



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMANFAATAN PELARUT BAHAN ALAM DARI DAUN
MENGKUDU (*MORINDA CITRIFOLIA*) DALAM ABSORPSI CO₂
MELALUI KONTAKTOR MEMBRAN SERAT BERONGGA**

SKRIPSI

**MUHAMMAD HAIKAL NUR
0405060466**

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMANFAATAN PELARUT BAHAN ALAM DARI DAUN
MENGKUDU (*MORINDA CITRIFOLIA*) DALAM ABSORPSI CO₂
MELALUI KONTAKTOR MEMBRAN SERAT BERONGGA**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**MUHAMMAD HAIKAL NUR
0405060466**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
DEPOK
JUNI 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 : Muhammad Haikal Nur
NPM : 04 05 06 04 66

Tanda Tangan : 
Tanggal : 7 Juli 2009

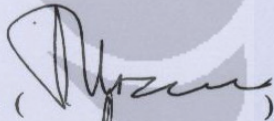
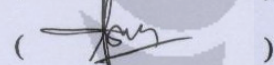
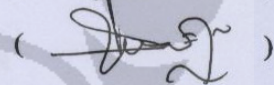
HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Muhammad Haikal Nur
NPM : 0405060466
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi :

PEMANFAATAN PELARUT BAHAN ALAM DARI BUAH MENKUDU (MORINDA CITRIFOLIA) DALAM ABSORPSI CO₂ MELALUI KONTAKTOR MEMBRAN SERAT BERONGGA

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	: Dr. Ir. Setijo Bismo, DEA	()
Penguji	: Ir. Eva F. Karamah, MT	()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 7 Juli 2009

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, dengan memanjatkan puji dan syukur penulis ke hadirat Allah SWT, karena berkat pertolongan-Nya, rahmat-Nya, serta hidayah-Nya, akhirnya skripsi ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Tak lupa teriring sholawat dan salam atas junjungan Rasulullah Muhammad SAW.

Penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya terutama kepada yang sangat penulis sayangi yaitu almarhum Bapak, Ibu, dan kakak serta seluruh keluarga besar Alm. H. Abdul Rachman Nur dan H. M. Darsono atas segala do'a, perhatian, kasih sayang, dan bantuannya.

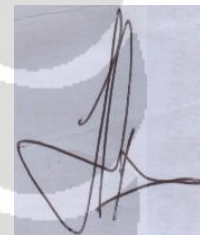
Tidak lupa penulis juga mengucapkan terima kasih kepada semua orang yang telah membantu penulis selama proses penulisan skripsi ini sehingga dapat terselesaikan dengan baik sesuai dengan yang diharapkan, yaitu kepada:

1. Bapak Ir. Sutrasno Kartohardjono, M.Sc., Ph.D. selaku pembimbing skripsi sekaligus pembimbing akademis atas arahan, saran, kesabaran, dan bantuannya yang sangat berarti.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Widodo Wahyu Purwanto, DEA selaku Ketua Departemen Teknik Kimia FTUI.
3. Bapak Dr. Ir. Setijo Bismo, DEA dan Ibu Ir. Eva Fathul Karamah, MT selaku penguji siding skripsi.
4. Para dosen dan karyawan Departemen Teknik Kimia FTUI, khususnya Mang Ijal, Mas Heri, Mas Eko, dan Mas Taufik, yang senantiasa menjadi tempat ngobrol dan curhat selama penelitian.
5. Dyah Ayu Prameshwari, yang selalu setia memberikan do'a, kenyamanan, perhatian, motivasi, semangat, cinta dan kasih sayang yang sangat besar kepada penulis.
6. Andri Krestianto sebagai rekan satu penelitian.
7. Teman-teman Teknik Kimia UI angkatan 2005 lainnya yang sama-sama telah melewati masa-masa indah dan sulit bersama selama 4 tahun ini.

8. Laskar Jihad PPA Aligma, yaitu Lulus, Gera, Tajudin, dan Eka, yang telah mengajarkan arti dari persahabatan yang sesungguhnya. Semoga rencana besar kita dalam menggapai Puncak Mahameru dapat tercapai. Amin!
9. Rekan-rekan Honda Tiger Mailing List Depok yang senantiasa memuaskan “dahaga” penulis akan *dunia motor* dan *touring*.
10. Semua pihak yang telah membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Terima kasih atas bantuan, pengorbanan, dan usaha yang telah diberikan.

Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat penulis harapkan untuk memperbaiki penulisan di masa yang akan mendatang.

Depok, 7 Juli 2009



Muhammad Haikal Nur

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Muhammad Haikal Nur
NPM : 0405060466
Program Studi : S1
Departemen : Teknik Kimia
Fakultas : Fakultas Teknik
Jenis Karya : Skripsi

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalti Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Pemanfaatan Pelarut Bahan Alam dari Daun Mengkudu (*Morinda citrifolia*) dalam Absorpsi CO₂ Melalui Kontaktor Membran Serat Berongga

Bersama 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 : 7 Juli 2009

Yang Menyatakan



Muhammad Haikal Nur

ABSTRAK

Nama : Muhammad Haikal Nur
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Pemanfaatan Pelarut Bahan Alam dari Daun Mengkudu (*Morinda citrifolia*) dalam Absorpsi CO₂ Melalui Kontaktor Membran Serat Berongga

Teknologi pemisahan CO₂ telah banyak dikembangkan melalui proses absorpsi, dimana salah satunya melalui kontaktor membran yang diharapkan berpotensi meningkatkan efisiensi energi dan volum serta mengurangi investasi dan menghindari berbagai kelemahan kolom absorpsi konvensional. Penelitian dilakukan dengan mengaplikasikan kontaktor membran serat berongga menggunakan larutan daun mengkudu (*Morinda citrifolia*) dengan dosis 10 gram, 50 gram, dan 100 gram per liter air. Efektifitas pelarut ini dievaluasi dari segi perpindahan massa dan hidrodinamika. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa nilai koefisien perpindahan massa meningkat seiring dengan meningkatnya laju alir pelarut dan menurunnya jumlah dosis dan jumlah serat di dalam kontaktor. Sedangkan dari segi hidrodinamika, peningkatan laju alir dan jumlah serat meningkatkan penurunan tekanan di dalam kontaktor membran.

Kata Kunci: Daun mengkudu, kontaktor membran serat berongga, perpindahan massa

ABSTRACT

Name : Muhammad Haikal Nur
Study Program : Chemical Engineering
Title : Utilisation of Natural Solvent from Leaves of Noni (*Morinda citrifolia*) in CO₂ Absorption Through Hollow Fiber Membrane Contactor

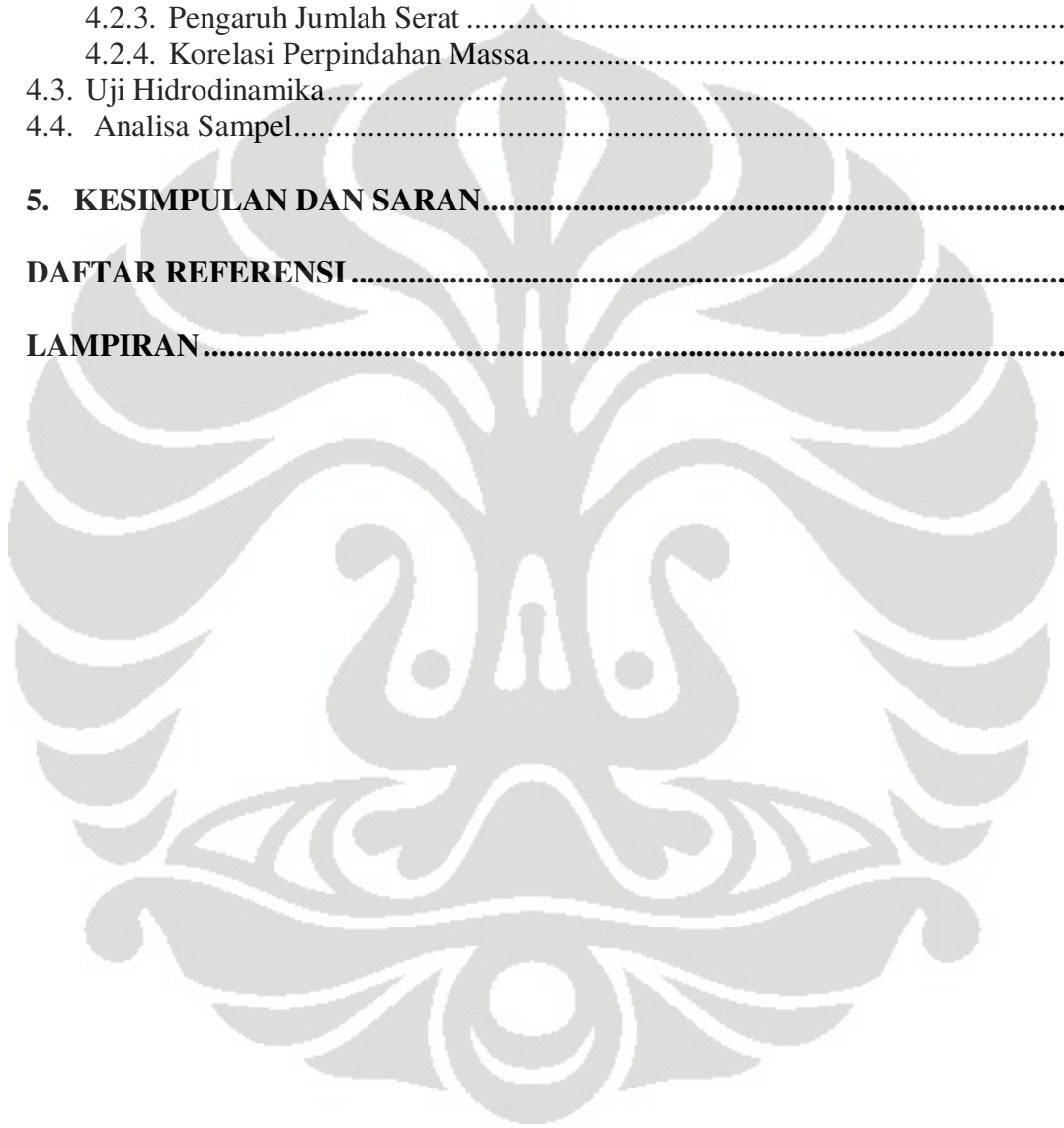
Technology of CO₂ separation has been applied through absorption process, which one of the process is through membrane contactor that is potentially expected to increase the efficiency of energy and volum and also decrease the investment and hinder any weaknesses in conventional absorption column. Study was carried out by applying hollow fiber membrane contactor using solvent from leaves of Noni (*Morinda citrifolia*) with doses of 10 gram, 50 gram, dan 100 gram per liter of water. This solvent's effectiveness was evaluated from the aspects of mass transfer and hydrodynamic. Result of the experiment shows that mass transfer coefficient increases with the increasing of solvent's flow rate and decreasing of doses and number of fiber in the contactor. In hydrodynamic aspect, the increase of solvent's flow rate will increase pressure drop in the contactor.

Keywords: Noni's leaves, hollow fiber membrane contactor, mass transfer

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR SIMBOL	xvi
1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian	5
1.4. Batasan Masalah	5
1.5. Sistematika Penulisan	6
2. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Mengkudu (<i>Morinda citrifolia</i>)	7
2.1.1 Kandungan Kimiawi Daun Mengkudu	8
2.2. Proses Absorpsi CO ₂	10
2.2.1 Proses Absorpsi CO ₂ Melalui Membran	11
2.3. Teknologi Membran	12
2.3.1 Membran Polipropilen	13
2.4. Kontaktor Membran	15
2.4.1 Kontaktor Membran Serat Berongga	15
2.5. Studi Perpindahan Massa pada Membran Serat Berongga	19
2.6. Studi Hidrodinamika Pelarut pada Membran Serat Berongga	21
3. METODE PENELITIAN	23
3.1. Pendahuluan	23
3.2. Metode Penelitian	23
3.3. Skema Alat	26
3.3.1 Peralatan dan Bahan Penelitian	27
3.4. Prosedur Penelitian	29
3.5. Kondisi Operasi	30
3.6. Pengolahan Data	30
3.6.1 Tabel Data Pengamatan	30
3.6.2 Menghitung Koefisien Perpindahan Massa	31
3.6.3 Membuat Korelasi Perpindahan Massa	33

3.6.4 Studi Hidrodinamika.....	34
4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1. Pendahuluan	35
4.2. Uji Perpindahan Massa	35
4.2.1. Perbandingan Jenis Pelarut	36
4.2.2. Perbandingan Laju Alir Pelarut.....	39
4.2.3. Pengaruh Jumlah Serat	42
4.2.4. Korelasi Perpindahan Massa.....	45
4.3. Uji Hidrodinamika.....	52
4.4. Analisa Sampel.....	56
5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	59
DAFTAR REFERENSI.....	61
LAMPIRAN.....	63



DAFTAR TABEL

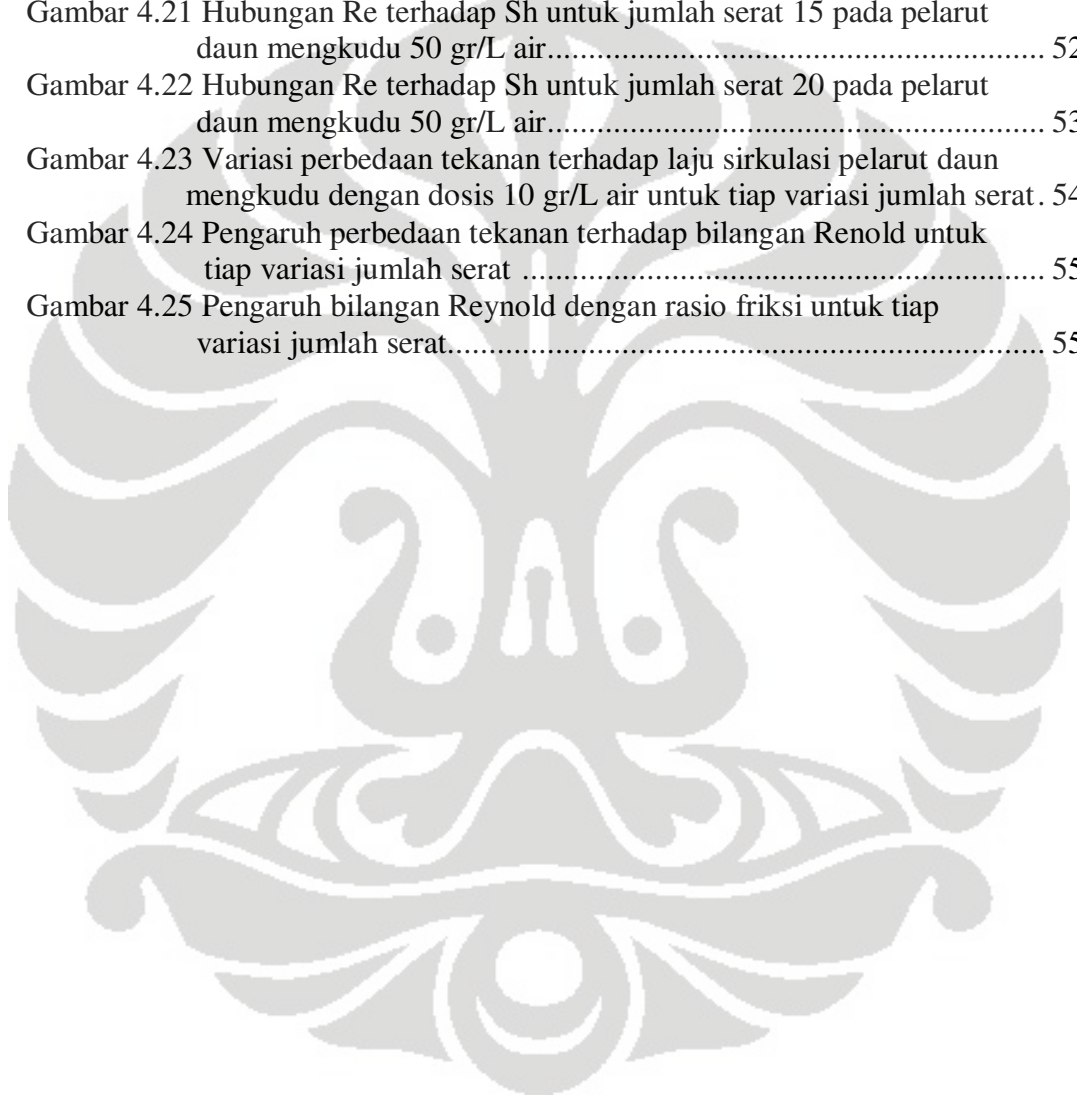
Tabel 2.1 Kandungan kimia di setiap bagian tanaman mengkudu (Djauhariya dan Rosman)	9
Tabel 2.2 Aplikasi kontaktor membran serat berongga (Kartohardjono, 2004) ...	19
Tabel 3.1 Tabel pengamatan uji perpindahan massa	31
Tabel 3.2 Tabel uji pengamatan uji hidrodinamika	31
Tabel 4.1 Nilai koefisien dan fraksi kepadatan membran untuk tiap jumlah serat pada pelarut daun mengkudu dengan dosis 10 gr/L air	49
Tabel 4.2 Nilai koefisien dan fraksi kepadatan membran untuk tiap jumlah serat pada pelarut daun mengkudu dengan dosis 50 gr/L air	49
Tabel 4.3 Kandungan senyawa dalam sampel daun mengkudu sebelum mengabsorp CO ₂ berdasarkan analisis GC/MS	57
Tabel 4.3 Kandungan senyawa dalam sampel daun mengkudu setelah mengabsorp CO ₂ berdasarkan analisis GC/MS	58



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gambar tanaman mengkudu(www.wikipedia.org)	7
Gambar 2.2 Struktur molekul Alizarin (www.wikipedia.org)	10
Gambar 2.3 Absorpsi CO ₂ oleh pelarut cair melalui membran berongga (Feron dan Jansen, 2002)	12
Gambar 2.4 Skema aliran pada modul membran (Li dan Chen, 2005)	13
Gambar 2.5 Struktur molekul polipropilen (www.wikipedia.org)	13
Gambar 2.6 Struktur polipropilen ataktik (www.wikipedia.org)	14
Gambar 2.7 Struktur polipropilen isotaktik (www.wikipedia.org)	14
Gambar 2.8 Kontaktor membran serat berongga (Gabelman dan Hwang, 1999). 16	
Gambar 2.9 Proses perpindahan massa pada kontaktor gas-cair (Dindore, 2006) 20	
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	24
Gambar 3.2 Skema alat penelitian	26
Gambar 4.1 Perbandingan jenis pelarut dalam absorpsi CO ₂ dengan jumlah serat 10 dan berbagai variasi laju alir pelarut.....	37
Gambar 4.2 Perbandingan jenis pelarut dalam absorpsi CO ₂ dengan jumlah serat 15 dan berbagai variasi laju alir pelarut.....	38
Gambar 4.3 Perbandingan jenis pelarut dalam absorpsi CO ₂ dengan jumlah serat 20 dan berbagai variasi laju alir pelarut.....	38
Gambar 4.4 Pengaruh jenis pelarut dalam absorpsi CO ₂ dengan jumlah Serat 10	40
Gambar 4.5 Pengaruh jenis pelarut dalam absorpsi CO ₂ dengan jumlah Serat 15	41
Gambar 4.6 Pengaruh jenis pelarut dalam absorpsi CO ₂ dengan jumlah Serat 20	41
Gambar 4.7 Pengaruh jumlah serat dalam absorpsi CO ₂ dengan pelarut air	43
Gambar 4.8 Pengaruh jumlah serat dalam absorpsi CO ₂ dengan pelarut daun Mengkudu dengan dosis 10 gr/L air	44
Gambar 4.9 Pengaruh jumlah serat dalam absorpsi CO ₂ dengan pelarut daun Mengkudu dengan dosis 50 gr/L air	44
Gambar 4.10 Hubungan bilangan Sherwood dan Reynold pada pelarut daun Mengkudu dengan dosis 10 gr/L air.....	46
Gambar 4.11 Hubungan bilangan Sherwood dan Reynold pada pelarut daun Mengkudu dengan dosis 50 gr/L air.....	46
Gambar 4.12 Hubungan bilangan Sherwood dan Reynold pada pelarut daun Mengkudu dengan dosis 100 gr/L air	46
Gambar 4.13 Hubungan bilangan Sherwood dan $Re^{b \text{ rata-rata}}$ pada pelarut daun Mengkudu dengan dosis 10 gr/L air.....	47
Gambar 4.14 Hubungan bilangan Sherwood dan $Re^{b \text{ rata-rata}}$ pada pelarut daun Mengkudu dengan dosis 50 gr/L air.....	48
Gambar 4.15 Fraksi kepadatan membran untuk tiap modul pada pelarut daun Mengkudu dengan dosis 10 gr/L air.....	49
Gambar 4.16 Fraksi kepadatan membran untuk tiap modul pada pelarut daun Mengkudu dengan dosis 50 gr/L air.....	50

Gambar 4.17 Hubungan Re terhadap Sh untuk jumlah serat 10 pada pelarut daun mengkudu 10 gr/L air.....	51
Gambar 4.18 Hubungan Re terhadap Sh untuk jumlah serat 15 pada pelarut daun mengkudu 10 gr/L air.....	51
Gambar 4.19 Hubungan Re terhadap Sh untuk jumlah serat 20 pada pelarut daun mengkudu 10 gr/L air.....	51
Gambar 4.20 Hubungan Re terhadap Sh untuk jumlah serat 10 pada pelarut daun mengkudu 50 gr/L air.....	51
Gambar 4.21 Hubungan Re terhadap Sh untuk jumlah serat 15 pada pelarut daun mengkudu 50 gr/L air.....	52
Gambar 4.22 Hubungan Re terhadap Sh untuk jumlah serat 20 pada pelarut daun mengkudu 50 gr/L air.....	53
Gambar 4.23 Variasi perbedaan tekanan terhadap laju sirkulasi pelarut daun mengkudu dengan dosis 10 gr/L air untuk tiap variasi jumlah serat.	54
Gambar 4.24 Pengaruh perbedaan tekanan terhadap bilangan Reynold untuk tiap variasi jumlah serat	55
Gambar 4.25 Pengaruh bilangan Reynold dengan rasio friksi untuk tiap variasi jumlah serat.....	55



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Hasil Penelitian.....	63
1.1 Studi Perpindahan Massa Menggunakan Pelarut Air	63
1.1.1 Data Perpindahan Massa Menggunakan Pelarut Air Dengan Jumlah Serat 10.....	63
1.1.2 Data Perpindahan Massa Menggunakan Pelarut Air Dengan Jumlah Serat 15	63
1.1.3 Data Perpindahan Massa Menggunakan Pelarut Air Dengan Jumlah Serat 20.....	64
1.2 Studi Perpindahan Massa Menggunakan Pelarut Daun Mengkudu dengan Dosis 10 gr/L Air	64
1.2.1 Data Perpindahan Massa Menggunakan Pelarut Daun Mengkudu dengan Dosis 10 gr/L Air dengan Jumlah Serat 10.....	64
1.2.2 Data Perpindahan Massa Menggunakan Pelarut Buah Mengkudu dengan Dosis 10 gr/L Air dengan Jumlah Serat 15.....	65
1.2.3 Data Perpindahan Massa Menggunakan Pelarut Buah Mengkudu dengan Dosis 10 gr/L Air dengan Jumlah Serat 20.....	66
1.3 Studi Perpindahan Massa Menggunakan Pelarut Daun Mengkudu dengan Dosis 50 gr/L Air	66
1.3.1 Data Perpindahan Massa Menggunakan Pelarut Daun Mengkudu dengan Dosis 50 gr/L Air dengan Jumlah Serat 10.....	66
1.3.2 Data Perpindahan Massa Menggunakan Pelarut Buah Mengkudu dengan Dosis 50 gr/L Air dengan Jumlah Serat 15.....	67
1.3.3 Data Perpindahan Massa Menggunakan Pelarut Buah Mengkudu dengan Dosis 50 gr/L Air dengan Jumlah Serat 20.....	67
1.4 Studi Perpindahan Massa Menggunakan Pelarut Daun Mengkudu dengan Dosis 100 gr/L Air	68
1.4.1 Data Perpindahan Massa Menggunakan Pelarut Daun Mengkudu dengan Dosis 10 gr/L Air dengan Jumlah Serat 10.....	68
1.5 Studi Hidrodinamika Menggunakan Pelarut Daun Mengkudu dengan Dosis 10 gr/L Air.....	69
1.5.1 Data Hidrodinamika Menggunakan Pelarut Daun Mengkudu dengan Dosis 10 gr/L Air dengan Jumlah Serat 10.....	69
1.5.2 Data Hidrodinamika Menggunakan Pelarut Buah Mengkudu dengan Dosis 10 gr/L Air dengan Jumlah Serat 15.....	69
1.5.3 Data Hidrodinamika Menggunakan Pelarut Buah Mengkudu dengan Dosis 10 gr/L Air dengan Jumlah Serat 20.....	69
Lampiran 2 Contoh Perhitungan.....	70

2.1 Perhitungan Koefisien Perpindahan Massa.....	70
2.2 Perhitungan Bilangan Reynolds dan Bilangan Sherwood	71
2.3 Perhitungan Hidrodinamika	72
Lampiran 3 Data Hasil Perhitungan.....	74
3.1 Hasil Perpindahan Massa Untuk Modul 10 Serat.....	74
3.1.1 Pelarut Air.....	74
3.1.2 Pelarut Daun Mengkudu dengan Dosis 10 gr/L Air.....	74
3.1.3 Pelarut Daun Mengkudu dengan Dosis 50 gr/L Air.....	74
3.1.4 Pelarut Daun Mengkudu dengan Dosis 100 gr/L Air.....	74
3.2 Hasil Perpindahan Massa Untuk Modul 15 Serat.....	75
3.2.1 Pelarut Air.....	75
3.2.2 Pelarut Daun Mengkudu dengan Dosis 10 gr/L Air.....	75
3.2.3 Pelarut Daun Mengkudu dengan Dosis 50 gr/L Air.....	76
3.3 Hasil Perpindahan Massa Untuk Modul 20 Serat.....	76
3.3.1 Pelarut Air.....	76
3.3.2 Pelarut Daun Mengkudu dengan Dosis 10 gr/L Air.....	76
3.3.3 Pelarut Daun Mengkudu dengan Dosis 50 gr/L Air.....	76
3.4 Hasil Hidrodinamika Pelarut Daun Mengkudu dengan Dosis 10 gr/L Air untuk Modul 10 Serat	77
3.5 Hasil Hidrodinamika Pelarut Daun Mengkudu dengan Dosis 10 gr/L Air untuk Modul 15 Serat	77
3.6 Hasil Hidrodinamika Pelarut Daun Mengkudu dengan Dosis 10 gr/L Air untuk Modul 20 Serat	77
Lampiran 4 Data Hasil Analisis GC/MS.....	78
4.1 Analisis GC/MS untuk Sampel Daun Mengkudu Sebelum Mengabsorp CO ₂	78
4.2 Analisis GC/MS untuk Sampel Daun Mengkudu Setelah Mengabsorp CO ₂	91

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;k _G	Koefisien perpindahan massa	m/s
L _f ;L	Panjang serat/modul	m
n;n _{fiber}	Jumlah serat dalam modul	-
Q _G	Laju volumetrik gas	cc/menit
Re	Bilangan Reynolds	-
Sc	Bilangan Schmidt	-
Sh	Bilangan Sherwood	-
v _L	Kecepatan linier	m/s
T'	Temperatur standar	K
ΔC	Perubahan konsentrasi CO ₂	mol/L
ΔP	Perubahan tekanan	Pa
μ	Viskositas	poise
ρ	Densitas air	kg/m ³
ε	Fraksi kekosongan	-
φ	Fraksi kepadatan membran	-

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di lingkungan, gas karbon dioksida (CO_2) yang merupakan salah satu gas rumah kaca telah menjadi kontributor utama terhadap pemanasan global, dimana setengah dari emisi CO_2 di udara diproduksi oleh industri dan *power plant* yang menggunakan bahan bakar fosil (Al-Marzouqi, 2007). Selain itu, keberadaan CO_2 dalam proses pengolahan gas alam (*natural gas*) sangat merugikan. Hal tersebut dikarenakan CO_2 bersifat asam dan jika bereaksi dengan air dapat membentuk senyawa asam kuat, yaitu asam karbonat (H_2CO_3), dimana senyawa ini menyebabkan korosi pada sistem perpipaan gas. CO_2 juga harus dihilangkan dalam proses pembuatan LNG agar tidak terjadi pembekuan CO_2 pada temperatur kriogenik yang dapat mengganggu proses (Atchariyawut, 2007).

