PEMISAHAN ETANOL-AIR DENGAN *VACUUM MEMBRANE DISTILLATION* (VMD) MENGGUNAKAN MEMBRAN PTFE

SKRIPSI

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

SOFIA WAHYU ERSA NUGRAHANI

NIM. 125061100111043

RIZQI TRI RACHMAWATI

NIM. 125061101111017

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2016

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LEMBAR PENGESAHAN

PEMISAHAN ETANOL-AIR DENGAN *VACUUM MEMBRANE DISTILLATION* (VMD) MENGGUNAKAN MEMBRAN PTFE

SKRIPSI

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

SOFIA WAHYU ERSA NUGRAHANI

NIM. 125061101111017

RIZQI TRI RACHMAWATI

NIM. 125061101111017

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing

pada tanggal 10 Agustus 2016

Mengetahui Ketua Program Studi	Dosen Pembimbing
Ir. Bambang Poerwadi, MS.	Ir. Bambang Poerwadi, MS.
NIP. 19600126 198603 1 001	NIP. 19600126 198603 1 001

repository.ub.ac.id

Teriring Ucapan Terimakasih Kepada :

Allah SWT

Ayahanda dan Ibunda Tercinta

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 10 Agustus 2016

Mahasiswa,

Sofia Wahyu Ersa Nugrahani

NIM. 125061100111043

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 10 Agustus 2016

Mahasiswa,

Rizqi Tri Rachmawati

NIM. 125061101111017

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id

RINGKASAN

Sofia Wahyu Ersa Nugrahani, Rizqi Tri Rachmawati, Bambang Poerwadi, Vivi Nurhadianty, Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juni 2016, *Pemisahan Etanol-air dengan Vacuum Membrane Distillition (VMD) menggunakan Membran PTFE.*

Etanol merupakan produk dari proses fermentasi biomassa yang memiliki kegunaan sebagai bahan pelarut atau bahan bakar pengganti. Etanol yang digunakan sebagai pelarut atau bahan bakar pengganti memerlukan konsentrasi yang lebih tinggi, untuk meningkatkan konsentrasi etanol dapat menggunakan proses distilasi namun proses pemisahan menggunakan distilasi membutuhkan banyak energi. Salah satu alternatif proses pemisahan adalah pemisahan dengan menggunakan membran.

Pada penelilitian ini dilakukan proses pemisahan etanol-air menggunakan salah satu jenis operasi membran distilasi yaitu *Vacuum membrane distillation* (VMD). *Vacuum membrane distillation* (VMD) mengaplikasikan tekanan rendah (vakum) pada sisi permeat membran. Prinsip membran distilasi yaitu pemanasan larutan umpan yang kontak langsung dengan salah satu sisi dari membran menyebabkan komponen volatil menguap melewati pori membran hidrofobik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur umpan pada operasi *vacuum membrane distillation* (VMD) etanol-air menggunakan membran PTFE sebagai upaya untuk meningkatkan konsentrasi etanol. Variasi temperatur umpan yang digunakan yaitu 45, 55, 65, dan 75 ºC. Larutan etanol-air yang digunakan sebagai umpan mempunyai laju alir sebesar 6,6 ml/menit dan konsentrasi etanol sebesar 8% w/w. *Vacuum membrane distillation* (VMD) dioperasikan selama 90 menit dan tekanan vakum pada sisi permeat dijaga konstan sebesar 95-97 Kpa. Kemampuan *Vacuum membrane distillation* (VMD) diamati dari segi kinerja membran yaitu fluks dan selektivitas, serta peningkatan konsentrasi etanol pada permeat. Pengujian konsentrasi umpan dan permeat menggunakan alat uji refraktometer (ATAGO PAL-34S).

Hasil proses *Vacuum membrane distillation* (VMD) menunjukkan semakin tinggi temperatur umpan yang digunakan yaitu temperatur 55, 65, hingga 75 °C, maka fluks akan meningkat secara linier dan selektivitas meningkat mendekati konstan jika dibandingkan pada temperatur umpan dari 45°C hingga 55°C. Pada temperatur umpan 45, 55, 65, dan 75ºC persentase kenaikkan konsentrasi etanol sebesar -36,25%, 37,50%, 48,75%, dan 57,75%. Range temperatur umpan 50-55ºC memiliki peningkatan persentase kenaikkan konsentrasi etanol yang lebih signifikan jika dibandingkan dengan range temperatur umpan 55ºC-65ºC dan 65ºC-75ºC.

Kata kunci: ethanol, air, pemisahan etanol-air, membran distilasi, *vacuum membrane distillation (VMD)*

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id

SUMMARY

Sofia Wahyu Ersa Nugrahani, Rizqi Tri Rachmawati, Bambang Poerwadi, Vivi Nurhadiyanty, Department of Chemical Engineering, School of Engineering, University of Brawijaya, July 2016, *Ethanol-water Separation by Vacuum Membrane Distillation (DCMD) Using PTFE Membrane,* Academic supervisor: Bambang Poerwadi and Vivi Nurhadianty.

Ethanol is a product of biomass fermentation that used for solvent and alternative energy sources. Ethanol with high concentration is needed for solvent and alternative energy sources. Distillation is a process that can increase ethanol concentration, but distillation process needs high energy. One of the alternative process to separation ethanol is separation process using membrane.

In this paper, we study the separation of ethanol-water solution using vacuum membrane distillation (VMD). Vacuum membrane distillation (VMD) is operated in low pressure or vacuum in the permeate side. The principle of membrane distillation is heating the feed solution that contact with one of membrane sides to make volatile component vaporize through the porous hydrophobic membrane. The objective of this paper is analyzing the effect of feed temperature in vacuum membrane distillation (VMD) process with PTFE membrane to increase ethanol concentration. The variable of this paper is feed temperature (45, 55, 65, and 75 ºC). The flow rate of ethanol-water feed is 6.6 ml/min. The feed concentration of ethanol is 8% w/w. The process is operated in 90 minutes and the vacuum pressure in the permeate side is kept constant at 95-97 kPa. The performance parameter analysis in vacuum membrane distillation (VMD) are fluxes, selectivity, and the increase of ethanol concentration in permeate. The ethanol concentration of feed and permeate are analyzed by refractometer (ATAGO PAL-34S).

The result in this study gives that the higher feed temperature (55ºC, 65ºC, and 75ºC), the fluxes increase linearly and the selectivity increase to a constant compared to the feed temperature 45ºC. The percentage of ethanol concentration is increasing to -36.25%, 37.50%, 48.75 % and 57.75% at the feed temperature of 45, 55, 65, and 75ºC. The percentage of ethanol concentrations increasing at feed temperature range of 50-55 ºC increases significantly compared to the feed temperature range of 55 ºC-65 ºC and 65 ºC-75 ºC.

Keywords: ethanol, water, ethanol-water separation, membrane distillation, vacuum membrane distillation (VMD).

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi di Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Skripsi dengan judul "PEMISAHAN ETANOL-AIR DENGAN *VACUUM MEMBRANE DISTILLATION* (VMD) MENGGUNAKAN MEMBRAN PTFE" dapat terselesaikan dengan baik berkat bantuan dan dorongan dari semua pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih atas segala bimbingan dan bantuan kepada:

1. Ir. Bambang Poerwadi, MS. selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya serta selaku Dosen Pembimbing I mata kuliah Skripsi Rekayasa Perminyakan dan Energi Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
2. Vivi Nurhadianty., ST., MT. selaku Dosen Pembimbing II mata kuliah Skripsi Rekayasa Perminyakan dan Energi Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
3. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
4. Evi Sulviani N., A.Md selaku laboran laboratorium operasi teknik kimia Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
5. Seluruh staf Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Brawijaya serta semua pihak yang telah membantu dalam penulisan skripsi.
6. Orang tua, saudara-saudara kami, atas doa, bimbingan, perhatian, serta kasih sayang yang selalu tercurah selama ini.
7. Mutiara Dita Arini, Marceline Nur Hariastantri, Siti Fatimah dan Faried Fadillah Miranda yang merupakan teman seperjuangan dalam mengerjakan penelitian ini.
8. Seluruh teman-teman Teknik Kimia FT UB yang selalu memberi semangat kepada kami.

Penulis mengharapkan saran dari semua pihak demi kebaikan penelitian ini. Demikian laporan ini dibuat, semoga dapat bermanfaat bagi semua pihak dan penulis sendiri. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Malang, 10 Agustus 2016

Penulis

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR ISI

RINGKASAN ..... **i**
SUMMARY ..... **ii**
KATA PENGANTAR ..... **iii**
DAFTAR ISI ..... **iv**
DAFTAR TABEL ..... **vi**
DAFTAR GAMBAR ..... **vii**
DAFTAR LAMPIRAN ..... **ix**
DAFTAR SIMBOL ..... **x**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Rumusan Masalah 2
1.3. Pembatasan Masalah 2
1.4. Tujuan 2
1.5. Manfaat 2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA **5**
2.1. Etanol 5
2.2. Karakteristik Larutan Etanol-Air 6
2.3. Pemisahan dengan Membran Destilasi 7
2.4. Kesetimbangan Uap Cair 14
2.5. Transfer Massa Pada Membran Destilasi 16
2.6. Fenomena Polarisasi Konsentrasi 19
2.7. Jenis Membran 20
2.8. Politetrafluoroetilena (PTFE) 23
2.9. Refraktometer 24
2.10. Penelitian Terdahulu 26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN **29**
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian 29
3.1.1 Waktu Penelitian 29
3.1.2 Tempat Penelitian 29
3.2. Bahan dan Alat 29
3.3. Variabel Penelitian 29

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

3.4 Tahapan Penelitian 30
3.5 Prosedur Penelitian 31
3.5.1 Karakteristik Bahan Baku 31
3.5.2 Persiapan Bahan Baku 31
3.5.3 Pengujian *Vacuum Membrane Distillation* (VMD) Membran PTFE 31
3.6 Rangkaian Alat 33
3.6.1 Rangkaian Alat *Vacuum Membrane Distillation* (VMD) 33
3.6.2 Rangkaian Modul Membran 34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 35
4.1 Kinerja VMD menggunakan Membran PTFE pada Larutan Etanol-Air 35
4.1.1 Pengaruh Temperatur Umpan pada Fluks VMD menggunakan Membran PTFE 35
4.1.2 Pengaruh Temperatur Umpan pada Selektivitas VMD menggunakan Membran PTFE 39
4.2 Pengaruh Temperatur Umpan pada Proses VMD menggunakan Membran PTFE terhadap Peningkatan Konsentrasi Etanol 41
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 45
5.1 Kesimpulan 45
5.2 Saran 45
DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Sifat Fisika Etanol	5
Tabel 2.2	Sifat Fisik dari PTFE	23
Tabel 2.3	Penelitian Terdahulu	26
Tabel 4.1	Tekanan Uap Campuran Etanol-Air pada Berbagai Variasi Temperatur Umpan	38
Tabel 4.2	Konsentrasi Permeat pada Berbagai Variasi Temperatur Umpan	39

DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Rumus molekul etanol	5
Gambar 2.2	Komponen polar pada molekul (a) Air (b) Etanol	6
Gambar 2.3	Ikatan molekular antara sesama molekul sejenis (a) etanol (b) air	6
Gambar 2.4	Interaksi molekular yang terjadi pada etanol dan air	7
Gambar 2.5	Skema proses pemisahan menggunakan membran	7
Gambar 2.6	(a) Membran hidrofobik berpori, (b) *liquid-vapor interface* dalam membran distilasi	8
Gambar 2.7	Skema *Direct Contact Membrane Distillation* (DCMD)	10
Gambar 2.8	Skema *Air Gap Membrane Distillation* (AGMD)	11
Gambar 2.9	Skema *Sweeping Gas Membrane Distillation* (SGMD)	11
Gambar 2.10	Skema *Vacuum Membrane Distillation* (VMD)	12
Gambar 2.11	Profil konsentrasi pada *boundary layer*	17
Gambar 2.12	Model aliran Knudsen	19
Gambar 2.13	Model aliran difusi molekular	19
Gambar 2.14	Fluks sebagai fungsi waktu	19
Gambar 2.15	Berbagai jenis hambatan transfer massa melalui membran	20
Gambar 2.16	Penggolongan membran berdasarkan struktur membran: (a) membran simetris, (b) membran asimetris	21
Gambar 2.17	Jenis membran berdasarkan kerapatan	22
Gambar 2.18	Struktur kimia dari PTFE	23
Gambar 2.19	Struktur pori dari PTFE	24
Gambar 2.20	Kemampuan membran PTFE dalam melewatkan suatu molekul	24
Gambar 3.1	Skema penelitian *vacuum membrane distillation* (VMD) menggunakan membran PTFE	30
Gambar 3.2	Rangkain alat secara keseluruhan	33

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Gambar 3.3	Rangkain modul membran	34
Gambar 4.1	Grafik pengaruh waktu terhadap fluks pada berbagai variasi suhu umpan	36
Gambar 4.2	Hidrofobisitas membran PTFE	37
Gambar 4.3	Penurunan fluks terhadap waktu	37
Gambar 4.4	Pengaruh temperatur umpan terhadap fluks rata-rata	38
Gambar 4.5	Pengaruh temperatur umpan terhadap selektivitas	40
Gambar 4.6	Grafik persentase kenaikan konsentrasi etanol dari konsentrasi awal 8%w/w	42

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR LAMPIRAN

No	Judul	Halaman
Lampiran 1	Kalibrasi Refraktometer	51
Lampiran 2	Perhitungan Pembuatan Larutan Etanol-Air	53
Lampiran 3	Data Massa Permeat Larutan Etanol-Air	55
Lampiran 4	Data Konsentrasi Permeat Larutan Etanol-Air	57
Lampiran 5	Perhitungan Fluks	59
Lampiran 6	Perhitungan Selektivitas	63
Lampiran 7	Perhitungan Tekanan Uap Murni Komponen	67
Lampiran 8	Perhitungan Tekanan Uap Campuran Etanol-Air Pada Berbagai Temperatur Umpan	69
Lampiran 9	Perhitungan Konsentrasi Retentat	75
Lampiran 10	Perhitungan Hidrofobisitas Membran	79
Lampiran 11	Dokumentasi Penelitian	81

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR SIMBOL

Besaran Dasar	Satuan dan Singkatannya	Simbol
Massa	Gram atau g	M
	Kilogram atau kg	
Suhu	Celsius atau ˚C	ΔT/T
	Kelvin atau K	
Tekanan	Kilopascal atau kPa	ΔP/P
	Atmosfer atau atm	
Volume	Mililiter atau ml	V
	Liter atau l	
Waktu	Menit atau min	T
	Detik atau s	
Densitas	Gram per meter kubik atau gr/cm^3	ρ
	Kilogram per meter kubik atau kg/m^3	
Fluks	Liter per meter kuadrat jam atau L/m^2.jam	J/J_A
	Gram per centimeter kuadrat menit atau g/cm^2.menit	
Luas permukaan	Centi meter kuadrat atau cm^2	A
	Meter kuadrat atau m^2	
Separation factor	-	∝
Konsentrasi permeat	Persen berat atau % w/w	y
Konsentrasi umpan	Persen berat atau % w/w	x
Elektronegatifan	-	ΔE
Knudsen number	-	Kn
Pergerakan bebas dari molekul	Meter atau m	λ
Ukuran pori membran	Mikro meter atau µm	Dp
	Meter atau m	
Konstanta Boltzman	-	k_B
Diameter bertumbukan	Meter atau m	σ
Berat molekul	Kilogram per kilomol atau kg/kmol	M
	Gram per grammol atau g/gmol	
Koefisien transfer massa	Meter per sekon atau m/s	k_f

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Fugasitas	-	F
Koofisien aktivasi	-	γ
Karakteristik Ø	-	$\emptyset$

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Etanol merupakan salah satu jenis alkohol rantai tunggal dengan satu gugus hidroksil. Kegunaan utama etanol sebagai bahan pelarut, seperti pelarut resin, pelarut obat-obatan, pembersih, bahan utama kosmetik dan parfum, aditif bahan bakar, serta masih banyak kegunaan etanol lainnya. Etanol juga dapat menjadi bahan bakar pengganti yaitu sebagai bioetanol. Etanol dapat terbentuk dari fermentasi bermacam-macam biomassa, contohnya jagung dan tebu (Paniak, 2007).

Proses pemisahan etanol-air yang umum dilakukan dengan menggunakan distilasi berdasarkan perbedaan titik didih (Geankoplis, 1993). Proses distilasi sebagian besar membutuhkan banyak energi utamanya untuk bahan bakar yang dibutuhkan (Carmo dan J.C., 2002). Sinaga, dkk (2011), melakukan penelitian pemisahan etanol-air menggunakan *continuous distillation* 4 tray dan menghasilkan distilat dengan konsentrasi etanol 40%w/w dari konsentrasi umpan mengandung etanol sebesar 10%w/w.

Salah satu alternatif proses pemisahan yang mulai banyak diminati oleh pihak industri adalah pemisahan dengan menggunakan membran. Membran distilasi merupakan salah satu proses pemisahan menggunakan membran yang telah lama digunakan. Prinsip membran distilasi yaitu pemanasan larutan umpan yang kontak langsung dengan salah satu sisi dari membran menyebabkan komponen volatil menguap melewati pori membran hidrofobik, sedangkan *driving force* dari membran distilasi sendiri berupa beda tekanan antara dua sisi pori membran (Mulder, 1996). Membran distilasi dapat dikategorikan sebagai proses pemisahan dengan biaya yang rendah dan dapat menghemat energi dibandingkan dengan proses pemisahan konvensional seperti distilasi dan *reverse osmosis* (RO) (Wei, dkk, 2014).

Vacuum membrane distillation (VMD) merupakan salah satu proses operasi membran distilasi yang mengaplikasikan tekanan rendah atau vakum pada sisi permeat menggunakan pompa vakum. VMD memiliki permeabilitas yang cukup tinggi dibandingkan proses operasi membran distilasi lainnya (Khayet dan Takeshi, 2011). Membran polimer mikropori yang bersifat hidrofobik seperti *polyvinylidene fluoride* (PVDF), *polypropylene* (PP) dan *polytetrafluoroethylene* (PTFE) biasanya digunakan dalam proses membran distilasi (Wei, dkk, 2014). Izquierdo-Gil dan G (2003), melakukan penelitian menggunakan tiga jenis membran yang berbeda yaitu PTFE, PVDF, dan PP. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

bahwa membran PTFE yang digunakan memiliki nilai fluks yang lebih tinggi dibandingkan PVDF dan PP. Operasi mengunakan membran distilasi (MD) sangat dipengaruhi oleh temperatur karena kenaikan temperatur akan meningkatkan tekanan uap yang dapat meningkatkan *driving force* antara sisi umpan dan sisi permeat (Drioli, dkk, 2008).

Sehingga, dalam penelitian ini akan dilakukan kajian pengaruh variasi temperatur umpan sebagai kondisi operasi untuk proses pemisahan etanol-air menggunakan proses *vacuum membrane distillation* (VMD) dengan membran polimer PTFE.

1.2 Rumusan masalah

Bagaimana pengaruh temperatur umpan terhadap operasi *vacuum membrane distillation* (VMD) menggunakan membran PTFE dalam pemisahan etanol-air dari segi kinerja membran dan peningkatan konsentrasi etanol?

1.3 Pembatasan masalah

Berdasarkan latar belakang masalah dalam penelitian ini perlu adanya pembatasan masalah agar pengkajian masalah dalam penelitian ini dapat lebih terfokus dan terarah. Karena keterbatasan yang dimiliki peneliti baik dalam hal kemampuan, dana, waktu, proses dan tenaga maka penelitian ini hanya dibatasi pada masalah berikut:

a. Tekanan vakum yang dioperasikan (95-97 Kpa)
b. Larutan umpan mengandung konsentrasi etanol sebesar 8% w/w
c. Laju alir umpan sebesar 6,6 ml/menit
d. Waktu operasi yang digunakan selama 90 menit
e. Membran yang digunakan adalah membran PTFE tipe MLPT260022 yang didapatkan dari Starlab Scientific.

1.4 Tujuan

Tujuan penelitian yang ingin dicapai dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh temperatur umpan pada operasi *vacuum membrane distillation* (VMD) etanol-air menggunakan membran PTFE sebagai upaya untuk meningkatkan konsentrasi etanol.

1.5 Manfaat

Penelitian ini diharapkan mempunyai manfaat atau kegunaan dalam pendidikan baik secara langsung maupun tidak langsung. Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

a. Bagi peneliti

- Dapat menambah pengetahuan dan pengalaman dalam menerapkan ilmu Teknik Kimia melalui penelitian ilmiah yang bermanfaat bagi masyarakat.

b. Bagi IPTEK

- Dapat dijadikan acuan untuk meneliti lebih lanjut tentang proses pemisahan etanol-air menggunakan *vacuum membrane distillation* (VMD)
- Dapat dijadikan bahan referensi untuk mengembangkan penelitian ini menjadi lebih baik

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

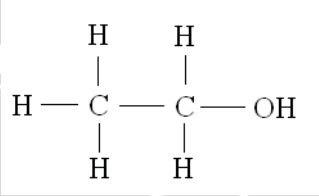
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Etanol

Etanol **(**etil alkohol, etil hidroksida) memiliki rumus molekul C_2H_5OH dengan massa jenis 46,07 g/mol. Etanol memiliki wujud tidak berwarna dan berbau seperti alkohol (Paniak, 2007). Sifat fisika etanol ditampilkan pada Tabel 2.1.



