



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMISAHAN AMMONIA TERLARUT DALAM AIR
MELALUI KONTAKTOR MEMBRAN SERAT BERONGGA
MENGUNAKAN LARUTAN PENYERAP ASAM SULFAT**

SKRIPSI

**DODI CANDRA
0706200264**

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMISAHAN AMMONIA TERLARUT DALAM AIR
MELALUI KONTAKTOR MEMBRAN SERAT BERONGGA
MENGUNAKAN LARUTAN PENYERAP ASAM SULFAT**

SKRIPSI

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

**DODI CANDRA
0706200264**

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

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Dodi Candra

NPM : 0706200264

Tanda Tangan : 

Tanggal : 16 Desember 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Dodi Candra
NPM : 0706200264
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Pemisahan Ammonia Terlarut Dalam Air Melalui
Kontaktor Membran Serat Berongga Menggunakan
Larutan Penyerap Asam Sulfat

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Sutrasno Kartohardjono, MSc., PhD.

(.....)

Penguji 1 : Ir. Eva Fathul Karamah, MT.

(.....)

Penguji 2 : Ir. Yulisman, MEng.

(.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 5 Januari 2010

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbilalamin, penulis memanjatkan puji dan syukur ke hadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, akhirnya skripsi ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Tak lupa teriring sholawat dan salam atas junjungan Rasulullah Muhammad SAW. Penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya terutama kepada kedua orang tua dan keluarga yang penulis sayangi. Terima kasih atas bantuan doa, moril dan materil yang sangat berarti bagi penulis serta kasih sayang dan perhatian yang tulus. Tidak lupa penulis juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu penulis selama proses penulisan skripsi ini hingga dapat terselesaikan dengan baik sesuai dengan yang diharapkan, yaitu kepada:

1. Bapak Ir. Sutrasno Kartohardjono, M.Sc, Ph.D selaku pembimbing skripsi atas arahan, saran, kesabaran, dan bantuannya yang sangat berarti;
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Widodo Wahyu Purwanto, DEA selaku Ketua Departemen Teknik Kimia FTUI;
3. Ibu Tania Surya Utami ST, MT selaku pembimbing akademis penulis;
4. Para dosen dan karyawan Departemen Teknik Kimia FTUI yang telah membimbing dan memberikan ilmu yang sangat berguna bagi penulis;
5. Teman-teman Ekstensi Teknik Kimia UI angkatan 2007 yang sama-sama telah melewati masa-masa indah dan sulit bersama selama ini;
6. Semua pihak yang telah membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhir kata, penulis berharap Allah SWT berkenan membalas semua kebaikan semua pihak yang telah membantu penulis. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 16 Desember 2009

Penulis

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

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

Nama : Dodi Candra

NPM : 0706200264

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:

“Pemisahan Ammonia Terlarut Dalam Air Melalui Kontaktor Membran Serat Berongga Menggunakan Larutan Penyerap Asam Sulfat”

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 16 Desember 2009

Yang menyatakan



(Dodi Candra)

ABSTRAK

Nama : Dodi Candra
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Pemisahan Ammonia Terlarut Dalam Air Melalui Kontaktor Membran Serat Berongga Menggunakan Larutan Penyerap Asam Sulfat.

Pada penelitian ini dilakukan pemisahan ammonia terlarut dalam air melalui kontaktor membran serat berongga yang dinilai bisa memberikan efisiensi yang lebih jika dibandingkan pengolahan secara konvensional dengan proses menara absorpsi. Jenis membran serat berongga yang digunakan adalah polipropilena yang bersifat hidrofobik sedangkan larutan penyerap yang digunakan adalah asam sulfat. Penelitian ini mempelajari koefisien perpindahan massa dan sifat hidrodinamika air dengan variasi 10, 15, dan 20 serat serta variasi laju alir 3, 4, dan 5 Lpm. Untuk studi perpindahan massa, hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar jumlah serat membran dan laju alir akan meningkatkan koefisien perpindahan massa. Sementara itu untuk studi hidrodinamika, peningkatan jumlah serat membran dan laju alir akan memperbesar friksi sehingga penurunan tekanan juga akan semakin besar. Efisiensi pemisahan tertinggi diperoleh pada kondisi variasi serat 20 dan laju alir 5 Lpm dengan nilai 63,45%.

Kata kunci:

Kontaktor membran hidrofobik, ammonia, koefisien perpindahan massa, hidrodinamika air

ABSTRACT

Name : Dodi Candra
Study Program : Chemical Engineering
Title : Dissolved Ammonia Removal from Aqueous Solution through Hollow Fiber Membrane Contactor using Sulfuric Acid as Absorbent.

This research conducted removal of dissolved ammonia from aqueous solution through hollow fiber membrane contactor. This process gives more efficiency than conventional process using an absorption column. Polypropylene is a kind of hollow fiber membrane that used in this research. It has a hydrophobic characteristic, whereas sulfuric acid is an absorbent. This research studied about mass transfer coefficient and hydrodynamics properties of water by variation of 10, 15, and 20 fibers, also 3, 4, and 5 Lpm of flow rates. For mass transfer study, results showed that the increasing of flow rate and number of fiber membrane will increase the mass transfer coefficient. While for Hydrodynamic study, the increasing number of fiber membrane and flow rate will increase a friction with the result that increasing a pressure drop. A great efficiency achieves as high as 63.45 % at 20 fibers and 5 Lpm flow rate variation process.

Keywords:

Hydrophobic membrane contactor, ammonia, mass transfer coefficient, aqueous solution hydrodynamic

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 TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
1. 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	5
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Absorpsi	6
2.2 Desorpsi (<i>stripping</i>)	7
2.3 Pengertian Membran.....	8
2.4 Membran	10
2.4.1 Membran Polipropilene.....	11
2.5 Modul Membran	13
2.5.1 Modul <i>Flat and Frame</i>	14
2.5.2 Modul <i>Spiral Wound</i>	14
2.5.3 Modul <i>Tubular</i>	15

2.5.4 Modul Kapiler	16
2.5.5 Modul <i>Hollow Fiber</i>	16
2.6 Kontakor Membran	17
2.6.1 Kontakor Membran Cair-Cair	18
2.7 Kontakor Membran Serat Berongga	19
2.8 Kelebihan dan Kekurangan Kontakor Membran Serat Berongga	20
2.9 Ammonia	23
2.10 Penelitian sebelumnya	25
3. METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Pendahuluan	27
3.2 Diagram Alir Penelitian	27
3.3 Peralatan Dan Bahan Penelitian Yang Digunakan	29
3.4 Skema Alat	30
3.5 Prosedur Penelitian	32
3.5.1 Pembuatan Larutan Ammonia	33
3.5.2 Pembuatan Larutan Asam Sulfat	33
3.6 Penentuan Koefisien Transfer Massa	34
3.7 Studi Hidrodinamika	36
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Studi Perpindahan Massa	39
4.1.1 Pengaruh Jumlah Serat Membran Terhadap Perpindahan Massa	39
4.1.2 Pengaruh Laju Alir Terhadap Koefisien Perpindahan Massa	42
4.2 Efisiensi Pemisahan Ammonia Terlarut Dalam Air	43
4.3 Pengaruh Laju Alir Terhadap Fluks	46
4.4 Sifat Hidrodinamika Air	48
4.5 Korelasi Perpindahan Massa	53
5. KESIMPULAN	56
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN	59

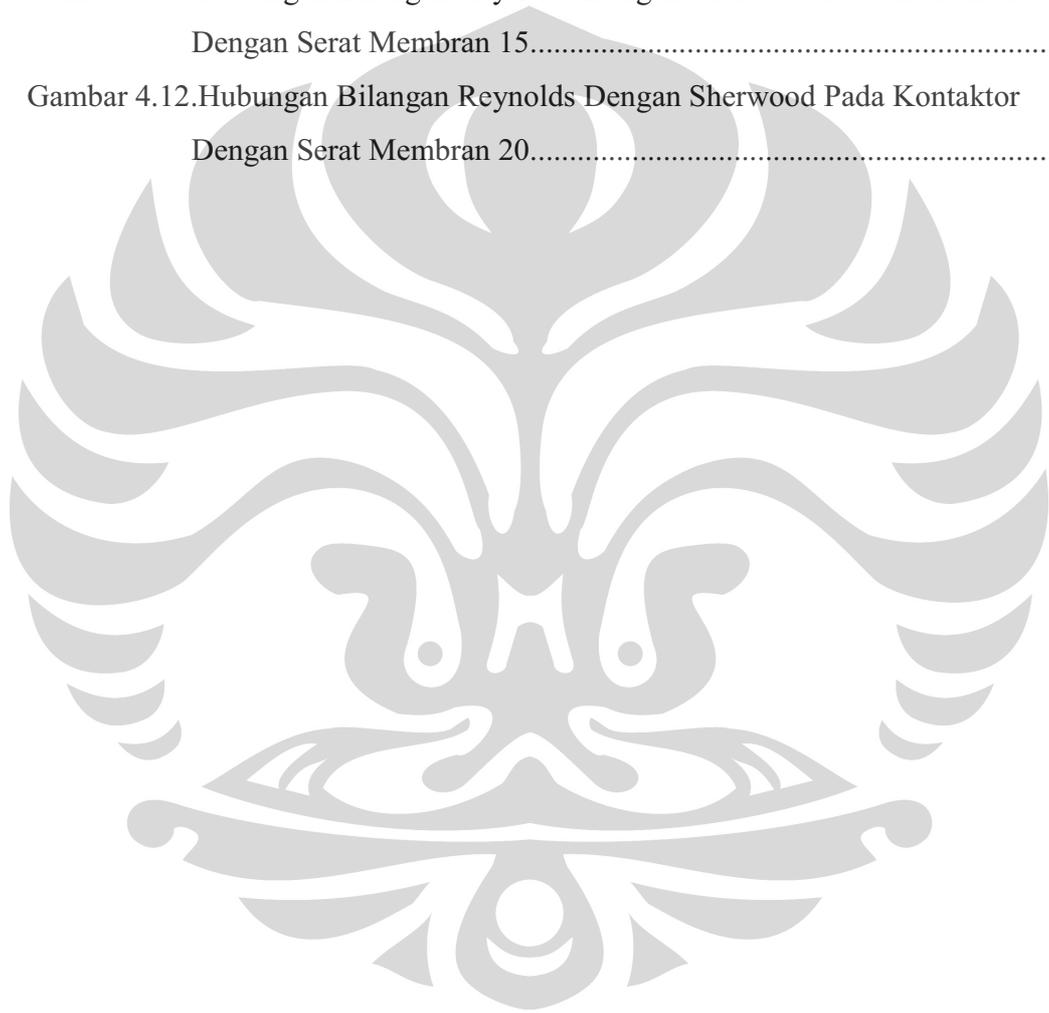
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Jenis Vinyl Polimer.....	10
Tabel 2.2. Modul Pipa.....	13
Tabel 2.3. Luas Area Permukaan Membran Per Volum Untuk Beberapa Radius.....	14
Tabel 2.4. Baku Mutu Air Limbah Kegiatan Eksplorasi dan Produksi Migas Dari Fasilitas Darat (<i>On-Shore</i>).....	24
Tabel 2.5. Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Eksplorasi dan Produksi Panas Bumi.....	24
Tabel 2.6. Baku Mutu Pembuangan Air Limbah Proses dari Kegiatan Pengolahan Minyak Bumi.....	25
Tabel 2.7. Penelitian sebelumnya.....	25
Tabel 4.1. Korelasi Hubungan Bilangan Reynolds Dengan Sherwood.....	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Skema Representatif Proses Membran.....	9
Gambar 2.2. Struktur Kimia Vinyl Polimer	10
Gambar 2.3. Struktur Kimia Polipropilene	11
Gambar 2.4. Struktur Kimia Polipropilene Isotaktik	11
Gambar 2.5. Struktur Kimia Polipropilene Ataktik	12
Gambar 2.6. Struktur Kimia Polipropilene Syndiotaktik.....	12
Gambar 2.7. Skema Modul Membran.....	13
Gambar 2.8. Modul <i>Plat and Frame</i>	14
Gambar 2.9. Modul <i>Spiral Wound</i>	15
Gambar 2.10. Modul Tubular.....	15
Gambar 2.11. Modul Kapiler	16
Gambar 2.12. Modul Hollow Fiber.....	17
Gambar 2.13. Skema Kontaktor Membran Gas-Liquid dan Liquid-Gas	17
Gambar 2.14. Skema Kontaktor Membran Cair-Cair	19
Gambar 2.15. Kontaktor Membran Serat Berongga.	20
Gambar 3.1. Skema Penelitian.....	28
Gambar 3.2. Skema Rancang Alat Penelitian	30
Gambar 4.1. Hubungan Laju Alir Dengan Koefisien Perpindahan Massa	40
Gambar 4.2. Efisiensi Pemisahan Ammonia Terlarut Pada Kontaktor Dengan Jumlah Serat 10.....	44
Gambar 4.3. Efisiensi Pemisahan Ammonia Terlarut Pada Kontaktor Dengan Jumlah Serat 15.....	44
Gambar 4.4. Efisiensi Pemisahan Ammonia Terlarut Pada Kontaktor Dengan Jumlah Serat 20.....	45
Gambar 4.5. Hubungan Laju Alir Dengan Fluks Pada Kontaktor Dengan Jumlah Serat 10.....	47
Gambar 4.6. Hubungan Laju Alir Dengan Perubahan Tekanan Pada Kontaktor	48

Gambar 4.7. Hubungan Bilangan Reynolds Dengan Perbedaan Tekanan.....	49
Gambar 4.8. Hubungan Bilangan Reynolds Dengan Friksi Modul Pada Kontaktor ...	50
Gambar 4.9. Hubungan Bilangan Reynolds Dengan Rasio Friksi Pada Kontaktor.....	51
Gambar 4.10. Hubungan Bilangan Reynolds Dengan Sherwood Pada Kontaktor Dengan Serat Membran 10.....	53
Gambar 4.11. Hubungan Bilangan Reynolds Dengan Sherwood Pada Kontaktor Dengan Serat Membran 15.....	54
Gambar 4.12. Hubungan Bilangan Reynolds Dengan Sherwood Pada Kontaktor Dengan Serat Membran 20.....	54



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	60
Lampiran 2	61



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proses industrialisasi akan meningkatkan taraf hidup masyarakat suatu negara, namun proses industrialisasi juga memberikan dampak negatif berupa limbah pencemar terhadap lingkungan. Senyawa ammonia merupakan salah satu limbah yang dihasilkan dari proses industri yang dapat menyebabkan pencemaran terhadap lingkungan.

Berdasarkan 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.

Oleh karena bahaya dan tingkat korosif ammonia sangat berpengaruh terhadap kesehatan dan lingkungan maka berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 04 Tahun 2007 kandungan maksimal ammonia (sebagai $\text{NH}_3\text{-N}$) yang diperbolehkan adalah: 5 mg/L (untuk Kegiatan Eksplorasi dan Produksi 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 yang tepat dan efektif untuk pengolahan limbah yang mengandung ammonia agar kualitas limbah tersebut memenuhi baku mutu lingkungan yang telah ditetapkan serta tidak berbahaya terhadap lingkungan.

Penghilangan ammonia terlarut dalam air secara konvensional biasanya dilakukan dengan aerasi ataupun dengan proses operasi kontak dengan menggunakan kolom *packed tower*. Pada proses aerasi, ammonia dihilangkan dengan mengalirkan udara ke dalam limbahnya. Efek samping dari proses ini berupa gas ammonia yang dibuang ke udara bebas. Proses kolom konvensional juga sering digunakan dalam pemisahan ammonia, namun proses ini membutuhkan konsumsi energi yang cukup

besar dan memiliki kendala untuk dioperasikan karena sering terjadi berbagai masalah seperti *flooding*, *loading*, *channeling*, dan *entrainment*.

Adanya permasalahan yang timbul pada proses konvensional diatas memicu untuk menemukan teknologi pemisahan alternatif lainnya. Salah satu teknologi alternatif yang bisa diterapkan dalam pemisahan ammonia terlarut dalam air adalah melalui teknologi pemisahan yang menggunakan kontaktor membran serat berongga (*Hollow Fiber Membran Contactor*, HFMC).

Pemisahan ammonia terlarut dalam air menggunakan membran serat berongga lebih efisien 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 *uploading* dapat dihindari, mudah di *scale-up*, operasi dapat berlangsung kontiniu 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. Membran 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. 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 asam sulfat karena 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 asam sulfat 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 membran 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 asam sulfat. Pengaruh laju alir dan jumlah serat membran 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 laju alir umpan dan jumlah serat membran tertentu. Studi yang dilakukan akan melihat pengaruh laju alir umpan serta pengaruh jumlah serat membran 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 larutan H_2SO_4 sebagai larutan penyerap.
3. Variabel proses yang divariasikan adalah laju alir umpan, jumlah membran serat berongga.
4. Variabel tetap dalam penelitian ini adalah panjang serat, diameter 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 meliputi definisi kontaktor membran serat berongga, keuntungan kontaktor membran serat berongga, proses absorpsi dan desorpsi, dan teori tentang ammonia meliputi baku mutu limbah ammonia serta bahaya limbah ammonia.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

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

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi 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 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.

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 Desorpsi (*Stripping*)

Secara sederhana desorpsi merupakan suatu proses pemisahan gas yang terlarut dalam zat cair. Proses ini melibatkan difusi molekul atau perpindahan massa yang umumnya terdiri dari dua fasa yang tidak saling larut dan terdapat interfasa atau antar muka antara kedua fasa (Bergeyk, 1981).

Molekul berpindah di bagian *bulk* masing-masing fasa dan perbedaan konsentrasi antara keduanya diabaikan kecuali pada sekitar interfasa. Pada bagian lain dari interfasa, perpindahan molekul tersebut hilang dan terdapat lapisan tipis yang menyebabkan perpindahan molekul terjadi secara difusi molekuler.

Proses desorpsi dipengaruhi oleh (Bergeyk, 1981):

1. Tekanan. Proses desorpsi seringkali berlangsung pada tekanan rendah.
2. Suhu. Bila proses absorpsi berlangsung pada suhu rendah maka proses desorpsi berlangsung pada suhu tinggi.

3. Perbedaan konsentrasi (kepekatan), penurunan konsentrasi dari gas yang ingin diserap dalam cairan dapat dilakukan dengan mengkontakan cairan tersebut dengan gas pendesak yang konsentrasinya rendah sehingga gas yang akan diserap beralih dari fasa cair ke fasa gas pendesak. Dengan kata lain dalam zat cair terjadi penurunan konsentrasi gas sehingga gas akan terdesak keluar dari zat cair sebagai akibat adanya perbedaan konsentrasi. Sebagai gas pendesak biasanya digunakan uap, udara atau jenis gas lainnya.

2.3 Pengertian Membran

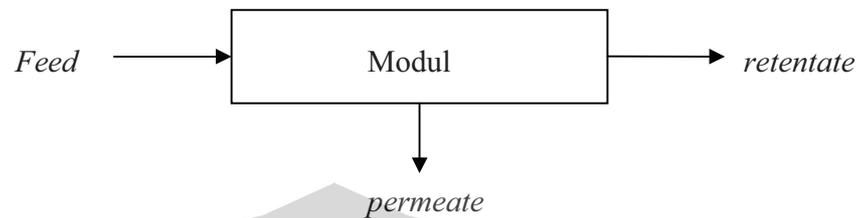
Meskipun sulit untuk mendefinisikan membran secara tepat tapi secara umum membran didefinisikan sebagai suatu penghalang selektif antara dua fasa sehingga molekul selektif akan melekat ke membran (Mulder, 2000) dengan kata lain molekul tertentu dapat menembus membran sementara molekul lainnya tidak dapat menembus membran tersebut.

Struktur suatu membran bisa tebal atau tipis, penyusunnya homogen atau campuran, perpindahan bisa terjadi aktif atau pasif. Perpindahan atau pemisahan yang terjadi secara pasif bisa menggunakan perbedaan tekanan, konsentrasi, temperatur sebagai gaya penggerak (*driving force*). Membran juga bisa dibuat dari bahan alami atau sintetik, netral atau bermuatan (Mulder, 2000).

