



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMISAHAN AMMONIA TERLARUT DALAM AIR MELALUI
KONTAKTOR MEMBRAN SERAT BERONGGA MENGGUNAKAN
LARUTAN DAUN MENKUDU (*MORINDA CITRIFOLIA*)**

SKRIPSI

ACHMAD EFFENDI

0706200131

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA

DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA

DEPOK

DESEMBER 2009



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMISAHAN AMMONIA TERLARUT DALAM AIR MELALUI
KONTAKTOR MEMBRAN SERAT BERONGGA MENGGUNAKAN
LARUTAN DAUN MENGGUDU (*MORINDA CITRIFOLIA*)**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana

ACHMAD EFFENDI

0706200131

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA

DEPARTEMEN 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 : Achmad Effendi

NPM : 0706200131

Tanda Tangan : 

Tanggal : 21 Desember 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Achmad Effendi
NPM : 0706200131
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Pemisahan amonia terlarut dalam air menggunakan membran serat berongga dengan menggunakan larutan daun mengkudu (*morinda citrifolia*)

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

DEWAN PENGUJI

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



Penguji : Ir. Yuliusman, M. Eng



Penguji : Ir. Eva Fathul Karamah, MT



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 21 Desember 2009

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT serta shalawat dan salam kepada Nabi besar Muhammad SAW atas segala rahmat dan Ridho-nya sehingga penulis dapat menyelesaikan makalah seminar ini dengan sebaik-baiknya. Seminar ini disusun sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan studi program sarjana pada Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Pada kesempatan ini pula saya ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan seminar ini, yaitu kepada:

1. Bapak, Ibu, serta kakak dan adik ku atas segala kasih sayang, dukungan dan doanya.
2. Ir. Sutrasno Kartohardjono, Msc, Ph.D, selaku dosen pembimbing yang telah mencurahkan tenaga dan waktunya untuk membimbing penulis.
3. Prof. Dr. Ir. Widodo Wahyu Purwanto, DEA., selaku ketua Departemen Teknik Kimia.
4. Ir. Yuliusman, M.Eng., selaku kordinator seminar.
5. Ir. Tania Surya Utami, MT., selaku pembimbing akademi.
6. Teman-teman seperjuangan TK'07 yang selalu mendukung, ayo maju terus.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 21 Desember 2009

Achmad Effendi

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

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

Nama : Achmad Effendi

NPM : 0706200131

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 Daun Mengkudu (*Morinda Citrifolia*)

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 21 Desember 2009

Yang Menyatakan


Achmad Effendi

ABSTRAK

Nama : Achmad Effendi
Program Studi : Teknik Kimia
Judul :Pemisahan ammonia terlarut dalam air melalui kontaktor membran serat berongga menggunakan larutan daun mengkudu (*morinda citrifolia*)

Evaluasi efektifitas pelarut dari daun mengkudu untuk absorpsi gas amonia menggunakan kontaktor membran serat berongga telah diteliti. Pelarut yang digunakan adalah daun mengkudu dengan dosis 200 gram per liter air dan asam sulfat 0.1M. Untuk studi perpindahan massa, hasil penelitian menunjukkan nilai koefisien perpindahan massa pada pelarut asam sulfat lebih tinggi dibandingkan pada pelarut daun mengkudu sehingga efisiensi yang dihasilkan dengan menggunakan asam sulfat lebih besar dibandingkan larutan daun mengkudu. Hasil penelitian juga menunjukkan peningkatan laju alir pelarut akan menaikkan koefisien perpindahan massa. Sedangkan untuk studi hidrodinamika, kenaikan laju alir pelarut menyebabkan meningkatnya penurunan tekanan di dalam kontaktor membran.

Kata Kunci: kontaktor membran serat berongga; perpindahan massa; hidrodinamika

ABSTRACT

Name : Achmad Effendi
Study Program : Chemical Engineering
Tittle :Dissolved ammonia removal from aqueous solution through hollow fiber membrane contactor using morinda citrifolia

Evaluation of effectiveness solvent from leaf morinda citrifolia for gas absorption amonia using contactor hollow fiber membrane have been researched. Solvent that used leaf morinda citrifolia with dose 200 gram per liter of water and sulphuric acid 0.1M. For transfer study mass, watchfulness result shows transfer coefficient value mass in solvent sulphuric acid is higher than solvent leaf morinda citrifolia so that efficiency that produced by using sulphuric acid is higher than leaf morinda citrifolia. Also will show rate of flow enhanced solvent will raise transfer coefficient mass. While for hydrodynamics study, rate of flow increase solvent causes the increasing of pressure depreciation in contactor membrane.

Keyword: hollow fiber membrane contactor; mass transfer; hydrodynamic

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERNYARAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR SIMBOL	xii
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 Desorpsi	6
2.2 Absorpsi	7
2.3 Mengkudu	8
2.4 Teori Membran	11
2.5 Membran Polipropilen	13
2.6 Kontaktor Membran	15
2.6.1 Kontaktor Membran Cair-Cair	16
2.7 Kontaktor Membran Serat Berlubang	17
2.7.1 Karakteristik Kontaktor membran Serat Berlubang	17
2.7.2 Kelebihan dan Kekurangan Membran Serat Berlubang	18
2.7.3 Aplikasi Kontaktor Membran Serat Berlubang	21

2.8 Studi Perpindahan Massa pada Proses <i>Stripping</i> Amonia dari Air.....	21
2.8.1 Studi Hidrodinamika pada Kontaktor Membran Serat Berlubang.....	23
2.8 <i>State of The Art</i>	24
3. METODE PENELITIAN.....	26
3.1 Pendahuluan	26
3.2 Diagram Alir Penelitian	26
3.3 Prosedur Penelitian	29
3.3.1 Studi Literatur	29
3.3.2 Uji Perpindahan Massa dan Hidrodinamika	29
3.3.3 Analisis Data dan Penulisan Laporan	30
3.4 Alat dan Bahan.....	30
3.5 Skema Alat	31
3.6 Pengolahan Data.....	32
3.6.1 Menghitung Koefisien Perpindahan Massa	32
3.6.2 Menghitung Korelasi Perpindahan Massa dan Hidrodinamika	35
3.6.3 Menghitung Faktor Friksi	35
4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1 Studi Perpindahan Massa	37
4.1.1 Pengaruh Laju Alir Pelarut	41
4.1.2 Hubungan Fluks Terhadap Laju Alir	42
4.2 Studi Hidrodinamika	44
5. KESIMPULAN	47
DAFTAR PUSTAKA.....	48
LAMPIRAN.....	50

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kandungan kimia di setiap bagian tanaman mengkudu (Djauhariya dan Rosman)	9
Tabel 2.2 Aplikasi Kontaktor Membran Serat Berongga	20
Tabel 4.1 Data hubungan V (m/s), ΔP (psi) dan Re dengan f modul	44



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Buah dan daun mengkudu (<i>Morinda citrifolia</i>)	9
Gambar 2.2 Konsentrasi Amonia Terlarut Melewati Membran Hidrofobik	12
Gambar 2.3 Skema Perpindahan Melalui Membran (Sunarti, 2004).....	13
Gambar 2.4 Struktur kimia polipropilen.....	13
Gambar 2.5 Struktur Polipropilen Ataktik.....	14
Gambar 2.6 Struktur Polipropilen Isotaktik.....	14
Gambar 2.7 Kontaktor membran cair-cair (Mulder, 1997).....	16
Gambar 2.8 Kontaktor membran serat berongga (Gabelman dan Hwang, 1999) .	17
Gambar 3.1 Diagram alir prosedur penelitian.....	28
Gambar 3.2 Skema alat penelitian	32
Gambar 4.1 Profil konsentrasi amonia dalam kontaktor membran hidrofobik untuk absorpsi amonia (Mulder, 1996).....	39
Gambar 4.2 Koefisien perpindahan overall sebagai fungsi laju sirkulasi Menggunakan pelarut asam sulfat (\diamond) dan mengkudu (\square).....	40
Gambar 4.3 Efisiensi absorpsi amonia sebagai fungsi laju sirkulasi menggunakan pelarut asam sulfat (\diamond) dan mengkudu (\square)	41
Gambar 4.4 koefisien perpindahan massa sebagai fungsi dari kecepatan aliran pelarut asam sulfat (\diamond) dan mengkudu (\square).....	41
Gambar 4.5 Pengaruh variasi laju alir pelarut asam sulfat (\diamond) dan mengkudu (\square) terhadap fluks	43
Gambar 4.6 Hubungan bilangan Reynolds terhadap rasio friksi	45

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Percobaan.....	50
1.1 Studi Perpindahan Massa Menggunakan Pelarut Daun Mengkudu.....	50
1.1.1 Studi perpindahan massa menggunakan larutan penyerap Mengkudu laju alir 5	50
2.1.1 Studi perpindahan massa menggunakan larutan penyerap Mengkudu laju alir 4	50
3.1.1 Studi perpindahan massa menggunakan larutan penyerap Mengkudu laju alir 3	51
1.2 Studi Perpindahan Massa Menggunakan Pelarut Asam Sulfat.....	52
1.2.1 Studi perpindahan massa menggunakan larutan penyerap asam sulfat 5	52
2.2.1 Studi perpindahan massa menggunakan larutan penyerap asam sulfat 4	52
3.2.1 Studi perpindahan massa menggunakan larutan penyerap asam sulfat 3	53
Lampiran 2 Contoh Perhitungan	54
2.1 Perhitungan Koefisien Perpindahan Massa	54
2.2 Perhitungan fluks	55
2.4 Studi hidrodinamika.....	56

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Satuan
A	Luas membran serat berongga	m ²
D	Koefisien difusivitas	m ² /s
d _f ; d _{o,fibre}	Diameter luar serat	m
d _s ; d _{i,modul}	Diameter dalam modul	m
d _{equi} ; d _e	Diameter equivalen	m
F	Faktor friksi	-
K _{ov}	Koefisien perpindahan massa	m/s
L _f ;L	Panjang serat/modul	m
n;n _{fiber}	Jumlah serat dalam modul	-
Q _{in}	Laju volumetrik amonia	L/menit
Re	Bilangan Reynolds	-
Sc	Bilangan Schmidt	-
Sh	Bilangan Sherwood	-
pH	Tingkat keasaman	-
ΔP	Perubahan tekanan	Pa
μ	Viskositas	kg/ms
P	Densitas pelarut	kg/m ³
v _L	Kecepatan linier	m/s

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Gas amonia adalah suatu gas yang tidak berwarna, dan menimbulkan bau yang sangat kuat. Dalam udara, amonia dapat bertahan kurang lebih satu minggu. Gas amonia dapat masuk melalui pernapasan dan dapat mengakibatkan iritasi yang kuat terhadap sistem pernapasan. Karena sifatnya yang iritasi, polutan ini dapat merangsang proses peradangan pada saluran pernapasan bagian atas yaitu saluran pemapasan mulai dari hidung hingga tenggorokan. Pada tingkatan tertentu gas amonia dapat menyebabkan gangguan pada fungsi paru-paru dan sensitivitas indera penciuman. Amonia dapat menjadi limbah organik yang beracun dan berbahaya. Amonia yang terlarut dalam lingkungan perairan merupakan masalah besar karena dapat membahayakan kesehatan manusia dan merusak lingkungan. Dalam industri pupuk kadar limbah amonia yang dihasilkan dapat mencapai 250 ppm, berdasarkan data Lembaga Kajian Ekologi dan Konservasi Lahan Basah tahun 2003, delapan sungai di Bekasi telah tercemar oleh limbah amonia. Kandungan amonia di Sungai Blencong-Bekasi mencapai 11,60 mg/L; Sungai Bojong mencapai 19,52 mg/L, dan Sungai Kaliabang Hilir mencapai 59,06 mg/L. Selain itu, didapatkan tambahan data bahwa bahan baku air yang dikelola PT Thames PAM Jaya atau TPJ yang berasal dari Kali Malang tercemar amonia berkadar tinggi, yakni 1,77 ppm (part per million). Sedangkan berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan R.I No:416/MENKES/PER/IX/1990 konsentrasi amonia yang diperbolehkan berada dalam air bersih adalah sebesar 1 mg/L.

Melihat besarnya bahaya kesehatan yang ditimbulkan oleh adanya limbah amonia maka perlu dilakukan proses penghilangan limbah amonia yaitu melalui proses separasi. Separasi dilakukan untuk memisahkan amonia dari limbah cair yang dihasilkan dari suatu produksi. Proses separasi yang digunakan untuk menghilangkan amonia dapat berupa *ammonia stripping*, *biological nitrification-denitrification*, *breakpoint klorinasi* dan *biological treatment*.

Adapun cara baru yang dikembangkan yang memiliki kelebihan dibandingkan cara separasi biasa adalah dengan menggunakan teknologi membran. Membran disini

berfungsi sebagai kontaktor yang merupakan media tempat berkontak antara air dengan amonia. Dalam proses pemisahan amonia dari air melalui membran, perbedaan konsentrasi antara kedua fasa cair memberikan gaya penggerak untuk perpindahan secara difusi melalui membran tersebut. Untuk mencegah bercampurnya fasa cair dan fasa gas dan secara simultan membolehkan perpindahan komponen yang mudah menguap didalam kontaktor membran, digunakan membran berpori mikro. Membran berpori mikro mengandung pori yang berukuran 0,1-10 μm (mulder, 1997). Dalam banyak proses membran, pemilihan membran didasarkan pada ukuran pori dari materialnya dan sifat membran. Interaksi gas dan cairan merupakan parameter penting dalam proses kontak sehingga hidropobisitas dari material membran perlu diketahui pula. Pada pemisahan membran hidrofobik berpori mikro, pori membran terisi oleh gas sehingga tahanan perpindahan masa di membran dapat diabaikan terhadap tahanan perpindahan masa keseluruhan di dalam kontaktor.

Teknologi separasi yang ada pada saat ini seperti *biological treatment* kurang efisien karena dapat mengakibatkan kurangnya kontak antara oksigen yang dihasilkan dari aerator dengan amonia, membutuhkan tempat yang cukup besar untuk pengolahan limbah, membutuhkan energi yang besar yang digunakan untuk menggerakkan motor yang berfungsi sebagai penghasil oksigen sehingga akan dibutuhkan biaya yang cukup besar. Pemisahan amonia terlarut dari air limbah dengan menggunakan kontaktor membran serat berlubang memiliki keunggulan dibandingkan dengan metode konvensional seperti sistem pemisahan gas menggunakan membran dapat dimodifikasi dan diperbanyak sehingga penggunaan banyaknya modul tergantung dari besarnya kapasitas yang diinginkan, luas permukaan kontak yang besar, biaya operasional lebih rendah karena energi yang digunakan untuk menjalankan pompa tidak sebesar energi yang digunakan untuk menggerakkan motor pada metode konvensional dan teknologi membran dapat menghasilkan efisiensi hingga 99,5% ini lebih besar dibandingkan dengan metode konvensional yang hanya menghasilkan efisiensi sekitar 85% (Culp. R. L, 1971). Selain memiliki kelebihan, kontaktor membran juga memiliki kekurangan yaitu adanya membran menambah resistansi/tahanan lain pada perpindahan massa, pada membran dapat terjadi *fouling* walaupun tidak sebesar pada kontaktor yang menggunakan gradien tekanan sebagai *driving force*-nya. Membran memiliki umur yang tertentu sehingga dapat

diperiodik penggantian membran juga perlu diperhitungkan dan tidak tahan terhadap kondisi yang terlalu asam atau basa khususnya untuk membran polimer.