Gambar 2.1 Rumus molekul etanol
Sumber : Holman dan Phil (2001)

Tabel 2.1 Sifat fisika etanol

Karakteristik	Nilai	Satuan
Densitas	0,789	kg/l
Titik didih	78,5	ºC
Titik beku	-117	ºC
Titik nyala	12,8	ºC
Tekanan uap (38ºC)	50	mmHg
Asiditas	15,9	p*K*a
Viskositas (20 °C)	1,200	mPa.s
Angka oktan	99	-

Sumber : NPCS Board (2000)

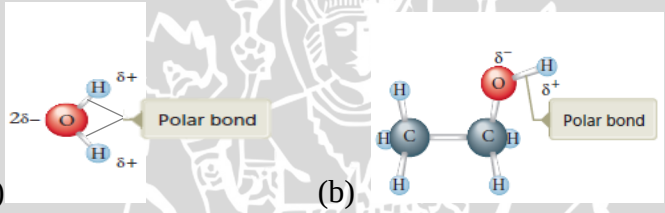
Etanol memiliki kegunaan utama sebagai bahan pelarut contohnya seperti pelarut resin, pelarut obat-obatan, pembersih, bahan utama kosmetik dan parfum, aditif bahan bakar, serta masih banyak kegunaan etanol lainnya. Etanol juga dapat menjadi bahan bakar pengganti yaitu sebagai bioetanol. Etanol terbentuk dari fermentasi bermacam-macam biomassa, contohnya jagung dan tebu (Paniak, 2007).

Etanol yang digunakan sebagai pelarut atau bahan bakar pengganti memerlukan konsentrasi yang lebih tinggi. Umumnya, proses pemisahan etanol dapat dilakukan menggunakan distilasi. Namun, distilasi hanya efektif untuk memisahkan campuran dengankandungan etanol 10-85% (Huang, dkk, 2008). Distilasi yang digunakan untuk

pemisahan dan pemurnian etanol saat ini memiliki beberapa kelemahan yaitu membutuhkan energi yang tinggi (Lovineh, dkk, 2013).

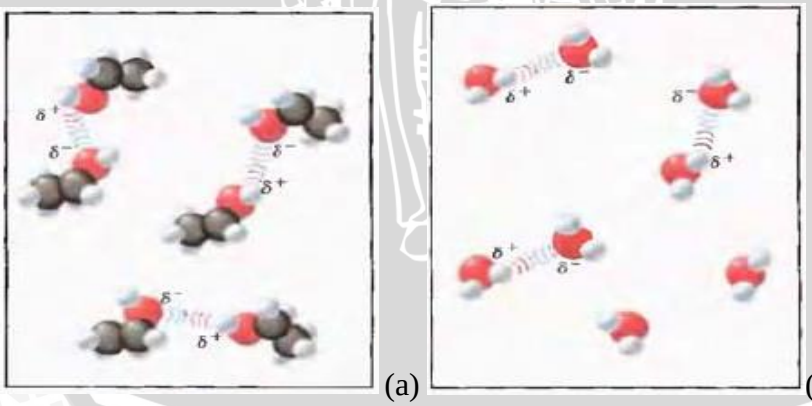
2.2 Karakteristik Larutan Etanol-Air

Larutan etanol-air terdiri atas campuran komponen etanol dan air. Air yang memiliki rumus molekul H_2O dan etanol dengan rumus molekul C_2H_5OH akan terlarut sempurna di segala perbandingan setiap komponennya. Air memiliki gugus O-H dimana dalam gugus tersebut terdapat ikatan hidrogen yang sangat kuat sehingga sifat air menjadi polar. Dalam molekul etanol juga terdapat gugus O-H yang memiliki ikatan hidrogen dan bersifat polar. Sedangkan ikatan karbonnya bersifat nonpolar. Air dan etanol sama-sama memiliki gugus polar O-H sehingga apabila air bercampur dengan etanol, air akan membentuk ikatan hidrogen dengan etanol. Ikatan hidrogen pada etanol (alkohol rantai pendek) lebih kuat dibandingkan gaya london dari ikatan nonpolar hidrokarbon sehingga sifat polar lebih dominan dan dapat dengan mudah mengikat air (Zhumdahl dan Donald J, 2010).



(a) (b)

Gambar 2.2 Komponen polar pada molekul (a) Air (b) Etanol
Sumber : Zhumdahl dan Donald J (2010)

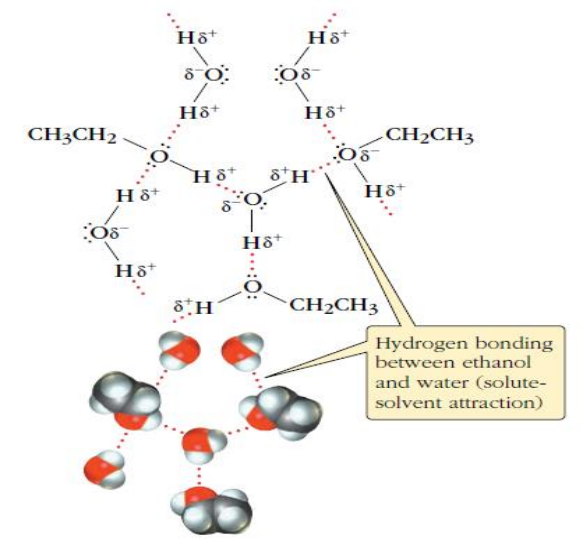


(a) (b)

Gambar 2.3 Ikatan molekular antara sesama molekul sejenis (a) etnaol (b) air
Sumber : Lei, dkk (2005)

Terdapat beberapa interaksi pada larutan umpan etanol-air akibat adanya gaya intermolekular. Interaksi antara molekul etanol dengan molekul etanol, interaksi antara molekul air dengan molekul air, dan interaksi antara molekul etanol dengan molekul air. Dari ketiga interaksi molekul tersebut gaya intermolekular terendah terdapat pada interaksi

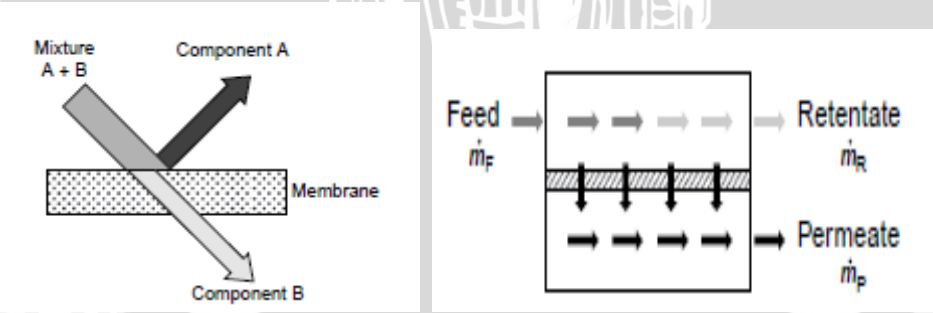
molekul etanol dengan molekul air. Interaksi antar molekul berbeda memiliki gaya yang lebih rendah dibandingkan interaksi dengan sesama molekulnya. Interaksi terkuat terdapat pada interaksi antar sesama molekul air (Lei, dkk, 2005)



Gambar 2.4 Interaksi molekular yang terjadi pada etanol dan air
Sumber : Lei, dkk (2005)

2.3 Pemisahan dengan Membran Distilasi

Membran dapat didefinisikan sebagai suatu lapisan penghalang tipis semipermiabel yang bersifat selektif, berada diantara dua fasa (fasa umpan dan permeat) dan berfungsi mengatur perpindahan komponen pada kedua fasa tersebut (Gambar 2.5). Jika suatu larutan umpan melewati sebuah membran, maka ada komponen dalam umpan yang tertahan oleh membran (retentat) dan komponen yang melewati membran (permeat) (Mulder, 1996).



Gambar 2.5. Skema proses pemisahan menggunakan membran
Sumber: (Cui dan Muralidhara (2010)

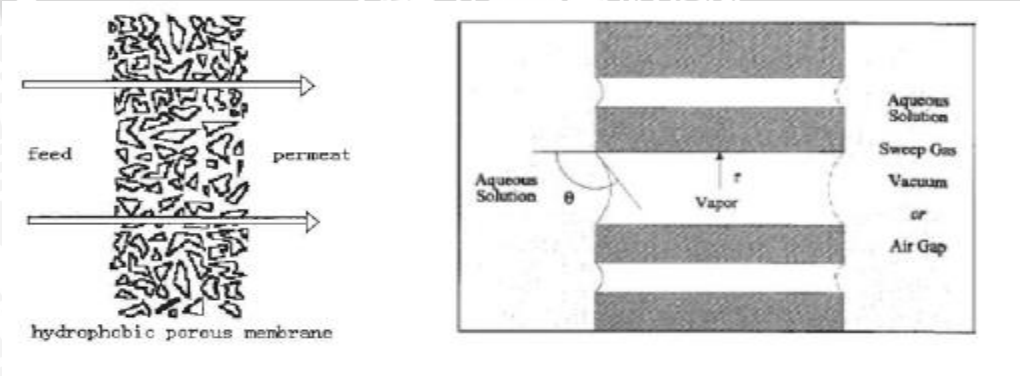
Pemisahan pada membran merupakan proses perpindahan materi secara selektif yang disebabkan oleh gaya dorong (*driving force*), seperti perubahan perbedaan potensial listrik (ΔE), perbedaan tekanan (ΔP), perbedaan konsentrasi (ΔC), dan perbedaan temperatur (ΔT).

Besar laju perpindahan materi yang akan dipisahkan sebanding dengan besarnya gaya dorong (*driving force*) yang ada (Mulder, 1996).

Teknologi membran banyak digunakan karena proses pemisahannya memiliki banyak keuntungan, yaitu tidak memerlukan zat-zat kimia tambahan; prosesnya berkelanjutan (*continue*); temperatur operasional dan konsumsi energinya rendah; *non-destructive* atau tidak akan merusak sampel dan komponen yang akan dipisahkan; teknologinya bersih sehingga tidak menimbulkan masalah polusi baru; bersifat lebih kompetitif; sangat spesifik, yaitu membran dapat disesuaikan sesuai kebutuhan yang diinginkan dan mudah dikombinasikan dengan proses pemisahan lain (*process hybrid*); dan peningkatan kapasitas (*up-scale*) pada membran mudah dilakukan (Mulder, 1996).

Membran distilasi merupakan salah satu proses pemisahan menggunakan membran yang telah lama digunakan. Membran distilasi merupakan proses dimana larutan umpan dengan temperatur yang lebih tinggi kontak langsung dengan salah satu sisi dari membran hidrofobik berpori. Sifat hidrofobik alami dari membran mikropori menghalangi larutan memasuki pori karena adanya gaya tengangan permukaan, sehingga membentuk *liquid-vapor interface* pada permukaan pori membran. Gambar 2.6 menunjukkan larutan encer kontak langsung dengan sisi umpan dari membran membentuk *liquid-vapor interface* (Lei, dkk, 2005).

Larutan yang mengandung paling sedikit satu komponen volatil dengan adanya perbedaan temperatur pada kedua sisi membran berpori akan menciptakan gradien tekanan uap dalam pori. Molekul uap dari komponen volatil (hasil dari penguapan larutan umpan pada *liquid-vapor interface*) bermigrasi dari sisi umpan ke sisi permeat (Lei, dkk, 2005).



(a) (b)

Gambar 2.6 (a) Membran hidrofobik berpori, (b) *liquid- vapor interface* dalam membran distilasi.
Sumber : Lei, dkk (2005)

Membran distilasi merupakan salah satu proses membran di mana membran tidak terlibat langsung dalam pemisahan. Fungsi membran pada membran distilasi bertindak sebagai *barrier* untuk memisahkan dua sisi yaitu sisi umpan dan sisi permeat. Selektivitas sepenuhnya ditentukan oleh keseimbangan uap-cair yang terlibat (Mulder, 1996).

Prinsip membran distilasi yaitu pemanasan larutan umpan yang kontak langsung dengan salah satu sisi dari membran hidrofobik menyebabkan molekul komponen volatil menguap pada *liquid-vapor interface* dan uap melewati pori membran hidrofobik, sedangkan *driving force* dari membran distilasi sendiri berupa beda tekanan antara dua sisi pori membran (Li, dkk, 2008).

Perbedaan utama antara membran distilasi (MD) dengan proses pemisahan membran lainnya yaitu terletak pada peran membran. Membran yang digunakan dalam membran distilasi tidak selektif, peran membran hanya sebagai *barrier* untuk mengadakan *liquid-vapor interface*, dimana penguapan berlangsung (Ramon, dkk, 2009).

Pada umumnya membran distilasi memiliki beberapa karakteristik yang digunakan dalam operasi membran distilasi, yaitu (Li, dkk, 2008):

1. Membran harus berpori
2. Tidak terbasahi oleh fase cair
3. Kondensasi tidak terjadi di dalam pori membran
4. Hanya molekul uap yang melalui pori membran
5. Membran tidak boleh mengubah kesetimbangan uap-cair (VLE) yang terlibat
6. Larutan umpan panas kontak langsung dengan permukaan membran

Keuntungan membran distilasi dibandingkan proses pemisahan konvensional seperti distilasi, yaitu (Lei, dkk, 2005):

1. Konsumsi energinya rendah

   Membran distilasi dapat dilakukan dalam kondisi operasi yang lebih rendah yaitu pemanasan pada umpan dilakukan di bawah titik didih, sehingga dapat menggunakan sumber energi alternatif seperti panas bumi dan energi matahari (*solar energy*).
2. Membran distilasi memberikan area *liquid-vapor interface* lebih besar dibandingkan distilasi konvensional

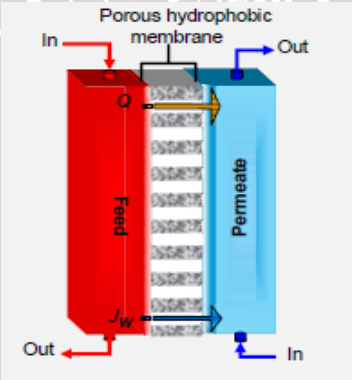
   Membran distilasi dan distilasi konvensional membutuhkan area *liquid-vapor interface* yang besar untuk proses penguapan. Area *liquid-vapor interface* pada membran distilasi disediakan oleh volume pori pada membran mikropori, sedangkan

area *liquid-vapor interface* pada distilasi konvensional bergantung pada ruang uap di dalam peralatan. Membran mikropori pada membran distilasi terdapat pada modul membran sehingga ukuran peralatan membran distilasi relatif lebih kecil dibandingkan distilasi konvensional.

Membran distilasi terbagi menjadi beberapa jenis operasi, yaitu:

a. *Direct Contact Membrane Distillation* (DCMD)

DCMC merupakan salah satu jenis operasi membran distilasi dimana larutan panas pada sisi umpan dipertahankan tetap kontak langsung dengan permukaan membran sisi umpan. Namun, larutan yang lebih dingin dibandingkan larutan umpan dipertahankan tetap kontak langsung dengan sisi permeat pada membran. Kedua sisi umpan dan permeat disirkulasikan secara tangensial ke permukaan membran. Penguapan terjadi pada permukaan sisi umpan pada membran. Fase uap berpindah ke sisi permeat dengan adanya perbedaan tekanan dan terkondensasi pada sisi permeat dalam modul membran. Sifat hidrofobik dari membran menyebabkan umpan tidak dapat terpenetrasi ke dalam membran (hanya fase gas yang dapat melewati pori membran) (Li, dkk, 2008 dan Alkhudhiri, dkk, 2012).

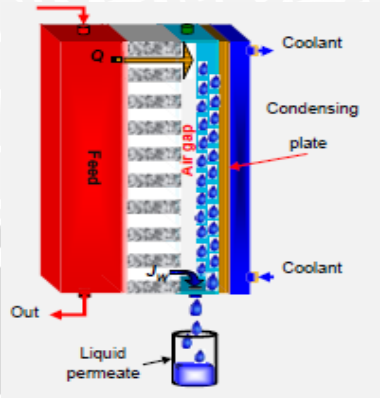


Gambar 2.7. Skema *Direct Contact Membrane Distillation* (DCMD)
Sumber : Basile, dkk (2005)

b. *Air Gap Membrane Distillation (AGMD)*

AGMD merupakan salah satu jenis operasi membran distilasi dimana larutan panas pada sisi umpan dipertahankan tetap kontak langsung dengan permukaan membran. Molekul volatil terevaporasi pada sisi umpan melewati pori dan udara diam (*air gap*) yang berapa diantara permukaan membran menangkap uap molekul volatil tersebut yang pada akhirnya terkondensasi di dalam permukaan modul membran. *Air gap membrane distillation* (AGMD) mempunyai keuntungan yaitu

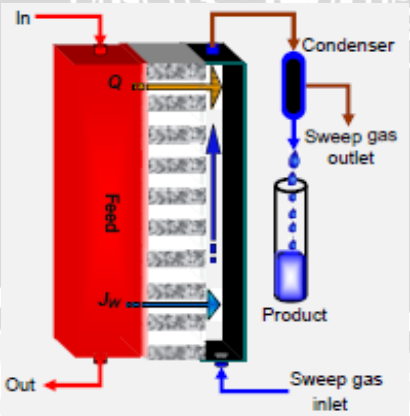
mengurangi kehilangan panas akibat konduksi dan mempunyai kerugian yaitu hambatan terhadap transfer massa lebih besar (Li, dkk, 2008 dan Alkhudhiri, dkk, 2012).



Gambar 2.8. Skema *Air Gap Membrane Distillation (AGMD)*
Sumber : Basile, dkk (2005)

c. ***Sweeping Gas Membrane Distillation (SGMD)***

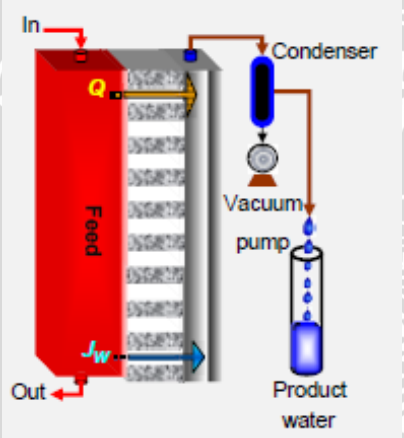
SGMD merupakan salah satu jenis operasi membran distilasi dimana larutan panas pada sisi umpan dipertahankan tetap kontak langsung dengan permukaan membran. Gas inert dingin dialirkan pada sisi permeat membran untuk membawa molekul uap permeat. Kondensasi molekul uap terjadi di luar modul membran (Li, dkk, 2008). Jenis operasi membran distilasi ini digunakan untuk menghilangkan senyawa volatil dari larutan encer. *Sweeping gas membrane distillation* (SGMD) mempunyai kerugian yaitu volume permeat berdifusi kecil sedangkan volume *sweep gas* yang digunakan besar, sehingga membutuhkan kondensor yang besar (Alkhudhiri, dkk, 2012).



Gambar 2.9. Skema *Sweeping Gas Membrane Distillation (SGMD)*
Sumber : Basile, dkk (2005)

d. ***Vacuum Membrane Distillation (VMD)***

VMD merupakan salah satu jenis operasi membran distilasi dimana larutan panas pada sisi umpan dipertahankan tetap kontak langsung dengan permukaan membran. Tekanan pada sisi permeat dipertahankan dibawah kesetimbangan tekanan uap (*equilibrium vapor pressure*) yang terbentuk pada sisi umpan menggunakan pompa vakum (Lei, dkk, 2005). Tekanan vakum yang diterapkan pada sisi permeat dari membran dapat meningkatkan penguapan komponen volatil pada *liquid-vapor interface* (Wu, dkk, 2006). Pada *vacuum membrane distillation* (VMD) uap tidak terkondensasi di dalam modul membran, karena adanya perbedaan tekanan antara sisi umpan dan sisi permeat menyebabkan uap mengalir melewati membran dan kondesasi terjadi di luar modul membran. *Vacuum membrane distillation* (VMD) mempunyai keuntungan dibandingkan jenis operasi membran distilasi lainnya yaitu fluks massa yang dihasilkan lebih besar dan efisiensi termal yang tinggi, karena tekanan yang sangat rendah pada sisi permeat membran menyebabkan jenis operasi membran distilasi ini mengabaikan transfer panas secara konduksi melalui membran (Lei, dkk, 2005).



Gambar 2.10 Skema *Vacuum Membrane Distillation (VMD)*
Sumber : (Basile, et al, 2015)

Kinerja membran biasanya ditentukan oleh dua parameter yaitu fluks (permeabilitas) dan faktor pemisahan (selektivitas). Membran yang baik memiliki fluks massa dan selektivitas yang tinggi.

a. Fluks (permeabilitas)

Fluks atau laju permeasi merupakan besar laju perpindahan massa yang melalui membran per luas area dalam waktu tertentu sebagaimana persamaan berikut (Mulder, 1996) :

$$J = \frac{m}{A\,x\,t}$$

(2-1)

Dimana J = Fluks (g/cm^2 menit)

m = Massa permeat (gram)

A = Luas permukaan membran (cm^2)

t = Waktu (menit)

b. Faktor pemisahan (selektivitas)

Faktor pemisahan (selektivitas) merupakan kemampuan membran melewatkan suatu komponen relatif terhadap komponen yang lain sebagaimana persamaan berikut (Mulder, 1996) :

$$\alpha = \frac{y_A/y_B}{x_A/x_B} \qquad (2\text{-}2)$$

Dimana $\propto$ = Selektivitas

x_A = Konsentrasi zat terlarut pada umpan

x_B = Konsentrasi pelarut pada umpan

y_A = Konsentrasi zat terlarut pada permeat

y_B = Konsentrasi pelarut pada permeat

Pada proses membran distilasi, kinerja membran yaitu fluks dan selektivitas ditinjau dari tekanan uap komponen murni dan campuran. Tekanan uap murni komponen dan campuran dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Antoine dan Hukum Raoult.

