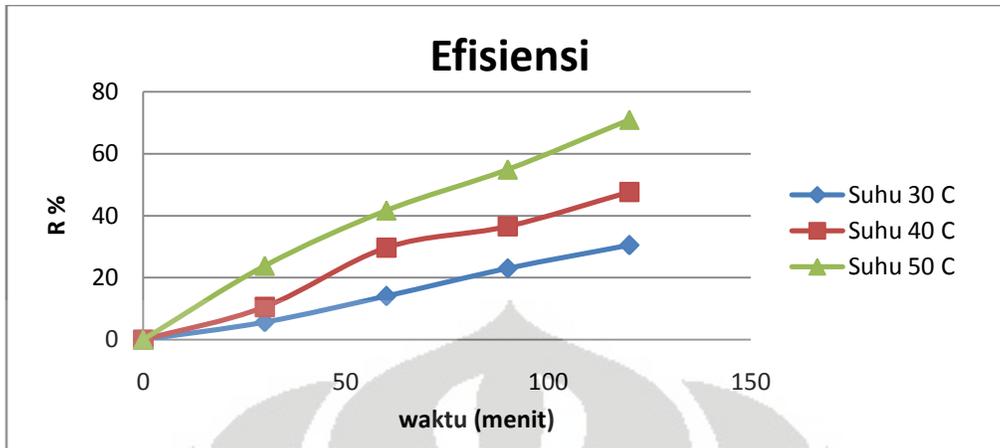
Pada reaksi di atas K_1 bernilai $1,8 \times 10^{-5}$ dan K_2 $5,6 \times 10^{-10}$. Hal ini berarti pembentukan ion ammonium lebih besar $3,2 \times 10^4$ kali dibandingkan dengan pembentukan molekul NH_3 sendiri, namun untuk mengoptimalkan pemisahan dapat dilakukan dengan meningkatkan pH hingga 11 dengan menggunakan Natrium Hidroksida. Peningkatan pH ini akan mengubah arah kesetimbangan kearah pembentukan molekul ammonia (NH_3) sehingga akan banyak molekul ammonia yang terdapat dalam larutan. Besarnya pembentukan molekul ammonia akan meningkatkan jumlah ammonia dalam larutan yang akan dipisahkan melalui kontaktor membran serat berongga.

Secara teoritis menurut Semmens, dkk (1990) penggunaan Natrium Hidroksida ini akan menghasilkan ion OH^- dalam larutan, yang mana difusi hidroksida pada permukaan membran tidak selalu cepat dan akan menghambat pemisahan ammonia pada permukaan membran. Masalah yang ditimbulkan oleh penambahan Natrium Hidroksida ini dapat di atasi dengan meningkatkan laju alir ammonia.

4.2 Efisiensi Pemisahan Ammonia Terlarut Dalam Air

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

Berdasarkan pembahasan sebelumnya dijelaskan bahwa peningkatan koefisien perpindahan massa dipengaruhi oleh peningkatan temperatur yang digunakan. Koefisien perpindahan massa ini berbanding lurus dengan efisiensi pemisahan. Gambar berikut akan menjelaskan tentang efisiensi pemisahan ammonia terlarut dalam air dan pengaruh lain yang mempengaruhi efisiensi pemisahan ammonia.

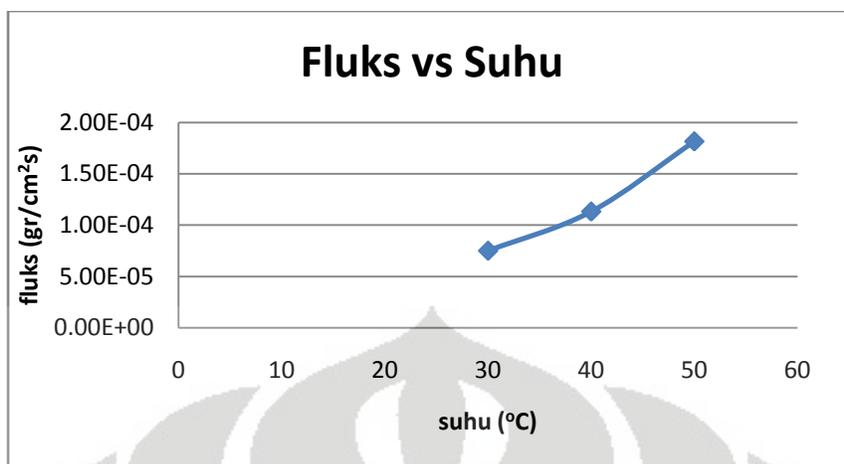


Gambar 4.2. Grafik efisiensi penyisihan ammonia

Berdasarkan Gambar 4.2 di atas terlihat bahwa trend efisiensi pemisahan ammonia akan meningkat seiring dengan peningkatan temperatur. Peningkatan jumlah temperatur akan meningkatkan jumlah molekul ammonia (NH_3) yang terkandung di dalam air limbah dan hal tersebut turut meningkatkan banyaknya ammonia yang disisihkan. Oleh karena itu peningkatan temperatur akan meningkatkan efisiensi pemisahan. Pada percobaan ini efisiensi pemisahan ammonia terbesar terjadi pada temperatur $50^\circ C$ dengan laju alir 5 Lpm, menurut Xie, dkk (2008), performa kondisi yang baik dan temperatur menghasilkan pemisahan ammonia sampai 97% pada kondisi temperatur $75^\circ C$. Namun pada penelitian ini dengan menggunakan membran polipropilene diperoleh pemisahan maksimal sebesar 71% dengan laju alir 5 Lpm. Banyak faktor yang menyebabkan kurangnya efisiensi ini diantaranya lama sirkulasi cairan, pH, laju air, jumlah serat membran, dan temperatur larutan. Di samping itu efisiensi pemisahan ammonia juga dipengaruhi oleh konsentrasi larutan penyerap asam sulfat yang digunakan. Jiahui, dkk (2008) mengatakan bahwa pada kondisi laju alir dan jumlah serat yang sama, efisiensi pemisahan ammonia dapat ditingkatkan dengan meningkatkan konsentrasi larutan penyerap asam sulfat yang digunakan.

4.3 Pengaruh Suhu Terhadap Fluks

Pemisahan ammonia terlarut dalam air melalui kontaktor membran serat berongga akan meningkat dengan peningkatan laju alir dan jumlah serat membran. Pada percobaan ini juga dibahas tentang pengaruh laju alir terhadap fluks yang dihasilkan. Gambar ini akan memperlihatkan perubahan fluks terhadap laju alir pada berbagai variasi temperatur.



Grafik 4.3. Grafik fluks vs suhu

Berdasarkan Gambar di atas terlihat bahwa semakin tinggi suhu umpan maka fluks yang terjadi juga akan meningkat. Fluks merupakan banyaknya jumlah ammonia terpisahkan per luas area membran persatuan waktu. Semakin banyaknya jumlah serat membran yang digunakan maka akan meningkatkan luas area membran sehingga faktor pembagi luas area membran akan semakin besar akibatnya akan semakin kecil fluks yang didapat. Di samping itu banyaknya jumlah berat ammonia yang dipisahkan juga akan mempengaruhi nilai fluks. Semakin banyak jumlah berat ammonia yang dipisahkan maka akan meningkatkan nilai fluks. Pada Gambar di atas dapat disimpulkan bahwa fluks yang didapat lebih dipengaruhi banyaknya berat ammonia yang terpisahkan selama waktu sirkulasi 2 jam dibandingkan dengan luas permukaan membran.

BAB V

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari pembahasan di atas adalah :

1. Ammonia yang terdapat dalam air merupakan basa lemah yang tidak terionisasi sempurna oleh karena itu untuk meningkatkan efisiensi pemisahan ammonia terlarut dalam air melalui kontaktor membran dapat dilakukan dengan merubah konstanta kesetimbangan fasa ammonia terlarut dalam air ke arah pembentukan ammonia itu sendiri guna meningkatkan efektivitas pemisahan.
2. Pada studi perpindahan massa, kenaikan temperatur akan meningkatkan nilai koefisien perpindahan massa. Koefisien perpindahan massa pemisahan ammonia terlarut dalam air terbesar didapatkan pada temperatur 50° C dengan nilai koefisien perpindahan massa mencapai $1,27 \times 10^{-3}$ cm/s.
3. Secara keseluruhan, temperatur akan meningkatkan efisiensi pemisahan. Efisiensi pemisahan terbesar didapatkan pada suhu 50° C dengan nilai 71 %.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmed, T and Semmens, M.J. 1992. *The use of independently sealed end microporous hollow fiber membranes for oxygenation of water model development*, *journal of membranes science*.

Bergeyk, K.Van dan Liedekerken, Ing. A.J. 1981. *Teknologi Proses*. Penerjemah B.S. Anwir. Penerbit Bhartara Karya Aksara. Jakarta.

Bird, R., W. Fred dan Lightfoot, N. 1990. *Transport Phenomena*. John Wiley & Sons. New York.

Bourawi, dkk.2006. *Application of Vacuum Membrane Distillation For Ammonia Removal*. *Journal of Membrane Science Direct*.

Gabelman, A., Sun-Tak Hwang. (1999). *Hollow fiber membrane contactors*. *Journal of membrane science*.

Horan, N.J. 1990. *Biological Waterwater treatment systems theory and operation*. Penerbit John Wiley and soon. England.

Jiahui, dkk. 2008. *Emergency Membrane Contactor Based Absorption System for Ammonia Leaks in Water Treatment Plants*.

Kartohardjono, Sutrasno. *Penggunaan Kontaktor Membran Serat Berlubang untuk Proses Penyerapan Gas CO₂ oleh Pelarut Air dan Larutan Encer NaOH*. *Journal membran*.

Klaasen, dkk. 2007. *Membrane Contactor Applications*. *Science Direct*.

Mulder, M. 2000. *Basic Principles of Membrane Technology*. Kluwer Academic Publisher. Netherland.

Nevers, Noel de. 1991. *Fluid Mechanics For Chemical Engineers*. McGraw-Hill, Inc. Singapore.

Semmens, Michael J., D.M. Foster, E.L. Cussler. *Ammonia removal from water using microporous hollow fibers*. Journal of membrane science.

Treybal, Robert. E. 1981. *Mass-Transfer Operations*. 3rd edition. Penerbit McGrawHill inc. Singapore.

Xie, dkk. 2008. *Ammonia Removal by sweep membrane gas destilation*. CSIRO materials science and engineering, Private bag 33, clayton south, vic. 3169, Australia

Wagner, Jorgen. 2001. *Membran filtration handbook, practical tips and hints*.

<http://www.cheresources.com> diakses tanggal 13 mei 2010

<http://mtg.tnw.utwente.nl/people/phd/fischbein/info/research/research-1.gif> diakses tanggal 18 mei 2010.

http://images.pennnet.com/articles/iww/thm/th_239031.gif diakses tanggal 18 mei 2010.

<http://majarimagazine.com/wp-content/uploads/2007/12/hollowfiber.jpg> diakses tanggal 29 mei 2010

<http://www.lenntech.com/images/tubula5.jpg> diakses tanggal 20 mei 2010