Pada penelitian ini, fasa cair yang digunakan sebagai kontakor cair-cair pada proses pemisahan amonia dengan menggunakan membran serat berongga adalah pelarut dari daun mengkudu (*Morinda citrifolia*) dengan dosis 200 gram daun mengkudu per liter air. Kriteria pemilihan absorben cair adalah

1. Kelarutan gas harus tinggi sehingga meningkatkan laju absorpsi dan menurunkan kuantitas solvent yang diperlukan.
2. Volatilitas, pelarut harus memiliki tekanan uap yang rendah karena jika gas yang meninggalkan kolom absorpsi jenuh dengan pelarut, maka akan ada banyak solvent yang terbuang.
3. Korosifitas material bangunan menara dan isinya sedapat mungkin tidak dipengaruhi oleh sifat solvent.

Dasar pemisahan amonia dengan menggunakan membran serat berongga adalah berdasarkan perbedaan konsentrasi. Mekanisme perpindahan massa pada proses absorpsi amonia menggunakan membran serat berongga merupakan absorpsi secara kimia. Prinsip absorpsi secara kimia meliputi reaksi kimia, yaitu ammonia yang diserap oleh pelarut juga dapat turut bereaksi secara kimia.

Keunggulan daun mengkudu sebagai pelarut alam diantaranya bersifat ramah lingkungan sehingga aman digunakan, tidak korosif. Penggunaan pelarut alam dari daun mengkudu (*Morinda citrifolia*) bertujuan untuk mengetahui potensi daun mengkudu sebagai absorben bagi amonia dan mengamati efektivitas perpindahan massa dan studi hidrodinamikanya.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Rumusan masalah penelitian ini adalah:

1. Bagaimanakah kemampuan pelarut dari daun mengkudu (*Morinda citrifolia*) sebagai absorben amonia dengan menggunakan kontaktor membran serat berongga.
2. Bagaimanakah efektivitas dari kontaktor membran serat berongga untuk mengabsorpsi amonia dengan membandingkan antara absorben dari daun mengkudu (*Morinda citrifolia*) dan asam sulfat.
3. Bagaimanakah pengaruh variasi laju alir terhadap efektivitas dari kontaktor membran serat berongga.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk:

1. Mengetahui seberapa besar potensi daun mengkudu untuk digunakan sebagai absorben gas amonia melalui kontaktor membran serat berongga.
2. Mengevaluasi efektivitas dari kontaktor membran serat berongga dalam proses absorpsi amonia dengan membandingkan antara absorben dari daun mengkudu (*Morinda citrifolia*) dan asam sulfat.
3. Mengevaluasi pengaruh variasi laju alir terhadap perpindahan massa dan hidrodinamika dengan membandingkan antara absorpsi amonia oleh larutan daun mengkudu (*Morinda citrifolia*) dan asam sulfat melalui kontaktor membran serat berongga.

1.4 BATASAN MASALAH

Pada penelitian ini, penulis membatasi masalah sebagai berikut:

1. Menggunakan modul membran serat berongga yang terbuat dari polipropilen sebagai kontaktor cair-cair.
2. Menggunakan pelarut asam sulfat dan pelarut dari daun mengkudu (*Morinda citrifolia*) sebagai absorben bagi gas amonia.
3. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah laju alir asam sulfat dan pelarut daun mengkudu (*Morinda citrifolia*) dan.

4. Variabel tetap dalam penelitian ini adalah konsentrasi input amonia, diameter membran, panjang modul, serta diameter selongsong modul.

1.5. SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan makalah penelitian ini sebagai berikut

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi teori-teori pendukung tentang membran. Tentang definisi kontaktor membran serat berlubang, aplikasi kontaktor membran serat berlubang, proses pemisahan amonia dari dalam air dengan menggunakan kontaktor membran serat berlubang.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

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

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 Desorpsi (*stripping*)

Proses *stripping* adalah proses desorpsi dimana terjadi perpindahan massa atau lebih spesies dari fasa cair menuju fasa gas. Faktor yang mempengaruhi proses desorpsi adalah difusitas dan kelarutan dari spesies yang akan berpindah ke dalam fasa gas.

Menurut teori *two-fil*, molekul berpindah di bagian bulk masing-masing fasa secara konveksi, dan perbedaan konsentrasi antara keduanya diabaikan kecuali pada sekitar *interphase* antar fasa. Pada bagian lain dari *interphase*, perpindahan molekul tersebut hilang dan terdapat lapisan tipis yang menyebabkan perpindahan molekul terjadi secara molekuler. Lapisan tipis tersebut akan lebih tebal dari *sublayer* laminar, karena memiliki tahanan yang sama dengan tahanan seluruh layer.

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

Beberapa peralatan yang biasa digunakan dalam proses desorpsi, antara lain kolom desorpsi (*packed and plate tower*) dengan vakum dan atau sweep gas, membran kontaktor dan lain-lain

Prinsip kerja dari peralatan ini adalah meningkatkan kontak antara gas dan cairan dimana keefektifan bergantung pada jumlah gas dan cairan yang saling kontak.

Salah satu gas yang dapat didesorpsi adalah amonia terlarut yang terdapat dalam air. Selama ini penghilangan amonia menggunakan kolom biologi yang dilengkapi dengan aerator, akan tetapi proses tersebut membutuhkan biaya yang cukup mahal. hal ini menyebabkan biaya untuk penghilangan amonia dari limbah air menjadi cukup besar. Untuk mengatasi masalah tersebut di gunakan cara alternative yaitu dengan teknologi membran. Membran digunakan sebagai media kontak antara amonia dengan *sweep gas* dan atau udara vakum sekaligus sebagai media pemisah antara air dengan

sweep gas dan atau udara vakum sehingga amonia yang ada di dalam limbah air akan terdifusi ke dalam *sweep gas*.

2.2 Absorpsi

Secara mudah dan ringkas peristiwa absorpsi dapat didefinisikan sebagai pelarutan bahan dari fasa gas ke fasa cair.

Absorpsi dapat dilakukan pada gas-gas atau cairan yang relatif berkonsentrasi rendah maupun konsentrat. Prinsip absorpsi adalah dengan memanfaatkan besarnya difusivitas molekul-molekul gas pada larutan tertentu. Dengan demikian bahan yang memiliki koefisien partisi hukum Henry's (tekanan uap/kelarutan) rendah sangat disukai dalam proses absorpsi. Absorpsi dapat pula ditingkatkan dengan cara memperluas permukaan kontak.

Tujuan dari operasi ini umumnya adalah memisahkan gas tertentu dari campuran gas-gas. Biasanya campuran gas tersebut terdiri dari gas inert dan gas yang larut dalam cairan. Cairan yang digunakan juga umumnya tidak mudah menguap dan larut dalam gas. Sebagai contoh yang umum dipakai adalah absorpsi amonia dari campuran udara-amonia oleh air. Setelah absorpsi tersebut terjadi kemudian campuran gas direkoveri kembali dengan cara destilasi.

Persitiwa absorpsi adalah salah satu peristiwa perpindahan massa yang besar peranannya dalam proses industri (setelah destilasi). Peristiwa absorpsi ini dikontrol oleh laju difusi dan kontak antara 2 fasa.

Absorpsi dapat terjadi baik secara fisika maupun kimia, dimana absorpsi melibatkan reaksi-reaksi kimia, sebagai contoh absorpsi fisika selain sistem amonia-udara-air adalah sistem aseton-udara-air. Sedangkan untuk absorpsi yang melibatkan reaksi kimia adalah Nox-udara-air, dimana NOx bereaksi dengan air membentuk senyawa ionik HNO₃.

Pemilihan solvent

Pemilihan solvent umumnya dilakukan sesuai dengan tujuan absorpsi, yakni diantaranya

1. jika tujuan utama operasi untuk menghasilkan larutan yang spesifik, maka solvent ditentukan berdasarkan sifat produk.

2. jika tujuan utama adalah menghilangkan kandungan tertentu dari gas, maka ada banyak pilihan yang mungkin. Air, misalnya solvent yang paling murah dan sangat kuat untuk senyawa polar.

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

1. Kelarutan gas harus tinggi sehingga meningkatkan laju absorpsi dan menurunkan kuantitas solvent yang diperlukan. Umumnya pelarut yang memiliki sifat yang sama dengan bahan terlarut akan mudah dilarutkan.
2. Volatilitas, pelarut harus memiliki tekanan uap yang rendah karena jika gas yang meninggalkan kolom absorpsi jenuh dengan pelarut, maka akan ada banyak solvent yang terbuang. Jika diperlukan, kita dapat menggunakan cairan pelarut kedua, yaitu yang volatilitasnya lebih rendah untuk menangkap porsi gas yang teruapkan.
3. Korosifitas material bangunan menara dan isinya sedapat mungkin tidak dipengaruhi oleh sifat solvent. Solvent atau pelarut yang korosif dapat merusak menara dan oleh sebab itu memerlukan material menara yang mahal atau tidak mudah dijumpai (untuk maintenance perlu dipertimbangkan material lokal) dan karenanya kurang disukai
4. Harga. Serperti juga sudah sedikit dibahas di bagian sebelum ini, penggunaan solvent yang mahal dan tidak mudah terrekover akan meningkatkan biaya operasi menara absorber.
5. Ketersediaan pelarut di dalam negeri akan sangat mempengaruhi stabilitas harga pelarut dan biaya operasional secara keseluruhan.
6. Viskositas pelarut yang rendah amat disukai karena akan terjadi laju absorpsi yang tinggi

2.3 Mengkudu (*Morinda citrifolia*)

Mengkudu merupakan tanaman asli dari Indonesia. Mengkudu adalah tanaman yang bersifat serba guna dan mempunyai nilai ekonomis. Dalam semua bagian tanaman mengkudu terdapat berbagai macam senyawa kimia yang berguna bagi kesehatan manusia. Pembiakan mengkudu dilakukan dengan biji dan dapat berbuah setelah 4 – 5 tahun. Gambar buah mengkudu dapat dilihat pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Buah dan daun mengkudu (*Morinda citrifolia*)

Mengkudu dapat dimanfaatkan sebagai berikut:

1. Tanaman obat

Mengkudu mengandung zat-zat *terpenoid* yang dapat membantu tubuh dalam proses sintesa organik dan pemulihan sel-sel tubuh, *xeronine* yang berfungsi untuk mengaktifkan enzim-enzim dan mengatur fungsi protein di dalam sel, dapat mengetahui kandungan zat-zat antikanker (*damnacanthal*), dan zat-zat lainnya yang bermanfaat untuk kesehatan manusia.

2. Zat pewarna

Kulit akar tanaman mengkudu mengandung zat pewarna (merah), yang diberi nama *morindon* dan *morindin*.

3. Pelarut

Mengkudu berpotensi sebagai absorben bagi amonia. Hal ini dikarenakan larutan buah mengkudu (*Morinda citrifolia*) memenuhi kriteria sebagai absorben cair seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut ini adalah kandungan kimia pada setiap bagian tanaman mengkudu:

Tabel 2.1 Kandungan kimia di setiap bagian tanaman mengkudu (Djauhariya dan Rosman)

Bagian tanaman	Kandungan kimia
Pada seluruh bagian	<i>Alizarin, alizarin-alfa-metil eter, antraquinon, asperulosida, asam hexanoat, morindadiol, morindon, morindogenin, asam oktanoat, asam ursolat,</i>
Daun	Asam amino (<i>alanin, arginin, asam aspartat, sistein, sistin, glisin, asam glutamat, histidin, leusin, isoleusin, metionin, fenilalamin, prolin, serin, threonin, triptopan, tirosin, valin</i>), mineral (<i>kalsium, besi, fosfor</i>) vitamin (<i>asam askorbat, beta caroten, niasin, riboflavin, tiamin, betasitosterol, asam ursolat</i>), alkaloid (<i>antraquinon, glikosida, resin</i>).
Bunga	<i>5,7-dimetil-apiganin-4-o-beta-d(+)-galaktopiranosida, 6,8-dimetoksi-3-metilantraquinon-1-o-beta-ramnosil-glukopiranosida, acasetin-7-o-beta-d(+)-glukopiranosida</i>
Bagian tanaman	Kandungan kimia
Buah	<i>Asam askorbat, asam asetat, asperulosida, aambutanoat, asam benzoat, benzil alkohol, 1-butanol, asam kaprilat, asam dekanat, (E)-6-dodekeno-gamma-laktona, (z,z,z)-8, 11,14-asamekosatri-noat, asam elaidat, etil dekanat, etil-ektanoat, etil benzena, eugenol, eugenol, glukosa, asam heptanoat, 2-heptanon, hexanal, hexanamida, asam hexaneudioat, asam hexanoat, 1-hexanol, 3-butan-1-ol, metil dekanat, metil elaidat, metil hexanoat, metil-3-metil-tio-propanoat, metil oktanoat, metil oleat, metil palmitat, Scopoletin, asam undekanoat, (z,z)-2,5-undekadin-1-ol, vomifol. Ascubin, L.asperuloside, alizarin, antraquinon, proxeronin, Dammacanthal.</i>
Akar	<i>Asperulosids, dammachantal, morindadiol, morindin, morindon, nordamacantal, rubiadin, rubiadin monometil eter, soranjidiol, antraquinon, glikosida, zat getah, resin, sterol</i>
Kulit	<i>Alizarin, klororubin, glikosida, (pentosa, hexosa), morindadiol, morindanigrin, morindin, morindon, zat resin, rubiadin monometil eter, soranjidiol</i>
Kayu	<i>Antragalol-2, 3-dimetil eter</i>

Sumber : Aalbersberg (1993), Bushnel *et al.* (1950), Hiramatsu *et al.* (1993), Solomon (1998), Waha (2001)

Pada bagian buah mengkudu terdapat komponen-komponen kimia yang diprediksi dapat memicu proses absorpsi, yaitu:

1. Golongan alkohol

Jenis-jenis alkohol yang terdapat dalam buah mengkudu di antaranya benzil alkohol, 1-butanol, 1-hexanol, 3-butan-1-ol, (z,z)-2,5-undekadin-1-ol, dan vomifol. Oleh karena alkohol mudah disintesis dan mudah ditransformasikan

menjadi senyawa lain maka alkohol menjadi senyawa *intermediate* yang penting dalam mensintesis senyawa organik. Pada industri, metode yang banyak digunakan untuk menghasilkan amina adalah dengan mereaksikan alkohol dengan ammonia pada temperatur yang tinggi. Amina yang dihasilkan dapat berupa amina primer, sekunder, atau pun tersier. Reaksi yang terjadi adalah:



2. Golongan ester

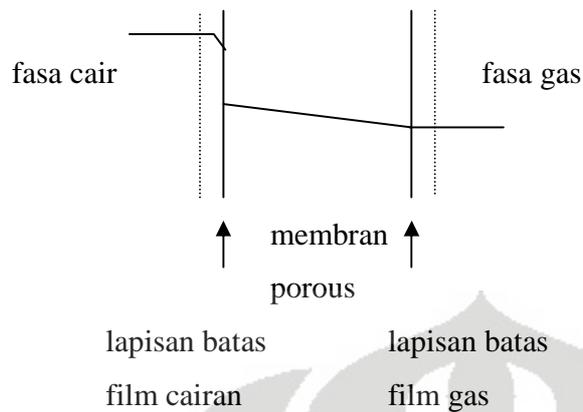
Jenis-jenis ester yang berada dalam buah mengkudu di antaranya etil dekanat, etil-ektanoat, metal dekanat, metal elaidat, metal hexanoat, metil-3-metil-tio-propanoat, dan metil oktanoat. Ester dapat direduksi menjadi golongan alkohol sehingga keberadaan senyawa ester ini diharapkan dapat memicu proses absorpsi yang diinginkan.