Tekanan uap murni komponen dapat dihitung menggunakan persamaan Antoine yaitu:

$$\ln P^{\circ}\ (Kpa) = A - \frac{B}{C+T} \qquad (2\text{-}3)$$

Dimana P° = Tekanan uap murni komponen (Kpa)

T = Temperatur (K)

A,B,C = Konstanta Antoine (Himmelblau, 1996)

Sedangkan tekanan uap campuran dapat dihitung menggunakan Hukum Raoult yaitu:

$$P = P_i + P_j \qquad (2\text{-}4)$$

$$P = P_i^{\circ} x_i + P_j^{\circ} x_j \qquad (2\text{-}5)$$

Dimana P = Tekanan uap campuran (Kpa)

P_i°, P_j° = Tekanan uap murni komponen (Kpa)

P_i, P_j = Tekanan uap parsial (Kpa)

x_i, x_j = Fraksi mol (Castellan, 1983)

Proses membran distilasi saat ini diterapkan pada skala laboratorium dan aplikasi membran distilasi sangat sesuai untuk lingkungan, kimiawi, petrokimia, makanan, farmasi, dan industri bioteknologi (Khayet & Takeshi, 2011).

2.4 Kesetimbangan Uap Cair

Perhitungan kesetimbangan uap cair dilakukan untuk menentukan komposisi fase uap dan fase cair suatu campuran yang berada dalam keadaan setimbang. Perhitungan kesetimbangan uap cair diselesaikan dengan menerapkan kriteria kesetimbangaan uap-cair. Kriteria kesetimbangan uap-cair dituliskan fugasitas fase uap sama dengan fugasitas dalam fase cair (Sandler, 2006).

$$f_i^V = f_i^L \tag{2-6}$$

$$f_i^V(T,P,x) = f_i^L(T,P,y) \tag{2-7}$$

Dimana f_i^V = Fugasitas komponen i dalam fase uap

f_i^L = Fugasitas komponen i dalam fase cair

Notasi V menandakan komponen dalam fase uap dan notasi L menandakan komponen dalam fase cair. Persamaan keadaan dengan mengasumsikan lebih sederhana menggunakan aturan Lewis Rudal atau model campuran gas ideal digunakan untuk menghitung fugasitas dalam fase uap. Sedangkan dalam fase cair dapat dihitung menggunakan model koefisien aktivasi (kelebihan energi Gibbs) dan mendeskripsikan persamaan keadaan dari fase cair (Sandler, 2006) dengan menggunakan aturan Lewis-Rudall didapatkan persamaan kesetimbangan uap cair pada tekanan menengah pada persamaan (2-8).

$$f_i^L(T,P,x) = x_i\gamma_i(T,P,x)P_i^\circ(T)\,\emptyset_i^{L,sat}(T,P) = f_i^V(T,P,x) = y_iP\emptyset_i^V(T,P,y) \tag{2-8}$$

Dimana f_i^V = fugasitas komponen i dalam fase uap

f_i^L = fugasitas komponen i dalam fase cair

x_i = Fraksi mol komponen i dalam fase cair

y_i = Fraksi mol komponen i dalam fase uap

P_i° = Tekanan uap murni komponen i

P = Tekanan total

γ_i = Koefisien aktivasi komponen i

$\emptyset_i^L$ = Properti $\emptyset$ dalam fase cair

$\emptyset_i^V$ = Properti $\emptyset$ dalam fase uap

Kesetimbangan uap cair pada campuran ideal terjadi apabila dalam kondisi tekanan rendah mengggunakan aturan Lewis-Rudall yaitu (persamaan 2-9) :

$$x_i\gamma_i(T,P,x)P_i^\circ(T)\left(\frac{f}{P}\right)_{sat,i} = y_iP\left(\frac{f}{P}\right)_i \quad (2\text{-}9)$$

Dimana x_i = Fraksi mol komponen i dalam fase cair

y_i = Fraksi mol komponen i dalam fase uap

P_i° = Tekanan uap murni komponen i

P = Tekanan total

γ_i = Koefisien aktivasi komponen i

Untuk mengetahui pengaruh komposisi terhadap terbentuknya fase uap dan fase cair pada saat kesetimbangan fase dapat dengan menjumlahkan semua komponennya (persamaan 2-10).

$$\sum_{i=1}^{c} x_i\gamma_i(T,P,x)P_i^\circ(T)\left(\frac{f}{P}\right)_{sat,i} = P\sum_{i=1}^{c} y_i\left(\frac{f}{P}\right)_i \quad (2\text{-}10)$$

Dimana x_i = Fraksi mol komponen i dalam fase cair

y_i = Fraksi mol komponen i dalam fase uap

P_i° = Tekanan uap murni komponen i

P = Tekanan total

γ_i = Koefisien aktivasi komponen i

Persamaan diatas dapat lebih sederhana dengan mengasumsikan tekanan total dan tekanan uap dari komponen-komponennya cukup rendah sehingga koefisien koreksi fugasitas dapat diabaikan. Maka didapatkannya persamaan sebagai (persamaan 2-11)

$$x_i\gamma_i(T,P,x)P_i^\circ(T) = y_iP \quad (2\text{-}11)$$

Dimana x_i = Fraksi mol komponen i dalam fase cair

y_i = Fraksi mol komponen i dalam fase uap

P_i° = Tekanan uap murni komponen i

P = Tekanan total

γ_i = Koefisien aktivasi komponen i

Pada penjumlahan diketahui $\sum y_i = 1$, maka persamaan akan berubah menjadi (persamaan 2-12) :

$$x_i \gamma_i (T, P, x) P_i^{\circ}(T) = P \quad (2\text{-}12)$$

Dimana x_i = Fraksi mol komponen i dalam fase cair

P_i° = Tekanan uap murni komponen i

P = Tekanan total

γ_i = Koefisien aktivasi komponen i

Apabila fase cair membentuk campuran yang ideal ($\sum \gamma = 1$ untuk semua komponen) persamaan akan lebih sederhana menjadi :

$$x_i P_i^{\circ}(T) = y_i P = P_i \quad (2\text{-}13)$$

$$\sum x_i P_i^{\circ}(T) = \sum P_i = P \quad (2\text{-}14)$$

Dimana x_i = Fraksi mol komponen i dalam fase cair

y_i = Fraksi mol komponen i dalam fase uap

P_i° = Tekanan uap murni komponen i

P = Tekanan total

$P_i = y_i P$ adalah tekanan parsial dari komponen i pada fase uap. Persamaan 2-13 adalah persamaan yang menunjukkan hukum Roult dimana tekanan parsial dari komponen pada larutan ideal adalah penjumlahan dari fraksi mol setiap komponen dengan tekanan uap jenuh setiap komponennya. Pada persamaan 2-14, tekanan pada saat setimbang dari larutan ideal adalah penjumlah dari fraksi mol berat dari tekanan uap murni setiap komponennya (Sandler, 2006).

2.5 Transfer Massa Pada Membran Distilasi

Perbedaan tekanan antara sisi umpan dan sisi permeat digunakan sebagai *driving force* transfer massa dalam membran distilasi yang terdiri dari dua langkah yaitu (Lei, dkk, 2005):

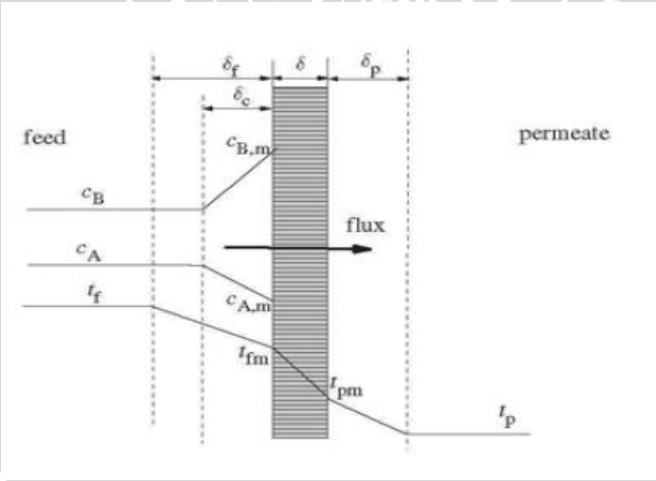
1. Transfer massa melewati *boundary layer* di permukaan membran sisi umpan

Membran distilasi mengabaikan difusi pada permukaan membran. Membran yang digunakan memiliki porositas tinggi dan sifat hidrofobik (afinitas antara air dan material membran sangat kecil) sehingga mengabaikan transfer molekul melalui area matriks membran (bagian tidak berpori) karena area matriks membran lebih sedikit dibandingkan area berpori (Basile, dkk, 2005).

Transfer massa pada membran distilasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti komposisi umpan, dinamika fluida, temperatur dan tekanan operasi, karakteristik membran, dan modul membran yang digunakan (Lei, dkk, 2005).

Jika larutan yang digunakan sebagai umpan mengandung paling sedikit satu komponen volatil atau lebih, maka penguapan komponen yang lebih volatil pada *liquid-vapor interface* pada pori membran sisi umpan akan menghasilkan pengurangan (penipisan komponen) mendekati permukaan membran, sedangkan komponen yang kurang volatil akan menghasilkan penumpukkan mendekati permukaan membran. (Lei, dkk, 2005).

Pada daerah mendekati permukaan membran terdapat profil konsentrasi komponen yang lebih volatil dan kurang volatil atau disebut dengan konsentrasi *boundary layer*. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11 Ketebalan konsentrasi *boundary layer* adalah *8 c* (m). Dalam lapisan ini konsentrasi komponen yang kurang volatil meningkat dari C_B ke $C_{B,m}$ (kmol m^{-3}), sedangkan konsentrasi komponen yang lebih volatil menurun dari C_A ke $C_{A,m}$ (kmol m^{-3}). Penipisan komponen yang lebih volatil atau penumpukan komponen yang kurang volatil dalam konsentrasi *boundary layer* disebut sebagai polarisasi konsentrasi. Seiring berjalannya waktu adanya konsentrasi *boundary layer* akan menghalangi/menghambat komponen yang lebih volatil untuk melewati membran, sehingga akan mengurangi fluks massa yang dihasilkan (Lei, dkk, 2005).



Gambar 2.11 Profil konsentrasi pada *boundary layer*
Sumber : Lei, dkk (2005)

Transfer massa melewati *boundary layer* di permukaan membran sisi umpan dalam fase cair dapat dijelaskan menggunakan persamaan berikut:

$$J_A = k_f \, c \ln \frac{(c_{A,m} - c_{A,p})}{(c_A - c_{A,p})} \qquad (2\text{-}15)$$

Dimana J_A = Fluks massa komponen volatil melewati *boundary layer*

k_f = Koefisien transfer massa

c = Konsentrasi umpan

$c_{A,m}$ = Konsentrasi komponen volatil di permukaan membran

c_A = Konsentrasi komponen volatil di sisi *bulk* umpan

$c_{A,p}$ = Konsentrasi komponen volatil di sisi permeat

2. Transfer uap melewati pori membran

Secara umum terdapat beberapa jenis mekanisme transfer massa uap melewati pori membran dalam membran distilasi yaitu: model aliran knudsen dan model difusi molekular. Jenis dari transfer massa pada pori membran bergantung pada jenis membran distilasi yang digunakan dan kondisi operasi (Basile, dkk, 2015).

Knudsen number (Kn) merupakan parameter yang digunakan untuk menentukan tipe mekanisme transfer massa di dalam pori membran yang didefinisikan sebagai berikut:

$$Kn = \frac{\lambda_I}{d_p} \tag{2-16}$$

Dimana λ_I merupakan pergerakan bebas dari molekul uap melalui pori membran dengan ukuran pori membran (dp). Molekul tunggal yang melewati pori membran λ_I dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\lambda_I = \frac{k_B\ T}{\sqrt{2}\,\pi\, P_m \sigma_i^2} \tag{2-17}$$

Dimana k_B = Konstantan Boltzman

P_m = Tekanan di dalam pori membran

T = Temperatur di dalam pori membran

σ = Diameter bertumbukan

Sedangkan untuk campuran biner (i dan j) $\lambda_{i/j}$ dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\lambda_I = \frac{k_B\ T}{\pi\, P_m\, (\frac{\sigma_i+\sigma_j}{2})^2}\ \frac{1}{\sqrt{1+ M_j/M_i}} \tag{2-18}$$

Dimana k_B = Konstantan Boltzman

P_m = Tekanan di dalam pori membran

T = Temperatur di dalam pori membran

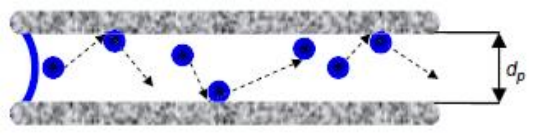
σ_i = Diameter bertumbukan molekul i

σ_j = Diameter bertumbukan molekul j

M_i = Berat molekul i

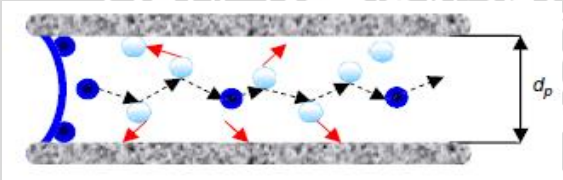
M_j = Berat molekul j

Jenis transfer massa model aliran Knudsen terjadi jika ukuran pori membran lebih kecil dibandingkan pergerakan bebas dari molekul uap (Kn > 1 atau dp < λ_I), maka akan menyebabkan molekul lebih dominan menabrak dinding pori dibandingkan bertumbukan dengan molekul lain seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.12 (Basile, dkk 2015).



Gambar 2.12. Model aliran Knudsen
Sumber : Basile, dkk (2015)

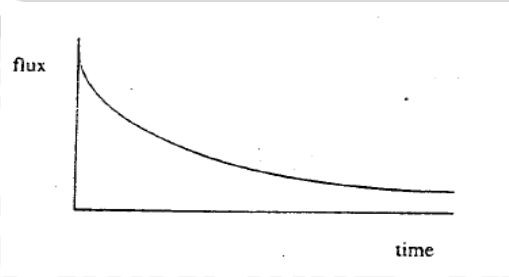
Jenis transfer massa model aliran difusi molekular terjadi jika *Knudsen number* di bawah 0,01 (Kn < 0,01 atau dp > 100 λ_I), maka menyebabkan molekul-molekul lebih sering bertumbukan satu sama lain sehingga molekul berdifusi melalui pori membran seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.13 (Basile, dkk, 2015).



Gambar 2.13. Model aliran difusi molekular
Sumber : Basile, dkk (2015)

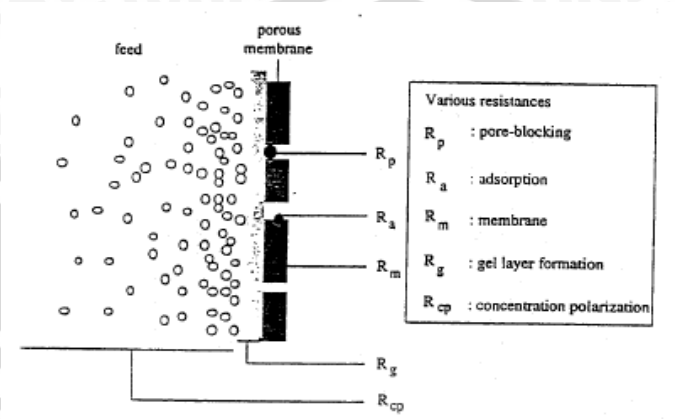
2.6 Fenomena Polarisasi Konsentrasi

Langkah pertama untuk proses pemisahan menggunakan membran yaitu memilih proses dan membran yang sesuai. Kinerja membran dapat berubah seiring berjalannya waktu, salah satu yang dapat diamati dari kinerja membran yaitu perubahan fluks terhadap waktu yang dapat dilihat pada Gambar 2.14 fluks mengalami penurunan dari waktu ke waktu (Mulder, 1996).



Gambar 2.14. Fluks sebagai fungsi waktu
Sumber: Mulder (1996)

Penurunan fluks dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti polarisasi konsentrasi, adsorpsi, pembentukan lapisan gel dan penyumbatan pori-pori. Semua faktor tersebut dapat menyebabkan tambahan hambatan pada sisi umpan untuk melewati membran. Faktor-faktor tersebut sangat bergantung pada jenis proses membran dan larutan umpan yang digunakan (Mulder, 1996). Gambar 2.15 menggambarkan skema dari berbagai hambatan yang dapat timbul.



Gambar 2.15. Berbagai jenis hambatan transfer massa melalui membran
Sumber: Mulder (1996)

Hambatan fenomena polarisasi konsentrasi (R_{CP}) yaitu terakumulasinya molekul yang tertahan mendekati permukaan membran menghasilkan lapisan di dekat permukaan membran dan lapisan ini memberikan perlawanan terhadap transfer massa atau dapat menghambat transfer massa melewati membran (Mulder, 1996).

Menurut Baker (2004), fenomena polarisasi konsentrasi merupakan gradien konsentrasi yang terbentuk di sisi membran karena komponen campuran dalam umpan memiliki laju permeasi yang berbeda. Fenomena polarisasi konsentrasi terjadi setelah beberapa waktu membran dioperasikan, molekul dalam larutan yang terakumulasi mendekati permukaan membran akan berdifusi kembali ke sisi *bulk* umpan sehingga akan didapatkan kondisi *steady state* (Mulder, 1996).

2.7 Jenis Membran

Membran dapat berukuran tebal atau tipis; strukturnya dapat homogen ataupun heterogen; transfer membran dapat bersifat aktif atau pasif; transfer pasif bekerja dengan menggunakan perbedaan tekanan, konsentrasi dan temperatur. Selain itu, membran bisa berasal dari alam ataupun sintetik dengan bersifat netral atau pasif. Ketebalan, struktur, dan sifat membran yang bermacam-macam itu menyebabkan fungsi membran yang berbeda-beda dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan proses pemisahan (Sudradjat, 2007).

Jenis membran berdasarkan struktur dan morfologinya terbagi menjadi simetris, asimetris, dan komposit.

a. Membran simetris

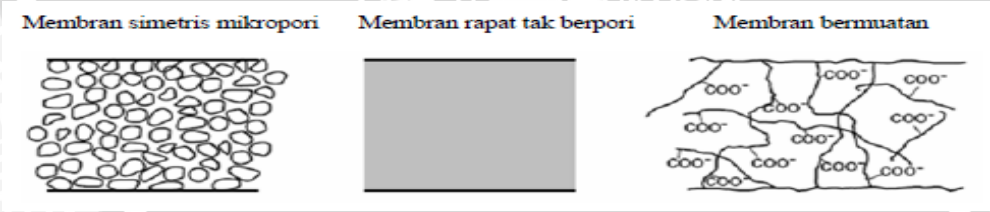
Membran simetris merupakan membran yang memiliki struktur pori homogen dengan ukuran pori yang relatif sama pada lapisan atas dan lapisan bawah. Ketebalan membran simetris, baik berpori ataupun tidak adalah sekitar 10-200 µm. Ketebalan membran berpengaruh terhadap transfer massa. Ketebalan membran yang semakin berkurang menyebabkan laju permeasi semakin meningkat. Selektivitas membran tergantung pada ukuran porinya (Mulder, 1996). Membran simetris dapat dibagi menjadi tiga macam, yaitu membran berpori, membran tak berpori, dan membran bermuatan (Baker, 2004).

b. Membran asimetris

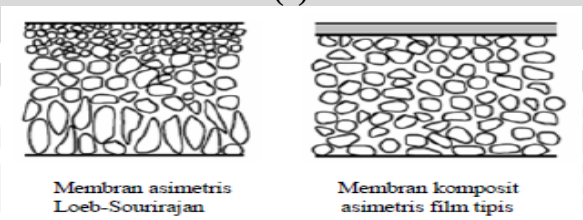
Membran asimetris merupakan membran yang memiliki struktur dan ukuran pori yang heterogen. Lapisan atas merupakan lapisan kulit yang tipis dan rapat dengan ketebalan 0,1-0,5 µm. Lapisan bawah marupakan lapisan pendukung yang lebih tebal dan memiliki ukuran pori besar dengan ketebalan 50-150 µm. Membran ini mengkombinasikan selektivitas tinggi dari membran rapat dengan laju permeasi tinggi dari membran tipis sehingga membran asimetris terdiri dari dua lapisan (Mulder, 1996).

c. Membran komposit

Membran komposit memiliki struktur seperti membran asimetrik namun lapisan atas dan lapisan bawah (penyangga) terdiri dari polimer yang berbeda (Mulder, 1996).