Proses penghilangan kadar CO_2 secara konvensional adalah dengan menggunakan kolom absorpsi seperti *packed tower*, *spray tower*, *venturi scrubber*, dan *bubble column*, yang berdasarkan pada reaksi yang terjadi antara CO_2 dengan larutan amina dan garam logam alkali sebagai absorben (Dindore, Bilman, Feron, Versteeg, 2004). Akan tetapi, kolom konvensional ini memiliki beberapa kelemahan diantaranya konsumsi energi yang cukup besar dan memiliki hambatan untuk dioperasikan karena sering muncul masalah seperti *flooding*, *unloading*, *channeling*, *foaming*, dan *entrainment* (Al-Marzouqi, 2007).

Teknologi pemisahan yang saat ini sedang berkembang untuk mengatasi permasalahan yang ada pada kolom konvensional adalah teknologi kontakor membran. Dalam pemisahan gas, membran telah banyak digunakan untuk dehidrasi gas alam dan penghilangan gas asam dari gas alam (*sweetening*). Kontakor membran memiliki beberapa kelebihan dibandingkan kolom konvensional. Jika dilihat dari luas permukaan kontak, membran memiliki luas permukaan yang lebih besar dibandingkan kolom konvensional. Jika kolom absorber dengan jenis *packed column* memiliki luas permukaan $30\text{-}300\text{ m}^2/\text{m}^3$, maka kontakor membran dapat mencapai $1.600\text{-}6.600\text{ m}^2/\text{m}^3$,

bahkan kontaktor membran serat berongga (*hollow fiber membrane*) memiliki luas permukaan yang jauh lebih besar, yaitu di atas $33.000 \text{ m}^2/\text{m}^3$ (<http://www.cheresources.com>, 2008). Kelebihan lainnya dari penggunaan kontaktor membran serat berongga adalah (Li dan Chen, 2005):

1. Fleksibel dalam proses operasional. Hal tersebut dikarenakan laju alir gas dan cairan dapat divariasikan secara bebas sehingga berbagai kendala dalam proses operasional membran seperti *flooding*, *unloading*, dan *foaming* dapat dicegah.
2. Lebih ekonomis karena konsumsi energi yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan kolom konvensional.
3. *Hold up* pelarutnya rendah, sangat efisien untuk pelarut yang mahal.
4. *Scale-up* mudah dilakukan karena modul membran fleksibel untuk disusun.
5. Mudah untuk memprediksi kinerja kontaktor membran karena wilayah *interfacial* konstan dan tidak bergantung pada kondisi operasi seperti suhu dan tekanan.

Namun kelemahan yang sering dialami dalam teknologi membran adalah terjadinya *fouling* (tertutupnya permukaan membran karena adanya polarisasi konsentrasi) yang dapat mengurangi efisiensi dan umur operasi membran sehingga biaya periodik penggantian membran juga harus diperhitungkan (Gabelman dan Hwang, 1999).

Membran yang digunakan sebagai kontaktor gas-cair dalam penelitian ini merupakan membran serat berongga (*hollow fiber membrane*), yang terbuat dari polipropilen. Membran polipropilen bersifat hidrofobik agar air tidak membasahi membran saat terjadi proses kontak. Prinsip dasar sistem membran sebagai kontaktor adalah tidak terjadi dispersi dari satu fasa ke fasa lainnya atau tidak terjadi kontak langsung antara kedua fasa. Pelarut dialirkan pada sisi membran sedangkan fluida yang memiliki komponen yang akan dihilangkan dialirkan pada sisi membran lainnya. Perpindahan massa terjadi dikarenakan adanya gaya pendorong (*driving force*) seperti perbedaan konsentrasi dan tekanan.

Pelarut yang digunakan dalam operasi membran serat berongga bermacam-macam, seperti air dan senyawa kimia. Penelitian kali ini dilakukan dengan menggunakan pelarut alam, yaitu pelarut yang berasal dari daun tanaman mengkudu (*Morinda citrifolia*). Pemilihan pelarut bahan alam tersebut dikarenakan berbagai pertimbangan, diantaranya karena memenuhi kriteria pelarut dalam operasi membran serat berongga, yaitu (Li dan Chen, 2005):

1. Bersifat reaktif terhadap CO₂

Tingkat kereaktifan suatu pelarut dengan CO₂ dapat dilihat pada nilai laju absorpsi. Walaupun daun mengkudu belum pernah diuji sebelumnya untuk mengetahui kereaktifannya dengan CO₂, namun berdasarkan literatur, dengan adanya senyawa-senyawa alkohol dan fenol yang terkandung dalam daun mengkudu, diharapkan senyawa tersebut dapat bereaksi dengan CO₂.

2. Tegangan permukaan

Pelarut dengan tegangan permukaan yang rendah memiliki kecenderungan untuk meresap ke dalam pori-pori membran sehingga membran akan terbasahi (*wetted*). Idealnya pelarut tidak dapat membasahi membran (*non-wetted*) dimana pori-pori membran masih terisi oleh gas meskipun pada tekanan pelarut yang tinggi. Hambatan perpindahan massa pada kondisi *non-wetted* lebih kecil dibandingkan pada kondisi *wetted* sehingga kondisi *non-wetted* akan memiliki laju perpindahan massa yang lebih besar daripada kondisi *wetted*.

Larutan yang digunakan berasal dari daun mengkudu dan air, dimana komposisi air lebih besar daripada mengkudu sehingga sebagian besar komponen pelarut adalah air. Air memiliki tegangan permukaan yang tinggi, sehingga cenderung tidak akan membasahi membran. Oleh karena itu pelarut daun mengkudu diharapkan dapat digunakan sebagai absorben.

3. Kesesuaian sifat kimia pelarut dengan material membran.

Kesesuaian sifat kimia pelarut merupakan faktor penting yang menentukan stabilitas dan umur pemakaian dari modul membran. Membran

polipropilen akan cepat rusak jika kondisi pelarutnya terlalu asam atau basa. Pelarut daun mengkudu memiliki pH sekitar 5,65 – 4,45 sehingga tidak bersifat destruktif terhadap material membran.

4. Tekanan uap rendah dan stabilitas termal yang baik.

Jika pelarut bersifat *volatile* maka uapnya akan mengisi pori-pori membran dan masuk ke dalam fasa gas sehingga dapat meningkatkan hambatan perpindahan massa total. Hal itu menyebabkan pelarut dengan tekanan uap yang rendah lebih disukai. Selain itu, pelarut juga harus memiliki kestabilan secara termal dan kimiawi yang baik pada temperatur yang tinggi sehingga tidak mudah terdegradasi akibat suhu tinggi. Pelarut daun mengkudu dimana sebagian besar komponennya adalah air memiliki tekanan uap yang rendah sehingga tidak mudah menguap dan diharapkan cocok untuk digunakan sebagai absorben.

Pertimbangan lainnya adalah karena jumlah tanaman mengkudu yang melimpah di alam, sehingga dapat dibuat dengan mudah dan murah. Pelarut daun mengkudu juga tergolong pelarut bahan alam yang ramah lingkungan sehingga aman digunakan dalam pengaplikasiannya.

Dalam penelitian kali ini akan dilihat karakteristik absorpsi CO₂ dalam larutan daun mengkudu (*Morinda citrifolia*) baik dari segi hidrodinamika maupun segi perpindahan massa. Penelitian yang mencari tahu potensi daun mengkudu dalam mengabsorpsi CO₂ belum pernah dilakukan sebelumnya, namun penelitian ini mengacu pada sifat-sifat pelarut daun mengkudu yang sesuai dengan hipotesis yang dilakukan oleh Li dan Chen (1995) mengenai kriteria pelarut dalam operasi membran serat berongga. Cara ini merupakan metode yang sangat menjanjikan untuk mengabsorpsi CO₂, terutama karena sifatnya yang ramah lingkungan dan jumlahnya yang melimpah di alam.

1.2 Rumusan Masalah

Penggunaan membran sebagai kontaktor gas-cair merupakan salah satu teknologi yang saat ini sedang dikembangkan dalam proses absorpsi CO₂ di industri dan masih

terbilang baru jika dibandingkan dengan teknologi absorpsi konvensional lainnya. Selain itu, penggunaan pelarut alam yang ramah lingkungan dan jumlahnya melimpah di alam sebagai absorben melalui modul membran serat berongga juga merupakan inovasi baru sebagai pengganti pelarut kimia dan fisika dalam proses absorpsi.

Dalam penelitian kali ini akan dipelajari mengenai kemampuan pelarut daun mengkudu (*Morinda citrifolia*) sebagai absorben CO₂ dengan menggunakan kontaktor membran serat berongga ditinjau dari efektivitasnya dengan melihat pengaruh laju alir pelarut serta variasi jumlah serat dalam kontaktor. Selain itu juga akan diamati perubahan komposisi kimiawi pelarut sebelum dan sesudah mengabsorp CO₂ sehingga diketahui komponen apa yang bereaksi dengan CO₂.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui potensi daun mengkudu sebagai absorben CO₂ melalui membran serat berongga.
2. Melihat efektifitas modul membran serat berongga dalam proses absorpsi CO₂ dengan menggunakan larutan daun mengkudu (*Morinda citrifolia*), ditinjau dari segi hidrodinamika dan laju perpindahan massa.
3. Mengevaluasi pengaruh laju alir pelarut dan variasi jumlah serat terhadap hidrodinamika dan perpindahan massa dalam proses absorpsi CO₂ oleh larutan daun mengkudu melalui kontaktor membran serat berongga.

1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, ada beberapa batasan masalah yang digunakan, yaitu:

1. Modul membran yang digunakan terbuat dari polipropilen dengan konfigurasi kontaktor membran serat berongga.
2. Menggunakan air dan larutan daun mengkudu dalam mengabsorp CO₂ murni.
3. Daun mengkudu yang digunakan adalah daun mengkudu yang masih segar.
4. Variabel tetap dalam penelitian ini adalah konsentrasi dan tekanan CO₂ murni, diameter membran, panjang modul, serta diameter selongsong modul.

5. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah laju alir air dan pelarut daun mengkudu serta jumlah serat di dalam kontaktor.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang dilakukan dalam penulisan skripsi ini adalah:

BAB 1 Pendahuluan

Berisi latar belakang, rumusan masalah penelitian, tujuan penelitian, batasan masalah yang digunakan, dan sistematika penulisan.

BAB 2 Tinjauan Pustaka

Berisi teori dasar penelitian yang digunakan untuk menjelaskan masalah.

BAB 3 Metode Penelitian

Berisi tentang metode yang digunakan dalam penelitian ini.

BAB 4 Hasil dan Pembahasan

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

BAB 5 Kesimpulan dan Saran

Berisi kesimpulan dan saran dari analisis dan pembahasan hasil penelitian.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mengkudu (*Morinda citrifolia*)

Mengkudu (*Morinda citrifolia*) merupakan tanaman asli Indonesia yang termasuk ke dalam suku *Rubiaceae*. Mengkudu banyak terdapat di dataran rendah sampai 500 m di atas permukaan laut, terutama yang beriklim panas dan lembab. Mengkudu memiliki ciri-ciri berdaun lebar dan berbentuk lonjong; berbunga besar, tunggal, berwarna putih, dan berbau harum; berbuah majemuk, berwarna putih keruh dan kehijauan bila masak. Pemiakan mengkudu dilakukan dengan biji dan berbuah setelah 4 – 5 tahun. Morfologi tanaman mengkudu dapat dilihat pada Gambar 2.1 di bawah ini:



Gambar 2.1 Gambar tanaman mengkudu (www.wikipedia.org)

Mengkudu merupakan tanaman ”dewa” karena bersifat serba guna pada seluruh bagian pohonnya (baik buah, daun, batang, maupun akar) sehingga memiliki nilai ekonomis. 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, dan dapat mengetahui kandungan zat-zat antikanker (*damnacanthal*). Masih banyak khasiat mengkudu lainnya dalam bidang kesehatan.

2. Zat pewarna

Daun mengkudu mengandung zat pewarna merah, yang disebut *morindon* dan *morindin*.

Kelebihan lainnya dari tanaman mengkudu sehingga berpotensi dijadikan absorben CO₂ adalah sebagai berikut:

1. Jumlahnya melimpah sehingga mudah didapat.
2. Bersifat ramah lingkungan karena merupakan pelarut alami.
3. Tidak korosif seperti halnya pelarut amine.
4. Harganya jauh lebih murah dibandingkan harga pelarut kimiawi komersial seperti MEA, DEA, dan MDEA.

2.1.1 Kandungan Kimiawi Daun Mengkudu

Di dalam tanaman mengkudu terdapat zat-zat yang berkaitan dengan kesehatan dan telah dibuktikan hanya terdapat di tanaman ini. Mengkudu mengandung berbagai macam vitamin, mineral, enzim alkaloid, ko-faktor, dan sterol tumbuhan yang terbentuk secara alamiah.

Tabel 2.1 di bawah ini menunjukkan kandungan kimiawi yang dimiliki oleh setiap bagian tanaman mengkudu:

Tabel 2.1 Kandungan kimiawi mengkudu (Djauhariya dan Rosman)

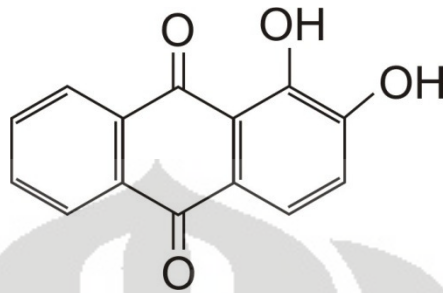
Bagian tanaman	Kandungan kimia
Pada seluruh bagian	<i>Alizarin, alizarin-alfa-metil eter, antraquinon, asperulosida, asam hexanoat, morindadiol, morindon, morindogenin, asam oktanoat, asam ursolat,</i>
Daun	Asam amino (<i>alanin, arginin, asam aspartat, sistein, sistin, glisin, asam glutamat, histidin, 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-metil-antraquinon-1-o-beta-rammosil-glukopiranosida, acasetin-7-o-beta-d(+)-glukopiranosida</i>
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, nordamachantal, 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>Antraegalol-2. 3-dimetil eter</i>

Dan berikut merupakan penjelasan singkat mengenai kandungan kimiawi dari beberapa senyawa yang terdapat di bagian daun mengkudu:

1. Alizarin

Alizarin merupakan senyawa kimia alami yang memiliki pigmen berwarna merah, dimana senyawa tersebut dapat dibuat dari antraquinon (9,10-

dioxoanthracene). Rumus bangun alizarin dapat dilihat pada Gambar 2.2 di bawah ini:



Gambar 2.2 Struktur molekul alizarin (www.wikipedia.org)

2. Klororubin, morindadiol, morindanigrin, morindin, morindon
Senyawa-senyawa ini merupakan zat pewarna alami yang ada pada kulit batang mengkudu. Morindin dan morindon merupakan zat pewarna merah.
3. Glikosida (Pentosa dan Hexosa)
Pentosa dan hexosa merupakan senyawa kimia organik yang biasa terdapat dalam buah dan tanaman. Pentosa memiliki rumus molekul $C_5H_{10}O_5$, sedangkan heksosa memiliki rumus molekul $C_6H_{12}O_6$.

Dari senyawa-senyawa yang terdapat dalam daun mengkudu, diketahui bahwa sebagian besar senyawa yang terkandung di dalamnya berupa senyawa alkohol dan fenol. Senyawa fenol dan alkohol memiliki gugus fungsi berupa hidroksil (-OH). Di satu sisi, senyawa yang memiliki gugus fungsi -OH seperti NaOH sudah terbukti dapat mengabsorpsi gas CO_2 , sehingga diharapkan senyawa-senyawa yang terkandung dalam daun mengkudu yang mengandung gugus fungsi -OH juga dapat mengabsorpsi CO_2 secara kimia.

2.2 Proses Absorpsi CO_2

Proses absorpsi adalah proses perpindahan massa yang melibatkan satu zat atau lebih dari fasa gas ke fasa cair dan dipengaruhi oleh difusi. Laju difusi yang terjadi secara langsung dipengaruhi oleh perbedaan konsentrasi zat antara fasa gas dengan fasa cair.

Pada dasarnya absorpsi dibagi menjadi dua jenis, yaitu absorpsi fisika dan absorpsi kimia. Absorpsi fisika terjadi jika reaksi pada saat proses absorpsi berlangsung tidak mempengaruhi laju absorpsi secara signifikan, sehingga proses yang terjadi hanya secara fisika. Laju absorpsi pada proses absorpsi fisika dipengaruhi oleh difusibilitas dan solubilitas fasa gas yang terlarut ke dalam fasa cair. Contoh absorpsi fisika adalah peristiwa absorpsi CO₂ oleh air, dimana absorben air akan mengabsorpsi CO₂ melalui suatu penghalang yaitu membran yang berfungsi sebagai pembatas. CO₂ akan berpindah secara difusi ke dalam air tanpa terjadi reaksi kimia, sesuai persamaan berikut:

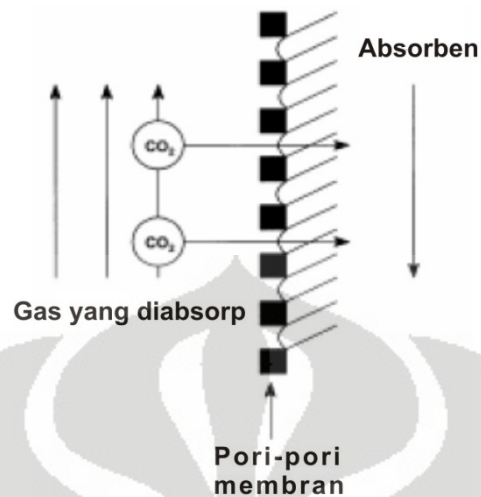


Sementara itu, absorpsi kimia berlangsung jika terjadi reaksi kimia yang mempengaruhi laju absorpsi secara signifikan. Laju absorpsi pada absorpsi kimia dipengaruhi oleh reaksi kimia. Contoh absorpsi kimia adalah peristiwa absorpsi CO₂ oleh NaOH, dimana akan terjadi reaksi kimia antara CO₂ yang bersifat asam dan NaOH yang bersifat basa. Jumlah komponen yang diabsorpsi pada proses absorpsi kimia lebih besar dibandingkan absorpsi fisik.



2.2.1 Proses Absorpsi CO₂ melalui Membran

Absorpsi gas CO₂ menggunakan membran didasarkan pada kontak antara fasa gas dengan fasa cair melalui membran mikropori yang bersifat hidrofobik. Membran tersebut menjadi lapisan penghalang antara fasa gas dan fasa cair sehingga proses perpindahan massa terjadi dengan tidak disertai dispersi antarfasa. Dinding membran hidrofobik berfungsi untuk memisahkan fasa gas dengan fasa cair sehingga komponen gas akan berdifusi melalui pori membran dan bagian membran lainnya lalu akan terabsorpsi ke dalam fasa cair. Dalam proses ini, tekanan fasa cair harus lebih besar dari fasa gas untuk mencegah terjadinya dispersi gelembung-gelembung gas ke dalam cairan. Proses absorpsi CO₂ melalui membran serat berongga dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Absorpsi CO₂ oleh pelarut cair melalui membran berongga (Feron dan Jansen, 2002)

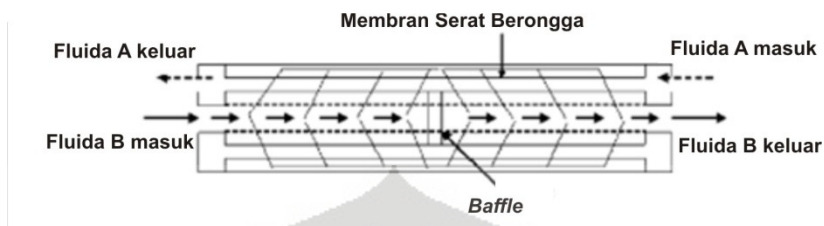
2.3 Teknologi Membran

Definisi membran secara umum adalah suatu penghalang selektif di antara dua fasa, dimana suatu spesi molekul dapat melalui membran sedangkan spesi molekul lainnya tidak. Hal tersebut dikarenakan adanya perbedaan ukuran pori membran, sifat molekul tersebut, maupun sifat membran itu sendiri (Mulder, 1997). Dimana skema alirannya dapat dilihat pada Gambar 2.4. Laju perpindahan massa pada membran ditentukan oleh permeabilitasnya di dalam membran dan gaya pendorong (*driving force*) yang bekerja pada molekul tersebut, yang dapat berupa perbedaan tekanan, konsentrasi, temperatur di antara fluida pada membran, dan potensial listrik antara larutan pada bagian luar membran dengan larutan yang berada pada bagian dalam membran.

Pada fasa cair, konsentrasi CO₂ terlarut akan mengalami penurunan drastis karena adanya tahanan pada cairan tersebut. Pada membran dan fasa gas, penurunan konsentrasi CO₂ jauh lebih kecil dikarenakan adanya dua tahanan pada membran, yaitu tahanan gas yang berada di mulut pori membran dan tahanan membran itu sendiri. Sementara itu pada fasa gas terdapat tahanan pada fasa gas.

Besarnya laju perpindahan massa yang terjadi sebanding dengan besarnya gaya penggerak yang ada. Permeabilitas membran ditentukan oleh konsentrasi dan mobilitas komponen dalam struktur membran. Ketebalan suatu membran juga mempengaruhi

tingkat permeabilitas membran. Semakin tebal membran maka tahanan terhadap perpindahan massanya semakin besar, sehingga laju permealannya akan semakin rendah.

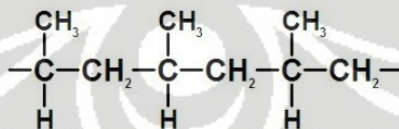


Gambar 2.4 Skema aliran pada modul membran (Li dan Chen, 2005)

2.3.1 Membran Polipropilen

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

Pada penelitian kali ini membran yang digunakan adalah membran sintetik yang terbuat dari salah satu jenis polimer, yaitu polipropilen. Penggunaan polipropilen sebagai membran pada penelitian ini berdasarkan pada sifat hidrofobik yang dimilikinya sehingga air tidak bisa membasahi membran secara spontan (Mulder, 1997). Polipropilen memiliki titik leleh yang cukup tinggi, yaitu 160°C (320°F), yang menyebabkannya memiliki stabilitas termal yang baik. Struktur molekul polipropilen dapat dilihat pada Gambar 2.5.

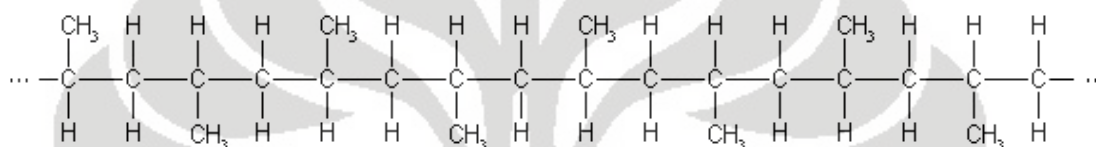


Gambar 2.5 Struktur molekul polipropilen (www.wikipedia.org)

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

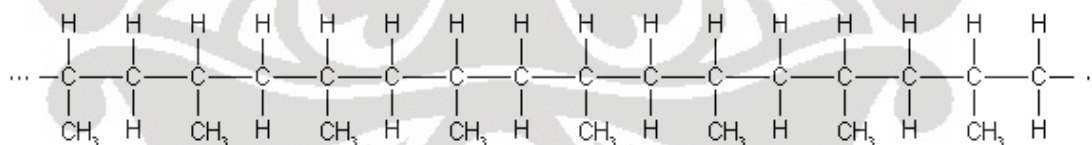
menggunakan polimerisasi Ziegler-Natta maka akan menghasilkan polipropilen isotaktik. Sebagian besar polimer komersial yang beredar di pasaran merupakan polimer isotaktik.

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



Gambar 2.6 Struktur molekul polipropilen ataktik (www.wikipedia.org)

Polipropilen isotaktik, seperti yang terlihat pada Gambar 2.7, memiliki karakteristik yang kuat dikarenakan memiliki bentuk kristal. Akan tetapi, gugus metil pada sisi samping polipropilen dapat mempengaruhi beberapa aspek kimia seperti karbon tersier yang menyebabkan polipropilen menjadi kurang stabil jika terdapat oksigen karena mudah teroksidasi, sehingga perbedaan susunan rantai pada polipropilen akan mempengaruhi karakteristik dari polipropilen itu sendiri.



Gambar 2.7 Struktur molekul polipropilen isotaktik (www.wikipedia.org)

Sifat-sifat dari polipropilen isotaktik diantaranya:

1. Memiliki densitas yang lebih kecil ($0,9 \text{ gr/cm}^3$).
2. Mempunyai *softening point* yang lebih tinggi dan dapat dipakai pada suhu tinggi.

3. Polipropilen terhindar dari proses *cracking* oleh lingkungan, kecuali jika terdapat sulfur dan asam kromat.
4. Memiliki tingkat kekuatan yang tinggi.

2.4 Kontaktor Membran

Kontaktor membran efektif untuk memisahkan atau menambahkan gas ke dalam air. Dengan desain kontaktor yang baik maka koefisien perpindahan massa dapat dioptimalkan. Fungsi utama dari kontaktor membran yaitu:

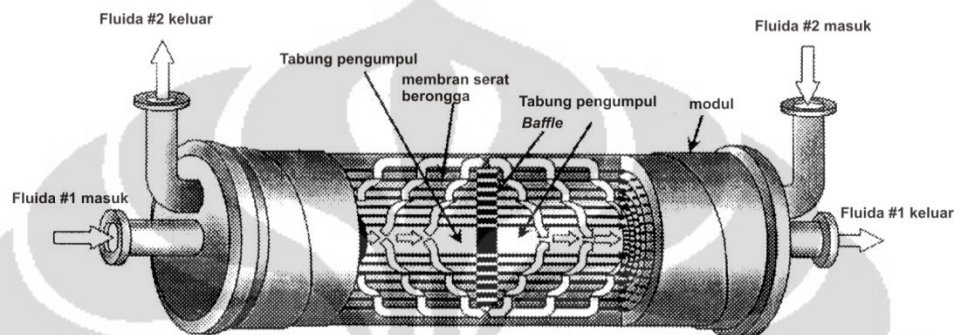
1. Membuat fasa gas-cair tidak bergerak di dalam permukaan *porous membrane* karena efek kombinasi tegangan permukaan dan adanya perbedaan tekanan.
2. Memperbesar luas permukaan kontak dengan membran yang sama sehingga perpindahan massanya menjadi besar.

Proses pemisahan ditentukan dari koefisien distribusi komponen dalam dua fasa. Peran membran disini adalah sebagai alat penghubung (kontaktor). Secara umum membran tidak meningkatkan perpindahan massa tapi meningkatkan luas area per volume. *Packed and tray column* diketahui memiliki luas area per volume sekitar 30-300 m²/m³. Dengan menggunakan kontaktor membran, maka luas area per volumenya dapat mencapai 1600 – 6600 m²/m³. Keuntungan lain dari penggunaan kontaktor membran adalah dapat menghindari gangguan yang biasa terjadi di kolom absorpsi konvensional, seperti *flooding* dan *unloading* serta fasa yang terdispersi (<http://www.cheresources.com>, 2008).

2.4.1 Kontaktor Membran Serat Berongga (Hollow Fiber Membrane Contactor)

Kontaktor membran serat berongga menggunakan membran serat berongga (*hollow fiber*) sebagai pemisah antar fasa satu dengan fasa lainnya. Struktur modul membran serat berongga mirip dengan modul kapiler tetapi yang berbeda adalah dimensinya. Struktur serat di dalam modul yang asimetrik memiliki diameter dalam sekitar 42 mikron dan diameter luar sekitar 85 mikron. Jutaan serat ini akan dibentuk menjadi bundel dan dilipat setengah dengan konfigurasi kerapatan pengepakan yang

paling tinggi mencapai $30000 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Distribusi air umpan berupa tabung plastik perforasi (*perforated plastic tube*) dimasukkan ke dalam pusatnya untuk memperluas panjang keseluruhan dari benda. Keseluruhan proses penggabungan tersebut disebut sebagai permeator, dimana bentuknya dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Kontaktor membran serat berongga (Gabelman dan Hwang, 1999)

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

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

1. Sistem kontak bersifat non-dispersif sehingga memudahkan kontrol terpisah dari laju alir fasa gas dan cairan.
2. Tidak diperlukan adanya perbedaan densitas antar fluida karena kontaktor membran dapat mengakomodir fluida dengan densitas yang sama dan sekaligus dapat dioperasikan pada berbagai orientasi (vertikal atau horizontal, baik searah maupun berlawanan arah).
3. Tidak terjadi pembentukan emulsi (*foaming*) karena tidak ada dispersi antar fluida.