Kelebihan mengkudu sebagai absorben di antaranya adalah sebagai berikut:

1. Melimpah karena mudah didapat dan bersifat ramah lingkungan
2. Tidak korosif

2.4 Teori Membran

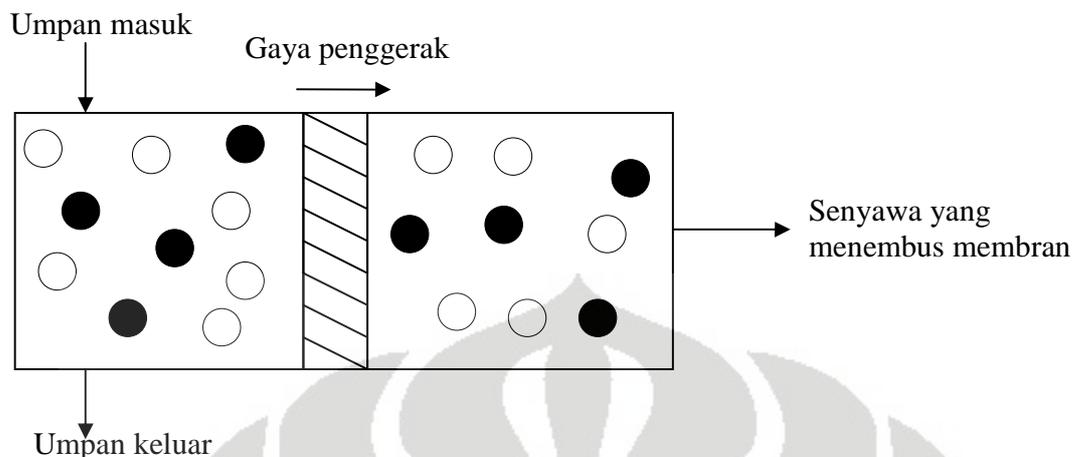
Pengertian membran secara umum adalah suatu penghalang diantara dua fasa dimana penghalang tersebut bersifat selektif, sehingga molekul tertentu dapat menembus membran sementara molekul lainnya tidak. Hal ini dikarenakan perbedaan ukuran pori membran dan molekul tersebut ataupun karena sifat membran (Mulder 1997). Gambar berikut adalah profil konsentrasi melewati membran.



Gambar 2.2 Profil Konsentrasi Amonia Terlarut Melewati Membran Hidrofobik (Mulder, 1997)

Pada fasa cair konsentrasi amonia terlarut akan mengalami penurunan yang cukup signifikan karena adanya tahanan pada cairan. Pada membran dan fasa gas penurunan konsentrasi amonia jauh lebih kecil karena pada membran terdapat dua tahanan yaitu tahanan gas yang berada di mulut pori membran dan tahanan membran itu sendiri sedangkan pada fasa gas terdapat tahanan pada gas.

Laju perpindahan molekul pada membran ditentukan oleh permeabilitasnya di dalam membran dan dikarenakan adanya gaya penggerak. Gaya penggerak tersebut dapat berupa perbedaan tekanan, konsentrasi, temperatur di antara fluida pada membran, dan potensial listrik antara larutan pada bagian luar membran dengan larutan yang berada pada bagian dalam membran. Besar laju perpindahan komponen-komponen yang akan dipisahkan sebanding dengan besarnya gaya penggerak yang ada, permeabilitas membran ditentukan oleh konsentrasi dan mobilitas komponen dalam struktur membran. Ketebalan suatu membran juga sangat mempengaruhi tingkat permeabilitas membran. Semakin tebal membran maka tahanan terhadap perpindahan massanya akan semakin besar, sehingga laju permeasi yang diperoleh rendah.



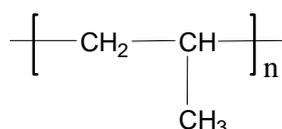
Gambar 2.3 Skema Perpindahan Melalui Membran (SUNARTI, 2004)

Pada Gambar 2.3 terdapat skema perpindahan dengan modul membran, dengan umpan yang dimasukkan ke dalam membran akan menghasilkan dua aliran, yang pertama yaitu aliran permeat yang merupakan aliran yang mengandung fraksi umpan yang dapat melewati membran, dan yang kedua adalah retentat yang merupakan fraksi umpan yang tertahan oleh membran.

Membran kontraktor berfungsi sebagai media kontak yang memberikan luas permukaan kontak yang besar dan biasanya beroperasi pada tekanan yang tidak terlalu tinggi. Gaya penggerak (*driving force*) biasanya adalah perbedaan konsentrasi. Efek fouling pada membran kontraktor tidak terlalu berpengaruh. Membran filtrasi biasanya diaplikasikan pada proses absorpsi, ekstraksi, desorpsi, dan lain-lain.

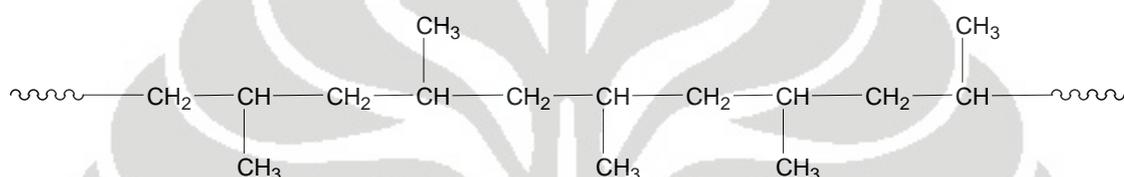
2.5. Membran Polipropilen

Pada penelitian ini, membran yang digunakan ialah membran sintetik yang terbuat dari salah satu jenis polimer, yaitu polipropilen



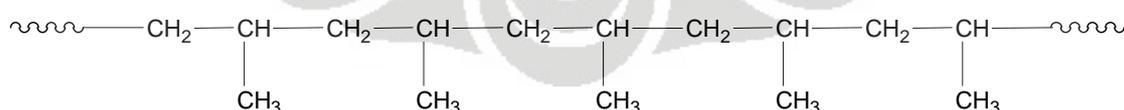
Gambar 2.4 Struktur Kimia Polipropilen (<http://www.wikipedia.org>, 2006)

Polipropilen merupakan salah satu dari banyak vinyl polimer. Contoh lain dari vinyl polimer adalah polietilen, polivinil klorida, dan sebagainya. Sebagian besar vinyl polymer dibentuk melalui polimerisasi radikal bebas akan tetapi pada polipropilen, polimerisasi yang dilakukan ialah polimerisasi Ziegler-natta. Hal ini dikarenakan pada polimerisasi radikal bebas jenis polimer yang terbentuk ialah polipropilen ataktik, sedangkan dengan polimerisasi Ziegler-natta akan menghasilkan polipropilen isotaktik (<http://www.wikipedia.org>, 2006). Sebagian besar polimer komersial dipasarkan 90-95% merupakan polimer isotaktik.



Gambar 2.5. Struktur Polipropilen Ataktik (<http://www.wikipedia.org>, 2006)

Polipropilen ataktik merupakan polimer yang lemah karena polimer yang terbentuk merupakan bentuk amorf dengan susunan rantai yang tidak beraturan. Lain halnya dengan polipropilen isotaktik dimana memiliki susunan rantai yang teratur, yaitu semua cabang metil terdapat pada sisi cabang yang sama. Polipropilen isotaktik akan memiliki karakteristik yang kuat karena memiliki bentuk kristal. Akan tetapi, gugus metil pada samping polipropilen dapat mempengaruhi beberapa aspek kimia seperti karbon tersier menyebabkan polipropilen kurang stabil jika terdapat oksigen karena mudah teroksidasi. Dengan kata lain perbedaan susunan rantai pada polipropilen akan mempengaruhi karakteristik dari polipropilen itu sendiri



Gambar 2.6 Struktur Polipropilen Isotaktik (<http://www.wikipedia.org>, 2006)

Polipropilen isotaktik juga memiliki berbagai sifat diantaranya :

1. Memiliki densitas yang lebih kecil (0.9 gr/cm^3).

2. Mempunyai softening point yang lebih tinggi dan dapat digunakan pada temperatur yang tinggi.
3. Polipropilen terhindar dari proses *cracking* oleh lingkungan, kecuali jika terdapat sulfur dan asam kromat.
4. Memiliki tingkat kekuatan yang tinggi.

Penggunaan polipropilen sebagai membran pada penelitian ini didasarkan pada sifat dari polipropilen itu sendiri yaitu hidrofobik, sehingga air tidak dapat membasahi membran secara spontan. Selain itu, polipropilen memiliki kristanilitas yang tinggi (dalam konfigurasi isotaktik) yang membuat polipropilen memiliki stabilitas kimia yang baik. Karena dengan terdapatnya kristalit-kristalit pada matriks polimer, polipropilen menjadi cukup sulit untuk melarutkan zat (*insoluble*) dan bahan reaksi kimia agak sulit masuk ke dalamnya. Polipropilen mempunyai titik leleh (*melting point*) yang tinggi, yaitu 160°C (320°F) yang menyebabkan polipropilen memiliki stabilitas termal yang baik pula.

2.6 Kontaktor Membran

Terdapat perbedaan kontaktor membran untuk fasa gas-cair (G-L) dengan kontaktor membran untuk fasa cair (L-L). Pada kontaktor G-L fasa yang terlibat yaitu gas atau uap dan fasa lainnya adalah cairan. Pada kontaktor L-L semua fasa adalah cairan. Kontaktor membran gas cair dapat mengatur proses gas atau uap yang akan dipindahkan dan fasa cair ke fasa gas.

Kontaktor membran sangat efektif untuk memisahkan atau menambahkan gas dalam air. Dengan desain kontaktor yang baik maka koefisien perpindahan massa dapat bertambah dan juga dapat menurunkan *pressure drop*.

Fungsi utama membran dalam kontaktor adalah

1. Agar permukaan kontak antar fluida tetap berada di mulut pori membran dengan kombinasi efek tegangan permukaan dan perbedaan tekanan fasa.
2. Memperbesar luas permukaan kontak dengan membran yang sama sehingga perpindahan massanya menjadi besar.

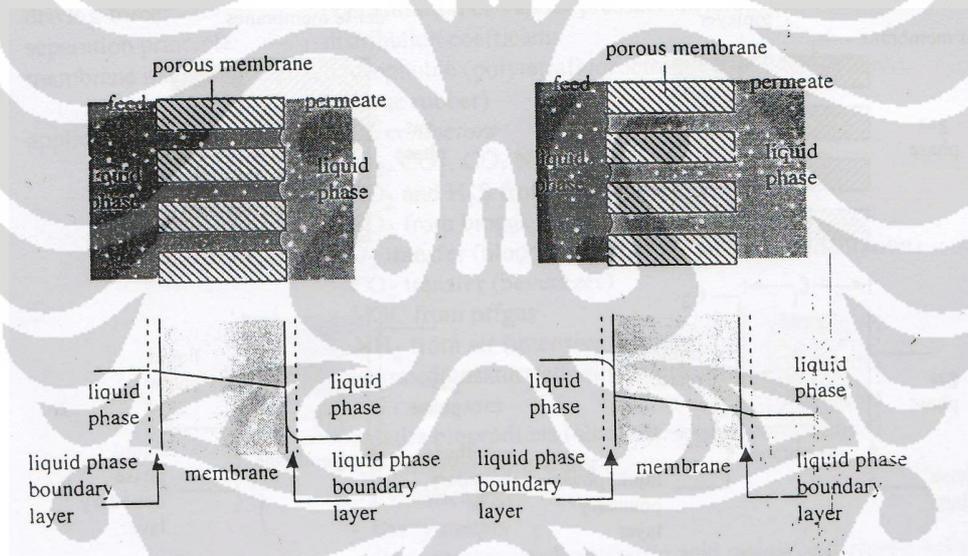
Proses pemisahan ditentukan dari koefisien distribusi dari komponen dalam dua fasa dan membran hanya sebagai alat penghubung. Secara umum membran tidak

meningkatkan perpindahan massa tetapi meningkatkan luas area per volume. Sebagai contoh packed and tray column memiliki luas area per volume sekitar 30 sampai 300 m^2/m^3 , tetapi dengan kontaktor membran, luas area per volumenya dapat mencapai 1600 sampai 6600 m^2/m^3 .

2.6.1 Kontaktor Membran Cair Cair

Biasanya membran ini banyak digunakan untuk menghilangkan logam berat, senyawa organik yang mudah menguap, phenol, semua jenis bio produk dan mikromolekul. Larutan dilewatkan pada membran dengan arah yang berlawanan, karena terjadi perbedaan konsentrasi maka senyawa akan berpindah dari sisi larutan yang memiliki konsentrasi tinggi ke larutan yang memiliki konsentrasi rendah.

Gambar 2.7 berikut adalah kontaktor gas cair membran hidrofobik (bagian kiri) dan membran hidrofilik (bagian kanan).



Gambar 2.7 Kontaktor Membran Cair Cair (Mulder, 1997)

Jika membran hidrofobik digunakan (seperti politetrafluoroetilen, polietilen, polipropilen) dengan suatu cairan dalam fasa cair maka membran tidak akan terbasahi (menyerap air) dan pori membran akan diisi dengan fasa gas. Cairan tidak membasahi membran karena tekanan cairan tidak akan melebihi tekanan membran. Jika membran hidrofobik yang digunakan maka membran akan terbasahi oleh cairan.

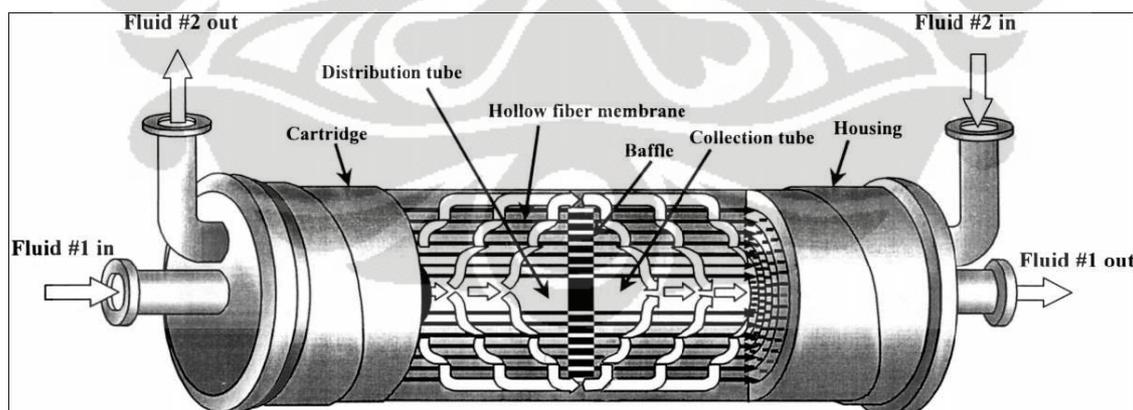
2.7 Kontaktor Membran Serat Berlubang

Penggunaan kontaktor membran serat berlubang merupakan proses membran yang relative baru. Modul membran ataupun peralatan yang digunakan disebut kontaktor membran dan biasanya menggunakan membran serat berlubang yang. Kontaktor membran serat berlubang adalah suatu alat yang dapat melakukan perpindahan massa gas cair tanpa terjadi disperse dari satu fasa ke fasa lain.

2.7.1 Karakteristik kontaktor membran serat berlubang

Modul ini mirip modul kapiler hanya berbeda dimensi. Serat di dalam modul memiliki struktur asimetrik dan biasanya memiliki ukuran diameter sekitar 42 mikron (0,0016 in) dan diameter luar sekitar 85 mikron (0,0033 in). Modul ini memiliki konfigurasi dengan kerapatan pengepakan yang tertinggi 30 m.

Tube plastik terperforasi (perforated plastik tube) sebagai distributor air umpan dimasukan di pusatnya sehingga memperluas panjang keseluruhan dari bundel. Kemudian bundel dibungkus dan kedua sisi ditutup membentuk lembaran. Bundel membran serat berlubang mempunyai diameter 10 cm hingga 20 cm (4 hingga 8 in), terdapat dalam *shell* silinder yang panjangnya kurang lebih 137 cm (54 in) dan diameter berkiras 15- 30 cm (6-12 in), gabungan itu disebut dengan permeator yang bentuknya dapat dilihat pada Gambar 2.5 di bawah ini



Gambar 2.8 Kontaktor Membran Serat Berlubang (Gabelman dan Hwang, 1999)

Unit *hollow fiber* dapat beroperasi pada aliran non turbulen atau laminar dan juga dapat digunakan dengan berbagai orientasi aliran (berlawanan arah atau searah) dan flat

vertical ataupun horizontal. Modul serat berlubang membutuhkan umpan air dengan kualitas yang lebih baik dibandingkan konfigurasi modul *spiral wound* karena sangat rentan terhadap fouling dikarenakan banyaknya lubang pada modul ini. Modul ini juga tidak tahan terhadap tekanan dan temperatur tinggi.

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

2.7.2 Kelebihan dan kekurangan membran serat berlubang

Fungsi utama membran yang terdapat dalam kontaktor membran serat berlubang ini adalah membuat fasa kontak gas-cair pada pori membran tidak bergerak dengan kombinasi efek tegangan permukaan dan perbedaan tekanan pada tiap fasa dan untuk menciptakan areal kontak yang besar di dalam modul agar mendapatkan perpindahan massa yang efisien.

Telah dikatakan sebelumnya bahwa proses dengan kontaktor ini adalah non-dispersif, dengan demikian tidak ada ketergantungan antara-antara fluida yang dikontakkan. Ini adalah salah satu kelebihan proses dengan menggunakan kontaktor ini. Kelebihan yang lain dari kontaktor membran serat berlubang sebagai kontaktor gas-cair dan separasi jika dibandingkan dengan kontaktor separasi konvensional antara lain:

1. Luas permukaan yang ada tidak berpengaruh pada laju alir yang tinggi maupun yang rendah, karena kedua aliran tidak bergantung satu sama lainnya. Hal ini merupakan suatu kelebihan yang digunakan dalam proses industri ketika rasio pelarut-umpan yang diperlukan sangat tinggi atau sangat rendah. Sebaliknya *packed column* dapat mengalami *flooding* pada laju alir gas terlalu tinggi relative terhadap laju alir air dan *unloading* pada laju alir gas yang sangat rendah relative terhadap laju alir air.
2. Tidak terjadi pembentukan busa (*foaming*) karena tidak ada dispersi fluida-fluida.

3. Laju alir fasa gas dan cairan dapat dikontrol secara dikarenakan system kontak tidak dispersif.
4. 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 horizontal dan co-current atau counter-current).
5. Luas permukaan kontak yang lebih banyak daripada kontaktor konvensional. Kontaktor membran biasanya memberikan luas permukaan yang 30 kali lebih besar daripada kolom absorber gas dan 500 kali dari luas permukaan pada kolom ekstraksi cair-cair.
6. Luas permukaan kontak diketahui jumlahnya dan cenderung konstan sehingga prediksi performansi lebih mudah daripada kontaktor fasa terdispersi konvensional. Pada pihak lain, luas permukaan kontak sulit untuk ditentukan pada kontaktor dispersi karena distribusi gelembung atau ukuran *droplet* tergantung dari kondisi operasi dan sifat-sifat fluida, yang menyebabkan dalam perhitungan perpindahan massanya, koefisien perpindahan massa dan luas permukaan kontak digabung (seperti $k_g a$ dan $k_l a$). Dengan packed column, luas permukaan kontak per unit volume mungkin diketahui namun terkadang sulit untuk menentukan loading seperti beberapa fraksi yang aktual digunakan dari permukaan kontak yang ada.
7. Efisiensinya lebih tinggi.
8. 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).
9. Desain modularnya membolehkan pengaplikasian membran dalam lingkup kapasitas yang sangat luas. Kapasitas yang kecil atau besar dapat dicapai dengan mudah dengan menggunakan sedikit atau banyak modul membran.
10. Kontaktor membran juga dapat digunakan untuk meningkatkan batas konversi kesetimbangan reaksi kimia. Dengan mensirkulasikan kandungan reaktor melalui

- kontaktor dengan pelarut ekstraksi atau *stripping gas*, produk dapat dipindahkan atau dihilangkan dan reaksi kesetimbangan akan bergeser ke kanan.
11. Tidak terjadi pemborosan pelarut (efisien dan efektif dalam pemanfaatan pelarut).
 12. Tidak seperti kolom fasa terdispersi dengan pengadukan mekanik, kontaktor membran tidak memiliki bagian yang bergerak sehingga memudahkan dalam perawatan dan pemeliharaan.
 13. Kondisi operasi bebas mikroorganisme (operasi aseptik) akan menguntungkan untuk proses seperti fermentasi.

Selain memiliki kelebihan, kontaktor membran juga memiliki kekurangan 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 meminimalisasikan resistansi membran ini.
2. Efisiensi berkurang karena adanya aliran *by-pass* dalam shell (*shell-side bypassing*), ada sebagian fluida dalam *shell* yang tidak kontak dengan membran sehingga aliran akan lebih baik jika diturbulirkan.
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) pada permukaan membran juga dipengaruhi kekotoran pada membran mengakibatkan kinerja operasi membran akan menurun. Kekotoran ini dipengaruhi oleh tipe pemisahan dan tipe membran yang digunakan. Tipe pengotor ini dibedakan menjadi tiga tipe (Mulder, 1996) yaitu
 - Endapan organik (makromolekul, zat-zat biologis, dll)
 - Endapan anorganik (hidroksida logam, garam kalsium, dll)
 - Partikulat

Untuk mengatasi *fouling* pada membran dapat dilakukan koagulasi dan *backwashing* (pencucian kembali).

4. Membran memiliki umur yang tertentu sehingga dapat diperodik pengganti membran juga perlu diperhitungkan.

5. Pemakaian *adhesive* atau perekat untuk menahan “bundelan” fiber pada tube kemungkinan mudah rusak oleh pelarut organik.
6. Beroperasi pada rentang temperature yang tidak terlalu tinggi karena dapat menyebabkan rusaknya membran khususnya pada membran polimer.
7. Tidak tahan terhadap kondisi yang terlalu asam atau basa khususnya untuk membran polimer.
8. Jumlah tahapan kesetimbangan dibatasi oleh penurunan tekanan.

2.7.3 Aplikasi Kontaktor Membran Serat Berlubang

Kontaktor membran serat berlubang telah diverifikasikan oleh beberapa peneliti dalam rentang aplikasi yang luas seperti dapat dilihat pada Tabel 2.2 di bawah ini

Tabel 2.2 Aplikasi Membran (Kartohardjono, 2005)

Aplikasi	Aliran Fluida	Bahan Membran	Laju Pengontrol Proses	Aplikasi diindustri
Oksigenasi air	Selongsong: air Lumen: gas/udara	Pori mikro hidrofobik	Lapisan cairan	Pengolahan air limbah
Deoksigenasi air	Selongsong : air Lumen nitrogen/vakum	Pori mikro hidrofobik Atau membran berat	Lapisan cairan	Pembangkit tenaga, semikonduktor, makanan, farmasi
Absorpsi gas	Selongsong: air/larutan encer Lumen: gas	Pori mikro hidrofobik	Lapisan cairan	Pemisahan gas asam dari gas alam
Bioreaktor membran untuk pengolahan limbah	Selongsong: air/desikan cair Lumen: gas/ udara	Pori mikro hidrofobik Atau membran berat	Lapisan cairan	Dunia kedokteran
Humidifikasi/ Dehumidifikasi Udara	Selongsong: air Lumen: udara	Pori mikro hidrofobik	Lapisan cairan dan tahanan membran	Pengolahan air limbah

2.8 Studi Perpindahan Massa pada Proses *Stripping* Amonia dari Air

Perpindahan massa amonia terlarut dari air pada sisi selongsong kontaktor di dalam serat membran melalui tiga langkah yaitu: perpindahan amonia dari fasa cair; difusi amonia melau dinding serat membran, dan absorpsi amonia. Gaya penggerak untuk perpindahan amonia di dalam kontaktor adalah gradien konsentrasi.

Pada keseimbangan, hubungan tekanan parsial amonia dalam fasa gas (P) dengan konsentrasi amonia di dalam fasa cair (C^*) dengan konstanta hukum Henry (H) dapat dilihat pada persamaan

$$H = \frac{P}{C^*} \quad (2.1)$$

Untuk operasi tunak, fluks oksigen (N) yang melewati membran dapat ditulis sebagai

$$N = K(C_L - C^*) \quad (2.2)$$

dimana K adalah koefisien perpindahan massa keseluruhan yang berhubungan dengan tahanan (resistansi) perpindahan individual

Ada tiga tahanan seri yang menentukan perpindahan massa di dalam kontaktor membran serat berlubang yang terdiri dari tahanan pada fasa gas, tahanan pada fasa membran dan tahanan pada fasa cair (larutan penyerap). Jumlah ketiga tahanan ini merupakan tahanan keseluruhan untuk perpindahan gas di dalam sistem kontaktor membran yang berhubungan dengan koefisien perpindahan massa seperti diekspresikan pada persamaan (2.3)

$$\frac{1}{K_t} = \frac{H_i}{k_{ig}} + \frac{1}{k_{im}} + \frac{1}{k_{il}} \quad (2.3)$$

Beberapa studi yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti, yang menggunakan membran berpori mikro hidrofobik untuk pemisahan atau penyerapan gas dari atau ke dalam air melalui kontaktor membran, menunjukkan bahwa kinerja perpindahan massanya dikendalikan oleh tahanan perpindahan massa yang ada di fasa cair (Gabelman dan Hwang, 1999). Gas ditransfer melalui dinding serat membran yang berpori mikro melalui difusi gas dikarenakan pori-pori membran kering dan terisi oleh gas. Perpindahan gas melalui membran dengan cara difusi melalui fasa gas puluhan ribu kali lebih besar dibandingkan dengan cara difusi melalui fasa cair (Ahmed dan Semmens, 1992). Oleh karenanya, pada membran berpori mikro hidrofobik tahanan film pada fasa gas dan tahanan membran sangat kecil dibandingkan tahanan pada film cairan, sehingga perpindahan gas di dalam kontaktor hanya dikendalikan oleh tahanan di fasa cair, dan persamaan (2.3) dapat disederhanakan menjadi

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_{il}} \quad (2.4)$$

Persamaan untuk menggambarkan kinerja perpindahan panas sangat diperlukan dalam merancang kontaktor membran dan sering kali digambarkan dengan korelasi empirik. Variabel-variabel yang terlibat pada perpindahan massa adalah kecepatan air v_L , viskositas kinematik ν , densitas air ρ , difusivitas D , diameter kontaktor d_p dan koefisien perpindahan massa cair k_l

$$Sh \propto Re^a Sb^\beta f(\text{geometri}) \quad (2.5)$$

Sh , Re dan Sc yang tidak bersatuan, adalah bilangan-bilangan Sherwood, Reynolds dan Schmidt. Dari studi mekanika fluida dan perpindahan panas diperlihatkan bahwa bilangan Sherwood untuk perpindahan massa analog dengan bilangan Nusselt pada perpindahan panas konvektif. Sementara itu bilangan Schmidt mempunyai hubungan yang sama dengan bilangan Prandtl yang sering digunakan pada perpindahan panas dan momentum. Bilangan-bilangan Sherwood, Reynolds dan Schmidt didefinisikan sebagai:

$$Sh = k_l \frac{d_e}{D} \quad (2.6)$$

$$Re = \frac{\rho v d_e}{\mu} \quad (2.7)$$

$$Sc = \frac{\mu}{\rho D} \quad (2.8)$$

dimana d_e merupakan diameter ekivalen membran yang didefinisikan sebagai

$$d_e = \frac{d_p^2 - n d_f^2}{d_p + n d_f} \quad (2.9)$$

dimana d_f dan n adalah diameter dan jumlah serat yang terdapat di dalam kontaktor

2.8.1 Studi Hidrodinamika pada Kontaktor Membran Serat Berlubang

Studi ini mempelajari karakteristik atau hubungan antara bilangan reynold dengan faktor friksi (f) atau dengan *pressure drop* (ΔP). Perpindahan momentum dapat dijelaskan menggunakan faktor friksi f , yang didefinisikan secara berbeda untuk koefisien perpindahan massa. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut;

$$F = Aw.(0.5 \rho v^2) f \quad (2.10)$$

dimana F merupakan gaya friksi, AW adalah luas permukaan yang terbasahi serta ρ adalah densitas fluida dan f adalah faktor friksi yang dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$f = \frac{d_e \Delta P}{4L_f \left(\frac{1}{2}\right) \rho v^2} \quad (2.11)$$

2.9 State of The Art

Amonia yang terlarut dalam lingkungan perairan merupakan masalah besar karena dapat membahayakan kesehatan manusia dan merusak lingkungan. Melihat besarnya bahaya kesehatan yang ditimbulkan oleh adanya limbah amonia maka perlu dilakukan proses penghilangan limbah amonia yaitu melalui proses separasi. Beberapa peneliti Michael J. Semmens pada tahun 1990 melakukan penelitian dengan memisahkan ammonia terlarut dari air dengan menggunakan membran, pada penelitian tersebut digunakan asam sulfat sebagai larutan penyerap. Penentuan konsentrasi akhir ammonia digunakan elektroda ion selektif. Dari penelitian diketahui Hollow fiber dapat memiliki area per volume lebih besar 20 kali, dan tidak terdapat flooding ataupun loading dalam hollow fiber. Hollow fiber dapat beroperasi dalam laju alir yang kecil yang tidak mungkin dilaksanakan dalam konvensional packed tower. Diwaktu yang sama kadang-kadang transfer masa di hollow fiber lebih rendah dibandingkan dengan packed tower konvensional, ada dua alasan mengenai hal tersebut, pertama terjadi aliran laminar pada lumen tanpa terjadi aliran turbulen dimana aliran turbulen memperbesar transfer massa, kedua tahanan pada hollow fiber cukup besar.

membran serabut berlobang polyvinylidene fluoride (PVDF) untuk pemindahan amoniak dari air. Pada tahun 2005, Xiaoyao Tan et al telah melakukan penelitian dengan PVDF membran serabut berlubang yang diaplikasikan untuk pemindahan amoniak dari air. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa reaksi membran dengan ethanol berguna bagi meningkatkan hydrophobility dan efektifitas permukaan porositas menghasilkan PVDF membran serabut berlobang. Untuk pemindahan amoniak menggunakan PVDF modul membran serabut berlobang, meningkatnya pH dapat meningkatkan pemindahan amoniak, tetapi hanya sampai pH 10, setelah yang ini tidak memberikan pengaruh. pemisahan ammonia meningkat dengan meningkatkan laju umpan, tetapi hanya sampai

0.59 m/s atau $Re > 0.32$ dan jika kecepatan ditingkatkan tidak akan memberikan pengaruh, ini mengindikasikan bahwa efek tahanan lebih dominan.

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

Penelitian dengan menggunakan larutan mengkudu sebagai absorber gas CO_2 dengan menggunakan kontaktor membran serat berlubang telah dilakukan oleh Andri Krestianto pada tahun 2008. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa proses absorpsi CO_2 melalui kontaktor membran serat berongga dengan pelarut buah mengkudu kurang efektif disebabkan proses absorpsi yang terjadi adalah absorpsi fisik. Pada studi perpindahan massa, kenaikan laju alir atau kecepatan linier pelarut akan meningkatkan nilai koefisien perpindahan massa. Sebaliknya, semakin banyak jumlah serat di dalam modul akan menurunkan nilai koefisien perpindahan massa. 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.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pendahuluan

Proses absorpsi amonia dengan menggunakan pelarut daun mengkudu (*Morinda citrifolia*) bertujuan mengetahui potensi daun mengkudu sebagai absorben amonia dan untuk mengevaluasi efektivitas kontaktor membran serat berongga sebagai media kontak. Dalam penelitian ini pelarut yang digunakan adalah larutan dari daun mengkudu (*Morinda citrifolia*). Penggunaan pelarut alami untuk absorpsi amonia dari daun mengkudu (*Morinda citrifolia*) merupakan sedaun inovasi baru karena pelarut dari bahan alam bersifat ramah lingkungan dan tidak korosif. Penelitian ini mempelajari perpindahan massa yang terjadi pada membran dan studi hidrodinamika dalam rangka mengevaluasi efektivitas kontaktor membran serat berongga. Penelitian akan dilakukan di Laboratorium Intensifikasi Proses Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

3.2 Diagram Alir Penelitian

Alur proses pada penelitian ini dapat dilihat pada diagram 3.1. Persiapan pada penelitian ini diawali dengan melakukan studi literatur. Studi literatur dilakukan dengan mencari referensi mengenai kandungan kimiawi dalam daun mengkudu (*Morinda citrifolia*) dan kontaktor membran serat berongga baik dari buku, jurnal, maupun artikel dari internet. Berikutnya adalah menyiapkan peralatan-peralatan seperti reservoir pelarut, pompa, *flow meter* dan menghubungkannya sehingga menjadi satu sistem secara keseluruhan.

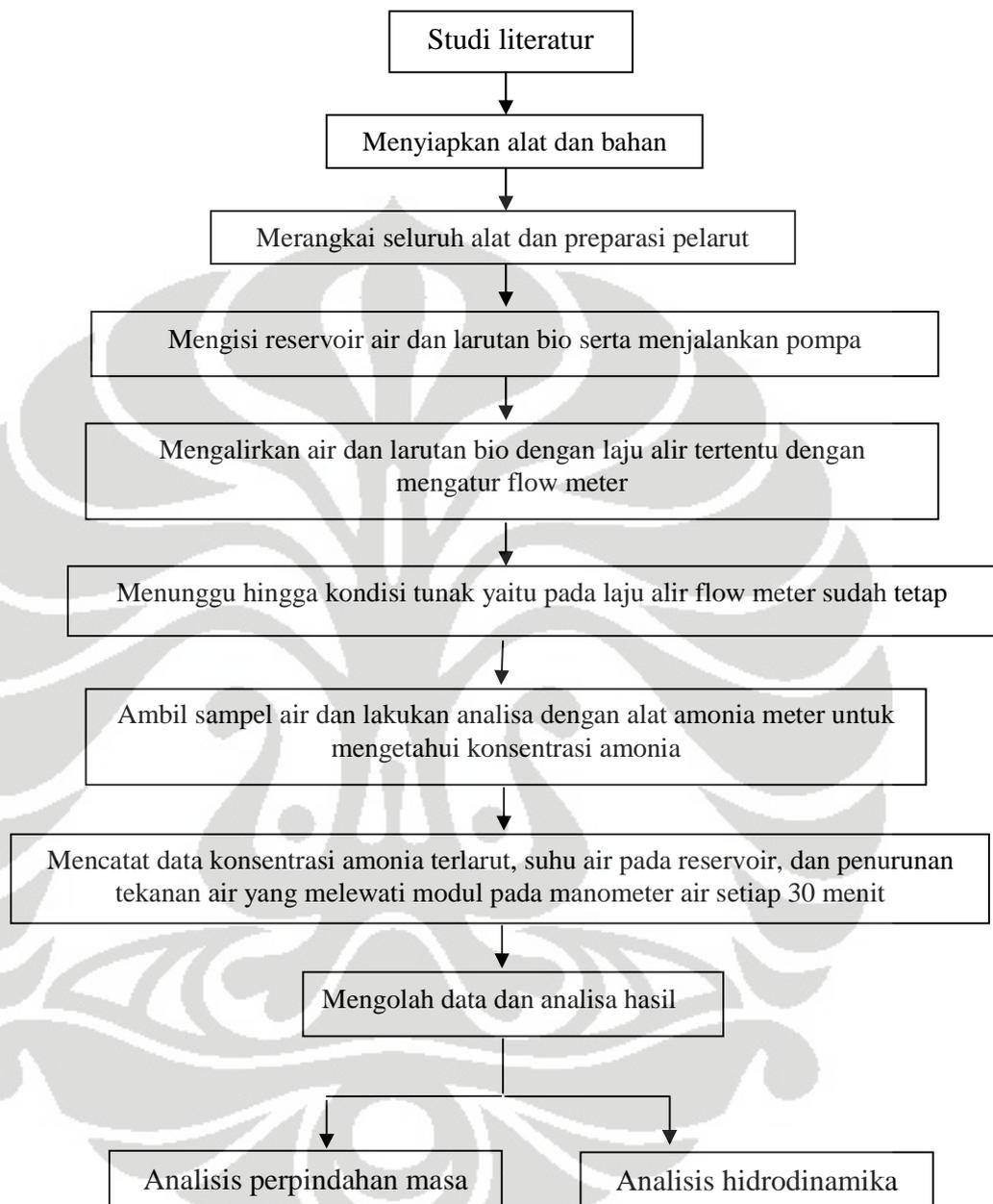
Tahap selanjutnya adalah preparasi atau persiapan pelarut. Pelarut yang digunakan adalah dari daun mengkudu dengan dosis 200 gram daun mengkudu per liter

air. Berikut ini adalah langkah-langkah dalam tahapan preparasi pelarut daun mengkudu (*Morinda citrifolia*):

1. Memilih daun mengkudu yang masih segar dan membersihkannya.
2. Menimbang daun mengkudu.
3. Memotong daun mengkudu kecil-kecil.
4. Memasukkan potongan-potongan daun mengkudu ke dalam air dengan dosis 200 gram daun mengkudu per liter air dan dipanaskan sampai air berubah warna menjadi agak kehijauan.
5. Menyaring pelarut yang telah dipanaskan untuk menghilangkan pengotor-pengotornya.
6. Menampung pelarut di dalam reservoir pelarut.

Setelah preparasi pelarut selesai dan pelarut dimasukkan ke dalam reservoir, tahap selanjutnya adalah mengalirkan air yang mengandung ammonia dan menunggu hingga keadaannya *steady*. Kemudian pelarut dialirkan dengan memanfaatkan pompa dan *flow meter*. Setelah kondisi *steady* pengambilan sampel dilakukan untuk setiap variasi laju alir. Data yang diambil adalah perubahan konsentrasi pelarut sebelum dan sesudah melewati modul untuk studi hidrodinamika, perbedaan tekanan dan temperatur larutan ammonia. Selanjutnya mengolah data dan menganalisis untuk mendapatkan nilai koefisien perpindahan massa dan korelasinya seperti bilangan Reynolds dan bilangan Sherwood dan aspek hidrodinamika seperti faktor friksi.

Diagram alir penelitian yang akan dilakukan diperlihatkan pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Alir Prosedur Penelitian

3.3 Prosedur Penelitian

Secara garis besar, penelitian yang dilakukan dibagi menjadi tiga bagian, yaitu studi literatur, uji perpindahan massa dan hidrodinamika air, serta pengolahan data dan analisis data.

3.3.1 Studi Literatur

Pada studi literatur dikumpulkan literatur mengenai teori-teori serta referensi mengenai kontaktor membran serat berongga baik dari buku, jurnal, ataupun artikel. Terutama mengenai prinsip desorpsi gas melalui kontaktor membran serat berongga serta aplikasinya diindustri. Selain itu, juga dicari literatur teori dan persamaan-persamaan yang akan digunakan untuk uji perpindahan massa dan uji hidrodinamika air di dalam kontaktor.

3.3.2 Uji Perpindahan Massa dan Hidrodinamika Air

Dalam penelitian ini eksperimen yang akan dilakukan adalah desorpsi amonia terlarut dari dalam air melalui membran serat berlubang. Skema percobaan seperti pada Gambar 3.2 akan digunakan untuk mengukur kinerja perpindahan massa dan penurunan tekanan pelarut yang terjadi di dalam kontaktor. Prinsip proses pemisahan menggunakan membran adalah air yang mengandung amonia terlarut dilewatkan didalam kontaktor berisi membran, sehingga amonia akan dilewatkan melalui membran dan akan terpisah dari air pelarutnya. Perbedaan konsentrasi amonia antara fasa air dan larutan daun mengkudu (*morinda citrifolia*) akan memberikan *driving force* untuk proses transfer amonia dari air melewati membran. Akan diambil data perbedaan tekanan air yang masuk ke dalam kontaktor membran dan tekanan air yang keluar dari kontaktor membran dengan manometer untuk setiap laju sirkulasi. Pada saat air memasuki kontaktor membran, terjadi perpindahan amonia dan seiring dengan berjalannya waktu konsentrasi amonia di dalam bak penampung akan berkurang. Untuk menentukan jumlah amonia terlarut digunakan alat amonia meter.

3.3.3 Analisis Data dan Penulisan Laporan

Data perubahan konsentrasi amonia terlarut pada air akan dibuat korelasi perpindahan massa sebagai fungsi karakteristik aliran cairan yang terjadi di dalam kontaktor membran serat berlubang. Data penurunan tekanan yang terjadi akan dibuat korelasinya dengan kecepatan aliran dan juga karakteristik alirannya. Faktor friksi aliran di dalam kontaktor juga dapat dihitung dari penurunan tekanan tersebut sehingga faktor ini dapat dikorelasikan dengan karakteristik aliran.

3.4 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian adalah

1. Kontaktor membran serat berongga

Material: Polipropilen

Ukuran pori : 0, 2 μm

Ukuran modul:

- Diameter serat : 0,27 cm
- Panjang membran : 40 cm

2. Tangki reservoir air, sebagai tempat bagi amonia terlarut.

2. Tangki reservoir larutan bio (*Morinda citrifolia*), sebagai tempat bagi larutan bio.

2. Pompa air, untuk mengalirkan pelarut dari resevoir menuju modul pompa

4. Kaca sebagai selongsong modul

5. Manometer air, untuk mengukur perbedaan tekanan air sebelum dan sesudah melewati modul.

6. *Flow meter*, untuk menghitung laju sirkulasi air.

8. Pipa PVC, digunakan untuk mengalirkan air dari reservoir menuju modul membran.

9. Amonia 2000 meter.

10. Lem epoksi, untuk pembuatan modul.

11. Tube test.

12. Pemanas (kompor).

13. Wadah untuk mendidihkan larutan daun mengkudu.

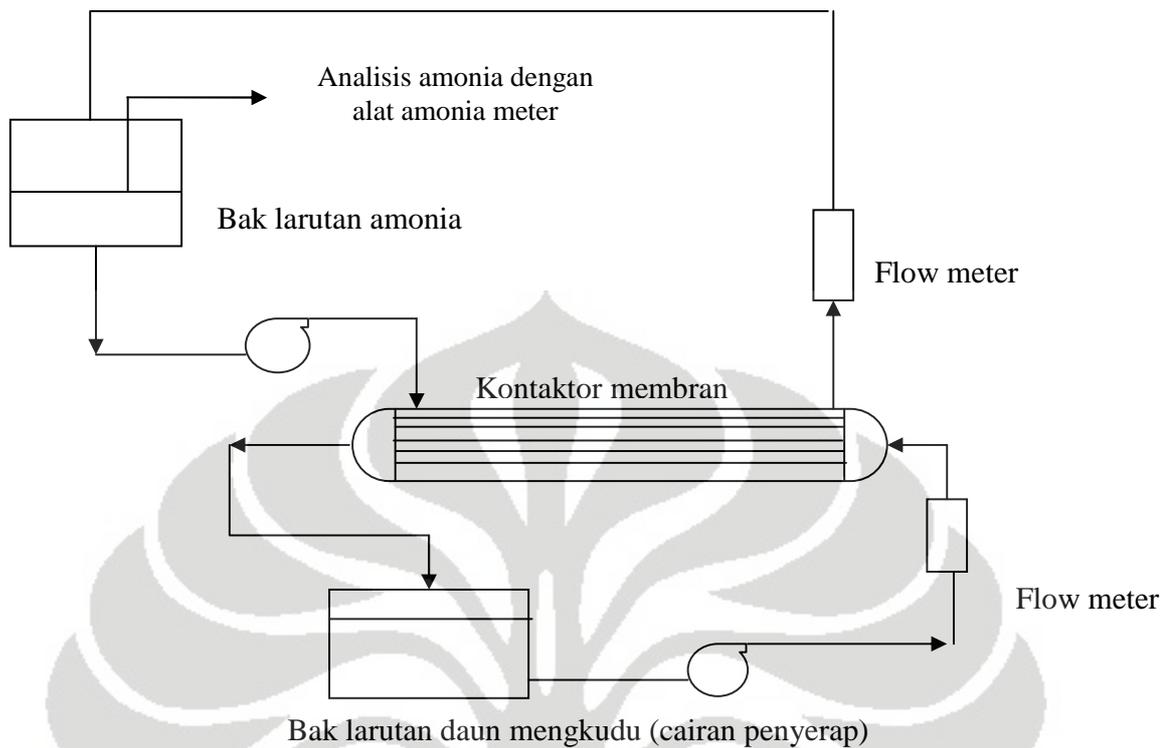
14. Pipet volumetri 10 mL.

Bahan yang digunakan didalam penelitian adalah

1. Sampel uji yang mengandung amonia terlarut.
2. Tubetest Nessler reagent.
3. Daun mengkudu.
4. Larutan amonia sulfat

3.5 Skema alat

Skema rancangan alat untuk penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.2. Umpan mengalir dari reservoir larutan amonia dengan menggunakan pompa dan lajunya diatur dengan menggunakan *flow meter*. Umpan memasuki modul dan dibiarkan hingga *steady*. Kemudian mengalirkan pelarut dari reservoir dengan menggunakan pompa dan *flow meter* untuk mengatur laju alirnya. Aliran pelarut akan memasuki modul dan di dalam modul terjadi proses absorpsi amonia oleh pelarut. Aliran produk yang keluar dari modul kemudian diambil untuk dijadikan sampel dan selanjutnya melakukan pengambilan data berupa konsentrasi amonia dan temperatur. Pengambilan data dilakukan untuk setiap variasi laju alir. Untuk studi hidrodinamika data yang diambil adalah perbedaan tekanan sebelum dan setelah melewati modul. Pengambilan data juga dilakukan untuk setiap variasi laju alir.



Gambar 3.2 Skema Alat penelitian

3.6 Pengolahan Data

Studi perpindahan massa dilakukan dengan menghitung nilai koefisien perpindahan massa dan fluks massa dengan menggunakan data perubahan konsentrasi amonia terlarut dan temperatur air pada tangki air. Sedangkan studi hidrodinamika dilakukan dengan menghitung nilai bilangan tidak berdimensi seperti bilangan Sherwood (Sh), bilangan Reynold (Re) dan bilangan Schmidt (Sc). Nilai friksi (f) dengan menggunakan data perbedaan tekanan air sebelum dan setelah melewati membran.