(a)



(b)

Gambar 2.16. Penggolongan membran berdasarkan struktur membran : (a) membran simetris, (b) membran asimetris

Sumber: Baker (2004)

Jenis membran berdasarkan kerapatan dan ketebalan digolongkan menjadi tiga, yaitu :

a. Membran berpori

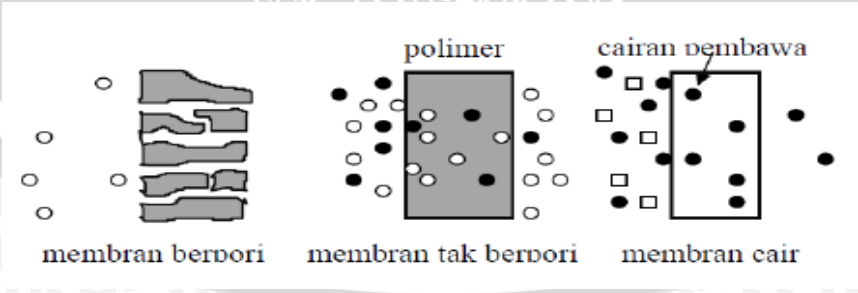
Membran berpori merupakan membran dengan prinsip pemisahan didasarkan pada perbedaan ukuran partikel dengan ukuran pori membran. Selektivitas pemisahan ditentukan oleh ukuran pori dan hubungannya dengan ukuran partikel yang akan dipisahkan (Mulder, 1996). Semua partikel yang berukuran lebih besar dari ukuran pori membran, akan tertahan seluruhnya pada permukaan membran. Sebaliknya semua partikel yang berukuran lebih kecil dari ukuran pori membran akan keluar melalui membran. Membran jenis ini biasanya digunakan untuk proses mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi (Baker, 2004).

b. Membran tak berpori

Membran tak berpori merupakan membran yang mampu memisahkan molekul-molekul yang memiliki ukuran sangat kecil dan tidak dapat dipisahkan dengan membran berpori (Mulder, 1996). Proses pemisahannya dengan cara transfer difusi menggunakan gaya pendorong berupa perbedaan konsentrasi, tekanan, ataupun perbedaan potensial listrik (Baker, 2004). Sifat intrinsik bahan polimer membran menentukan tingkat selektivitas dan permeabilitas. Membran rapat umumnya digunakan pada proses pemisahan gas, pervaporasi, dan dialisis (Mulder, 1996).

c. Membran cair

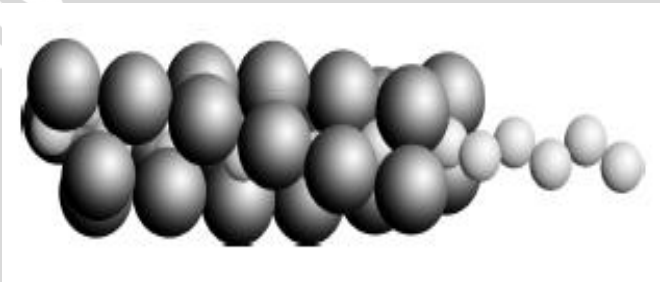
Membran cair merupakan membran yang pemisahannya tidak ditentukan oleh membrannya atau bahan pembentuk membran tersebut, namun ditentukan oleh sifat molekul pembawa yang sangat spesifik. Selektivitas suatu komponen bergantung pada kespesifikan molekul pembawa (Mulder, 1996).



Gambar 2.17. Jenis membran berdasarkan kerapatan
Sumber : Mulder (1996)

2.8 Politetrafluoroetilena (PTFE)

Politetrafluoroetilena atau PTFE (CF_2-CF_2) diketahui memiliki struktur kristal, kestabilan termal tinggi dan bersifat hidrofobik. PTFE memiliki ketahanan kimia yang tinggi karena tidak terlarut di dalam pelarut yang umumnya digunakan (pelarut polar) seperti air (Mulder, 1996). PTFE merupakan salah satu polimer sederhana karena hanya terdiri dari dua elemen yaitu: karbon dan fluorin. PTFE memiliki rantai karbon lurus yang panjang dimana atom fluorin terikat. Kedua ikatan C-C dan C-F merupakan ikatan yang sangat kuat. Kumpulan elektron dari atom fluorin membentuk lapisan halikal yang berfungsi untuk melindungi rantai karbon lurus. Distribusi atom fluor membuat PTFE menjadi nonpolar dan nonreaktif, karena sifat nonpolar dan nonreaktif menyebabkan PTFE sulit untuk berikatan dengan senyawa lain. Kombinasi antar ikatan yang kuat, lapisan pelindung, dan nonpolaritas membuat PTFE sangat inert serta memiliki kestabilan termal yang baik (Wikol, dkk, 2008).



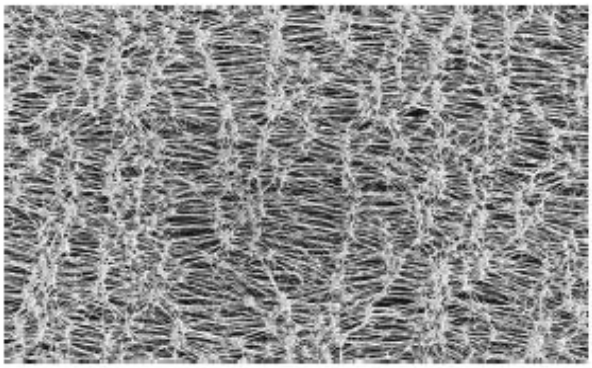
Gambar 2.18. Struktur kimia dari PTFE
Sumber : Wikol, dkk (2008)

Tabel 2.2 Sifat Fisik dari PTFE

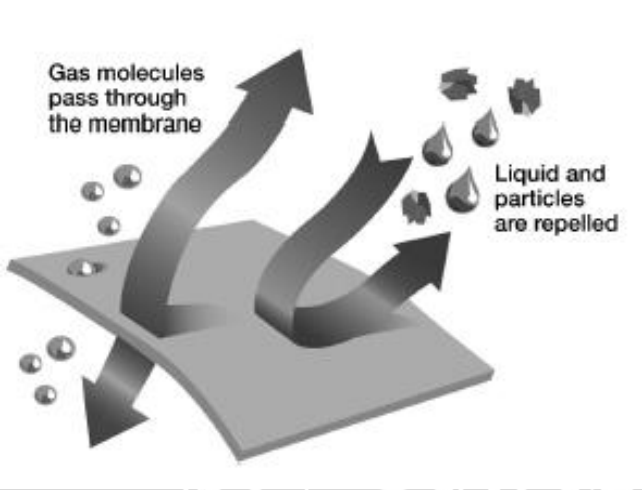
Properti	
Struktur	-(CF2CF2)-n
Energi bebas permukaan	18,5 dyn/cm
Temperatur leleh	327 °C
Temperatur kerja kontinyu	288 °C

Sumber : Wikol, dkk (2008)

Membran PTFE merupakan membran mikropori (Gambar 2.19) yang sangat hidrofobik. Membran PTFE mampu menahan tetesan berupa cairan, namun mampu melewatkan uap. Pada Gambar 2.20 menunjukkan kemampuan membran PTFE dalam melewatkan uap melalui difusi. Uap akan mengalir dari tekanan tinggi ke tekanan rendah jika terdapat perbedaan tekanan antar permukaan membran. Selain itu, terjadinya perpindahan massa pada membran dapat disebabkan adanya perbedaan temperatur (Wikol, dkk, 2008).



Gambar 2.19. Struktur pori dari PTFE
Sumber : Wikol, dkk (2008)



Gambar 2.20. Kemampuan membran PTFE dalam melewatkan suatu molekul
Sumber : Wikol, dkk (2008)

2.9 Refraktometer

Setiap komponen fase cair dan komponen-komponen yang dilarutkan memiliki nilai indeks bias yang berbeda-beda bergantung pada konsentrasi dari setiap komponen sampel. Untuk mengetahui komposisi dari larutan tersebut berdasarkan indeks bias dapat digunakan alat ukur refraktometer. Refraktometer merupakan sebuah instrumen mengukur indeks bias indeks bias dari sebuah sampel berwujud cairan. Refraktometer menggunakan hukum pembiasan Snellius dimana cahaya melewati medium yang memiliki indeks bias tinggi menuju ke medium yang memiliki indeks bias rendah. Medium yang memiliki indeks bias rendah sudut biasnya akan lebih besar dibandingkan sudut bias medium yang memiliki indeks bias tinggi (Haus, 2006). Pembelokan cahaya pada cairan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu panjang gelombang cahaya yang tertentu, temperatur, karakterisitik dari media, dan zat terlarut pada media. Apabila ketiga parameter pertama dikondisikan

konstan maka refraktometer dapat mengukur seberapa banyak konsentrasi zat terlarut pada cairan (Haus, 2009).Untuk mengetahui konsentrasi suatu sampel diperlukan suatu zat lain yang diketahui indeks biasnya dan konsentrasinya untuk pembanding (Haus, 2006).

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

2.10 Penelitian Terdahulu

Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu

No	Pengarang	Judul	Metode	Hasil
1	Choirudin Sinaga, Nonot Soewarno, Annisa Damayanti (2011)	Optimalisasi rasio refluk dan penggunaan energi dalam proses distilasi campuran etanol-air	*Distillation Continuous* 4 tray, diameter kolom 6,2 cm, *tray spacing* 30 cm, dan, rasio refluk sebesar 1. Konsentrasi bioetanol 10% digunakan sebagai umpan dengan laju alir 60 kg/jam. Temperatur kolom yang digunakan yaitu 90, 95, dan 100 °C. Kadar etanol yang dihasilkan diukur menggunakan alcoholmeter.	Termperatur paling optimum ditunjukkan pada variabel temperatur 100 °C. Kadar bioetanol yang dihasilkan yaitu 40%. Energi yang dibutuhkan sebesar 40425,14 KJ.
2	Fetty Alvionita Sitanggang, Diah Mardiana, Ellya Indahyanti (2014)	Pengaruh hidrofilitas membran terhadap peningkatan kemurnian etanol secara distilasi	Metode yang digunakan yaitu membran destilasi menggunakan membran hidrofilik selulosa ester dan poliamida. Etanol yang digunakan sebagai umpan memiliki konsentrasi 96% dan temperatur 80 °C. Membran destilasi dioperasikan berdasarkan variasi waktu 1 sampai 3 jam. Sampling dilakukan setiap 1 jam sebanyak 5 ml untuk distilat dan residu. Membran dikarakterisasi sifat termal dan derajat *swelling* membran.	1.Membran selulosa ester memiliki kemampuan yang baik untuk menahan etanol namun memiliki kestabilan termal yang kurang baik sehingga tidak memungkinkan digunakan untuk proses membran destilasi. 2.Membran poliamida memiliki kestabilan termal tinggi. Semakin lama destilasi, kadar etanol dalam destilat semakin menurun, karena adanya etanol yang tertahan dalam membran. Pada waktu 1, 2, dan 3 jam kadar etanol pada destilat yaitu 94,55% , 89,44%, dan 85,99% 3.Membran yang bersifat hidrofil kurang sesuai untuk digunakan pada pemurnian etanol.

Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu (lanjutan)

No	Pengarang	Judul	Metode	Hasil
3	Dobita Amanda Feliciana, Rahma Yullia Rusmo, Bambang Poerwadi, Bambang Ismuyanto (2015).	Pemurnian bioetanol dari *palm wine* dengan *direct contact membrane distillation* (DCMD) menggunakan membran PTFE	Metode yang digunakan yaitu dengan cara *direct contact distillation membrane* (DCMD) menggunakan membran PTFE. Konsentrasi etanol 3,52% w/w digunakan sebagai umpan dengan variasi temperatur umpan (85, 88, 91, 94 °C). Massa permeat diukur setiap 10 menit selama 3 jam. Fluks dan selektivitas akan menentukan temperatur optimum dari DCMD.	Kondisi operasi optimum pada membran destilasi menggunakan membran PTFE pada larutan etanol-air adalah pada temperatur umpan 90 °C. Konsentrasi etanol pada temperatur umpan 90 °C yaitu 45,20%.
4	M.A Izquierdo-Gil, G.Jonsson (2003)	*Factors affecting flux and ethanol separation performance in vacuum membrane distillation (VMD)*	Metode yang digunakan yaitu *vacuum membrane distillation (VMD)* menggunakan empat jenis membran berbeda yaitu: - PTFE dengan ukuran pori 0.1 μm (K-200) - PTFE dengan ukuran pori 0.2 μm (K-100) - PVDF dengan ukuran pori 0.2 μm (PVDF2) - PP dengan ukuran pori 0.2 μm (1E-PP) Konsentrasi etanol 0,25% w/w digunakan sebagai umpan dengan pada temperatur 45 ^{o}C dan variasi laju alir antara 1,9 – 7,4 L/min. Tekanan pada sisi permeat sebesar 49 mbar. Selanjutnya data eksperimen dibandingkan dengan perhitungan teoritis secara pemodelan untuk mengetahui akurasi dari perhitungan secara teoritis tersebut.	- Fluks tertinggi didapatkan dengan pemisahan menggunakan membran PTFE dengan ukuran pori 0,2 μm, karena memiliki porositas yang lebih tinggi dibandingkan jenis membran lain. - Fluks meningkat secara linier dengan meningkatnya laju alir - Faktor pemisahan (*separation factor)* mengalami peningkatan dari laju alir 5 ke 7 L/min untuk membran PTFE dan PVDF. Perbedaan hasil perhitungan teoritis secara pemodelan dan eksperimen cukup rendah, sehingga perhitungan secara pemodelan cukup akurat

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

repository.ub.ac
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

3.1.1 Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember 2015 sampai April 2016.

3.1.2 Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Operasi Teknik Kimia Universitas Brawijaya, Malang. Pengujian konsentrasi etanol umpan dan permeat menggunakan alat uji rafraktometer (ATAGO PAL-34S).

3.2 Bahan dan Alat

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian adalah :

1. Membran PTFE tipe MLPT260022 supplier "Starlab Scientific"
2. *Ethanol absolute for analysis* EMSURE® ACS,ISO,Reag. Ph Eur (Merck Millipore) 99%w/w supplier"CV. Dua Bintang"
3. Akuades

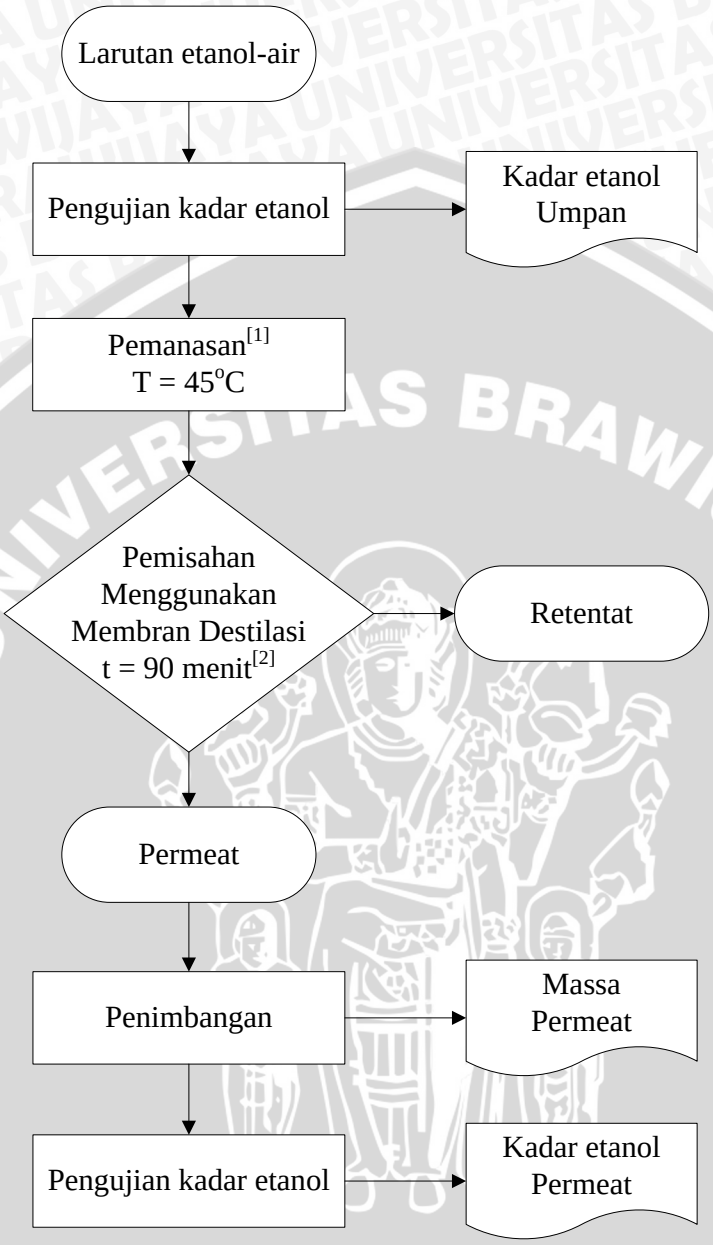
Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas unit :

1. Labu Leher 3
2. Modul Membran
3. Kondensor liebig
4. Erlenmeyer
5. Tangki Penampung Air
6. *Chiller*
7. *Water Jet Ejector*
8. Pompa *Booster*
9. Neraca Analitik
10. *Thermocontroller*
11. Refraktometer
12. Filter 100 Mesh
13. *Vakum Gauge*
14. *Heating Mantle*
15. *Stopwatch*

3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan selama penelitian adalah variasi temperatur umpan yaitu 45, 55, 65, dan 75 ^{o}C

3.4 Tahapan Penelitian



Gambar 3.1 Skema penelitian *vacuum membrane distillation* (VMD) menggunakan membran PTFE

Keterangan :

[1] Prosedur diulang menggunakan variabel temperatur, 55, 65, dan 75°C

[2] Setiap 15 menit dilakukan penimbangan dan pengukuran konsentrasi pada permeat

3.5 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan adalah proses pemisahan etanol dengan air menggunakan operasi *vacuum membrane distillation* (VMD) membran PTFE.

3.5.1 Karakteristik Bahan Baku

a. Membran PTFE

Membran PTFE yang digunakan memiliki karakteristik sebagai berikut :

Nama membran	: *Hydrophobic PTFE Membrane Filter Roll*
Tipe membran	: MLPT260022
Media filtrasi	: PTFE Hidrofobik
Ukuran pori	: 0.22µm
Ketebalan	: 0.15mm-0.21mm :

b. Larutan Etanol

Larutan etanol yang digunakan adalah *ethanol absolute for analysis*

3.5.2 Persiapan Bahan Baku

a. Pembuatan Larutan Etanol-Air

Konsentrasi etanol dalam larutan etanol-air yang digunakan sebagai umpan yaitu sebesar 8% w/w.

b. Uji Konsentrasi Etanol pada Larutan Etanol-Air

Larutan etanol-air diuji kandungan etanolnya menggunakan refraktometer (ATAGO PAL-34S) sebelum digunakan sebagai umpan untuk proses *vacuum membrane distillation* (VMD).

3.5.3 Pengujian *Vacuum Membrane Distillation* (VMD) Membran PTFE

Pengujian menggunakan operasi *vacuum membrane distillation* (VMD) digunakan untuk mengetahui pengaruh temperatur umpan terhadap kinerja *vacuum membrane distillation* (VMD) dan peningkatan konsentrasi yang dihasilkan.

Kinerja *vacuum membrane distillation* (VMD) dianalisa menggunakan variasi temperatur umpan yaitu 45, 55, 65, dan 75°C. Pengaruh temperatur umpan dalam kinerja membran ditentukan oleh dua parameter, yaitu fluks dan selektivitas. Temperatur umpan dikaji

dalam penelitian ini untuk mengetahui pengaruhnya terhadap fluks dan selektivitas pada proses *vacuum membrane distillation* (VMD) menggunakan membran PTFE. Pengukuran yang dilakukan pada proses penelitian adalah sebagai berikut :

(a) Pengukuran fluks pada proses *vacuum membrane distillation* (VMD) menggunakan membran PTFE.

Pengambilan data massa permeat untuk mengetahui fluks diamati setiap 15 menit selama 90 menit. Setelah mendapatkan data massa permeat tersebut kemudian fluks dihitung menggunakan rumus :

$$J = \frac{m}{A.t} \tag{2-1}$$

Keterangan :

J = Fluks (gr/cm^2.min)

m = Massa (gram)

A = Luas permukaan membrane (cm^2)

t = Waktu (Mulder, 1996)

(b) Pengukuran selektivitas pada proses *vacuum membrane distillation* (VMD) menggunakan membran PTFE

Permeat yang dihasilkan selama rentang waktu operasi diuji menggunakan refraktometer (ATAGO PAL-34S) untuk mengetahui konsentrasi etanol yang didapatkan. Setelah mendapatkan data konsentrasi etanol pada permeat kemudian selektivitas dihitung menggunakan rumus :

$$\alpha = \frac{y_A/y_B}{x_A/x_B} \tag{2-2}$$

Keterangan :

$\propto$ = Selektivitas

x_A = Konsentrasi zat terlarut pada umpan

x_B = Konsentrasi pelarut pada umpan

y_A = Konsentrasi zat terlarut pada permeat

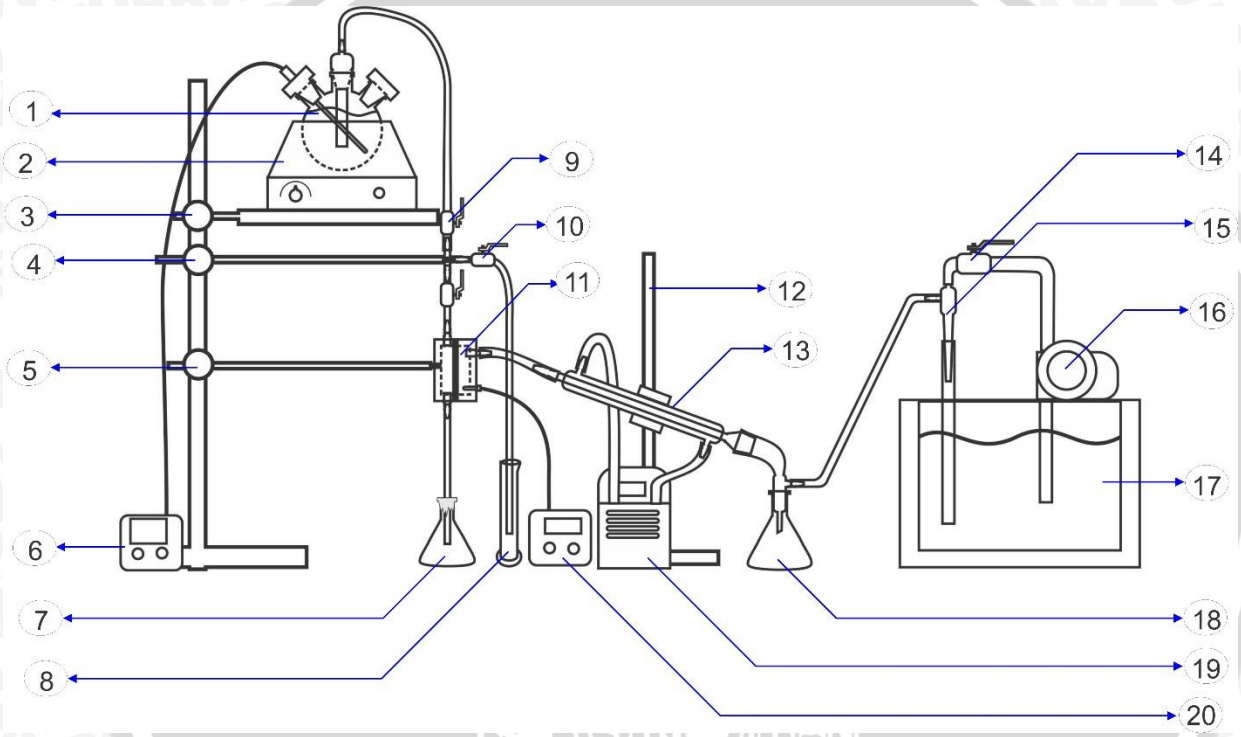
y_B = Konsentrasi pelarut pada permeat (Mulder, 1996)

Peningkatan konsentrasi etanol pada operasi *vacuum membrane distillation* (VMD) dianalisa dengan membandingkan hasil pengujian konsentrasi etanol pada umpan dengan konsentrasi etanol pada permeat yang diuji menggunakan refraktometer (ATAGO PAL-34S).