4. Luas permukaan yang ada tidak mempengaruhi variasi laju alir (baik tinggi maupun rendah) karena kedua aliran tidak bergantung satu sama lain. Hal ini merupakan suatu kelebihan yang vital dalam proses industri ketika rasio pelarut terhadap umpan yang diperlukan sangat tinggi ataupun sangat rendah. Jika kondisi yang sama diterapkan dalam kolom ber-*packing* maka dapat terjadi *flooding* pada saat laju alir gas terlalu tinggi relatif terhadap laju alir air, sebaliknya bila laju alir gas terlalu rendah relatif terhadap laju alir air maka dapat terjadi *unloading*.
5. Efisiensi yang diperoleh lebih tinggi (dengan pengukuran *HTU-Height of Transfer Unit* yang rendah).
6. Luas permukaan kontak yang lebih besar daripada separasi konvensional, kira-kira dapat memberikan luas permukaan 30 kali lebih besar daripada *gas absorber* dan 500 kali lebih besar daripada kolom ekstraksi cair-cair.
7. Penskalaan hasil lebih linier sehingga peningkatan kapasitas dapat diprediksi secara sederhana dengan hanya menambahkan modul membran (dibatasi oleh spesifikasi peralatan pendukung seperti pompa transfer, perpipaan, dan lain-lain).
8. Tidak terjadi pemborosan pelarut sehingga efisien dan efektif dalam pemanfaatan pelarut.
9. Kontakor membran juga dapat meningkatkan batas konversi kesetimbangan reaksi kimia dengan proses sirkulasi kandungan reaktor melalui kontakor menggunakan pelarut ekstraksi atau gas desorpsi produk dapat diambil sehingga reaksi kesetimbangan akan bergeser ke arah kanan (produk).
10. Tidak memiliki bagian yang bergerak sehingga memudahkan perawatan dan pemeliharannya.
11. Desain modularnya memperbolehkan pengaplikasian *plant* membran dalam lingkup kapasitas yang sangat luas. Baik kapasitas yang kecil maupun besar dapat dicapai dengan mudah dengan menggunakan sedikit atau banyak modul membran.
12. Biaya perawatannya rendah jika dibandingkan dengan unit operasi lainnya.

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

1. Memiliki umur tertentu sehingga biaya periodik pergantian membran juga perlu diperhitungkan.
2. Untuk membran serat berongga jenis polimer, hanya dapat beroperasi pada rentang temperatur yang tidak terlalu tinggi karena dapat merusak membran. Selain itu juga tidak tahan terhadap kondisi yang terlalu asam atau basa.
3. Adanya penambahan tahanan membran pada perpindahan massa, akan tetapi tahanan ini tidak terlalu penting dan dapat dilakukan usaha untuk meminimalkan tahanan membran tersebut
4. Dapat terjadi *fouling* walaupun tidak sebesar pada kontaktor dengan *driving force* gradien tekanan. Berikut ini adalah tiga tipe pengotor pada peristiwa *fouling* (Mulder, 1997) :
 - a. Endapan organik (makromolekul, zat-zat biologis dan lain-lain)
 - b. Endapan anorganik (garam kalsium, hidroksi logam dan lain-lain)
 - c. Partikulat

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

5. Efisiensinya berkurang karena adanya aliran *bypass* dalam *shell* (*shell-side bypassing*) sehingga ada sebagian fluida dalam *shell* yang tidak kontak dengan membran. Oleh karena itu aliran lebih baik dibuat menjadi turbulen.

Secara umum aplikasi kontaktor membran serat berongga di industri dapat dikategorikan menjadi berbagai macam proses seperti yang dijelaskan pada Tabel 2.2 di bawah ini:

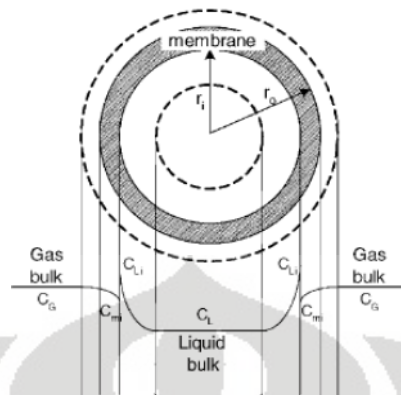
Tabel 2.2 Aplikasi kontaktor membran serat berongga (Kartohardjono, 2004)

Aplikasi	Aliran Fluida	Bahan Membran	Laju Pengontrol Proses	Aplikasi di industri
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 membran berat	Lapisan cairan	Pabrik Pembangkit tenaga, semikonduktor, makanan, farmasi.
Absorpsi gas	Selongsong: air/larutan encer Lumen: gas	Pori mikro — hidrofobik	Lapisan cairan	Pemisahan gas asam dan gas alam
Oksigenasi darah	Selongsong: darah Lumen: oksigen	Pori mikro - hidrofobik	Lapisan cairan	Dunia kedokteran
Bioreaktor membran untuk pengolahan limbah	Selongsong: air/desikan cair Lumen: gas/udara	Pori mikro -- hidrofobik atau membran berat	Lapisan cairan	Pengolahan air limbah
Humidifikasi / dehumidifikasi udara	Selongsong: air Lumen: udara	Pori mikro — hidrofobik	Lapisan cairan dan tahanan membran	

2.5 Studi Perpindahan Massa pada Membran Serat Berongga

Pada penelitian kali ini, perpindahan molekul CO₂ ke dalam pelarut dipengaruhi oleh koefisien perpindahan massa dan gaya penggerak (*driving force*) dari perpindahan massa ini, dimana proses perpindahan massanya ditentukan oleh proses yang berlangsung pada ketiga fase di bawah ini, seperti yang terlihat pada Gambar 2.9, yaitu:

1. Difusi CO₂ dari fasa gas ke permukaan membran.
2. Difusi CO₂ melewati pori membran ke permukaan cairan/pelarut.
3. Pelarutan CO₂ ke dalam larutan absorben diikuti dengan difusi dari larutan ataupun reaksi kimia.



Gambar 2.9 Proses perpindahan massa pada kontaktor gas-cair (Dindore dkk., 2006)

Prinsip metode yang digunakan untuk mengetahui perpindahan massa yang terjadi dalam proses absorpsi gas-cair adalah dengan mengamati laju alir gas dan perbedaan konsentrasi sampel sebelum dan sesudah melewati modul.

Untuk menghitung nilai koefisien perpindahan massa, digunakan persamaan sebagai berikut:

$$k_l = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{A_m} \quad (2.4)$$

Dimana Q merupakan laju alir volumetrik gas CO_2 yang diperoleh dari data yang tertera di Mass Flow Meter dengan satuan sccm yang selanjutnya dikonversi menjadi satuan mL/min. Sementara A merupakan luas permukaan membran dalam m^2 .

Koefisien perpindahan massa umum nantinya akan dinyatakan dalam bentuk korelasi perpindahan massa yang merupakan persamaan yang disusun dari bilangan tak berdimensi, yaitu bilangan Sherwood (Sh), bilangan Reynold (Re), dan bilangan Schmidt (Sc). Bilangan tak berdimensi tersebut dirumuskan sebagai berikut:

$$Sh = k \frac{d_e}{D} \quad (2.5)$$

$$Re = \frac{d_e \cdot \rho \cdot v}{\mu} \quad (2.6)$$

$$Sc = \frac{v}{D} \quad (2.7)$$

Dimana,

- k = koefisien perpindahan massa
 d_e = diameter ekivalen
 D = difusivitas CO_2 pada fasa cair
 ν = viskositas kinematik fasa cair
 ρ = densitas fluida cair

Dalam aliran fluida serat berongga, bentuk korelasi perpindahan massa ditunjukkan dalam persamaan berikut:

$$Sh = a Re^b Sc^{1/3} \quad (2.8)$$

2.6 Studi Hidrodinamika Pelarut pada Membran Serat Berongga

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

Pada fluida yang mengalir melalui saluran yang terisi penuh, gaya-gaya yang berpengaruh secara dominan adalah gaya inersia dan gaya viskositas. Perbandingan antara gaya inersia dengan gaya viskositas disebut dengan bilangan Reynold, yang sesuai dengan persamaan berikut:

$$Re = \frac{d_e \cdot \rho \cdot v}{\mu} \quad (2.9)$$

Dimana:

- d_e = diameter ekivalen
 ρ = densitas
 v = kecepatan aliran
 μ = viskositas.

Studi ini bertujuan untuk mempelajari hubungan dan karakteristik antara bilangan Reynolds terhadap faktor friksi (f) dan *pressure drop* (ΔP). Faktor friksi merupakan koefisien yang tidak memiliki satuan yang berhubungan dengan kemampuan suatu fluida untuk menimbulkan gesekan (friksi). Faktor ini menjelaskan perpindahan

aliran fluida pada membran yang didefinisikan secara berbeda dengan koefisien perpindahan massa. Persamaan faktor friksi Fanning adalah sebagai berikut :

$$f = \frac{d_e \cdot \Delta P}{4 \cdot L_f \cdot \left(\frac{1}{2}\right) \cdot \rho \cdot v^2} \quad (2.10)$$

Dimana:

L_f = panjang serat membran

Menurut literatur, faktor friksi untuk aliran laminar ($Re < 4.100$) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$f = \frac{16}{Re} \quad (2.11)$$

Sedangkan untuk aliran turbulen ($4.100 < Re < 100.000$), persamaan faktor friksi yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$f = \frac{0.0791}{Re^{1/4}} \quad (2.12)$$

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Pendahuluan

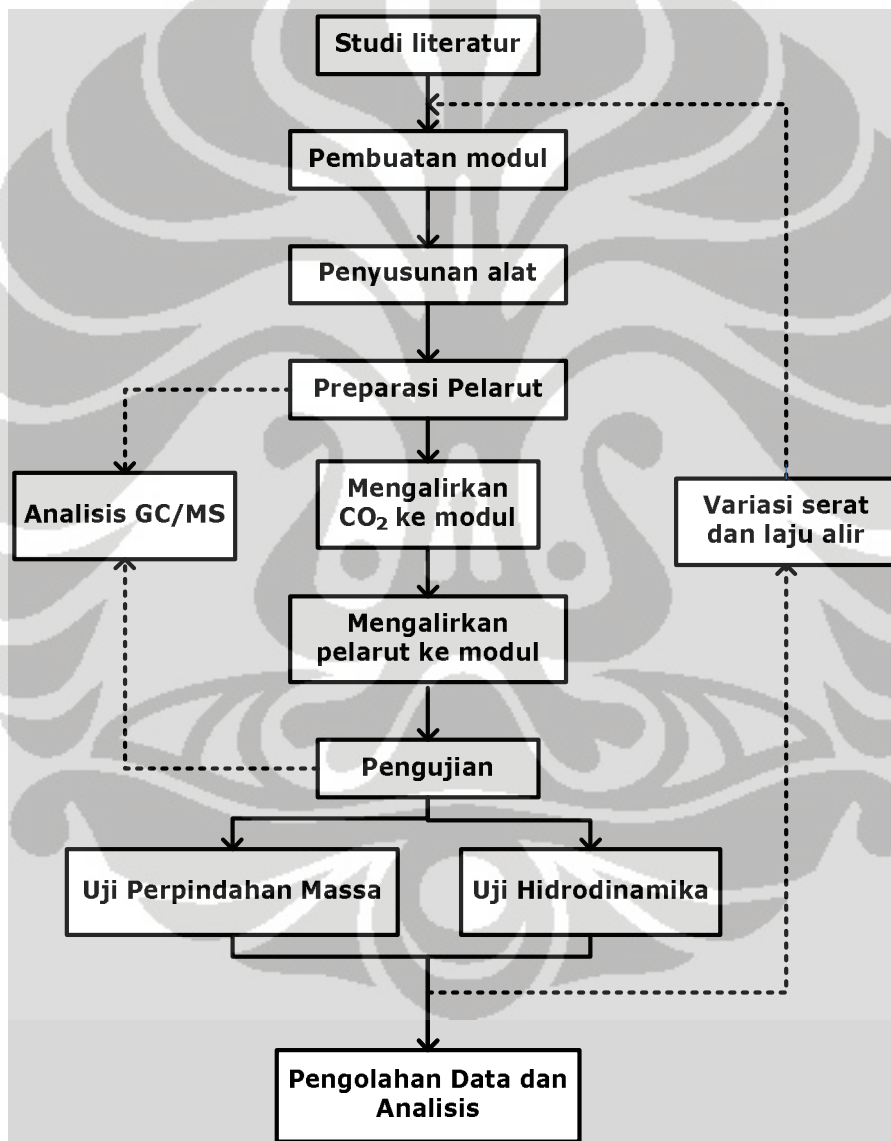
Tujuan proses absorpsi CO₂ dengan menggunakan pelarut bahan alam adalah untuk menurunkan kadar CO₂ terutama dalam gas alam secara ramah lingkungan. Hal ini dikarenakan gas CO₂ bersifat asam sehingga dapat menyebabkan terjadinya korosi pada sistem perpipaan. Pada penelitian kali ini, proses absorpsi dilakukan dengan menggunakan membran kontaktor serat berongga (*hollow fiber membrane contactor*) sebagai media pengontak antara fasa gas dan fasa cair tanpa adanya dispersi antarfasa. Kemudian akan dipelajari perpindahan massa yang terjadi pada membran serta melihat keefektifan membran. Selain itu juga akan diketahui perubahan kandungan kimiawi pelarut sebelum dan sesudah mengabsorpsi CO₂ dengan menggunakan analisis GC/MS. Penelitian ini akan dilakukan di Laboratorium Separasi Lantai 2 Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia. Sedangkan untuk analisis pelarut dengan menggunakan GC/MS akan dilakukan di Pusat Laboratorium Forensik (Puslabfor) Mabes Polri, Jl. Trunojoyo No. 3, Kebayoran Baru Jakarta Selatan.

3.2 Metode Penelitian

Secara garis besar penelitian akan dilakukan menjadi enam bagian, yaitu studi literatur, pembuatan modul, penyusunan alat, preparasi pelarut, analisis pelarut, serta uji perpindahan massa dan uji hidrodinamika. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1. Studi literatur dilakukan dengan mencari teori-teori serta referensi mengenai membran kontaktor serat berongga dan kandungan kimiawi daun mengkudu (*Morinda citrifolia*) baik dari buku, jurnal, maupun artikel.

Tahap selanjutnya adalah pembuatan modul yang merupakan salah satu alat utama dalam penelitian ini. Modul ini akan digunakan sebagai kontaktor antara CO₂ dengan pelarut. Larutan yang digunakan adalah larutan daun mengkudu. Penyusunan alat dimulai dari pembuatan modul dengan berbagai variasi jumlah serat yaitu 10, 15,

dan 20 serat. Ukuran panjang modul dan diameter selongsong modul dibuat tetap (tidak divariasikan), yaitu memiliki panjang 40 cm, diameter dalam 1,9 cm, dan diameter luar 2,2 cm. Setelah perancangan modul selesai, langkah selanjutnya adalah menyiapkan peralatan-peralatan seperti tangki reservoir pelarut, pompa air, tabung gas CO₂, *massflow meter*, *liquid flow meter*, *needle valve*, *bubble flow meter* dan menghubungkannya sehingga menjadi satu sistem secara keseluruhan.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

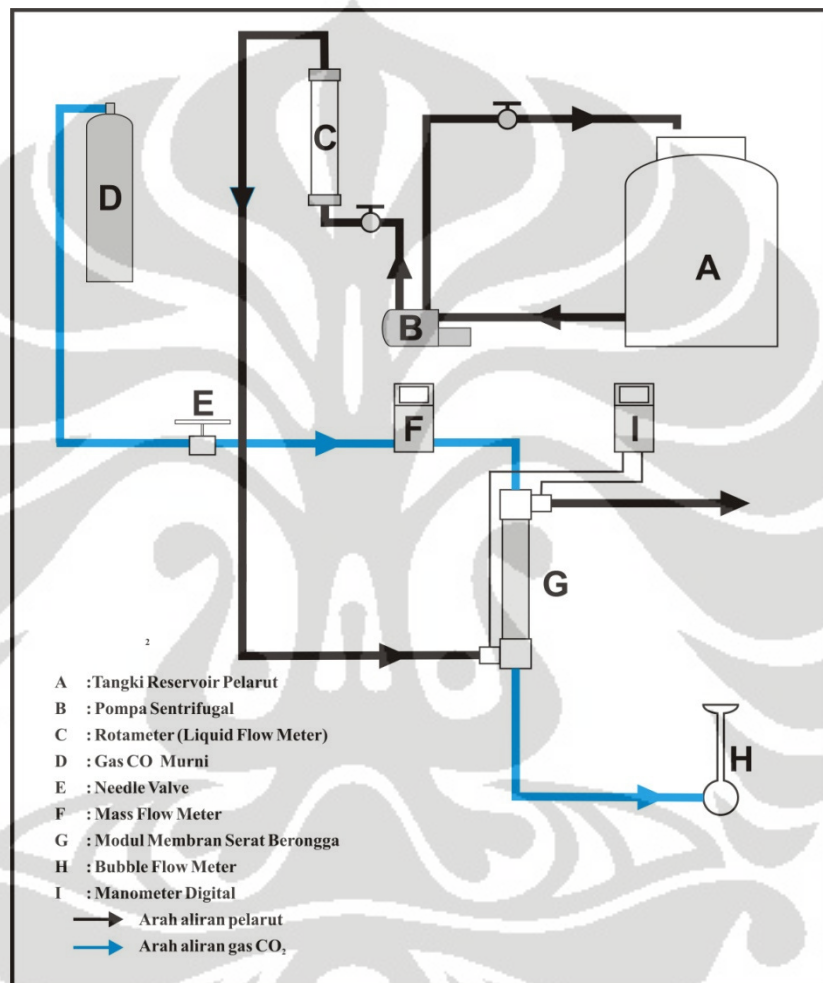
Tahap selanjutnya adalah preparasi pelarut, dimana pelarut pada penelitian kali ini merupakan larutan daun mengkudu, dengan proses pembuatan larutan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Memilih daun mengkudu yang masih segar dan mencucinya hingga bersih.
2. Menimbang daun mengkudu hingga mencapai berat 10 gram, 50 gram, dan 100 gram.
3. Mencacah daun mengkudu.
4. Memasukkan cacahan daun mengkudu ke dalam air dengan dosis mengkudu per satu liter air yang sudah ditetapkan dan direbus sampai air berubah warna menjadi agak kehijauan. Lama perebusan daun mengkudu adalah sekitar 30 menit untuk 10 liter air.
5. Menyaring pelarut yang telah direbus untuk menghilangkan pengotor-pengotornya.
6. Menampung pelarut di dalam tangki reservoir pelarut.
7. Melakukan uji GC/MS untuk mengetahui komposisi kimia larutan sebelum dan setelah mengabsorp CO_2 .

Tahap selanjutnya adalah mengalirkan gas CO_2 dengan laju alir gas sebesar 180 sccm dan menunggu hingga *steady*. Kemudian pelarut dialirkan dengan memanfaatkan pompa dan laju alirnya diatur dengan menggunakan *liquid flow meter*. Setelah kondisi *steady* pengambilan sampel dilakukan untuk variasi laju alir 350, 400, 450, 500, 550, dan 600 liter/jam. Data yang diambil adalah waktu yang dibutuhkan gas CO_2 per 15 mL pada *bubbleflow meter* yang menunjukkan laju alir gas CO_2 yang tidak terserap ke dalam pelarut, pH awal sampel sebelum melewati modul membran dan pH sampel akhir tiap laju alir sesudah melewati modul serta perubahan tekanan pelarut sebelum dan sesudah melewati modul (untuk studi hidrodinamika). Langkah selanjutnya mengolah data dan menganalisis untuk mendapatkan nilai koefisien perpindahan massa dan korelasinya seperti bilangan Reynolds dan bilangan Sherwood dan dari segi hidrodinamika seperti faktor friksi.

3.3 Skema Alat

Skema rancangan alat yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.2 di bawah ini:



Gambar 3.2 Skema alat penelitian

Gas CO₂ dari tabung dialirkan menuju kontaktor membran serat berongga dimana laju alirnya diatur dengan menggunakan *needle valve*. Pengaturan laju alir gas CO₂ tersebut bertujuan agar tekanan CO₂ yang masuk tidak terlalu besar dibandingkan tekanan pada *output* membran sehingga tidak terjadi perpindahan CO₂ akibat perbedaan tekanan. Laju alir gas yang digunakan adalah 180 sccm. Kemudian gas CO₂ memasuki modul dan

dibiarkan hingga *steady*. Langkah selanjutnya adalah mengalirkan pelarut dari tangki reservoir dengan menggunakan pompa dimana laju alirnya diatur dengan menggunakan *liquid flow meter*. Aliran pelarut memasuki modul dan terjadi proses absorpsi CO₂ oleh pelarut. Aliran *output* pelarut kemudian diambil untuk dijadikan sampel dan selanjutnya melakukan pengambilan data berupa waktu keluaran laju alir CO₂ pada *bubbleflow meter*, pH sampel awal dan pH sampel akhir. Pengambilan data dilakukan untuk setiap variasi laju alir dan jumlah serat.

Untuk studi hidrodinamika, data yang diambil merupakan perubahan tekanan pelarut sebelum dan sesudah memasuki modul untuk setiap variasi laju alir yang berbeda. Untuk jumlah serat yang berbeda dilakukan prosedur yang sama dan dibandingkan hasilnya.

Untuk analisis pelarut, sampel yang akan dianalisis adalah sampel sebelum mengabsorb CO₂ dan sampel setelah mengabsorb CO₂ dengan menggunakan alat GC/MS. Hal ini untuk mengetahui senyawa apakah di dalam sampel yang komposisinya berubah sebelum dan sesudah mengabsorb CO₂, dimana dengan adanya perubahan kadar suatu senyawa dapat mengindikasikan bahwa senyawa tersebut bereaksi dengan CO₂.

3.3.1 Peralatan dan Bahan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Membran serat berongga

Material : Polipropilen

Ukuran pori : 0,2 μ m

Ukuran modul :

- Diameter serat : 0,27 cm
- Panjang membran : 40 cm
- Jumlah serat : 10, 15, dan 20 serat

2. Tangki reservoir pelarut sebagai tempat untuk pelarut buah mengkudu (*Morinda citrifolia*) dengan volume 250 mL.

3. Tabung gas CO₂ beserta regulatornya.

4. *Needle valve*, untuk mengontrol laju alir gas CO₂.

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

Produksi : Pedrollo
 Jenis : Pompa sentrifugal
 Spesifikasi :

Qmin : 5-40 L/min
 Qmax : 45 L/min
 Hmax : 40-42 m
 V : 220 V
 RPM : 2900 RPM
 kW : 0,1 kW

6. *Liquid flow meter / rotameter* untuk mengatur laju alir dari pelarut.

Produksi : Cole Parmer
 Q : 100-1000 L/h

7. *Digital mass flow meter*, untuk mengukur besarnya laju alir gas CO₂.

8. pH meter, untuk mengukur pH sampel.

Model : Portable meter, Orion
 Tipe : 3-Star pH meter

9. *Bubbleflow meter* 15 cc untuk mengetahui laju alir gas CO₂ output modul membran yang tidak terabsorpsi oleh pelarut.

10. Manometer digital, untuk mengukur perbedaan tekanan pelarut sebelum dan sesudah melewati modul.

Tipe : Lutron PM-9100 HA

11. GC/MS, untuk mengetahui komponen-komponen yang terkandung di dalam larutan daun mengkudu yang berpotensi sebagai absorben CO₂.

Sedangkan bahan-bahan yang dibutuhkan adalah:

1. *Acrylic*, sebagai selongsong kontaktor membran.

2. Pipa PVC, sebagai tempat mengalirnya pelarut dan menghubungkan antara tangki reservoir pelarut dengan kontaktor membran serat berongga.
3. Lem Araldite, sebagai perekat pada pembuatan kontaktor membran.
4. Gas CO₂ murni, sebagai gas umpan yang akan diabsorpsi.
Produksi : Industrial Gases Indonesia
5. Air, sebagai fasa cair untuk proses absorpsi.
6. Larutan daun mengkudu (*Morinda citrifolia*), sebagai absorben CO₂.

3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian secara bertahap dilakukan melalui tahapan berikut ini:

1. Pembuatan modul.

Modul yang dibuat berbentuk selongsong dan tabung (*shell & tube*) dengan sisi selongsong terbuat dari *acrylic* dan sisi tabung terbuat dari membran serat berongga berbahan dasar polipropilen yang direkatkan dengan lem Araldite.

2. Menghubungkan peralatan berupa tabung gas CO₂, reservoir, pompa, *flowmeter / rotameter, massflow meter*, modul membran, dan *bubbleflow meter* sehingga menjadi satu rangkaian sistem secara keseluruhan.
3. Menyiapkan pelarut daun mengkudu.

Tahapan dalam preparasi pelarut adalah mencuci daun mengkudu, menimbang buah mengkudu hingga 10, 50, dan 100 gram, mencacah daun mengkudu, dan merebusnya di dalam air dengan dosis 10, 50, dan 100 gram daun mengkudu per liter air hingga air berubah warna.

4. Mengalirkan gas CO₂ tanpa variasi tekanan dan menunggu hingga keadaan *steady*.
5. Mengalirkan pelarut dengan variasi laju alir dan menunggu hingga keadaan *steady*.
6. Melakukan pengambilan data:

- a) Studi perpindahan massa

Data yang diambil adalah laju alir keluaran gas CO₂ dari modul kontaktor membran yang ditunjukkan dengan waktu yang dibutuhkan sebuah

gelembung udara untuk mencapai volume 15 mL pada *bubbleflow meter* serta pH sampel pelarut sebelum memasuki modul dan setelah memasuki modul.

b) Studi hidrodinamika

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

7. Melakukan pengambilan data untuk setiap variasi laju alir dan jumlah serat.
8. Melakukan analisis sampel sebelum dan setelah mengabsorp CO₂ dengan menggunakan GC/MS.

3.5 Kondisi Operasi

Kondisi operasi yang dilakukan selama penelitian adalah:

1. Variasi laju alir pelarut adalah 350 hingga 600 liter/jam dengan interval 50 liter/jam.
2. Pengambilan sampel dilakukan setelah sistem berada dalam kondisi *steady*.
3. Jumlah serat membran dalam satu modul yang dipakai 10, 15, dan 20 serat.
4. Tekanan gas CO₂ yang digunakan adalah atmosferik (1 atm), suhu pelarut adalah suhu ruang (25 °C), dan pH pelarut berkisar antara 5,65 hingga 4,45.
5. Pengambilan data berupa laju alir gas CO₂ keluaran modul, pH sampel awal, pH sampel akhir, dan perbedaan tekanan sebelum dan setelah melewati modul.

3.6 Pengolahan Data

Data-data yang diambil dalam penelitian akan diolah untuk menentukan koefisien perpindahan massa antara pelarut daun mengkudu dengan CO₂ dan melihat korelasi perpindahan massa dari kontaktor membran serat berongga. Selain itu juga untuk melihat hidrodinamika pelarut di dalam membran.

3.6.1 Tabel Data Pengamatan

A. Uji Perpindahan Massa

Jenis pelarut =
 Jumlah Serat =
 Laju alir gas CO₂ input =
 pH kondisi awal =

Tabel 3.1 Tabel pengamatan uji perpindahan massa

Laju alir (L/hr)	Data 1		Data 2	
	pH	t <i>bubbleflow meter</i> (detik)	pH	t <i>bubbleflow meter</i> (detik)
350				
400				
450				
500				
550				
600				

B. Uji Hidrodinamika

Jumlah Serat =

Tabel 3.2 Tabel pengamatan uji hidrodinamika

Laju Alir (L/hr)	Beda Tekanan		
	Data 1	Data 2	Data 3
350			
400			
450			
500			
550			
600			

3.6.2 Menghitung Koefisien Perpindahan Massa

Persamaan yang digunakan untuk memperoleh koefisien perpindahan massa fasa gas pada proses absorpsi CO₂ ke dalam pelarut daun mengkudu adalah:

$$k_G = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{A_m} \quad (2.4)$$

dimana:

k_G = koefisien perpindahan massa (m/s)

Q_{in} = laju alir gas CO₂ input (m³/s)

Q_{out} = laju alir gas CO₂ output modul (m³/s)

A_m = luas kontak modul membran (m²)

Luas kontak perpindahan massa dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$A_m = n_f \cdot \pi \cdot d_f \cdot l \quad (4.2)$$

dimana:

A_m = luas kontak perpindahan massa (m²)

n_f = jumlah serat di dalam modul

d_f = diameter luar serat (m)

l = panjang modul membran (m)

Nilai yang tertera pada *mass flow meter* adalah nilai laju alir CO₂ input pada kondisi standar. Untuk mencari nilai koefisien perpindahan massa maka nilai perlu dikonversikan ke kondisi aktual. Kondisi standar pada *mass flow meter* adalah pada tekanan 1 atm dan temperatur 21⁰C sedangkan kondisi aktual saat penelitian adalah pada tekanan 1 atm dan temperatur 25⁰C. Maka, untuk mengetahui nilai laju alir gas CO₂ pada kondisi aktual dapat digunakan persamaan:

$$Q_2 = \frac{P_1}{P_2} \cdot \frac{T_2}{T_1} \cdot Q_1 \quad (4.3)$$

dimana:

Q_2 = laju alir gas CO₂ pada kondisi aktual (accm atau mL/min)

Q_1 = laju alir gas CO₂ pada kondisi standar (scm)

P_1 = tekanan gas CO₂ input pada kondisi standar (atm)

- P_2 = tekanan gas CO₂ input pada kondisi aktual (atm)
 T_1 = temperatur gas CO₂ input pada kondisi standar (°C)
 T_2 = temperatur gas CO₂ input pada kondisi aktual (°C)

3.6.3 Membuat Korelasi Perpindahan Massa

Hubungan antara perpindahan massa dengan karakteristik hidrodinamika dapat diketahui dengan cara membuat besaran-besaran yang dapat mewakili hubungan tersebut dalam suatu persamaan. Besaran yang akan digunakan adalah bilangan Sherwood, bilangan Reynolds, dan bilangan Schmidt. Rumus ketiga bilangan tak berdimensi tersebut adalah:

$$Sh = k \frac{d_e}{D} \quad (2.5)$$

dimana:

- Sh = bilangan Sherwood
 k = koefisien perpindahan massa (m/s)
 d_e = diameter ekuivalen (m)
 D = difusivitas pelarut (m²/s)

$$Re = \frac{\rho \cdot v_l \cdot d_e}{\mu} \quad (2.6)$$

dimana:

- Re = bilangan Reynolds
 ρ = massa jenis dari pelarut (kg/m³)
 v_l = viskositas kinematik (m/s)
 d_e = diameter ekuivalen (m)
 μ = viskositas dari pelarut (kg/ms)

$$Sc = \frac{v_l}{D} \quad (2.7)$$

dimana:

- Sc = bilangan Schmidt

ν_1 = viskositas kinematik (m/s)

D = difusivitas pelarut (m²/s)

Ketiga besaran tak berdimensi tersebut lalu dihubungkan dalam suatu persamaan berikut:

$$Sh = a Re^b Sc^c \quad (2.8)$$

Persamaan (2.8) adalah persamaan untuk menunjukkan hubungan koefisien perpindahan massa terhadap jenis aliran pada modul baik berupa aliran laminar, transisi, maupun turbulen.

3.6.4 Studi Hidrodinamika

Penurunan tekanan dapat terjadi karena adanya friksi pada membran. Nilai friksi tersebut dapat diperoleh dari persamaan:

$$f = \frac{\varepsilon(D_o^2 - D_i^2)\Delta P}{4d_o L_f \left(\frac{1}{2}\right)\rho v^2} = \frac{d_e \Delta P}{2L_f \rho v^2} \quad (2.10)$$

Nilai friksi yang akan dihitung terdiri dari:

1. Friksi modul

Nilai friksi modul diperoleh dengan menghitung nilai friksi pada tiap laju sirkulasi yang dilakukan.

2. Friksi literatur

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

3. Rasio friksi

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

$$f_{ratio} = \frac{f_{modul}}{f_{literatur}} \quad (3.1)$$

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pendahuluan

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari keefektifan kontaktor membran serat berongga dalam proses absorpsi CO₂ menggunakan pelarut daun mengkudu (*Morinda citrifolia*) dan air dengan melihat perpindahan massa dan hidrodinamika yang terjadi. Studi perpindahan massa ditinjau dari nilai koefisien perpindahan massa dengan melihat pengaruh variasi laju alir pelarut daun mengkudu dan air dan jumlah serat modul. Sedangkan studi hidrodinamika digunakan untuk melihat pengaruh jenis aliran terhadap efektifitas kinerja dari membran dengan cara melihat pengaruh faktor friksi yang ditimbulkan oleh aliran pelarut dalam mengabsorb CO₂. Jadi, dapat disimpulkan bahwa kinerja suatu membran serat berongga dapat diukur berdasarkan banyaknya CO₂ yang dapat diabsorb oleh absorben dengan melihat nilai koefisien perpindahan massa dan faktor friksinya. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Separasi Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia.

4.2 Studi Perpindahan Massa

Studi perpindahan massa menggunakan kontaktor membran serat berongga dilakukan dengan larutan daun mengkudu dengan dosis 10 gr/L, 50 gr/L, dan 100 gr/L. Selain itu digunakan juga pelarut air yang digunakan sebagai pembanding larutan daun mengkudu dalam keefektifan menyerap CO₂. Variasi jumlah serat yang digunakan 10, 15, dan 20 serat. Selama eksperimen laju alir pelarut divariasikan dari 350 L/jam hingga 600 L/jam, dengan interval 50 L/jam. Dengan mengolah data perubahan nilai laju alir gas CO₂ sebelum masuk ke dalam modul membran dan nilai laju alir gas CO₂ setelah melewati modul membran dapat dihitung nilai koefisien perpindahan massa fasa gas (k_G), yang dapat dijadikan tolak ukur efektifitas proses absorpsi CO₂ baik oleh pelarut daun mengkudu maupun air.

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

4.2.1 Perbandingan Jenis Pelarut

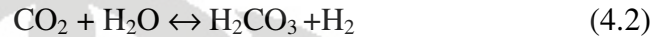
Tujuan dari penggunaan dua jenis pelarut yang berbeda dalam eksperimen absorpsi CO₂ melalui kontakor membran serat berongga adalah untuk membandingkan efektifitas proses perpindahan massa yang terjadi dengan menggunakan air dan larutan daun mengkudu. Pelarut air merupakan pelarut universal dan dijadikan standar pembandingan sehingga nantinya kita akan mengetahui tingkat keefektifan pelarut daun mengkudu dalam menyerap CO₂ dibandingkan dengan air.

Sebelum menganalisis perbandingan keefektifan kedua jenis pelarut ada baiknya terlebih dahulu kita mengetahui jenis absorpsi yang terjadi dengan menggunakan persamaan yang dikemukakan oleh Qi dan Cussler (1985). Menurut mereka, absorpsi secara kimia dengan adanya reaksi dapat dibuktikan dengan melakukan analisis terhadap nilai:

$$\frac{4.k.L}{d_f.v_l} > 1 \quad (4.1)$$

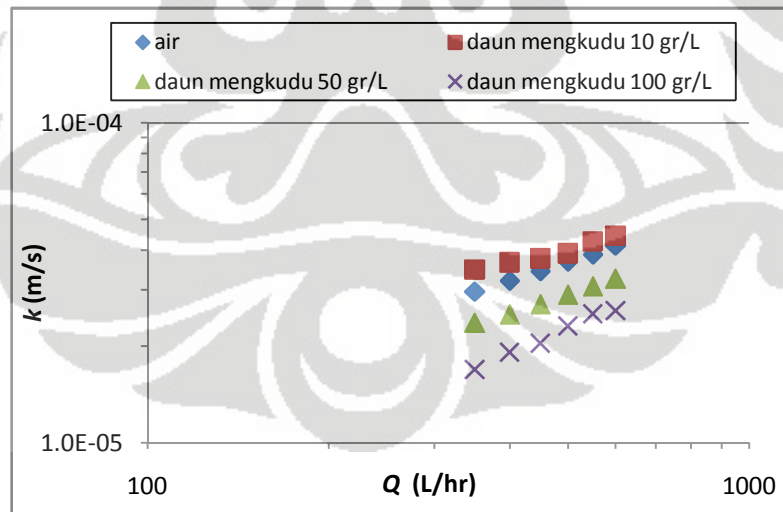
Untuk pelarut air, nilai faktor ini yang didapat pada setiap laju alir dan jumlah serat berada pada rentang $2,32 \times 10^{-2}$ hingga $4,40 \times 10^{-2}$. Hal ini berarti absorpsi yang terjadi pada pelarut air merupakan absorpsi secara fisika. Untuk pelarut daun mengkudu, misalnya pada dosis 10 gr/ L air, nilai faktor yang didapat berada pada rentang $3,56 \times 10^{-2}$ hingga $4,79 \times 10^{-2}$ sehingga jenis absorpsi dengan menggunakan pelarut ini juga tergolong ke dalam absorpsi fisika.

Absorpsi fisika menandakan bahwa proses absorpsi CO_2 terjadi secara fisik tanpa disertai reaksi kimia ke dalam pelarutnya yang dipengaruhi oleh difusivitas CO_2 ke dalam air. Selain itu, proses perpindahan massa yang terjadi dipengaruhi oleh laju difusi fasa gas terhadap fasa cair. Pada dasarnya proses absorpsi CO_2 oleh air juga terjadi secara kimia. Reaksi kimia yang terjadi antara air dan CO_2 dapat digambarkan sebagai berikut:

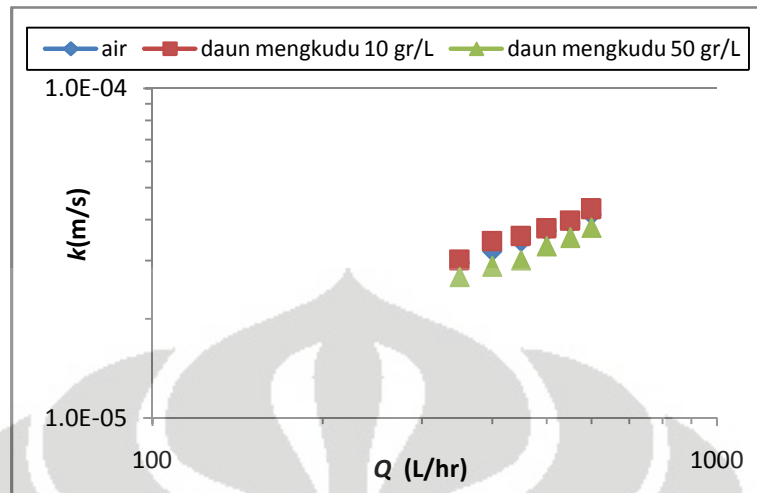


Reaksi antara air dan CO_2 akan menghasilkan H_2CO_3 . Akan tetapi reaksi CO_2 dengan air (H_2O) merupakan reaksi kesetimbangan, dimana nilai konstanta kesetimbangan yang terjadi sangat kecil sehingga pembentukan ion H^+ dan ion HCO_3^- nantinya juga akan bernilai sangat kecil. Berdasarkan analisis tersebut maka dapat dikatakan bahwa absorpsi CO_2 oleh air lebih dinyatakan sebagai absorpsi fisika.

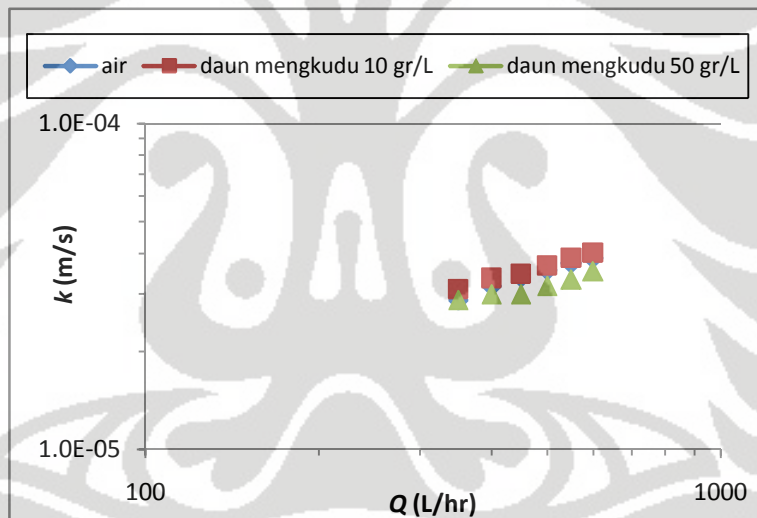
Jenis pelarut yang digunakan akan menentukan besarnya efektifitas absorpsi CO_2 berdasarkan nilai koefisien perpindahan massa. Gambar 4.1, 4.2, dan 4.3 menunjukkan grafik perbandingan jenis pelarut yang digunakan terhadap nilai koefisien perpindahan massa pada berbagai laju alir dan jumlah serat.



Gambar 4.1 Perbandingan jenis pelarut dalam absorpsi CO_2 dengan jumlah serat 10 dan berbagai variasi laju alir pelarut



Gambar 4.2 Perbandingan jenis pelarut dalam absorpsi CO_2 dengan jumlah serat 15 dan berbagai variasi laju alir pelarut



Gambar 4.3 Perbandingan jenis pelarut dalam absorpsi CO_2 dengan jumlah serat 20 dan berbagai variasi laju alir pelarut

Dari ketiga gambar di atas dapat diketahui bahwa pelarut daun mengkudu dengan dosis 10 gr/L air mampu mengabsorb CO_2 lebih baik dibandingkan dengan pelarut air. Hal tersebut ditandai dengan adanya nilai koefisien perpindahan yang lebih tinggi dibandingkan pelarut air untuk tiap variasi laju alir dan jumlah serat. Nilai perpindahan massa terbesar untuk pelarut daun mengkudu dengan dosis 10 gr/L

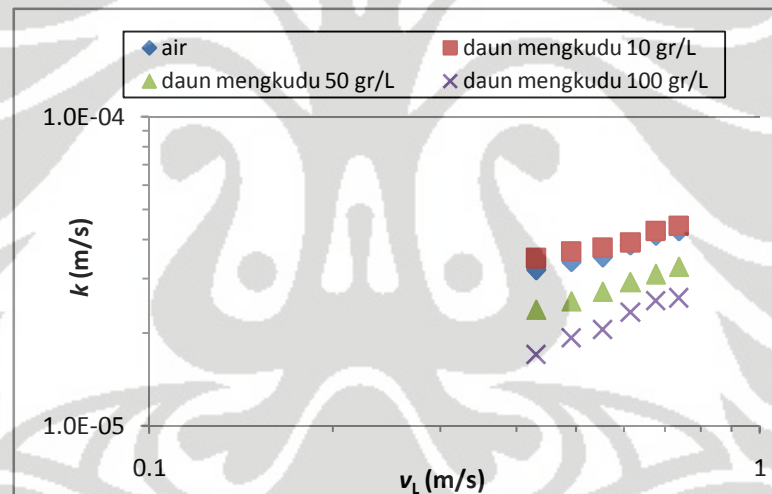
air diperoleh pada laju alir 600 L/jam dan jumlah serat 10 buah, dimana nilainya adalah $4,44 \times 10^{-5}$ m/s, dimana nilai tersebut lebih tinggi jika dibandingkan dengan pelarut air dengan laju alir dan jumlah serat yang sama, yaitu $4,25 \times 10^{-5}$ m/s. Namun, tingkat keefektifan pelarut daun mengkudu dengan 10 gr/L air dalam mengabsorpsi CO_2 hanya sekitar 4,02% jika dibandingkan dengan pelarut air.

Sebaliknya, untuk kedua dosis pelarut daun mengkudu yang lain, yaitu 50 gr/L air dan 100 gr/L air, berdasarkan ketiga gambar diatas memiliki nilai koefisien perpindahan massa yang lebih rendah dibandingkan pelarut air untuk tiap variasi laju alir dan jumlah serat. Pelarut daun mengkudu dengan dosis 50 gr/L air memiliki nilai koefisien perpindahan massa $3,26 \times 10^{-5}$ m/s pada laju alir 600 L/jam dan jumlah serat 10 buah, dan pelarut daun mengkudu dengan dosis 100 gr/L air memiliki nilai koefisien perpindahan massa $2,58 \times 10^{-5}$ m/s pada laju alir dan jumlah serat yang sama. Dengan adanya data tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa semakin banyak dosis daun mengkudu yang digunakan tiap liter air, maka pelarut tersebut semakin tidak efektif dalam mengabsorpsi CO_2 . Hal tersebut dikarenakan berdasarkan uji GC/MS pada daun mengkudu, diketahui bahwa sebagian besar senyawa yang terkandung di dalamnya adalah senyawa asam, sehingga akan kurang reaktif jika digunakan untuk mengabsorpsi gas asam seperti CO_2 . Makin banyak dosis daun maka makin asam pelarut mengkudu, sehingga dapat dikatakan bahwa pelarut daun mengkudu ini kurang cocok dalam absorpsi CO_2 .

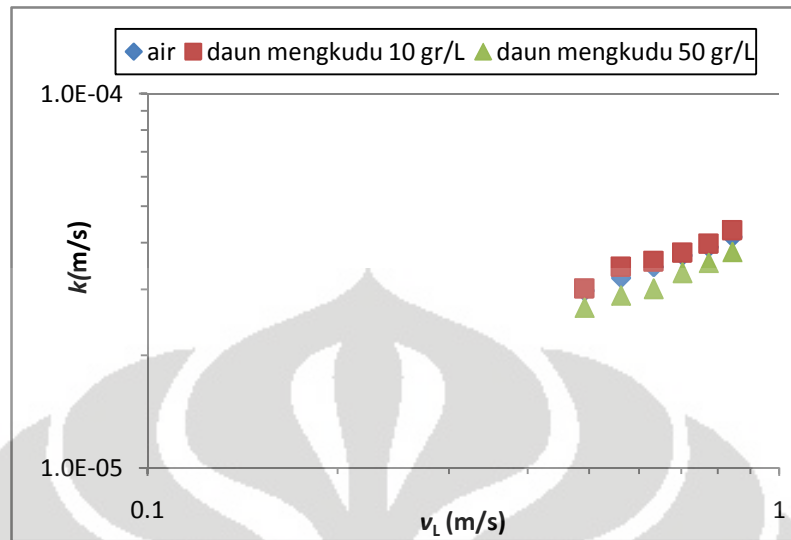
4.2.2 Perbandingan Laju Alir Pelarut

Besarnya laju alir pelarut akan menentukan nilai koefisien perpindahan massa sehingga akan berpengaruh terhadap keefektifan pelarut tersebut dalam mengabsorpsi CO_2 . Hal tersebut berhubungan dengan dinamika fluida di dalam modul membran dan kuantitas pelarut terhadap proses perpindahan massa. Pengaruh laju alir pelarut dapat dilihat melalui kecepatan linier (v_L). Berdasarkan Gambar 4.4, 4.5, dan 4.6 dapat dilihat suatu kesamaan bahwa semakin besar kecepatan aliran maka koefisien perpindahan massa untuk setiap jumlah serat akan semakin besar. Semakin meningkatnya laju alir pelarut maka akan menghasilkan penurunan hambatan dalam

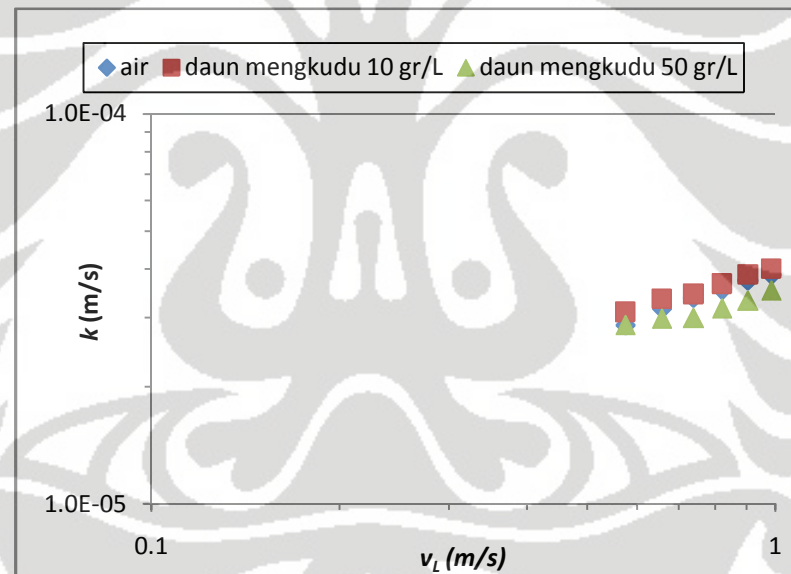
perpindahan massa pada fas cairan. Hal tersebut dikarenakan dengan meningkatnya kecepatan pelarut akan menyebabkan sifat aliran semakin turbulen, sehingga proses perpindahan massa, yaitu difusi CO_2 ke dalam pelarut yang terjadi semakin besar akibat adanya arus Eddy pada aliran turbulen. Arus Eddy akan memperkecil hambatan yang terjadi di sekitar aliran dan memperbesar nilai koefisien perpindahan massa (Bird, 1960). Selain itu, dengan laju alir pelarut yang semakin besar akan menyebabkan terjadinya waktu pergantian pelarut yang sudah jenuh oleh konsentrasi CO_2 yang semakin cepat sehingga proses absorpsi akan semakin efektif, dan juga akan memenuhi fraksi kekosongan membran dengan larutan sehingga distribusi pelarut akan merata di setiap permukaan membran dan akan meningkatkan proses absorpsi CO_2 .



Gambar 4.4 Pengaruh laju alir pelarut dalam absorpsi CO_2 dengan jumlah serat 10



Gambar 4.5 Pengaruh laju alir pelarut dalam absorpsi CO_2 dengan jumlah serat 15



Gambar 4.6 Pengaruh laju alir pelarut dalam absorpsi CO_2 dengan jumlah serat 20

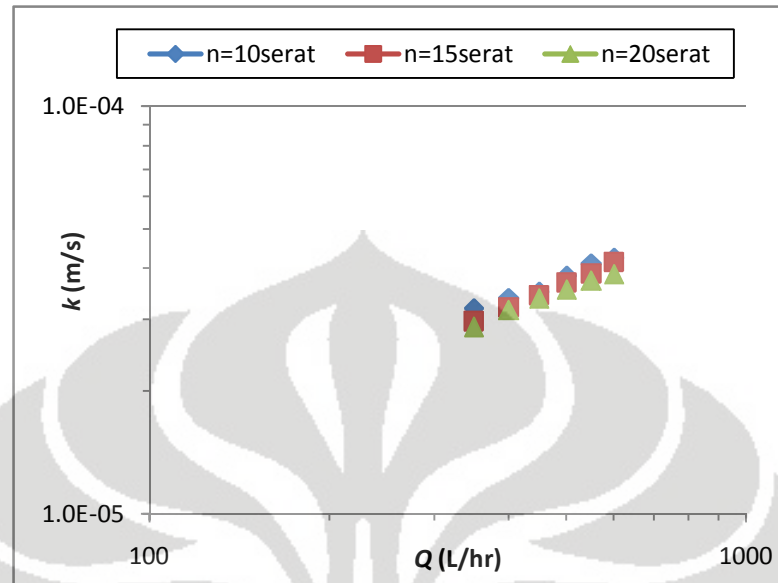
Dari keempat jenis pelarut yang digunakan, maka dapat dilihat bahwa berdasarkan eksperimen, pelarut daun mengkudu dengan dosis 10 gr/L air memiliki nilai koefisien perpindahan massa yang paling besar untuk setiap variasi laju alir dan jumlah serat, dimana nilainya mencapai $4,44 \times 10^{-5}$ m/s pada laju alir 600 L/jam dan jumlah serat 10 buah. Sedangkan pelarut daun mengkudu dengan dosis 100 gr/L air memiliki nilai koefisien perpindahan massa yang paling kecil untuk setiap variasi laju

alir dan jumlah serat, yaitu mencapai $1,69 \times 10^{-5}$ m/s pada laju alir 350 L/jam dan jumlah serat 10 buah. Eksperimen dengan menggunakan pelarut daun mengkudu dengan dosis 100 gr/L tidak dilakukan untuk jumlah serat 15 dan 20 buah, karena pada dasarnya penggunaan pelarut daun mengkudu dengan dosis tersebut hanya untuk melengkapi data tingkat keefektifan absorpsi CO₂ dengan menggunakan pelarut daun mengkudu dilihat dari banyaknya dosis.

Berdasarkan nilai koefisien perpindahan massa, maka dapat disimpulkan bahwa pelarut daun mengkudu dengan dosis 10 gr/L air memiliki keefektifan absorpsi CO₂ yang lebih baik dibandingkan pelarut air, sedangkan pelarut daun mengkudu dengan dosis 50 gr/L air dan 100 gr/L air memiliki keefektifan absorpsi CO₂ yang lebih rendah dibandingkan dengan air.

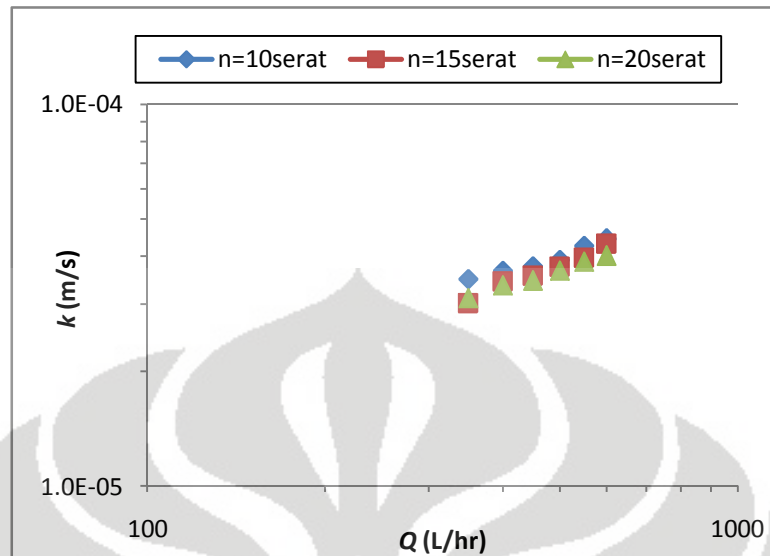
4.2.3 Perbandingan Jumlah Serat

Tingkat keefektifan absorpsi CO₂ dengan menggunakan membran serat berongga juga dianalisis berdasarkan variasi jumlah serat pada setiap modul. Jumlah serat yang divariasikan pada eksperimen ini adalah 10, 15, dan 20 buah. Pelarut air dan daun mengkudu dengan dosis 10 gr/L dan 50 gr/L air diuji dengan menggunakan ketiga jumlah serat tersebut, sedangkan untuk pelarut daun mengkudu dengan dosis 100 gr/L air hanya diuji pada jumlah serat 10 buah. Hal tersebut dikarenakan penggunaan pelarut daun mengkudu dengan dosis tersebut hanya untuk melengkapi data tingkat keefektifan absorpsi CO₂ dengan menggunakan pelarut daun mengkudu dilihat dari banyaknya dosis yang digunakan. Pengaruh jumlah serat terhadap nilai koefisien perpindahan massa pada variasi laju alir pelarut dapat dilihat pada Gambar 4.7, 4.8, dan 4.9 di bawah ini.

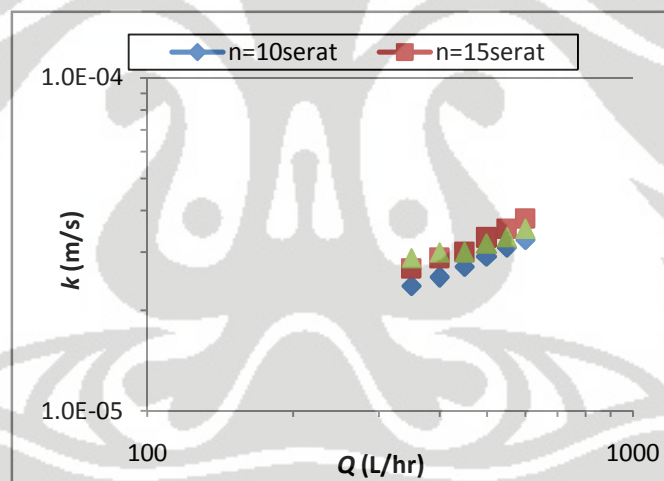


Gambar 4.7 Pengaruh jumlah serat dalam absorpsi CO₂ dengan pelarut air

Berdasarkan Gambar 4.7 dapat dilihat pengaruh jumlah serat dalam absorpsi CO₂ dengan menggunakan pelarut air. Semakin meningkatnya jumlah serat, maka nilai koefisien perpindahan massanya akan semakin menurun. Jumlah serat di dalam modul membran kontaktor berbanding terbalik dengan fraksi kekosongan membran di dalam modul. Semakin banyak jumlah serat membran maka fraksi kekosongan pada modul akan semakin rendah karena luas permukaan membran akan semakin besar. Dengan semakin rendahnya fraksi kekosongan maka zona mati akibat terjadinya proses *channeling* akan meningkat, sehingga perpindahan massa yang terjadi juga akan semakin terhambat dan nilai koefisien perpindahan massanya pun akan menurun seiring dengan peningkatan jumlah serat (Lipnizki & Field, 2001). Selain itu, bertambahnya jumlah serat juga akan meningkatkan pembentukan lapisan film pada membran, dimana lapisan film ini terbentuk pada lapisan antarmuka gas-cair membran yang pada prinsipnya bekerja sebagai tahanan membran dan akan menghambat terjadinya proses absorpsi, sehingga akan menurunkan nilai koefisien perpindahan massanya.



Gambar 4.8 Pengaruh jumlah serat dalam absorpsi CO₂ dengan pelarut daun mengkudu dengan dosis 10 gr/L air



Gambar 4.9 Pengaruh jumlah serat dalam absorpsi CO₂ dengan pelarut daun mengkudu dengan dosis 50 gr/L air

Pengaruh jumlah serat pada proses perpindahan dengan menggunakan larutan daun mengkudu berdosisi 10 gr/L dan 50 gr/L air sama halnya seperti pada pelarut air. Pada Gambar 4.8 dan 4.9, dapat dilihat bahwa semakin meningkatnya jumlah serat, maka nilai koefisien perpindahan massanya akan semakin menurun. Sebenarnya penurunan nilai koefisien perpindahan massa pada kenaikan jumlah serat dapat

diminimalkan jika proses yang terjadi adalah absorpsi kimia, karena dengan adanya reaksi kimia yang mempercepat proses absorpsi maka nilai koefisien perpindahan massa akan meningkat. Namun karena berdasarkan persamaan yang dikemukakan oleh Qi dan Cussler diketahui bahwa proses absorpsi yang terjadi pada pelarut daun mengkudu bersifat absorpsi fisika, maka penurunan nilai koefisien perpindahan massa pada modul untuk tiap jumlah serat tidak dapat diminimalkan.

4.2.4 Korelasi Perpindahan Massa

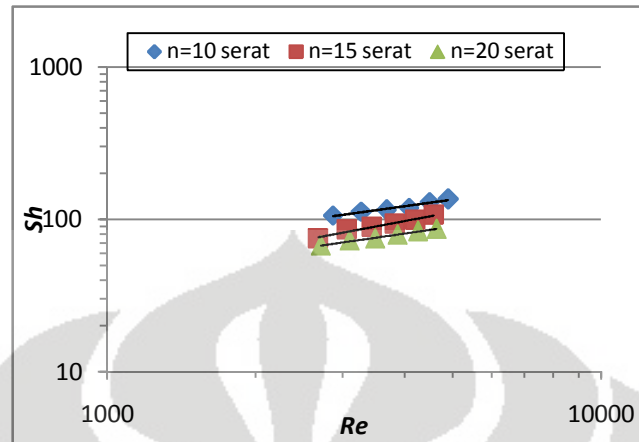
Hubungan antara koefisien perpindahan massa yang terjadi dengan jenis alirannya dapat kita lihat dari fungsi bilangan Sherwood yang mewakili perpindahan massa yang terjadi dengan bilangan Reynold yang menyatakan jenis aliran pelarut. Korelasi perpindahan massa ini ditunjukkan dengan persamaan berikut

$$Sh = a Re^b Sc^{1/3} \quad (4.3)$$

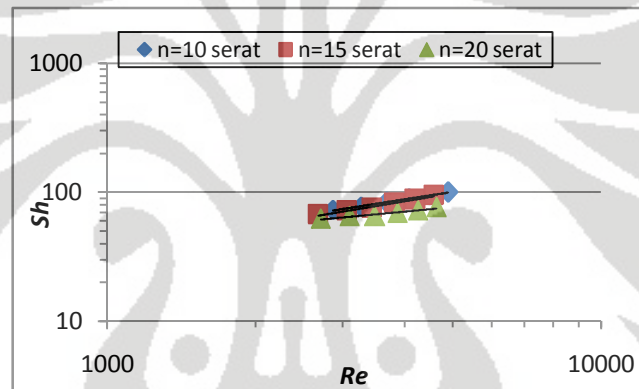
Nilai Reynold diperoleh dari penurunan tekanan untuk setiap variasi laju alir dan jumlah serat, sedangkan pengaruh bilangan Scmidth pada eksperimen ini tidak dievaluasi, dimana nilai pangkat untuk bilangan Scmidth diasumsikan tetap sesuai dengan literatur untuk korelasi perpindahan massa, yaitu 1/3, sehingga Persamaan 4.3 dapat disederhanakan menjadi

$$Sh = a Re^b \quad (4.4)$$

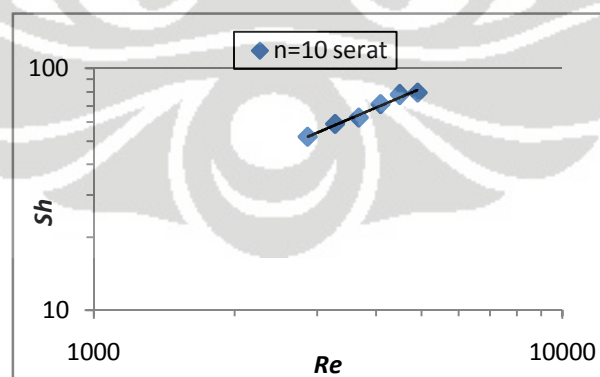
Kemudian bilangan Sherwood dan bilangan Reynold dihubungkan melalui grafik dengan menggunakan *trendline power* untuk tiap variasi laju alir dan jumlah serat seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.10 Hubungan bilangan Sherwood dan Reynold pada pelarut daun mengkudu dengan dosis 10 gr/L air

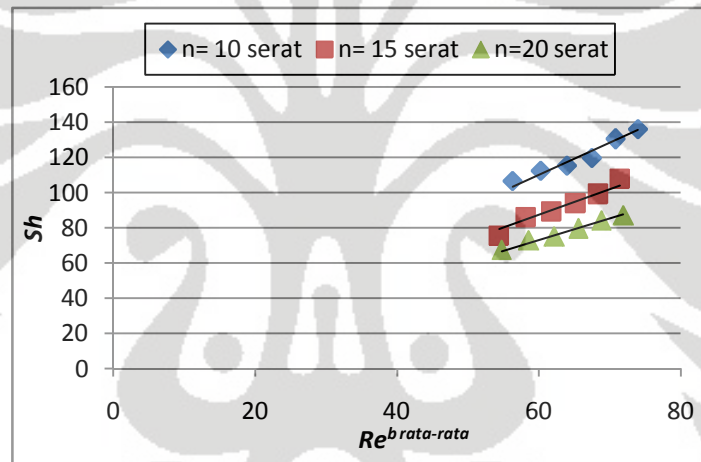


Gambar 4.11 Hubungan bilangan Sherwood dan Reynold pada pelarut daun mengkudu dengan dosis 50 gr/L air

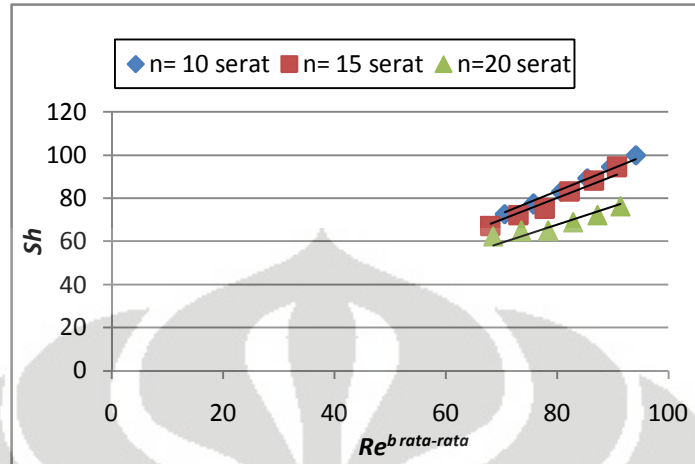


Gambar 4.12 Hubungan bilangan Sherwood dan Reynold pada pelarut daun mengkudu dengan dosis 100 gr/L air

Nilai pangkat (orde) yang diperoleh dari persamaan setiap garis pada masing-masing grafik kemudian dijumlahkan dan dirata-ratakan sehingga menjadi sebuah nilai $b^{\text{rata-rata}}$. Nilai $b^{\text{rata-rata}}$ pada pelarut daun dengan dosis 10 gr/L air adalah 0,506 dan pada pelarut daun mengkudu dengan dosis 50 gr/L air adalah 0,534. Untuk pelarut daun mengkudu dengan dosis 100 gr/L air tidak dapat dihitung $b^{\text{rata-rata}}$ karena hanya memiliki satu nilai b, yaitu pada 10 serat, jadi pada pelarut ini tidak dilanjutkan perhitungan dan analisis lebih lanjut. Nilai $b^{\text{rata-rata}}$ itu selanjutnya menjadi pangkat bagi bilangan Reynold yang disebut dengan $Re^{b \text{ rata-rata}}$. Nilai $Re^{b \text{ rata-rata}}$ lalu dihubungkan kembali dengan bilangan Sherwood dalam grafik dengan menggunakan trendline linear seperti pada Gambar 4.13 dan 4.14 di bawah ini.



Gambar 4.13 Hubungan bilangan Sherwood dan $Re^{b \text{ rata-rata}}$ pada pelarut daun mengkudu dengan dosis 10 gr/L air



Gambar 4.14 Hubungan bilangan Sherwood dan $Re^{b \text{ rata-rata}}$ pada pelarut daun mengkudu dengan dosis 50 gr/L air

Besarnya nilai koefisien pada persamaan yang didapat dari setiap garis pada masing-masing grafik seperti yang tertera pada kedua gambar diatas lalu akan digunakan untuk dihubungkan dengan fraksi kepadatan membran. Bilangan Sherwood juga merupakan bilangan yang menunjukkan hubungan geometri antara modul membran dengan aliran di dalam modul, sesuai dengan persamaan berikut:

$$Sh = f(\varphi) Re^b \quad (4.5)$$

dimana nilai fraksi kepadatan membran (φ) ditunjukkan dengan persamaan berikut

$$\varphi = N \left(\frac{df}{ds} \right)^2 \quad (4.6)$$

Dan jenis aliran dilambangkan dengan bilangan Reynold (Re). Sehingga untuk setiap jenis kontaktor akan memiliki hubungan bilangan Sherwood yang berbeda-beda, bergantung pada fraksi kepadatan yang dimiliki oleh jenis kontaktor membran tersebut dan juga aliran yang mengalir melewati modul kontaktor. Nilai koefisien (a) yang diperoleh pada Gambar 4.13 dan 4.14 lalu dibuat tabel seperti di bawah ini.

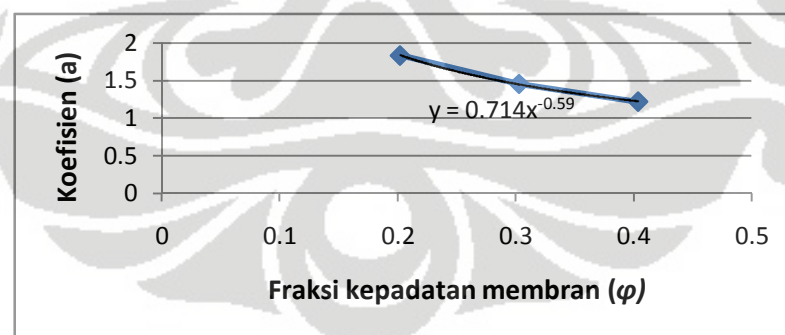
Tabel 4.1 Nilai koefisien dan fraksi kepadatan membran untuk tiap jumlah serat pada pelarut daun mengkudu dengan dosis 10 gr/L air

Modul	Koefisien(a)	Fraksi kepadatan membran
10	1,83	0,20
15	1,45	0,30
20	1,22	0,40

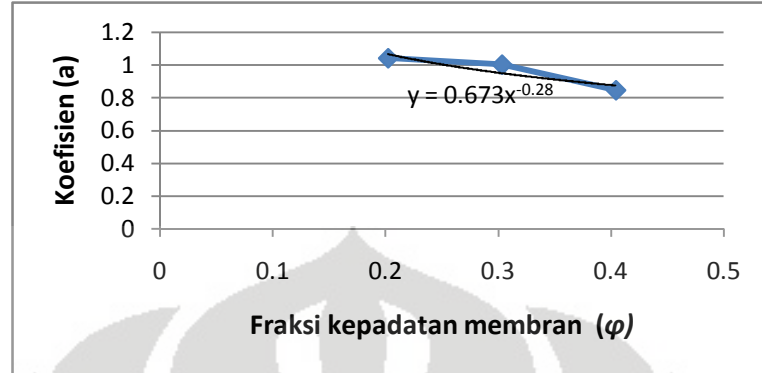
Tabel 4.2 Nilai koefisien dan fraksi kepadatan membran untuk tiap jumlah serat pada pelarut daun mengkudu dengan dosis 50 gr/L air

Modul	Koefisien(a)	Fraksi kepadatan membran
10	1,04	0,20
15	1,00	0,30
20	0,85	0,40

Nilai koefisien tersebut lalu dihubungkan dengan fraksi kepadatan membran dalam bentuk grafik dengan menggunakan *trendline power* seperti yang tertera pada Gambar 4.15 dan 4.16. Hasilnya akan diperoleh persamaan garis yang akan digunakan untuk menghubungkan bilangan Reynold dengan bilangan Sherwood.



Gambar 4.15 Fraksi kepadatan membran untuk tiap modul pada pelarut daun mengkudu dengan dosis 10 gr/L air



Gambar 4.16 Fraksi kepadatan membran untuk tiap modul pada pelarut daun mengkudu dengan dosis 50 gr/L air

Dengan menggunakan persamaan garis yang terbentuk dari kedua grafik diatas dan dihubungkan dengan bilangan Reynold maka akan didapatkan persamaan yang digunakan untuk menjelaskan korelasi perpindahan massa yang terjadi di dalam kontaktor membran serat berongga dengan menggunakan pelarut daun mengkudu dengan dosis 10 gr/L air sebagai berikut,

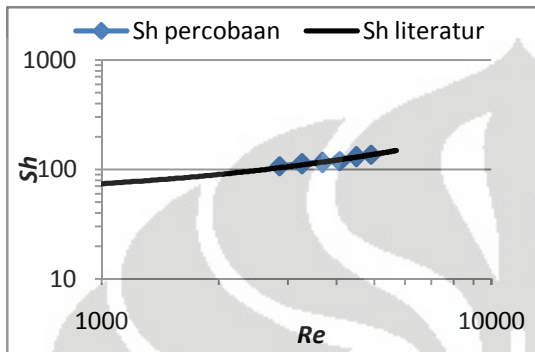
$$Sh = 0,714 \varphi^{-0,59} \cdot Re^{0,50} \quad (4.7)$$

dan untuk pelarut daun mengkudu dengan dosis 50 gr/L air sebagai berikut,

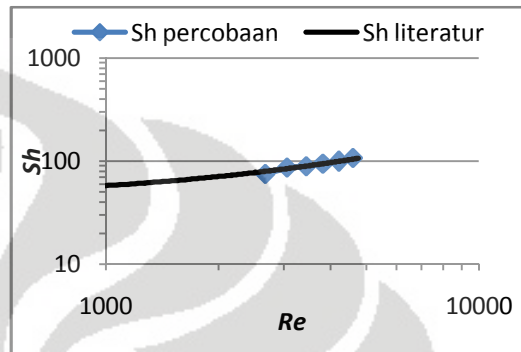
$$Sh = 0,673 \varphi^{-0,28} \cdot Re^{0,53} \quad (4.8)$$

Kedua persamaan korelasi tersebut menunjukkan parameter yang dapat menggambarkan efektivitas perpindahan massa pada modul membran serat berongga, yaitu berdasarkan fraksi kepadatan membran dan laju alir. Fraksi kepadatan membran mewakili jumlah serat membran sedangkan bilangan Reynold menggambarkan laju alir pelarut. Dari Persamaan 4.7 dan 4.8 diatas, diketahui bahwa dengan menggunakan pelarut daun mengkudu dengan dosis memiliki pangkat bilangan Reynold yang mendekati arah laminar, yaitu berada pada nilai kurang dari 0,6. Padahal menurut eksperimen yang dilakukan oleh Costello (1993), diketahui bahwa nilai pangkat (b) pada bilangan Reynold menunjukkan aliran yang turbulen ketika nilainya berada diantara 0,6-1,0.

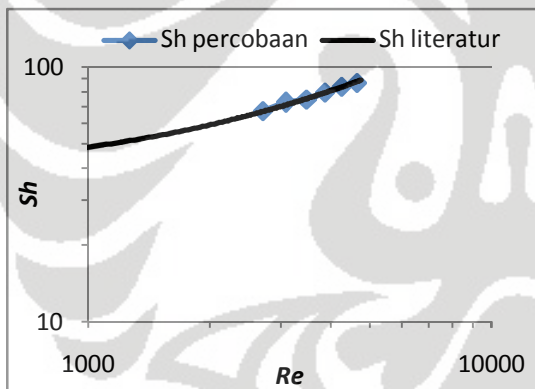
Gambar 4.17 hingga 4.22 menunjukkan perbandingan grafik dari hasil model persamaan yang didapat dengan hasil percobaan untuk pelarut daun mengkudu dengan dosis 10 gr/L air dan 50 gr/L air dengan variasi jumlah serat.



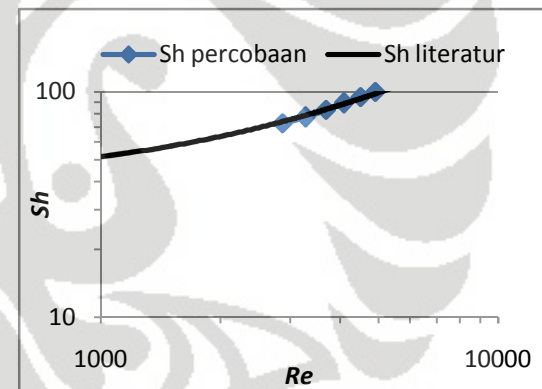
Gambar 4.17 Hubungan Re terhadap Sh untuk jumlah serat 10 pada pelarut daun mengkudu 10 gr/L air



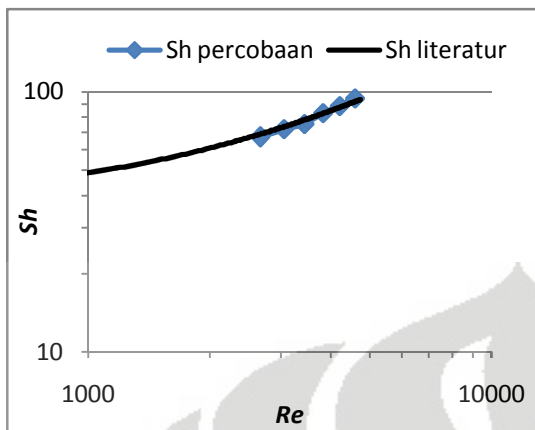
Gambar 4.18 Hubungan Re terhadap Sh untuk jumlah serat 15 pada pelarut daun mengkudu 10 gr/L air



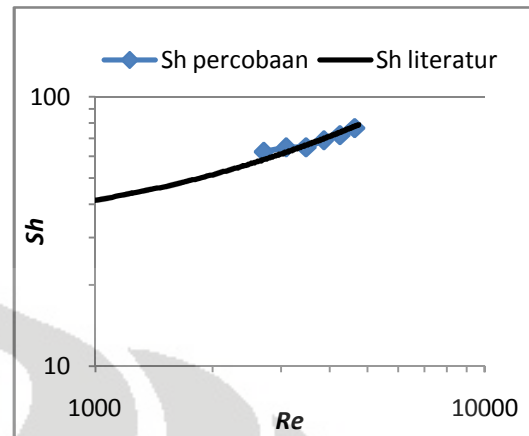
Gambar 4.19 Hubungan Re terhadap Sh untuk jumlah serat 20 pada pelarut daun mengkudu 10 gr/L air



Gambar 4.20 Hubungan Re terhadap Sh untuk jumlah serat 10 pada pelarut daun mengkudu 50 gr/L air



Gambar 4.21 Hubungan Re terhadap Sh untuk jumlah serat 15 pada pelarut daun mengkudu 50 gr/L air



Gambar 4.22 Hubungan Re terhadap Sh untuk jumlah serat 20 pada pelarut daun mengkudu 50 gr/L air

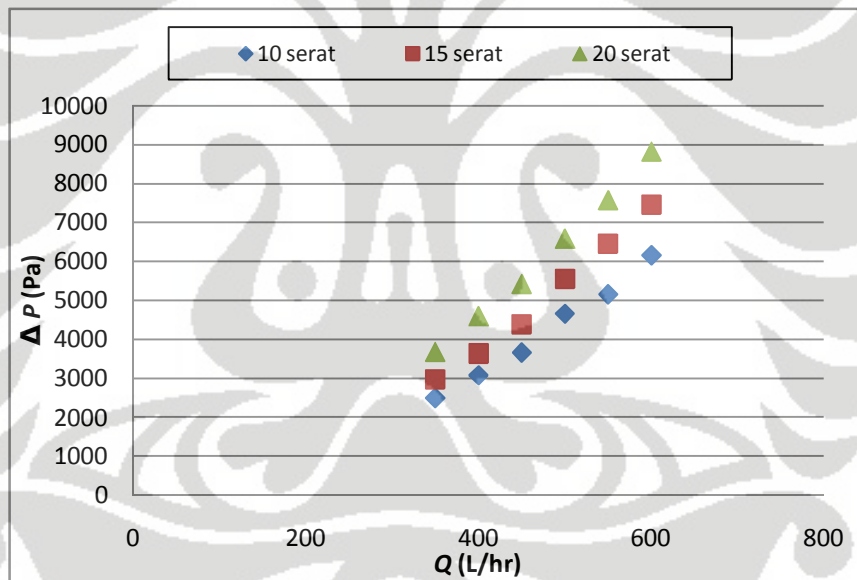
Dari keenam gambar diatas dapat dilihat bahwa bilangan Reynold dan Sherwood akan meningkat dengan perbandingan lurus. Semakin tinggi nilai bilangan Reynold maka bilangan Sherwood akan semakin tinggi yang ditandai dengan meningkatnya nilai koefisien perpindahan massanya. Hal tersebut mengindikasikan bahwa perpindahan massa lebih banyak terjadi pada kondisi aliran pelarut yang semakin besar. Perbandingan bilangan Sherwood pada percobaan juga berhimpit dengan bilangan Sherwood literatur yang menandakan proses absorpsi CO_2 berlangsung dengan baik.

4.3 Studi Hidrodinamika

Pengujian karakteristik hidrodinamika dalam penggunaan kontaktor membran serat berongga untuk absorpsi CO_2 dengan menggunakan pelarut daun mengkudu dengan dosis 10 gr/L air. Data yang diambil adalah perbedaan tekanan aliran air sebelum memasuki kontaktor dan setelah melewati kontaktor dengan variasi laju alir dan jumlah serat modul. Dari data tersebut dapat diketahui nilai friksi untuk ketiga modul dengan jumlah serat yang berbeda, yaitu 10, 15, dan 20 serat. Tujuan dari pengujian hidrodinamika ini adalah untuk melihat faktor-faktor yang mempengaruhi

kinerja membran terutama yang berhubungan dengan fluida yang bergerak, seperti faktor friksi dan penurunan tekanan.

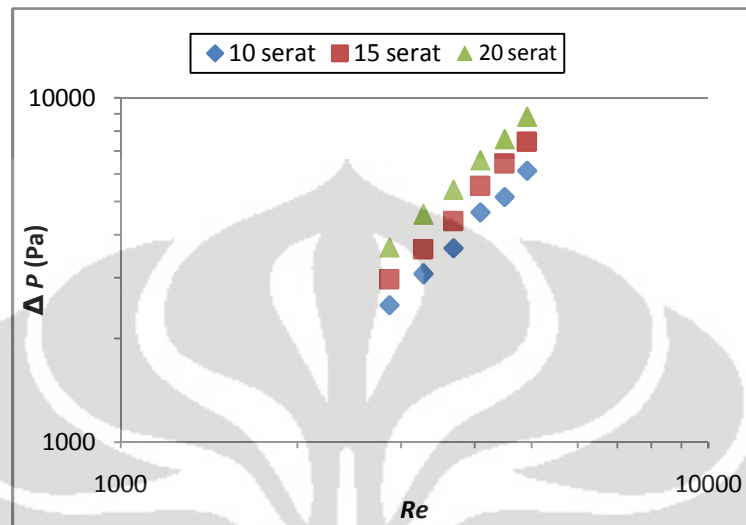
Gambar 4.22 menunjukkan hubungan antara laju sirkulasi air dengan perbedaan tekanan yang diukur sebelum dan sesudah melewati kontaktor membran serat berongga. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa kenaikan laju alir pelarut dapat meningkatkan penurunan tekanan. Hal tersebut dikarenakan semakin tinggi laju alir maka jenis aliran akan semakin turbulen sehingga kemungkinan terjadi gesekan akan semakin tinggi dan penurunan tekanan dalam modul akan semakin tinggi pula. Dari gambar tersebut juga dapat dilihat bahwa semakin banyak jumlah serat di dalam modul maka gesekan yang terjadi juga semakin besar, dikarenakan luas area kontak dinding dengan fluida yang bergerak semakin besar sehingga penurunan tekananpun akan menjadi semakin tinggi.



Gambar 4.22 Variasi perbedaan tekanan terhadap laju sirkulasi pelarut daun mengkudu dengan dosis 10 gr/L air untuk tiap variasi jumlah serat

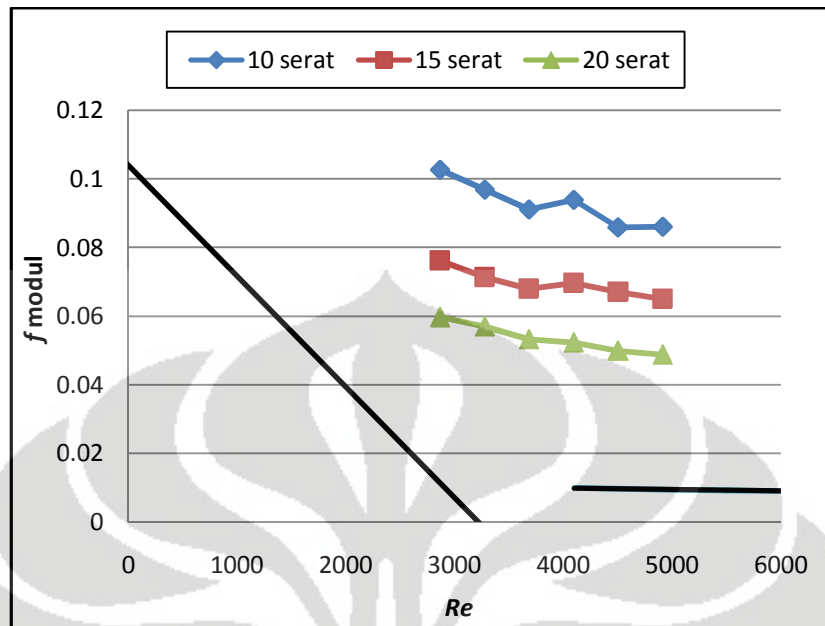
Kecepatan laju sirkulasi pelarut juga dapat diwakilkan dengan bilangan Reynold (Re) yang melambangkan jenis aliran, seperti yang terlihat dalam Gambar 4.23 di bawah ini. Semakin tinggi bilangan Reynold menandakan semakin turbulen

suatu aliran sehingga penurunan tekanan pada membran pun akan menjadi semakin tinggi.

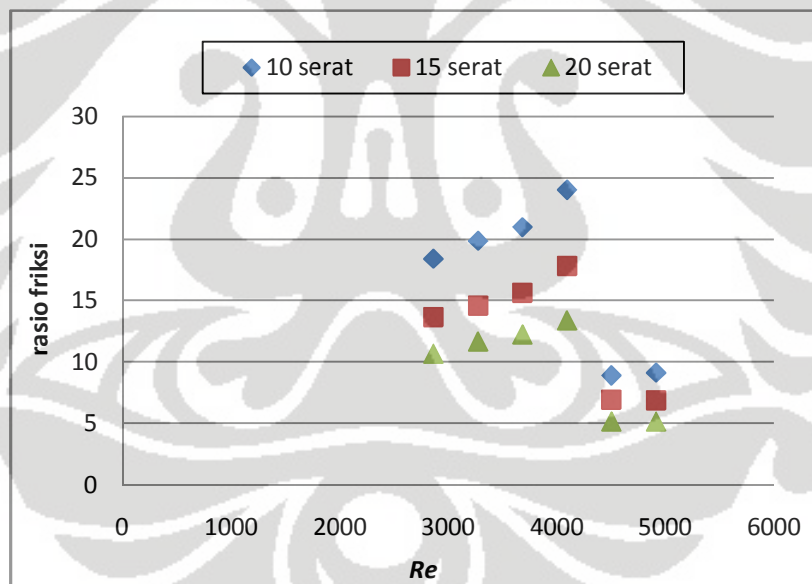


Gambar 4.23 Pengaruh perbedaan tekanan terhadap bilangan Reynold untuk tiap variasi jumlah serat

Dari Gambar 4.24 dapat dilihat hubungan antara faktor friksi dengan bilangan Reynold yang didapat dari hasil penelitian. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa hubungan antara faktor friksi dengan bilangan Reynold berbanding terbalik. Semakin besar kecepatan aliran akan memperkecil faktor friksi yang terjadi, namun friksi yang dihasilkan akan semakin besar, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Jika dilihat dari perbandingan jumlah serat, maka untuk laju alir yang sama terlihat bahwa modul dengan jumlah serat paling banyak akan memiliki faktor friksi yang terbesar. Nilai faktor friksi berbanding lurus dengan diameter ekivalen dan penurunan tekanan, namun berbanding terbalik dengan kecepatan aliran.



Gambar 4.24 Pengaruh perbedaan tekanan terhadap bilangan Reynold untuk tiap variasi jumlah serat



Gambar 4.25 Pengaruh bilangan Reynold dengan rasio friksi untuk tiap variasi jumlah serat

Selain faktor friksi di dalam modul, perhitungan friksi literatur juga dilakukan untuk membandingkan besarnya friksi yang terbentuk dengan friksi ideal yang hanya dipengaruhi oleh bilangan Reynold. Perbandingan antara faktor friksi di dalam modul dengan faktor friksi literatur disebut rasio friksi, dimana hubungan antara rasio friksi

dengan bilangan Reynold dapat dilihat pada Gambar 4.25 di atas. Peningkatan bilangan Reynold akan meningkatkan rasio friksi untuk aliran laminar, namun ketika alirannya berubah menjadi turbulen, maka rasio friksi akan turun. Hal tersebut dikarenakan friksi literatur yang dihasilkan akan berubah menjadi besar ketika laju aliran berubah dari laminar menjadi turbulen, sementara friksi modul akan semakin menurun untuk laju aliran yang semakin turbulen. Karena rasio friksi merupakan perbandingan antara friksi modul dengan friksi literatur, maka ketika aliran berubah dari laminar menjadi turbulen, rasio friksinya pun akan menurun.

Secara umum, berdasarkan Gambar 4.25 diatas dapat dilihat bahwa rasio friksi untuk semua kontaktor memiliki nilai antara 8,9 s.d. 24,0. Dapat dikatakan bahwa friksi yang terjadi selama percobaan (friksi modul) lebih besar dibandingkan friksi yang seharusnya terjadi (friksi literatur). Adanya sambungan antara pipa dengan acrylic dan gesekan dengan permukaan membran dapat menjadi faktor yang mempengaruhi pertambahan nilai faktor friksi.

4.4 Analisa Sampel

Untuk mengetahui kandungan senyawa yang ada di dalam ekstrak daun mengkudu, maka dilakukan karakterisasi dengan menggunakan uji GC/MS. Pada uji ini digunakan dua buah sampel, yaitu sampel ekstrak daun mengkudu sebelum mengabsorp CO₂ dan setelah mengabsorp CO₂. Diharapkan nantinya akan ada senyawa yang secara signifikan berubah konsentrasinya setelah mengabsorp CO₂ sehingga dapat dianalisa secara awal bahwa senyawa tersebutlah yang berperan dalam proses absorpsi CO₂ dengan menggunakan larutan daun mengkudu. Uji GC/MS dilakukan di Pusat Laboratorium Forensik (Puslabfor) Markas Besar Kepolisian Republik Indonesia.

Kondisi peralatan GC/MS yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Merk : AGILENT
- GC : 6890 N

- MS : 5793 i
- Kolom : HP 5 (30 m, ID. 0,250 mm, Film 0,25 μ m)
- *Temp Inlet* : 290 °C
- *Temp Aux* : 290 °C
- *Program Temp*: 70 °C (15 °C/min) – 290 °C (15 min)
- *Carrier Gas* : Helium 1 mL/min *Constant Flow*
- Sampel : 1 μ Split (ratio 100:1)

Setelah dilakukan uji untuk kedua buah sampel, terlihat adanya berbagai kandungan senyawa. Data lengkap mengenai hasil uji sampel menggunakan GC/MS dapat dilihat pada Lampiran 4. Pada data terlihat banyak *peak* dimana tiap *peak* mewakili satu senyawa, namun senyawa-senyawa tersebut dipilah lagi berdasarkan persentase kemiripan (*match quality*) dimana suatu senyawa dipilih jika persentase kemiripannya diatas 70%, karena berdasarkan data *library* GC/MS suatu senyawa dapat dikatakan terdapat di sampel jika persentase kemiripannya melebihi 70%. Nama-nama senyawa yang terkandung di dalam larutan daun mengkudu sebelum dan setelah mengabsorp CO₂ dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan 4.4 di bawah ini.

Tabel 4.3 Kandungan senyawa dalam sampel daun mengkudu sebelum mengabsorp CO₂ berdasarkan analisis GC/MS

<i>Peak</i>	<i>RT</i>	<i>% Area</i>	Nama Senyawa	<i>Match Quality (%)</i>
3	4,71	1,33	4H-Pyran-4-one, 2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl	80
4	4,80	0,61	Benzoic acid	93
5	5,43	5,54	2-Furancarboxaldehyde	86
10	11,11	1,53	n-Hexadecanoic acid	96
11	12,10	7,15	3-(3a,6a-Dimethyl-2,5-dioxo-hexahydro-furo[2,3-b]pyrrol-4-yl)-propionic acid, methyl ester	83
14	12,36	0,57	Octadecanoic acid	90

Tabel 4.4 Kandungan senyawa dalam sampel daun mengkudu setelah mengabsorp CO₂ berdasarkan analisis GC/MS

<i>Peak</i>	<i>RT</i>	<i>% Area</i>	Nama Senyawa	<i>Match Quality (%)</i>
3	4,83	5,04	Octanoic acid	93
4	5,46	5,46	4-hydroxy-5-methoxypyrimidine	72
11	9,38	9,38	D-glutonic acid	83
14	10,87	1,23	Methyl ester Pentadecanoic acid	87
15	11,11	11,12	n-Hexadecanoic acid	96
18	12,25	2,48	Heptadecene-8-carbonic acid	89
19	12,26	2,92	9-Octadecenoic acid	91

Berdasarkan kedua tabel diatas, dapat dilihat bahwa daun mengkudu banyak memiliki senyawa asam, seperti asam benzoat, asam heksadekanoat, dan asam oktanoat. Dari tabel tersebut juga dapat dilihat bahwa terdapat senyawa baru yang terbentuk setelah terjadi proses absorpsi CO₂ oleh larutan daun mengkudu dan juga adanya senyawa yang hilang akibat larutan mengabsorp CO₂. Senyawa-senyawa yang hilang tersebut diantaranya adalah 4H-piran-4-on, 2,3-dihidro-3,5-dihidroxi-6-metil; asam benzoat; 2-Furankarboxaldehid; dan 3-(3a,6a-dimetil-2,5-dioxo-hexahidro-furo[2,3-b]pirol-4-il)-asampropionat, metil ester. Dengan adanya senyawa yang hilang setelah mengabsorp CO₂, maka dapat diambil kesimpulan awal, yaitu senyawa tersebut telah bereaksi dengan CO₂. Namun kemungkinan terjadinya reaksi kecil sekali mengingat absorpsi yang terjadi pada pelarut daun mengkudu terhadap CO₂ adalah absorpsi fisik, dan berarti tidak ada reaksi yang terjadi dalam absorpsi. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui dengan lebih pasti senyawa yang berperan dalam meningkatkan nilai koefisien perpindahan massa pelarut daun mengkudu terhadap air.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dan hasil yang dicapai, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan jenis absorpsi yang terjadi dan nilai koefisien perpindahan massa CO₂, maka dapat dikatakan bahwa pelarut daun mengkudu tidak memiliki potensi untuk mengabsorpsi CO₂ dengan baik.
2. Efektivitas modul membran dalam mengabsorpsi CO₂ dipengaruhi oleh jumlah serat membran dan perpindahan massa secara umum dipengaruhi oleh jumlah serat membran dan laju alir pelarut.
3. Secara keseluruhan, nilai koefisien perpindahan massa CO₂ berbanding lurus dengan laju alir pelarut baik air maupun larutan daun mengkudu dengan berbagai dosis.
4. Peningkatan jumlah serat di dalam modul dan penambahan dosis daun mengkudu akan menurunkan nilai koefisien perpindahan massa pada laju alir pelarut yang sama.
5. Berdasarkan konstanta Qi dan Cussler, maka absorpsi CO₂ oleh larutan daun mengkudu termasuk jenis absorpsi fisik, sehingga tidak ada reaksi kimia yang terjadi selama absorpsi.
6. Nilai koefisien perpindahan massa yang dapat dicapai menggunakan pelarut air adalah $4,25 \times 10^{-5}$ m/s; sementara dengan larutan mengkudu dosis 10 gr/L, 50 gr/L, dan 100 gr/L masing-masing adalah $4,44 \times 10^{-5}$ m/s, $3,26 \times 10^{-5}$ m/s, dan $2,58 \times 10^{-5}$ m/s.
7. Korelasi perpindahan massa CO₂ oleh pelarut daun mengkudu yang terjadi di dalam kontaktor membran adalah $Sh = 0,714 \varphi^{-0,59} \cdot Re^{0,50}$ untuk dosis 10 gr/L air dan $Sh = 0,673 \varphi^{-0,28} \cdot Re^{0,53}$ untuk dosis 50 gr/L air. Pangkat Re yang kurang dari 0,6 menunjukkan aliran pelarut yang terjadi cenderung laminar, sehingga kurang efektif dalam mengabsorpsi CO₂.

8. Penurunan tekanan yang terjadi berbanding lurus dengan laju alir pelarut dan jumlah serat di dalam modul.
9. Berdasarkan uji GC/MS, diketahui bahwa senyawa yang dominan terdapat di sampel daun mengkudu adalah asam heksanoat, dan terdapat beberapa senyawa yang hilang setelah mengabsorp CO₂. Namun penentuan senyawa yang berperan dalam absorpsi CO₂ belum bisa ditentukan, mengingat absorpsi yang terjadi adalah absorpsi fisik.

Sedangkan saran yang dapat diberikan berkaitan dengan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan gas yang bersifat basa, dikarenakan berdasarkan eksperimen larutan daun mengkudu tidak cocok dengan gas yang bersifat asam.
2. Proses preparasi pelarut dapat digunakan cara lain yang lebih baik sehingga ekstrak daun mengkudu yang terambil akan lebih banyak, mengingat preparasi yang dilakukan dalam penelitian ini merupakan cara preparasi yang paling sederhana.

DAFTAR REFERENSI

Al-Marzouqi, Mohamed H., et.al, *Modelling of CO₂ Absorption in Membrane Contactors* (UAE: Elsevier, Separation and Purification Technology, 2007).

Anonim, *Polypropylene*, www.wikipedia.org (Diakses tanggal 1 Mei 2009).

Anonim, *Hollow Fiber Membrane*, <http://www.cheresources.com> (Diakses tanggal 1 Juni 2009).

Atchariyawut, Supakorn., et.al, *Separation of CO₂ from CH₄ by Using Gas-Liquid Membrane Contacting Process* (Thailand: Elsevier, Journal of Membrane Science 304, 2007) hal. 163-172.

Bird, R. Byron, et.al. *Transport Phenomena* (USA: John Wiley & Sons, 1960).

Cussler, E. L. dan Qi, Z., *Microporous Hollow Fibers for Gas Absorption*. I. Mass Transfer in The Liquid, J. Membr. Sci. 23, pp. 321-332 (1985a).

Dindore, V.Y., Brilman, D.F.W., and Versteeg, G.F., 2006, *Hollow fiber membrane contactor as a gas-liquid model contactor*, Chemical Engineering Science, 60 (2), 467-172.

Djauhariya, Endjo and Rosihan Rosman, *Status Perkembangan Teknologi Tanaman Mengkudu*, Balai Penelitian Tanaman Obat dan Aromatik.

Gabelman, Alan and Sun-Tak Hwang, *Hollow Fiber Membrane Contactors* (Cincinnati: Elsevier, Journal of Membrane Science 159, 1999) hal. 61-106.

Kartohardjono, S., *Hollow Fiber Membrane Contactor*, Kapita Selekt, Program Studi Teknik Kimia Universitas Indonesia, 2004.

Li, Jing-Liang and Bing-Hung Chen, *Review of CO₂ Absorption Using Chemical Solvents in Hollow Fiber Membrane Contactors* (Singapore: Elsevier, Separation and Purification Technology 41, 2005) hal. 109-122.

Lipnizki, F. R. W., Field, *Mass Transfer Performance for Hollow Fiber Modules with Shell-Side Axial Feed Flow: Using an Engineering Approach to Develop a Framework*. J. Membr. Sci 193, pp 195-208. (2001)

Mulder, Marcel, *Basic Principles of Membrane Technology* (Netherlands: Kluwer Academic Publisher, 1997).

Sari, Marina. “Absorpsi Gas CO₂ Menggunakan Pelarut Air dan Larutan Encer NaOH 0,01 M Melalui Kontaktor Membran Serat Berongga: Diameter Serat 2 mm.” Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2007.

Shadily, Hassan. 1987. *Ensiklopedi Indonesia Jilid Keempat*. Jakarta: PT. Ichtiar Baru-Van Hoeve.

1.1 Studi Perpindahan Massa Menggunakan Pelarut Air

1.1.1 Data Perpindahan Massa Menggunakan Pelarut Air dengan Jumlah Serat 10

Laju alir gas CO₂ input = 180 sccm

pH awal = 6,41

Temperatur operasi = 25⁰C

Laju alir air (L/jam)	t bubbleflowmeter(s)	pH akhir
350	7,69	5,92
	7,63	
400	7,94	5,95
	7,92	
450	7,99	5,97
	8,23	
500	8,6	5,98
	8,66	
550	9,1	6,01
	9,13	
600	9,43	6,03
	9,35	

1.1.2 Data Perpindahan Massa Menggunakan Pelarut Air dengan Jumlah Serat 15

Laju alir gas CO₂ input = 180 sccm

pH awal = 6,4

Temperatur operasi = 25⁰C

(Lanjutan)

Laju alir air (L/jam)	t bubbleflowmeter(s)	pH akhir
350	9,81	5,65
	9,78	
400	10,75	5,71
	10,58	
450	11,4	5,78
	11,83	
500	12,87	5,82
	12,97	
550	13,97	5,85
	14,23	
600	16,08	5,87
	16,03	

1.1.3 Data Perpindahan Massa Menggunakan Pelarut Air dengan Jumlah Serat 20

Laju alir gas CO₂ input = 180 sccm

pH awal = 6,4

Temperatur operasi = 25⁰C

Laju alir air (L/jam)	t bubbleflowmeter(s)	pH akhir
350	13,72	5,66
	13,76	
400	16,74	5,7
	16,85	
450	20,31	5,71
	19,75	
500	23,32	5,74
	23,81	
550	29,93	5,75
	29,45	
600	35,81	5,77
	36,13	

1.2 Studi Perpindahan Massa Menggunakan Pelarut Daun Mengkudu dengan Dosis 10 gr/L Air

1.2.1 Data Perpindahan Massa Menggunakan Pelarut Daun Mengkudu dengan Dosis 10 gr/L Air dengan Jumlah Serat 10

(Lanjutan)

Laju alir gas CO₂ input = 180 sccm

pH awal = 5,65

Temperatur operasi = 25⁰C

Q pelarut(L/jam)	t bubbleflowmeter (s)	pH akhir
350	8,05	4,7
	8,07	
400	8,31	4,72
	8,37	
450	8,44	4,73
	8,57	
500	8,76	4,74
	8,73	
550	9,35	4,74
	9,43	
600	9,63	4,74
	9,89	

1.2.2 Data Perpindahan Massa Menggunakan Pelarut Daun Mengkudu dengan Dosis 10 gr/L Air dengan Jumlah Serat 15

Laju alir gas CO₂ input = 180 sccm

pH awal = 5,65

Temperatur operasi = 25⁰C

Q pelarut(L/jam)	t bubbleflowmeter(s)	pH akhir
350	9,83	4,71
	10,04	
400	11,44	4,72
	11,76	
450	12,06	4,73
	12,3	
500	12,96	4,74
	13,56	
550	14,67	4,75
	14,57	
600	17,49	4,76
	17,69	

(Lanjutan)

1.2.3 Data Perpindahan Massa Menggunakan Pelarut Daun Mengkudu Dengan Jumlah Serat 20

Laju alir gas CO₂ input = 180 sccm

pH awal = 5,65

Temperatur operasi = 25⁰C

Q pelarut(L/jam)	t bubbleflowmeter(s)	pH akhir
350	16,34	4,45
	15,73	
400	19,64	4,45
	19,63	
450	21,3	4,46
	21,56	
500	27,14	4,47
	26,97	
550	36,16	4,47
	36	
600	46,97	4,47
	46,85	

1.3 Studi Perpindahan Massa Menggunakan Pelarut Daun Mengkudu dengan Dosis 50 gr/L Air

1.3.1 Data Perpindahan Massa Menggunakan Pelarut Daun Mengkudu dengan Dosis 50 gr/L Air dengan Jumlah Serat 10

Laju alir gas CO₂ input = 180 sccm

pH awal = 5,10

Temperatur operasi = 25⁰C

(Lanjutan)

Q pelarut (L/jam)	t bubbleflowmeter (s)	pH akhir
350	6,78	4,45
	6,63	
400	6,85	4,45
	6,87	
450	7,03	4,46
	7,11	
500	7,25	4,47
	7,35	
550	7,5	4,47
	7,55	
600	7,8	4,47
	7,7	

1.3.2 Data Perpindahan Massa Menggunakan Pelarut Daun Mengkudu dengan Dosis 50 gr/L Air dengan Jumlah Serat 15

Laju alir gas CO₂ input = 180 sccm

pH awal = 5,10

Temperatur operasi = 25⁰C

Qpelarut(L/jam)	t bubbleflowmeter(s)	pH akhir
350	8,94	4,57
	8,93	
400	9,53	4,57
	9,49	
450	9,71	4,58
	10,11	
500	11,13	4,58
	11	
550	11,63	4,59
	12,35	
600	13,36	4,59
	13,38	

1.3.3 Data Perpindahan Massa Menggunakan Pelarut Daun Mengkudu Dengan Jumlah Serat 20

Laju alir gas CO₂ input = 180 sccm

(Lanjutan)

pH awal = 5,10

Temperatur operasi = 25⁰C

Q pelarut(L/jam)	t bubbleflowmeter(s)	pH akhir
350	14	4,61
	13,46	
400	15,23	4,62
	14,33	
450	14,93	4,63
	14,76	
500	16,83	4,63
	16,89	
550	19,03	4,64
	19	
600	23,23	4,65
	22,67	

1.4 Studi Perpindahan Massa Menggunakan Pelarut Daun Mengkudu dengan Dosis 100 gr/L Air

1.4.1 Data Perpindahan Massa Menggunakan Pelarut Daun Mengkudu dengan Dosis 100 gr/L Air dengan Jumlah Serat 10

Laju alir gas CO₂ input = 180 sccm

pH awal = 4,45

Temperatur operasi = 25⁰C

Q pelarut(L/jam)	t bubbleflowmeter(s)	pH akhir
350	6,05	4,05
	6,12	
400	6,333	4,06
	6,22	
450	6,42	4,06
	6,36	
500	6,64	4,07
	6,67	
550	6,87	4,08
	6,88	
600	6,97	4,09
	6,9	

1.5 Studi Hidrodinamika Menggunakan Pelarut Daun Mengkudu dengan Dosis 10 gr/L Air

1.5.1 Data Hidrodinamika Menggunakan Pelarut Buah Mengkudu dengan Dosis 10 gr/L Air dengan Jumlah Serat 10

Q pelarut (L/jam)	ΔP (in H ₂ O)		
	Data 1	Data 2	Data 3
350	22	22	20
400	24	24	23
450	27	26	25
500	30	30	30
550	32	33	31
600	35	36	37

1.5.2 Data Hidrodinamika Menggunakan Pelarut Buah Mengkudu dengan Dosis 10 gr/L Air dengan Jumlah Serat 15

Q pelarut (L/jam)	ΔP (in H ₂ O)		
	Data 1	Data 2	Data 3
350	24	24	25
400	27	27	27
450	30	30	30
500	35	35	34
550	38	39	38
600	42	42	43

1.5.3 Data Hidrodinamika Menggunakan Pelarut Buah Mengkudu dengan Dosis 10 gr/L Air dengan Jumlah Serat 20

Q pelarut (L/jam)	ΔP (in H ₂ O)		
	Data 1	Data 2	Data 3
350	26	26	26
400	29	31	29
450	32	34	33
500	37	38	38
550	41	42	42
600	47	47	46

2.1 Perhitungan Koefisien Perpindahan Massa

Langkah pertama adalah mencari kondisi aktual gas CO₂ input dengan persamaan:

$$Q_2 = \frac{P_1}{P_2} \cdot \frac{T_2}{T_1} \cdot Q_1$$

Contoh data yang diperoleh pada pelarut daun mengkudu dengan dosis 10 gr/L air dan jumlah serat 10 buah adalah sebagai berikut:

Laju alir gas CO ₂ input	= 180 sccm
Temperatur operasi	= 25 ⁰ C
Temperatur standar <i>massflow meter</i>	= 21 ⁰ C
Volume <i>bubble flow meter</i>	= 15 cc
Diameter <i>fiber</i>	= 2,7 mm
Panjang modul	= 40 cm
Laju alir pelarut daun mengkudu	= 350 L/jam
Waktu <i>bubble flow meter</i> rata-rata	= 8,06 s

Nilai laju alir gas input pada kondisi aktual dapat dicari dengan persamaan diatas.

Nilai yang didapatkan adalah:

$$Q_2 = \frac{1 \text{ atm} \cdot 25 \text{ }^{\circ}\text{C}}{1 \text{ atm} \cdot 21 \text{ }^{\circ}\text{C}} \cdot 180 \text{ sccm} = 182,462 \text{ sccm}$$

Langkah berikutnya yaitu mencari nilai laju alir gas output membran, dengan cara menghitung volum *bubble flow meter* dibagi dengan waktu rata-rata pada *bubble flow meter*:

$$Q_{\text{gas out}} = \frac{15 \text{ mL}}{8,06 \text{ s}} = 1,861042184 \text{ mL/s} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 111,662531 \text{ mL/min}$$

Selanjutnya mencari luas penampang membran dengan persamaan sebagai berikut:

$$A_m = n_f \cdot \pi \cdot d_f \cdot l = 10 \cdot 3,14 \cdot 0,27 \text{ cm} \cdot 40 \text{ cm} = 339,12 \text{ cm}^2$$

Setelah semua nilai diketahui maka nilai koefisien perpindahan massa dapat dicari dengan menggunakan persamaan (2.1) sebagai berikut:

$$k_l = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{A}$$

$$k_l = \frac{182,642 \text{ mL/min} - 111,662531 \text{ mL/min}}{339,12 \text{ cm}^2} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \cdot \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} = 3,47879 \text{E} - 05 \text{ m/s}$$

Maka nilai koefisien perpindahan massa yang didapat $3,4789 \times 10^{-05} \text{ m/s}$.

2.2 Perhitungan Bilangan Reynolds dan Bilangan Sherwood

Contoh data yang diperoleh pada pelarut daun mengkudu dengan dosis 10 gr/L air dan jumlah serat 10 buah adalah sebagai berikut:

Diameter *fiber* = 0,0027 m

Diameter selongsong = 0,019 m

Laju alir pelarut = 350 L/jam

Massa jenis pelarut = $987,77 \text{ kg/m}^3$

Viskositas pelarut pada 25^0C = $8,904 \times 10^{-4} \text{ kg/ms}$ (Diasumsikan seperti air)

Difusivitas pelarut pada 25^0C = $1,96 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ (Diasumsikan seperti air)

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

$$= \frac{1}{4} \cdot 3,14 (0,019^2 - 10 \cdot 0,0027^2) = 0,000226159 \text{ m}^2$$

Laju alir linier pelarut (v_L) = $\frac{Q_l}{A_{flow}}$

$$= \frac{350 \text{ mL}}{1000 \cdot 3600 \cdot 0,000226159} = 0,429885 \text{ m/s}$$

Faktor kekosongan (ϵ) = $1 - n_{fiber} \left(\frac{d_{o, fiber}}{D_{i, modul}} \right)^2$

$$= 1 - 10 \left(\frac{0,0027 \text{ m}}{0,0019 \text{ m}} \right)^2$$

$$= 0,798061$$

$$\begin{aligned} \text{Diameter ekivalen } (d_e) &= \frac{d_{0, \text{fiber}}}{\sqrt{1 - \varepsilon}} \\ &= \frac{0,0027 \text{ m}}{\sqrt{1 - 0,798061}} = 0,006008 \text{ m} \end{aligned}$$

Selanjutnya adalah mencari nilai bilangan Reynold terlebih dahulu:

$$\text{Re} = \frac{987,77 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,429885 \text{ m/s} \cdot d_e}{8,904 \times 10^{-4} \text{ kg/ms}} = 2865,345$$

Lalu mencari nilai bilangan Sherwood:

$$\begin{aligned} \text{Sh} = k \frac{d_e}{D} &= 0,003478792 \text{ cm/s} \cdot 0,006008 \text{ m} / 1,96 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s} \\ &= 106,6414357 \end{aligned}$$

2.3 Perhitungan Hidrodinamika

Contoh data yang diperoleh oleh daun mengkudu dengan dosis 10 gr/L air pada modul 10 serat:

Laju alir (L/hr)	ΔP (in H ₂ O)			ΔP rata-rata (Pa)
	Data 1	Data 2	Data 3	
350	22	22	20	5645,641067

Selanjutnya membuat plot grafik antara v_L dengan ΔP rata-rata sehingga didapatkan *intercept*. Nilai *intercept* ini digunakan untuk mengkalibrasi penurunan tekanan agar dimulai saat titik nol. Nilai *intercept* yang didapat 2.816 sehingga diperoleh nilai ΔP yang baru adalah $5413,544 - 2816 = 2497,54453$ Pa. Data hidrodinamika selanjutnya diolah lebih lanjut untuk mendapatkan nilai friksi seperti di bawah ini:

Menghitung friksi modul:

$$f = \frac{d_e \Delta P}{2L_f \rho v^2} = \frac{0,006008 \text{ m}^2 \cdot 5645,641067 \text{ Pa}}{2,0584 \text{ m} \cdot 987,77 \text{ kg/m}^3} = 0,102758029$$

Menghitung friksi literatur: $f = \frac{16}{Re}$

$$= 16/286,345 = 0,00558397$$

Menghitung rasio friksi: $\frac{0,102758029}{0,00558397} = 18,40232486$



3.1 Hasil Perpindahan Massa Untuk Modul 10 Serat

3.1.1 Pelarut Air

Q pelarut (L/hr)	v_L (m/s)	k(m/s)
350	0,429885334	3,19222E-05
400	0,491297524	3,38883E-05
450	0,552709715	3,51263E-05
500	0,614121905	3,84126E-05
550	0,675534096	4,11397E-05
600	0,736946286	4,25609E-05

3.1.2 Pelarut Daun Mengkudu dengan Dosis 10 gr/L Air

Q pelarut (L/jam)	v_L (m/s)	k (m/s)	Re	Sh
350	0,429885	3,47879E-05	2865,345	106,6414357
400	0,491298	3,66304E-05	3274,68	112,2894049
450	0,55271	3,76593E-05	3684,015	115,4435304
500	0,614122	3,90866E-05	4093,35	119,8188773
550	0,675534	4,25609E-05	4502,685	130,4693699
600	0,736946	4,43467E-05	4912,02	135,943583

3.1.3 Pelarut Daun Mengkudu dengan Dosis 50 gr/L Air

Qpelarut (L/jam)	v_L (m/s)	k (m/s)	Re	Sh
350	0,429885	2,36976E-05	2864,185	7,264442
400	0,491298	2,51882E-05	3273,354	7,721366
450	0,55271	2,71034E-05	3682,523	8,308464
500	0,614122	2,90745E-05	4091,692	8,91272
550	0,675534	3,08863E-05	4500,862	9,468098
600	0,736946	3,25928E-05	4910,031	9,991228

3.1.4 Pelarut Daun Mengkudu dengan Dosis 100 gr/L Air

Q pelarut (L/jam)	v_L(m/s)	k (m/s)	Re	Sh
350	0,429885	3,47879E-05	2865,345	106,6414357
400	0,491298	3,66304E-05	3274,68	112,2894049
450	0,55271	3,76593E-05	3684,015	115,4435304
500	0,614122	3,90866E-05	4093,35	119,8188773
550	0,675534	4,25609E-05	4502,685	130,4693699
600	0,736946	4,43467E-05	4912,02	135,943583

3.2 Hasil Perpindahan Massa Untuk Modul 15 Serat

3.2.1 Pelarut Air

Qpelarut (L/hr)	v_L (m/s)	k(m/s)
350	0,492152	2,96724E-05
400	0,562459	3,21283E-05
450	0,632766	3,43897E-05
500	0,703074	3,69541E-05
550	0,773381	3,88641E-05
600	0,843689	4,14107E-05

3.2.2 Pelarut Daun Mengkudu dengan Dosis 10 gr/L Air

Q pelarut (L/jam)	v_L(m/s)	k (m/s)	Re	Sh
350	0,492151658	3,00966E-05	2678,413369	75,33035866
400	0,562459037	3,43569E-05	3061,04385	85,99354194
450	0,632766417	3,55674E-05	3443,674332	89,02339252
500	0,703073796	3,75393E-05	3826,304813	93,95889575
550	0,773381176	3,9608E-05	4208,935294	99,13671049
600	0,843688556	4,30135E-05	4591,565776	107,660677

3.2.3 Pelarut Daun Mengkudu dengan Dosis 50 gr/L Air

Q pelarut (L/jam)	v_L (m/s)	k (m/s)	Re	Sh
350	0,492151658	2,67748E-05	2677,328739	67,01585999
400	0,562459037	2,87702E-05	3059,804273	72,01035137
450	0,632766417	3,00218E-05	3442,279807	75,14294684
500	0,703073796	3,31278E-05	3824,755341	82,91714145
550	0,773381176	3,51838E-05	4207,230875	88,06313963
600	0,843688556	3,77222E-05	4589,706409	94,41684383

3.3 Hasil Perpindahan Massa Untuk Modul 20 Serat

3.3.1 Pelarut Air

Q pelarut (L/hr)	v_L (m/s)	k(m/s)
350	0,575511	2,87371E-05
400	0,657727	3,1665E-05
450	0,739943	3,37918E-05
500	0,822159	3,54481E-05
550	0,904374	3,73843E-05
600	0,98659	3,86848E-05

3.3.2 Pelarut Daun Mengkudu dengan Dosis 10 gr/L Air

Q pelarut (L/jam)	v_L (m/s)	k (m/s)	Re	Sh
350	0,575510988	3,10409E-05	2712,457258	67,28472899
400	0,657726843	3,35697E-05	3099,951153	72,76614826
450	0,739942699	3,45131E-05	3487,445047	74,81118808
500	0,822158554	3,66588E-05	3874,938941	79,46215456
550	0,90437441	3,87035E-05	4262,432835	83,89439727
600	0,986590265	4,01187E-05	4649,926729	86,96191362

3.3.3 Pelarut Daun Mengkudu dengan Dosis 50 gr/L Air

Q pelarut (L/jam)	v_L (m/s)	k (m/s)	Re	Sh
350	0,575510988	2,87254E-05	2711,358842	62,26567555
400	0,657726843	2,98697E-05	3098,695819	64,74614978
450	0,739942699	2,99353E-05	3486,032797	64,88816965
500	0,822158554	3,17158E-05	3873,369774	68,74763966
550	0,90437441	3,32024E-05	4260,706752	71,97007169
600	0,986590265	3,51966E-05	4648,043729	76,29278177

(Lanjutan)

**3.4 Hasil Hidrodinamika Pelarut Daun Mengkudu dengan Dosis 10 gr/L Air
untuk Modul 10 Serat**

Qpelarut (L/hr)	ΔP (Pa)	Re	f	Friksi literatur	Rasio friksi
350	2497,544533	2865,344932	0,102758029	0,00558397	18,40232486
400	3078,713467	3274,679922	0,096981278	0,004885974	19,84891522
450	3659,8824	3684,014912	0,091092101	0,004343088	20,97404105
500	4656,172	4093,349903	0,093870173	0,003908779	24,01521656
550	5154,3168	4502,684893	0,085878479	0,00966846	8,882332981
600	6150,6064	4912,019883	0,086110091	0,009460414	9,10214807

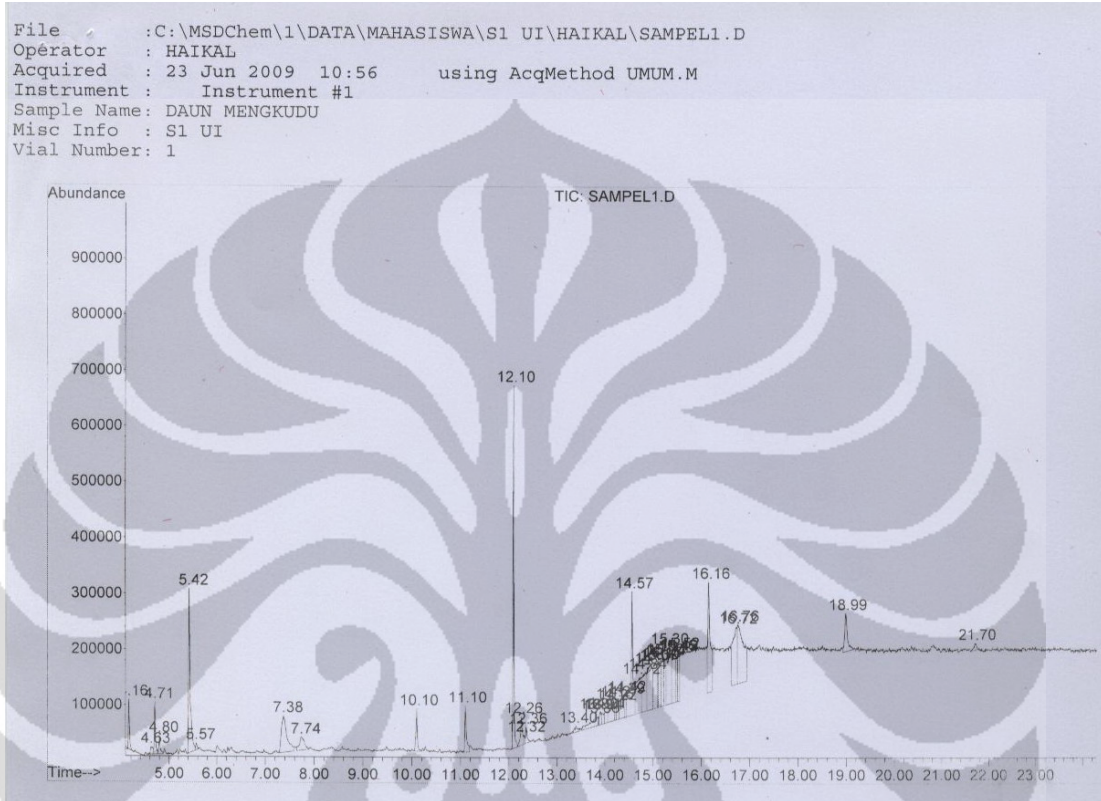
**3.5 Hasil Hidrodinamika Pelarut Daun Mengkudu dengan Dosis 10 gr/L Air
Untuk Modul 15 Serat**

Qpelarut (L/hr)	ΔP (Pa)	Re	f	Friksi literatur	Rasio friksi
350	2970,761733	2865,345	0,076143366	0,00558397	13,63606293
400	3634,9548	3274,68	0,071331174	0,004885974	14,59917262
450	4382,172	3684,015	0,067946131	0,004343088	15,64465988
500	5544,509867	4093,35	0,069634344	0,003908779	17,81485847
550	6457,775333	4502,685	0,067028251	0,00966846	6,932671103
600	7454,064933	4912,02	0,065011623	0,009460414	6,871963678

**3.6 Hasil Hidrodinamika Pelarut Daun Mengkudu dengan Dosis 10 gr/L Air
Untuk Modul 20 Serat**

Qpelarut (L/hr)	ΔP (Pa)	Re	f	Friksi literatur	Rasio friksi
350	3674,8824	2865,345	0,059652547	0,00558397	10,68282017
400	4588,147867	3274,68	0,057021555	0,004885974	11,67045883
450	5418,3892	3684,015	0,053206759	0,004343088	12,25090577
500	6580,727067	4093,35	0,052342626	0,003908779	13,39104258
550	7577,016667	4502,685	0,049807472	0,00966846	5,151541515
600	8822,378667	4912,02	0,048730944	0,009460414	5,151037056

4.1 Analisis GC/MS untuk Sampel Daun Mengkudu Sebelum Mengabsorp CO₂



Library Search Report

Data Path : C:\MSDCHEM\1\DATA\MAHASISWA\S1 UI\HAIKAL\
 Data File : SAMPEL1.D
 Acq On : 23 Jun 2009 10:56
 Operator : HAIKAL
 Sample : DAUN MENGGUDU
 Misc : S1 UI
 ALS Vial : 1 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\wiley7n.1 Minimum
 Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: Chemstation Integrator - events.e

PK#	RT	Area%	Library/ID	Ref#
CAS#	Qual			

1	4.16	1.13	C:\Database\wiley7n.1	
000065-71-4	59		2,4(1H,3H)-Pyrimidinedione, 5-methyl-	22102
			yl- (CAS) \$\$ Thymin \$\$ 5-Methyluracil \$\$ Thymine \$\$ Thymine anhydrate \$\$ 2,4-Dihydroxy-5-methylpyrimidine	
000118-71-8	53		Maltol	22208
017826-82-3	53		3H-Pyrazol-3-one, 2,4-dihydro-2,4,5-trimethyl- \$\$ 2-Pyrazolin-5-one, 1,3,4-trimethyl-	22284
2	4.63	0.39	C:\Database\wiley7n.1	
000000-00-0	35		2,2,6,6-D4-CYCLOHEXANONE	7290
030673-60-0	32		propyl decanoate \$\$ PROPYL CAPRATE	136248
006513-03-7	32		\$\$ Decanoic acid, propyl ester Nonanoic acid, propyl ester	115509
3	4.71	1.33	C:\Database\wiley7n.1	
028564-83-2	80		4H-Pyran-4-one, 2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-	39670
028564-83-2	72		4H-Pyran-4-one, 2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-	39668
000000-00-0	72		2,3-Dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-4H-pyran-4-one	39675
4	4.80	0.61	C:\Database\wiley7n.1	
000065-85-0	93		Benzoic acid (CAS) \$\$ Retardex \$\$	19637
000065-85-0	93		HA 1 \$\$ Tenn-Plas \$\$ Retarder BA \$ \$ Benzoic acid \$\$ Solvo powder \$ \$ Salvo liquid \$\$ Dracylic acid \$ \$ Carboxybenzene \$\$ Benzoate \$ \$ Benzoesaure GK \$\$ Benzoesaure GV \$ \$ Phenylformic acid \$ \$ Benzeneformic acid \$ \$ Phenylcar	
			Benzoic acid (CAS) \$\$ Retardex \$\$	19638
000065-85-0	93		HA 1 \$\$ Tenn-Plas \$\$ Retarder BA \$ \$ Benzoic acid \$\$ Solvo powder \$ \$ Salvo liquid \$\$ Dracylic acid \$ \$ Carboxybenzene \$ \$ Benzoate \$ \$ Benzo	

esaeure GK \$\$ Benzoesaeure GV \$\$ P
henylformic acid \$\$ Benzeneformic
acid \$\$ Phenylcar
Benzoic acid (CAS) \$\$ Retardex \$\$ 19626
000065-85-0 81
HA 1 \$\$ Tenn-Plas \$\$ Retarder BA \$
\$ Benzoic acid \$\$ Solvo powder \$\$
Salvo liquid \$\$ Dracylic acid \$\$ C
arboxybenzene \$\$ Benzoate \$\$ Benzo
esaeure GK \$\$ Benzoesaeure GV \$\$ P
henylformic acid \$\$ Benzeneformic
acid \$\$ Phenylcar
5 5.43 5.54 C:\Database\wiley7n.1
2-Furancarboxaldehyde, 5-(hydroxym 22190
000067-47-0 86
ethyl)- (CAS) \$\$ HMF \$\$ 5-Oxymethy
lfurfurole \$\$ Hydroxymethylfurfuro
le \$\$ 5-(Hydroxymethyl)furfural \$\$
5-Hydroxymethylfuraldehyde \$\$ 5-(
Hydroxymethyl)-2-furfural \$\$ 5-Hyd
roxymethyl-2-formylfuran \$\$ 5-(Hyd
roxymethyl)-2-fur
2-Furancarboxaldehyde, 5-(hydroxym 22189
000067-47-0 81
ethyl)- (CAS) \$\$ HMF \$\$ 5-Oxymethy
lfurfurole \$\$ Hydroxymethylfurfuro
le \$\$ 5-(Hydroxymethyl)furfural \$\$
5-Hydroxymethylfuraldehyde \$\$ 5-(
Hydroxymethyl)-2-furfural \$\$ 5-Hyd
roxymethyl-2-formylfuran \$\$ 5-(Hyd
roxymethyl)-2-fur
4-hydroxy-5-methoxypyrimidine \$\$ 4 22122
000695-87-4 72
(1H)-Pyrimidinone, 5-methoxy- (CAS
) \$\$ 4-Pyrimidinol, 5-methoxy- (CA
S) \$\$ 5-Methoxy-4(1H)-pyrimidone
6 5.57 0.22 C:\Database\wiley7n.1
Butanedioic acid, hydroxy-, dimeth 61467
001587-15-1 32
yl ester (CAS) \$\$ Dimethyl malate
\$\$ DIMETHYL 2-HYDROXYSUCCINATE \$\$
Malic acid, dimethyl ester \$\$ dime
thyl hydroxybutadioate
6-Acetyl-.beta.-d-mannose 146497
000000-00-0 27
Methyl 3-hydroxytetradecanoate \$\$ 197732
055682-83-2 25
Tetradecanoic acid, 3-hydroxy-, me
thyl ester

7	7.38	4.20	C:\Database\wiley7n.1	
054699-25-1	37		Urea, N,N'-dibutyl-N,N'-dimethyl-	115198
000112-56-1	37		Thiocyanic acid, 2-(2-butoxyethoxy	118828
)ethyl ester \$\$ Butyl carbitol rho	
			danate \$\$ Lethane 384 \$\$ 1-Butoxy-	
			2-(2-thiocyanoethoxy)ethane \$\$ 2-(
			2-Butoxyethoxy)ethyl thiocyanate \$	
			\$.beta.-Butoxy-.beta.'-thiocyanod	
			iethyl ether \$\$ Butoxyrhodanodieth	
			yl ether \$\$ Butyl	
			d-Ornithine	27690
000000-00-0	32			
8	7.74	1.44	C:\Database\wiley7n.1	
000124-07-2	59		Octanoic acid (CAS) \$\$ Caprylic ac	40187
			id \$\$ neo-Fat 8 \$\$ Octylic acid \$\$	
			Enantic acid \$\$ n-Octoic acid \$\$	
			n-Octylic acid \$\$ n-Octanoic acid	
			\$\$ n-Caprylic acid \$\$ 1-Heptanecar	
			boxylic acid \$\$ Lunac 8-95 \$\$ Hept	
			ane-1-carboxylic acid \$\$ Octic aci	
			d \$\$ Octanoic aci	
			d-Allose	85494
000000-00-0	59			
000112-05-0	53		Nonanoic acid (CAS) \$\$ Nonoic acid	57725
			\$\$ Nonylic acid \$\$ Pelargic acid	
			\$\$ n-Nonoic acid \$\$ n-Nonylic acid	
			\$\$ n-Nonanoic acid \$\$ 1-Octanecar	
			boxylic acid \$\$ Pelargonic acid \$\$	
			Cirrasol 185a \$\$ Emfac 1202 \$\$ He	
			xacid C-9 \$\$ Pelargon \$\$ PELARGONS	
			AEURE \$\$ Pergonic	
9	10.10	1.32	C:\Database\wiley7n.1	
000000-00-0	72		3-(3a,6a-Dimethyl-2,5-dioxo-hexahy	193537
			dro-furo[2,3-b]pyrrol-4-yl)-propio	
			nic acid, methyl ester	
072101-37-2	53		11-Azabicyclo[4.4.1]undecane, 11-m	69250
			ethyl-	
067679-55-4	50		Cyclohexanecarboxylic acid, 4-butyl	238359
			l-, 4-methoxyphenyl ester	
10	11.11	1.53	C:\Database\wiley7n.1	
000057-10-3	96		n-Hexadecanoic acid	195431

Hexadecanoic acid (CAS) \$\$ Palmiti 195442
000057-10-3 94
c acid \$\$ Palmitinic acid \$\$ n-Hex
adecoic acid \$\$ n-Hexadecanoic aci
d \$\$ Pentadecanecarboxylic acid \$\$
1-Pentadecanecarboxylic acid \$\$ P
rifrac 2960 \$\$ Coconut oil fatty a
cids \$\$ Cetylic acid \$\$ Emersol 14
0 \$\$ Emersol 143
n-Hexadecanoic acid 195430
000057-10-3 94
11 12.10 7.15 C:\Database\wiley7n.1
Phytol 245670
000150-86-7 83
Phytol \$\$ 2-Hexadecen-1-ol, 3,7,11 245668
000150-86-7 76
,15-tetramethyl-, [R-[R@,R@-(E)]]-
\$\$ trans-Phytol \$\$ 3,7,11,15-Tetr
amethyl-2-hexadecen-1-ol
Phytol 245667
000150-86-7 74
12 12.26 1.15 C:\Database\wiley7n.1
3-Heptadecen-5-yne, (Z)- 165695
074744-55-1 50
Cyclooctene, 3-ethenyl- 32083
002213-60-7 46
3,4-dihydro-6,7-dimethoxyisoquinol 125444
084122-10-1 43
ine 2-oxide
13 12.32 0.23 C:\Database\wiley7n.1
Cyclotrisiloxane, hexamethyl- 146396
000541-05-9 46
Cyclotrisiloxane, hexamethyl- \$\$ D 146392
000541-05-9 43
imethylsiloxane cyclic trimer \$\$ H
examethylcyclotrisiloxane
Cyclotrisiloxane, hexamethyl- 146391
000541-05-9 38
14 12.36 0.57 C:\Database\wiley7n.1
Octadecanoic acid 231319
000057-11-4 90
Octadecanoic acid (CAS) \$\$ Stearic 231320
000057-11-4 68
acid \$\$ n-Octadecanoic acid \$\$ PD
185 \$\$ NAA 173 \$\$ Vanicol \$\$ Kam
3000 \$\$ Kam 1000 \$\$ Kam 2000 \$\$ Ne
o-Fat 18 \$\$ Steric acid \$\$ Hystren
e 80 \$\$ Industrene R \$\$ Stearex Be

ads \$\$ Hystrene S-97 \$\$ Neo-Fat 18
-53 \$\$ Neo-Fat 18
Octadecanoic acid (CAS) \$\$ Stearic 231332
000057-11-4 59
acid \$\$ n-Octadecanoic acid \$\$ PD
185 \$\$ NAA 173 \$\$ Vanicol \$\$ Kam
3000 \$\$ Kam 1000 \$\$ Kam 2000 \$\$ Ne
o-Fat 18 \$\$ Steric acid \$\$ Hystren
e 80 \$\$ Industrene R \$\$ Stearex Be
ads \$\$ Hystrene S-97 \$\$ Neo-Fat 18
-53 \$\$ Neo-Fat 18
15 13.40 0.41 C:\Database\wiley7n.1
Cyclotrisiloxane, hexamethyl- (CAS 146397
000541-05-9 50
) \$\$ 1,1,3,3,5,5-HEXAMETHYL-CYCLOH
EXASILOXANE \$\$ Hexamethylcyclotris
iloxane \$\$ HEXAMETHYL-CYCLOTRISILO
XANE \$\$ Dimethylsiloxane cyclic tr
imer
013183-70-5 49
Silane, 1,4-phenylenebis[trimethyl 147366
- \$\$ Silane, p-phenylenebis[trimet
hyl- \$\$ p-Bis(trimethylsilyl)benze
ne \$\$ Benzene, p-bis(trimethylsily
l)- \$\$ Silane, p-biphenylenebis[
trimethyl- \$\$ 1,4-Bis(trimethylsil
yl)benzene \$\$ p-Phenylenebis(trime
thylsilane) \$\$ Si
000000-00-0 49
BENZENE, 1,4-BIS(TRIMETHYLSILYL)- 147367
16 13.82 1.56 C:\Database\wiley7n.1
Silicone grease, Siliconfett 392047
000000-00-0 64
N-ethyl-1,3-dithioisoindoline \$\$ 1 125287
035373-06-9 43
H-Isoindole-1,3(2H)-dithione, 2-et
hyl- (CAS)
000541-05-9 43
Cyclotrisiloxane, hexamethyl- 146396
17 13.87 0.18 C:\Database\wiley7n.1
Cyclotrisiloxane, hexamethyl- 146391
000541-05-9 46
Cyclotrisiloxane, hexamethyl- \$\$ D 146392
000541-05-9 46
imethylsiloxane cyclic trimer \$\$ H
examethylcyclotrisiloxane
000077-06-5 46
Gibberellin A3 \$\$ Gibb-3-ene-1,10- 294997
dicarboxylic acid, 2,4a,7-trihydro

xy-1-methyl-8-methylene-, 1,4a-lactone, (1.alpha.,2.beta.,4a.alpha.,4b.beta.,10.beta.)- (CAS) \$\$ GA3 \$ \$ GA \$\$ Gibberellin X \$\$ Gibberell ic acid \$\$ 4a,1-(Epoxy-methano)-7,9 a-methanobenz[a]a

18 13.91 0.48 C:\Database\wiley7n.1
 BENZENE, 1,4-BIS(TRIMETHYLSILYL)- 147367
 000000-00-0 50
 2,4,6-Cycloheptatrien-1-one, 3,5-b 186568
 000000-00-0 50
 is-trimethylsilyl-
 Silane, 1,4-phenylenebis[trimethyl 147366
 013183-70-5 50
 - \$\$ Silane, p-phenylenebis[trimet
 hyl- \$\$ p-Bis(trimethylsilyl)benze
 ne \$\$ Benzene, p-bis(trimethylsily
 l)- \$\$ Silane, p-biphenylenebis[
 trimethyl- \$\$ 1,4-Bis(trimethylsil
 yl)benzene \$\$ p-Phenylenebis(trime
 thylsilane) \$\$ Si

19 13.94 0.54 C:\Database\wiley7n.1
 2-(Acetoxymethyl)-3-(methoxycarbon 228364
 093103-70-9 50
 yl)biphenylene
 Gibberellin A3 \$\$ Gibb-3-ene-1,10- 294997
 000077-06-5 46
 dicarboxylic acid, 2,4a,7-trihydro
 xy-1-methyl-8-methylene-, 1,4a-lac
 tone, (1.alpha.,2.beta.,4a.alpha.,
 4b.beta.,10.beta.)- (CAS) \$\$ GA3 \$
 \$ GA \$\$ Gibberellin X \$\$ Gibberell
 ic acid \$\$ 4a,1-(Epoxy-methano)-7,9
 a-methanobenz[a]a
 Cyclotrisiloxane, hexamethyl- (CAS 146393
 000541-05-9 46
) \$\$ 1,1,3,3,5,5-HEXAMETHYL-CYCLOH
 EXASILOXANE \$\$ Hexamethylcyclotris
 iloxane \$\$ HEXAMETHYL-CYCLOTRISILO
 XANE \$\$ Dimethylsiloxane cyclic tr
 imer

20 14.01 0.70 C:\Database\wiley7n.1
 Silane, 1,4-phenylenebis[trimethyl 147366
 013183-70-5 50
 - \$\$ Silane, p-phenylenebis[trimet
 hyl- \$\$ p-Bis(trimethylsilyl)benze
 ne \$\$ Benzene, p-bis(trimethylsily
 l)- \$\$ Silane, p-biphenylenebis[
 trimethyl- \$\$ 1,4-Bis(trimethylsil

```

yl)benzene $$ p-Phenylenebis(trimethylsilane) $$ Si
BENZENE, 1,4-BIS(TRIMETHYLSILYL)- 147367
000000-00-0 50
2,4,6-Cycloheptatrien-1-one, 3,5-b 186568
000000-00-0 50
is-trimethylsilyl-

21 14.16 1.68 C:\Database\wiley7n.1
Cyclotrisiloxane, hexamethyl- 146396
000541-05-9 49
Cyclotrisiloxane, hexamethyl- (CAS 146393
000541-05-9 49
) $$ 1,1,3,3,5,5-HEXAMETHYL-CYCLOH
EXASILOXANE $$ Hexamethylcyclotris
iloxane $$ HEXAMETHYL-CYCLOTRISILO
XANE $$ Dimethylsiloxane cyclic tr
imer
Cyclotrisiloxane, hexamethyl- $$ D 146392
000541-05-9 49
imethylsiloxane cyclic trimer $$ H
examethylcyclotrisiloxane

22 14.22 0.55 C:\Database\wiley7n.1
BENZENE, 1,4-BIS(TRIMETHYLSILYL)- 147367
000000-00-0 52
Silane, 1,4-phenylenebis(trimethyl 147366
013183-70-5 52
- $$ Silane, p-phenylenebis(trimet
hyl- $$ p-Bis(trimethylsilyl)benze
ne $$ Benzene, p-bis(trimethylsily
l)- $$ Silane, p-biphenylenebis[
trimethyl- $$ 1,4-Bis(trimethylsil
yl)benzene $$ p-Phenylenebis(trimeth
ylsilane) $$ Si
2,4,6-Cycloheptatrien-1-one, 3,5-b 186568
000000-00-0 50
is-trimethylsilyl-

23 14.27 0.97 C:\Database\wiley7n.1
Cyclotrisiloxane, hexamethyl- 146391
000541-05-9 49
Cyclotrisiloxane, hexamethyl- $$ D 146392
000541-05-9 49
imethylsiloxane cyclic trimer $$ H
examethylcyclotrisiloxane
Gibberellin A3 $$ Gibb-3-ene-1,10- 294997
000077-06-5 49
dicarboxylic acid, 2,4a,7-trihydro
xy-1-methyl-8-methylene-, 1,4a-lac
tone, (1.alpha.,2.beta.,4a.alpha.,
4b.beta.,10.beta.)- (CAS) $$ GA3 $

```

\$ GA \$\$ Gibberellin X \$\$ Gibberell
 ic acid \$\$ 4a,1-(Epoxyethano)-7,9
 a-methanobenz[a]a

24 14.39 1.79 C:\Database\wiley7n.1
 Tetrasiloxane, decamethyl- (CAS) \$ 259917
 000141-62-8 50
 \$ Decamethyltetrasiloxane \$\$ [(CH3
)3SiOSi(CH3)2]2O \$\$ KF 96L1.5
 Cyclotrisiloxane, hexamethyl- 146396
 000541-05-9 46
 Cyclotrisiloxane, hexamethyl- \$\$ D 146392
 000541-05-9 46
 imethylsiloxane cyclic trimer \$\$ H
 examethylcyclotrisiloxane

25 14.42 0.75 C:\Database\wiley7n.1
 Silane, 1,4-phenylenebis[trimethyl 147366
 013183-70-5 47
 - \$\$ Silane, p-phenylenebis[trimet
 hyl- \$\$ p-Bis(trimethylsilyl)benze
 ne \$\$ Benzene, p-bis(trimethylsily
 l)- \$\$ Silane, p-biphenylenebis[
 trimethyl- \$\$ 1,4-Bis(trimethylsil
 yl)benzene \$\$ p-Phenylenebis(trime
 thylsilane) \$\$ Si
 N-ethyl-1,3-dithioisoindoline \$\$ 1 125287
 035373-06-9 47
 H-Isoindole-1,3(2H)-dithione, 2-et
 hyl- (CAS)
 1H-Indole, 1-methyl-2-phenyl- (CAS 125865
 003558-24-5 47
) \$\$ 1-Methyl-2-phenylindole \$\$ 2-
 Phenyl-N-methylindole \$\$ Indole, 1
 -methyl-2-phenyl- \$\$ N-Methyl-2-ph
 enylindole

26 14.56 6.07 C:\Database\wiley7n.1
 1,2-Benzenedicarboxylic acid, 3-ni 131213
 000603-11-2 55
 tro- (CAS) \$\$ 3-Nitrophthalic acid
 \$\$ Phthalic acid, 3-nitro- \$\$ m-N
 itrophthalic acid
 Di-(2-ethylhexyl)phthalate 326940
 000117-81-7 49
 Bis(2-ethylhexyl) phthalate \$\$ 1,2 326908
 000117-81-7 49
 -Benzenedicarboxylic acid, bis(2-e
 thylhexyl) ester \$\$ Phthalic acid,
 bis(2-ethylhexyl) ester \$\$ Bis(2-
 ethylhexyl) 1,2-benzenedicarboxyla
 te \$\$ Bisoflex 81 \$\$ Compound 889

\$\$ Di(ethylhexyl) phthalate \$\$ Di(
 2-ethylhexyl) pht

27 14.71 4.06 C:\Database\wiley7n.1
 2-Oxo-4-nitrosomethyl-6-trifluoro- 125096
 000000-00-0 55
 methyl-1,2-dihydropyrimidine
 Tetrasiloxane, decamethyl- 259918
 000141-62-8 50
 Tetrasiloxane, decamethyl- (CAS) \$ 259917
 000141-62-8 50
 \$ Decamethyltetrasiloxane \$\$ [(CH3
)3SiOSi(CH3)2]2O \$\$ KF 96L1.5

28 14.84 3.63 C:\Database\wiley7n.1
 2,4,6-Cycloheptatrien-1-one, 3,5-b 186568
 000000-00-0 50
 is-trimethylsilyl-
 Cyclotrisiloxane, hexamethyl- \$\$ D 146392
 000541-05-9 46
 imethylsiloxane cyclic trimer \$\$ H
 examethylcyclotrisiloxane
 Cyclotrisiloxane, hexamethyl- 146391
 000541-05-9 46

29 14.96 4.50 C:\Database\wiley7n.1
 Silicic acid, diethyl bis(trimethyl 244286
 003555-45-1 64
 lsilyl) ester
 Silane, 1,4-phenylenebis[trimethyl 147366
 013183-70-5 53
 - \$\$ Silane, p-phenylenebis[trimet
 hyl- \$\$ p-Bis(trimethylsilyl)benze
 ne \$\$ Benzene, p-bis(trimethylsily
 l)- \$\$ Silane, p-biphenylenebis[
 trimethyl- \$\$ 1,4-Bis(trimethylsil
 yl)benzene \$\$ p-Phenylenebis(trim
 ethylsilane) \$\$ Si
 2,4,6-Cycloheptatrien-1-one, 3,5-b 186568
 000000-00-0 53
 is-trimethylsilyl-

30 15.07 3.37 C:\Database\wiley7n.1
 Tetrasiloxane, decamethyl- 259918
 000141-62-8 50
 Tetrasiloxane, decamethyl- (CAS) \$ 259917
 000141-62-8 50
 \$ Decamethyltetrasiloxane \$\$ [(CH3
)3SiOSi(CH3)2]2O \$\$ KF 96L1.5
 1,3-Bis(trimethylsilyl)benzene 147371
 002060-89-1 50

31 15.10 1.07 C:\Database\wiley7n.1
BENZENE, 1,4-BIS(TRIMETHYLSILYL)- 147367
000000-00-0 50
Silane, 1,4-phenylenebis[trimethyl 147366
013183-70-5 50
- \$\$ Silane, p-phenylenebis[trimet
hyl- \$\$ p-Bis(trimethylsilyl)benze
ne \$\$ Benzene, p-bis(trimethylsily
l)- \$\$ Silane, p-biphenylenebis[
trimethyl- \$\$ 1,4-Bis(trimethylsil
yl)benzene \$\$ p-Phenylenebis(trime
thylsilane) \$\$ Si
000541-05-9 46
Cyclotrisiloxane, hexamethyl- \$\$ D 146392
imethylsiloxane cyclic trimer \$\$ H
examethylcyclotrisiloxane

32 15.15 2.03 C:\Database\wiley7n.1
BENZENE, 1,4-BIS(TRIMETHYLSILYL)- 147367
000000-00-0 47
Silane, 1,4-phenylenebis[trimethyl 147366
013183-70-5 47
- \$\$ Silane, p-phenylenebis[trimet
hyl- \$\$ p-Bis(trimethylsilyl)benze
ne \$\$ Benzene, p-bis(trimethylsily
l)- \$\$ Silane, p-biphenylenebis[
trimethyl- \$\$ 1,4-Bis(trimethylsil
yl)benzene \$\$ p-Phenylenebis(trime
thylsilane) \$\$ Si
000541-05-9 46
Cyclotrisiloxane, hexamethyl- 146391

33 15.20 2.44 C:\Database\wiley7n.1
3,4-di(4-trimethylsiloxyphenyl)hex 339853
000000-00-0 50
ane
Silane, 1,4-phenylenebis[trimethyl 147366
013183-70-5 50
- \$\$ Silane, p-phenylenebis[trimet
hyl- \$\$ p-Bis(trimethylsilyl)benze
ne \$\$ Benzene, p-bis(trimethylsily
l)- \$\$ Silane, p-biphenylenebis[
trimethyl- \$\$ 1,4-Bis(trimethylsil
yl)benzene \$\$ p-Phenylenebis(trime
thylsilane) \$\$ Si
000000-00-0 50
BENZENE, 1,4-BIS(TRIMETHYLSILYL)- 147367

34 15.24 2.15 C:\Database\wiley7n.1
Silane, 1,4-phenylenebis[trimethyl 147366
013183-70-5 50
- \$\$ Silane, p-phenylenebis[trimet

```

    hyl- $$ p-Bis(trimethylsilyl)benze
    ne $$ Benzene, p-bis(trimethylsily
    l)- $$ Silane, p-biphenylenebis[
    trimethyl- $$ 1,4-Bis(trimethylsil
    yl)benzene $$ p-Phenylenebis(trim
    ethylsilane) $$ Si
    1,3-Bis(trimethylsilyl)benzene      147371
002060-89-1 50
    Tetrasiloxane, decamethyl- (CAS) $ 259917
000141-62-8 50
    $ Decamethyltetrasiloxane $$ [(CH3
    )3SiOSi(CH3)2]2O $$ KF 96L1.5
    35 15.30 5.00 C:\Database\wiley7n.1
    1-Benzazirene-1-carboxylic acid, 2 206594
000000-00-0 53
    ,2,5a-trimethyl-1a-[3-oxo-1-buteny
    l] perhydro-, methyl ester
    2-Oxo-4-nitrosomethyl-6-trifluoro- 125096
000000-00-0 46
    methyl-1,2-dihydropyrimidine
    Cyclotrisiloxane, hexamethyl-      146391
000541-05-9 46
    36 15.46 3.91 C:\Database\wiley7n.1
    BENZENE, 1,4-BIS(TRIMETHYLSILYL)- 147367
000000-00-0 47
    Tetrasiloxane, decamethyl-          259918
000141-62-8 47
    Tetrasiloxane, decamethyl- (CAS) $ 259917
000141-62-8 47
    $ Decamethyltetrasiloxane $$ [(CH3
    )3SiOSi(CH3)2]2O $$ KF 96L1.5
    37 15.49 1.48 C:\Database\wiley7n.1
    Silane, 1,4-phenylenebis[trimethyl 147366
013183-70-5 47
    - $$ Silane, p-phenylenebis[trimet
    hyl- $$ p-Bis(trimethylsilyl)benze
    ne $$ Benzene, p-bis(trimethylsily
    l)- $$ Silane, p-biphenylenebis[
    trimethyl- $$ 1,4-Bis(trimethylsil
    yl)benzene $$ p-Phenylenebis(trim
    ethylsilane) $$ Si
    BENZENE, 1,4-BIS(TRIMETHYLSILYL)- 147367
000000-00-0 47
    Cyclotrisiloxane, hexamethyl- (CAS 146393
000541-05-9 46
    ) $$ 1,1,3,3,5,5-HEXAMETHYL-CYCLOH
    EXASILOXANE $$ Hexamethylcyclotris
    iloxane $$ HEXAMETHYL-CYCLOTRISILO
    XANE $$ Dimethylsiloxane cyclic tr

```

			imer	
38	15.53	1.72	C:\Database\wiley7n.1 Tetrasiloxane, decamethyl-	259918
000141-62-8	50		1,3-Bis(trimethylsilyl)benzene	147371
002060-89-1	50		Cyclotrisiloxane, hexamethyl-	146391
000541-05-9	46			
39	16.16	6.05	C:\Database\wiley7n.1 Silicone grease, Siliconfett	392047
000000-00-0	50		Gibberellin A3 \$\$ Gibb-3-ene-1,10-	294997
000077-06-5	49		dicarboxylic acid, 2,4a,7-trihydroxy-1-methyl-8-methylene-, 1,4a-lactone, (1.alpha.,2.beta.,4a.alpha.,4b.beta.,10.beta.)- (CAS) \$\$ GA3 \$ \$ GA \$\$ Gibberellin X \$\$ Gibberell ic acid \$\$ 4a,1-(Epoxyethano)-7,9 a-methanobenz[a]a	
000000-00-0	47		TRIVINYLS-TRIAZINE-2,4,6-(1H,3H,5 H)-TRIONE	125197
40	16.72	5.49	C:\Database\wiley7n.1 Gibberellin A3 \$\$ Gibb-3-ene-1,10-	294997
000077-06-5	49		dicarboxylic acid, 2,4a,7-trihydroxy-1-methyl-8-methylene-, 1,4a-lactone, (1.alpha.,2.beta.,4a.alpha.,4b.beta.,10.beta.)- (CAS) \$\$ GA3 \$ \$ GA \$\$ Gibberellin X \$\$ Gibberell ic acid \$\$ 4a,1-(Epoxyethano)-7,9 a-methanobenz[a]a	
000000-00-0	47		4' METHYL-2 PHENYLINDOLE \$\$ Indoli zine, 2-(4-methylphenyl)-	125867
002060-89-1	47		1,3-Bis(trimethylsilyl)benzene	147371
41	16.76	7.96	C:\Database\wiley7n.1 1,3-Bis(trimethylsilyl)benzene	147371
002060-89-1	50		Tetrasiloxane, decamethyl- (CAS) \$	259917
000141-62-8	50		\$ Decamethyltetrasiloxane \$\$ [(CH3)3SiOSi(CH3)2]2O \$\$ KF 96L1.5	
000077-06-5	49		Gibberellin A3 \$\$ Gibb-3-ene-1,10-	294997
			dicarboxylic acid, 2,4a,7-trihydro	

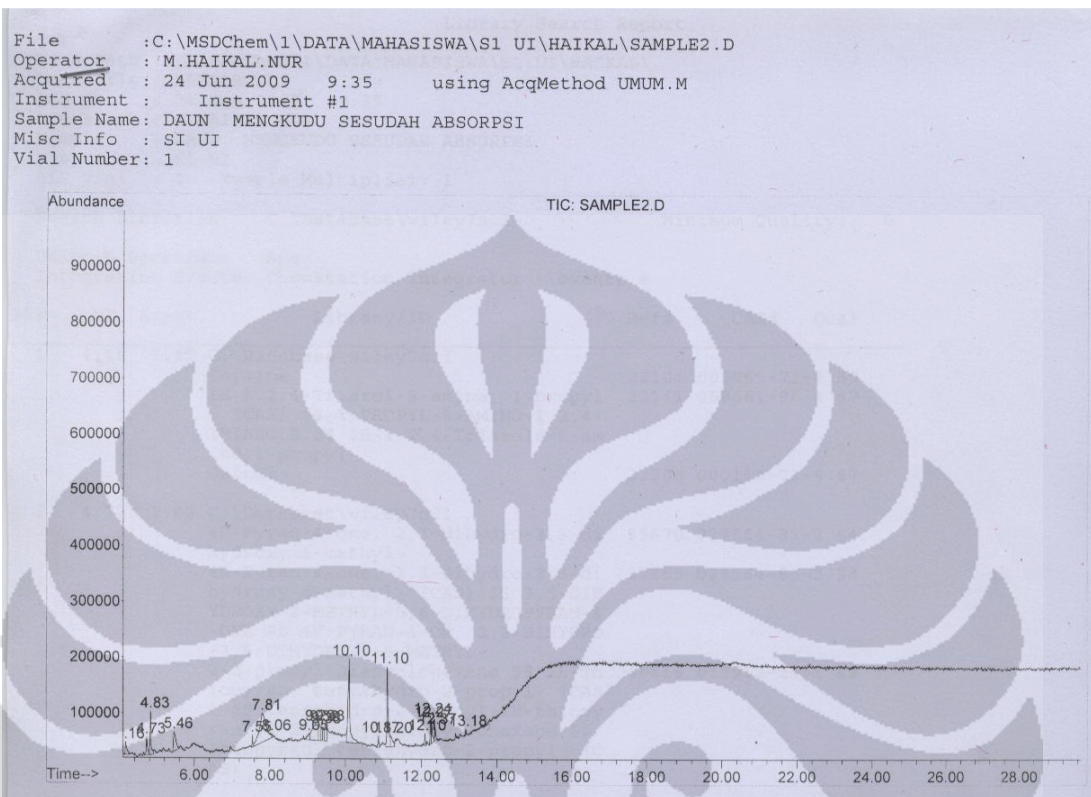
xy-1-methyl-8-methylene-, 1,4a-lactone, (1.alpha.,2.beta.,4a.alpha.,4b.beta.,10.beta.)- (CAS) \$\$ GA3 \$ \$ GA \$\$ Gibberellin X \$\$ Gibberell ic acid \$\$ 4a,1-(Epoxyethano)-7,9 a-methanobenz[a]a

42 18.99 2.25 C:\Database\wiley7n.1
Methanamine, N-(diphenylethenylidene)- 125863
013911-54-1 49

000059-02-9 44
Vitamin E \$\$ 2H-1-Benzopyran-6-ol, 3,4-dihydro-2,5,7,8-tetramethyl-2-(4,8,12-trimethyltridecyl)-, [2R-[2R@(4R@,8R@)]]- \$\$.alpha.-Tocopherol \$\$.alpha.-Tokoferol \$\$ (All-R)-.alpha.-Tocopherol \$\$ (2R,4'R,8'R)-.alpha.-Tocopherol \$\$ D-.alpha.-tocopherol \$\$ A
106578-57-8 43
3.beta.-hydroxy-29-norlanostan-11-one \$\$ Cholestan-11-one, 3-hydroxy-4,14-dimethyl-, (3.beta.,4.alpha.,5.alpha.)- (CAS)

43 21.70 0.39 C:\Database\wiley7n.1
BENZENE, 1,4-BIS(TRIMETHYLSILYL)- 147367
000000-00-0 50
013183-70-5 50
Silane, 1,4-phenylenebis(trimethyl- \$\$ Silane, p-phenylenebis(trimethyl- \$\$ p-Bis(trimethylsilyl)benzene \$\$ Benzene, p-bis(trimethylsilyl)- \$\$ Silane, p-biphenylenebis(trimethyl- \$\$ 1,4-Bis(trimethylsilyl)benzene \$\$ p-Phenylenebis(trimethylsilane) \$\$ Si
000000-00-0 47
N-Methyl-1-adamantaneacetamide 125790

4.2 Analisis GC/MS untuk Sampel Daun Mengkudu Setelah Mengabsorp CO₂



Library Search Report

Data Path : C:\MSDCHEM\1\DATA\MAHASISWA\S1 UI\HAIKAL\
Data File : SAMPLE2.D
Acq On : 24 Jun 2009 9:35
Operator : M.HAIKAL.NUR
Sample : DAUN MENGKUDU SESUDAH ABSORPSI
Misc : SI UI
ALS Vial : 1 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\wiley7n.1 Minimum
Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
Integration Events: Chemstation Integrator - events.e

PK#	RT	Area%	Library/ID	Ref#
CAS#	Qual			
1	4.16	2.12	C:\Database\wiley7n.1 Thymine	22104
000065-71-4	50			

058661-96-4	47		1H-1,2,4-Triazol-5-amine, 1-propyl	22141
			- (CAS) \$\$ 1-PROPYL-5-AMINO-1,2,4- TRIAZOLE \$\$ 1H-1,2,4-Triazole-5-am ine,1-propyl-	
000118-71-8	47		Maltol	22208
	2	4.72	2.63	C:\Database\wiley7n.1
028564-83-2	64		4H-Pyran-4-one, 2,3-dihydro-3,5-di	39670
			hydroxy-6-methyl-	
028564-83-2	58		4H-Pyran-4-one, 2,3-dihydro-3,5-di	39669
			hydroxy-6-methyl- (CAS) \$\$ 3,5-DIH YDROXY-2-METHYL-5,6-DIHYDROPYRAN-4 -ONE \$\$ 4H-PYRAN-4-ON, 2,3-DIHYDRO -3,5-DIHYDROXY-6-METHYL-	
017912-23-1	49		2-n-propylthiacyclohexane \$\$ 2H-Th	40616
			iopyran, tetrahydro-2-propyl- (CAS) \$\$ Tetrahydro-2-propyl-2H-thiopy ran \$\$ 2-Propylthiacyclohexane \$\$ Thiopyran, tetrahydro-2-propyl- (C AS)	
	3	4.83	5.04	C:\Database\wiley7n.1
000124-07-2	93		Octanoic acid (CAS) \$\$ Caprylic ac	40190
			id \$\$ neo-Fat 8 \$\$ Octylic acid \$\$ Enantic acid \$\$ n-Octoic acid \$\$ n-Octylic acid \$\$ n-Octanoic acid \$\$ n-Caprylic acid \$\$ 1-Heptanecar boxylic acid \$\$ Lunac 8-95 \$\$ Hept ane-1-carboxylic acid \$\$ Octic aci d \$\$ Octanoic aci	
000124-07-2	90		Octanoic acid (CAS) \$\$ Caprylic ac	40187
			id \$\$ neo-Fat 8 \$\$ Octylic acid \$\$ Enantic acid \$\$ n-Octoic acid \$\$ n-Octylic acid \$\$ n-Octanoic acid \$\$ n-Caprylic acid \$\$ 1-Heptanecar boxylic acid \$\$ Lunac 8-95 \$\$ Hept ane-1-carboxylic acid \$\$ Octic aci d \$\$ Octanoic aci	
000124-07-2	81		Octanoic Acid \$\$ n-Caprylic acid \$	40183
			\$ n-Octanoic acid \$\$ n-Octoic acid \$\$ n-Octylic acid \$\$ Neo-Fat 8 \$\$ Caprylic acid \$\$ Enantic acid \$\$ Octylic acid \$\$ 1-Heptanecarboxyli c acid \$\$ Heptane-1-carboxylic aci	

d \$\$ Octic acid \$\$ Octanoic acid (mixed isomers) \$\$

4 5.46 5.24 C:\Database\wiley7n.1
4-hydroxy-5-methoxypyrimidine \$\$ 4 22122
000695-87-4 72
(1H)-Pyrimidinone, 5-methoxy- (CAS) \$\$ 4-Pyrimidinol, 5-methoxy- (CA S) \$\$ 5-Methoxy-4(1H)-pyrimidone 2-Furancarboxaldehyde, 5-(hydroxym 22185
000067-47-0 62 ethyl)-
2-Furancarboxaldehyde, 5-(hydroxym 22187
000067-47-0 52 ethyl)-

5 7.55 0.82 C:\Database\wiley7n.1
Isosorbide Dinitrate \$\$ D-Glucitol 166644
000087-33-2 27
, 1,4:3,6-dianhydro-, dinitrate \$\$ Cardio 10 \$\$ Cardis \$\$ Carvanil \$ \$ Carvasin \$\$ Cedocard \$\$ Claodica l \$\$ Cornilat \$\$ Coronex \$\$ Coroso rbide \$\$ Dianhydrosorbitol 2,5-din itrate \$\$ Difutrat \$\$ Dilatrate-SR \$\$ Dinitrosorbid Galacto-heptulose 129201
000000-00-0 16 d-Glycero-d-ido-heptose 129199
000000-00-0 14

6 7.81 21.60 C:\Database\wiley7n.1
Undecane, 3-methyl- (CAS) \$\$ 3-Met 74417
001002-43-3 35 hylundecane \$\$ 3-METHYL-UNDECANE Propanoic acid, 2,2-dimethyl-, eth 26450
003938-95-2 35 yl ester
Ether, hexyl isopropyl (CAS) \$\$ IS 40866
018636-65-2 27 OPROPYLHEXYLEETHER \$\$ ISOPROPYL N-H EXYL ETHER

7 8.06 0.49 C:\Database\wiley7n.1
Lactose \$\$ D-Glucose, 4-O-.beta.-D 291227
000063-42-3 58 -galactopyranosyl- \$\$ (+)-Lactose \$\$ Aletobiose \$\$ Galactinum \$\$ Lac tin \$\$ Lactobiose \$\$ Lactose, anhy drous \$\$ Milk sugar \$\$ Osmolactan \$\$ Saccharum lacticin \$\$ 4-(.beta.-D -Galactosido)-D-glucose \$\$ D-Lacto

se
Dodecanoic acid (CAS) \$\$ Lauric ac 115376
000143-07-7 53
id \$\$ Abl \$\$ Neo-fat 12 \$\$ Vulvic
acid \$\$ Univol u-314 \$\$ Aliphatic no
. 4 \$\$ Neo-fat 12-43 \$\$ Dodecylic
acid \$\$ Ninol aa62 extra \$\$ Lauros
tearic acid \$\$ n-Dodecanoic acid \$
\$ 1-Undecanecarboxylic acid \$\$ Uni
vol U 314 \$\$ Luna
Undecanoic acid (CAS) \$\$ Undecylic 95534
000112-37-8 53
acid \$\$ n-Undecanoic acid \$\$ Hendec
anoic acid \$\$ n-Undecylic acid \$\$
n-Undecanoic acid \$\$ 1-Decanecarbo
xylic acid
8 9.05 1.62 C:\Database\wiley7n.1
.alpha.-D-Glucose \$\$.alpha.-D-Glu 85492
000492-62-6 43
copyranose
d-Glycero-1-gluco-heptose 129202
000000-00-0 43
D-Glucose, 4-O-.alpha.-D-gluco-pyra 291232
000069-79-4 38
nosyl- \$\$ Maltose \$\$ D-Maltose \$\$
Malt sugar \$\$ Maltobiose \$\$ Cextro
maltose \$\$ 4-(.alpha.-D-Gluco-pyran
osido)-.alpha.-gluco-pyranose \$\$ 4-
(.alpha.-D-Glucosido)-D-gluco-se \$\$
.alpha.-Malt sugar
9 9.22 10.11 C:\Database\wiley7n.1
1-Gulonic acid, .gamma.-lactone 82577
001128-23-0 49
Propyl 4,4-dimethyl-3-oxopentanoat 95157
000000-00-0 43
d-Glycero-d-tallo-heptose 129203
000000-00-0 38
10 9.33 3.23 C:\Database\wiley7n.1
1-Nitro-1-deoxy-d-glycero-1-mannoh 174634
000000-00-0 43
eptitol
.beta.-D-Gluco-pyranose, 4-O-.beta. 291233
005965-66-2 38
-D-galactopyranosyl- \$\$ Lactose, .
beta.- \$\$.beta.-Lactose
d-Glycero-d-tallo-heptose 129203
000000-00-0 38
11 9.38 2.18 C:\Database\wiley7n.1

000090-80-2 83 D-Gluconic acid, .delta.-lactone 82558

000000-00-0 58 d-Talonic acid lactone 82569

006322-07-2 50 D-Gulonic acid .gamma.-lactone \$\$ 82582

D-Gulonic-.gamma.-lactone

12 9.48 3.45 C:\Database\wiley7n.1
D-Gluconic acid, .delta.-lactone 82558

000090-80-2 52 .beta.-D-Glucopyranose, 4-O-.beta. 291233

005965-66-2 46 -D-galactopyranosyl- \$\$ Lactose, .
beta.- \$\$.beta.-Lactose

000000-00-0 43 1-Nitro-1-deoxy-d-glycero-1-mannoh 174634

eptitol

13 10.10 17.74 C:\Database\wiley7n.1
Guaiacol glycerol ether \$\$ 1,2-Pro 111849

000093-14-1 53 panediol, 3-(2-methoxyphenoxy)- (C
AS) \$\$ Guaiphenesin \$\$ SL 90 \$\$ XL
90 \$\$ Aeronasin \$\$ Aresol \$\$ Cres
on \$\$ 1,2-Dihydroxy-3-(2-methoxyph
enoxy)propane \$\$ Dilyn \$\$ Glycerin
guaiacolate \$\$ Glycerol guaiacola
te \$\$ Glycerol .a

000093-14-1 53 Guaiacol glycerol ether \$\$ 1,2-Pro 111847

panediol, 3-(2-methoxyphenoxy)- (C
AS) \$\$ Guaiphenesin \$\$ SL 90 \$\$ XL
90 \$\$ Aeronasin \$\$ Aresol \$\$ Cres
on \$\$ 1,2-Dihydroxy-3-(2-methoxyph
enoxy)propane \$\$ Dilyn \$\$ Glycerin
guaiacolate \$\$ Glycerol guaiacola
te \$\$ Glycerol .a

023597-82-2 52 3-Pyridinecarboxylic acid, hexyl e 125557

ster

14 10.87 1.23 C:\Database\wiley7n.1
Hexadecanoic acid, methyl ester 213901

000112-39-0 87 Pentadecanoic acid, 13-methyl-, me 213923

005487-50-3 64 thyl ester (CAS) \$\$ METHYL 13-METH
YLPENTADECANOATE \$\$ METHYL ESTER O
F 13-METHYL-PENTADECANOIC ACID

000112-39-0 64 Hexadecanoic acid, methyl ester (C 213912

AS) \$\$ Methyl palmitate \$\$ Methyl
hexadecanoate \$\$ Methyl n-hexadeca
noate \$\$ Uniphat A60 \$\$ Metholene
2216 \$\$ Palmitic acid methyl ester
\$\$ Palmitic acid, methyl ester \$\$
n-Hexadecanoic acid methyl ester
\$\$ PALMITIC ACID-

15 11.11 11.12 C:\Database\wiley7n.1
Hexadecanoic acid (CAS) \$\$ Palmiti 195439
000057-10-3 97

c acid \$\$ Palmitinic acid \$\$ n-Hex
adecoic acid \$\$ n-Hexadecanoic aci
d \$\$ Pentadecanecarboxylic acid \$\$
1-Pentadecanecarboxylic acid \$\$ P
rifrac 2960 \$\$ Coconut oil fatty a
cids \$\$ Cetylic acid \$\$ Emersol 14
0 \$\$ Emersol 143
Hexadecanoic acid (CAS) \$\$ Palmiti 195443

000057-10-3 97
c acid \$\$ Palmitinic acid \$\$ n-Hex
adecoic acid \$\$ n-Hexadecanoic aci
d \$\$ Pentadecanecarboxylic acid \$\$
1-Pentadecanecarboxylic acid \$\$ P
rifrac 2960 \$\$ Coconut oil fatty a
cids \$\$ Cetylic acid \$\$ Emersol 14
0 \$\$ Emersol 143
n-Hexadecanoic acid 195431

000057-10-3 96
16 11.20 2.79 C:\Database\wiley7n.1
Hexadecanoic acid (CAS) \$\$ Palmiti 195442
000057-10-3 42

c acid \$\$ Palmitinic acid \$\$ n-Hex
adecoic acid \$\$ n-Hexadecanoic aci
d \$\$ Pentadecanecarboxylic acid \$\$
1-Pentadecanecarboxylic acid \$\$ P
rifrac 2960 \$\$ Coconut oil fatty a
cids \$\$ Cetylic acid \$\$ Emersol 14
0 \$\$ Emersol 143
Hexadecanoic acid (CAS) \$\$ Palmiti 195433

000057-10-3 38
c acid \$\$ Palmitinic acid \$\$ n-Hex
adecoic acid \$\$ n-Hexadecanoic aci
d \$\$ Pentadecanecarboxylic acid \$\$
1-Pentadecanecarboxylic acid \$\$ P
rifrac 2960 \$\$ Coconut oil fatty a
cids \$\$ Cetylic acid \$\$ Emersol 14
0 \$\$ Emersol 143
n-Hexadecanoic acid 195431

000057-10-3 38

17	12.10	1.13	C:\Database\wiley7n.1	
			Phytol	245666
000150-86-7	43		Phytol	245667
000150-86-7	43		2-Hexadecen-1-ol, 3,7,11,15-tetram	245664
000150-86-7	43		ethyl-, [R-[R*,R*-(E)]]- (CAS) \$\$	
			Phytol \$\$ trans-Phytol \$\$ (E)-(7R,	
			11R)-3,7,11,15-tetramethyl-2-hexad	
			ecen-1-ol \$\$ 2-Hexadecen-1-ol, 3,7	
			,11,15-tetramethyl-, [R-[R@,R@-(E)	
]]- \$\$ 3,7,11,15-Tetramethyl-2-hex	
			adecen-1-ol \$\$ 2-	
18	12.25	2.48	C:\Database\wiley7n.1	
			HEPTADECENE-(8)-CARBONIC ACID-(1)	228686
000000-00-0	89		9-Octadecenoic acid, (E)-	228774
000112-79-8	87		Octadec-9-enoic acid	228692
000000-00-0	78			
19	12.26	2.92	C:\Database\wiley7n.1	
			9-Octadecenoic acid, (E)- \$\$ trans	228773
000112-79-8	91		-.delta.(sup 9)-Octadecenoic acid	
			\$\$ trans-.delta.9-Octadecenoic aci	
			d \$\$ trans-Octadec-9-enoic acid \$\$	
			trans-Oleic acid \$\$ trans-9-Octad	
			ecenoic acid \$\$ Elaidic acid	
			HEPTADECENE-(8)-CARBONIC ACID-(1)	228686
000000-00-0	90		9-Octadecenoic acid, (E)-	228774
000112-79-8	90			
20	12.36	1.55	C:\Database\wiley7n.1	
			Octadecanoic acid (CAS) \$\$ Stearic	231325
000057-11-4	64		acid \$\$ n-Octadecanoic acid \$\$ PD	
			185 \$\$ NAA 173 \$\$ Vanicol \$\$ Kam	
			3000 \$\$ Kam 1000 \$\$ Kam 2000 \$\$ Ne	
			o-Fat 18 \$\$ Steric acid \$\$ Hystren	
			e 80 \$\$ Industrene R \$\$ Stearex Be	
			ads \$\$ Hystrene S-97 \$\$ Neo-Fat 18	
			-53 \$\$ Neo-Fat 18	
			N-ethyl-1,3-dithioisindoline \$\$ 1	125287
035373-06-9	52		H-Isoindole-1,3(2H)-dithione, 2-et	
			hyl- (CAS)	
			Nonadecanoic acid (CAS) \$\$ n-Nonad	247750
000646-30-0	46			

(Lanjutan)

			ecanoic acid		
21	13.18	0.51	C:\Database\wiley7n.1		
000541-05-9	52		Cyclotrisiloxane, hexamethyl-	146396	
000541-05-9	47		Cyclotrisiloxane, hexamethyl-	146391	
000541-05-9	43		Cyclotrisiloxane, hexamethyl-	\$\$ D 146392	
			imethylsiloxane cyclic trimer	\$\$ H	
			examethylcyclotrisiloxane		