3.6.1 Menghitung koefisien perpindahan massa

Perpindahan amonia melewati tiap satuan serat membran dapat ditulis sebagai berikut

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

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

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

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

Luas permukaan spesifik (a) telah diketahui nilainya dalam modul serat berlubang dan siap dihitung dari jumlah dan ukuran serat serta dimensi modul. Apabila reservoir air dicampur dengan baik maka neraca massa pada reservoir adalah

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

Substitusi C_2 dari persamaan dan pengaturan ulang menghasilkan persamaan berikut

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

Integrasi pada batas kondisi $t=0$, $C_1=0$ dan $t=t$, $C_1=C$ memberikan hubungan konsentrasi terhadap waktu

$$\int_{C_L=C_1 \rightarrow \text{pada } t=0}^{C_1=C_2 \rightarrow \text{pada } t=t} \frac{dC_L}{(C_L - C^*)} = \int_{t=0}^{t=t} \frac{Q}{V} \left[\exp\left(-\frac{K.a.L}{v_L}\right) - 1 \right] dt$$

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

Dari persamaan ini koefisien perpindahan massa overall dapat dicari dengan memplotkan

$\ln\left[\frac{C - C^*}{C_0 - C^*}\right]$ vs t , kemudian slope garis dapat dihitung, dengan demikian nilai K dapat

diketahui

$$KOV = \frac{\text{Slope } V}{a} \quad (3.6)$$

Dua asumsi yang diterapkan dalam dua persamaan diatas adalah

- Waktu respon perhitungan amonia cukup cepat untuk mengatasi laju perubahan amonia secara akurat
- Asumsi umpan yang masuk ke dalam modul konstan harus realistis dengan konsentrasi amonia dalam reservoir yang berubah secara perlahan-lahan jika dibandingkan dengan perubahan dengan perubahan konsentrasi di dalam modul

Kedua asumsi diatas dapat dipakai jika reservoir air dengan volume besar digunakan pada desain eksperimen

$$\text{Dengan; } \frac{1}{K} = \frac{1}{Kil} \quad (2.4)$$

Untuk menghitung fluks yang dihasilkan di setiap laju alir digunakan persamaan

$$\partial = \frac{\Delta C}{Am} \frac{V}{t} \quad (3.7)$$

3.6.2 Menghitung Korelasi Perpindahan Massa dan hidrodinamika

Korelasi antara perpindahan massa terhadap hidrodinamika, dapat ditentukan dengan bilangan-bilangan tak berdimensi seperti Sherwood (Sh), bilangan Reynold (Re), dan bilangan Schmidt (Sc) dengan menggunakan persamaan berikut

$$Sh = k_1 \frac{d_e}{D} \quad (2.6)$$

$$Re = \frac{\rho v d_e}{\mu} \quad (2.7)$$

$$Sc = \frac{\mu}{\rho D} \quad (2.8)$$

$$\text{Atau } Sh \propto Re^a Sb^\beta f(\text{geometri}) \quad (2.5)$$

Untuk menentukan bilangan *Sherwood* (Sh) dan bilangan *Reynold* (Re) kita harus mencari terlebih dahulu diameter ekuivalen dari persamaan dibawah ini

$$d_e = \frac{dp^2 - Ndf^2}{dp + Ndf} \quad (2.9)$$

3.6.3 Menghitung Faktor Friksi

Nilai friksi yang akan dihitung terdiri dari

a. Friksi modul

Nilai friksi modul diperoleh dengan menghitung nilai friksi pada setiap laju alir yang dilakukan .

Hubungan penurunan tekanan dengan nilai faktor friksi

$$f = \frac{de \Delta P}{4L_f (1/2) \rho v^2} \quad (2.11)$$

b. Friksi literatur

Nilai friksi literatur diperoleh dari literatur pada laju alir yang digunakan pada penelitian

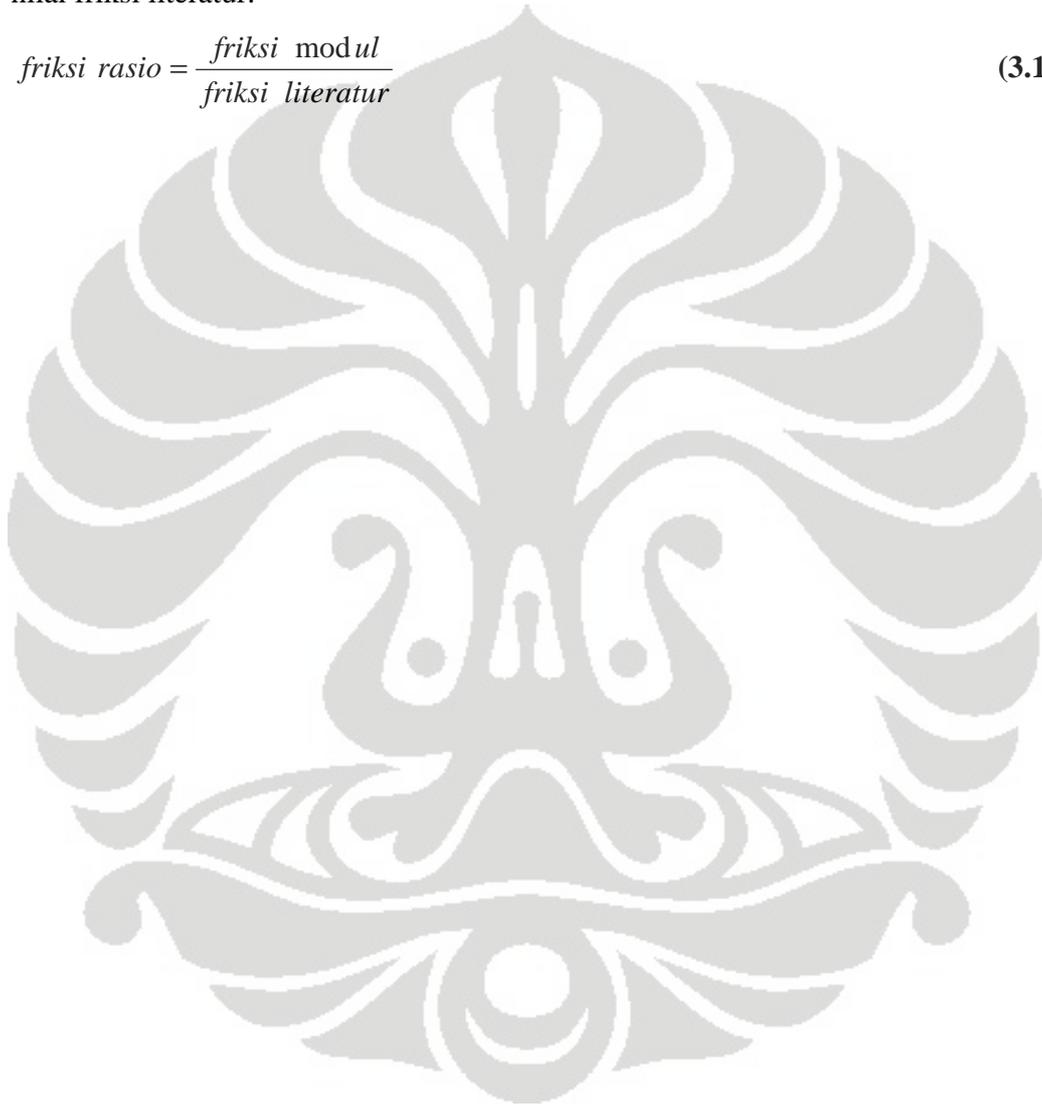
$$\text{Aliran laminar : } f = \frac{16}{Re} \quad (3.8)$$

$$\text{Aliran turbulen : } f = \frac{0,0792}{\text{Re}^{1/4}} \quad (3.9)$$

c. Friksi rasio

Nilai friksi rasio ini diperoleh dari perbandingan antara nilai friksi modul dengan nilai friksi literatur.

$$\text{friksi rasio} = \frac{\text{friksi modul}}{\text{friksi literatur}} \quad (3.10)$$



BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kinerja kontaktor membran serat berlubang untuk memisahkan amonia dari air dengan menggunakan pelarut asam sulfat dan pelarut dari daun mengkudu (*Morinda citrifolia*). Efektifitas dapat ditinjau dari segi perpindahan massa dan aspek hidrodinamika. Studi perpindahan massa dapat ditinjau dari profil perubahan konsentrasi terhadap waktu dengan memvariasikan laju alir dari larutan amonia. Sedangkan studi hidrodinamika dapat ditinjau dari pengaruh aliran terhadap efektifitas kinerja membran dengan cara melihat faktor friksi yang ditimbulkan oleh aliran fluida terhadap kemampuan pelarut untuk mengabsorb amonia. Faktor friksi ini berhubungan langsung dengan bilangan Reynolds yang menunjukkan jenis aliran yang terjadi.

4.1 Studi Perpindahan Massa

Pada studi perpindahan massa untuk memindahkan amonia terlarut dari air melalui kontaktor membran serat berlubang, data yang diambil adalah perubahan konsentrasi amonia dengan selang waktu tertentu.

Proses absorpsi amonia di dalam kontaktor membran serat berongga pada penelitian ini menggunakan dua jenis pelarut yang berbeda bertujuan untuk mengetahui efektifitas proses perpindahan massa yang terjadi dengan menggunakan larutan asam sulfat dan membandingkannya dengan pelarut dari daun mengkudu (*Morinda citrifolia*) yang memiliki kandungan senyawa-senyawa yang khas.

Perpindahan massa dari amonia melalui membran serat berrongga dapat di pengaruhi oleh keadaan ionisasi dari amonia dalam larutan. Amonia dalam larutan air berada dalam 2 bentuk yaitu sebagai amonia volatil dan ion amonium. Proses pengolahan amonia akan berusaha untuk memaksimalkan komponen amonia volatil dalam air limbahnya. Namun demikian, jumlah amonia yang dapat disisihkan dari larutan air tergantung pada dua faktor yaitu suhu dan pH larutannya. Perlu dicatat

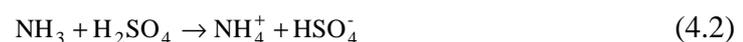
bahwa kelarutan amonia dalam air berbanding terbalik dengan suhunya. Jadi jika hanya dengan menaikkan suhu tidak akan dapat melepaskan semua amonia terlarut berdasar kenyataan bahwa sejumlah besar amonia akan terdisosiasi secara instant membentuk ion ammonium yang tidak stabil mengikuti persamaan:



Pada suhu 25 °C tetapan kesetimbangan untuk reaksi pembentukan ion ammonium, $K_1 = 1,8 \times 10^{-5}$, dan tetapan kesetimbangan untuk pembentukan ammonia, $K_2 = 5,6 \times 10^{-10}$. Jadi kesetimbangan reaksi ke pembentukan ion amonium hampir $3,2 \times 10^4$ kali lebih besar dibandingkan reaksi ke arah pembentukan ammonia. Dengan menaikkan pH larutan, yang berarti akan menambah ion OH^- di dalam larutan, akan menggeser reaksi ke arah pembentukan ammonia sehingga larutan air akan kaya dengan ammonia dari pada ion ammonium dan proses penyisihan ammonia akan berlangsung lebih baik pada kondisi tersebut. Tekanan uap larutan yang mengandung amonia lebih tinggi dari pada tekanan uap air. Bertambahnya konsentrasi amonia di dalam air akan meningkatkan tekanan uap dari larutan.

Molekul NH_3 dapat langsung terabsorb oleh larutan asam sedangkan NH_4^+ tidak terabsorb karena masih berada dalam bentuk larutan oleh karena itu ion NH_4^+ harus direaksikan terlebih dahulu dengan menambahkan basa hingga pH kurang lebih 10 untuk merubah ion NH_4^+ menjadi NH_3 .

Pada dasarnya proses absorpsi amonia oleh asam sulfat dan mengkudu terjadi secara kimia yaitu berupa reaksi asam basa, amonia merupakan suatu gas yang bersifat basa dan jika berada di dalam suatu larutan maka amonia tersebut akan membentuk ion ammonium yang berarti menangkap 1 atom hidrogen sedangkan senyawaan asam akan melepaskan 1 atom hidrogen untuk diikat dengan amonia menjadi ammonium. Reaksi kimia yang terjadi antara amonia dan asam sulfat dapat digambarkan sebagai berikut:

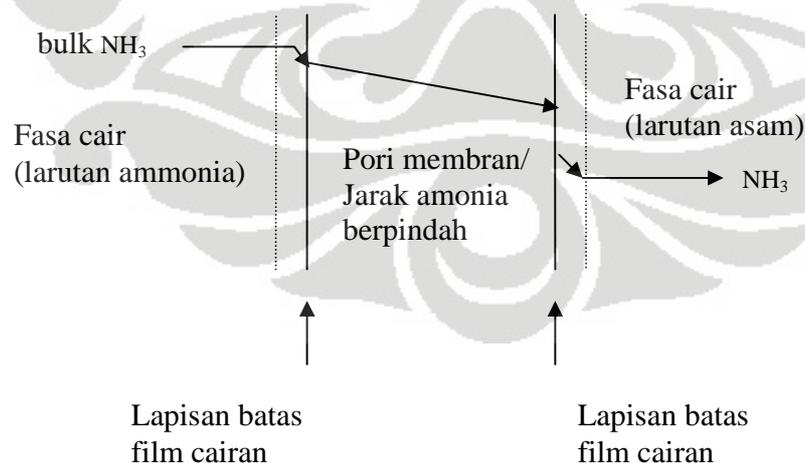


Dari reaksi diatas dapat diketahui bahwa absorpsi yang terjadi adalah absorpsi secara kimia.

Reaksi antara amonia dan asam sulfat akan menghasilkan HSO_4^- . Akan tetapi reaksi amonia dan asam sulfat merupakan reaksi kesetimbangan, dimana konstanta kesetimbangan bernilai sangat kecil sehingga pembentukan ion H^+ dan ion HCO_3^- juga bernilai sangat kecil.

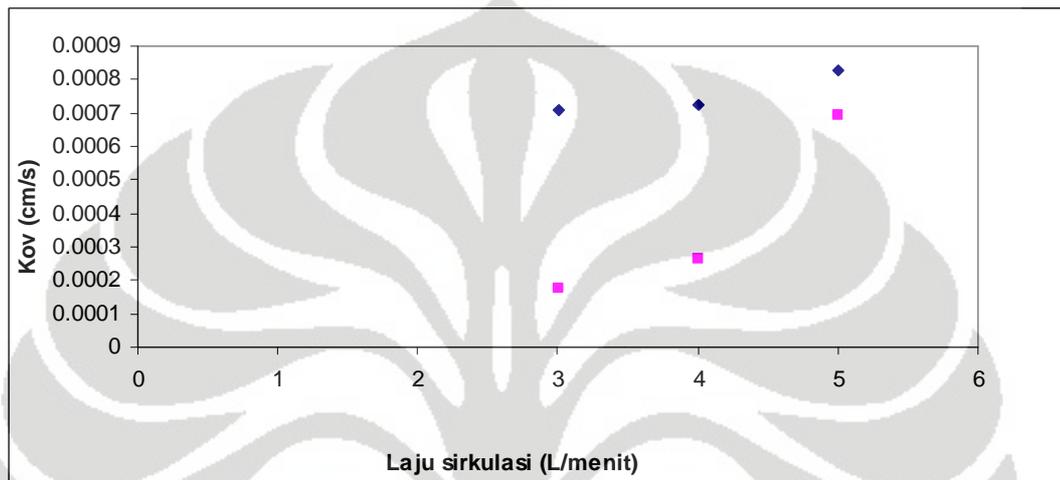
Pada penggunaan pelarut dari daun mengkudu (*Morinda citrifolia*), jenis absorpsi yang terjadi juga merupakan absorpsi kimia. Dosis yang digunakan untuk membuat pelarut dari daun mengkudu (*Morinda citrifolia*) adalah 200 gr daun mengkudu (*Morinda citrifolia*) per liter air dan dari larutan tersebut diketahui pH larutan sebesar 4.2 yang menunjukkan bahwa larutan daun mengkudu (*Morinda citrifolia*) bersifat asam.

Proses perpindahan massa yang terjadi di dalam modul dapat diilustrasikan dengan profil konsentrasi amonia pada membran. Profil konsentrasi ini dapat dilihat pada Gambar 4.1. Gambar ini menunjukkan bahwa konsentrasi amonia pada air larutan menuju membran awalnya tinggi, namun karena terdapat tahanan membran maka konsentrasi amonia akan menurun. Menurunnya konsentrasi amonia ini disebabkan amonia harus melewati pori-pori membran selanjutnya setelah memasuki bulk fasa cair konsentrasi amonia akan kembali menurun yang disebabkan adanya lapisan film fasa cair.



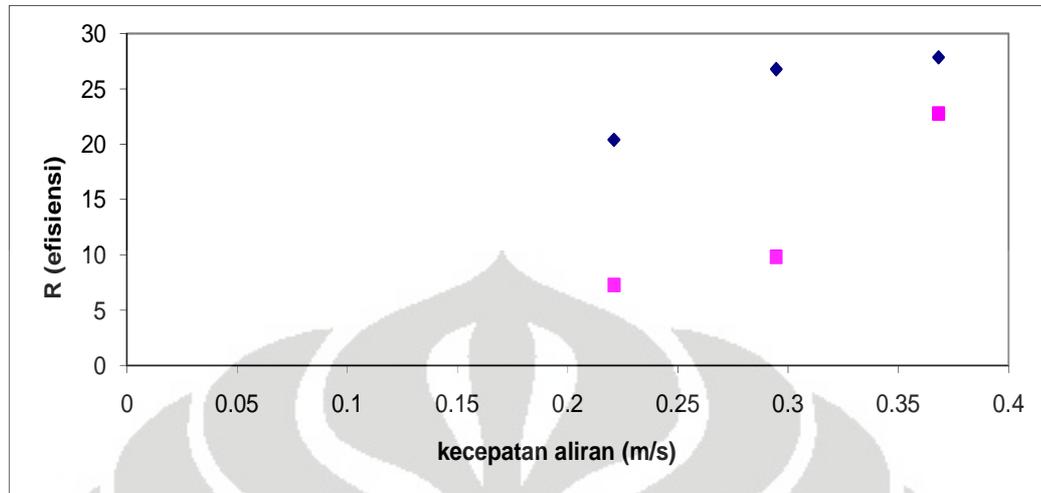
Gambar 4. 1 Profil konsentrasi amonia dalam kontaktor membran hidrofobik untuk absorpsi amonia (Mulder, 1996)

Jenis pelarut yang digunakan sangat menentukan perubahan efektifitas peristiwa absorpsi amonia yang terjadi dan juga mempengaruhi nilai koefisien perpindahan massa yang didapat. Berikut merupakan grafik pengaruh jenis pelarut yang digunakan terhadap nilai koefisien perpindahan massa pada berbagai laju alir.



Gambar 4. 2 koefisien perpindahan overall sebagai fungsi laju sirkulasi menggunakan pelarut asam sulfat (◇) dan mengkudu (□)

Dari Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa nilai koefisien perpindahan massa pada pelarut asam sulfat lebih tinggi dibandingkan pelarut daun mengkudu (*Morinda citrifolia*) pada setiap laju alir yang berbeda. Hal ini mengindikasikan bahwa gas amonia terserap lebih banyak pada pelarut asam sulfat. Kemampuan pelarut asam sulfat untuk menyerap amonia lebih banyak disebabkan sifat asam yang dikandung oleh asam sulfat lebih kuat dibandingkan pelarut daun mengkudu (*Morinda citrifolia*), dari nilai pH diketahui bahwa pelarut asam sulfat memiliki pH 1,43 sedangkan pelarut daun mengkudu (*Morinda citrifolia*) memiliki pH 4,23. Dari nilai pH yang terkandung disetiap pelarut akan mempunyai efek terhadap pemisahan, semakin tinggi nilai pH akan semakin banyak mengabsorpsi amonia karena akan lebih atom hidrogen yang bereaksi dengan amonia sehingga efisiensi akan lebih baik.

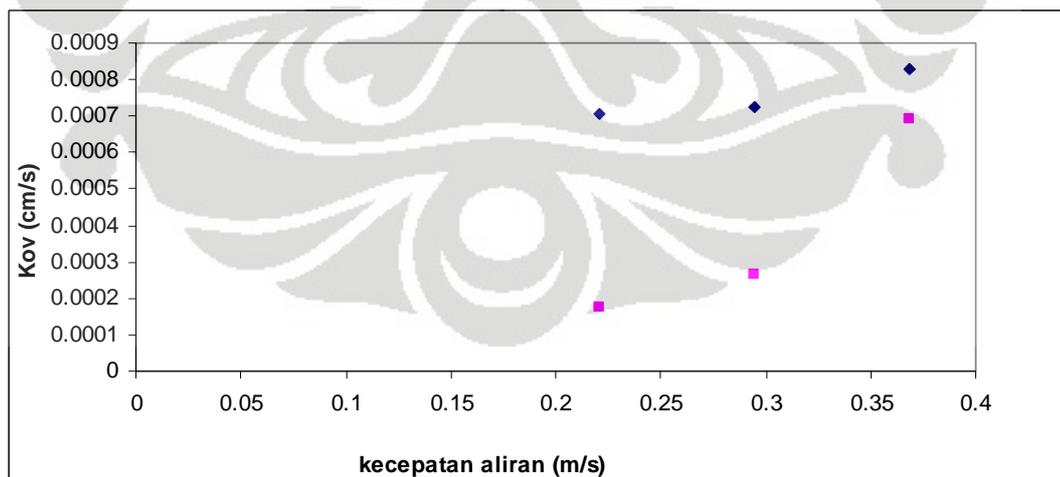


Gambar 4.3 Efisiensi absorpsi amonia sebagai fungsi laju sirkulasi menggunakan pelarut asam sulfat (◇) dan mengkudu (□)

Dari Gambar 4.3 diketahui bahwa pelarut asam sulfat memiliki efisiensi lebih tinggi dibandingkan dengan pelarut daun mengkudu (*Morinda citrifolia*).

4.1.1 Pengaruh Laju Alir Pelarut

Pengaruh laju alir pelarut akan mempengaruhi koefisien perpindahan massa, sehingga akan mempengaruhi efektifitas proses yang terjadi. Berikut ini grafik perbedaan nilai koefisien perpindahan massa terhadap kecepatan linier pada air.



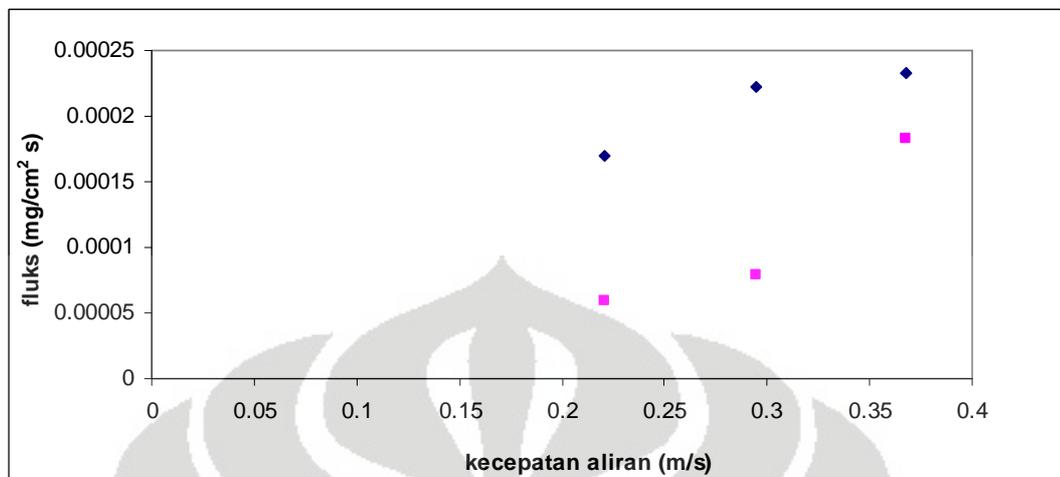
Gambar 4.4 koefisien perpindahan massa sebagai fungsi dari kecepatan aliran pelarut asam sulfat (◇) dan mengkudu (□)

Dari Gambar 4.4 terlihat bahwa semakin meningkatnya kecepatan linier yang diakibatkan peningkatan laju alir akan meningkatkan koefisien perpindahan massa yang didapat.

Hal ini di pengaruhi oleh dinamika fluida di dalam modul dan juga kuantitas pelarut itu sendiri terhadap proses perpindahan massa, jika laju alir ditingkatkan maka akan lebih banyak amonia yang berdifusi melalui pori membran sehingga akan lebih banyak amonia yang terabsorp oleh larutan asam. Peningkatan koefisien perpindahan massa dipengaruhi langsung oleh fraksi kekosongan dan distribusi pelarut di dalam modul. Ini sesuai dengan rumus yang dikemukakan oleh fujita yaitu $D = A_d \exp(-B_d \nabla_h^* / vf)$ dimana ∇_h^* merepresentasikan volume dari ukuran minimum satu mol dalam pori yang dapat berdifusi dan D merepresentasikan difusi dari suatu senyawaan. Dari rumus tersebut terlihat jika semakin banyak fraksi kekosongan dalam membran akan secara otomatis terisi oleh senyawaan amonia dalam membran Dengan semakin meningkatnya kecepatan aliran pelarut maka fraksi kekosongan di dalam modul akan terpenuhi oleh pelarut sehingga pada kondisi ini distribusi pelarut menjadi semakin merata dan kemampuan absorpsi menjadi meningkat dan perpindahan massa akan semakin tinggi.

4.1.2 Hubungan fluks terhadap laju alir

Untuk menentukan nilai fluk, dilakukan percobaan dengan mengalirkan air yang mengandung amonia sebanyak 300 ppm melalui sebuah membran dan larutan mengkudu yang dialirkan berlawanan dengan arah aliran mengkudu.



Gambar 4.5 Pengaruh variasi laju alir pelarut asam sulfat (◇) dan mengkudu (□) terhadap fluks

Pada Gambar 4.5 terlihat bahwa semakin besar laju alir maka akan semakin besar nilai fluks yang diperoleh ini sesuai dengan hukum Fick dimana semakin besar laju alir akan semakin besar fluks yang diperoleh.

Pendekatan teori perpindahan dapat didefinisikan sebagai transport dari suatu spesi melalui material membran. Perpindahan dari suatu gas melalui suatu membran biasanya terjadi dikarenakan proses difusi, dalam hal ini sangat sesuai dengan pendekatan hukum Fick's dari difusi

$$\text{Hukum 1 Fick's: } J = -D \left(\frac{dC}{dx} \right) = \frac{Q}{A} \quad (4.3)$$

$$\text{Hukum 2 Fick's: } \frac{dC}{dt} = D \left(\frac{d^2C}{dx^2} \right) \quad (4.4)$$

Dimana J merupakan fluks, D adalah koefisien difusi, C adalah konsentrasi, x adalah jarak difusi dan Q adalah laju alir. Dari hukum Fick 1 terlihat nilai fluks berbanding lurus dengan nilai laju alir dan berbanding terbalik dengan jarak difusi, semakin besar laju alir maka akan semakin besar pula fluks. Fenomena ini berhubungan dengan efek polarisasi konsentrasi. Laju sirkulasi air limbah yang lebih tinggi akan memberikan efek turbulensi dan arus Eddy di lapisan cairan pada permukaan serat membran yang akan meningkatkan laju perpindahan massa dari larutan air limbah ke permukaan serat membran sehingga efisiensi penyisihan amonia juga bertambah.

Pada persamaan tersebut dapat diidentifikasi performa dari suatu membran. Jika nilai fluks besar produktifitas tinggi, area kecil sehingga biaya untuk pemisahan akan semakin kecil, lebih lanjut lagi difusi melalui sebuah polimer cenderung merupakan mekanisme yang lambat karena itu membran dibuat setipis mungkin.

4.2 Studi Hidrodinamika

Proses absorpsi ammonia oleh pelarut di dalam modul tidak lepas dari berbagai pengaruh dinamika fluida. Faktor-faktor yang berkaitan yaitu profil penurunan tekanan di dalam modul serta friksi atau gesekan yang ditimbulkan akibat gerak fluida terhadap dinding modul atau pun dinding serat. Pergerakan dari fluida itu sendiri tidak lepas dari profil aliran fluida tersebut yang ditunjukkan bilangan Reynolds.

Tabel 4.1 Data hubungan V (m/s), ΔP (psi) dan Re dengan f modul

Q (L/menit)	V (cm/s)	ΔP (psi)	Re	f modul
5	36.81381675	0.05	2582.91254	0.019974
4	29.4510534	0.032	2066.330032	0.019974
3	22.08829005	0.02	1549.747524	0.022193

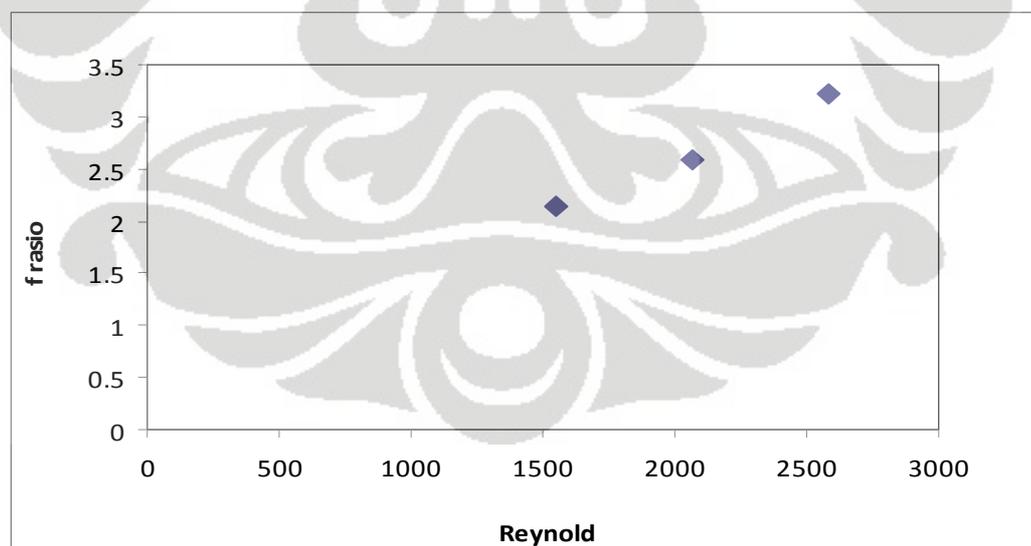
Dari tabel 4.1 diketahui jika kecepatan sirkulasi naik perbedaan tekanan yang dihasilkan dan bilangan Reynold juga akan naik, hasil ini berbanding terbalik dengan friksi yang dihasilkan. Semakin tinggi kecepatan aliran di dalam modul berarti jenis aliran tersebut makin ke arah turbulen dan kemungkinan terjadi friksi atau gesekan semakin besar sehingga mengakibatkan penurunan tekanan yang terjadi di dalam modul semakin besar dan semakin tinggi penurunan tekanan yang terjadi maka gaya gesek akan semakin tinggi pula yang disebabkan tingginya kecepatan aliran tetapi faktor friksi yang terjadi justru semakin rendah. Dari tabel 4,1 diketahui bahwa kecepatanlah merupakan faktor utama yang mempengaruhi friksi dalam modul karena perbedaan tekanan yang dihasilkan cukup kecil.

Hal ini disebabkan faktor friksi berbanding terbalik dengan kecepatan aliran sesuai dengan persamaan:

$$f = \frac{d_e \Delta P}{2 \cdot L_f \cdot \rho \cdot v^2} \quad (2.11)$$

Dari persamaan di atas, jelaslah bahwa untuk fluida dengan kecepatan yang tinggi maka friksi atau gesekan yang ditimbulkan pun akan semakin tinggi yang disebabkan turbulensi fluida dimana friksi dapat dihasilkan dari gerak momentum antar fluida maupun dengan dinding modul. Tetapi faktor friksi yang dihasilkan semakin rendah yang disebabkan faktor friksi merupakan besaran yang berbanding terbalik dengan gaya kinetik suatu fluida yang bergerak.

Selain faktor friksi dalam modul, perhitungan friksi literatur juga dilakukan untuk membandingkan besar friksi yang terbentuk dengan friksi literatur. Friksi literatur itu sendiri hanya dipengaruhi oleh jenis aliran yang terjadi di dalam modul. Perbandingan antara friksi di dalam modul dengan friksi literatur disebut rasio friksi. Hubungan antara bilangan Reynolds dengan rasio friksi dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 6 Hubungan bilangan Reynolds terhadap rasio friksi

Dari Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa pada aliran fluida yang bersifat laminar, peningkatan bilangan Reynolds akan cenderung menaikkan rasio friksi. Peningkatan rasio friksi pada aliran disebabkan besarnya perubahan faktor friksi pada modul lebih tinggi dibandingkan perubahan nilai friksi yang didapat dari perhitungan literatur yang hanya dipengaruhi oleh bilangan Reynolds saja.

Berdasarkan Gambar 4.6 dapat dilihat nilai friksi rasio 2 menandakan friksi yang dihasilkan pada eksperimen lebih besar 2 kali dibandingkan friksi literatur, begitu pula dengan nilai selanjutnya. Pada Gambar 4.6 diketahui bahwa nilai rasio friksi berada pada rentang 2-3, hal ini berarti bahwa friksi yang terjadi selama eksperimen (friksi modul) lebih besar dibandingkan friksi yang seharusnya terjadi (friksi literatur) disebabkan nilai faktor friksi pada eksperimen dipengaruhi oleh banyak faktor seperti tahanan pada membran, geometris membran, keberadaan zat-zat pengotor di dalam modul, sambungan antara pipa dengan acrylic dan gesekan dengan permukaan membran. Seperti telah dibahas sebelumnya, meningkatnya friksi atau gesekan akan meningkatkan energi kinetik dan penurunan tekanan yang terjadi di dalam modul.



BAB 5

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari pembahasan di atas adalah:

1. Pelarut daun mengkudu berpotensi untuk dijadikan sebagai absorben gas amonia disebabkan sifat buah mengkudu itu sendiri adalah asam.
2. Proses absorpsi amonia melalui kontaktor membran serat berongga dengan pelarut buah mengkudu kurang efektif dibandingkan dengan pelarut asam sulfat.
3. Koefisien perpindahan massa amonia pada pelarut daun mengkudu dapat mencapai hingga 0.00069 cm/s sedangkan koefisien perpindahan massa pada pelarut asam sulfat dapat mencapai hingga 0.00082 cm/s.
4. Pada studi perpindahan massa, kenaikan laju alir atau kecepatan linier pelarut akan meningkatkan nilai koefisien perpindahan massa.
5. Pada studi hidrodinamika, kenaikan laju alir atau kecepatan linier akan meningkatkan penurunan tekanan di dalam modul akibat friksi. Tetapi dengan meningkatnya laju sirkulasi friksi yang dihasilkan akan semakin kecil

DAFTAR PUSTAKA

Bird, R, W, Stewart, E. 1990. Lightfoot, *Transport phenomena*, New York. John Wiley and Sons.

Ahmed, T, M, J, Semmens. 1992."Used of sealed and hollow fiber for bubbleless membrane aeration: experimental studies", *Journal of Membrane Science*, 69, 1-10.

Coulson, J, M., J, F, Richardson. 1988. *Chemical engineering*. Sydney. Pergamon Press.

Gabelman, A., S, T, Hwang. 1999. *Hollow fiber membrane contactors*. *Journal of Membran Science*.

Fane, A, G. 2005. *Introduction of membran science and technology*, Lecture Note. University of New South Wales Australia.

Geankoplis, Christie, K. 1993. *Transport process and unit operations*. 3rd Edition, Massachusetts, Allyn and Bacon, Inc.

Zong xie., Tuan Duong., Manh Hoang., Coung Nguyen., Brian Bolto. 2008. *Ammonia removal by sweep gas membrane distillation*. *Journal Materials Science and Engineering*.

Michael j. Semmens. 1990. *Ammonia removal from water using microporous hollow fibers*. *Journal of membrane science*.

Shao jiahui, Fang Xuliang, He Yiliang, Jin Qiang. 2008. *Emergency membrane contactor based absorption system for ammonia leaks in water treatment plants*. *Journal of Environmental Sciences*.

Rob Klaassen, Paul Feron, Albert Jansen. 2007. *Membrane contactor applications*. Desalination.

Kartohardjono, S. 2002. *Recent advances in separation technology research in the area of membrane gas-liquid contactor*. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Proses Kimia.

Kartohardjono, S. 2004. Pemisahan oksigen terlarut dari air melalui kontaktor membran tak berpori via proses degassing vakum. *Jurnal Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia*.

McCabe, Warren, L., C. S. Julian, H Peter. 1999. *Operasi teknik kimia jilid 2*. Erlangga

Mulder, M., 1997. *Basic Principles of Membran Technology*. Kluwer Academic Publisher.

Sutrasno Kartohardjono dan Yuliusman. 2007. Pemodelan proses pemisahan oksigen terlarut dari air melalui kontaktor membran serat berongga. *Jurnal Teknologi*.

Kartohardjono, S. 2008. Penggunaan kontaktor membran serat berlubang untuk proses penyerapan gas CO₂ oleh pelarut air dan larutan encer NaOH. *Jurnal Teknologi*

Xiaoyao Tan. S.P. Tan. W.K. Teo. K. Lia. 2005. *Polyvinylidene fluoride (PVDF) hollow fibre membranes for ammonia removal from water*. *Journal of Membrane Science*

Amish Mandowara, Prashant K. Bhattacharya. 2009. *Membrane contactor as degasser operated under vacuum for ammonia removal from water: A numerical simulation of mass transfer under laminar flow conditions*. Indian Institute of Technology Kanpur

Gozan, M. 2005. *Perpindahan massa*. Diktak Mata Kuliah. Universitas Indonesia

<http://www.wikipedia.org>. 2006. Membran polipropilen. diakses tanggal 25 mei 2009.

<http://okleqs.wordpress.com/category/msds-bahan-kimia>, 2009. diakses tanggal 5 mei 2009.

<http://monochronic.blogspot.com/2008/01/penerapan-eko-efisien-dalam-mencapai.html>, 2009. diakses tanggal 18 juni 2009.

LAMPIRAN 1

DATA PENGAMATAN

Studi perpindahan massa menggunakan larutan penyerap daun mengkudu

1. Studi perpindahan massa menggunakan larutan penyerap daun mengkudu

Data pengamatan:

Laju alir larutan ammonia	= 5 L/menit
pH awal	= 5.87
pH akhir (penambahan NaOH)	= 10.53
Berat penimbangan ammonium sulfat	= 5.8236 gram
Berat penimbangan daun mengkudu	= 200 gram
Temperatur awal larutan ammonia	= 28.5 °C
Temperatur operasi pada larutan ammonia	= 33 °C

No	t (menit)	Konsentrasi amonia (ppm)
1	0	295.2
2	30	270
3	60	252
4	90	228

2. Studi perpindahan massa menggunakan larutan penyerap daun mengkudu

Data pengamatan:

Laju alir larutan ammonia	= 4 L/menit
pH awal	= 5.80
pH akhir (penambahan NaOH)	= 10.43
Berat penimbangan ammonium sulfat	= 5.8237 gram
Berat penimbangan daun mengkudu	= 200 gram
Temperatur awal larutan ammonia	= 28.5 °C
Temperatur operasi pada larutan ammonia	= 33 °C

No	t (menit)	Konsentrasi amonia (ppm)
1	0	294
2	30	286.4
3	60	277.2
4	90	265.2

3. Studi perpindahan massa menggunakan larutan penyerap daun mengkudu

Data pengamatan:

Laju alir larutan ammonia	= 3 L/menit
pH awal	= 5.80
pH akhir (penambahan NaOH)	= 10.43
Berat penimbangan ammonium sulfat	= 5.8237 gram
Berat penimbangan daun mengkudu	= 200 gram
Temperatur awal larutan ammonia	= 28.5 °C
Temperatur operasi pada larutan ammonia	= 33 °C

No	t (menit)	Konsentrasi amonia (ppm)
1	0	297.6
2	30	294
3	60	288
4	90	276

Studi perpindahan massa menggunakan larutan penyerap asam sulfat

1. Studi perpindahan massa menggunakan larutan penyerap asam sulfat

Data pengamatan:

Laju alir larutan ammonia	= 5 L/menit
pH awal	= 5.82
pH akhir (penambahan NaOH)	= 11.06
Berat penimbangan ammonium sulfat	= 5.8245 gram
Volume asam sulfat (0.1 M) untuk pengenceran	= 16.5 mL
Temperatur awal larutan ammonia	= 28.5 °C
Temperatur operasi pada larutan ammonia	= 34 °C

No	t (menit)	Konsentrasi amonia (ppm)
1	0	306.0
2	30	259.2
3	60	240.0
4	90	220.8

2. Studi perpindahan massa menggunakan larutan penyerap asam sulfat

Data pengamatan:

Laju alir larutan ammonia	= 4 L/menit
pH awal	= 5.80
pH akhir (penambahan NaOH)	= 10.02
Berat penimbangan ammonium sulfat	= 5.8240 gram
Volume asam sulfat (0.1 M) untuk pengenceran	= 16.5 mL
Temperatur awal larutan ammonia	= 28.5 °C
Temperatur operasi pada larutan ammonia	= 33 °C

No	t (menit)	Konsentrasi amonia (ppm)
1	0	304.8
2	30	285.6
3	60	242.4
4	90	223.2

3. Studi perpindahan massa menggunakan larutan penyerap asam sulfat

Data pengamatan:

Laju alir larutan ammonia	= 3 L/menit
pH awal	= 6.01
pH akhir (penambahan NaOH)	= 10.12
Berat penimbangan ammonium sulfat	= 5.8236 gram
Volume asam sulfat (0.1 M) untuk pengenceran	= 16.5 mL
Temperatur awal larutan ammonia	= 28.5 °C
Temperatur operasi pada larutan ammonia	= 34 °C

No	t (menit)	Konsentrasi amonia (ppm)
1	0	306.0
2	30	266.4
3	60	250.8
4	90	243.6

LAMPIRAN 2

CONTOH PERHITUNGAN

2.1 Perhitungan Koefisien Transfer Massa (KOV)

Perhitungan koefisien transfer massa dilakukan dengan data waktu pada selang waktu dari $t = 0$ menit sampai dengan $t = 90$ menit, rumus yang digunakan adalah sebagai berikut

$$Kov = \frac{\text{slope}}{A} \cdot V$$

Dimana V = volume larutan ammonia

$$A = \text{keliling dari membran} \quad A = nf \cdot df \cdot \Pi \cdot L$$

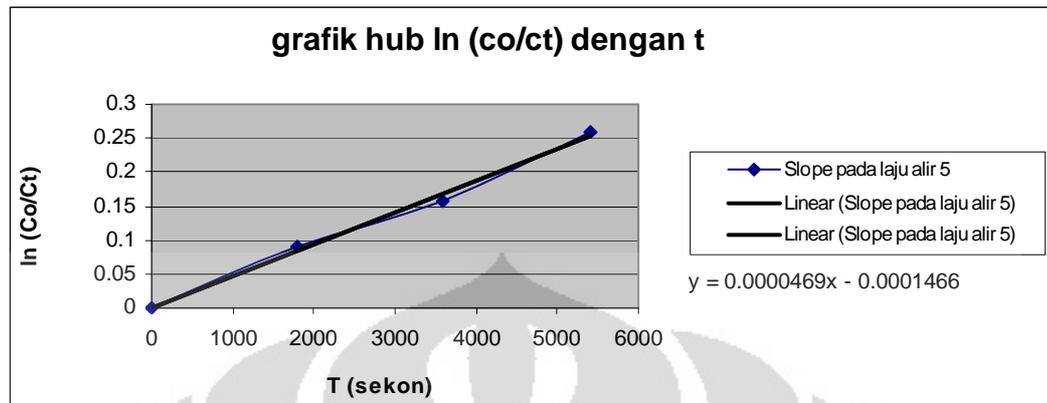
Dimana nf = jumlah membran

df = diameter membran

L = panjang membran

Slope diperoleh dari grafik hubungan waktu (menit) vs $\ln(Co/Ct)$

No	t (sekon)	Konsentrasi amonia (ppm)	$\ln(Co/Ct)$
1	60	295.2	0
2	120	270	0.900161
3	180	252	0.494696
4	240	228	0.207014



Perhitungan A: $0.27 \text{ cm} \times 10 \times (22/7) \times 40 \text{ cm} = 339.4285714 \text{ cm}^2$

Dari pengamatan untuk laju alir 5 L/menit maka diperoleh nilai KOV sebesar;

Contoh data perhitungan KOV

$$KOV = \frac{0.00005616 / s \times 5000 \text{ cm}^3}{339.42 \text{ cm}^2} = 0.00082 \text{ cm} / s$$

No	Q (L/menit)	Kov (mengkudu)
1	5	0.000690867
2	4	0.000265152
3	3	0.000176768

2.2 Perhitungan Fluks

perhitungan fluks dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\partial = \frac{\Delta C}{Am} \frac{V}{t}$$

Dimana ΔC = perbedaan kosentrasi awal dengan akhir

V = volume larutan ammonia

Am = luas selubung membran $A = nf \cdot df \cdot \Pi \cdot L$

t = waktu pengukuran

Contoh data untuk perhitungan fluks

$C_0 = 295.2 \text{ ppm}$

$$C_{\text{akhir}} = 228 \text{ ppm}$$

$$V = 5 \text{ Liter}$$

$$A_m = 339.2 \text{ cm}^2$$

$$T = 5400 \text{ s}$$

Perhitungan fluks untuk laju alir 5 L/menit

$$\partial = \frac{(295.2 - 228) \text{ mg/L} \times 5 \text{ L}}{339.42 \text{ cm}^2 \times 5400 \text{ s}} = 0.00018 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{s}$$

No	v (m/s)	fluks (mengkudu)	fluks (asam sulfat)
1	0.368138168	0.000183315	0.000232417
2	0.294510534	7.85634E-05	0.000222596
3	0.220882901	5.89226E-05	0.000170221

2.4 Studi Hidrodinamika

Studi hidrodinamika dicari dengan menggunakan rumus

$$f = \frac{d_e \Delta P}{2 L_f \cdot \rho \cdot v^2}$$

Dengan

d_e = diameter ekuivalen

ΔP = perbedaan tekanan dalam larutan ammonia

L_f = panjang membran

ρ = kerapatan larutan ammonia

v^2 = kecepatan larutan ammonia

Contoh data perhitungan

$$d_e = 0.0062 \text{ m}$$

$$\Delta P = 344.73 \text{ kg/m s}^2$$

$$L_f = 0.4 \text{ m}$$

$$\rho = 997 \text{ kg/m}^3$$

$$v^2 = 0.36 \text{ m/s}$$

$$f = \frac{0.006 \text{ m} \times 344.7379 \text{ kg} / \text{m} \text{ s}^2}{0.4 \text{ m} \times 2 \times 997 \text{ kg} / \text{m}^3 \times 0.135 \text{ m}^2 / \text{s}^2} = 0.0199$$

No	Q (L/menit)	Re	f modul
1	5	2582.91254	0.019973738
2	4	2066.330032	0.019973733
3	3	1549.747524	0.022193032

Karena aliran dalam membran merupakan aliran laminar maka untuk mencari friksi literature digunakan rumus

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

No	Q (L/menit)	Re	f literatur
1	5	2582.91254	0.006194557
2	4	2066.330032	0.007743197
3	3	1549.747524	0.010324262

Rasio friksi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut

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

No	Q (L/menit)	Re	f literatur	f modul	f rasio
1	5	2582.91254	0.006194557	0.019973738	3.224401
2	4	2066.330032	0.007743197	0.019973733	2.57952
3	3	1549.747524	0.010324262	0.022193032	2.1496