3.6 Rangkaian Alat

3.6.1 Rangkaian Alat *Vacuum Membrane Distillation* (VMD)

Rangkaian alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:



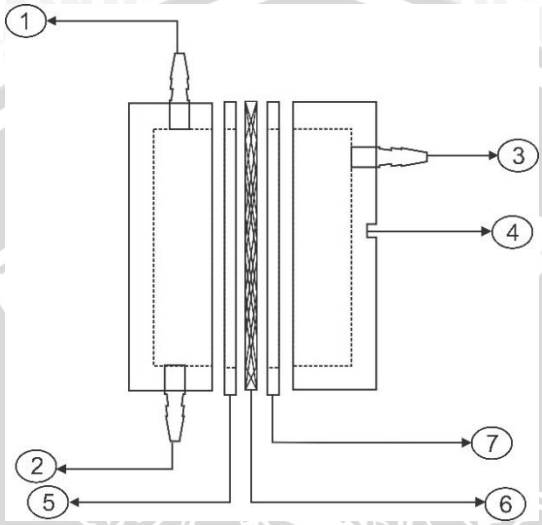
Gambar 3.2 Rangkaian alat secara keseluruhan

Keterangan gambar 3.2 :

1. Labu alas bulat leher tiga sebagai penampung umpan
2. *Heating Mantle*
3. Statif *heating mantle*
4. Statif katup
5. Statif modul membran
6. *Termocontroller* larutan umpan
7. Erlenmeyer retentat
8. Gelas ukur pengukur laju alir
9. Katup pengatur laju umpan membran
10. Katup pengukur laju umpan
11. Modul membran
12. Statif kondensor
13. Kondensor liebig
14. Katup pengatur laju alir air

15. *Water Jet Ejector*
16. Pompa sentrifugal
17. Tangki penampung air
18. Erlenmeyer permeat
19. *Chiller*
20. *Termocontroller* modul membran

3.6.2 Rangkaian Modul Membran



Gambar 3.3 Rangkaian modul membran

Keterangan gambar 3.3 :

1. Aliran umpan masuk
2. Aliran menuju retentat
3. Aliran menuju permeat
4. Lubang *termcouple*
5. Membran PTFE
6. Penyangga
7. Karet

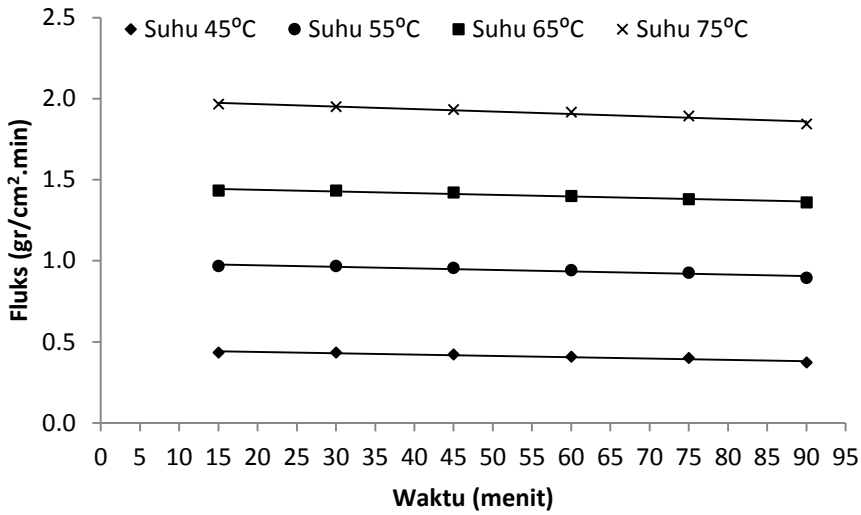
BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kinerja *Vacuum Membrane Distillation* (VMD) menggunakan Membran PTFE pada Larutan Etanol-Air

Pada penelitian ini, proses *vacuum membrane distillation* (VMD) menggunakan membran PTFE. Larutan etanol-air yang digunakan sebagai umpan pada proses *vacuum membrane distillation* (VMD) mempunyai laju alir sebesar 6,6 ml/menit dan konsentrasi etanol sebesar 8% w/w. *Vacuum membrane distillation* (VMD) dioperasikan selama 90 menit dan tekanan vakum pada sisi permeat dijaga konstan sebesar 95-97 Kpa. Membran PTFE yang digunakan memiliki ukuran pori sebesar 0,22 µm. Kemampuan proses *vacuum membrane distillation* (VMD) untuk memisahkan larutan etanol-air dilihat dari segi kinerja membran yaitu fluks dan selektivitas. Fluks dihitung untuk mengetahui kemampuan senyawa yang ingin dipisahkan dalam melewati membran. Sedangkan selektivitas dihitung untuk mengetahui kemampuan membran dalam memisahkan/merejeksi suatu komponen dari campurannya.

4.1.1 Pengaruh Temperatur Umpan pada Fluks *Vacuum Membrane Distillation* (VMD) menggunakan Membran PTFE

Fluks pada proses *vacuum membrane distillation* (VMD) diamati selama 90 menit dengan pengukuran massa setiap 15 menit. Perhitungan fluks dapat dilihat pada Lampiran 5. Pengaruh waktu terhadap fluks pada berbagai variasi temperatur umpan (45, 55, 65, dan 75°C) yang diperoleh dari hasil perhitungan dapat ditunjukkan dalam grafik pada Gambar 4.1 berikut:

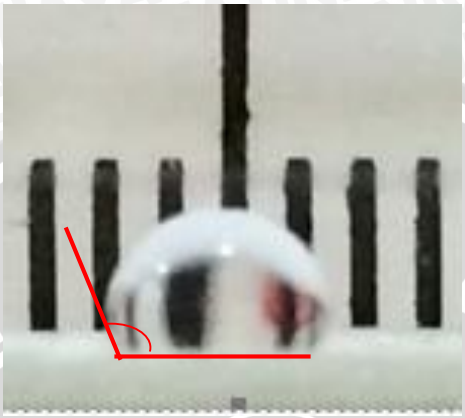


Gambar 4.1. Grafik Pengaruh waktu terhadap fluks pada berbagai variasi temperatur umpan

Grafik pada Gambar 4.1 menunjukkan pengaruh waktu terhadap fluks pada berbagai variasi temperatur umpan. Berdasarkan grafik pada Gambar 4.1 didapatkan bahwa fluks pada berbagai variasi temperatur umpan mengalami penurunan terhadap rentang waktu pengoperasian. Menurut Feliciana, dkk (2006), penurunan fluks disebabkan berkurangnya konsentrasi umpan dan mulai terjadinya fenomena polarisasi konsentrasi pada *boundary layer* yang akan menghambat transfer massa membran, dan menyebabkan penurunan fluks.

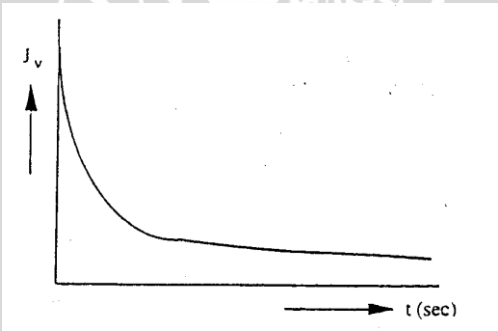
Fenomena polarisasi konsentrasi menghambat transfer massa membran pada sisi umpan terjadi dalam fase cair seperti yang dijelaskan pada Gambar 2.11, dimana larutan umpan panas yang kontak langsung dengan permukaan membran pada sisi umpan tidak dapat melewati pori membran karena sifat hidrofobik membran, sehingga hanya molekul uap yang bermigrasi dari sisi umpan ke sisi permeat. Sifat hidrofobik dari membran mikropori PTFE yang memiliki ukuran pori sebesar 0,22 μm dapat ditentukan dari besarnya sudut kontak air (*water contact angle, WCA*). Sudut kontak diukur dengan cara mengukur sudut antara permukaan membran dengan tetesan air yang mempunyai perbedaan polaritas, dimana membran mikropori PTFE yang digunakan sebagai *barrier* untuk memisahkan sisi umpan dan sisi permeat merupakan jenis polimer sederhana yang hanya tersusun oleh dua elemen yaitu karbon dan fluorin. Ikatan antara C-C dan C-F memiliki ikatan yang kuat. Distribusi atom florin menyebabkan membran bersifat nonpolar, sedangkan air bersifat polar. Sudut kontak air yang terbentuk pada membran mikropori PTFE sebesar 103,36° yang diperoleh dengan perhitungan hidrofobisitas membran (Lampiran 10) dan ditunjukkan pada

Gambar 4.2. Sudut kontak yang didapatkan sebesar 103,36° mengindikasikan bahwa membran mikropori PTFE (0,22 μm) bersifat hidrofobik. Menurut Mulder (1996), permukaan yang bersifat hidrofobik apabila sudut kontak yang terbentuk diatas 90° dan bersifat hidrofilik apabila sudut kontak dibawah 90°. Menurut Nakajima, et al (2001), apabila sudut kontak diatas 150° permukaan memiliki sifat superhidrofobik.



Gambar 4.2 Hidrofobisitas membran PTFE

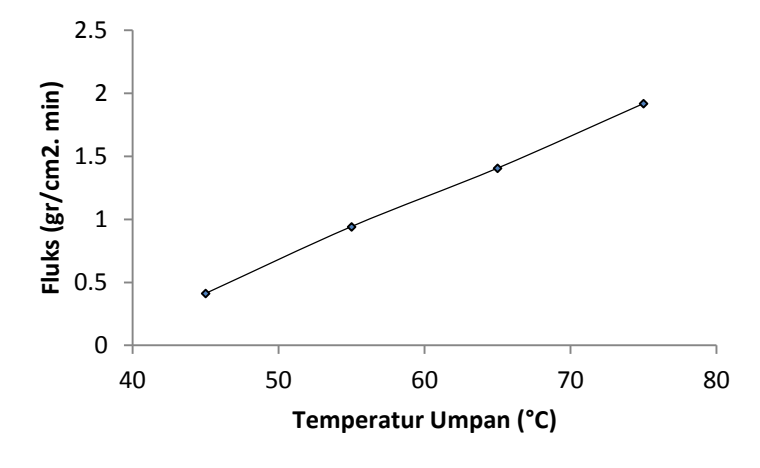
Menurut Mulder (1996), penurunan fluks yang cukup besar seperti yang terlihat pada Gambar 4.3 mempunyai pengaruh negatif pada proses operasi membran dari segi ekonomi, karena penurunan fluks yang cukup besar menandakan perlu dilakukan pergantian membran.



Gambar 4.3 Penurunan fluks terhadap waktu
Sumber : Mulder (1996)

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.1 menunjukkan bahwa penurunan fluks yang terjadi tidak mengalami penurunan yang signifikan untuk dilakukan pergantian membran, sehingga membran PTFE masih dapat digunakan untuk waktu operasi yang lebih lama.

Grafik pada Gambar 4.4 menunjukkan pengaruh temperatur umpan terhadap fluks. Didapatkan hasil bahwa semakin tinggi temperatur umpan yaitu temperatur 45, 55, 65, dan 75, maka fluks akan semakin meningkat secara linear.



Gambar 4.4 Pengaruh temperatur umpan terhadap fluks rata-rata

Perbedaan fluks terhadap temperatur umpan disebabkan oleh tekanan uap campuran etanol-air pada berbagai variasi temperatur umpan. Berikut adalah tabel 4.1 tekanan uap campuran etanol-air pada berbagai variasi temperatur umpan :

Tabel 4.1. Tekanan uap campuran etanol air pada berbagai variasi temperatur umpan

Temperatur (ºC)	Tekanan uap parsial Etanol (Kpa)	Tekanan uap parsial Air (Kpa)	Tekanan uap campuran (Kpa)
45	0.75	9.81	9.94
55	1.22	15.11	16.33
65	1.91	24.03	25.94
75	2.90	37.07	39.97

Pada Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa tekanan uap campuran etanol-air akan meningkat seiring kenaikkan temperatur umpan. Menurut Castellan (1983), kenaikkan temperatur larutan akan meningkatkan tekanan uap dari larutan tersebut, karena saat temperatur larutan umpan etanol-air dinaikkan, molekul-molekul etanol dan air akan mendapatkan tambahan energi panas yang dapat meningkatkan energi vibrasi molekul sehingga semakin banyak interaksi-interaksi antar molekul yang terputus. Interaksi antar molekul yang terputus pada permukaan larutan umpan memiliki cukup energi untuk lepas membentuk fasa uap.

Peningkatan temperatur umpan dari 45, 55, 65, dan 75 ºC akan meningkatkan tekanan uap dari larutan umpan sehingga kompenen uap yang terbentuk akan semakin meningkat. Meningkatnya komponen-komponen uap etanol dan air yang terbentuk akan meningkatkan penetrasi uap-uap memasuki pori membran sehingga lebih banyak molekul-

molekul uap pada sisi permeat yang akan terkondensasi. Hal ini yang meyebabkan fluks meningkat dengan meningkatnya temperatur umpan.

4.1.2 Pengaruh Temperatur Umpan pada Selektivitas *Vacuum Membrane Distillation* (VMD) menggunakan Membran PTFE

Proses *vacuum membran distillation* (VMD) merupakan salah satu jenis operasi membran distilasi dimana membran yang digunakan tidak terlibat secara langsung dalam pemisahan, peran membran hanya sebagai *barrier* untuk mengadakan *liquid-vapor interface*, dimana penguapan berlangsung, seperti yang terlihat pada Gambar 2.6. Pemisahan dalam proses membran distilasi sepenuhnya ditentukan oleh kesetimbangan uap-cair yang terlibat (Mulder, 1996).

Selektivitas pada *vacuum membrane distillation* (VMD) menggunakan membran PTFE pada berbagai variasi temperatur umpan (45, 55, 65, dan 75°C) dapat dihitung dengan membandingkan konsentrasi etanol pada umpan (x_A) dengan konsentrasi etanol pada permeat (y_A) berdasarkan persamaan 2-2. Konsentrasi etanol pada permeat menggunakan konsentrasi etanol rata-rata pada proses pemisahan menggunakan *vacuum membrane distillation* (VMD) yang diamati selama 90 menit dengan pengujian konsentrasi etanol setiap 15 menit menggunakan refraktometer (ATAGO PAL-34S). Konsentrasi etanol pada umpan sebesar 8%w/w dimasukkan pada persamaan 2-2, sehingga didapatkan persamaan 4-2 (penurunan pada Lampiran 6) :

$$\alpha = \frac{y_A/y_B}{x_A/x_B} \tag{2-2}$$

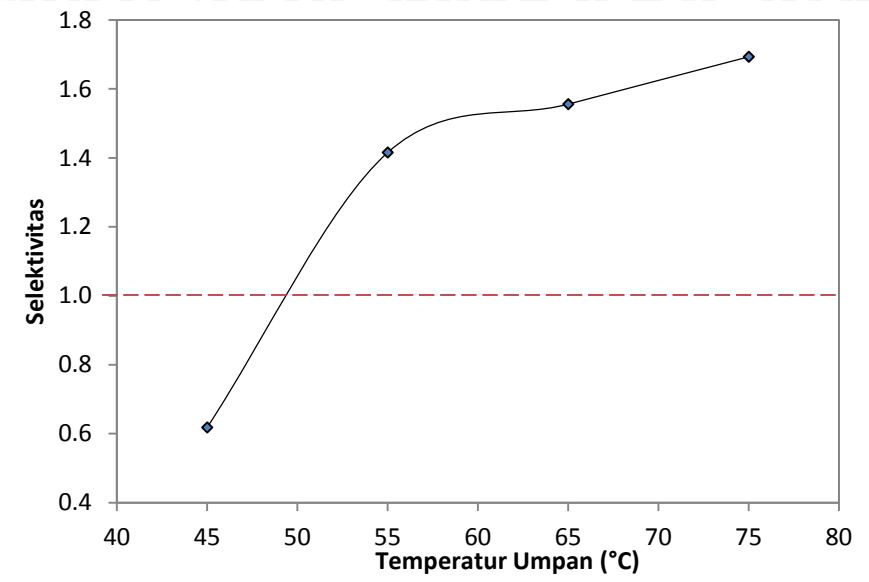
$$\alpha = \frac{11.5\, y_A}{1-y_A} \tag{4-2}$$

Berdasarkan persamaan 4-2 maka selektivitas akan sebanding dengan konsentrasi etanol pada permeat yang didapatkan, semakin besar konsentrasi etanol pada permeat maka semakin besar selektivitas yang didapatkan. Berikut merupakan tabel konsentrasi etanol pada permeat pada berbagai variasi temperatur umpan :

Tabel 4.2. Konsentrasi permeat pada berbagai variasi temperatur umpan

Temperatur (°C)	Konsentrasi etanol (%w/w)	
	Umpan	Permeat
45	8	5.1
55	8	11
65	8	11.9
75	8	12.6

Berdasarkan data konsentrasi etanol pada umpan dan permeat pada Tabel 4.2 didapatkan profil selektivitas terhadap berbagai temperatur umpan yang diperoleh dari hasil perhitungan (Lampiran 6) yang ditunjukkan dalam grafik pada Gambar 4.5 berikut:



Gambar 4.5 Pengaruh temperatur umpan terhadap selektivitas

Grafik pada Gambar 4.5 yaitu pengaruh temperatur umpan terhadap selektivitas menggunakan membran PTFE terlihat bahwa meningkatnya temperatur umpan dari 45°C hingga 55 °C selektivitas mengalami peningkatan yang signifikan dari 0,6 hingga menjadi 1,4, namun pada temperatur umpan dari 55, 65 hingga 75°C selektivitas mengalami peningkatan yang tidak signifikan atau mendekati konstan dari 1,4, 1,6 hingga menjadi 1,7 jika dibandingkan pada temperatur umpan dari 45°C hingga 55 °C. Menurut Wu, dkk (2006), selektivitas meningkat dan mendekati konstan pada temperatur yang lebih tinggi, karena peningkatan temperatur umpan, meningkatkan tekanan uap parsial kedua komponen sehingga *driving force* berupa perbedaan tekanan antara sisi umpan dan sisi permeat yang digunakan untuk melewatkan komponen uap meningkat.

Hal ini sesuai dengan data pada Tabel 4.1 menunjukkan tekanan uap parsial air dan etanol meningkat dengan meningkatnya temperatur umpan yaitu temperatur 45, 55, 65, dan 75°C. Meningkatnya tekanan uap parsial air dan etanol akan meningkatkan tekanan uap campuran pada sisi umpan. Meningkatnya tekanan uap campuran pada sisi umpan menyebabkan meningkatnya perbedaan tekanan antara sisi umpan dan sisi permeat, dimana tekanan vakum yang diterapkan pada sisi permeat sebesar 95-97 Kpa. Meningkatnya perbedaan tekanan antara sisi umpan dan sisi permeat menyebabkan *driving force* yang

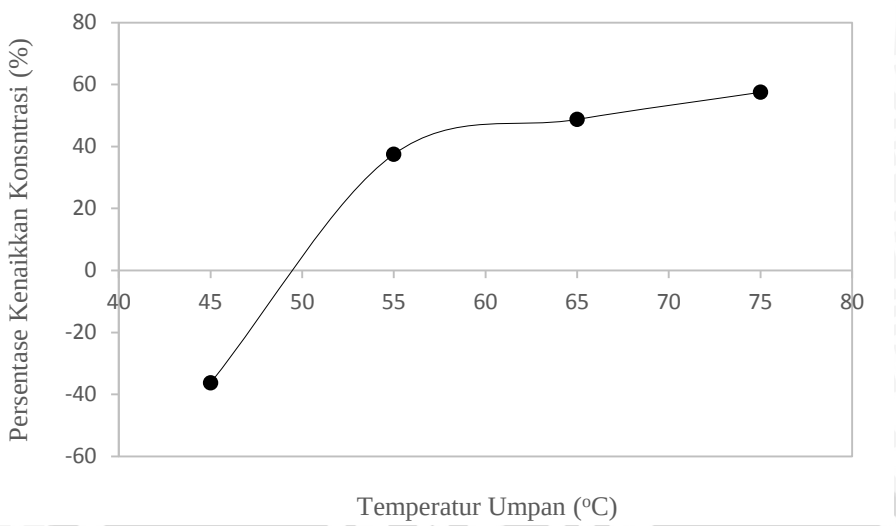
digunakan untuk melewatkan komponen air dan etanol melewati pori membran bertambah besar, sehingga transfer massa komponen air dan etanol melewati membran meningkat.