Membran memiliki kemampuan untuk memindahkan satu komponen karena adanya perbedaan sifat fisika dan/atau kimia diantara membran dan komponen *permeate* dimana laju permeasi pada membran sebanding dengan gaya penggerak (*driving force*). Gaya penggerak (*driving force*) adalah gaya yang bekerja pada molekul atau partikel di dalam membran. Gaya penggerak (*driving force*) dapat berupa perbedaan tekanan, konsentrasi, dan temperatur antara larutan pada bagian luar membran dengan larutan yang berada di bagian dalam membran.

Pada proses pemisahan dengan membran, umpan akan dipisahkan menjadi dua bagian yaitu aliran yang pekat (*retentate*) dan aliran yang mengandung senyawa yang melewati membran yang terpisahkan (*permeate*). Dimana hasil yang dipisahkan

itu tergantung pada kebutuhan yang diinginkan (*retentate* atau *permeate*) yang dijelaskan oleh Gambar 2.1 berikut ini.



Gambar 2.1. Skema representatif proses membran (Mulder, 2000).

Jenis aliran umpan yang melalui membran pada umumnya dibedakan menjadi aliran *dead-end* dan aliran *cross flow*. Aliran *dead-end* merupakan aliran umpan yang tegak lurus dan tidak terdapat aliran partikel keluar dari membran yang tertolak (*retentate*) sehingga menyebabkan akumulasi pada permukaan membran yang menyebabkan laju permeasi akan berkurang, sedangkan aliran *cross flow* merupakan aliran dimana umpan sejajar dengan permukaan membran.

Teknologi membran sering digunakan dalam banyak proses pemisahan karena mempunyai beberapa keuntungan seperti berikut (Mulder, 2000):

1. Pemisahan dapat dilakukan secara terus menerus (*continuously*).
2. Secara umum konsumsi energinya rendah.
3. Proses membran dapat dengan mudah dikombinasikan dengan proses pemisahan lainnya.
4. Mudah untuk dibersihkan.
5. Tidak membutuhkan bahan aditif lainnya.

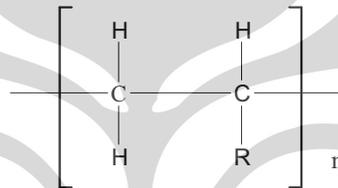
Dan kekurangan dari proses membran adalah :

1. Terjadinya polarisasi konsentrasi / *fouling*.
2. Massa umur pemakaian rendah.
3. Selektivitas rendah (*flux*).

2.4 Membran

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 2.2 berikut ini:



Gambar 2.2. Struktur kimia vinyl polimer (Mulder, 2000).

Simbol R merupakan alkil yang mengikat gugus CH₂-CH yang akan membedakan jenis vinyl polimer yang dijelaskan oleh Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1. Jenis vinyl polimer

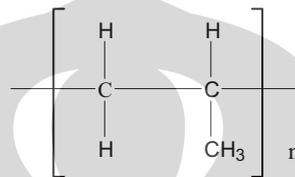
Nama	- R
Polipropilena	- CH ₃
Polibutilena	-C ₂ H ₅
Polystyrena	-C ₆ H ₅
Polyvinylalcohol	-OH
Polyacrilonitril	-CN
Polyacrylonitril	-Cl

Sumber : Mulder, 2000

Dan berbagai jenis vinyl polimer lainnya. Pada penelitian yang dilakukan membran vinyl polimer yang digunakan adalah jenis polypropilen yang berongga dan bersifat hidrofobik.

2.4.1 Membran Polipropilena

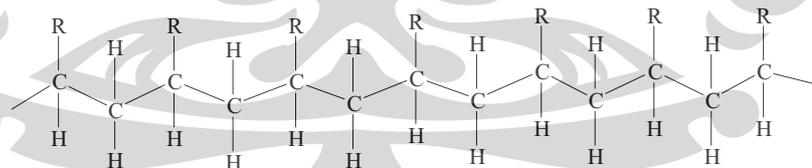
Membran polipropilena memiliki struktur kimia seperti Gambar 2.3 berikut :



Gambar 2.3. Struktur kimia polipropilena (Mulder, 2000).

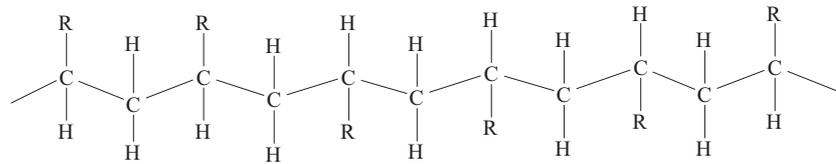
Gugus metil pada rantai atom polypropilen dapat berada pada susunan rantai polymer pada rantai atom C yang berbeda-beda, oleh karena itu posisi gugus metil pada struktur polymer polypropilen akan mempengaruhi sifat dari polypropilen itu sendiri. Biasanya dikenal dengan 3 posisi yang akan membedakan sifat polypropilen yakni (Mulder, 2000):

- Isotaktik, dimana seluruh gugus metil berada pada sisi yang sama sepanjang rantai utama, dengan rumus bangun seperti Gambar 2.4 berikut.



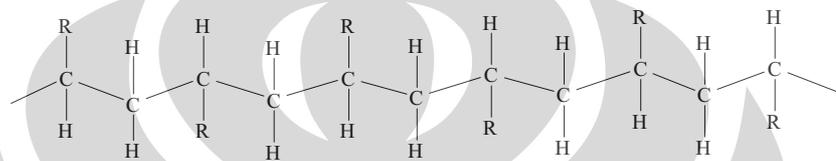
Gambar 2.4. Struktur kimia polipropilena isotaktik (Mulder, 2000).

- Atatik, dimana gugus metil berada secara acak sepanjang rantai utama, Polipropilena ataktik merupakan polimer yang lemah karena polimer yang terbentuk merupakan bentuk amorf dengan susunan rantai yang tidak beraturan dengan rumus bangun seperti Gambar 2.5 berikut ini.



Gambar 2.5. Struktur kimia polipropilena ataktik (Mulder, 2000).

- Syndiotaktik, dimana gugus metil berada secara berselang-seling disepanjang rantai utama, dengan rumus bangun seperti Gambar 2.6 berikut ini.



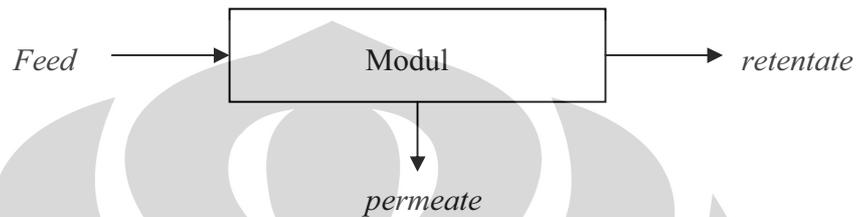
Gambar 2.6. Struktur kimia polipropilena syndiotaktik (Mulder, 2000).

Posisi dari gugus alkil metil sangat mempengaruhi sifat-sifat dari polypropilen. Karena kekristalan tergantung pada struktur maka polymer polypropilen bentuk isotaktik lebih kristalin jika dibandingkan dengan atatik dan syndiotaktik. Dengan kata lain ataktik berbentuk tidak beraturan (*amorf*) sedangkan isotaktik lebih kristalin. Bentuk kristalin tidak hanya berpengaruh pada sifat mekanik tetapi juga berpengaruh terhadap permeabilitasnya. Polipropilena isotaktik juga memiliki berbagai sifat diantaranya:

1. Memiliki densitas yang lebih kecil ($0,9 \text{ gr/cm}^3$)
2. Mempunyai softening point yang lebih tinggi, dan dapat digunakan pada temperatur yang tinggi.
3. Polipropilena terhindar dari proses cracking oleh lingkungan, kecuali jika terdapat sulfur dan asam kromat.
4. Memiliki tingkat kekuatan yang tinggi.
5. Mudah teroksidasi dikarenakan adanya karbon tersier pada gugus metil samping polipropilena.

2.5 Modul Membran

Modul membran merupakan bagian yang penting dalam pemisahan menggunakan membran. Modul membran merupakan suatu unit terkecil dimana membran dikemas dalam proses pemisahan yang dijelaskan oleh Gambar 2.7 dibawah ini.



Gambar 2.7. Skema modul membran (Mulder, 2000).

Aliran umpan masuk kedalam modul dengan komposisi dan laju alir tertentu, karena membran memiliki kemampuan untuk memisahkan komponen-komponen, maka aliran umpan akan dipisahkan menjadi dua bagian yaitu aliran *permeate* dan aliran *retentate*. Aliran *permeate* adalah fraksi aliran umpan yang menembus membran sedangkan aliran *retentate* adalah fraksi yang tersisa dari aliran umpan (Mulder, 2000).

Modul membran dapat dibedakan menjadi dua tipe yaitu modul datar (*flat*) dan modul pipa (*tubular*). Modul *plate and frame* dan modul *spiral-wound* merupakan jenis modul tipe datar sedangkan modul kapiler (*capillary*) dan serat berongga (*hollow fiber*) merupakan modul tipe pipa. Modul pipa dapat dibedakan berdasarkan diameter pipa sebagaimana dijelaskan oleh Tabel 2.2 berikut.

Tabel. 2.2. Modul pipa

Bentuk modul	Diameter (mm)
Pipa	> 10,0
Kapiler	0,5-10,0
Serat berongga	< 0,5

Sumber : Mulder, 2000

Dan untuk membran pipa/serat berongga yang disusun paralel maka luas area permukaan membran per volume merupakan fungsi dari diameter pipa (*tube*). Berikut adalah Tabel 2.3 yang menjelaskan luas area permukaan membran per volum untuk beberapa radius.

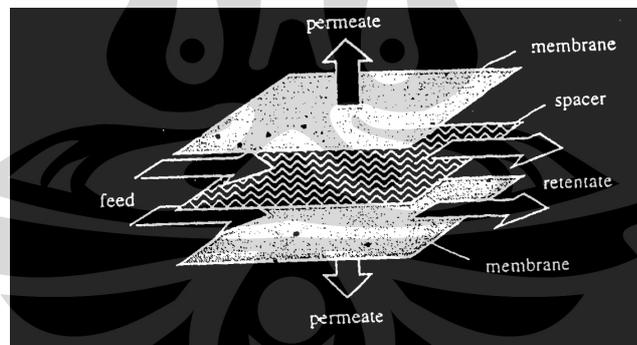
Tabel. 2.3. Luas area permukaan membran per volum untuk beberapa radius

Radius tabung (mm)	Luas area permukaan per volum (m^2/m^3)
5	360
0,5	3600
0,05	36000

Sumber : Mulder, 2000

2.5.1 Modul *Plat and Frame*

Pada modul *plat and frame* membran dibatasi oleh plat sehingga membentuk modul *plat and frame*, Untuk modul ini luas area membran per volume modul adalah 100-400 m^2/m^3 . Gambar modul *plate and frame* dapat dilihat pada Gambar 2.8 berikut.

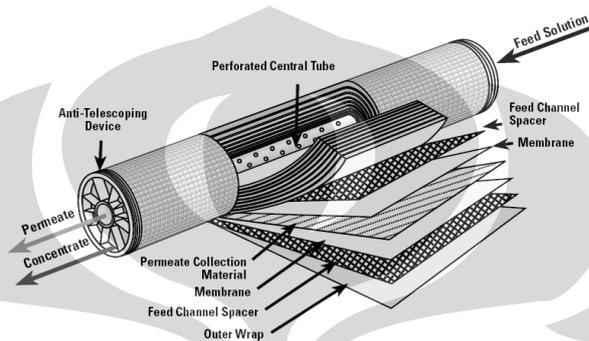


Gambar 2.8. Modul *Plat and Frame* (Mulder, 2000).

2.5.2 Modul *Spiral Wound*

Modul *spiral wound* merupakan pengembangan dari *modul plate and frame* dengan tujuan agar dapat memperluas kontak pemisahan. Pada modul ini lembaran-lembaran membran datar dipisahkan dengan suatu saluran material pengumpul

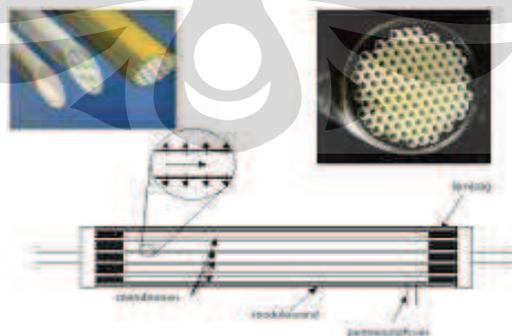
permeasi untuk membentuk suatu lembaran. Pengabungan ini ditutup pada tiga sisi dengan sisi keempat dibiarkan terbuka agar zat permeasi dapat keluar. Modul ini lebih tahan terhadap *fouling* dan mudah dibersihkan karena merupakan lembaran membran yang digulung. Kerapatan pengepakan modul ini adalah $300\text{-}1000\text{ m}^2/\text{m}^3$. Modul *Spiral Wound* dapat dilihat pada Gambar 2.9 berikut ini.



Gambar 2.9. Modul *Spiral Wound* (<http://www.kochmembrane.com>, 2009)

2.5.3 Modul *Tubular*

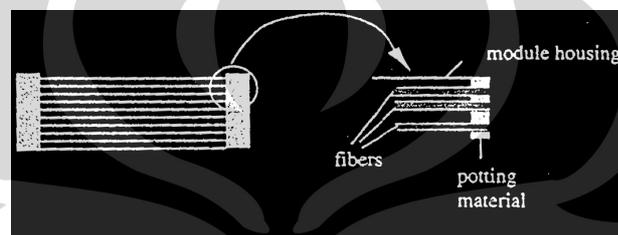
Pada modul *tubular* beberapa lembaran membran diisikan kedalam *tube*. *Tube* yang digunakan biasanya terbuat dari stainless steel, keramik atau plastik yang diameternya tidak lebih dari 10 mm. Jumlah tube yang ada dalam modul bisa bervariasi biasanya antara 4 sampai 8. Kerapatan pengepakan modul tubular ini sangat rendah yaitu kurang dari $300\text{ m}^2/\text{m}^3$. Modul *tubular* dapat dilihat pada Gambar 2.10 berikut ini.



Gambar 2.10. Modul *Tubular* (<http://www.lenntech.com>, 2009).

2.5.4 Modul Kapiler

Modul kapiler terdiri dari sejumlah membran yang dipasang bersama dalam satu modul dalam sebuah pipa. Berdasarkan penyusunannya modul kapiler ini dibedakan menjadi dua jenis yaitu larutan umpan yang melewati kapiler dan larutan umpan yang berada pada *shell* (diluar kapiler). Pemilihan modul diatas tergantung pada kondisi operasi seperti tekanan, perubahan tekanan, tipe membran dll. Kerapatan pengepakan modul kapiler ini berkisar antara 600-1200 m²/m³. Modul *Kapiler* dapat dilihat pada Gambar 2.11 berikut ini.

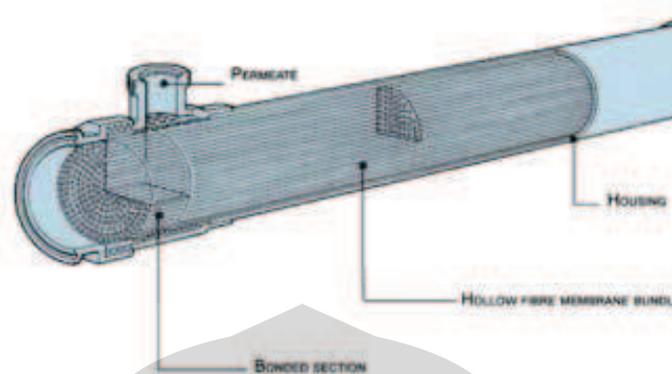


Gambar 2.11. Modul Kapiler (Mulder, 2000).

2.5.5 Modul *Hollow Fiber*

Pada dasarnya terdapat kesamaan antara konsep modul kapiler dengan modul *hollow fiber*. Pada modul *hollow fiber* larutan umpan bisa masuk melalui bagian dalam fiber (*'inside-out'*) atau pada bagian luarnya (*'outside-in'*).

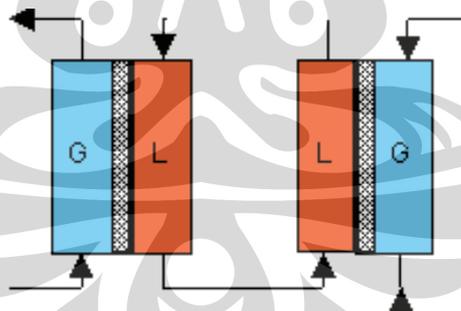
Pada modul *hollow fiber* aliran umpan yang digunakan harus bersih seperti pada pemisahan gas dan pervaporasi. Kekurangan dari modul *hollow fiber* ini adalah tidak tahan terhadap tekanan dan temperatur tinggi serta memiliki ketahanan yang rendah (rentan) terhadap *fouling* karena banyaknya rongga pada modul ini. Kelebihan dari modul ini adalah dapat beroperasi pada aliran laminar dengan berbagai penggunaan aliran (searah maupun berlawanan arah) dan posisi (vertikal ataupun horizontal). Kerapatan pengepakan pada *hollow fiber* paling besar jika dibandingkan dengan modul lainnya yakni 30.000 m²/m³. Gambar modul *hollow fiber* dapat dilihat pada Gambar 2.12 berikut ini.



Gambar 2.12. Modul hollow fiber (<http://majarimagazine.com>, 2009)

2.6 Kontaktor Membran

Terdapat perbedaan kontaktor membran untuk fasa gas cair (G-L) dengan kontaktor membran untuk fasa cair-cair (L-L). Pada kontaktor membran G-L terdapat fasa gas atau uap dan fasa lainnya adalah fasa cair sedangkan pada kontaktor L-L kedua fasa adalah cairan. Kontaktor membran gas-cair dapat mengatur proses gas atau uap yang akan dipindahkan dari fasa cair ke fasa gas. Berikut adalah skema kontaktor membran G-L dan L-G yang dapat dilihat pada Gambar 2.13 berikut ini.



Gambar 2.13. Skema kontaktor membran G-L dan L-G (Mulder, 2000).

Fungsi utama dari kontaktor membran yaitu:

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 hanyalah 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 (Mulder, 2000). Keuntungan lain menggunakan kontaktor membran adalah dapat menghilangkan *flooding* dan *unloading* serta fasa yang terdispersi. Berbeda dengan sistem separasi lainnya, kontaktor membran dapat memberikan perpindahan massa secara keseluruhan.

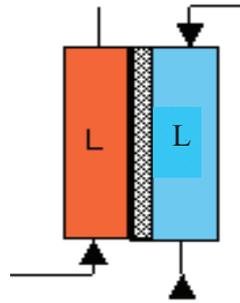
2.6.1 Kontaktor Membran Cair-Cair

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.

Proses kontak membran cair cair digambarkan pada Gambar 2.14 berikut ini.



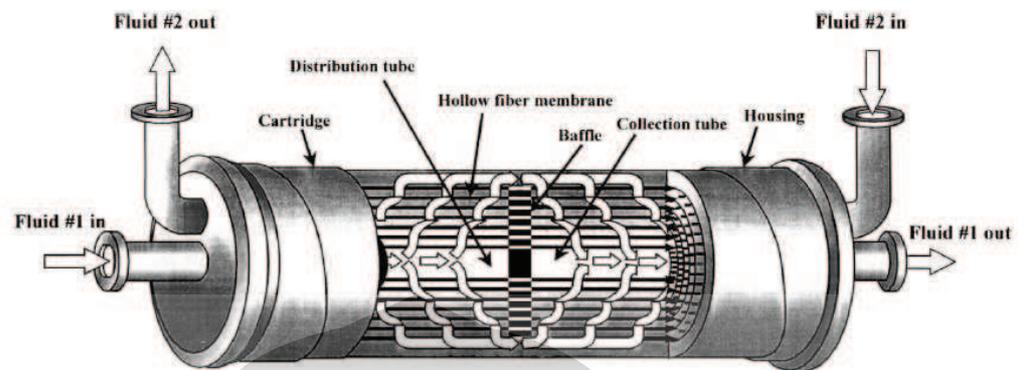
Gambar 2.14. Skema kontaktor membran cair-cair (Mulder, 2000)

2.7 Kontaktor Membran Serat Berongga

Membran berongga memiliki pori 0.1-10 μm untuk pemisahan mikrofiltrasi dan 2-100 nm untuk pemisahan ultrafiltrasi. Pemilihan membran sangat dipengaruhi oleh faktor tertentu seperti yang sering dijadikan faktor pemilihan membran yaitu membran yang dapat mencegah terjadinya *fouling* dan cara membersihkan membran setelah terjadi *fouling*.

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

Modul membran serat berongga mirip dengan modul kapiler tetapi berbeda dimensi. Struktur serat di dalam modul yang asimetrik memiliki diameter dalam sekitar 42 mikron (0,0016 inci) dan diameter luar sekitar 85 mikron (0,0033 inci). Jutaan serat ini dibentuk menjadi bundel dan dilipat setengah dengan konfigurasi kerapatan pengepakan yang tertinggi hingga mencapai $30000 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Distribusi air umpan berupa tabung plastik 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 yang terdapat dalam *shell* silinder dengan panjang kurang lebih 137 cm dan diameter 15-30 cm. Keseluruhan dari penggabungan ini disebut permeator. Gambar kontaktor membran serat berongga dapat dilihat pada Gambar 2.15 berikut ini.



Gambar 2.15. Kontaktor membran serat berongga. (Gabelman dan Hwang, 1999)

2.8 Kelebihan dan Kekurangan Kontaktor Membran Serat Berongga

Kelebihan yang lain dari kontaktor membran serat berongga sebagai kontaktor gas-cair dan separasi jika dibandingkan dengan kontaktor separasi konvensional antara lain (Gabelman dan Hwang, 1999):

1. Luas permukaan yang ada tidak berpengaruh pada laju alir yang tinggi maupun rendah, karena kedua aliran tidak tergantung satu sama lainnya. Hal ini merupakan suatu kelebihan yang digunakan dalam proses industri ketika rasio pelarut umpan yang diperlukan sangat tinggi atau sangat rendah. Tetapi sebaliknya *packed column* dapat mengalami *flooding* pada laju alir gas terlalu tinggi terhadap laju alir air dan *unloading* pada laju alir gas yang sangat rendah relatif terhadap laju alir air.
2. Tidak terjadi pembentukan emulsi (*foaming*) karena tidak ada dispersi fluida-fluida.
3. Tidak seperti kontaktor konvensional, tidak diperlukan perbedaan densitas antara fluida. Kontaktor membran dapat mengakomodir fluida yang sama densitasnya sekalipun dan dapat dioperasikan pada berbagai orientasi (vertikal atau horisontal dan *co-current* atau *counter current*).
4. Laju alir fasa gas dan fasa cair dapat dikontrol secara terpisah dikarenakan sistem kontak tidak dispersif.
5. Desain modularnya membolehkan pengaplikasian plan membran dalam lingkup kapasitas yang sangat luas. Kapasitas yang kecil atau besar dapat

dicapai dengan mudah dengan menggunakan sedikit atau banyak modul membran.

6. Kontaktor membran dapat digunakan untuk meningkatkan batas konversi kesetimbangan reaksi kimia, dengan mensirkulasikan kandungan reaktor melalui kontaktor dengan pelarut ekstraksi atau *gas stripping*, produk dapat dipindahkan atau dihilangkan dan reaksi kesetimbangan bergeser kekanan.
7. Luas permukaan kontak diketahui jumlahnya dan cenderung konstan sehingga prediksi performansi lebih mudah daripada kontaktor fasa terdispersi konvensional. Dengan *packed column*, luas permukaan kontak perunit volume mungkin diketahui namun terkadang sulit untuk menentukan loading seperti berapa fraksi yang aktual digunakan dari permukaan kontak yang ada.
8. Efisiensi lebih tinggi (dengan hasil pengukuran HTU-*height of transfer unit* yang rendah).
9. Tidak terjadi pemborosan pelarut (efisien dan efektif dalam pemanfaatan pelarut).
10. Tidak seperti pada kolom fasa terdispersi dengan pengadukan mekanik, kontaktor membran tidak memiliki bagian yang bergerak sehingga memudahkan dalam perawatan dan pemeliharaan.
11. Kondisi operasi bebas mikroorganisme (operasi aseptik) akan menguntungkan untuk proses seperti fermentasi.
12. Luas permukaan kontak yang lebih banyak daripada konvensional. Kontaktor membran biasanya memberikan luas permukaan 30 kali lebih banyak daripada gas absorber dan 500 kali dari luas permukaan pada kolom ekstraksi cair-cair.
13. Penskalaan hasil lebih linier dengan kontaktor membran daripada peralatan konvensional. Dengan ini maka peningkatan kapasitas dapat diprediksi secara sederhana dengan menambahkan modul membran (namun hal ini tentu saja juga dibatasi oleh spesifikasi peralatan pendukung lain seperti pompa transfer, perpipaan, dan lain lain).

Selain memiliki kelebihan, kontaktor membran juga memiliki kekurangan (Gabelman dan Hwang, 1999), yaitu:

1. Adanya membran menambah resistansi/tahanan lain pada perpindahan massa yaitu resistansi membran itu sendiri. Namun, resistansi ini tidak selalu penting dan dapat dilakukan usaha untuk meminimalkan resistansi membran ini.
2. Efisiensinya berkurang karena adanya aliran *by-pass* dan *shell* (*shell-side by passing*), ada sebagian fluida dalam *shell* yang tidak kontak dengan membran sehingga aliran akan lebih baik jika diturbuliskan.
3. Pada membran dapat terjadi *fouling* walaupun tidak sebesar pada kontaktor yang menggunakan gradien tekanan sebagai *driving force*-nya. Selain itu, polarisasi konsentrasi (penumpukan komponen-komponen yang memiliki konsentrasi tinggi pada permukaan membran) juga mempengaruhi kekotoran pada membran yang mengakibatkan kinerja operasi membran akan menurun. Semakin banyak terjadi *fouling* maka luas permukaan spesifik akan menurun drastis sehingga sehingga performansi perpindahan massanya ($k_L a$) juga akan menurun drastis. Kekotoran ini dipengaruhi oleh tipe pemisahan dan tipe membran yang digunakan. Menurut (Mulder, 2000) tipe pengotor dibedakan menjadi tiga yaitu:
 - a. Endapan organik (makromolekul, zat-zat biologis, dll).
 - b. Endapan anorganik (hidroksida logam, garam kalsium, dll) serta partikulat.
4. Membran memiliki umur yang tertentu sehingga biaya periodik pergantian membran juga perlu diperhitungkan.
5. Pemakaian adhesive atau perekat (seperti epoksi) untuk menahan 'buntelan' *fiber* pada *tube* kemungkinan mudah rusak oleh pelarut organik.
6. Beroperasi pada rentang temperatur yang tidak terlalu tinggi karena dapat menyebabkan rusaknya membran khususnya untuk membran polimer.
7. Tidak tahan terhadap kondisi yang terlalu asam atau basa khususnya untuk membran polimer.
8. Jumlah tahapan kesetimbangan dibatasi oleh penurunan tekanan.

2.9 Ammonia

Ammonia adalah senyawa kimia dengan rumus NH_3 , biasanya berupa gas, berbau tajam. 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 2.4. Baku Mutu Air Limbah Kegiatan Eksplorasi dan Produksi Migas dari 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 2.5. Baku Mutu 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 LH No.04.Thn.2007

Tabel 2.6. 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 ⁰ 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

2.10 Penelitian Sebelumnya

Tabel 2.7. 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 dengan pada kecepatan fluida yang tinggi (pada partikular r). Peningkatan laju alir akan menurunkan laju pemisahan ammonia.

Tabel 2.7. Penelitian sebelumnya (lanjutan)

Peneliti	Judul	Kesimpulan
Zongli Xie, Tuan duong, Manh 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 Klaassen, Paul Feron, Albert Jansen (2007)	Membrane contactor applications	Aplikasi kontaktor membran adalah untuk gas-cair kontaktor dan cair-cair kontaktor. Pemisahan ini memiliki keunggulan antara lain kapasitas fleksibel, ringgan, butuh sedikit tempat untuk pemisahanya.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pendahuluan

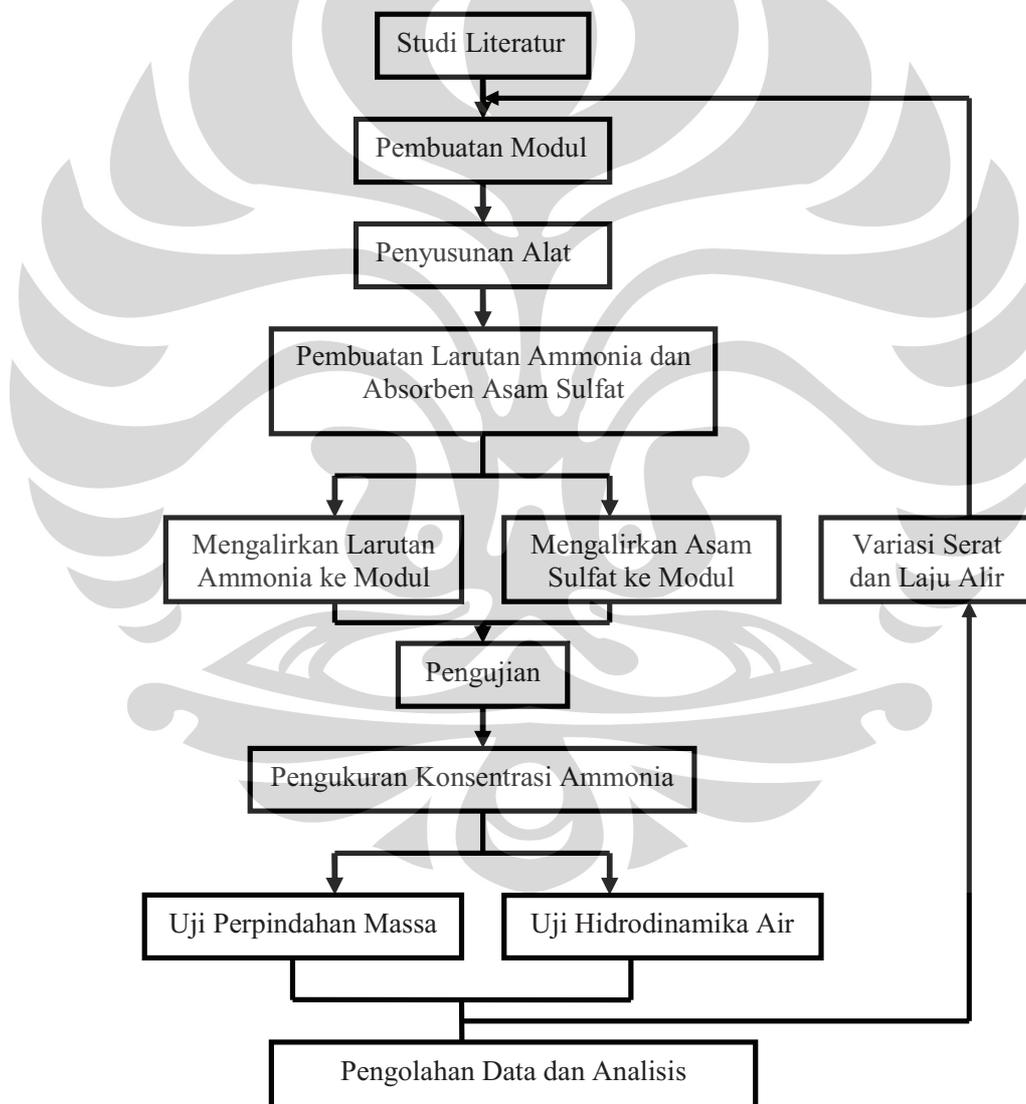
Tujuan penelitian pemisahan ammonia terlarut dalam air adalah untuk menghilangkan konsentrasi ammonia terlarut dalam air. Hal ini dikarenakan ammonia terlarut dalam air dapat membahayakan biota perairan bahkan membahayakan manusia yang menggunakan air tersebut. Pemisahan ammonia terlarut dalam air melalui membran serat berongga ini juga bertujuan untuk mengatasi masalah-masalah yang ditimbulkan dengan proses konvensional seperti adanya endapan, *fouling* dan masalah pembuangan lumpur.

Pada proses penelitian ini penghilangan ammonia dilakukan dengan menggunakan kontaktor membran serat berongga. Membran yang digunakan adalah polipropilen yang bersifat hidrofobik sebagai pengontak antara fasa cair yang mengandung ammonia dengan fasa cair absorben asam sulfat tanpa adanya dispersi antar fasa, dimana aliran ammonia terlarut akan melewati selongsong dan aliran larutan absorben asam sulfat akan melewati tube. Dalam studi ini akan dipelajari perpindahan massa yang terjadi pada membran serat berongga dan sifat hidrodinamika air dari proses penghilangan ammonia terlarut tersebut. Penelitian ini akan dilakukan di Laboratorium Separasi Lantai 2 Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia.

3.2 Diagram Alir Penelitian

Secara garis besar penelitian akan dilakukan menjadi lima bagian, yaitu studi literatur, pembuatan modul, penyusunan alat, preparasi pelarut dan bahan kimia, serta uji perpindahan massa dan uji hidrodinamika. Studi literatur dilakukan dengan mencari teori serta referensi dari buku, journal maupun artikel terutama mengenai kontaktor membran serat berongga, sifat-sifat ammonia dan bahaya yang ditimbulkannya serta cara-cara pengolahan ammonia secara konvensional.

Tahap berikutnya adalah pembuatan modul yang merupakan salah satu alat utama dalam penelitian ini. Modul ini akan digunakan sebagai kontaktor antara ammonia terlarut dalam air dengan larutan penyerap asam sulfat. Modul dibuat dengan berbagai variasi jumlah serat yaitu 10, 15, dan 20 serat. Setelah perancangan modul selesai, langkah selanjutnya adalah menyiapkan peralatan-peralatan seperti tangki reservoir ammonia dan larutan penyerap (asam sulfat), pompa, *manometer*, *liquid flow meter*, dan menghubungkannya sehingga menjadi satu sistem secara keseluruhan.



Gambar 3.1. Skema penelitian

Kemudian dilakukan preparasi larutan ammonia sebagai limbah sintetis dan larutan penyerap asam sulfat yang kemudian dialirkan ke dalam modul membran.

Pada penelitian ini juga dilakukan variasi jumlah serat membran dan laju alir ammonia dalam modul. Data perubahan konsentrasi ammonia pada berbagai variasi laju alir dan jumlah serat membran selama sirkulasi 2 jam digunakan untuk mengetahui koefisien perpindahan massa. Data perubahan tekanan pelarut sebelum dan sesudah melewati modul digunakan untuk studi hidrodinamika. Langkah selanjutnya mengolah dan menganalisis data untuk mendapatkan nilai koefisien perpindahan massa dan korelasinya seperti bilangan Reynolds dan bilangan Sherwood. Perubahan tekanan yang didapat digunakan untuk studi hidrodinamika seperti faktor friksi dari pemisahan ammonia.

3.3 Peralatan dan Bahan Penelitian yang Digunakan

1. Membran serat berongga, dengan spesifikasi sebagai berikut:

Material : Polipropilen

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 $^{\circ}\text{C}$ – 50 $^{\circ}\text{C}$

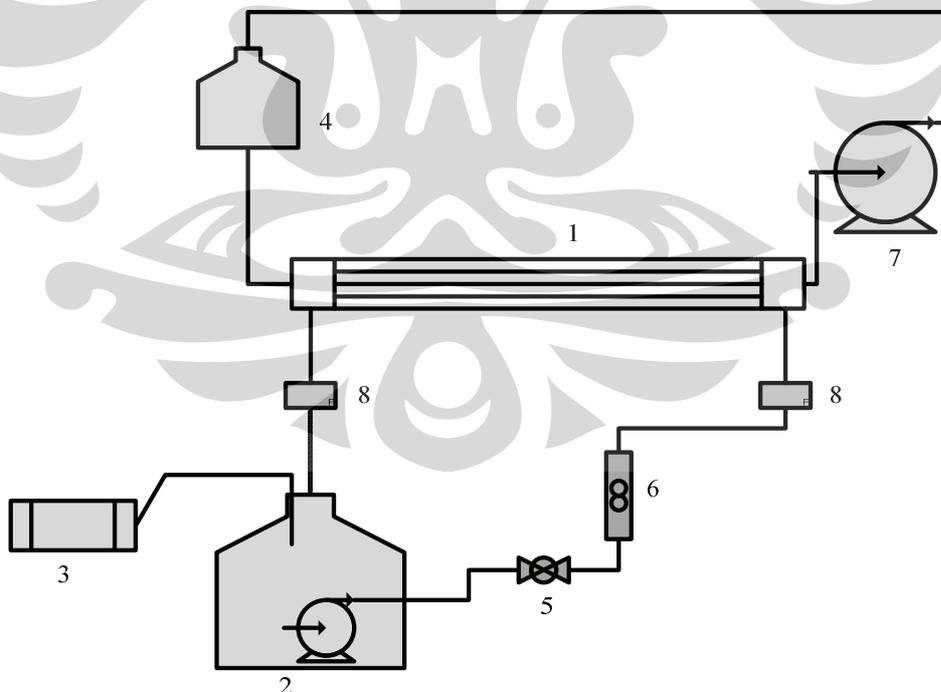
3. Pompa, digunakan untuk mengalirkan air dari reservoir menuju modul membran, dengan spesifikasi sebagai berikut:

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

4. Manometer digital untuk mengukur tekanan
5. pH meter, digunakan untuk mengukur pH larutan
 - Merek : Thermo Electron Corporation
6. *Liquid flow meter / rotameter* untuk mengatur laju alir dari pelarut.
7. *Acrylic*, sebagai selongsong kontaktor membran.
8. Pipa PVC, sebagai tempat mengalirnya pelarut dan menghubungkan antara tangki reservoir pelarut dengan kontaktor membran serat berongga.
9. Wadah reservoir sebagai tempat untuk larutan ammonia dan absorben asam sulfat.
10. Larutan ammonia *pure analysis* sebagai limbah ammonia sintetik.
11. Larutan asam sulfat sebagai penyerap.
12. Lem epoksi, Termometer, erlenmeyer, pipet volumetrik, dan labu ukur.

3.4 Skema Peralatan

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



Gambar 3.2. Skema rancangan alat penelitian

Keterangan:

1. Modul membran serat berongga Polipropilene
2. Tangki reservoir ammonia dan pompa ammonia
3. Ammonia-1000 meter
4. Tangki reservoir asam sulfat
5. Valve
6. Flow meter
7. Pompa Peristatik
8. Manometer

Ammonia yang akan digunakan sebagai larutan untuk pengujian adalah ammonia pure analisis dengan konsentrasi inlet 300 ppm. Kemudian ammonia ini dipompakan ke dalam shell (selongsong Acrylic) yang laju alirnya diatur menggunakan valve dengan variasi 3,4, dan 5 Lpm yang dapat dibaca pada alat flow meter. Kemudian langkah selanjutnya adalah mengalirkan larutan penyerap asam sulfat ke dalam tube (membran Polipropilen). Membran polipropilen bersifat hidrofobik dan mempunyai pori, sehingga dengan adanya perbedaan konsentrasi gas ammonia pada membran dan selongsong akan menyebabkan gas ammonia dalam selongsong bergerak menuju pori pori membran kemudian akan melewati pori pori dan masuk ke bagian dalam serat membran yang kemudian diserap oleh larutan asam sulfat.

Larutan ammonia yang telah keluar dari selongsong yang ada dalam bak penampung diukur kembali konsentrasinya dengan menggunakan ammonia meter setiap selang waktu 30 menit selama sirkulasi 2 jam. Di samping itu juga dilakukan pengukuran perbedaan tekanan fluida dengan menggunakan alat manometer digital pada aliran masuk selongsong dengan aliran keluar selongsong. Pengambilan data konsentrasi dan perbedaan tekanan ini dilakukan untuk setiap variasi laju alir 3,4, dan 5 Lpm serta variasi jumlah serat 10, 15, dan 20. Data pengurangan konsentrasi ammonia dalam larutan akan digunakan untuk menentukan koefisien perpindahan massa dan data perbedaan tekanan akan digunakan untuk menentukan sifat hidrodinamika air dari penelitian ini.

3.5 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 polipropilen.

2. Menghubungkan peralatan seperti wadah reservoir, pompa, manometer, flow meter, dan modul membran polipropilen.

3. Persiapan ammonia sebagai limbah sintetik dan larutan penyerap asam sulfat.

Ammonia yang digunakan sebagai limbah sintetik dibuat dengan konsentrasi 300 ppm dari larutan ammonia *pure analysis* dan larutan penyerap adalah asam sulfat 0,1 M.

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

5. Kemudian setelah keadaan steady dilakukan pengambilan data

a. Studi perpindahan massa.

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

b. Studi hidrodinamika

Data yang diambil adalah penurunan tekanan masukan dan keluaran modul membran yang tertera pada manometer digital.

6. Data yang diambil dilakukan untuk setiap variasi laju alir 3, 4, dan 5 Lpm serta variasi serat membran 10, 15, dan 20 dengan selang waktu pengambilan data 30 menit selama 2 jam laju sirkulasi.

7. Tahap akhir dilakukan analisis data yang telah didapatkan seperti studi perpindahan massa dan studi hidrodinamika.

3.5.1 Pembuatan Larutan Ammonia 300 ppm

Pada penelitian ini ammonia sebagai limbah sintetik yang akan digunakan dibuat dari ammonium sulfat *pure analysis*. Ammonia sebagai gas NH_3 yang digunakan pada penelitian ini memiliki konsentrasi 300 ppm dalam 5 liter air yang dibuat dengan cara sebagai berikut:

1. Ditimbang dengan teliti 5,8235 gram ammonium sulfat dengan teliti.
2. Kemudian dimasukkan ke dalam wadah labu ukur 1 L dan dilarutkan hingga tepat tanda tera dengan aquadest (kemudian dilanjutkan dengan pengenceran 4 liter air aquadest).
3. Diaduk hingga homogen.

3.5.2 Pembuatan Larutan Asam Sulfat 0,1 M

Pada penelitian ini larutan penyerap yang digunakan adalah larutan asam sulfat dengan konsentrasi 0,1 M sebanyak 3 liter yang dibuat dari asam sulfat pekat dengan konsentrasi 36,39 N. Asam sulfat tersebut dapat dibuat dengan cara berikut:

1. Disiapkan wadah penampung yang berisikan aquadest sebanyak 1 liter.
2. Diambil asam sulfat pekat sebanyak 16,48 mL dengan menggunakan gelas ukur.
3. Kemudian asam sulfat dimasukkan ke dalam wadah penampung yang telah diisi dengan air aquadest sebelumnya.
4. Penuangan dilakukan dengan hati-hati.
5. Kemudian wadah penampung yang telah berisi asam sulfat dilarutkan kembali dengan aquadest hingga volume tepat 3 liter.

3.6 Penentuan Koefisien Perpindahan Massa

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

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

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:

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

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 (3.2) di atas dan pengaturan ulang menghasilkan persamaan berikut ini:

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

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

$$\begin{aligned} \int_{C_1=C_0 \rightarrow padat=0}^{C_1=C \rightarrow padat=t} \frac{dC_L}{(C_1 - C^*)} &= \int_{t=0}^{t=t} \frac{Q}{V} \left[\exp \left(- \frac{K a L}{v_L} \right) - 1 \right] dt \\ \ln \left(\frac{C - C^*}{C_0 - C^*} \right) &= \frac{Q}{V} \left[\exp \left(- \frac{K a L}{v_L} \right) - 1 \right] t \end{aligned} \quad (3.5)$$

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)

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

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 meemuaskan jika tangki air dengan volume besar digunakan pada desain eksperimen.

3.7 Studi Hidrodinamika

Hidrodinamika merupakan suatu pembelajaran mengenai sifat atau kondisi fluida saat fluida tersebut bergerak. Pada penelitian kali ini kinerja dari membran dipengaruhi oleh faktor-faktor yang berhubungan dengan hidrodinamika, yaitu faktor friksi, penurunan tekanan dan bilangan Reynold.

Untuk menghitung bilangan Reynold, *pressure drop* (ΔP) dan faktor friksi maka sebelumnya perlu dihitung terlebih dahulu diameter ekivalen membran yang digunakan dari persamaan:

$$d_e = \frac{d_p^2 - N \cdot d_f^2}{d_p + N \cdot d_f} \quad (3.7)$$

Dimana:

N = Jumlah serat dalam modul

df = Diameter serat

dp = Diameter selongsong (pipa)

Gaya-gaya yang paling berpengaruh pada fluida yang mengalir melalui saluran yang terisi penuh adalah gaya inersia dan gaya viskositas. Perbandingan antara gaya inersia dengan gaya viskositas ini disebut dengan bilangan Reynold yang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Re = \frac{de \cdot \rho \cdot v}{\mu} \quad (3.8)$$

Dimana:

de = Diameter ekivalen

ρ = Densitas

v = Kecepatan aliran

μ = Viskositas

Hubungan dan karakteristik antara bilangan Reynolds terhadap faktor friksi (f) dan *pressure drop* (ΔP) akan dipelajari pada penelitian ini. Faktor friksi merupakan koefisien yang berhubungan dengan kemampuan suatu fluida untuk menimbulkan gesekan (friksi) dan tidak memiliki satuan yang dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$\Delta P = \frac{2 f \times L \times \rho \times (Vl)^2}{de} \quad (3.9)$$

$$f = \frac{\Delta P \times de}{2 \times L \times \rho \times (Vl)^2} \quad (3.10)$$

Dimana

ΔP : Penurunan tekanan antara cairan masuk dan keluar kontaktor

f : Faktor friksi

de : Diameter ekivalen kontaktor

L : Panjang kontaktor

ρ : Densitas cairan

Vl : Laju alir cairan di dalam kontaktor

Dengan menghitung *pressure drop* (ΔP) dari percobaan maka faktor friksi dari fluida pada penelitian ini dapat dihitung. Kemudian faktor friksi yang didapatkan dibandingkan dan diplot dengan grafik faktor friksi untuk pipa ber dinding halus.

Menurut literatur, faktor friksi untuk aliran laminar ($Re < 4000$) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$f = \frac{16}{\text{Re}} \quad (3.11)$$

Sedangkan untuk aliran turbulen ($4000 < \text{Re} < 100000$), persamaan faktor friksi yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$f = \frac{0,0792}{\text{Re}^{(1/4)}} \quad (3.12)$$

Bilangan Sherwood dapat dihitung dengan menghitung koefisien transfer massa pada percobaan yang dilakukan dan mengetahui difusivitas ammonia (D) serta diameter ekivalen (d_e) maka bilangan Sherwood dapat dihitung dengan persamaan:

$$Sh = k \frac{d_e}{D} \quad (3.13)$$

Kemudian dibuat grafik hubungan antara bilangan Reynolds dengan bilangan Sherwood untuk berbagai variasi percobaan yang dilakukan.

Kedua besaran Sherwood dan bilangan Reynolds yang tak berdimensi tersebut lalu dihubungkan dalam suatu persamaan berikut:

$$Sh = a \text{Re}^b \text{Sc}^{1/3} \quad (3.14)$$

Pengaruh bilangan Schmidt diasumsikan tetap sesuai dengan literatur untuk korelasi perpindahan massa, yaitu $1/3$ sehingga persamaan 3.14 dapat disederhanakan menjadi.

$$Sh = A \text{Re}^b \quad (3.15)$$

Persamaan (3.15) merupakan persamaan untuk menunjukkan hubungan koefisien perpindahan massa terhadap jenis aliran pada modul baik berupa aliran laminar, transisi, maupun turbulen. Dimana A dan b secara berturut-turut adalah konstanta untuk fraksi kepadatan membran dan laju alir.

Kemudian rasio friksi diperoleh dari perbandingan antara nilai friksi modul hasil percobaan dengan nilai friksi literatur.

$$f \text{ ratio} = \frac{f \text{ modul}}{f \text{ literatur}} \quad (3.16)$$

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Efektivitas pemisahan ammonia terlarut dalam air melalui kontakor membran serat berongga polipropilen dengan menggunakan larutan penyerap asam sulfat dapat dilihat dari koefisien perpindahan massa dan hidrodinamika air. Studi perpindahan massa ditinjau dari nilai koefisien perpindahan massa pada variasi laju alir dan serat membran, sedangkan studi hidrodinamika digunakan untuk melihat pengaruh jenis aliran terhadap faktor friksi yang ditimbulkan oleh aliran fluida tersebut. Faktor friksi ini berhubungan langsung dengan bilangan Reynolds yang menunjukkan jenis aliran apakah itu laminar, transisi atau turbulen.

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 asam sulfat. Nilai koefisien perpindahan massa ini diperoleh dari pengolahan data perubahan konsentrasi ammonia sebelum dan setelah melewati membran selama 2 jam sirkulasi dengan laju alir 3, 4, dan 5 Lpm dan selang waktu analisis konsentrasi ammonia setiap 30 menit.

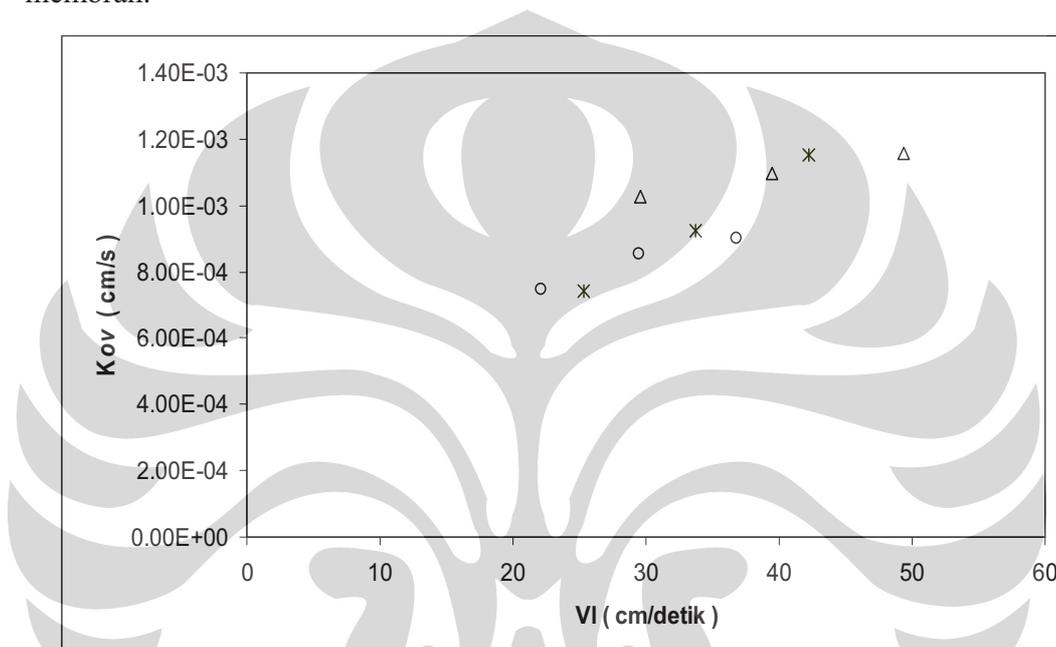
Pada studi perpindahan massa juga dilakukan korelasi perpindahan massa untuk mengetahui hubungan antara kecepatan dan jenis aliran yang melewati modul terhadap koefisien perpindahan massa yang dapat dilihat dari bilangan tak berdimensi Sherwood.

4.1.1 Pengaruh Jumlah Serat Membran Terhadap Perpindahan Massa

Penggunaan modul yang berbeda merupakan implementasi dari variasi jumlah serat pada setiap modul. Jumlah serat yang divariasikan yaitu 10, 15, dan 20 serat.

Pengaruh variasi jumlah serat 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 Gambar 4.1 yang memperlihatkan koefisien perpindahan massa pada berbagai variasi jumlah serat membran.



Gambar 4.1 Hubungan laju alir dengan koefisien perpindahan massa pada kontaktor dengan jumlah serat 10 (o), 15 (*), dan 20 (Δ).

Dari Gambar 4.1 terlihat bahwa trend koefisien perpindahan massa semakin meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah serat membran. Hal ini dikarenakan semakin banyaknya membran yang digunakan maka akan semakin banyak luas permukaan kontak antara molekul ammonia dengan membran sehingga ammonia yang dapat terpisahkan akan semakin banyak.

Secara matematis luas permukaan membran merupakan fungsi dari jumlah serat membran yang berbanding lurus dengan diameter penampang membran dan berbanding terbalik dengan koefisien perpindahan massa. Semakin banyak jumlah serat membran maka diameter penampang membran akan meningkat dan koefisien

perpindahan massa akan menurun. Namun pada penelitian ini semakin banyak jumlah serat membran maka koefisien perpindahan massa yang didapatkan semakin meningkat. Hal ini dikarenakan perubahan konsentrasi ammonia per perubahan waktu lebih berpengaruh terhadap nilai koefisien perpindahan massa jika dibandingkan dengan luas penampang membran pada variasi 10, 15, dan 20 serat.

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 10 dengan menggunakan Natrium Hidroksida. Peningkatan pH ini akan mengubah arah kesetimbangan kearah pembentukan molekul ammonia sehingga akan banyak molekul ammonia yang terdapat dalam larutan. Besarnya pembentukan molekul ammonia akan meningkatkan jumlah ammonia dalam larutan yang akan dipisahkan melalui kontakor 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.

4.1.2 Pengaruh Laju Alir Terhadap Koefisien Perpindahan Massa

Variasi laju alir pelarut juga sangat menentukan perubahan efektifitas proses perpindahan massa yang terjadi. Variasi laju alir akan berkaitan dengan dinamika fluida di dalam modul yang akan berpengaruh terhadap koefisien perpindahan massa.

Optimisasi pemisahan ammonia dapat dilakukan dengan mengubah konstanta kesetimbangan ke arah pembentukan molekul gas ammonia dengan menambahkan natrium hidroksida. Namun penambahan natrium hidroksida ini akan menimbulkan pembentukan ion hidroksida yang tidak berdifusi dengan cepat pada permukaan membran yang akan menghambat pemisahan ammonia. Menurut Xie, dkk (2008) masalah ini dapat di atasi dengan meningkatkan laju alir dari umpan. Peningkatan laju alir umpan akan meningkatkan laju difusi ion hidroksida pada permukaan membran sehingga pemisahan akan semakin optimal.

Dari Gambar 4.1 terlihat bahwa pada membran 10, 15, dan 20 serat terlihat peningkatan koefisien perpindahan massa seiring dengan peningkatan laju alir ammonia. Adanya ion hidroksida dalam setiap variasi serat secara teori akan menurunkan koefisien perpindahan massa namun dengan peningkatan laju alir koefisien perpindahan massa yang didapat juga meningkat, sehingga hal ini membenarkan teori yang dijelaskan oleh Xie, dkk (2008) di atas.

Peningkatan koefisien perpindahan massa juga dipengaruhi langsung oleh fraksi kekosongan dan distribusi aliran umpan di dalam modul. Dengan semakin meningkatnya kecepatan aliran umpan maka fraksi kekosongan di dalam modul akan terpenuhi sehingga pada kondisi ini distribusi aliran umpan menjadi semakin merata dan ammonia yang melewati pori-pori membran menjadi meningkat dan perpindahan massa akan semakin tinggi.

Di samping itu menurut Bourawi, dkk (2007) peningkatan laju alir juga akan meningkatkan turbulensi, sehingga akan meningkatkan difusi molekul ammonia kedalam tube membran dan akan meningkatkan pemisahan akibat adanya arus Eddy

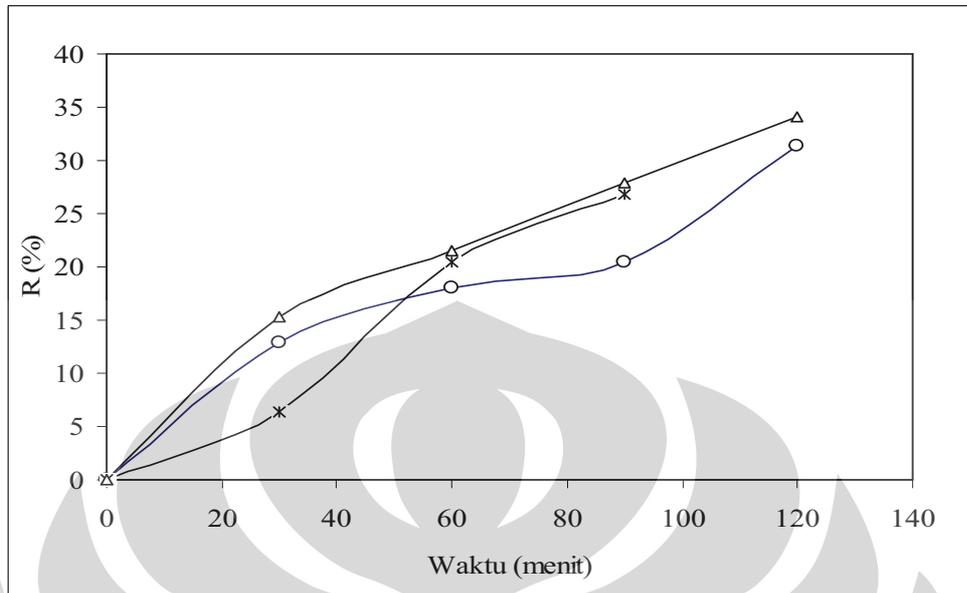
dalam aliran. Menurut Bird (1960), Arus Eddy ini akan memperkecil hambatan yang terjadi di sekitar aliran ammonia sehingga akan meningkatkan koefisien transfer massa.

Dari data variasi jumlah serat membran dan variasi laju alir dapat disimpulkan bahwa semakin banyak jumlah serat membran dan semakin meningkatnya laju alir akan meningkatkan nilai koefisien perpindahan massa. Peningkatan koefisien perpindahan massa juga merepresentasikan peningkatan efisiensi pemisahan ammonia terlarut dalam air.

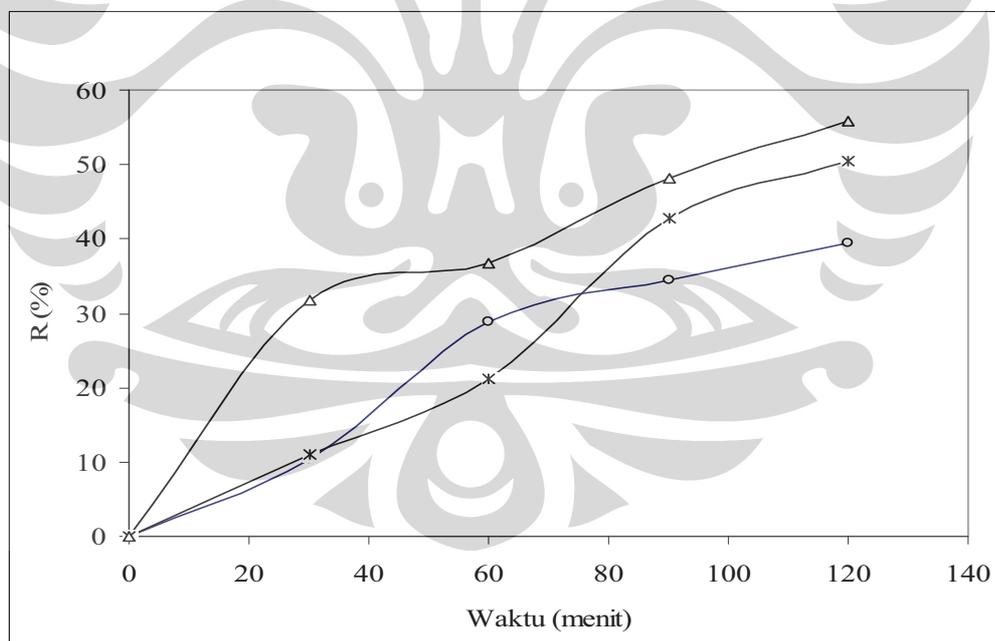
4.2 Efisiensi Pemisahan Ammonia Terlarut Dalam Air

Efektifitas pemisahan ammonia terlarut dalam air melalui kontakor membran serat berongga dapat dilakukan dengan mengukur perubahan konsentrasi ammonia yang telah melewati modul membran polipropilen selama 2 jam sirkulasi dengan laju alir 3, 4, dan 5 Lpm dan selang waktu analisis konsentrasi ammonia setiap 30 menit.

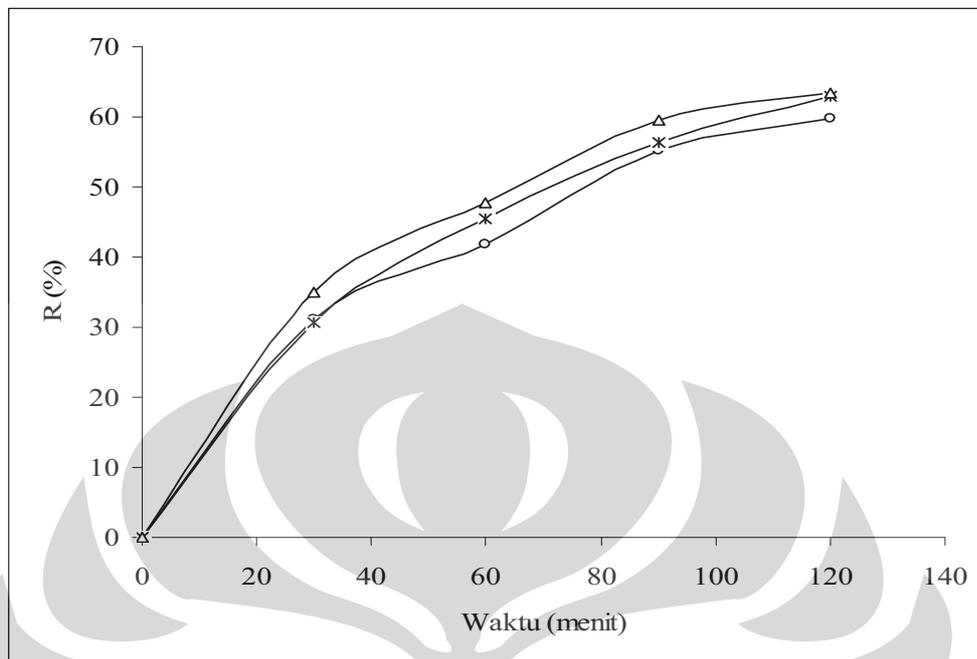
Berdasarkan pembahasan sebelumnya dijelaskan bahwa peningkatan koefisien perpindahan massa dipengaruhi oleh peningkatan laju alir dan jumlah serat membran yang digunakan. Koefisien perpindahan massa ini berbanding lurus dengan efisiensi pemisahan. Gambar 4.2, 4.3, dan 4.4 berikut akan menjelaskan tentang efisiensi pemisahan ammonia terlarut dalam air dan pengaruh lain yang mempengaruhi efisiensi pemisahan ammonia.



Gambar 4.2 Efisiensi pemisahan ammonia terlarut pada kontaktor dengan jumlah serat 10 laju alir 3 Lpm (o), 4 Lpm (*) dan 5 Lpm (Δ).



Gambar 4.3 Efisiensi pemisahan ammonia terlarut pada kontaktor dengan jumlah serat 15 laju alir 3 Lpm (o), 4 Lpm (*), dan 5 Lpm (Δ).



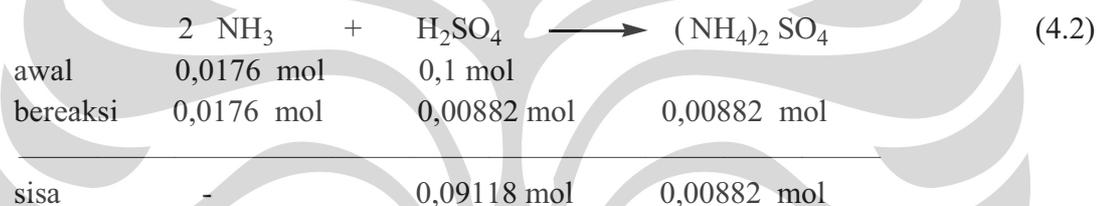
Gambar 4.4 Efisiensi pemisahan ammonia terlarut pada kontaktor dengan jumlah serat 20 laju alir 3 Lpm (o), 4 Lpm (*) dan 5 Lpm (Δ).

Berdasarkan Gambar 4.2, 4.3, dan 4.4 pada modul 10,15, dan 20 serat terlihat bahwa trend efisiensi pemisahan ammonia akan meningkat seiring dengan peningkatan jumlah serat dan laju alir. Peningkatan jumlah serat akan meningkatkan luas area kontak ammonia dan peningkatan laju alir akan menimbulkan arus Eddy serta akan menghilangkan pengaruh lain seperti adanya ion hidroksida. Oleh karena itu peningkatan jumlah serat membran dan laju alir akan meningkatkan efisiensi pemisahan. Pada percobaan ini efisiensi pemisahan ammonia terbesar terjadi pada membran 20 serat dengan laju alir 5 Lpm.

Di samping variasi laju alir dan serat di atas, menurut Xie, dkk (2008), performa kondisi yang baik dan temperatur menghasilkan pemisahan ammonia sampai 97% pada kondisi temperatur 75⁰C. Namun pada penelitian ini dengan menggunakan membran polipropilene diperoleh pemisahan maksimal sebesar 64% dengan laju alir 5 Lpm dan jumlah serat 20. Banyak faktor yang menyebabkan kurangnya efisiensi ini diantaranya lama sirkulasi cairan, 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, oleh karena itu perlu dilakukan analisis terhadap konsentrasi larutan penyerap yang digunakan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap efisiensi.

Pada penelitian ini konsentrasi ammonia yang digunakan sebesar 300 ppm sebanyak 5 Liter yang setara dengan 0,0176 mol sedangkan asam sulfat yang digunakan sebesar 0,1 M yang setara dengan 0,1 mol. Berikut adalah hasil analisis terhadap kebutuhan asam sulfat sebagai larutan penyerap yang digambarkan oleh reaksi berikut.

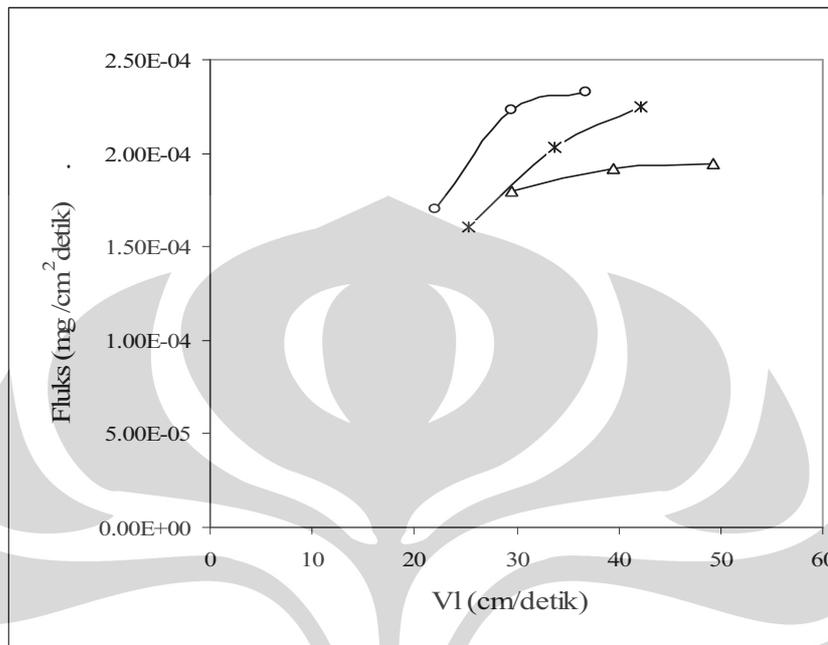


Dari reaksi di atas dapat dilihat bahwa larutan penyerap asam sulfat pada akhir reaksi masih tersisa 0,09118 mol, hal ini berarti konsentrasi larutan penyerap asam sulfat yang digunakan sudah berlebih untuk bereaksi dengan 300 ppm ammonia terlarut dalam air, sehingga pada kondisi percobaan ini efisiensi pemisahan ammonia tidak terpengaruh lagi oleh konsentrasi asam sulfat yang digunakan. Menurut Xie, dkk (2008) efisiensi pemisahan ammonia lebih dipengaruhi oleh pengaruh laju alir sirkulasi dan temperatur. Namun secara umum dari data efisiensi disimpulkan bahwa semakin besar laju alir umpan dan serat membran yang digunakan maka akan semakin besar efisiensi yang diperoleh.

4.3 Pengaruh Laju Alir Terhadap Fluks

Pemisahan ammonia terlarut dalam air melalui kontakor 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 4.5 akan memperlihatkan perubahan fluk terhadap laju alir pada berbagai laju alir dan jumlah serat membran.



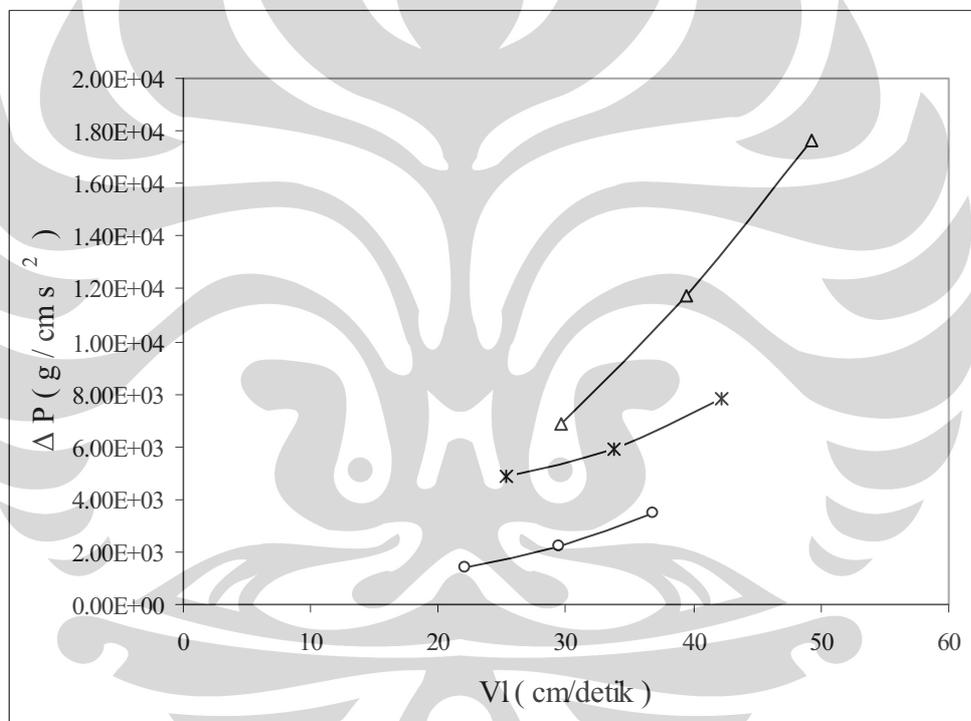
Gambar 4.5 Hubungan laju alir dengan fluks pada kontaktor dengan jumlah serat 10 (o), 15 (*), dan 20 (Δ).

Berdasarkan Gambar 4.5 di atas terlihat bahwa semakin banyak jumlah serat membran maka fluks akan semakin menurun. Namun peningkatan laju alir dalam serat membran yang sama akan meningkatkan fluks.

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 4.5 dapat disimpulkan bahwa fluks yang didapat lebih dipengaruhi oleh luas area membran jika dibandingkan dengan banyaknya berat ammonia yang terpisahkan selama waktu sirkulasi 2 jam.

4.4 Sifat Hidrodinamika Air

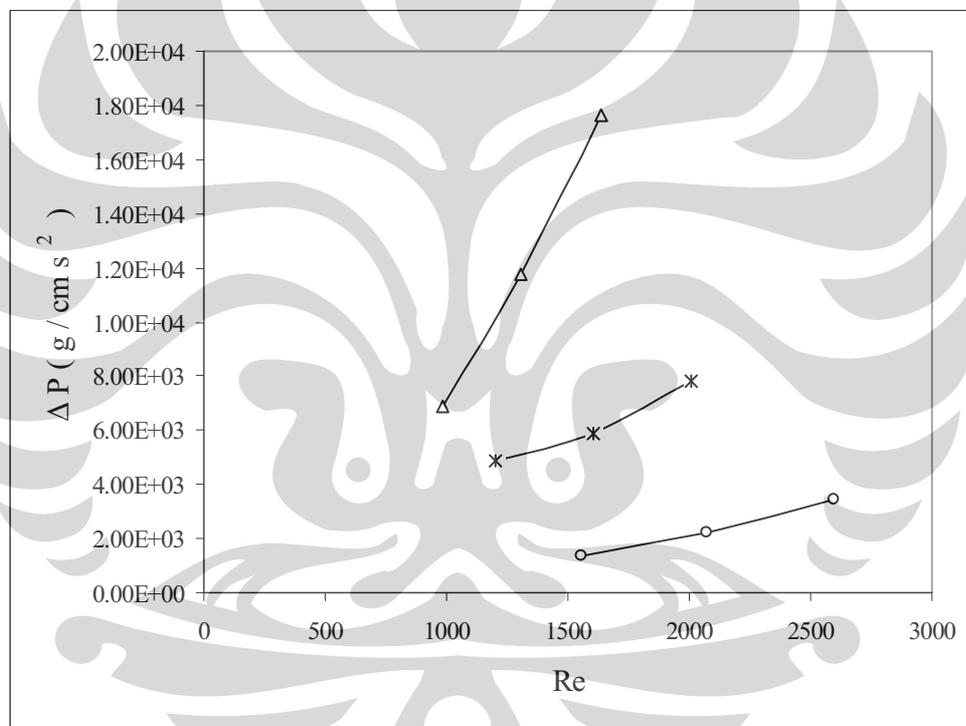
Pengujian karakteristik hidrodinamika air pada penelitian pemisahan ammonia terlarut dalam air melalui kontaktor membran serat berongga dapat dilakukan dengan mengukur perubahan tekanan fluida sebelum dan setelah melewati kontaktor membran. Pengaruh jumlah serat membran dan laju alir terhadap perubahan tekanan dapat dilakukan dengan variasi serat 10, 15, dan 20 serta variasi laju alir 3, 4, dan 5 Lpm. Pengujian hidrodinamika air pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui faktor friksi yang dihitung dari penurunan tekanan serta mengetahui jenis aliran yang terjadi melalui bilang Reynolds pada berbagai variasi laju alir serta serat membran.



Gambar 4.6. Hubungan laju alir dengan perubahan tekanan pada kontaktor dengan serat 10 (o), 15 (*), dan 20 (Δ).

Gambar 4.6. di atas menjelaskan tentang hubungan kecepatan alir dengan perbedaan tekanan pada kontaktor membran serat berongga. Perbedaan tekanan ini dihitung berdasarkan aliran fluida sebelum dan sesudah melewati kontaktor membran.

Dari data di atas dapat disimpulkan bahwa semakin besar kecepatan alir dan jumlah serat membran dalam kontaktor maka akan semakin tinggi perubahan tekanan yang terjadi. Hal ini disebabkan semakin tinggi kecepatan alir maka aliran akan bersifat semakin turbulen dan gesekan aliran yang terjadi akan semakin besar, sehingga perubahan tekanan pada aliran masuk dan keluar membran juga akan semakin besar. Di samping itu semakin banyak jumlah serat membran yang digunakan akan menyebabkan luas area kontak dinding dengan fluida yang mengalir juga akan semakin besar, sehingga perbedaan tekanan yang terjadi dalam kontaktor juga akan semakin besar.

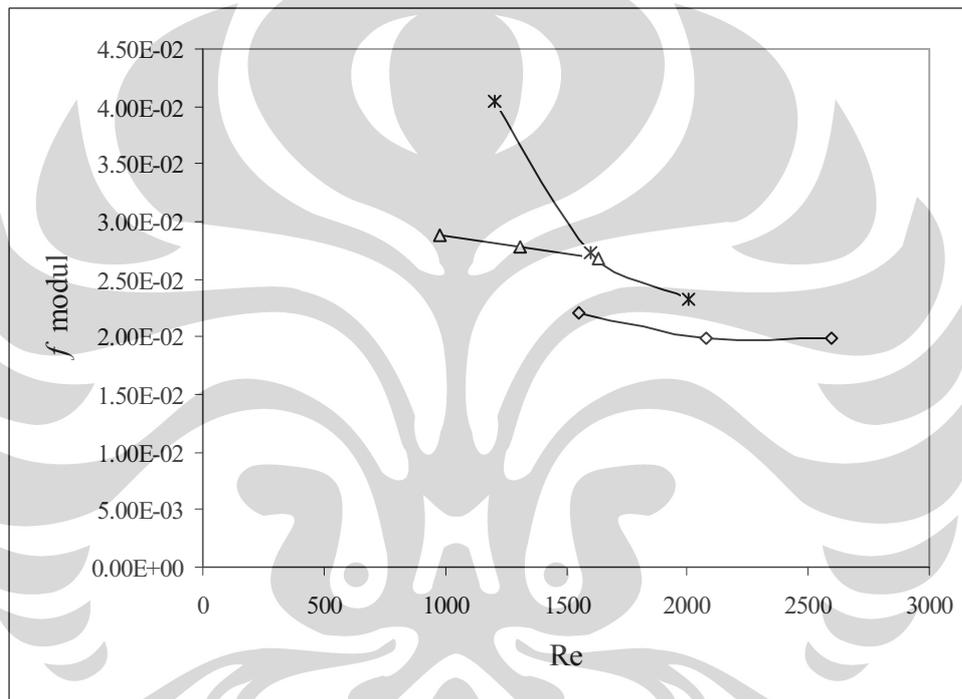


Gambar 4.7. Hubungan bilangan Reynolds dengan perbedaan tekanan pada kontaktor dengan serat 10 (o), 15 (*) dan 20 (Δ).

Gambar 4.7 memperlihatkan bahwa semakin besar bilangan Reynolds maka perbedaan tekanan antara aliran masuk dan aliran keluar akan semakin besar seiring dengan peningkatan jumlah serat membran dan laju alir. Sebagaimana yang telah dijelaskan peningkatan perbedaan tekanan ini disebabkan oleh laju alir yang semakin

tinggi. Semakin tinggi laju alir maka aliran didalam modul akan semakin cepat dan bilangan Reynolds akan semakin besar sehingga gesekan atau friksi yang terjadi didalam modul akan semakin tinggi yang mengakibatkan perbedaan tekanan semakin tinggi.

Berikut akan dilihat hubungan antara faktor friksi dengan bilangan Reynolds yang didapat dari hasil penelitian. Hubungan antara bilangan Reynolds dengan faktor friksi ini dapat dilihat pada Gambar 4.8 berikut ini.



Gambar 4.8. Hubungan bilangan Reynolds dengan friksi modul pada kontaktor dengan serat 10 (\diamond), 15 ($*$), dan 20 (Δ).

Dari Gambar 4.8 di atas dapat dilihat bahwa secara keseluruhan untuk membran serat 10,15, dan 20 dengan variasi laju alir 3, 4, dan 5 Lpm memperlihatkan faktor friksi yang menurun seiring dengan meningkatnya bilangan Reynolds dari aliran tersebut. Hal ini memiliki korelasi dengan penurunan tekanan dan gaya gesek (friksi) seperti yang telah dijelaskan. Dimana semakin tinggi penurunan tekanan yang terjadi maka gaya gesek akan semakin tinggi pula yang disebabkan tingginya kecepatan aliran namun faktor friksi yang terjadi justru semakin rendah. Hal ini

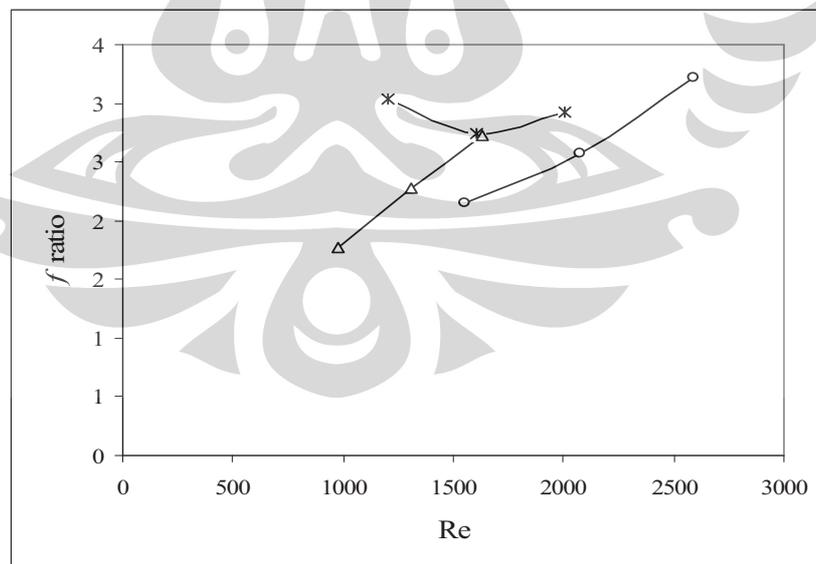
dikarenakan faktor friksi berbanding terbalik dengan kecepatan aliran, yang dapat dijelaskan oleh persamaan berikut ini:

$$f = \frac{\Delta P \times de}{2 \times L \times \rho \times (VI)^2} \quad (3.10)$$

Dari persamaan di atas dapat dilihat bahwa untuk fluida dengan kecepatan yang tinggi maka friksi atau gesekan yang ditimbulkan pun akan semakin tinggi yang disebabkan oleh turbulensi fluida. Friksi tersebut dihasilkan dari gerak momentum antar fluida maupun dengan dinding modul. Berbanding terbalik dengan friksi maka, faktor friksi yang dihasilkan semakin rendah.

Selain faktor friksi dalam modul, perhitungan faktor friksi literatur juga dilakukan untuk membandingkan besar friksi yang terbentuk dengan friksi literatur. Friksi literatur itu sendiri hanya dipengaruhi oleh besarnya bilangan Reynolds yang ditentukan oleh jenis aliran yang terjadi di dalam modul. Perbandingan antara faktor friksi di dalam modul dengan faktor friksi literatur disebut rasio friksi.

Hubungan antara bilangan Reynolds dengan rasio friksi dapat dilihat pada Gambar 4.9. berikut ini.



Gambar 4.9. Hubungan bilangan Reynolds dengan rasio friksi pada kontaktor dengan serat 10 (o), 15 (*), dan 20 (Δ).

Perhitungan rasio friksi dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$f \text{ ratio} = \frac{f \text{ modul}}{f \text{ literatur}} \quad (3.16)$$

Perhitungan friksi literatur dipengaruhi oleh bilangan Reynolds yang didapatkan. Bilangan Reynolds yang diperoleh menggambarkan aliran laminar sehingga, friksi literatur dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3.11) berikut ini.

$$f = \frac{16}{\text{Re}} \quad (3.11)$$

Perbandingan antara faktor friksi dalam modul dengan faktor friksi literatur disebut dengan rasio friksi, dimana hubungan antara rasio friksi dengan bilangan Reynolds dapat dilihat pada Gambar 4.9 di atas. Dari Gambar 4.9 terlihat bahwa pada serat 10 dan 20 terjadi trend kenaikan friksi ratio seiring dengan naiknya bilangan Reynolds, namun pada serat 15 terjadi penurunan friksi ratio dari laju alir 3 ke 4 Lpm. Hal ini dikarenakan faktor friksi modul yang dihasilkan jauh lebih besar jika dibandingkan faktor friksi yang didapat dari literatur yang hanya dipengaruhi oleh bilangan Reynolds.

Pada serat 15 terjadi penurunan friksi ratio dari laju 3 ke 4 Lpm hal ini lebih disebabkan karena friksi ratio berbanding berbanding lurus dengan faktor friksi modul. Faktor friksi modul sendiri berbanding lurus dengan perubahan tekanan dan berbanding terbalik dengan kuadrat kecepatan laju alir. Pada serat 15 laju alir 3 Lpm terjadi sedikit perbedaan perubahan tekanan (perbedaan ΔP) dibandingkan dengan laju alir 4 Lpm, sehingga dengan kuadrat laju alir 3 Lpm yang kecil dibandingkan dengan kuadrat laju alir 4 Lpm mengakibatkan faktor friksi modul laju 3 Lpm akan lebih tinggi. Hal ini mengakibatkan friksi ratio laju alir 3 Lpm akan lebih besar dibandingkan friksi ratio laju 4 Lpm. Hal sebaliknya terjadi pada laju alir 4 Lpm ke laju alir 5 Lpm, dimana terjadi kembali peningkatan friksi ratio. Secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa kenaikan perubahan tekanan akan memperbesar friksi ratio dan kenaikan laju alir akan menurunkan friksi ratio tersebut.

4.5 Korelasi Perpindahan Massa

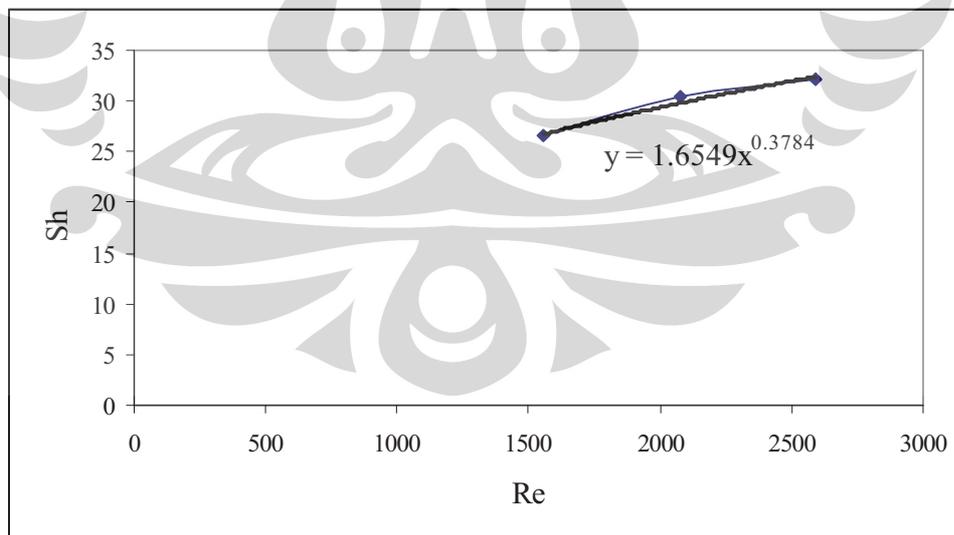
Hubungan antara koefisien perpindahan massa yang terjadi dengan jenis alirannya dapat dilihat dari fungsi bilangan Sherwood (Sh) yang mewakili perpindahan massa yang terjadi dengan bilangan Reynolds (Re) yang menyatakan jenis aliran. Korelasi perpindahan massa ini ditunjukkan dengan persamaan berikut.

$$Sh = a Re^b Sc^{1/3} \quad (3.14)$$

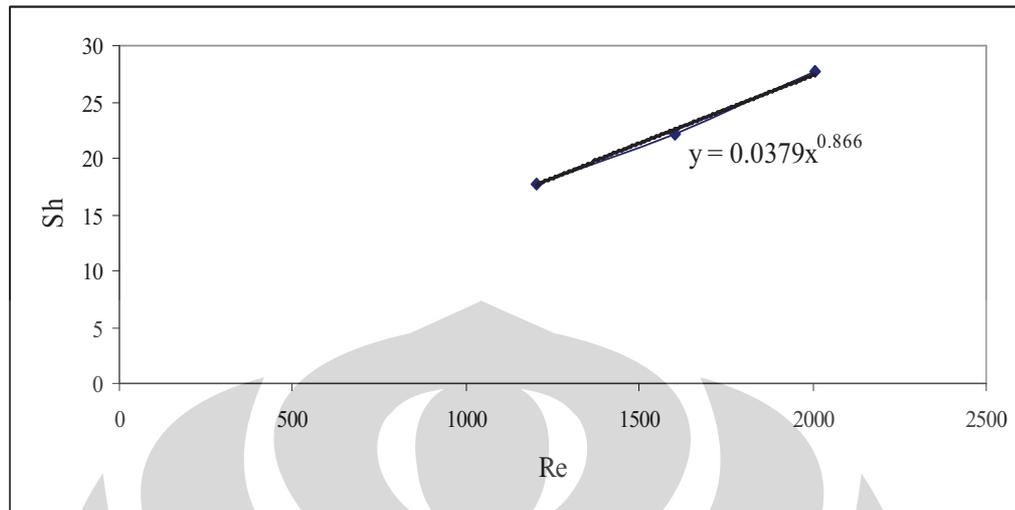
Bilangan Reynolds diperoleh dari pengaruh variasi laju alir dan serat membran, sedangkan pengaruh bilangan Schmidt diasumsikan tetap sesuai dengan literatur untuk korelasi perpindahan massa, yaitu $1/3$ sehingga persamaan (3.14) dapat disederhanakan menjadi persamaan berikut ini.

$$Sh = A Re^b \quad (3.15)$$

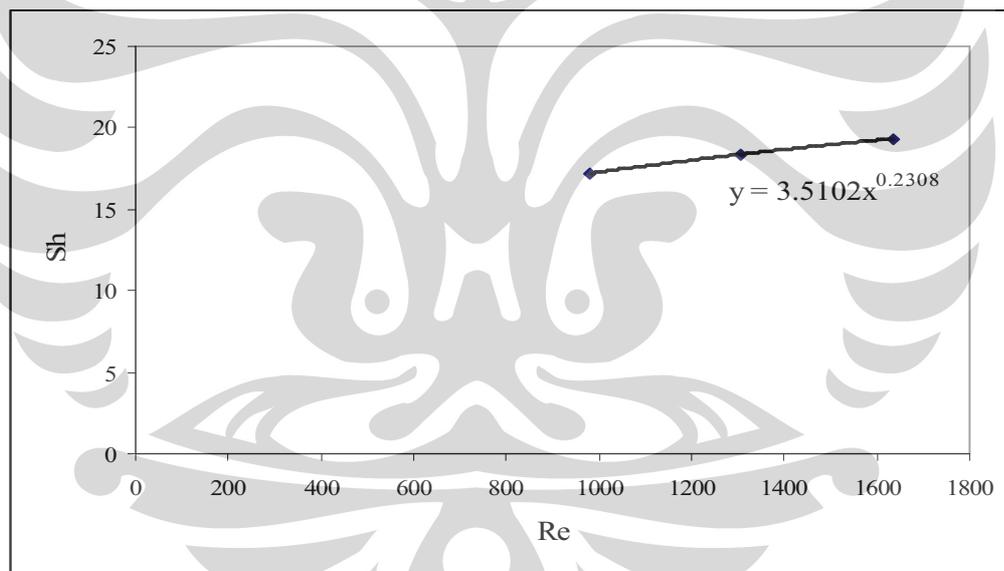
Bilangan Sherwood dihitung dengan menggunakan persamaan (3.13) dimana data yang dibutuhkan adalah nilai koefisien perpindahan massa, nilai diameter ekuivalen dan difusivitas ammonia. Kemudian bilangan Sherwood dan bilangan Reynolds dihubungkan melalui grafik dengan menggunakan *trendline power* untuk setiap variasi laju alir dan jumlah serat seperti pada Gambar 4.10, 4.11, dan 4.12 berikut ini.



Gambar 4.10. Hubungan bilangan Reynolds dengan Sherwood pada kontaktor dengan serat membran 10.



Gambar 4.11 Hubungan bilangan Reynolds dengan Sherwood pada kontaktor dengan serat membran 15.



Gambar 4.12 Hubungan bilangan Reynolds dengan Sherwood pada kontaktor dengan serat membran 20.

Dari analisis menggunakan trendline power pada Gambar 4.10, 4.11, dan 4.12 di atas didapatkan persamaan yang menggambarkan hubungan bilangan Reynolds dengan bilangan Sherwood yang dapat dilihat pada Tabel. 4.1 berikut ini.

Tabel 4.1. Korelasi hubungan bilangan Reynolds dengan Sherwood.

Modul	Sh = a Re ^b
10	Sh = 1,6549 Re ^{0,3784}
15	Sh = 0,0379 Re ^{0,8660}
20	Sh = 3,5102 Re ^{0,2308}

Dari Gambar 4.10, 4.11, dan 4.12 dapat dilihat bahwa antara bilangan Reynolds dengan bilangan Sherwood berbanding lurus. Semakin tinggi bilangan Reynolds maka bilangan Sherwood pun akan meningkat. Semakin tinggi bilangan Reynolds maka jenis aliran di dalam modul akan semakin ke arah turbulen dan semakin tinggi bilangan Sherwood maka nilai koefisien perpindahan massa yang didapat pun semakin besar. Dengan demikian proses perpindahan massa akan semakin banyak terjadi pada kondisi aliran yang turbulen di dalam modul.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

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. Koefisien perpindahan massa pemisahan ammonia terlarut dalam air terbesar didapatkan pada jumlah serat 20 dengan laju alir 5 Lpm dengan nilai koefisien perpindahan massa mencapai $1,15 \times 10^{-3}$ cm/s.
3. Pada studi perpindahan massa, kenaikan laju alir atau kecepatan linier pelarut dan kenaikan jumlah serat membran akan meningkatkan nilai koefisien perpindahan massa.
4. Secara keseluruhan, peningkatan variasi serat membran dan laju alir akan meningkatkan efisiensi pemisahan.
5. Pada studi hidrodinamika, kenaikan laju alir atau kecepatan linier akan meningkatkan penurunan tekanan di dalam modul akibat friksi dan peningkatan jumlah serat juga menyebabkan kenaikan penurunan tekanan di dalam modul.

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 ammonia, sehingga pemisahan akan semakin optimal.

2. Peningkatan laju alir dan waktu sirkulasi dapat dijadikan variasi untuk lebih melihat efektivitas pemisahan ammonia terlarut dalam air melalui kontaktor membran serat berongga.



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 Bhratara 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 McGraw-Hill 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, Jørgen. 2001. *Membran filtration handbook, practical tips and hints*.

<http://www.cheresources.com> diakses tanggal 13 mei 2009

<http://mtg.tnw.utwente.nl/people/phd/fischbein/info/research/research-1.gif> diakses tanggal 18 mei 2009.

http://images.pennnet.com/articles/iww/thm/th_239031.gif diakses tanggal 18 mei 2009.

<http://majarimagazine.com/wp-content/uploads/2007/12/hollowfiber.jpg> diakses tanggal 29 mei 2009

<http://www.lenntech.com/images/tubula5.jpg> diakses tanggal 18 mei 2009

LAMPIRAN 1

Data perhitungan pembuatan reagent bahan kimia.

1.1. Pembuatan ammonia dari ammonium sulfat

Ammonia 300 ppm sebagai larutan umpan dibuat dari ammonium sulfat sebanyak 5 liter, Dengan perhitungan sebagai berikut ini.

Berat Molekul Ammonia:

Berat Molekul Ammonium Sulfat: 17

$$\begin{aligned} \text{Gram } (NH_4)_2SO_4 &= \frac{Mr (NH_4)_2SO_4}{2 \times Mr NH_3} \times ppm \times \frac{1000}{V(L)} \\ \text{Gram } (NH_4)_2SO_4 &= \frac{132}{2 \times 17} \times 300 \text{ mg/L} \times \frac{1000}{5 L} \\ \text{Gram } (NH_4)_2SO_4 &= 5,8235 \text{ Gram} \end{aligned}$$

1.2. Pembuatan Asam Sulfat,

Asam sulfat 0,1 M sebanyak 3 Liter yang akan digunakan untuk larutan penyerap dibuat dengan cara perhitungan berikut ini,

Asam sulfat pekat memiliki konsentrasi 36,39 N (18,195 M), maka asam sulfat pekat yang dibutuhkan untuk membuat asam sulfat 0,1 M sebanyak 3 Liter adalah:

$$\begin{aligned} V_1 \times N_1 &= V_2 \times N_2 \\ V_1 \times 18,195 M &= 3 \text{ Liter} \times 0,1 M \\ V_1 &= \frac{3 L \times 0,1 M}{18,195 M} = 0,01648 L = 16,48 \text{ mL} \end{aligned}$$

LAMPIRAN 2

Data perhitungan Koefisien perpindahan massa dan Studi Hidrodinamika

2. Data Pengamatan Perubahan Konsentrasi Ammonia

2.1. Variasi serat membran 10

a. Laju 3 Lpm.

Berat ammonium sulfat tertimbang : 5,8236 gram

pH awal : 6,01

pH setelah penambahan NaOH : 10,12

Temperatur ammonium sulfat : 34⁰C

Temperatur asam sulfat : 34⁰C

Laju Alir : 3 L/menit					
Lama Sirkulasi	Data alat	Faktor Koreksi	Pengenceran	Hasil	Satuan
0 menit	25,5	1,2	10	306,0	ppm
30 menit	22,2	1,2	10	266,4	ppm
60 menit	20,9	1,2	10	250,8	ppm
90 menit	20,3	1,2	10	243,6	ppm
120 menit	17,5	1,2	10	210,0	ppm

b. Laju 4 Lpm.

Berat ammonium sulfat tertimbang : 5,8240 gram

pH awal : 5,8

pH setelah penambahan NaOH : 10,02

Temperatur ammonium sulfat : 34⁰C

Temperatur asam sulfat : 33⁰C

Laju Alir : 4 L/menit					
Lama Sirkulasi	Data alat	Faktor Koreksi	Pengenceran	Hasil	Satuan
0 menit	25,4	1,2	10	304,8	ppm
30 menit	23,8	1,2	10	285,6	ppm
60 menit	20,2	1,2	10	242,4	ppm
90 menit	18,6	1,2	10	223,2	ppm
120 menit					ppm

c. Laju 5 Lpm.

Berat ammonium sulfat tertimbang : 5,8245 gram

pH awal : 5,82

pH setelah penambahan NaOH : 10,06

Temperatur ammonium sulfat : 34⁰CTemperatur asam sulfat : 34⁰C

Laju Alir : 5 L/menit					
Lama Sirkulasi	Data alat	Faktor Koreksi	Pengenceran	Hasil	Satuan
0 menit	25,5	1,2	10	306,0	ppm
30 menit	21,6	1,2	10	259,2	ppm
60 menit	20,0	1,2	10	240,0	ppm
90 menit	18,4	1,2	10	220,8	ppm
120 menit	16,8	1,2	10	201,6	ppm

2.2. Variasi serat membran 15

a. Laju 3 Lpm.

Berat ammonium sulfat tertimbang : 5,8236 gram

pH awal : 5,23

pH setelah penambahan NaOH : 10,50

Temperatur ammonium sulfat : 34⁰CTemperatur asam sulfat : 34⁰C

Laju Alir : 3 L/menit					
Lama Sirkulasi	Data alat	Faktor Koreksi	Pengenceran	Hasil	Satuan
0 menit	41,5	1,2	6	298,8	ppm
30 menit	37,2	1,2	6	267,8	ppm
60 menit	35,4	1,2	5	212,4	ppm
90 menit	32,6	1,2	5	195,6	ppm
120 menit	30,2	1,2	5	181,2	ppm

b. Laju 4 Lpm.

Berat ammonium sulfat tertimbang : 5,8241 gram

pH awal : 6,01

pH setelah penambahan NaOH : 10,28

Temperatur ammonium sulfat : 33⁰C

Temperatur asam sulfat : 33⁰C

Laju Alir : 4 L/menit					
Lama Sirkulasi	Data alat	Faktor Koreksi	Pengenceran	Hasil	Satuan
0 menit	24,6	1,2	10	295,2	ppm
30 menit	21,9	1,2	10	262,8	ppm
60 menit	19,4	1,2	10	232,8	ppm
90 menit	14,1	1,2	10	169,2	ppm
120 menit	12,2	1,2	10	146,4	ppm

c. Laju 5 Lpm.

Berat ammonium sulfat tertimbang : 5,8237 gram

pH awal : 5,85

pH setelah penambahan NaOH : 10,32

Temperatur ammonium sulfat : 34⁰C

Temperatur asam sulfat : 33⁰C

Laju Alir : 5 L/menit					
Lama Sirkulasi	Data alat	Faktor Koreksi	Pengenceran	Hasil	Satuan
0 menit	24,5	1,2	10	294,0	ppm
30 menit	16,7	1,2	10	200,4	ppm
60 menit	15,5	1,2	10	186,0	ppm
90 menit	12,7	1,2	10	152,4	ppm
120 menit	10,8	1,2	10	129,6	ppm

2.3. Variasi serat membran 20

a. Laju 3 Lpm.

Berat ammonium sulfat tertimbang : 5,8237 gram

pH awal : 5,89

pH setelah penambahan NaOH : 10,41

Temperatur ammonium sulfat : 33⁰C

Temperatur asam sulfat : 33⁰C

Laju Alir : 3 L/menit					
Lama Sirkulasi	Data alat	Faktor Koreksi	Pengenceran	Hasil	Satuan
0 menit	24,4	1,2	10	292,8	ppm
30 menit	16,8	1,2	10	201,6	ppm
60 menit	14,2	1,2	10	170,4	ppm
90 menit	10,9	1,2	10	130,8	ppm

120 menit	9,8	1,2	10	117,6	ppm
-----------	-----	-----	----	-------	-----

b. Laju 4 Lpm.

Berat ammonium sulfat tertimbang : 5,8243 gram

pH awal : 5,61

pH setelah penambahan NaOH : 10,18

Temperatur ammonium sulfat : 34⁰C

Temperatur asam sulfat : 33⁰C

Laju Alir : 4 L/menit					
Lama Sirkulasi	Data alat	Faktor Koreksi	Pengenceran	Hasil	Satuan
0 menit	24,8	1,2	10	297,6	ppm
30 menit	17,2	1,2	10	206,4	ppm
60 menit	13,5	1,2	10	162,0	ppm
90 menit	10,8	1,2	10	129,6	ppm
120 menit	9,2	1,2	10	110,4	ppm

c. Laju 5 Lpm.

Berat ammonium sulfat tertimbang : 5,8245 gram

pH awal : 5,81

pH setelah penambahan NaOH : 10,21

Temperatur ammonium sulfat : 33⁰C

Temperatur asam sulfat : 33⁰C

Laju Alir : 5 L/menit					
Lama Sirkulasi	Data alat	Faktor Koreksi	Pengenceran	Hasil	Satuan
0 menit	24,9	1,2	10	298,8	ppm
30 menit	16,2	1,2	10	194,4	ppm
60 menit	13,0	1,2	10	156,0	ppm
90 menit	10,1	1,2	10	121,2	ppm
120 menit	9,1	1,2	10	109,2	ppm

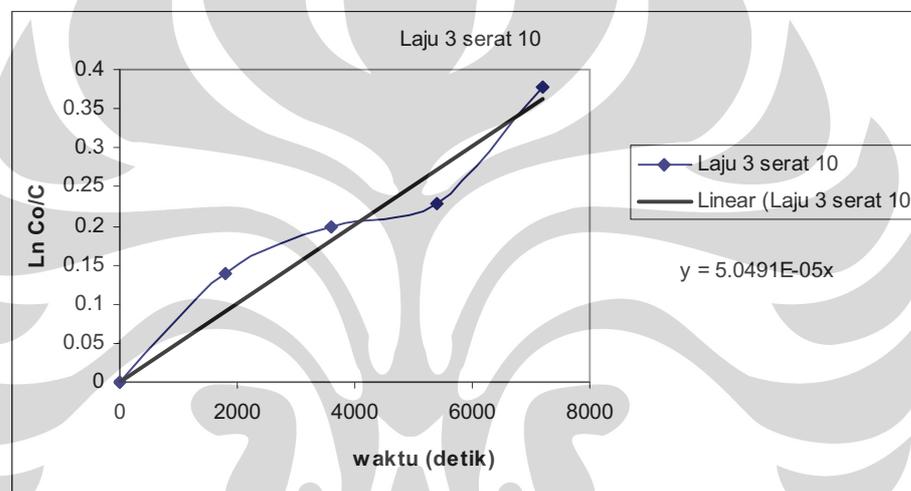
3. Perhitungan Slope perubahan konsentrasi.

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 $\ln C/C_0$.

3.1. Laju alir 3 Lpm.

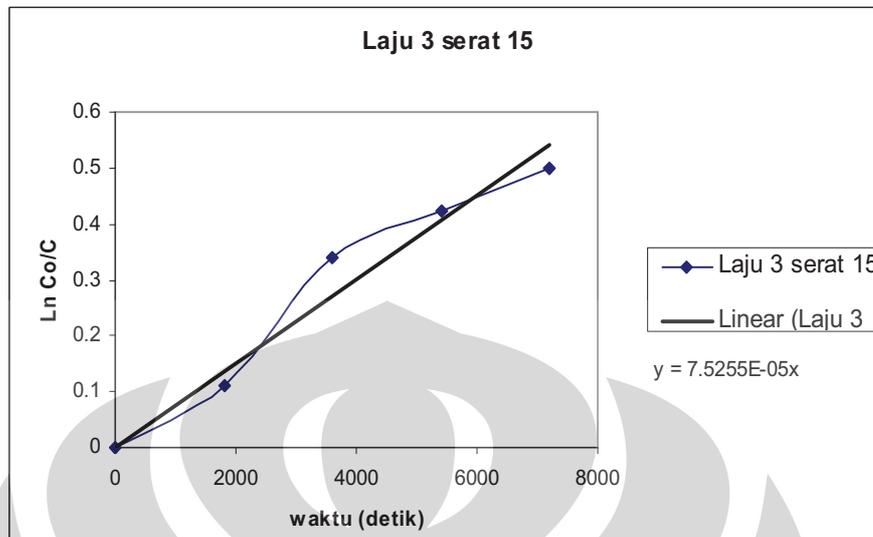
a. Serat 10

Laju Alir 3 serat 10					
Waktu			Konsentrasi		
Detik	Menit	Jam	Co	C	ln Co/C
0	0	0	306		0
1800	30	0,5		266,4	0,138586
3600	60	1,0		250,8	0,198929
5400	90	1,5		243,6	0,228058
7200	120	2,0		210	0,376478



b. Serat 15

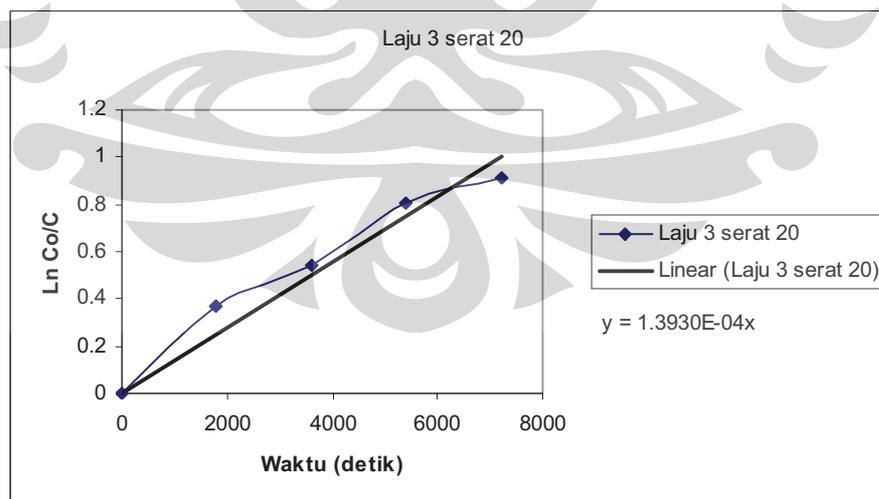
Laju Alir 3 serat 15					
Waktu			Konsentrasi		
Detik	Menit	Jam	Co	C	ln Co/C
0	0	0	298,8		0
1800	30	0,5		267,8	0,109385
3600	60	1,0		212,4	0,341303
5400	90	1,5		195,6	0,423703
7200	120	2,0		181,2	0,500173



c. Serat 20

Laju Alir 3 serat 20

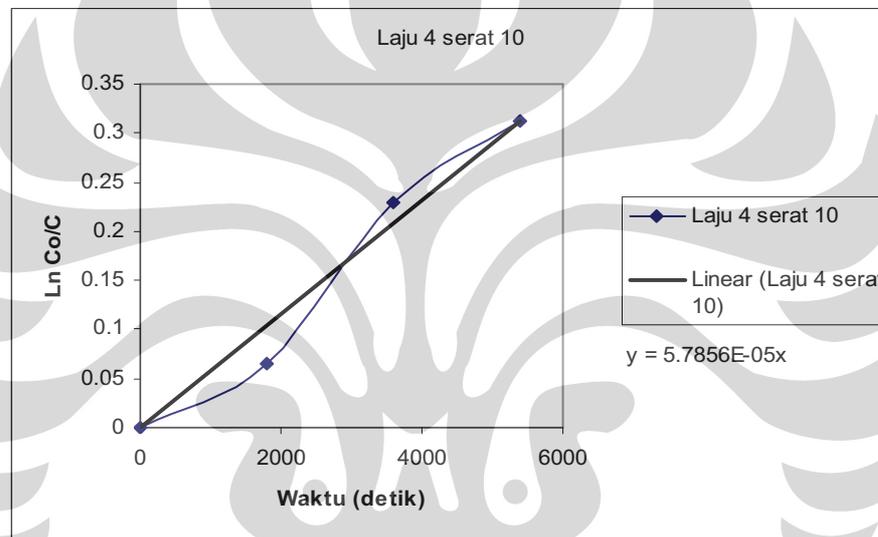
Waktu			Konsentrasi		
Detik	Menit	Jam	Co	C	ln Co/C
0	0	0	292,8		0
1800	30	0,5		201,6	0,373204
3600	60	1,0		170,4	0,541341
5400	90	1,5		130,8	0,80582
7200	120	2,0		117,6	0,912201



3.2 Laju 4 Lpm.

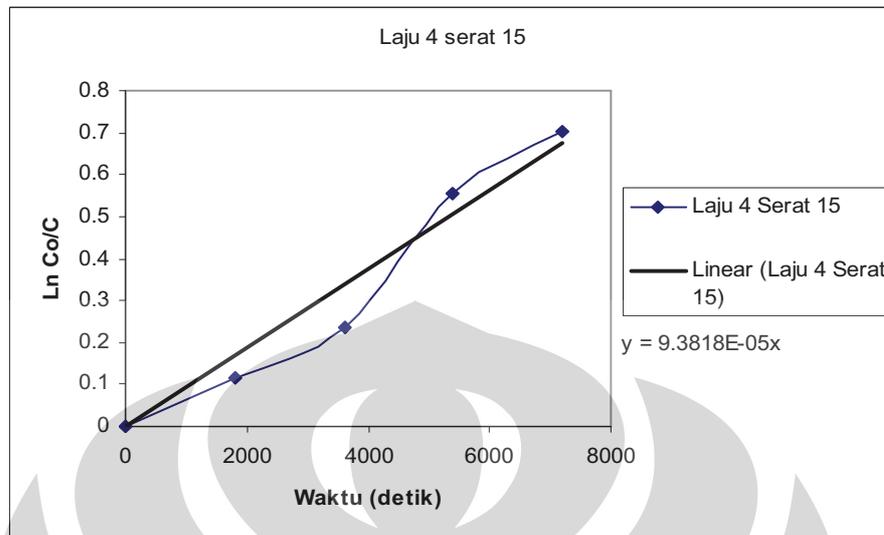
a. Serat 10

Laju Alir 4 serat 10					
Waktu			Konsentrasi		
Detik	Menit	Jam	Co	C	ln Co/C
0	0	0	304,8		0
1800	30	0,5		285,6	0,065064
3600	60	1,0		242,4	0,229067
5400	90	1,5		223,2	0,311588
7200	120	2,0			



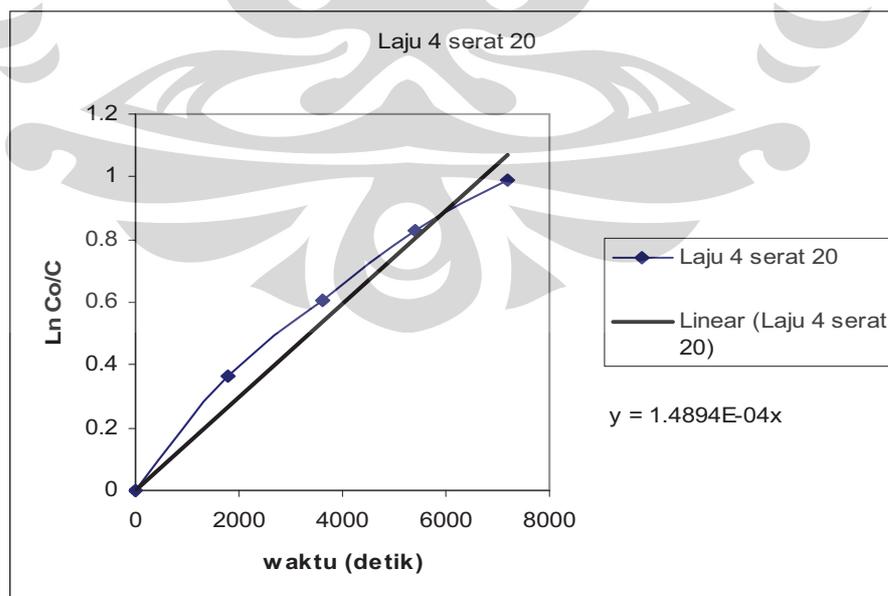
b. Serat 15

Laju Alir 4 serat 15					
Waktu			Konsentrasi		
Detik	Menit	Jam	Co	C	ln Co/C
0	0	0	295,2		0
1800	30	0,5		262,8	0,11626
3600	60	1,0		232,8	0,237473
5400	90	1,5		169,2	0,556572
7200	120	2,0		146,4	0,70131



c. Serat 20

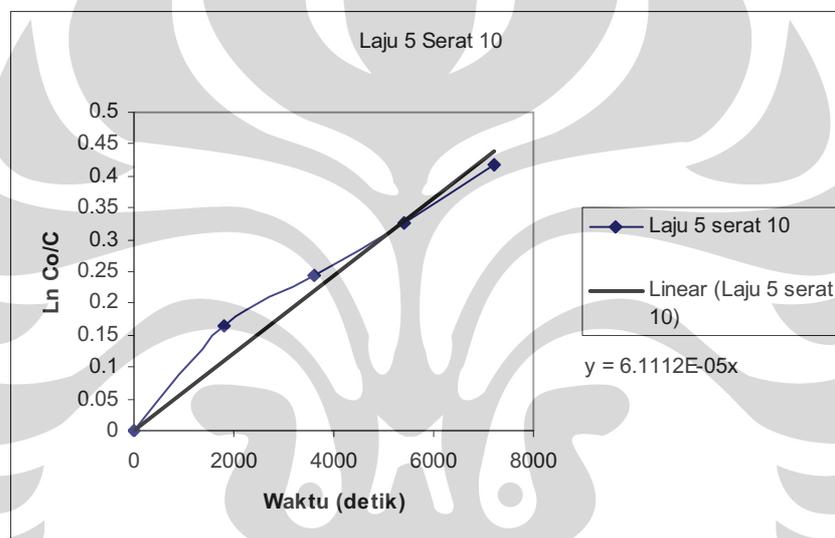
Laju Alir 4 serat 20					
Waktu			Konsentrasi		
Detik	Menit	Jam	Co	C	ln Co/C
0	0	0	297,6		0
1800	30	0,5		206,4	0,365934
3600	60	1,0		162	0,608154
5400	90	1,5		129,6	0,831298
7200	120	2,0		110,4	0,99164



3.3 Laju 5 Lpm.

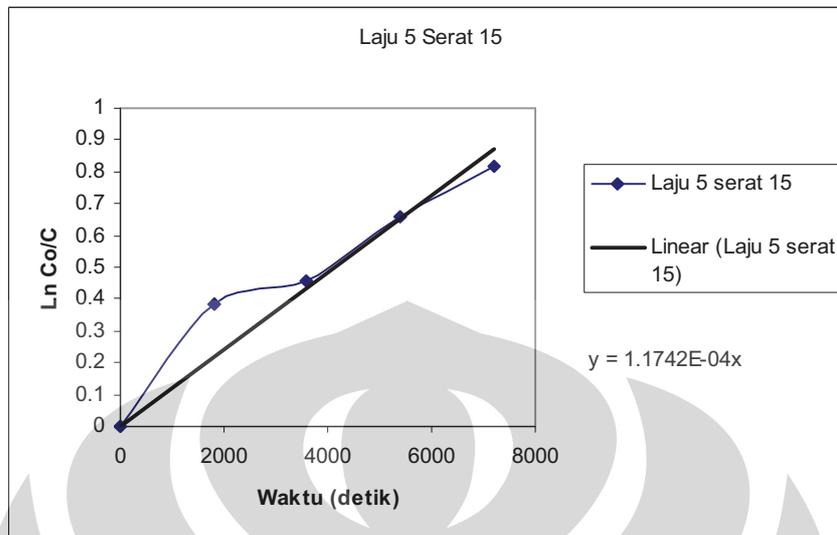
a. Serat 10

Laju Alir 5 serat 10					
Waktu			Konsentrasi		
Detik	Menit	Jam	Co	C	ln Co/C
0	0	0	306		0
1800	30	0,5		259,2	0,165985
3600	60	1,0		240	0,242946
5400	90	1,5		220,8	0,326328
7200	120	2,0		201,6	0,4173



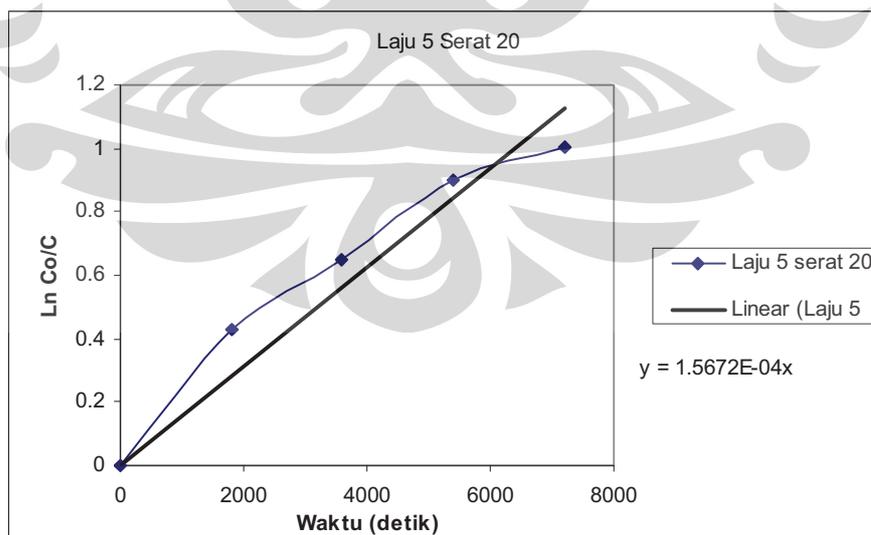
b. Serat 15

Laju Alir 5 serat 15					
Waktu			Konsentrasi		
Detik	Menit	Jam	Co	C	ln Co/C
0	0	0	294,0		0
1800	30	0,5		200,4	0,383264
3600	60	1,0		186	0,457833
5400	90	1,5		152,4	0,657071
7200	120	2,0		129,6	0,819127



c. Serat 20

Laju Alir 5 serat 20					
Waktu			Konsentrasi		
Detik	Menit	Jam	Co	C	ln Co/C
0	0	0	298,8		0
1800	30	0,5		194,4	0,429857
3600	60	1,0		156	0,649918
5400	90	1,5		121,2	0,902332
7200	120	2,0		109,2	1,006593



4. Koefisien perpindahan massa

Secara umum koefisien perpindahan massa dihitung dengan persamaan berikut ini,

$$k_{ov} = \frac{\text{Slope} \times \text{Volume}}{\text{Luas penampang membran}}$$

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

Dimana:

K_{ov} = Koefisien Overall

nf = Jumlah membran

df = Diameter membran

Lf = Panjang membran

4.1 Koefisien perpindahan massa serat 10

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang membran} &= 3,14 \times 10 \times 40 \text{ cm} \times 0,27 \text{ cm} \\ &= 339,12 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Slope serat 10 laju 3 Lpm} = 5,0491 \times 10^{-5} / \text{s}$$

$$\text{Slope serat 10 laju 4 Lpm} = 5,7856 \times 10^{-5} / \text{s}$$

$$\text{Slope serat 10 laju 5 Lpm} = 6,1112 \times 10^{-5} / \text{s}$$

$$\text{Volume} = 5000 \text{ cm}^3$$

a. Serat 10 laju alir 3 Lpm

$$k_{ov} = \frac{5,0491 \times 10^{-5} / \text{s} \times 5000 \text{ cm}^3}{339,12 \text{ cm}^2}$$

$$k_{ov} = 7,44441 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$$

b. Serat 10 laju alir 4 Lpm

$$k_{ov} = \frac{5,7856 \times 10^{-5} / \text{s} \times 5000 \text{ cm}^3}{339,12 \text{ cm}^2}$$

$$k_{ov} = 8,53031 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$$

c. Serat 10 laju alir 5 Lpm

$$k_{ov} = \frac{6,1112 \times 10^{-5} / \text{s} \times 5000 \text{ cm}^3}{339,12 \text{ cm}^2}$$

$$k_{ov} = 9,01038 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$$

4.2 Koefisien perpindahan massa serat 15

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang membran} &= 3,14 \times 15 \times 40 \text{ cm} \times 0,27 \text{ cm} \\ &= 508,68 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Slope serat 15 laju 3 Lpm} = 7,5255 \times 10^{-5}/\text{s}$$

$$\text{Slope serat 15 laju 4 Lpm} = 9,3818 \times 10^{-5}/\text{s}$$

$$\text{Slope serat 15 laju 5 Lpm} = 1,0629 \times 10^{-4}/\text{s}$$

$$\text{Volume} = 5000 \text{ cm}^3$$

a. Serat 15 laju alir 3 Lpm

$$k_{ov} = \frac{7,5255 \times 10^{-5} / \text{s} \times 5000 \text{ cm}^3}{508,68 \text{ cm}^2}$$

$$k_{ov} = 7,39709 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$$

b. Serat 15 laju alir 4 Lpm

$$k_{ov} = \frac{9,3818 \times 10^{-5} / \text{s} \times 5000 \text{ cm}^3}{508,68 \text{ cm}^2}$$

$$k_{ov} = 9,22171 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$$

c. Serat 15 laju alir 5 Lpm

$$k_{ov} = \frac{1,1742 \times 10^{-4} / \text{s} \times 5000 \text{ cm}^3}{508,68 \text{ cm}^2}$$

$$k_{ov} = 1,154164 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$$

4.3 Koefisien perpindahan massa serat 20

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang membran} &= 3,14 \times 20 \times 40 \text{ cm} \times 0,27 \text{ cm} \\ &= 678,24 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Slope serat 20 laju 3 Lpm} = 1,3930 \times 10^{-4}/\text{s}$$

$$\text{Slope serat 20 laju 4 Lpm} = 1,4894 \times 10^{-4}/\text{s}$$

$$\text{Slope serat 20 laju 5 Lpm} = 1,5672 \times 10^{-4}/\text{s}$$

$$\text{Volume} = 5000 \text{ cm}^3$$

a. Serat 20 laju alir 3 Lpm

$$k_{ov} = \frac{1,3930 \times 10^{-4} / \text{s} \times 5000 \text{ cm}^3}{678,24 \text{ cm}^2}$$

$$k_{ov} = 1,026923 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$$

b. Serat 20 laju alir 4 Lpm

$$k_{ov} = \frac{1,4894 \times 10^{-4} / s \times 5000 \text{ cm}^3}{678,24 \text{ cm}^2}$$

$$k_{ov} = 1,097989 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$$

c. Serat 20 laju alir 5 Lpm

$$k_{ov} = \frac{1,5672 \times 10^{-4} / s \times 5000 \text{ cm}^3}{678,24 \text{ cm}^2}$$

$$k_{ov} = 1,155343 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$$

5 Perhitungan Fluk

Fluk dihitung dengan persamaan berikut ini,

$$Fluk = \frac{(C_0 - C_t) \times V}{Am \times t}$$

Dimana:

C_0 = 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)

Am = Luas penampang membran (cm^2)

$$Am \text{ serat } 10 = 3,14 \times 10 \times 40 \text{ cm} \times 0,27 \text{ cm} \\ = 339,12 \text{ cm}^2$$

$$Am \text{ serat } 15 = 3,14 \times 15 \times 40 \text{ cm} \times 0,27 \text{ cm} \\ = 508,68 \text{ cm}^2$$

$$Am \text{ serat } 20 = 3,14 \times 20 \times 40 \text{ cm} \times 0,27 \text{ cm} \\ = 678,24 \text{ cm}^2$$

5.1 Fluk pada laju alir 3 Lpm

Perubahan Konsentrasi					
Waktu			Serat		
detik	menit	jam	10	15	20
0	0	0	306	298,8	292,8
1800	30	0,5	266,4	267,84	201,6
3600	60	1	250,8	212,4	170,4
5400	90	1,5	243,6	195,6	130,8

7200	120	2	210	181,2	117,6
------	-----	---	-----	-------	-------

a. Serat 10

$$\begin{aligned}
 \text{Fluk} &= \frac{(C_0 - C_t) \times V}{Am \times t} \\
 &= \frac{(306 \text{ mg/dm}^3 - 243,6 \text{ mg/dm}^3) \times 5 \text{ dm}^3}{339,12 \text{ cm}^2 \times 5600 \text{ sekon}} \\
 &= 1,70376 \times 10^{-4} \text{ mg/cm}^2 \text{ sekon}
 \end{aligned}$$

b. Serat 15

$$\begin{aligned}
 \text{Fluk} &= \frac{(C_0 - C_t) \times V}{Am \times t} \\
 &= \frac{(298,8 \text{ mg/dm}^3 - 181,2 \text{ mg/dm}^3) \times 5 \text{ dm}^3}{508,68 \text{ cm}^2 \times 7200 \text{ sekon}} \\
 &= 1,60546 \times 10^{-4} \text{ mg/cm}^2 \text{ sekon}
 \end{aligned}$$

c. Serat 20

$$\begin{aligned}
 \text{Fluk} &= \frac{(C_0 - C_t) \times V}{Am \times t} \\
 &= \frac{(292,8 \text{ mg/dm}^3 - 117,6 \text{ mg/dm}^3) \times 5 \text{ dm}^3}{678,24 \text{ cm}^2 \times 7200 \text{ sekon}} \\
 &= 1,79386 \times 10^{-4} \text{ mg/cm}^2 \text{ sekon}
 \end{aligned}$$

5.2 Fluk pada laju alir 4 Lpm

Konsentrasi						
Waktu			Serat			
detik	menit	jam	10	15	20	
0	0	0	304,8	295,2	297,6	
1800	30	0,5	285,6	262,8	206,4	
3600	60	1	242,4	232,8	162	
5400	90	1,5	223,2	169,2	129,6	
7200	120	2	-	146,4	110,4	

a. Serat 10

$$\begin{aligned}
 \text{Fluk} &= \frac{(C_0 - C_t) \times V}{Am \times t} \\
 &= \frac{(304,8 \text{ mg/dm}^3 - 223,2 \text{ mg/dm}^3) \times 5 \text{ dm}^3}{339,12 \text{ cm}^2 \times 5400 \text{ sekon}} \\
 &= 2,22799 \times 10^{-4} \text{ mg/cm}^2 \text{ sekon}
 \end{aligned}$$

b. Serat 15

$$\begin{aligned}
 \text{Fluk} &= \frac{(C_0 - C_t) \times V}{Am \times t} \\
 &= \frac{(295,2 \text{ mg/dm}^3 - 146,4 \text{ mg/dm}^3) \times 5 \text{ dm}^3}{508,68 \text{ cm}^2 \times 7200 \text{ sekon}} \\
 &= 2,0314 \times 10^{-4} \text{ mg/cm}^2 \text{ sekon}
 \end{aligned}$$

c. Serat 20

$$\begin{aligned}
 \text{Fluk} &= \frac{(C_0 - C_t) \times V}{Am \times t} \\
 &= \frac{(297,6 \text{ mg/dm}^3 - 110,4 \text{ mg/dm}^3) \times 5 \text{ dm}^3}{678,24 \text{ cm}^2 \times 7200 \text{ sekon}} \\
 &= 1,91673 \times 10^{-4} \text{ mg/cm}^2 \text{ sekon}
 \end{aligned}$$

5.3 Fluk pada laju alir 5 Lpm

			Konsentrasi		
Waktu			Serat		
detik	menit	jam	10	15	20
0	0	0	306	294,0	298,8
1800	30	0,5	259,2	200,4	194,4
3600	60	1	240	186	156
5400	90	1,5	220,8	152,4	121,2
7200	120	2	201,6	129,6	109,2

a. Serat 10

$$\begin{aligned}
 \text{Fluk} &= \frac{(C_0 - C_t) \times V}{Am \times t} \\
 &= \frac{(306 \text{ mg/dm}^3 - 220,8 \text{ mg/dm}^3) \times 5 \text{ dm}^3}{339,12 \text{ cm}^2 \times 5400 \text{ sekon}} \\
 &= 2,32628 \times 10^{-4} \text{ mg/cm}^2 \text{ sekon}
 \end{aligned}$$

b. Serat 15

$$\begin{aligned}
 \text{Fluk} &= \frac{(C_0 - C_t) \times V}{Am \times t} \\
 &= \frac{(294,0 \text{ mg/dm}^3 - 129,6 \text{ mg/dm}^3) \times 5 \text{ dm}^3}{508,68 \text{ cm}^2 \times 7200 \text{ sekon}} \\
 &= 2,24437 \times 10^{-4} \text{ mg/cm}^2 \text{ sekon}
 \end{aligned}$$

c. Serat 20

$$\begin{aligned} \text{Fluk} &= \frac{(C_0 - C_t) \times V}{Am \times t} \\ &= \frac{(298,8 \text{ mg/dm}^3 - 109,2 \text{ mg/dm}^3) \times 5 \text{ dm}^3}{678,24 \text{ cm}^2 \times 7200 \text{ sekon}} \\ &= 1,9413 \times 10^{-4} \text{ mg/cm}^2 \text{ sekon} \end{aligned}$$

6 Perhitungan Bilangan Sherwood

Bilangan Sherwood dihitung dengan persamaan sebagai berikut ini:

$$Sh = k \frac{de}{D}$$

$$d_e = \frac{d_p^2 - N \cdot d_f^2}{d_p + N \cdot d_f}$$

Dimana:

Sh = Bilangan Sherwood

k = Koefisien perpindahan massa (cm/detik)

D = Diffusivitas ammonia (cm²/detik)

de = Diameter ekivalen (cm)

N = Jumlah serat dalam modul

df = Diameter serat (cm)

dp = Diameter selongsong (cm)

$$d_e \text{ serat } 10 = \frac{(1,9 \text{ cm})^2 - [10 \times (0,27 \text{ cm})^2]}{1,9 \text{ cm} + [10 \times 0,27 \text{ cm}]} = 0,626304 \text{ cm}$$

$$d_e \text{ serat } 15 = \frac{(1,9 \text{ cm})^2 - [15 \times (0,27 \text{ cm})^2]}{1,9 \text{ cm} + [15 \times 0,27 \text{ cm}]} = 0,422941 \text{ cm}$$

$$d_e \text{ serat } 20 = \frac{(1,9 \text{ cm})^2 - [20 \times (0,27 \text{ cm})^2]}{1,9 \text{ cm} + [20 \times 0,27 \text{ cm}]} = 0,294795 \text{ cm}$$

6.1 Bilangan Sherwood laju alir 3 Lpm

a. Serat 10

$$\begin{aligned} Sh &= k \frac{de}{D} \\ &= 7,44441 \times 10^{-4} \text{ cm/s} \times \frac{0,626304 \text{ cm}}{1,76 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}} \\ &= 26,5 \end{aligned}$$

b. Serat 15

$$\begin{aligned} Sh &= k \frac{de}{D} \\ &= 7,39709 \times 10^{-4} \text{ cm/s} \times \frac{0,422941 \text{ cm}}{1,76 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}} \\ &= 17,8 \end{aligned}$$

c. Serat 20

$$\begin{aligned} Sh &= k \frac{de}{D} \\ &= 1,026923 \times 10^{-3} \text{ cm/s} \times \frac{0,294795 \text{ cm}}{1,76 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}} \\ &= 17,2 \end{aligned}$$

6.2 Bilangan Sherwood laju alir 4 Lpm

a. Serat 10

$$\begin{aligned} Sh &= k \frac{de}{D} \\ &= 8,53031 \times 10^{-4} \text{ cm/s} \times \frac{0,626304 \text{ cm}}{1,76 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}} \\ &= 30,4 \end{aligned}$$

b. Serat 15

$$\begin{aligned} Sh &= k \frac{de}{D} \\ &= 9,22171 \times 10^{-4} \text{ cm/s} \times \frac{0,422941 \text{ cm}}{1,76 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}} \\ &= 22,2 \end{aligned}$$

c. Serat 20

$$\begin{aligned} Sh &= k \frac{de}{D} \\ &= 1,097989 \times 10^{-3} \text{ cm/s} \times \frac{0,294795 \text{ cm}}{1,76 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}} \\ &= 18,4 \end{aligned}$$

6.3 Bilangan Sherwood laju 5 Lpm.

a. Serat 10

$$\begin{aligned} Sh &= k \frac{de}{D} \\ &= 9,01038 \times 10^{-4} \text{ cm/s} \times \frac{0,626304 \text{ cm}}{1,76 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}} \\ &= 32,1 \end{aligned}$$

b. Serat 15

$$\begin{aligned} Sh &= k \frac{de}{D} \\ &= 1,154146 \times 10^{-3} \text{ cm/s} \times \frac{0,422941 \text{ cm}}{1,76 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}} \\ &= 27,7 \end{aligned}$$

c. Serat 20

$$\begin{aligned} Sh &= k \frac{de}{D} \\ &= 1,155343 \times 10^{-3} \text{ cm/s} \times \frac{0,294795 \text{ cm}}{1,76 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}} \\ &= 19,4 \end{aligned}$$

7 Perhitungan Effisiensi Pemisahan

Effisiensi dari pemisahan dihitung dengan persamaan berikut ini:

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

Dimana : C_0 = Konsentrasi awal

C_t = Konsentrasi ammonia pada saat t

Contoh Perhitungan Konsentrasi ammonia pada laju 3 Lpm dan serat 10

Konsentrasi ammonia pada t=0 adalah 306 ppm

Konsentrasi ammonia pada t=30 adalah 266,4 ppm

$$R\% = \frac{306 \text{ ppm} - 266,4}{306 \text{ ppm}} \times 100\%$$

$$R\% = 12,94\%$$

7.1 Perhitungan efisiensi pada laju alir 3 Lpm serat 10, 15, dan 20.

Waktu	Konsentrasi			Effisiensi (R)		
	Serat 10	Serat 15	Serat 20	Serat 10	Serat 15	Serat 20
0	306	298,8	292,8	0	0	0
30	266,4	267,84	201,6	12,94	10,36	31,15
60	250,8	212,4	170,4	18,04	28,91	41,80
90	243,6	195,6	130,8	20,39	34,54	55,33
120	210	181,2	117,6	31,37	39,36	59,84

7.2 Perhitungan efisiensi pada laju alir 4 Lpm serat 10, 15, dan 20.

Waktu	Konsentrasi			Effisiensi (R)		
	serat 10	Serat 15	Serat 20	Serat 10	Serat 15	Serat 20
0	304,8	295,2	297,6	0	0	0
30	285,6	262,8	206,4	6,30	10,98	30,65
60	242,4	232,8	162	20,47	21,14	45,56
90	223,2	169,2	129,6	26,77	42,68	56,45
120	-	146,4	110,4	-	50,41	62,90

7.3 Perhitungan efisiensi pada laju alir 5 Lpm serat 10, 15, dan 20.

Waktu	Konsentrasi			Effisiensi (R)		
	serat 10	Serat 15	Serat 20	Serat 10	Serat 15	Serat 20
0	306	294,0	298,8	0,00	0,00	0,00
30	259,2	200,4	194,4	15,29	31,84	34,94
60	240	186	156	21,57	36,73	47,79
90	220,8	152,4	121,2	27,84	48,16	59,44
120	201,6	129,6	109,2	34,12	55,92	63,45

8 Perhitungan Bilangan Reynold

$$Re = \frac{de \cdot v}{\mu \text{ kinematis}}$$

Dimana:

de = Diameter ekivalen (cm)

v = Kecepatan aliran (cm/detik)

 μ = Viskositas kinematis (cm²/s)

Diketahui dari hasil perhitungan sebelumnya

$$d_e \text{ serat } 10 = \frac{(1,9 \text{ cm})^2 - [10 \times (0,27 \text{ cm})^2]}{1,9 \text{ cm} + [10 \times 0,27 \text{ cm}]} = 0,626304 \text{ cm}$$

$$d_e \text{ serat } 15 = \frac{(1,9 \text{ cm})^2 - [15 \times (0,27 \text{ cm})^2]}{1,9 \text{ cm} + [15 \times 0,27 \text{ cm}]} = 0,422941 \text{ cm}$$

$$d_e \text{ serat } 20 = \frac{(1,9 \text{ cm})^2 - [20 \times (0,27 \text{ cm})^2]}{1,9 \text{ cm} + [20 \times 0,27 \text{ cm}]} = 0,294795 \text{ cm}$$

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

Contoh Perhitungan Bilangan Reynold Serat 10 laju 3 Lpm.

$$\text{Re} = \frac{d_e \cdot v}{\mu \text{ kinematis}}$$

$$\text{Re} = \frac{0,626304 \text{ cm} \times 22,1 \text{ cm/detik}}{8,9 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}}$$

$$\text{Re} = 1.555,79$$

8.1 Bilangan Reynold serat 10

Laju alir (Lpm)	Kecepatan alir (cm/detik)	Bilangan Reynold
3 Lpm	22,1	1555,80
4 Lpm	29,5	2074,39
5 Lpm	36,8	2592,99

8.2 Bilangan Reynold serat 15

Laju alir (Lpm)	Kecepatan alir (cm/detik)	Bilangan Reynold
3 Lpm	25,3	1202,80
4 Lpm	33,7	1603,73
5 Lpm	42,2	2004,66

8.3 Bilangan reynold Serat 20

Laju alir (Lpm)	Kecepatan alir (cm/detik)	Bilangan Reynold
3 Lpm	29,6	980,36
4 Lpm	39,5	1307,15
5 Lpm	49,3	1633,94

9 Perhitungan Friksi

Friksi dapat dihitung dengan persamaan berikut ini

$$f = \frac{\Delta P \times de}{2 \times L \times \rho \times (VI)^2}$$

Dimana

ΔP : Penurunan tekanan antara cairan masuk dan keluar kontaktor

f : Faktor friksi

de : Diameter ekuivalen kontaktor

L : Panjang kontaktor

ρ : Densitas cairan

VI : Laju alir cairan di dalam kontaktor

Serat	Data Perubahan Tekanan (gram/cm, detik ²)		
	Laju 3	Laju 4	Laju 5
Serat 10	1961,83	1961,83	3923,66
Serat 15	4904,57	5885,48	7847,31
Serat 20	6866,40	11770,97	17656,45

Serat	Data laju alir (cm/detik)			Diameter ekuivalen (cm)
	Laju 3	Laju 4	Laju 5	
Serat 10	22,1	29,5	36,8	0,626304
Serat 15	25,3	33,7	42,2	0,422941
Serat 20	29,6	39,5	49,3	0,294795

Contoh Perhitungan Faktor Friksi Serat membran 10 laju 3 Lpm,

$$f = \frac{\Delta P \times de}{2 \times L \times \rho \times (VI)^2}$$

$$f = \frac{1379,31 \text{ gr/cm.detik}^2 \times 0,626304 \text{ cm}}{2 \times 40 \text{ cm} \times 1 \text{ gr/cm}^3 \times (22,1 \text{ cm/detik})^2}$$

$$f = 2,2109 \times 10^{-2}$$

Friksi modul			
	Laju 3	Laju 4	Laju 5
Serat 10	0,022092413	0,019882306	0,019883143
Serat 15	0,040474746	0,027320454	0,023313454
Serat 20	0,028882998	0,027851462	0,026737404

10. Faktor Friksi

Berdasarkan Perhitungan diperoleh bilangan reynold sekitar 15 - 40 maka aliran bersifat turbulen sehingga persamaan yang digunakan adalah persamaan faktor friksi untuk aliran laminar.

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

Contoh perhitungan friksi modul:

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

$$f = \frac{16}{1555,80}$$

$$f = 0,01028$$

Berikut adalah table perhitungan faktor friksi modul

Serat	Faktor Friksi		
	Laju 3	Laju 4	Laju 5
Serat 10	0,01028	0,00771	0,00617
Serat 15	0,01330	0,00998	0,00798
Serat 20	0,01632	0,01224	0,00979

11. Friksi Ratio

Fraaksi ratio dihitung dengan perbandingan

$$f \text{ ratio} = \frac{f \text{ modul}}{f \text{ literatur}}$$

Contoh perhitungan friksi ratio

$$f \text{ ratio} = \frac{0,022092413}{0,01028}$$

$$f \text{ ratio} = 2,149$$

Tabel hasil perhitungan friksi ratio

Serat	F ratio		
	Laju 3	Laju 4	Laju 5
Serat 10	2,148	2,578	3,222
Serat 15	3,043	2,738	2,921
Serat 20	1,770	2,275	2,730