Air merupakan komponen utama pada larutan umpan, sehingga pada temperatur umpan yang lebih tinggi menyebabkan tekanan uap parsial air mengalami peningkatan yang lebih besar dibandingkan peningkatan tekanan uap parsial etanol. Hal ini menyebabkan gaya dorong air melewati membran bertambah besar dibandingkan dengan etanol, sehingga fluks air di permeat lebih meningkat dibandingkan fluks air pada temperatur yang lebih rendah. Meningkatnya fluks air ini, menyebabkan selektivitas pada temperatur umpan yang lebih tinggi mengalami peningkatan yang tidak signifikan atau mendekati konstan. Menurut Khayet dan Takeshi (2011), temperatur umpan yang sangat tinggi dalam proses membran distilasi tidak dianjurkan karena mengkonsumsi energi yang lebih tinggi tetapi dengan peningkatan selektivitas yang sedikit atau tidak ada peningkatan selektivitas.

Grafik pada Gambar 4.5 menunjukkan selektivitas pada temperatur umpan 45°C memiliki nilai dibawah 1, sedangkan pada temperatur 55, 65, dan 75°C selektivitas bernilai lebih dari 1. Menurut Banat dan Jana (1999), selektivitas yang bernilai lebih besar dari 1 mengindikasikan bahwa selektivitas permeasi dari etanol, tetapi apabila selektivitas kurang dari 1 mengindikasikan bahwa kandungan air lebih banyak pada bagian permeat. Selektivitas pada temperatur umpan 45°C sebesar 0,6 menunjukkan bahwa konsentrasi etanol mengalami penurunan dari 8% w/w menjadi 5,1% w/w. Hal ini disebabkan karena tekanan uap parsial etanol pada temperatur umpan 45°C sangat kecil yaitu sebesar 0,75 Kpa. Tekanan uap parsial etanol yang sangat kecil menyebabkan perbedaan tekanan antara sisi umpan dan sisi permeat kecil, dimana tekanan vakum yang diterapkan pada sisi permeat sebesar 95-97 Kpa, sehingga belum cukup mampu untuk mendorong etanol melewati membran.

4.2. Pengaruh Temperatur Umpan pada Proses *Vacuum Membrane Distillation* (VMD) menggunakan Membran PTFE terhadap Peningkatan Konsentrasi Etanol

Berdasarkan data konsentrasi etanol pada Tabel 4.2 menunjukkan bahwa konsentrasi etanol pada permeat menggunakan temperatur umpan 45, 55, 65, dan 75°C sebesar 5,1 % w/w, 11%w/w, 11,9%w/w dan 12,6%w/w. Berdasarkan data tersebut didapatkan grafik persentase kenaikkan konsentrasi etanol dari konsentrasi awal 8% w/w pada temperatur umpan 45, 55, 65, dan 75°C yang ditunjukkan pada Gambar 4.6 berikut:



Gambar 4.6 Grafik persentase kenaikan kosentrasi etanol dari kosentrasi awal 8%w/w

Grafik pada Gambar 4.6 menunjukkan persentase kenaikkan konsentrasi etanol dari konsentrasi awal 8%w/w pada temperatur umpan 45, 55, 65, dan 75 ºC sebesar -36,25%, 37,5%, 48,8%, dan 57,7%. Persentase kenaikkan konsentrasi etanol dari konsentrasi awal 8%w/w pada temperatur umpan 55, 65, dan 75 ºC mununjukkan kenaikkan yang tidak cukup besar serta pada temperatur 45 ºC tidak mengalami kenaikan.

Menurut Lei, dkk (2005), pada proses *vacuum membrane distillation* (VMD), tekanan pada sisi permeat dipertahankan dibawah tekanan uap yang terbentuk pada sisi umpan. Tekanan vakum pada sisi permeat tersebut digunakan sebagai *driving force* antara sisi umpan dan sisi permeat. Selain itu menurut Wu, dkk (2005), tekanan vakum yang diterapkan pada sisi permeat dari membran dapat meningkatkan penguapan komponen volatil pada *liquid-vapor interface*. Namun pada penelitian ini, tekanan vakum yang diterapkan pada sisi permeat sebesar 95-97 Kpa belum dibawah tekanan uap yang terbentuk pada sisi umpan, sehingga *driving force* perbedaan tekanan antara sisi umpan dan sisi permeat untuk menyebabkan komponen uap mengalir melewati membran pada 45, 55, 65, dan 75ºC masih relatif kecil. Hal ini menyebabkan persentase kenaikkan konsentrasi etanol dari konsentrasi awal 8% w/w pada temperatur umpan 55, 65 dan 75ºC tidak cukup besar serta pada temperatur 45 ºC tidak mengalami kenaikan yang ditunjukkan pada Gambar 4.8.

Grafik pada Gambar 4.6 menunjukkan bahwa range temperatur umpan 50ºC-55ºC, persentase kenaikan konsentrasi etanol mengalami peningkatan sebesar 40,00%. Pada range temperatur umpan 55ºC-65ºC, persentase kenaikan konsentrasi etanol mengalami peningkatan sebesar 11,30%. Pada range temperatur umpan 65ºC-75ºC, persentase kenaikan konsentrasi etanol mengalami peningkatan sebesar 8,90%. Berdasarkan penjelasan tersebut

range temperatur umpan 50ºC-55ºC memiliki peningkatan persentase kenaikkan konsentrasi yang lebih signifikan yaitu 40% jika dibandingkan dengan range temperatur umpan 55ºC-65ºC dan 65ºC-75ºC yang hanya memiliki kenaikan sebesar 11,30% dan 8,90%.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian ini maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Semakin tinggi temperatur umpan yang digunakan yaitu temperatur 55, 65, dan 75°C, maka fluks akan meningkat secara linier dan selektivitas meningkat mendekati konstan.
2. Semakin tinggi temperatur umpan yang digunakan yaitu temperatur 55, 65, dan 75°C, maka persentase kenaikkan konsentrasi etanol dari konsentrasi umpan 8% w/w meningkat mendekati konstan. Pada temperatur umpan 45, 55, 65, dan 75°C persentase kenaikkan konsentrasi etanol sebesar -36,25%, 37,50%, 48,75%, dan 57,75%. Range temperatur umpan 50-55°C memiliki peningkatan persentase kenaikkan konsentrasi etanol yang lebih signifikan jika dibandingkan dengan range temperatur umpan 55°C-65°C dan 65°C-75°C.

5.2 Saran

Penelitian ini perlu dikembangkan lebih lanjut, sehingga saran untuk kedepannya adalah:

1. Perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh *driving force* perbedaan tekanan antara sisi umpan dan sisi permeat terhadap peningkatan fluks dan selektivitas.
2. Perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh konsentrasi umpan terhadap peningkatan fluks dan selektivitas.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR PUSTAKA

Alkhudhiri, A., Naif, D., & Nidal, H. (2012). *Membrane Distillation: A Comprehensive Review*. *Journal Desalination 287, Elsevier*, 2-18.

Baker, R. W. (2004). *Membrane Technology and Applications.* California: John Wiley & Sons. Ltd.

Bakhshi, A., Toraj, M., Omid, G. N., & Abdolreza, A. (2006). *Effect Of Operating Conditions On Pervaporation Of Methanol-Water Mixtures:Part 2*. *Journal Membrane Technology*, 7-11.

Banat, F. A., & Jana, S. (1999). *Membrane Distillation for Dilute Ethanol Separation from Aqueous Streams*. *Journal of Membrane Science 163*, 333-348.

Basile, A., Alberto, F., & Mohamed, K. (2015). *Pervaporation, Vapor Permeation, and Membrane Distillation.* USA: Elsevier.

Bracco, G., & Bodil, H. (2013). *Surface Science Techniques.* Berlin: Springer.

Carmo, M., & J.C., G. (2002). *Ethanol-Water Separation in the PSA Process*. *Journal Absorption 8, Kluwer Academic Publishers*, 235-248.

Castellan, G. W. (1983). *Physical Chemistry Third Edition.* USA: Addison-Wesley Publishing Company, Inc

Cui, Z., & Muralidhara, H. (2010). *Membran Technology A Practical Guide to Membrane Technology and Applications in Food and Bioprocessing.* Oxford: Elsevier.

Feliciana, D. A., Rahma, Y. R., Bambang, P., & Bambang, I. (2015). *Pemurnian Bioetanol dari Palm Wine dengan Direct Contact Membrane Distillation (DCMD) Menggunakan Membran PTFE.* Malang: Universitas BrawijayaGeankoplis, C. J. (1993). *Transport Processes and Unit Operations Third Edition.* USA: Prentice-Hall International, Inc.

Haus, J. (2006). *Optical Sensors Basics and Applications.* Germany: Wiley-VCH.

Himmelblau, D. M. (1996). *Basic Principles and Calculating in Chemical Engineering 6th Edition.* USA: Prentice-Hall International, Inc.

Holman, J. S., & Phil, S. (2001). *Chemistry Second Edition.* China: Midas Printing International, Ltd.

Huang, H.-J., Ramaswamy, S., U.W.Tschirner, & B.V.Ramarao. (2008). *A Review Of Separation Technologies In Current and Future Biorifineries*. *Journal Separation and Purification Technology 62, Elsevier*, 1-21.

Izquierdo-Gil, M., & G., J. (2003). *Factors Affecting Flux and Separation Performance in Vacuum Membrane Distillation (VMD). Journal of Membrane Science 214, Elsevier*, 113-130.

Khayet, M., & Takeshi, M. (2011). *Membrane Distillation Principles and Applications.* USA: Elsevier.

Lei, Z., Biaohua, C., & Zhongwei, C. (2005). *Special Distillation Processes.* China: Elsevier.

Li, N., Anthony, G. F., W.S, W. H., & T., M. (2008). *Advanced Membrane Technology and Applications.* Canada: John Wiley & Sons, Inc.

Lovineh, S. G., Morteza, A., & Bita, R. (2013). *Numerical Simulation and Theoritical Study on Simultaneous Effects of Operating Parameters in Vacuum Membrane Distillation. Journal Desalination,Elsevier*, 50-66.

Mulder, M. (1996). *Basic Principles of Membrane Technology second edition.* London: Kluwer Academic Publishers.

Nakajima, A., Kazuhito, H., & Toshiya, W. (2001). *Invited Review Recent Studies on Super-Hidrophobic Films. Journal Research Center for Advanced Science and Technology, Springer-Verlag*, 31-41.

NPCS Board, o. C. (2000). *Industrial Alcohol Technology Handbook.* India: Asia Pasific Business Press, Inc.

Paniak, P. P. (2007). *A Comprehensive Guide to The Hazardous Properties of Chemical Substances Third Edition.* Mahanttam: John Wiley & Sons, Inc.

Ramon, G., Yehuda, A., & Carlos, D. (2009). *Heat Transfer in Vacuum Membrane Distillation: Effect of Velocity Slip*. *Journal of Membrane Science 331, Elsevier*, 117-125.

Sandler, S. I. (2006). *Chemical, Biochemical, and Engineering Thermodynamic Fourth Edition.* USA: John Wiley and Sons, Inc.

Sinaga, C., Annisa, D., & Nonot, S. (n.d.). *Optimalisasi Rasio Refluks dan Penggunaan Energi dalam Proses Distilasi Campuran Ethanol-AIR.*

Sitanggang, F. A., Diah, M., & Ellya, I. (2014). *Pengaruh Hidrofilitas Membran Terhadap Peningkatan Kemurnian Etanol Secara Destilasi*. *Kimia Student Journal, Vol.2, No.2*, 485-491.

Smith, J., H.C., V. N., & Abbott, M. (2001). *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics Sixth Edition.* New York: McGraw-Hill Companies.

Sudradjat, F. (2007). *Pengaruh Metode Pencucian terhadap Karakteristik Membran Nata-de-coco.* Bandung: Institut Teknologi Bandung.

Wei, P., Li-Hua, C., Lin, Z., Xin-Hua, X., Huan-lin, C., & Cong-jie, C. (2014). *A Riview of Membrane Technology for Bioethanol Production*. *Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews 30, Elsevier*, 388-400.

Wikol, M., Bryce, H., Joseph, B., Michele, C., Uwe, B., Jeff, B., & Tracy, S. (2008). *Expanded Polytetrafluoroethylene Membranes and Their Applications.* USA: W.L. Gore & Associates, Inc.

Wu, B., Xiaoyao, T., K., L., & W.K., T. (2006). *Removal of 1,1,1-Trichloroethane from Water Using A Polyvinylidene Fluoride Hallow Fiber Membrane Module: Vacuum Membrane Destillation Operation*. *Journal Separation and Purification Technology, Elsevier*, 301-309.

Zhumdahl, S. S., & Donald J, D. (2010). *Introductory Chemistry.* USA: BROOKS/COLE.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

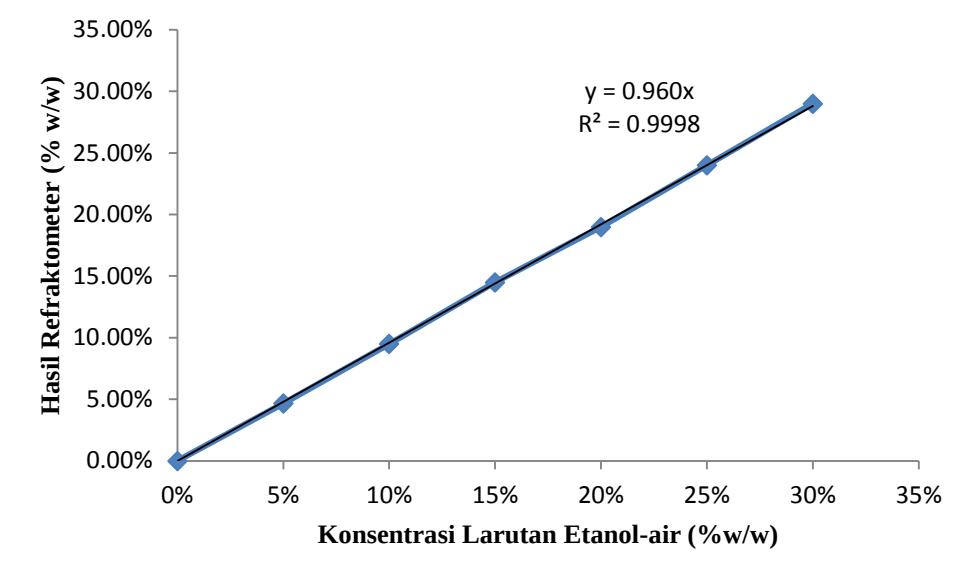
LAMPIRAN 1
KALIBRASI REFRAKTOMETER

Pada penelitian ini, digunakan refraktometer (ATAGO PAL-34S) untuk menguji konsentrasi larutan etanol-air. Refraktometer yang digunakan dalam penelitian ini memiliki ketelitian hingga 1% w/w dan hanya memiliki kemampuan mengukur larutan etanol-air hingga konsentrasi 45% w/w. Proses kalibrasi refraktometer ini untuk mengetahui tingkat pembacaan alat sehingga pada pembacaan uji tidak terjadi penyimpangan yang terlalu jauh.

Tabel 6.1. Data Kalibrasi Refraktometer

Konsentrasi Larutan Etanol-Air (%w/w)	Data Ke-	Hasil Pengukuran Refraktometer (%w/w)	Hasil Refraktometer Rata-rata (%w/w)
0	1	0,0	0,0
	2	0,0	
	3	0,0	
5	1	5,0	4,7
	2	4,5	
	3	4,5	
10	1	9,5	9,5
	2	9,5	
	3	9,5	
15	1	14,5	14,5
	2	14,5	
	3	14,5	
20	1	19,0	19,0
	2	19,0	
	3	19,0	
25	1	24,0	24,0
	2	24,0	
	3	24,0	
30	1	29,0	29,0
	2	29,0	
	3	29,0	

Berdasarkan data tersebut didapatkan grafik kalibrasi refraktometer pada gambar 6.1



Gambar 6.1. Kalibrasi Refraktometer

LAMPIRAN 2
PEMBUATAN LARUTAN ETANOL-AIR UMPAN

Pada penelitian ini, umpan larutan etanol-air diatur pada konsentrasi 8% w/w. Larutan etanol tersebut diperoleh melalui pengenceran etanol PA yang mempunyai konsentrasi sebesar 99%w/w. Konsentrasi etanol pada larutan diuji menggunakan refraktometer (ATAGO PAL-34S) yang telah dikalibrasi. Berdasarkan kalibrasi refraktometer (Lampiran 1) diperoleh persamaan:

$$y = 0{,}960\ x$$

Keterangan : x = konsentrasi larutan etanol-air

y = hasil pembacaan refractometer

Berdasarkan persamaan tersebut dapat ditentukan konsentrasi larutan etanol-air yang harus di buat untuk mendapatkan hasil sesuai pembacaan pada refraktometer (ATAGO PAL-34S). Sehingga untuk mendapatkan hasil pembacaan konsentrasi etanol pada refraktometer (ATAGO PAL-34S) sebesar 8%w/w perlu dibuat larutan etanol-air dengan konsentrasi 8,5%w/w. Hasil pengujian larutan etanol-air umpan adalah sebagai berikut:

Tabel 6.2 Konsentrasi etanol dalam larutan umpan

Pengujian ke-	Larutan Etanol-Air (%w/w)	Hasil Pengujian (%w/w)
1	8,5	8
2	8,5	8
3	8,5	8
Rata-rata		8

1. Perhitungan Pembuatan Larutan Etanol-Air dengan Konsentrasi 8,5%w/w.

Data : Etanol Merck dengan konsentrasi = 99% w/w

ρ etanol 8,5 % w/w = 0,98346 g/cm^3 (Perry, 1997)

ρ etanol 99 % w/w = 0,78814 g/cm^3 (Perry, 1997)

Volume larutan = 1 L = 1000 cm^3 = 1000 ml

- Mencari massa etanol 8,5% w/w dengan volume 1000 ml

$$m\ etanol\ 8{,}5\%\frac{w}{w} = \rho\ \text{etanol}\ 8{,}5\ \%\ \frac{\text{w}}{\text{w}}\ x\ volume$$

$$m\ etanol\ 8{,}5\% \frac{w}{w} = 0{,}98346\ \ x\ 1000$$

$$m\ etanol\ 8{,}5\% \frac{w}{w} = 983{,}460\ \text{gr}$$

- Pengenceran larutan etanol air

  Rumus pengenceran :

$$Molaritas_{etanol\ 1}\ x\ massa_{etanol\ 1}\ =\ Molaritas_{etanol\ 2} x\ massa_{etanol\ 2}$$

$$8{,}5\% \frac{w}{w} x\ 983{,}460\ \text{gr}\ =\ 99\ \% \frac{w}{w} x\ massa_{etanol\ \ 99\%\ w/w}$$

$$massa_{etanol\ \ 99\%\ w/w}\ =\ 79{,}47152\ gr$$

- Mencari volume etanol 99% w/w

$$Volume\ _{etanol\ 99\% w/w} = \frac{\rho\ \text{etanol}\ 99\ \%\ \text{w/w}}{massa_{etanol\ \ 99\%\ w/w}}$$

$$Volume\ _{etanol\ 99\% w/w} = \frac{0{,}78814}{79{,}47152}$$

$$Volume\ _{etanol\ 99\% w/w} = 100{,}8\ ml$$

- Mencari volume air yang ditambahkan

$$Volume\ air = 1000\ ml - Volume\ _{etanol\ 99\% w/w}$$

$$Volume\ air = 1000\ ml - 100{,}8\ ml$$

$$Volume\ air = 899{,}2\ ml$$

Berdasarkan perhitungan tersebut dibutuhkan volume etanol 99% w/w sebesar 100,8 ml dan volume air sebesar 899,2 ml untuk membuat larutan etanol-air dengan konsentrasi etanol 8,5% w/w dalam volume 1000 ml.

LAMPIRAN 3
DATA MASSA PERMEAT LARUTAN ETANOL-AIR

Pada penelitian ini, dilakukan dua kali percobaan pada berbagai variasi suhu umpan. Data massa permeat larutan etanol-air yang didapatkan adalah sebagai berikut :

Data : Massa Erlenmeyer kosong + tutup = 133.6 gram

Tabel 6.3 Data Massa Permeat Larutan Etanol-Air

Konsentrasi Umpan (% w/w)	Waktu (Menit)	Temperatur Umpan (°C)	Massa (gram)				
			Permeat + erlemeyer (gram)		Permeat (gram)		
			I	II	I	II	Rata-rata
8	15	45	134,2	134,3	0,6	0,7	0,7
	30		134,2	134,3	0,6	0,7	0,7
	45		134,2	134,2	0,6	0,6	0,6
	60		134,1	134,2	0,5	0,6	0,5
	75		134,1	134,2	0,5	0,6	0,5
	90		134	133,9	0,4	0,3	0,4
	15	55	135	135,1	1,4	1,5	1,5
	30		135	135,1	1,4	1,5	1,5
	45		135	135	1,4	1,4	1,4
	60		134,9	135	1,3	1,4	1,4
	75		134,9	134,9	1,3	1,3	1,3
	90		134,7	134,7	1,1	1,1	1,1
	15	65	135,7	135,8	2,1	2,2	2,2
	30		135,7	135,8	2,1	2,2	2,2
	45		135,7	135,7	2,1	2,1	2,1
	60		135,6	135,6	2	2	2,0
	75		135,6	135,5	2	1,9	2,0
	90		135,5	135,5	1,9	1,9	1,9
	15	75	136,5	136,6	2,9	3	3,0
	30		136,5	136,5	2,9	2,9	2,9
	45		136,5	136,4	2,9	2,8	2,9
	60		136,4	136,4	2,8	2,8	2,8
	75		136,3	136,3	2,7	2,7	2,7
	90		136	136	2,4	2,4	2,4

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LAMPIRAN 4
DATA KONSENTRASI PERMEAT LARUTAN ETANOL-AIR (%w/w)

Pada penelitian ini, dilakukan dua kali percobaan pada berbagai variasi suhu umpan. Data konsentrasi permeat larutan etanol-air (%w/w) yang didapatkan adalah sebagai berikut:

Tabel 6.4. Data Konsentrasi Permeat (%w/w)

Konsentrasi Umpan (% w/w)	Waktu (Menit)	Temperatur Umpan (°C)	Konsentrasi permeat (%w/w)		
			I	II	Rata-rata
8	15	45	-	-	-
	30		5,0	5.5	5,3
	45		5,0	5.5	5,3
	60		5,0	5,0	5,0
	75		5,0	5,0	5,0
	90		5,0	5,0	5,0
	15	55	10,5	10,5	10,5
	30		11,0	10,5	10,8
	45		11,0	11,0	11,0
	60		11,0	11,0	11,0
	75		11,5	11,5	11,5
	90		11,0	11,0	11,0
	15	65	11,5	11,0	11,3
	30		11,5	11,0	11,3
	45		11,5	11,5	11,5
	60		12,5	12,5	12,5
	75		12,0	12,0	12,0
	90		13,0	13,0	13,0
	15	75	12,0	12,5	12,3
	30		12,5	11,5	12,0
	45		12,0	12,5	12,3
	60		13,5	13,0	13,3
	75		13,0	12,0	12,5
	90		13,0	13,5	13,3

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LAMPIRAN 5
PERHITUNGAN FLUKS

Pada penelitian ini, perhitungan fluks digunakan untuk mengetahui kemampuan larutan umpan dalam melewati membran yang diamati selama 90 menit dengan pengukuran massa permeat setiap 15 menit pada berbagai variasi suhu umpan. Data massa rata-rata permeat dapat dilihat pada lampiran 3.

1. Perhitungan Fluks

Data : Luas permukaan membran (A) = 10 cm^2

Waktu (t) = 15 menit

Rumus fluks :

$$Fluks\ (\frac{gram}{cm^2.menit}) = \frac{massa\ rata{-}rata\ permeat\ (gram)}{luas\ permukaan\ membran\ (cm^2)\ x\ waktu\ (menit)}$$

Contoh perhitungan :

Data : Massa permeat rata-rata pada menit ke-15 pada suhu umpan 45°C = 0,7 gram

$$Fluks = \frac{0{,}7\ gram}{10\ cm^2\ x\ 15\ menit}$$

$$Fluks = 0{,}4333\ \frac{gram}{cm^2.menit}$$

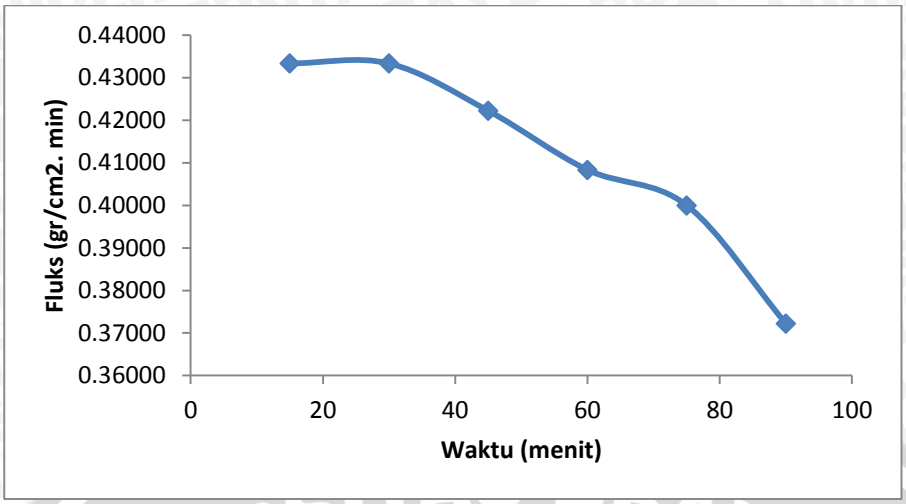
Hasil perhitungan fluks pada berbagai suhu umpan adalah sebagai berikut:

Tabel 6.5.1. Fluks pada berbagai suhu umpan

Waktu (menit)	Fluks (gr/cm².min)			
	45 °C	55 °C	65 °C	75 °C
15	0,4333	0,9667	1,4333	1,9667
30	0,4333	0,9667	1,4333	1,9500
45	0,4222	0,9556	1,4222	1,9333
60	0,4083	0,9417	1,4000	1,9167
75	0,4000	0,9267	1,3800	1,8933
90	0,3722	0,8944	1,3611	1,8444

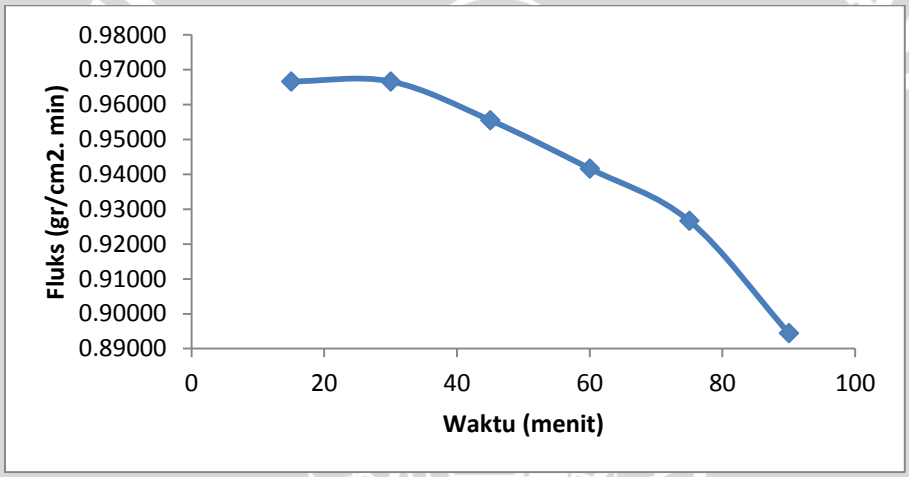
Berdasarkan data pada tabel 6.5.1 didapatkan grafik fluks terhadap waktu pada berbagai variasi suhu umpan.

- Fluks terhadap waktu pada suhu umpan 45 °C



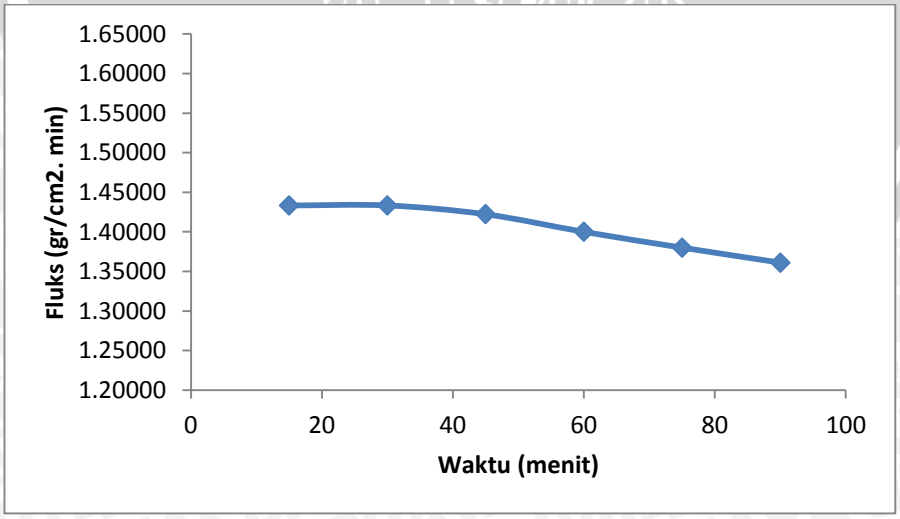
Gambar 6.5.1 Fluks terhadap waktu pada suhu umpan 45 °C

- Fluks terhadap waktu pada suhu umpan 55 °C



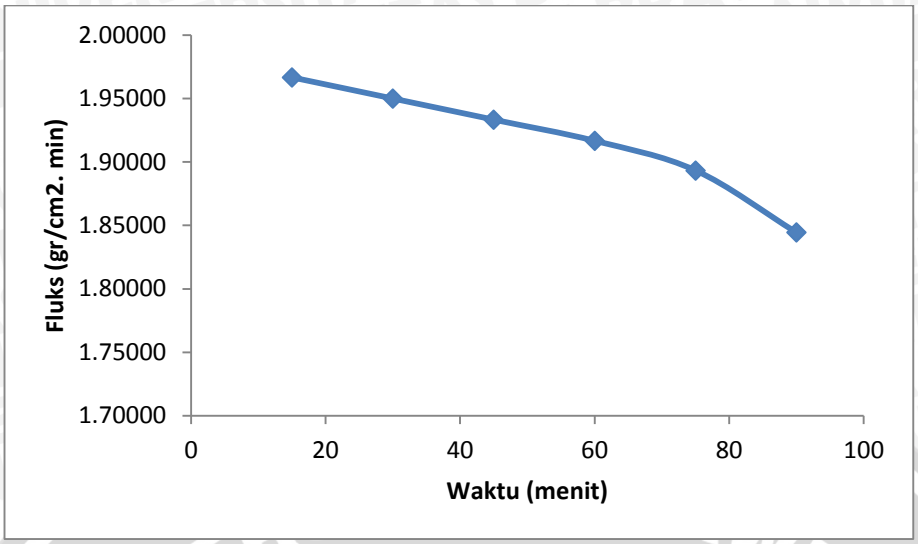
Gambar 6.5.2. Fluks terhadap waktu pada suhu umpan 55 °C

- Fluks terhadap waktu pada suhu umpan 65 °C



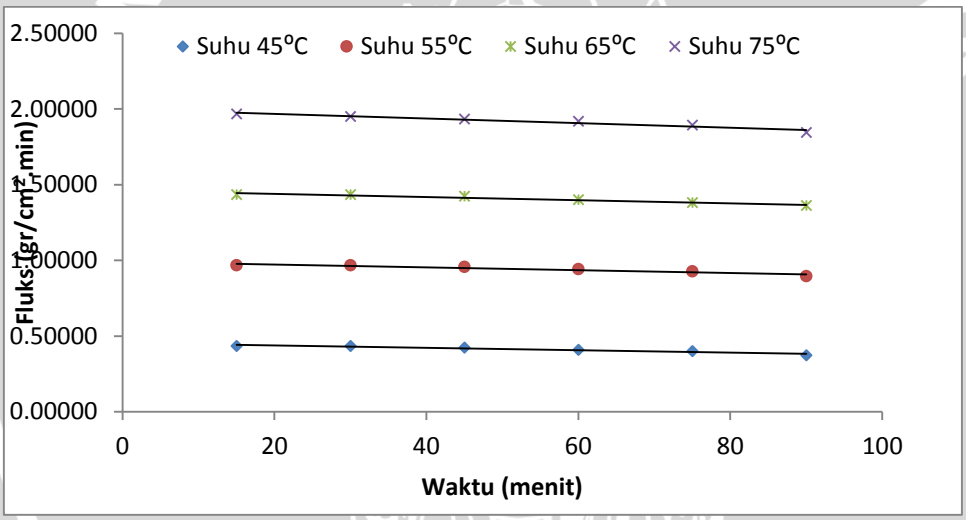
Gambar 6.5.3. Fluks terhadap waktu pada suhu umpan 65 °C

- Fluks terhadap waktu pada suhu umpan 75 °C



Gambar 6.5.4. Fluks terhadap waktu pada suhu umpan 75 °C

- Fluks terhadap waktu pada berbagai variasi suhu umpan



Gambar 6.5.5. Fluks terhadap waktu pada berbagai variasi suhu umpan

2. Perhitungan fluks rata-rata

Rumus perhitungan rata-rata :

$$rata - rata = \frac{jumlah\ seluruh\ data}{banyak\ data}$$

Contoh perhitungan :

Data: fluks pada menit ke-15 hingga ke-90 pada suhu umpan 45°C

$$fluks_{rata-rata} = \frac{0{,}4333 + 0{,}4333 + 0{,}4222 + 0.4083 + 0{,}4000 + 0{,}3722}{6}$$

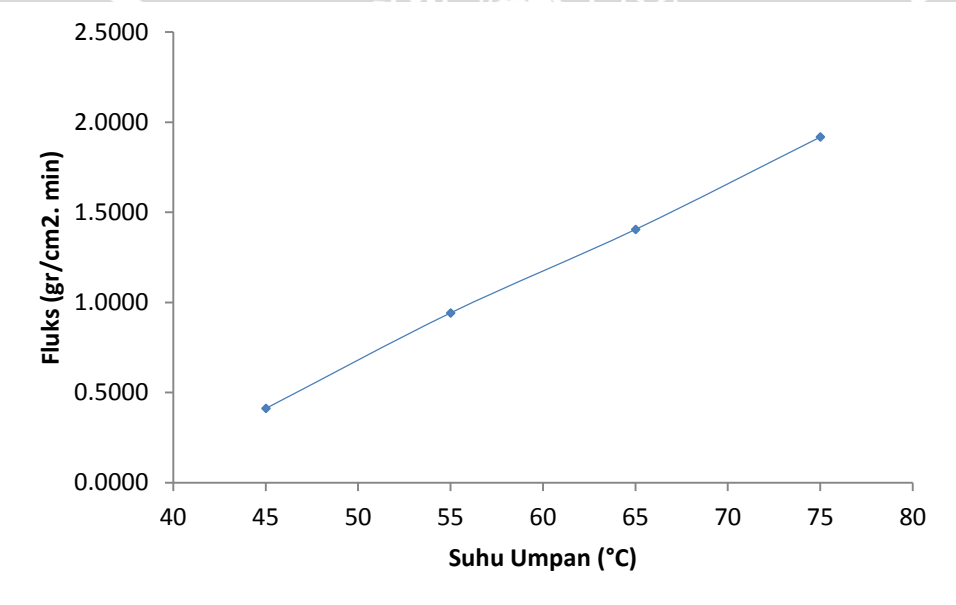
$$fluks_{rata-rata} = 0{,}4116\ \frac{gram}{cm^2.menit}$$

Hasil perhitungan fluks rata-rata pada berbagai suhu umpan adalah sebagai berikut:

Tabel 6.5.2. Fluks rata-rata pada berbagai suhu umpan

Suhu (°C)	Fluks rata-rata ($gr/cm^2.min$)
45	0,4116
55	0,9419
65	1,4050
75	1,9174

Berdasarkan data pada tabel 6.5.2 didapatkan grafik fluks terhadap berbagai variasi suhu umpan.



Gambar 6.5.6. Fluks terhadap suhu umpan

\

LAMPIRAN 6
PERHITUNGAN SELEKTIVITAS

Pada penelitian ini, perhitungan selektivitas digunakan untuk mengetahui kemampuan membran dalam memisahkan/merejeksi suatu komponen dari campurannya. Data konsentrasi rata-rata permeat (%w/w) yang dilakukan selama dua kali percobaan dapat dilihat pada lampiran 4. Hasil perhitungan konsentrasi etanol permeat (%w/w) rata-rata pada menit ke-15 hingga ke-90 pada berbagai suhu umpan akan digunakan untuk menghitung selektivitas pada berbagai suhu umpan.

1. Perhitungan konsentrasi etanol permeat (%w/w) rata-rata

Rumus perhitungan rata-rata :

$$rata - rata = \frac{jumlah\ seluruh\ data}{banyak\ data}$$

Contoh perhitungan :

Data: konsentrasi permeat (%w/w) pada menit ke-15 hingga ke-90 pada suhu umpan 55ºC

$$Konsentrasi_{rata-rata} = \frac{10{,}5 + 10{,}8 + 11{,}0 + 11{,}0 + 11{,}5 + 11{,}0}{6}$$

$$Konsentrasi_{rata-rata} = 11{,}0\ \%w/w$$

Hasil perhitungan konsentrasi permeat rata-rata pada berbagai suhu umpan adalah sebagai berikut:

Tabel 6.6.1. Konsentrasi permeat rata-rata pada berbagai suhu umpan

Suhu (ºC)	Konsentrasi Umpan (%w/w)		Konsentrasi Permeat (%w/w)	
	Etanol	Air	Etanol	Air
45	8	92	5,1	94,9
55	8	92	11	89
65	8	92	11,9	88,1
75	8	92	12,6	87,4

2. Perhitungan selektivitas

Rumus perhitungan selektivitas (Mulder, 1996) :

$$\propto = \left(\frac{y_A/y_B}{x_A/x_B}\right) \quad \text{(pers 1)}$$

$$\propto = \frac{y_A/(1-y_A)}{x_A/(1-x_A)} \quad \text{(pers 2)}$$

Konsentrasi etanol dalam umpan sebesar 8%w/w dimasukkan ke dalam pers 2, didapatkan persamaan berikut :

$$\propto = \frac{y_A/(1-y_A)}{0{,}08/(1-0{,}08)} \quad \text{(pers 3)}$$

$$\propto = \frac{y_A}{(1-y_A)}\ x\ \frac{(1-0{,}08)}{0{,}08} \quad \text{(pers 4)}$$

$$\propto = \frac{11{,}5\ y_A}{(1-y_A)} \quad \text{(pers 5)}$$

Keterangan : α = Selektivitas

y_A = Konsentrasi komponen A (etanol) di permeat

y_B = Konsentrasi komponen B (air) di permeat

x_A = Konsentrasi komponen A (etanol) di umpan awal

x_B = Konsentrasi komponen B (air) di umpan awal

Contoh perhitungan:

Data : konsentrasi umpan dan konsentrasi permeat pada suhu umpan 55°C

$$\propto = \frac{11{,}5\ y_A}{(1-y_A)}$$

$$\propto = \frac{11{,}5\ x\ 0{,}11}{(1-0{,}11)}$$

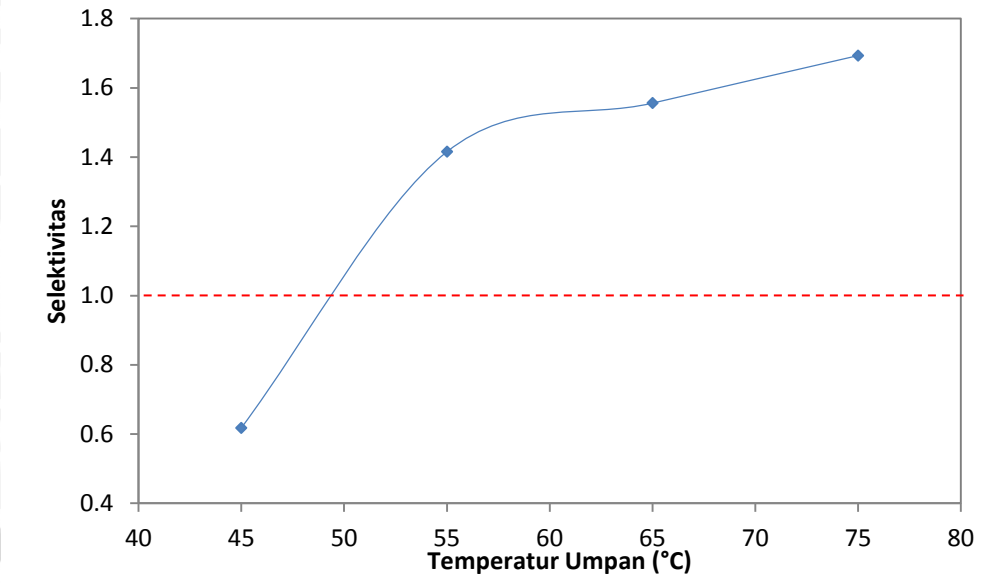
$$\propto = 1{,}4$$

Hasil perhitungan selektivitas pada berbagai variasi suhu umpan adalah sebagai berikut:

Tabel 6.6.2. Selektivitas terhadap berbagai suhu umpan

Suhu (°C)	Selektivitas (∝)
45	0,6
55	1,4
65	1,6
75	1,7

Berdasarkan data pada tabel 6.6.2 didapatkan grafik selektivitas terhadap berbagai variasi suhu umpan.



Gambar 6.6.1. Selektivitas terhadap suhu umpan

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LAMPIRAN 7
PERHITUNGAN TEKANAN UAP KOMPONEN MURNI

Rumus perhitungan tekanan uap murni komponen (Himmelblau, 1996) :

$$\ln P\ (Kpa) = A - \frac{B}{C + T}$$

Keterangan : P = Tekanan uap (Kpa)

T = Temperatur (K)

A,B,C = Konstanta

Data Antoine etanol dan air (Smith, et al, 2001) :

Tabel 6.7.1. Konstanta Persamaan Antoine

	A	B	C	T min K	T max K
Air	16,262	3799,89	-46,8	284	441
Etanol	16,6758	3674,49	-46,7	270	369

Contoh perhitungan:

Tekanan uap air pada suhu umpan 45 °C

$$\ln P = 16{,}262 - \frac{3799{,}89}{-46{,}8 + 318}$$

$$\mathrm{P} = 9{,}4935\ \mathrm{kPa}$$

Hasil perhitungan tekanan uap murni pada berbagai variasi suhu umpan adalah sebagai berikut:

Tabel 6.7.2. Tekanan uap murni pada berbagai variasi suhu umpan

Suhu		**Tekanan Uap Murni (kPa)**	
ºC	**K**	**Air**	**Etanol**
45	318	9,4935	22,9150
55	328	15,6251	37,0871
65	338	24,8517	58,0724
75	348	38,3273	88,2653

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LAMPIRAN 8
PERHITUNGAN TEKANAN UAP CAMPURAN ETANOL-AIR PADA BERBAGAI TEMPERATUR UMPAN

1. Perhitungan Fraksi Mol pada Cairan (Umpan)

Basis : 100 gr

- Mol etanol umpan = Massa Etanol / Berat Molekul Etanol
  = 8 gr/46
  = 0,173913
- Mol air umpan = Massa Air / Berat Molekul Air
  = 92 gr/18
  = 5,111111
- Fraksi mol etanol umpan = Mol etanol/ Mol total
  = 0,173913 / (0,173913+5,111111)
  = 0,0329
- Fraksi mol air umpan = Mol air/ Mol total
  = 5,111111/ (0,173913+5,111111)
  = 0,9671

2. Perhitungan Tekanan Uap

Menurut Hukum Raoult (Castellan, 1983):

$$P = P_i + P_j$$

$$P = P_i^{\circ} x_i + P_j^{\circ} x_j$$

Keterangan : P = Tekanan Uap Campuran (Kpa)

P_i°, P_j° = Tekanan Uap Murni (Kpa)

P_i, P_j = Tekanan Uap Parsial (Kpa)

x_i, x_j = Fraksi mol

- Perhitungan Tekanan Parsial Etanol

  Contoh perhitungan :

  Tekanan uap parsial etanol pada suhu umpan 45 °C

  Data : Tekanan uap murni komponen pada berbagai variasi suhu umpan dapat dilihat pada lampiran 7

$$Petanol\ (P_i) = P_i^{\circ} x_i$$

$$Petanol = 22{,}9150\ x\ 0{,}0329$$

$$Petanol = 0{,}75\ Kpa$$

Hasil perhitungan tekanan uap parsial etanol pada berbagai variasi suhu umpan adalah sebagai berikut:

Tabel 6.8.1. Tekanan uap parsial etanol

Suhu (°C)	T (K)	Tekanan Uap Murni etanol (Kpa)	Fraksi Mol Etanol	Tekanan Uap Parsial Etanol (Kpa)
45	318	22,9150	0,0329	0,75
55	328	37,0871	0,0329	1,22
65	338	58,0724	0,0329	1,91
75	348	88,2653	0,0329	2,90

- Perhitungan Tekanan Parsial Air

  Contoh perhitungan :

  Tekanan uap parsial air pada suhu umpan 45 °C

  Data : Tekanan uap murni komponen pada berbagai variasi suhu umpan dapat dilihat pada lampiran 7

$$Pair\ (P_j) = P_j^{\circ} x_j$$

$$Pair = 9{,}4935\ x\ 0{,}9671$$

$$Pair = 9{,}18\ Kpa$$

Hasil perhitungan tekanan uap parsial air pada berbagai variasi suhu umpan adalah sebagai berikut:

Tabel 6.8.2. Tekanan uap parsial air

Suhu (°C)	T (K)	Tekanan Uap Murni (Kpa)	Fraksi Mol Air	Tekanan Uap Parsial Air (Kpa)
45	318	9,4935	0,9671	9,18
55	328	15,6251	0,9671	15,11
65	338	24,8517	0,9671	24,03
75	348	38,3273	0,9671	37,07

- Perhitungan Tekanan Uap Campuran

  Contoh perhitungan :

  Tekanan uap campuran pada suhu umpan 45 °C

$$P = P_i + P_j$$

$$P = P_i^{\circ} x_i + P_j^{\circ} x_j$$

$$P = 0{,}75 + 9{,}18$$

$$P = 9{,}94\ Kpa$$

Hasil perhitungan tekanan campuran pada berbagai variasi suhu umpan adalah sebagai berikut:

Tabel 6.8.3. Tekanan Uap Campuran

Suhu (°C)	T (K)	Tekanan Uap Parsial Etanol (Kpa)	Tekanan Uap Parsial Air (Kpa)	Tekanan Uap Campuran (Kpa)
45	318	0,75	9,18	9,94
55	328	1,22	15,11	16,33
65	338	1,91	24,03	25,94
75	348	2,90	37,07	39,97

3. Perhitungan Fraksi Mol dalam Uap

Fraksi mol dalam uap didapatkan dari rumus berikut (Castellan, 1983) :

$$y_i = \frac{P_i}{P}$$

$$y_i = \frac{P_i^{\circ} x_i}{P}$$

$$y_i + y_j = 1$$

Keterangan : P = Tekanan Uap Campuran (Kpa)

P_i° = Tekanan Uap Murni Etanol (Kpa)

P_i = Tekanan Uap Parsial Etanol (Kpa)

x_i = Fraksi mol etanol dalam cairan

y_i = Fraksi mol etanol dalam uap

y_j = Fraksi mol air dalam uap

Contoh perhitungan :

Fraksi mol etanol dalam uap pada suhu umpan 45 °C

Data : Tekanan uap parsial etanol pada suhu umpan 45 °C dapat dilihat pada tabel 6.8.1.

$$y_i = \frac{P_i}{P}$$

$$y_i = \frac{0{,}75}{9{,}94}$$

$$y_i = 0{,}0759$$

Contoh perhitungan :

Fraksi mol air dalam uap pada suhu umpan 45 °C

$$y_i + y_j = 1$$

$$y_j = 1 - 0{,}0759$$

$$y_j = 0{,}9241$$

Hasil perhitungan fraksi mol etanol dan air dalam uap pada berbagai variasi suhu umpan adalah sebagai berikut:

Tabel 6.8.4. Fraksi Mol Uap Etanol

Suhu (°C)	Tekanan Uap Parsial Etanol (Kpa)	Tekanan Uap Campuran (Kpa)	Fraksi Mol Etanol dalam Uap	Fraksi Mol Air dalam Uap
45	0,75	9,94	0,0759	0,9241
55	1,22	16,33	0,0747	0,9253
65	1,91	25,94	0,0737	0,9263
75	2,90	39,97	0,0727	0,9273

4. Perhitungan Fraksi Massa Etanol dan Air dalam Uap

Rumus mencari massa:

$$massa\ uap = fraksi\ mol\ x\ berat\ molekul$$

Rumus mencari fraksi massa:

$$fraksi\ massa = \frac{massa\ komponen}{massa\ total}$$

Contoh perhitungan :

Massa etanol dan air dalam uap pada suhu umpan 45 °C

Data : Fraksi mol etanol dan air dalam uap pada suhu umpan 45 °C dapat dilihat pada tabel 6.8.4.

$$massa\ uap\ etanol = fraksi\ mol\ etanol\ x\ berat\ molekul\ etanol$$

$$massa\ uap\ etanol = 0{,}0759\ x\ 46$$

$$massa\ uap\ etanol = 3{,}491\ gr$$

$$massa\ uap\ air = fraksi\ mol\ air\ x\ berat\ molekul\ air$$

$$massa\ uap\ air = 0{,}9241\ x\ 18$$

$$massa\ uap\ air = 16{,}634\ gr$$

Contoh perhitungan :

Fraksi massa etanol dalam uap pada suhu umpan 45 °C

$$fraksi\ massa\ etanol = \frac{massa\ komponen\ etanol}{massa\ total}$$

$$fraksi\ massa\ etanol = \frac{3{,}491\ gr}{3{,}491\ gr + 16{,}634\ gr}$$

$$fraksi\ massa\ etanol = 0{,}1735$$

$$fraksi\ massa\ air = 1 - 0{,}1735$$

$$fraksi\ massa\ air = 0{,}8265$$

Hasil perhitungan fraksi massa etanol dan air dalam uap pada berbagai variasi suhu umpan adalah sebagai berikut:

Tabel 6.8.5 Fraksi Massa Etanol dan Air dalam Uap

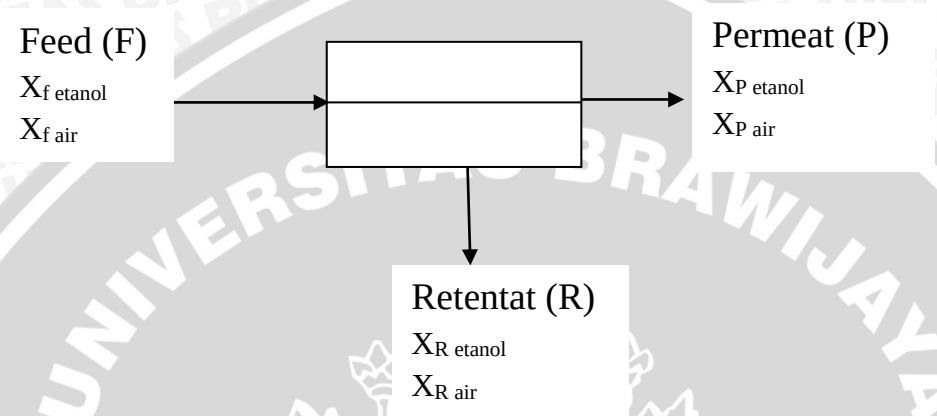
Suhu (°C)	Uap Etanol		Uap Air		Fraksi Massa Etanol	Fraksi Masaa Air
	Mol	Massa (gr)	Mol	Massa (gr)		
45	0,0759	3,491	0,9241	16,634	0,1735	0,8265
55	0,0747	3,438	0,9253	16,655	0,1711	0,8289
65	0,0737	3,388	0,9263	16,674	0,1689	0,8311
75	0,0727	3,343	0,9273	16,692	0,1668	0,8332

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LAMPIRAN 9
PERHITUNGAN KONSENTRASI RETENTAT

Pada proses *vacuum membrane distillation* (VMD) larutan etanol-air menggunakan membran hidrofobik PTFE, akan terpisahkan antara etanol dan air. Pada sisi permeat diharapkan lebih banyak mengandung etanol sedangkan pada sisi retentat lebih banyak mengandung air. Gambar 6.9.1 menunjukkan proses membran.



Gambar 6.9.1 Proses membran

Keterangan :	Feed	= Massa umpan (gram)
	Permeat	= Massa permeat (gram)
	Retentat	= Massa retentat (gram)
	$X_{f\ etanol}$	= Fraksi massa etanol di umpan
	$X_{f\ air}$	= Fraksi massa air di umpan
	$X_{P\ etanol}$	= Fraksi massa etanol di permeat
	$X_{P\ air}$	= Fraksi massa air di permeat
	$X_{R\ etanol}$	= Fraksi massa etanol di retentat
	$X_{R\ air}$	= Fraksi massa air di retentat

Komposisi etanol dan air pada retentat dapat dihitung menggunakan persamaan neraca massa keseluruhan/total pada persamaan berikut :

$$Akumulasi = Input - Output + Generasi - Konsumsi$$

Berdasarkan persamaan neraca massa total, pada proses *vacuum membrane distillation* (VMD) pada penelitian ini diasumsikan tidak terjadi akumulasi, generasi, dan konsumsi sehingga dari persamaan diatas menjadi:

$$Input = Output$$

$$Feed\ (F) = Permeat(P) + Retentat\ (R)$$

Untuk mengetahui konsentrasi etanol di retentat dapat dihitung menggunakan persamaan neraca massa komponen etanol sebagai berikut:

$$F.x_{f\ (etanol)} = \mathrm{P.x_{P\ etanol}} + R.x_{R\ etanol}$$

Contoh perhitungan :

Neraca massa pada suhu umpan 55 °C

Data :	Tekanan vakum	= 95 -97 Kpa
	Waktu	= 1,5 jam
	Kecepatan aliran	= 6,6 ml/menit
	Jenis aliran	= Cross Flow
	Luas area membran	= 10 cm^2 = 0,001 m^2
	Konsentrasi umpan	= 8% w/w etanol
	Konsentrasi permeat	= 11% w/w etanol
	ρ etanol 8% w/w	= 0,924 g/cm^3
	Volume feed	= 594 ml
	Massa Permeat	= 8,1 gram

1. Mencari massa umpan

$$m\ etanol\ 8{,}5\% \frac{w}{w} = \rho\ \text{etanol}\ 8{,}5\ \% \frac{\mathrm{w}}{\mathrm{w}}\ x\ volume$$

$$m\ etanol\ 8{,}5\% \frac{w}{w} = 0{,}924\ \ x\ 594$$

$$m\ etanol\ 8{,}5\% \frac{w}{w} = 548{,}856\ \text{gr}$$

2. Perhitungan neraca massa pada suhu umpan 55 °C

- Neraca massa keseluruhan (*overall*)

$$Feed\ (F) = \text{Permeat (P)} + Retentat\ (R)$$

$$548{,}856\ \text{gr} = 8{,}1\ \text{gr} + Retentat\ (R)$$

$$Retentat\ (R) = 540{,}806\ \text{gr}$$

- Neraca massa komponen (etanol)

$$F.x_{f\ (etanol)} = \mathrm{P.x_{P\ etanol}} + R.x_{R\ etanol}$$

$$548{,}856\ \text{gr}\ .\ 0{,}08 = 8{,}1\ \text{gr}\ .\ 0{,}11 + 540{,}806\ \text{gr}\ .\ x_{R\ etanol}$$

$$x_{R\ etanol} = 0{,}08$$

Hasil perhitungan neraca massa pada berbagai variasi suhu umpan adalah sebagai berikut:

Tabel 6.9. Neraca massa pada berbagai suhu umpan

Suhu Umpan (°C)	Massa Umpan (gr)	Massa Permeat (gr)	Massa Retentat (gr)	Etanol Umpan (%w/w)	Etanol Permeat (%w/w)	Etanol Retentat (%w/w)
45	548,856	3,4	545,506	8	5,1	8,0
55	548,856	8,1	540,806	8	11,0	8,0
65	548,856	12,25	536,606	8	11,9	7,9
75	548,856	16,6	532,256	8	12,6	7,9

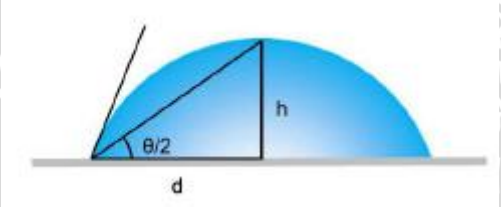
repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LAMPIRAN 10
PERHITUNGAN HIDROFOBISITAS MEMBRAN

Pada penelitian ini, untuk menentukan hidrofobisitas membran PTFE dapat ditentukan dari bersarnya sudut kontak air (*water contact angle, WCA*). Sudut kontak (*contact angle*) dengan cara mengukur sudut antara permukaan material dengan cairan yang mempunyai perbedaan polaritas. Jika sudut kontak air pada permukaan membran lebih dari 90°, maka permukaan membran tersebut disebut permukaan hidrofobik. Jika sudut kontak air melebihi 150°, maka material membran tersebut bersifat superhidrofobik. Pengukuran sudut kontak (*contact angle*) pada penelitian ini menggunakan metode analisis *drop shape*. Dalam analisis ini, tetesan air diasumsikan dalam bentuk bola (*sphere*), sudut kontak (*contact angle*) dihitung berdasarkan diameter dan tinggi dari tetesan air (Bracco & Bodil, 2013). Diameter dan tinggi dari tetesan air diukur menggunakan aplikasi *corel*. Pengukuran sudut kontak dilakukan secara tiga kali dan nilai rata-rata dari ketiga pengukuran tersebut menunjukkan hidrofobisitas membran (Rasha, dkk, 2012).



Gambar 6.10.1 Ilustrasi Perhitungan Sudut Kontak

Sumber : Bracco & Bodil (2013)

Rumus perhitungan sudut kontak (*contact angle*) (Bracco & Bodil, 2013) :

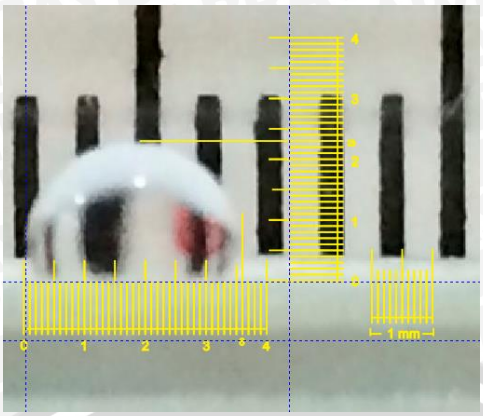
$$\frac{\theta}{2} = tan^{-1}\left(\frac{h}{d}\right)$$

Keterangan : h = Tinggi tetesan air

d = Diameter tetesan air

Pengukuran sudut kontak dilakukan secara tiga kali dan nilai rata-rata dari ketiga pengukuran tersebut menunjukkan hidrofobisitas membran. Pengukuran sudut kontak air dilakukan minimal 30 detik setelah air diteteskan pada membran PTFE (Rasha, dkk, 2012).

Contoh Perhitungan Sudut Kontak Air:



Gambar 6.10.2 Tetesan air pada permukaan membran PTFE

Berdasarkan Gambar 6.10.2 didapatkan tinggi dan diameter dari tetesan air pada pengukuran ke-1.

Contoh perhitungan :

Data: h = 2,3 mm

d = 3,6 mm

$$\frac{\theta}{2} = tan^{-1}\left(\frac{h}{d}\right)$$

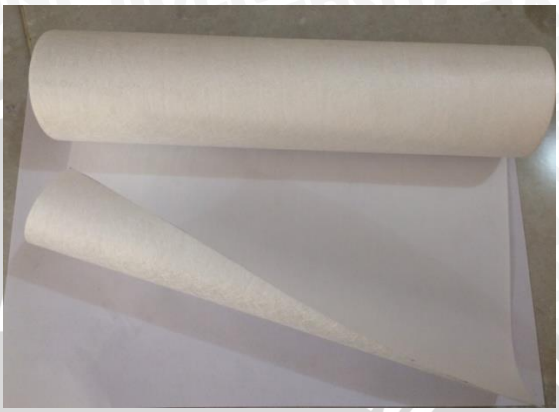
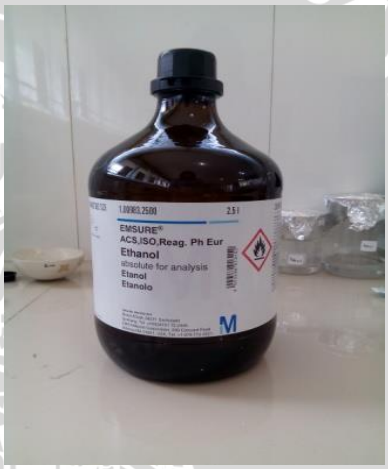
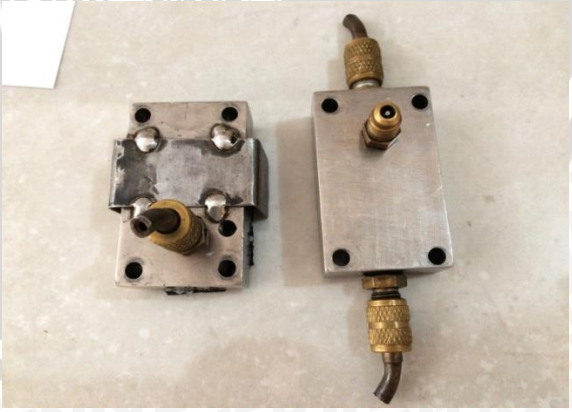
$$\frac{\theta}{2} = \left(tan^{-1}\left(\frac{2,3}{3,6}\right)\right)$$

$$\theta = 103,91\ °$$

Tabel 6.10 Data Perhitungan Sudut Kontak

DATA KE-	d (mm)	h (mm)	θ (°)	$\theta\ Rata - Rata$
1	3,6	2,3	103,91	
2	3,6	2,2	101,42	103,36
3	3.7	2,4	104,75	

LAMPIRAN 11
DOKUMENTASI PENELITIAN

No.	Nama	Gambar
1.	Membran PTFE (Tipe membran)	
2.	Etanol PA (E-Merck)	
3.	Modul Membran	 a. Bagian luar modul membran

b. Bagian dalam modul membran

4. Permeat

5. Rangkaian Alat

a. Variabel suhu umpan 45 °C

b. Variabel suhu umpan 55 °C

c. Variabel suhu umpan 65 °C

a. Variabel suhu umpan 75 °C

6. Refraktometer

RIWAYAT HIDUP

Sofia Wahyu Ersa Nugrahani, lahir di kota Malang pada tanggal 30 November 1994, anak dari Bapak Drs. H. Moh. Saleh dan Ibu Alm Hj Erna Herdwi Lestuti., S.Pd. Sekolah di MI Negeri Malang I Utara tahun 2000-2006, MTs Negeri Malang I tahun 2006-2009, SMAN 3 Malang tahun 2009-2012. Lulus program sarjana teknik Fakultas Teknik Universitas Brawijaya tahun 2016. Pengalaman kerja sebagai asisten Kimia Organik di Laboratorium Sains Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Tahun 2014, Asisten Kimia Fisika di Laboratorium Operasi Teknik Kima Tahun 2015, dan Asisten Kimia Fisika di Laboratorium Operasi Teknik Kima Tahun 2016 Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Pada tahun 2015 telah melaksanakan Praktek Kerja Lapang di PT. Styrindo Mono Indonesia (SMI).

Malang, 10 Agustus 2016

Sofia Wahyu Ersa Nugrahani

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

RIWAYAT HIDUP

Rizqi Tri Rachmawati, lahir di kota Surabaya pada tanggal 19 Mei 1994, anak dari Bapak Andoko dan Ibu Widiati, Sekolah di SDN Ngagel Rejo I Surabaya tahun 2000-2006, SMPN 32 Surabaya tahun 2006-2009, SMAN 16 Surabaya tahun 2009-2012. Lulus program sarjana teknik Fakultas Teknik Universitas Brawijaya tahun 2016. Pengalaman kerja sebagai asisten Kimia Organik di Laboratorium Sains Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Tahun 2014, asisten Mikrobiologi Industri di Laboratorium Bioproses Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Tahun 2014, dan asisten Kimia Fisika di Laboratorium Operasi Teknik Kima Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Tahun 2016. Pada tahun 2015 telah melaksanakan Praktek Kerja Lapang di PT. Styrindo Mono Indonesia (SMI).

Malang, 10 Agustus 2016

Rizqi Tri Rachmawati

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA