



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI KINERJA PEMISAHAN ETANOL-AIR
MENGUNAKAN PROSES PERVAPORASI DENGAN
MEMBRAN TFC (*THIN FILM COMPOSITE*) KOMERSIAL**

SKRIPSI

CHRISTINE NOVALINA H

0906604123

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
DEPOK
JUNI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI KINERJA PEMISAHAN ETANOL-AIR
MENGUNAKAN PROSES PERVAPORASI DENGAN
MEMBRAN TFC (*THIN FILM COMPOSITE*) KOMERSIAL**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

CHRISTINE NOVALINA H

0906604123

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
DEPOK
JUNI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Christine Novalina H

NPM : 090664123

Tanda Tangan :



Tanggal : 28 Juni 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Christine Novalina H
NPM : 0906604123
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Studi Kinerja Pemisahan Etanol-Air Menggunakan
Proses Pervaporasi Dengan Membran TFC (*Thin Film Composite*) Komersial.

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof.Dr.Ir. Setijo Bismo, DEA ()
Penguji : Dr. Ir. Nelson Saksono, MT ()
Penguji : Dr. Ing. Donni Adinata, S.T., M.Eng.Sc ()
Penguji : Dr. Ing. Ir. Misri Gozan, M.Tech ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 28 Juni 2012

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul *Studi Kinerja Pemisahan Etanol-Air Menggunakan Proses Pevaporasi Dengan Membran TFC (Thin Film Composite) Komersial*. Sebagai syarat kelulusan yang harus dilaksanakan oleh mahasiswa Program S1 Program Studi Teknik Kimia Universitas Indonesia.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak sangat sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Setijo Bismo, DEA selaku pembimbing skripsi yang telah meluangkan waktu dan memberikan bimbingan serta arahan selama proses perancangan alat dan penyusunan makalah skripsi ini.
2. Ir. Yuliusman M. Eng selaku koordinator skripsi Jurusan Teknik Kimia FTUI.
3. Prof. Ir. Sutrasno Kartohardjono M.Sc., Ph.D yang telah memberikan bimbingan dan masukan selama penyusunan skripsi ini.
4. Papa, Mama, Abang dan kedua adik, yang telah memberikan doa dan dukungan baik moril dan materil.
5. Seorang sahabat yang selalu mendukung selesainya skripsi ini.
6. Mbak Ika dan Wiwie selaku rekan penelitian yang banyak memberikan informasi dan bantuan, kaka Alin selaku teman seperjuangan di Lab CPI .
7. Teman-teman Ekstensi Teknik Kimia 2009, dan semua pihak yang telah membantu penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari terdapat ketidaksempurnaan dalam makalah ini. Oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik dari berbagai pihak. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi dunia ilmu pengetahuan dan pengembangan teknologi. Akhir kata penulis ucapkan Terima Kasih

Depok, Juni 2012

Christine Novalina H

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Christine Novalina H
NPM : 0906604123
Program Studi : Teknik Kimia
Departemen : Teknik Kimia
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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

**Studi Kinerja Pemisahan Etanol-Air Menggunakan Proses Pervaporasi
Dengan Membran TFC (*Thin Film Composite*) Komersial**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 28 Juni 2012



(Christine Novalina H)

ABSTRAK

Nama : Christine Novalina H
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Penelitian : Studi Kinerja Pemisahan Etanol-Air Menggunakan Proses Pervaporasi Dengan Membran TFC (*Thin Film Composite*) Komersial

Etanol dapat dipisahkan dengan proses pervaporasi menggunakan membran-PV (pervaporasi). Material membran TFC (*thin film composite*) yang digunakan sebagai metode pemisahan campuran etanol-air dengan proses pervaporasi yang lebih khusus dengan mempertimbangkan nilai keekonomisannya. Penelitian dibagi menjadi dua tahap penelitian, yaitu penelitian pendahuluan dan penelitian utama. Penelitian pendahuluan dilakukan dengan memvariasikan kondisi operasi pada 35, 39 dan 44°C dan tekanan pada sisi permeat sebesar 660, 510, dan 260 mmHg. Metode pervaporasi diaplikasikan pada campuran etanol-air dengan menggunakan kondisi optimum pada suhu 39°C dan tekanan 510 mmHg. Sedangkan untuk variasi konsentrasi etanol yang digunakan pada penelitian utama senilai 10, 30, 50, 70 %. Dari hasil penelitian yang dilakukan, diperoleh pada kondisi operasi optimum didapatkan penurunan konsentrasi permeat paling besar senilai 14,4% pada konsentrasi etanol awal 70%, dengan nilai selektifitas 1,575 dan nilai fluks permeat sebesar 0,0160 kg/m².min. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa dengan menggunakan membran *Thin Film Composite* (TFC) untuk proses pemurnian campuran etanol-air dengan metode pervaporasi perlu dilakukan modifikasi lebih lanjut.

Kata kunci: Etanol, Fluks, Membran, Pervaporasi, TFC (*Thin Film Composite*) Komersial.

ABSTRACT

Name : Christine Novalina H
Department : Chemical Engineering
Title : The performance study of Ethanol-Water Separation Process Using Membrane pervaporation with TFC (Thin Film Composite) Commercial

Ethanol can be separated by pervaporation process using a membrane-PV (pervaporation). TFC membrane material (thin film composite) was used as a method of separation of ethanol-water mixture by pervaporation process more specifically taking into account the economic value. The study was divided into two phases of research, the preliminary research and primary research. Preliminary research carried out by varying the operating conditions at 35, 39 and 44°C and pressure on the permeate side at 660, 510, and 260 mmHg. The method was applied to the pervaporation of ethanol-water mixture by using the optimum conditions at a temperature of 39°C and a pressure of 510 mmHg. As for the variation of the concentration of ethanol used in the main study worth 10, 30, 50, 70%. From the results of research conducted, obtained at the optimum operating conditions found in decreased concentrations of the permeate most worth 14.4% in the initial ethanol concentration of 70%, with selectivity value of 1.575 and permeate flux values 0.0160 kg/m².min. The results showed that by using a membrane Thin Film Composite (TFC) for the purification of ethanol-water mixtures by pervaporation method needs to be done further modifications.

Keywords: Ethanol, Flux, Membrane, Pervaporation, TFC (Thin Film Composite) Commercial

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Alkohol	5
2.2 Deskripsi Etanol	6
2.2.1 Etanol Sebagai Bahan Bakar Nabati (<i>Bio Fuel</i>)	7
2.2.2 Aplikasi Etanol Lainnya	8
2.3 Deskripsi Pervaporasi	9
2.4 Modul Membran	11
2.5 Pemisahan dengan Membran pervaporasi	12
2.6 Modul Membran Berbentuk Gulungan Spiral (<i>Spiral Wound</i>)	14
2.7 Material Membran Komposit Film Tipis (TFC)	17
2.7.1 Lapisan Tidak Berpori dalam Membran TFC	17
2.7.2 Lapisan Berpori dalam Membran TFC	18
2.7.3 Lapisan Pendukung Poliester dalam Membran TFC	19
2.7.4 Perpindahan dalam Proses Pervaporasi	19
2.8 Parameter Kinerja Proses Pervaporasi	21
3. METODE PENELITIAN	24
3.1 Rancangan Penelitian	24
3.2 Lokasi Penelitian	26
3.3 Peralatan Dan Bahan	26
3.3.1 Bahan Penelitian	26
3.3.2 Alat Penelitian	27
3.3.3 Deskripsi Alat Penelitian	28
3.4 Prosedur Penelitian	35
3.4.1 Persiapan Larutan Umpan	36
3.4.2 Proses Pervaporasi	37
3.4.3 Prosedur Analisis dan Interpretasi Data	38

4. HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Penelitian Pendahuluan.....	41
4.1.1 Pengaruh Tekanan Sisi Permeat.....	41
4.1.2 Pengaruh Suhu Umpan.....	44
4.1.3 Pengaruh Modifikasi Sistem Pervaporasi.....	49
4.2 Penelitian Utama.....	52
4.2.1 Pengaruh Waktu Operasi Terhadap Konsentrasi.....	52
4.2.2 Pengaruh Konsentrasi Terhadap Laju Alir Permeat.....	54
4.2.3 Pengaruh Konsentrasi Terhadap Selektivitas.....	55
4.2.4 Pengaruh Konsentrasi Terhadap Fluks Total Permeat.....	56
4.3 Hasil Data Penelitian dan Aplikasi Membran RO.....	57
5. KESIMPULAN DAN SARAN	58
5.1 Kesimpulan.....	58
5.2 Saran.....	58
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN 1	63
LAMPIRAN 2	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Molekul Etanol	6
Gambar 2.2 Skema Sistem Dua Fase Yang Dipisahkan Oleh Membran.....	10
Gambar 2.3 Skema Pemisahan Dengan Proses Pervaporasi	11
Gambar 2.4 Membran Berdasarkan Struktur Morfologinya	13
Gambar 2.5 Bagian-Bagian Membran Modul Gulungan Spiral.....	15
Gambar 2.6 Modul Membran <i>Spiral-Wound</i>	16
Gambar 2.7 Gambar Sem Penampang Membran	16
Gambar 2.8 Struktur Membran TFC.....	17
Gambar 2.9 Mekanisme Solusi-Difusi.....	20
Gambar 3.1 Diagram Skematis Penelitian Pervaporasi	25
Gambar 3.2 Skema Proses Dan Peralatan Pervaporasi	27
Gambar 3.3 Penangas Air.....	28
Gambar 3.4 Wadah Umpan.....	29
Gambar 3.5 Pompa Sirkulasi.....	29
Gambar 3.6 <i>Pressure Gauge</i> Dan <i>Vacuum Gauge</i>	30
Gambar 3.7 Membran Osmosis Balik Berbahan Dasar Poliamida	30
Gambar 3.8 Kondensor	31
Gambar 3.9 Erlenmeyer 500 ML.....	32
Gambar 3.10 Pompa Vakum	32
Gambar 3.11 <i>Refrigerated Circulator</i>	33
Gambar 3.12 Konektor Membran Dan Nipple	33
Gambar 3.13 Selang Silikon Dan Polimer	34
Gambar 3.14 <i>Check Valve</i> Dan <i>Gate Valve</i>	34
Gambar 3.15 Alkoholmeter.....	35
Gambar 3.16 Tahapan Dalam Penelitian	36
Gambar 4.1 Profil Pengaruh Tekanan Permeat terhadap fluks	42
Gambar 4.2 Profil Pengaruh Tekanan Permeat terhadap Selektivitas	43
Gambar 4.3 Profil Pengaruh Suhu Umpan terhadap Selektivitas.....	45
Gambar 4.4 Profil Pengaruh Suhu Umpan Terhadap Fluks.....	46
Gambar 4.5 Pengaruh Suhu Umpan Terhadap Fluks dan Selektivitas Pada 660mmHga.....	46
Gambar 4.6 Pengaruh Suhu Umpan Terhadap Fluks dan Selektivitas Pada 510mmHga.....	47
Gambar 4.7 Pengaruh Suhu Umpan Terhadap Fluks dan Selektivitas Pada 260mmHga.....	47
Gambar 4.8 Profil Pengaruh Suhu Umpan Terhadap Penurunan Etanol Permeat	48
Gambar 4.9 Skema Alat dan Proses Pervaporasi Rancangan 1.....	49
Gambar 4.10 Skema Alat dan Proses Pervaporasi Perancangan 2	50
Gambar 4.11 Profil Tekanan Terhadap Selektivitas Sistem 2	51
Gambar 4.12 Profil Tekanan Terhadap Fluks Sistem 2	51
Gambar 4.13 Profil Waktu Operasi Terhadap Konsentrasi Pada Konsentrasi Umpan 70%	52
Gambar 4.14 Profil Waktu Operasi Terhadap Konsentrasi Pada Konsentrasi Umpan 50%	52

Gambar 4.15 Profil Waktu Operasi Terhadap Konsentrasi Pada Konsentrasi Umpan 30%	53
Gambar 4.16 Profil Waktu Operasi Terhadap Konsentrasi Pada Konsentrasi Umpan 10%	53
Gambar 4.17 Profil Waktu Operasi Terhadap Penurunan Konsentrasi Permeat	54
Gambar 4.18 Profil Konsentrasi Umpan terhadap Laju Alir	54
Gambar 4.19 Profil Konsentrasi Umpan terhadap Selektivitas	55
Gambar 4.20 Profil Konsentrasi Umpan terhadap Fluks	56
Gambar 4.21 Profil Waktu Operasi terhadap Fluks	56



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat fisik Etanol.....	7
-----------------------------------	---



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 DATA PENGAMATAN	63
1.1 Penelitian Pendahuluan	63
1.1.1 Variasi Suhu Umpan.....	63
1.1.2 Variasi Tekanan Sisi Permeat	64
1.2 Penelitian Utama Variasi Konsentrasi	66
1.2.1 Konsentrasi Umpan 10%	66
1.2.2 Konsentrasi Umpan 30%	67
1.2.3 Konsentrasi Umpan 50%	67
1.2.4 Konsentrasi Umpan 70%	67
LAMPIRAN 2 PENGOLAHAN DATA	68
2.1 Perhitungan Laju Alir	68
2.2 Perhitungan Selektivitas	68
2.3 Perhitungan Fluks.....	68
2.4 Perhitungan Penurunan Permeat	69

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan limbah biomassa sebagai sumber energi dapat mengurangi berbagai permasalahan manajemen polusi dan pembuangannya, mengurangi penggunaan bahan bakar fosil, serta mengurangi emisi gas rumah kaca. Alkohol merupakan salah satu senyawa kimia yang penting dalam kehidupan manusia. Senyawa ini dapat digunakan sebagai pelarut, bahan bakar nabati, desinfektan, dan bahan baku sintesis senyawa kimia lain. Senyawa alkohol yang banyak dimanfaatkan oleh industri diantaranya etanol.

Penggunaan bioetanol sebagai bahan bakar alternatif sangat menguntungkan bagi Indonesia mengingat potensi sumber daya hayati (biomassa) sebagai bahan baku bioetanol cukup besar. Program substitusi BBM ini akan meningkatkan perekonomian masyarakat terutama petani biomassa yang berasal dari singkong, tebu, sorgum, dan lain-lain. Dalam aplikasinya, pemanfaatan etanol/bio-etanol beraneka ragam sehingga grade etanol yang dihasilkan harus sesuai dengan penggunaannya. Etanol atau bio-etanol yang mempunyai kualitas 90 - 96,5%-v dapat digunakan pada industri, sedangkan etanol atau bioetanol yang mempunyai kualitas 96-99,5%-v digunakan sebagai bahan dasar industri farmasi.

Dalam aplikasinya, untuk meningkatkan kemurnian, perlu adanya proses pemisahan lebih lanjut terhadap campuran etanol-air. Umumnya, proses pemurnian alkohol dilakukan dengan distilasi sederhana. Akan tetapi distilasi hanya akan efektif untuk memisahkan campuran dengan kandungan etanol 10 – 85 % (Huang, *et al*, 2008).

Pada industri kecil pemurnian campuran etanol-air dengan distilasi tidak mungkin diterapkan. Salah satu alternatif proses pemisahan yang mulai banyak diminati oleh pihak industri rumahan sebagai alternatif dari distilasi adalah pemisahan dengan menggunakan membran. Pemisahan menggunakan membran merupakan proses yang cukup sederhana dan efisien untuk pemisahan campuran etanol-air. Pemisahan berdasarkan membran berpotensi penting karena lebih sedikit energi yang digunakan dan lebih ekonomis dibandingkan dengan teknologi

pemisahan lainnya. Salah satu kemajuan terbaru dalam pemisahan berdasarkan membran satu diantaranya adalah pervaporasi. Dalam proses pemisahan ini, teknologi membran yang dipilih adalah dengan teknik pervaporasi.

Pervaporasi (PV) merupakan contoh proses pemisahan dengan membran yang dapat diaplikasikan dalam proses dehidrasi pelarut dan pemisahan campuran organik. Proses ini merupakan kombinasi dari proses permeasi membran dan evaporasi, dimana umpan yang berupa fasa cair akan diubah menjadi permeal berfasa uap dengan memanfaatkan tekanan vakum, gas pembawa, atau proses kondensasi dibagian sisi *permeate* (Pangarkar and Pal, 2009).

Membran yang digunakan pada proses pervaporasi biasanya material yang memiliki karakter khusus dan mampu menyeleksi campuran etanol dan air dalam umpan, sehingga dapat dihasilkan etanol dengan konsentrasi lebih pekat. Pada penelitian ini digunakan jenis membran TFC (komposit film tipis), dengan bahan dasar poliamida, poliester, polisulfon, yaitu jenis membran yang banyak digunakan untuk proses pemisahan RO (osmosis balik) dan NF (nanofiltrasi).

Pada umumnya, membran TFC memiliki karakter membran pervaporasi karena tersusun dari lapisan-lapisan selektif yang tipis dan tidak berpori yang dapat menghasilkan fluksi permeasi yang tinggi. Material yang banyak digunakan membran TFC komersial adalah poliamida.

Berdasarkan latar belakang tersebut di atas maka pada usulan penelitian ini akan dilakukan uji kinerja membran TFC berbahan dasar poliamida, polisulfon, poliester pada proses pemisahan campuran etanol-air dengan berbagai tingkat konsentrasi.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana proses pemisahan etanol-air ini dapat berhasil dengan menggunakan membran TFC komersial berbahan dasar poliamida, polisulfon, poliester, oleh karena itu, diperlukan pembelajaran lebih lanjut mengenai:

- Bagaimanakah kinerja pemisahan etanol menggunakan proses pervaporasi dengan membran TFC berbahan dasar poliamida, polisulfon, poliester?

- Bagaimanakah pengaruh variasi suhu umpan, tekanan pada sisi *permeate*, dan komposisi umpan terhadap kinerja pemisahan etanol air menggunakan proses pervaporasi dengan membran TFC komersial?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan umum dari penelitian ini adalah untuk mempelajari proses pervaporasi dengan menggunakan membran RO komersial untuk pemisahan etanol-air, sedangkan tujuan khusus dari penelitian ini adalah :

- Mengetahui kinerja selektivitas dan fluks dari pemisahan menggunakan membran TFC berbahan dasar poliamida, polisulfon, poliester untuk proses pervaporasi campuran etanol-air
- Mengetahui pengaruh variasi suhu umpan, tekanan pada sisi *permeate*, dan komposisi umpan terhadap kinerja pemisahan menggunakan membran TFC serta tingkat pengaruh konsentrasi etanol terhadap proses pervaporasi pada sisi *permeate* dan umpan

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini masalah yang dikaji dibatasi pada hal-hal sebagai berikut :

- Proses pemisahan campuran etanol-air dilakukan dalam unit pervaporasi dengan menggunakan kondisi vakum.
- Membran yang digunakan adalah membran TFC berbahan dasar poliamida, polisulfon, poliester dengan tipe modul gulungan spiral (*spiral wound*).
- Variabel yang divariasikan adalah suhu umpan dengan rentang nilai 35, 39, dan 44°C.
- Tekanan pada sisi *permeate* dengan nilai 660, 510 dan 260 mmHg.
- Konsentrasi umpan etanol yang digunakan dalam penelitian utama dengan nilai konsentrasi sebesar 10, 30, 50 dan 70 %.
- Sedangkan parameter yang diamati selama penelitian adalah fluks *permeate*, selektivitas membran, dan kadar alkohol yang dihasilkan.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang permasalahan, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi dasar teori penguapan, tinjauan penelitian terkini dari PV, model perpindahan massa proses penguapan, tinjauan tentang membran, dan pemilihan material membran.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab ini berisi garis besar penelitian yang menampilkan diagram alir, alat dan bahan yang digunakan dalam proses disertai pembahasannya, dan prosedur yang akan digunakan untuk mencapai tujuan yang diinginkan.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang data hasil percobaan, pengolahan data, dan pembahasan dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

BAB 5 KESIMPULAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari hasil uraian yang telah dijelaskan.

DAFTAR PUSTAKA

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini akan dijabarkan mengenai teori pendukung yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan. Seperti telah dijelaskan pada bab sebelumnya, dalam penelitian ini digunakan teknik pervaporasi untuk pemisahan campuran Etanol-Air menggunakan membran TFC (*Thin Film Composite*) komersial. Faktor-faktor utama yang mempengaruhi dalam pencapaian penelitian ini terdiri atas material kerja berupa campuran Etanol-Air, alat pemroses berupa rangkaian membran-pervaporasi berjenis TFC dari bahan poliamida, polisulfon, poliester dan analisis sampel.

Pada bagian awal-awal paragraf di bawah ini akan dibahas lebih rinci disertai dengan sumber-sumber pustaka tentang material kerja yang digunakan berupa etanol, termasuk juga sifat-sifat fisika dan kimiawinya beserta campurannya dalam larutan air, membran, dan proses pervaporasi itu sendiri.

2.1 Alkohol

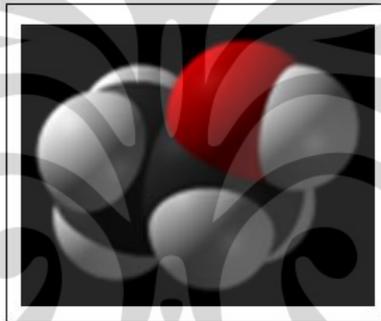
Dalam bidang kimia, alkohol merupakan istilah untuk senyawa organik dengan gugus fungsi hidroksil ($-OH$) yang berikatan dengan atom karbon. Senyawa ini berupa cairan bening dengan bau khas yang ringan, mudah menguap dan juga terbakar. Seri alkohol sederhana seperti metanol, etanol, dan isopropil alkohol dapat digunakan sebagai pelarut, bahan bakar, bahan baku untuk industri kimia dan farmasi, serta bahan desinfektan.

Alkohol yang paling sederhana adalah metanol, CH_3OH , yang awalnya diperoleh dari hasil distilasi kayu sehingga disebut juga alkohol kayu. Etanol atau etil alkohol merupakan senyawa alkohol dengan rumus molekul C_2H_5OH yang sangat larut dalam air. Sedangkan isopropil alkohol (IPA), yang disebut juga dengan isopropanol, 2-propanol, dan dimetil-karbinol, adalah senyawa kimia dengan rumus molekul C_3H_8O . IPA merupakan contoh sederhana dari alkohol sekunder, dimana atom karbon yang mengikat gugus hidroksil ($-OH$) juga berikatan dengan dua atom karbon lain.

Adanya gugus hidroksil pada alkohol menyebabkan senyawa ini bersifat polar dan dapat membentuk ikatan hidrogen dengan molekul air. Alkohol rantai pendek seperti metanol, etanol, dan propanol mempunyai kelarutan tak terhingga dalam air karena pengaruh gugus hidroksil yang menyebabkan ikatan hidrogen jauh lebih besar daripada pengaruh sifat hidrofobik gugus alkenil.

2.2 Deskripsi Etanol

Etanol adalah senyawa organik yang terdiri dari karbon, hidrogen, oksigen dengan rumus molekul C_2H_5OH dan merupakan derivat senyawa hidrokarbon, yang mempunyai gugus hidroksil sehingga dapat dioksidasi.



Gambar 2.1 Molekul Etanol

Pemanfaatan etanol sebagai bahan bakar nabati dan bahan baku farmasi memerlukan etanol dengan tingkat kemurnian yang lebih tinggi antara rentang 95 – 99,5 %. Sebagian besar industri etanol menggunakan proses fermentasi dan menghasilkan produk dengan kadar etanol 8 – 12 %.

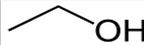
Berdasarkan kadar alkoholnya, etanol terbagi menjadi tiga tingkat kualitas berbeda yang bergantung pada penggunaannya:

- a. Kualitas industri dengan kadar alkohol 90 – 94 %
- b. Netral dengan kadar alkohol 96 – 99,5 %, umumnya digunakan untuk bahan baku farmasi.
- c. Kualitas bahan bakar dengan kadar alkohol di atas 99,5 %

Etanol dapat digunakan dalam mesin bensin sebagai pengganti bensin etanol dapat dicampur dengan bensin dengan persentase tertentu. Kebanyakan mesin bensin dapat beroperasi menggunakan campuran etanol sampai 15% dengan bensin. Bensin dengan etanol memiliki angka oktan yang lebih tinggi,

yang berarti mesin dapat terbakar lebih panas dan lebih efisien. Tabel 2.1. menunjukkan sifat fisik dari senyawa tersebut.

Tabel 2.1. Sifat Fisik Etanol

Properti	Etanol
Struktur molekul	
Rumus molekul	C_2H_6O
Massa molekul relatif (g/mol)	46,07
Titik beku ($^{\circ}C$)	-114,1
Titik didih normal ($^{\circ}C$)	78,32
Densitas pada 20° (g/ml)	0,7893
Kelarutan dalam air	sangat larut
Viskositas pada $20^{\circ}C$ (cP)	1,17
Diameter kinetika (\AA)	4,3

2.2.1 Etanol Sebagai Bahan Bakar Nabati (*Bio Fuel*)

Bahan bakar hayati atau *biofuel* adalah setiap bahan bakar baik padatan, cairan ataupun gas yang dihasilkan dari bahan-bahan organik. Biofuel dapat dihasilkan secara langsung dari tanaman atau secara tidak langsung dari limbah industri, komersial, domestik atau pertanian. Terdapat tiga cara untuk pembuatan biofuel: pembakaran limbah organik kering (buangan rumah tangga, limbah industri dan pertanian); fermentasi limbah basah yang berasal dari kotoran hewan tanpa oksigen untuk menghasilkan biogas yang mengandung hingga 60 persen metana, atau fermentasi tebu atau jagung untuk menghasilkan alkohol dan ester; dan energi dari hutan dengan menghasilkan kayu dari tanaman yang cepat tumbuh sebagai bahan bakar.

Biofuel menawarkan kemungkinan memproduksi energi tanpa meningkatkan kadar karbon di atmosfer karena berbagai tanaman yang digunakan untuk memproduksi biofuel mengurangi kadar karbondioksida di atmosfer, tidak seperti bahan bakar fosil yang mengembalikan karbon yang tersimpan di bawah permukaan tanah selama jutaan tahun ke udara. Dengan begitu biofuel lebih bersifat carbon netral dan sedikit meningkatkan konsentrasi gas-gas rumah kaca di atmosfer. Penggunaan biofuel mengurangi pula ketergantungan pada minyak bumi serta meningkatkan keamanan energi.

Bahan bakar etanol merupakan biofuel paling umum di dunia, terutama bahan bakar etanol di Brasil. Bahan bakar alkohol diproduksi dengan cara fermentasi gula yang dihasilkan dari gandum, jagung, bit gula, tebu, molasses dan gula atau amilum. Produksi etanol menggunakan digesti enzim untuk menghasilkan gula dari amilum, fermentasi gula, distilasi dan pengeringan. Proses ini membutuhkan banyak energi untuk pemanasan yang pada umumnya menggunakan gas alam.

Etanol dapat digunakan dalam mesin bensin sebagai pengganti bensin etanol dapat dicampur dengan bensin dengan persentase tertentu. Sebagian besar mesin bensin dapat beroperasi menggunakan campuran etanol sampai 15% dengan bensin. Bensin dengan etanol memiliki angka oktan yang lebih tinggi, yang berarti mesin dapat terbakar lebih panas dan lebih efisien.

Bahan bakar etanol memiliki BTU yang lebih rendah, yang berarti memerlukan lebih banyak bahan bakar untuk melakukan perjalanan dengan jarak yang sama. Dalam mesin kompresi-tinggi, dibutuhkan bahan bakar dengan sedikit etanol dan pembakaran lambat untuk mencegah pra-ignisi yang merusak (knocking).

2.2.2 Aplikasi Etanol Lainnya

Berdasarkan (Uhligh, 1998) kegunaan etanol/bioetanol (alkohol) dalam pemanfaatannya diberbagai bidang antara lain:

- a. Sebagai pelarut dan reagensia dalam laboratorium dan industri.
- b. Sebagai bahan industri kimia dan farmasi.
- c. Sebagai bahan kecantikan dan kedokteran.
- d. Sebagai pelarut dan untuk sintesis senyawa kimia lainnya.
- e. Sebagai bahan baku (raw material) untuk membuat ratusan senyawa kimia lain, seperti asetaldehid, etil asetat, asam asetat, etilene dibromida, glycol, etil klorida, dan semua etil ester.
- f. Sebagai pelarut dalam pembuatan cat dan bahan-bahan komestik.
- g. Digunakan dalam perdagangan domestik sebagai bahan bakar.

2.3 Deskripsi Pervaporasi

Proses Pervaporasi merupakan salah satu metode pemisahan dengan membran yaitu selaput tipis semi permeabel yang berfungsi sebagai rintangan (*barrier*) yang bersifat selektif di antara dua fasa, sehingga hanya komponen tertentu yang dapat menembus membran sedangkan komponen lainnya akan tertahan (Mulder, 1991).

Pervaporasi (PV) merupakan salah satu proses pemisahan dengan membran (permeasi) yang diikuti oleh proses evaporasi. Istilah PV pertama kali dikenalkan oleh Kober (1917) pada tahun 1917 untuk menggambarkan percobaan dialisis di laboratorium (Pangarkar and Pal, 2009). Kober menemukan fenomena bahwa cairan di dalam kantong koloid akan terevaporasi walaupun kantong dalam kondisi tertutup rapat. Melalui penelitian lebih lanjut, ia akhirnya menyimpulkan bahwa yang dikeluarkan oleh membran adalah uap dari larutan. Fenomena ini kemudian diterminologikan dengan pervaporasi.

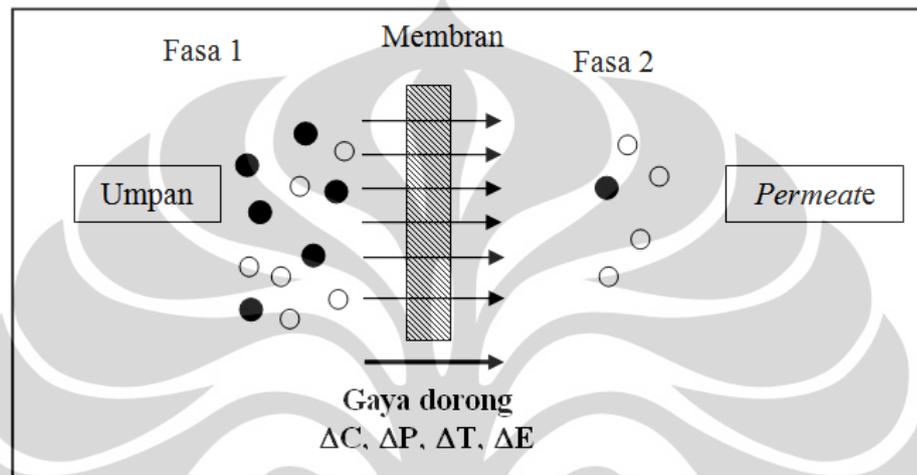
Aplikasi proses PV dalam bidang kimia diantaranya untuk: (1) proses dehidrasi campuran alkohol-air, organik-air, dan sistem air dan hidrokarbon terklorinasi; (2) pemisahan senyawa organik dari air; (3) pemisahan campuran organik-organik; (4) pemisahan produk yang rentan terhadap panas. Aplikasi lain yang cukup penting adalah untuk pemisahan campuran dengan titik didih berdekatan dan campuran azeotrop.

Kelebihan proses PV dibandingkan proses pemisahan konvensional (seperti distilasi, ekstraksi, dan lain-lain), adalah (Pangarkar and Pal, 2009):

- Biaya investasi dan operasi rendah.
- Dapat memisahkan campuran azeotrop
- Tidak membutuhkan zat aditif (*entrainer*) sehingga tidak ada kontaminasi.
- Konsumsi energi relatif lebih rendah sehingga lebih ekonomis
- Ramah lingkungan karena tidak menghasilkan limbah.
- Mudah dioperasikan dan membutuhkan ruang lebih sedikit karena sistem lebih kompak.

Spesies utama yang ditolak oleh membran disebut *retentate* atau *solute*, sementara spesies yang dilewati membran biasanya disebut *permeate* atau *solvent*.

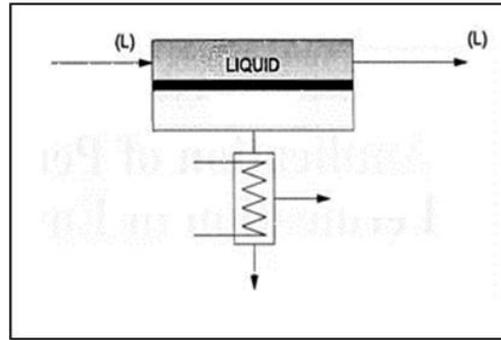
Kemampuan membran dalam pemisahan komponen suatu campuran dipengaruhi oleh sifat fisika dan kimia dari membran dan komponen tersebut. Proses pemisahan membran melibatkan umpan cair atau gas dan proses perpindahan di membran dapat terjadi dengan adanya gaya penggerak (*driving force*) seperti diilustrasikan pada Gambar 2.2. Besar laju perpindahan komponen-komponen yang akan dipisahkan sebanding dengan besarnya gaya penggerak yang ada.



Gambar 2.2 Skema sistem dua fase yang dipisahkan oleh membran (Mulder, 1991)

Pervaporasi melibatkan: (1) umpan berupa komponen murni dan campuran homogen yang pada tekanan atmosfer memiliki fasa cair dan (2) *permeate* yang akan dipisahkan dalam bentuk uap sebagai akibat tekanan yang sangat rendah pada sisi *permeate*. Umpan yang akan dipisahkan dikontakkan dengan permukaan membran, sementara *permeate* dikeluarkan dalam bentuk uap pada sisi berlawanan menuju vakum lalu didinginkan (Kujawski, 2000). Sehingga, pada proses ini terjadi perubahan fasa komponen terpermeasi dari fasa cair ke fasa uap.

Gaya penggerak di dalam membran diperoleh dengan menurunkan aktivitas komponen yang dipisahkan pada bagian permeasi. Hal ini didapatkan dengan menurunkan tekanan parsial komponen sampai di bawah tekanan uap jenuhnya. Penurunan tekanan ini dapat dilakukan dengan menggunakan gas inert atau pompa vakum pada bagian *permeate* (Kujawski, 2000). Skema pemisahan dengan proses PV dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Skema pemisahan dengan proses pervaporasi (Kujawski, 2000)

2.4 Modul Membran

Membran didefinisikan sebagai suatu pembatas yang berbentuk tipis, mempunyai sifat semipermeabel dapat meloloskan komponen tertentu dan menahan komponen yang lain.

Membran dapat dibuat dari berbagai material. Berdasarkan material asal, secara umum membran terbagi atas dua jenis yaitu membran alamiah dan membran sintesis. Membran alamiah adalah membran yang terdapat dalam sel tubuh makhluk hidup, baik manusia, hewan maupun tumbuh-tumbuhan. Membran sintesis dibagi menjadi dua yaitu membran organik dan membran anorganik. Membran anorganik adalah membran yang dibuat dari bahan anorganik seperti logam dan keramik. Sedangkan membran organik adalah membran yang dibuat dari bahan organik polimer.

Berdasarkan morfologi membran dapat dibagi dua yaitu membran simetrik dan membran asimetrik. Membran simetrik adalah membran yang mempunyai diameter pori yang sama atau morfologi disetiap titik sama diseluruh bagian membran. Membran asimetrik adalah membran yang mempunyai diameter pori yang tidak sama, diameter pori dibagian kulit lebih kecil bahkan tidak berpori dibandingkan pada bagian pendukung atau penyangga. Membran asimetrik banyak digunakan pada proses bertekanan yaitu *reverse osmosis*, ultrafiltrasi, dan gas separation.

Membran masih dapat digolongkan atas dua kelompok berdasarkan ada tidaknya pori yaitu membran berpori (*porous membrane*) dan membran tidak berpori (*dense membrane*). Membran berpori dipergunakan untuk pemisahan partikel yang besar hingga makromolekul (mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi).

Membran dense digunakan dalam proses pemisahan gas dan pervaporasi. Membran dense ini mampu memisahkan campuran senyawa yang memiliki berat molekul relatif sama, misalnya dalam pemisahan gas seperti campuran H_2/N_2 , CO_2/N_2 dan lain-lain.

Pemisahan dengan membran dilakukan dengan mengalirkan *feed* ke dalam membran kemudian akan terpisah sesuai *driving force* yang digunakan. Proses pemisahan dengan membran menghasilkan dua aliran yaitu *permeate* dan *retentate*. *Permeate* merupakan hasil pemisahan yang diinginkan sedangkan *retentate* merupakan hasil sisa (Pabby *et al*, 2009).

2.5 Pemisahan dengan Membran pervaporasi

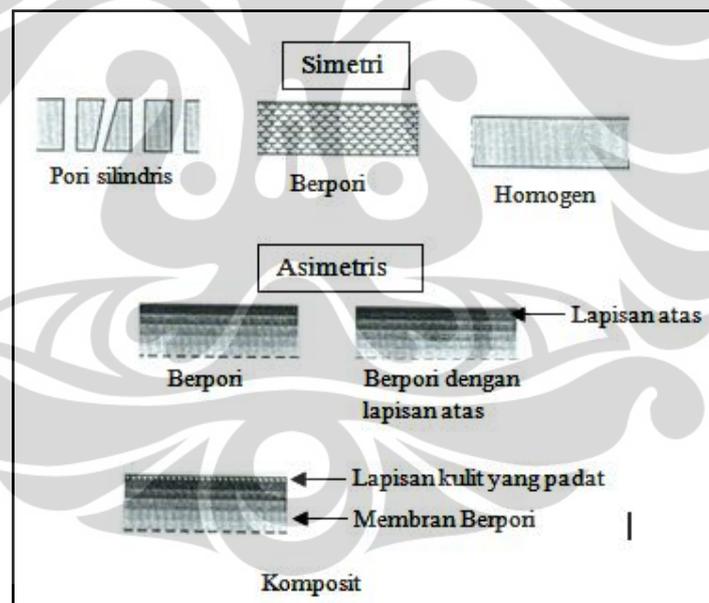
Salah satu kemajuan terbaru dalam pemisahan berdasarkan membran satu diantaranya adalah pervaporasi. Salah satu parameter keberhasilan dalam proses PV campuran alkohol air adalah membran PV berkinerja tinggi. Pertimbangan pemilihan membran disesuaikan pada aplikasi penggunaan dan mekanisme perpindahan komponen dalam membran. Pada umumnya bahan dasar membran yang dapat digunakan sebagai membran PV adalah (a) membran organik yaitu membran yang terbuat dari polimer baik alami maupun sintesis, (b) membran anorganik yang terbuat dari bahan keramik atau zeolit, dan (c) membran komposit atau membran hibrid (Chapman *et al.*, 2008; Wee, *et al*, 2008).

Membran polimer lebih banyak digunakan oleh industri daripada membran anorganik untuk memecah campuran azeotrop alkohol-air, karena proses pembuatannya lebih ekonomis dan sifatnya tidak rapuh. Karakteristik membran tersebut ditentukan oleh polimer penyusunnya. Polimer menggabungkan selektivitas penyerapan dan difusi yang tinggi, yang dipengaruhi oleh struktur inter- dan intra-molekulnya. Material ini biasanya tersusun atas rantai polimer yang kaku sehingga dapat berinteraksi ion-dipol atau membentuk ikatan hidrogen dengan air. Membran polimer hidrofilik akan bertindak sebagai saringan molekular yang tahan terhadap air dan lebih memilih menyerap molekul air dibandingkan molekul lain yang ada dalam aliran proses (Chapman *et al.*, 2008).

Pada proses PV, interaksi antara polimer dengan umpan mempunyai peranan yang cukup penting pada tahap masuknya umpan ke permukaan

membran. Cairan umpan yang memiliki afinitas tinggi terhadap polimer, maka kelarutannya pada polimer akan semakin besar dengan meningkatnya konsentrasi. Pemilihan polimer untuk membran pervaporasi juga harus mempertimbangkan kestabilan kimia, termal, dan efek permukaan seperti adsorpsi dan derajat kebasahan. Kemampuan mengembang (*swelling*) atau sorpsi polimer juga akan berpengaruh pada selektivitas dan fluks permeasi.

Membran polimer untuk pervaporasi jika dilihat berdasarkan strukturnya maka terbagi menjadi membran simetris, asimetris, dan komposit (Gambar 2.3). Membran simetris merupakan membran dengan struktur lapisan atas sama dengan lapisan bawah (homogen) dengan ketebalan 10 – 200 μm . Membran ini dapat memiliki pori (*porous membrane*) atau tidak (*dense membrane*). Selektivitas membran tergantung pada ukuran porinya. Hambatan perpindahan massa pada membran tergantung pada ketebalannya. Jadi semakin tebal membran, semakin tinggi tahanannya dan laju permeasinya akan semakin rendah.



Gambar 2.4. Membran berdasarkan struktur morfologinya (Mulder, 1991)

Membran asimetrik merupakan membran yang memiliki dua lapisan yang saling berbeda. Lapisan atas berupa selaput tipis tidak berpori dengan ketebalan 0,1 – 0,5 μm dan aktif menyeleksi komponen dalam campuran. Sedangkan lapisan lainnya merupakan lapisan penyangga yang berpori dengan tebal 50 – 150 μm . Lapisan tipis merupakan tempat terjadinya pemisahan pada pervaporasi dan

berfungsi sebagai pembatas (*barrier*) aliran yang melalui membran, sedangkan lapisan penyangga berfungsi untuk kekuatan mekanik.

Membran komposit memiliki struktur seperti membran asimetri tetapi lapisan atas dan lapisan penyangganya terdiri dari polimer yang berbeda. Membran komposit dibuat dengan menuangkan polimer hidrofilik ke atas substrat berpori (Liu, et al, 2007). Karena tersusun dari jenis polimer yang berbeda maka setiap lapisan dapat dioptimasi secara terpisah. Membran komposit merupakan jenis membran pervaporasi yang banyak digunakan di industri kimia.

Pangarkar menyatakan bahwa membran pervaporasi yang ideal harus terdiri dari lapisan kulit yang sangat tipis tidak berpori (*dense layer*) yang didukung oleh lapisan penyangga (*support layer*) yang tidak berpori (Pangarkar and Pal, 2009). Pemilihan membran berstruktur asimetri ini bertujuan untuk memperoleh selektivitas yang tinggi dari membran tak berpori dan laju permeasi yang tinggi pada membran berpori. Lapisan penyangga menghasilkan kekuatan mekanik sedangkan lapisan atas berperan menghasilkan pemisahan yang efisien dari membran. Untuk mengatasi kekurangan dari membran polimer maka saat ini penelitian membran PV saat ini sudah berkembang dari polimer homogen ke membran komposit.

Komersialisasi dari proses pervaporasi diawali dengan pengembangan membran komposit asimetris terbuat dari poli(vinil)alkohol (PVA); yang terdiri dari lapisan penyangga polister yang berpori dan tidak ditenun (*non-woven*) serta dituangkan ke atas membran ultrafiltrasi (UF) berbahan dasar polisulfon (PS) atau poliakrilonitril (PAN). Salah satu contoh membran komposit komersial pertama untuk pervaporasi dikembangkan oleh *Gesellschaft fur Trenntechnik* (GFT) pada tahun 1980 (Baker, 2004).

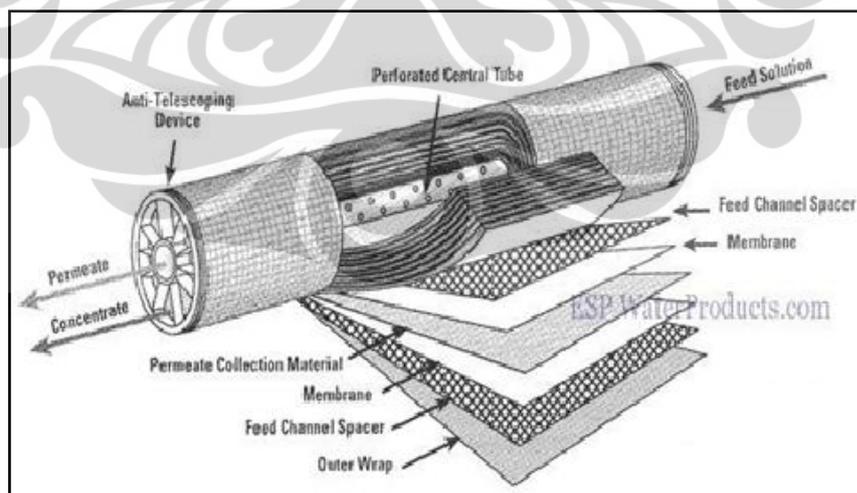
2.6 Modul Membran Berbentuk Gulungan Spiral (*Spiral Wound*)

Modul membran dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu datar dan turbular. Modul datar terbagi menjadi modul pelat dan bingkai (*plate and frame*) dan modul gulungan spiral (*spiral-wound*), sedangkan untuk modul turbular dapat dibedakan menjadi modul turbular, kapiler, dan serat berongga (*hollow fiber*).

Modul adalah suatu unit terkecil dimana area membran dikemas. Modul merupakan pusat dari instalasi membran. Aliran umpan masuk ke dalam modul dengan komposisi dan laju alir tertentu. Umpan yang melewati membran akan terpisah berdasarkan ukuran dan bentuk molekulnya. Keluaran membran akan terbagi dua yaitu yang komponen yang tertahan disebut konsentrat atau *retentate* dan yang dapat menembus membran disebut *permeate*.

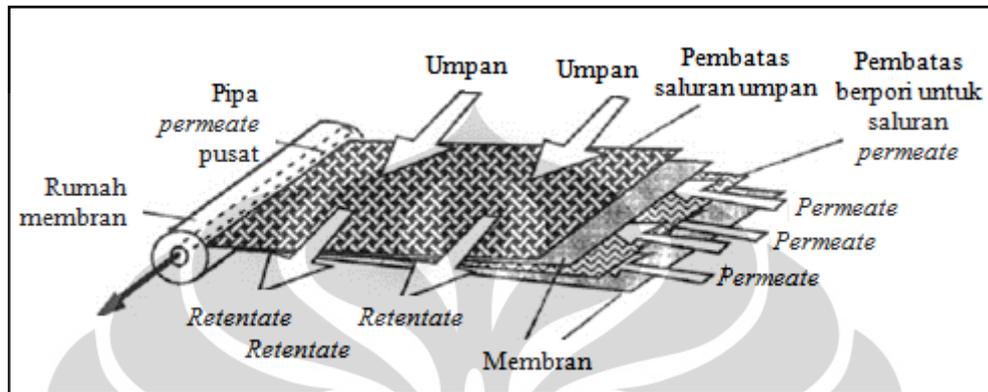
Modul *spiral-wound* merupakan sistem membran pelat dan bingkai yang terdiri dari 2 lembaran membran dan 2 pembatas (untuk saluran umpan dan saluran *permeate*) dan digulung pada sebuah pipa (Gambar 2.5.). Membran dan pembatas-saluran umpan direkatkan pada ketiga sisi tepi sehingga membentuk amplop. Umpan mengalir secara parallel pada sumbu silinder, sedangkan *permeate* mengalir mengelilingi spiral menuju ke pipa keluaran *permeate*. Untuk skala industri modul ini memiliki ukuran standar panjang 40 – 60 inch dan diameter 8 inch (Baker, 2004). Keunggulan membran jenis *spiralwound* antara lain mempunyai ketahanan yang baik terhadap *fouling*, mudah dibersihkan, mudah dalam proses pergantian (*replacement*), tersedia dalam berbagai variasi material, dan banyak fabrikasi yang memproduksi membran jenis ini.

Bagian-bagian membran *spiral wound* dapat dilihat pada Gambar 2.5 di bawah ini:

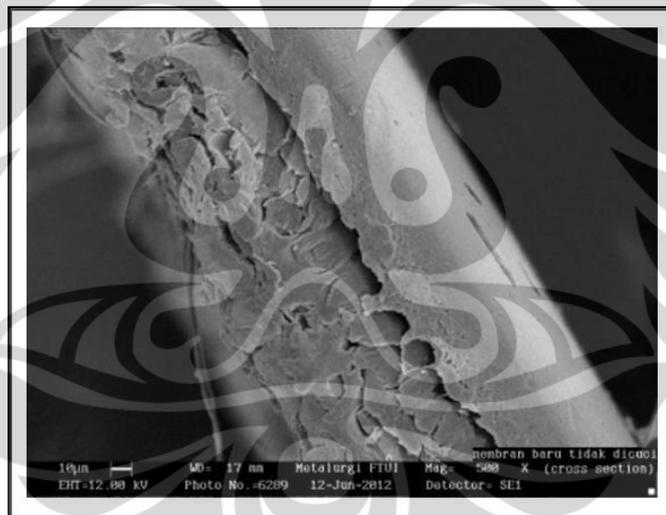


Gambar 2.5 Bagian-bagian membran modul gulungan spiral (waterproduct.com)

Jika membran gulungan dibuka, maka akan terlihat penampang yang menyerupai plat datar, dengan berbagai lapisan. Gambar lapisan membran gulungan dapat dilihat seperti pada Gambar 2.6, dan foto penampang membran hasil SEM dapat dilihat pada Gambar 2.7 dibawah ini :



Gambar 2.6. Modul membran *spiral-wound* (Mulder, 1991)



Gambar 2.7. Gambar SEM Penampang Membran

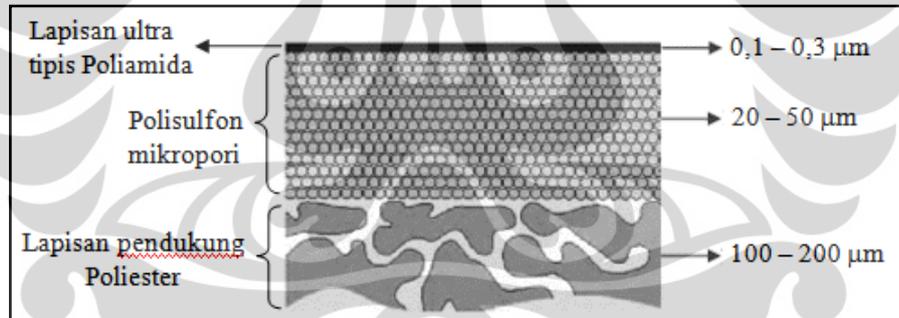
Modul ini umumnya merupakan material polimer komposit dan banyak digunakan untuk pemisahan cairan seperti pada proses RO dan UF. Kelebihan dari tipe membran datar adalah ketahanannya terhadap *fouling* dan mudah dibersihkan. Kelemahannya adalah pada kerapatan kemasannya yang kecil yaitu berkisar 300 – 1000 m²/m³.

Pada konfigurasi gulungan spiral (*spiral-wound*), dua lembaran membran datar dipisahkan dengan suatu saluran material pengumpul permeate untuk

membentuk suatu lembaran. Penggabungan ini ditutup pada tiga sisi dengan sisi ke – empat dibiarkan terbuka agar zat permeasi dapat keluar. Membran gulungan spiral (spiral-wound) untuk skala industri mempunyai panjang 100 – 150 cm dengan diameter sekitar 10 – 20 cm.

2.7 Material Membran Komposit Film Tipis (TFC/*Thin Film Composite*)

Membran TFC merupakan membran komposit yang terdiri dari tiga lapisan (Dalwani, 2011). Modul yang digunakan biasanya berbentuk gulungan spiral (*spiral wound*). Komposisi kimia antara ketiga lapisan sangat berbeda dan inilah yang menjadi karakteristik utama dari membran TFC. Kelebihan membran ini dari membran asimetri biasa adalah masing-masing lapisan dapat dioptimasi berdasarkan ketahanan kimianya untuk mendapatkan sifat komposit yang diinginkan. Struktur membran TFC dapat dilihat pada Gambar 2.8. Pada penelitian kali ini, membran yang digunakan adalah membran TFC berbahan dasar polimer, yaitu poliamida, polisulfon, poliester.



Gambar 2.8. Struktur membran TFC (Dalwani, 2011)

2.7.1 Lapisan Tidak Berpori dalam Membran TFC

Lapisan atas merupakan lapisan sangat tipis (*ultra thin film*) dan tidak berpori dengan ketebalan 2000 Angstrom. Lapisan ini mampu melakukan pemisahan pada kedua sisinya sehingga berperan sebagai penghalang selektif dengan fluks dan kemampuan menahan partikel yang tinggi. Proses pemisahan bergantung pada perbedaan kemampuan difusi dan kelarutan, dimana sifat intrinsik dari bahan penyusun membran menentukan selektivitas dan permeabilitas membran.

Pada penelitian ini bahan dasar dari lapisan tipis tidak berpori pada membran TFC adalah senyawa diamina aromatik sederhana golongan poliamida. Penggunaan poliamida sebagai lapisan tidak berpori pada penelitian ini berdasarkan pada sifat hidrofilik yang dimilikinya sehingga dapat membentuk ikatan hidrogen dengan air (Semenova, et al, 1997). Membran hidrofilik dirancang untuk sehingga dapat menarik molekul air ke permukaan membran dimana proses penguapan berlangsung. Molekul air tersebut akan berdifusi melalui membran dan menguap pada sisi *permeate* dengan bantuan vakum. Kemudian uap *permeate* tersebut dikondensasi oleh kondensator. Membran hidrofilik ini dapat digunakan untuk memecah campuran azeotrop (Baig, 2008).

Studi tentang penggunaan poliamida, sebagai material membran untuk PV sudah dilakukan sejak tahun 1990-an (Chan et al., 1998; Yamasaki et al., 1996). Poliamida memiliki sifat stabil pada suhu tinggi, sifat mekaniknya baik, dan tahan terhadap pelarut organik. Penelitian terdahulu melaporkan bahwa membran tidak berpori (*dense*) berbahan dasar poliamida menunjukkan tingkat selektivitas yang tinggi dalam proses dehidrasi alkohol pada berbagai kisaran konsentrasi air, akan tetapi nilai fluks permeasinya masih rendah (He et al., 2001). Untuk meningkatkan laju permeasi tanpa mengorbankan selektivitasnya, maka struktur morfologi membran harus diubah dari membran simetris yang tebal dan rapat menjadi struktur asimetris atau komposit (Huang et al., 2006).

2.7.2 Lapisan Berpori dalam Membran TFC

Lapisan kedua merupakan sub lapisan berpori yang berfungsi sebagai lapisan penyangga bagi lapisan atas. Umumnya lapisan ini adalah membran asimetri untuk UF dan MF yang memiliki permukaan yang cukup halus untuk mencegah kerusakan lapisan tipis di atasnya. Pemilihan jenis membran mempengaruhi peristiwa yang terjadi dalam membran seperti stabilitas kimia, adsorpsi, dan pembersihan membran. Sub lapisan ini dibuat berdasarkan pertimbangan ukuran pori, ketahanan kompresi dan kekuatannya.

Pada penelitian ini bahan dasar dari material pendukung pada membran TFC adalah jenis polimer yang penting dalam UF yaitu polisulfon (PSf) dengan diameter pori kira-kira 150 Angstrom. Polimer ini memiliki stabilitas termal dan

kimia yang sangat baik yang dapat dilihat dari nilai T_g (T_g PSf = 190°C. Bahan ini mempunyai ketahanan yang baik untuk tekanan operasi yang tinggi serta mempunyai sifat mekanik yang baik.

2.7.3 Lapisan Pendukung Poliester dalam Membran TFC

Lapisan ketiga pada membran TFC merupakan bahan penguat yang tidak ditenun (*non-woven*) yang berfungsi sebagai kekuatan mekanik utama dari struktur komposit. Bahan dasar lapisan ini adalah poliester. Struktur poliester sangat *irregular* dan berpori sehingga tidak dapat langsung digunakan sebagai penyangga lapisan pertama, karenanya lapisan mikropori polisulfon dibuat di atas permukaan poliester.

Penelitian dengan membran TFC berbahan dasar poliamida, polisulfon, poliester saat ini lebih banyak terkonsentrasi pada proses pemisahan dengan RO dan NF, sedangkan aplikasinya pada proses PV campuran alkohol-air masih terbatas.

2.7.4 Perpindahan dalam Proses Pervaporasi

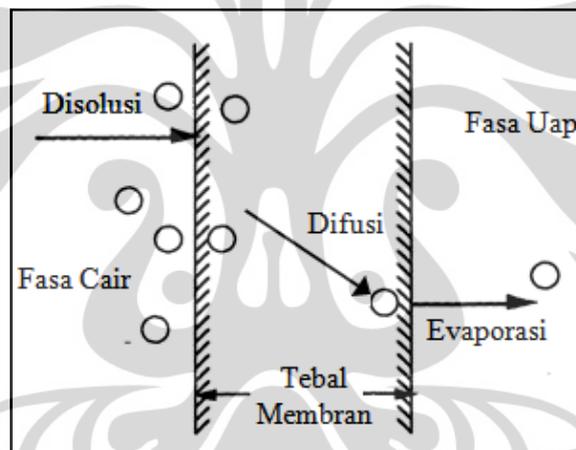
Peristiwa perpindahan komponen melalui membran tidak berpori seperti halnya membran pervaporasi dapat dijelaskan melalui mekanisme pelarutan dan difusi (*solution-diffusion*) (Wijmans & Baker, 1995). Mekanisme ini ditentukan oleh penyerapan (*sorption*) dan difusi yang selektif. Secara umum fenomena perpindahan dalam proses pervaporasi terjadi melalui tiga tahap (Feng, 1997; Pangarkar 2009; Wee et al., 2008) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.9:

- a. Adsorpsi selektif yang terjadi pada permukaan membran-umpan fasa cair. Proses ini dipengaruhi oleh interaksi atau afinitas antara penetran dengan membran. Interaksi ini dinyatakan dengan sifat termodinamika yaitu parameter kelarutan (*solubility*). Tahap sorpsi merupakan tahap yang paling penting pada proses pervaporasi karena selanjutnya akan menentukan perpindahan yang selektif.
- b. Difusi selektif melalui membran. Tahap ini akan dipengaruhi oleh ukuran, bentuk, dan berat molekul zat terlarut, serta ketersediaan ruang bebas inter/intra molekuler pada polimer.

Laju difusi penetran melalui membran ditentukan oleh besarnya perbedaan potensial antara kedua sisi membran. Perbedaan potensial ini akan ditentukan oleh besarnya perbedaan tekanan parsial komponen-komponen campuran pada kedua sisi membran tersebut. Berdasarkan mekanisme ini, difusi melalui membran menjadi pembatas laju reaksi.

c. Desorpsi komponen ke fasa uap pada sisi *permeate*.

Desorpsi komponen pada sisi *permeate* berlangsung cepat dan non-selektif. Pada tahap ini penetran dikeluarkan dari membran dalam fasa uap. Perubahan fasa ini terjadi karena tekanan pada sisi *permeate* jauh lebih rendah daripada tekanan uap *permeate*. Difusivitas fasa uap pada tahap terakhir ini sangat tinggi sehingga tahap desorpsi menjadi paling tidak resisten dalam keseluruhan proses transportasi.



Gambar 2.9. Mekanisme solusi-difusi (Feng and Robert, 1997)

Model pelarutan dan difusi berasumsi bahwa tekanan di dalam membran seragam dan perbedaan potensial kimia pada mekanisme ini hanya digambarkan oleh perbedaan konsentrasi (Wee et al., 2008). Pada saat keadaan tunak, fenomena perpindahan pada proses penguapan akan mengikuti Hukum Ficks pada persamaan 2.1.

$$J_i = -D_i \left(\frac{dC_i}{dx} \right) \quad (2.1.)$$

dengan J_i = Fluks massa komponen i ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{jam}$)
 D_i = koefisien difusivitas komponen i (m^2/jam)

C_i = konsentrasi komponen i (kg/m^3)
 x = tebal membran (m)

Pada proses pervaporasi, konsentrasi cairan dapat dinyatakan sebagai tekanan parsial komponen sesuai dengan Hukum Henry seperti pada persamaan 2.2.

$$C_i = S_i P_i \quad (2.2.)$$

dengan S_i = koefisien kelarutan komponen i di dalam membran ($\text{cm}^3(\text{STP})/\text{cm}^3 \cdot \text{bar}$).

Substitusi persamaan 2.3 ke persamaan 2.2 akan menghasilkan persamaan 2.4.

$$J_i = \frac{D_i S_i (P_{o,i} - P_{x,i})}{x} \quad (2.3.)$$

Hasil perkalian antara koefisien difusifitas (D) dan koefisien kelarutan (S) merupakan koefisien Permeabilitas (P).

$$P = S \times D \quad (2.4.)$$

P merupakan parameter perpindahan massa yang melewati membran. S merupakan parameter termodinamika yang menyatakan banyaknya penetran yang diserap oleh membran pada kesetimbangan. D merupakan parameter kinetika yang menyatakan seberapa cepat perpindahan penetran di dalam membran.

2.8 Parameter Kinerja Proses Pervaporasi

Parameter-parameter yang mempengaruhi proses pemisahan dengan pervaporasi diantaranya adalah konsentrasi umpan, temperatur umpan, tekanan pada sisi *permeate*, dan jenis membran (Peng, et al, 2003).

a. Konsentrasi umpan

Perubahan konsentrasi umpan secara langsung berpengaruh terhadap fenomena sorpsi pada *interface* membran. Karakteristik perpindahan massa penetran di dalam membran sangat bergantung pada konsentrasi

umpan karena difusi komponen penetran dipengaruhi oleh konsentrasi umpan. Aktivitas komponen dalam campuran akan berubah dengan berubahnya konsentrasi, sehingga akan mempengaruhi fluks massa dan selektivitas membran.

b. Temperatur umpan

Pengaruh temperatur terhadap laju permeasi ditunjukkan oleh persamaan Arrhenius berikut ini:

$$J = J_0 \exp\left(-\frac{E_p}{RT}\right) \quad (2.5)$$

- dengan
- J = Fluks permeasi ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{jam}$)
 - J_0 = Faktor pre-eksponensial fluks permeasi ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{jam}$)
 - E_p = Energi aktivasi permeasi (kJ/mol)
 - R = Konstanta umum gas ($8,3144 \times 10^{-3} \text{ kJ}/\text{mol} \cdot \text{K}$)
 - T = Temperatur operasi (K)

Kenaikan temperatur akan menyebabkan kenaikan laju permeasi dan menurunkan selektivitas membran.

c. Tekanan pada sisi *permeate*

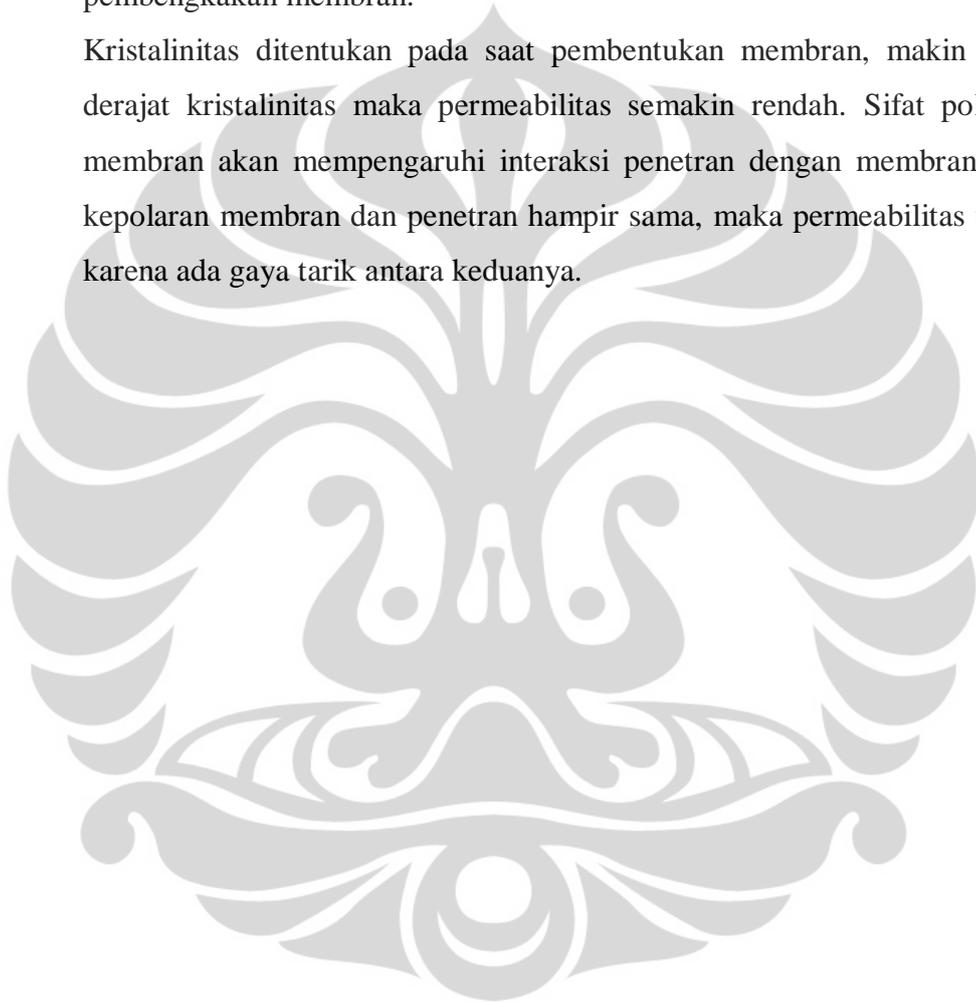
Gaya penggerak dalam pervaporasi adalah adanya perbedaan tekanan yang dihasilkan dengan menggunakan pompa vakum. Penambahan tekanan pada sisi *permeate* akan mengurangi gaya penggerak sehingga menurunkan fluks permeasi.

d. Jenis membran

Jenis membran yang digunakan pada proses pervaporasi juga dapat mempengaruhi laju permeasi dan selektivitas. Ada beberapa jenis membran yang dapat digunakan untuk proses pervaporasi. Pemilihan membran tergantung pada sifat kimia dari campuran larutan yang akan dipisahkan, juga kestabilan membran pada kondisi operasi. Sifat yang mempengaruhi laju permeasi diantaranya adalah sifat fisika dan sifat kimia. Sifat fisika membran yang berpengaruh pada laju permeasi adalah ukuran pori. Semakin besar ukuran pori maka laju permeasinya makin besar.

Sifat kimia membran yang banyak berpengaruh pada laju permeasi adalah sifat hidrofilitas, kristalinitas, dan polaritas. Sifat hidrofilitas merupakan ukuran kemampuan untuk menyerap air. Sifat ini terutama berpengaruh pada mekanisme sorpsi dan difusi. Laju permeasi akan meningkat seiring dengan kenaikan sifat hidrofilitas karena sorpsi yang meningkat karena adanya penyerapan air akan mengakibatkan pembengkakan membran.

Kristalinitas ditentukan pada saat pembentukan membran, makin besar derajat kristalinitas maka permeabilitas semakin rendah. Sifat polaritas membran akan mempengaruhi interaksi penetran dengan membran. Jika kepolaran membran dan penetran hampir sama, maka permeabilitas tinggi karena ada gaya tarik antara keduanya.



BAB 3

METODE PENELITIAN

Pembahasan pada bab ini terbagi menjadi lima bagian utama, yaitu: rancangan penelitian, alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian, prosedur penelitian, preparasi alat yang digunakan dalam penelitian, dan tahapan analisis sampel.

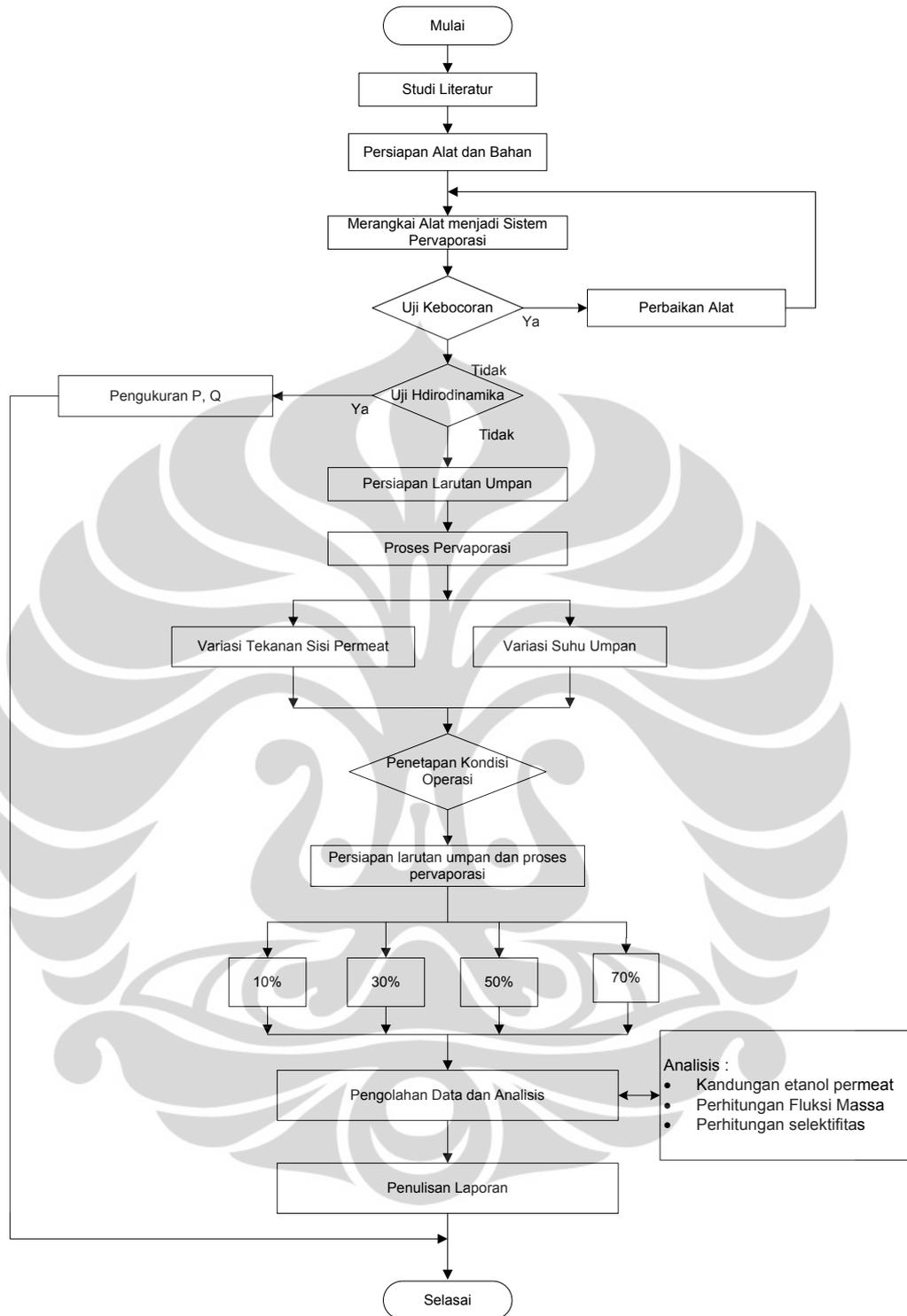
3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini terdiri dari 5 tahap yaitu tahap studi literatur, tahap perangkaian dan uji coba alat, persiapan larutan umpan etanol-air, proses pervaporasi dari campuran etanol-air dan dengan menggunakan membran TFC komersial, serta tahap pengolahan data dan tahap analisis hasil uji proses pervaporasi.

Tahap studi literatur dilakukan dengan mencari dan mempelajari teori pendukung serta referensi mengenai pervaporasi, membran pervaporasi, membran film tipis gabungan (*TFC/Thin Film Composite*) berbahan dasar poliamida, polisulfon, poliester, dan prinsip pemisahan alkohol-air dengan proses pervaporasi baik dari buku, jurnal, maupun artikel.

Penelitian dilanjutkan dengan tahap persiapan alat meliputi perancangan, persiapan komponen, dan perakitan alat. Perancangan alat dilakukan berdasarkan hasil studi literatur mengenai desain alat pervaporasi yang sudah ada. Setelah itu ditentukan komponen-komponen yang diperlukan dalam membuat alat pervaporasi.

Adapun komponen-komponen yang akan digunakan adalah : wadah umpan, pompa sirkulasi, membran TFC komersial, kondensor, erlenmeyer, *pressure gauge*, penangas air, termometer, pompa vakum, termosirkulator, *gate valve*, dan *check valve*. Setiap komponen tersebut kemudian dirangkai berdasarkan detail rancangan yang telah dibuat menjadi suatu rangkaian tertutup yang melewati modul membran TFC. Secara umum rancangan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Skematis Penelitian Pervaporasi

Tahap berikutnya dilakukan uji kinerja alat untuk mengetahui kelayakan dari alat yang sudah dirangkai. Uji awal ini dilakukan untuk memastikan tidak ada kebocoran pada alat.

Tahap selanjutnya adalah persiapan larutan umpan meliputi pembuatan campuran alkohol-air sintesis yang berasal dari etanol yang diencerkan dengan air suling sampai diperoleh konsentrasi etanol yang diinginkan.

Tahap pervaporasi pada penelitian ini diaplikasikan untuk pemurnian campuran alkohol-air yang dilakukan dengan metode eksperimental di laboratorium. Proses pemisahan dilakukan dengan menggunakan membran film tipis gabungan (TFC) komersial berbahan dasar poliamida, polisulfon, poliester. Pada penelitian ini akan dilakukan variasi berupa jenis campuran alkohol-air, konsentrasi umpan, tekanan dan temperatur umpan.

Analisis dan perhitungan yang dilakukan terhadap data hasil percobaan pervaporasi meliputi analisis kandungan alkohol umpan dan permeat. Sedangkan parameter yang diukur untuk mengetahui kinerja membran untuk pemurnian campuran etanol-air dengan metode pervaporasi adalah fluks massa permeat dan selektivitas.

3.2 Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Proses Intensifikasi Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok.

3.3 Peralatan dan Bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini mencakup dua tahapan penelitian, yaitu penelitian pendahuluan dan penelitian utama. Peralatan dan bahan tersebut dibagi menjadi dua bagian yaitu yang akan digunakan untuk penelitian sistem proses pervaporasi dan digunakan untuk analisis hasil penelitian.

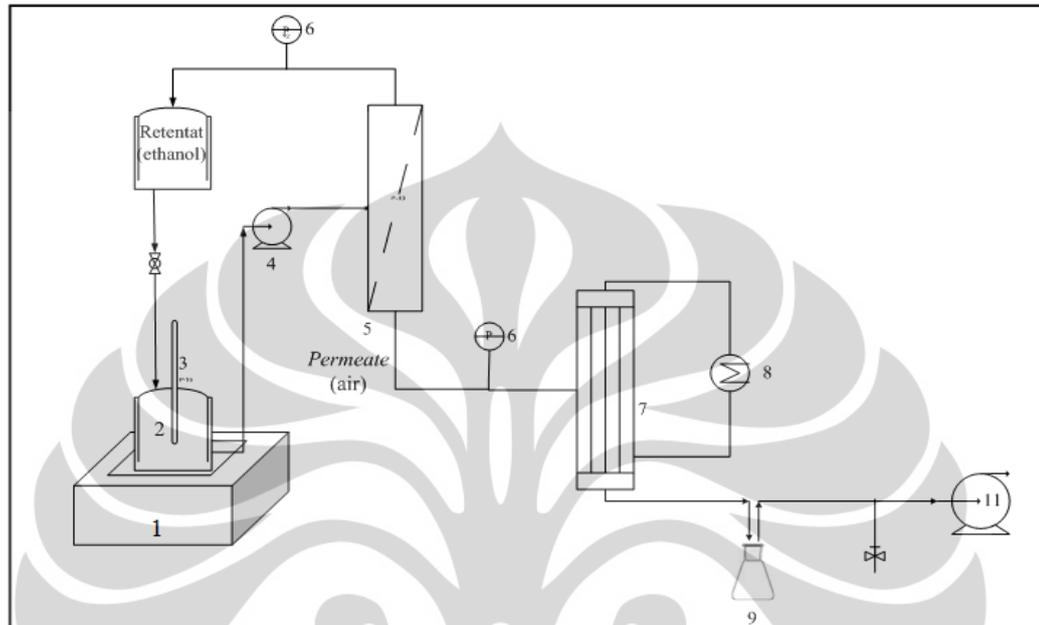
3.3.1. Bahan Penelitian

Bahan kimia yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a. Etanol absolut p.a (pro analis)
- b. Etanol teknis.
- c. Aquades
- d. CoCl_2 .

3.3.2. Alat penelitian

Alat dan instrument yang digunakan dalam penelitian ini disusun menurut skema seperti pada Gambar 3.2 dibawah ini:



Gambar 3.2. Skema Proses Dan Peralatan Pervaporasi Untuk Pemurnian Campuran Etanol-Air.

dengan keterangan alat adalah :

- | | |
|--------------------------|--|
| 1. Penangas Air | 8. Termosirkulator |
| 2. wadah umpan | 9. Erlenmeyer 500 mL untuk wadah <i>permeate</i> |
| 3. Termometer | 10. <i>Gate valve</i> |
| 4. Pompa sirkulasi | 11. Pompa vakum |
| 5. Membran TFC | |
| 6. <i>Pressure gauge</i> | |
| 7. Kondensor | |

Penelitian yang dilakukan adalah proses pervaporasi campuran etanol-air dengan tujuan meningkatkan kadar etanol dalam campuran dibantu dengan vakum pada sisi permeat melalui modul membran TFC komersial. Umpan yang mengandung etanol akan beri perlakuan awal berupa pemanasan dengan suhu yang telah ditentukan dengan penangas air (1) kemudian dialirkan dengan pompa sirkulasi (4) dari wadah umpan (2) melalui membran (5). Aliran yang tertolak

membran (*retentate*) akan disirkulasikan kembali ke wadah umpan. *Permeate* yang telah melewati membran akan dikondensasikan oleh kondensor (7). Gaya penggerak pada percobaan ini dihasilkan oleh pompa vakum (12) pada sisi *permeate*. Temperatur umpan diatur oleh thermostat pada penangas air (1) dan nilai suhu pada umpan dibaca oleh termometer (3). Tekanan pada sisi *permeate* diatur oleh *gate valve* (11).

3.3.3. Deskripsi Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini dirangkai sesuai dengan desain skema proses pervaporasi yang dipilih. Alat yang diperlukan dalam penelitian ini terbagi menjadi dua yaitu:

a. Alat sistem pervaporasi, diantaranya wadah umpan 3400 mL, pompa sirkulasi, membran TFC, kondensor, erlenmeyer 500 mL, *pressure gauge*, penangas air, termometer, pompa vakum, *refrigerated circulator*, *gate valve*, *check valve*, konektor membran, selang silikon, dan selang polimer.

b. Alat analisa hasil pervaporasi diantaranya gelas ukur, labu takar, botol sampel, *stop watch*, alkoholmeter.

Deskripsi lanjut alat yang digunakan dalam penelitian dijelaskan seperti dibawah ini:

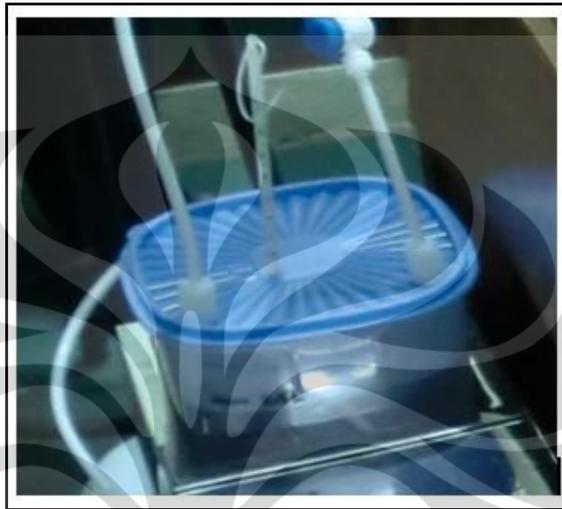
3.3.3.1. Alat Pervaporasi

- a. Penangas Air berfungsi untuk menaikkan temperatur campuran etanol-air sebelum dialirkan kedalam membran. Temperatur pemanasan pada penangas akan disesuaikan dengan temperatur operasi maksimum dari membran dan titik didih alkohol sehingga umpan yang kontak dengan membran dalam bentuk fasa cair. Gambar penangas air yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Penangas Air

- b. Wadah Umpan campuran etanol-air menggunakan container plastik dengan volume 3400 mL. Pada bagian atasnya terdapat lubang yang digunakan sebagai media untuk meletakkan termometer pada bagian tengah wadah yang berfungsi untuk mengendalikan suhu umpan dalam wadah, dengan Gambar seperti dibawah ini



Gambar 3.4 Wadah Umpan

- c. Pompa sirkulasi berfungsi sebagai media pengalir umpan kedalam membran setelah melalui proses pemanasan. Umpan campuran etanol-air akan dialirkan masuk ke dalam membran menggunakan pompa sirkulasi (Gambar 3.5.). Spesifikasi pompa tersebut adalah sebagai berikut:

Tipe	:	Pompa diafragma
Flow	:	0,5 GPM
Voltage	:	24 V DC
Ampere	:	0,6 A
P/F	:	80 PSI/0,75 LPM



Gambar 3.5. Pompa Sirkulasi

- d. *Pressure gauge* (PG) berfungsi untuk mengukur tekanan pompa sirkulasi (0 – 140 psi) dan tekanan yang dihasilkan oleh pompa vakum (0 – 76 cmHg). Gambar alat ini ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6. (a) *Pressure Gauge*; (b) *Vacuum Gauge*

- e. Membran Pervaporasi yang digunakan adalah membran jenis TFC tipe RE70-1812-50GPD dengan bahan dasar poliamida. Membran ini merupakan membran komersial untuk proses osmosis balik (Gambar 3.7). Modul membran berbentuk gulungan spiral (*spiral wound*) dengan ukuran pori sebesar 3 – 5 Å dan bermuatan negatif (dapat menarik ion-ion negatif seperti air). Membran ini biasa digunakan dengan batasan operasi sebagai berikut :
- Tekanan operasi maksimum : 125 psi (0,86 Mpa).
 - Laju alir umpan maksimum : 2 gpm (0,45 m³/hr).
 - Suhu operasi maksimum : 113 °F (45 °C)
 - Batasan pH : 3 – 10.



Gambar 3.7. Membran osmosis balik berbahan dasar poliamida

Campuran etanol-air setelah dinaikkan suhunya dalam penangas air akan dialirkan oleh pompa sirkulasi ke membran TFC dalam fasa cair. Proses pemisahan dalam membran berdasarkan sifat hidrofilik poliamida dan polisulfon, sehingga akan cenderung menarik molekul air dan bersifat selektif terhadap air. Alkohol bersifat kurang polar daripada air, sehingga membran lebih cenderung menarik molekul air daripada alkohol. Hasil pemisahan membran TFC akan terbagi menjadi dua aliran, yaitu *permeate* dan *retentate*. Alkohol adalah produk yang diinginkan akan dikeluarkan sebagai *retentate* sedangkan air sebagai *permeate*.

f. Kondensor

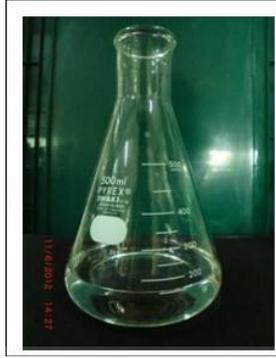
Produk uap hasil pemisahan di membran akan dikondensasi dalam kondensor. Kondensor yang digunakan dalam penelitian ini memiliki dimensi panjang 30 cm dan diameter 5 cm (Gambar 3.8).



Gambar 3.8. Kondensor

g. Erlenmeyer 500 mL.

Erlenmeyer berfungsi sebagai wadah penampung *permeate* berupa air hasil kondensasi. *Permeate* yang ditampung dalam wadah ini sudah siap untuk dianalisa kemurnian dan fluks massanya persatuan waktu. Gambar alat dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9. Erlenmeyer 500 mL

h. Pompa Vakum

Gaya penggerak dalam proses penguapan dihasilkan dari pompa vakum yang dihubungkan dengan bagian *permeate* yaitu kondensor sehingga tekanan uap di sisi *permeate* akan lebih rendah dibandingkan dengan tekanan parsial umpan. Gambar pompa vakum yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.10. dan spesifikasinya adalah sebagai berikut:

Tipe	:	1 stage vacuum pump
Model	:	VE 115
Free Air Displacement	:	1,5 CFM
Ultimate vacuum	:	5 Pa
Kuat Arus	:	220 V/50 Hz
Motor HP	:	1/4 HP
Kapasitas Oli	:	250 mL



Gambar 3.10. Pompa Vakum

i. Refrigerated circulator (Termosirkulator)

Alat ini berfungsi untuk mengalirkan dan mengatur suhu air sirkulasi sebagai media pendingin yang melewati kondensor (Gambar 3.11). Spesifikasi alat pendingin ini adalah sebagai berikut:

Model	:	LCB-R08
Kisaran Temperatur	:	-30 – 90 °C
Voltage	:	220 V/50 Hz
Daya pendinginan	:	1/4 HP
Kapasitas	:	8L



Gambar 3.11. Refrigerated Circulator

- j. Konektor membran dan nipple yang digunakan terbuat dari plastik dengan diameter 0.25 inch sesuai dengan ukuran selang membran yang digunakan. Fungsi kedua alat ini adalah sebagai penghubung antara membran dengan *pressure gauge* dan kondensor. Nipple yang digunakan berbentuk T dan dilengkapi dengan ulir pada tiga sisinya. Gambar alat ini dapat dilihat pada Gambar 3.12.



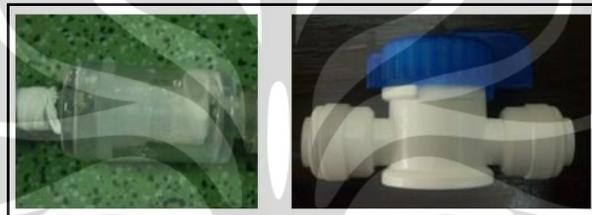
Gambar 3.12. Konektor Membran Dan Nipple

- k. Selang silikon dan selang polikarbonat digunakan dua jenis selang yaitu selang silikon dan polimer (selang membran). Kedua jenis selang dapat dilihat pada gambar 3.13.



Gambar 3.13. Selang silikon dan polimer

1. *Valve* (Kerangan) yang digunakan pada penelitian ini ada dua yaitu *check valve* (Gambar 3.14a.) dan *gate valve* (Gambar 3.14b.).



Gambar 3.14. (a) *check valve*; (b) *gate valve*

Pemasangan *Check valve* berada di antara pompa vakum dan erlenmeyer karena berfungsi untuk menyearahkan laju aliran fluida dan mencegah terjadinya tekanan balik. Sedangkan *gate valve* berfungsi untuk mengatur laju tekanan pompa vakum pada sisi *permeate*.

3.3.3.2. Alat analisa hasil pervaporasi

Alat yang digunakan untuk menganalisis hasil pervaporasi dari penelitian ini adalah jenis alat ukur yang memiliki kemampuan untuk mengetahui kadar etanol dalam campurannya dengan air. Alat ukur yang digunakan adalah alkoholmeter, yaitu suatu alat yang digunakan untuk menentukan kadar alkohol dengan rentang nilai antara 0 – 100%. dengan campurannya berupa air, dimana presentase alkohol yang terukur terbaca dalam % volume dan % berat (Gambar 3.15). Alat ini hanya dapat digunakan untuk campuran yang terdiri dari alkohol murni dan air. Alat ini tidak dapat digunakan untuk mengukur kadar etanol bila terdapat gula, karbohidrat atau bahan lain terdapat dalam air.



Gambar 3.15. Alkoholmeter

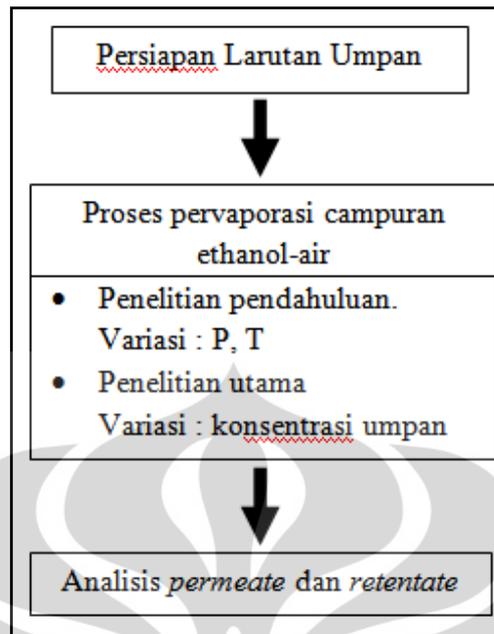
Penggunaan alkoholmeter ini cukup mudah dengan mencelupkannya ke dalam larutan yang akan dianalisa. Apabila pada larutan terdapat alkohol, maka alat ini akan mengembang. Kadar alkohol terlihat dari angka yang ditunjukkan tepat di bawah meniskus permukaan larutan.

Pengukuran sampel dilakukan pada kondisi 20 °C, karena pembacaan alkoholmeter yang sangat sensitif terhadap peningkatan suhu maka nilai suhu dalam sampel campuran etanol-air sangat diperhatikan. Pengukuran dilakukan dalam wadah dengan diameter sekurang-kurangnya 1,5 – 2 cm lebih lebar dari diameter alat, pada kondisi aktual pengukuran dilakukan dalam wadah berupa gelas ukur 100 mL.

3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini dibagi menjadi tiga tahapan. Tahapan tersebut mencakup prosedur tiga tahapan yaitu:

- a. Persiapan larutan umpan,
- b. Proses pervaporasi dengan berbagai variasi parameter yang terdiri dari penelitian pendahuluan dan penelitian utama.
- c. Tahap analisis sampel yang diperoleh dan pengolahan data hasil penelitian.. Tahapan pengerjaan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar skematik dibawah ini:



Gambar 3.16. Tahapan dalam penelitian

Deskripsi lanjut tentang penjabaran prosedur penelitian pada masing-masing tahapan dijelaskan sebagai berikut:

3.4.1 Persiapan Larutan Umpan

Persiapan larutan umpan pada penelitian ini berbeda untuk penelitian pendahuluan dan penelitian utama. Pada penelitian pendahuluan variabel bebas adalah tekanan pada sisi permeal dan suhu umpan, sedangkan pada penelitian utama variabel bebas adalah konsentrasi umpan.dengan prosedur pembuatan larutan sebagai berikut:

3.4.1.1 Penelitian Pendahuluan

- Siapkan larutan umpan etanol dengan cara menimbang cairan etanol dengan menggunakan timbangan dan ditambahkan aquades sehingga diperoleh konsentrasi etanol sekitar 50 %-b
- Masukkan campuran etanol air ke dalam wadah umpan yang telah disiapkan.

3.4.1.2 Penelitian Utama

- Siapkan larutan umpan etanol dengan cara menimbang cairan etanol dengan berat sesuai dengan konsentrasi yang akan diuji. Pada penelitian

utama ini akan dibuat campuran etanol-air dengan 4 variasi konsentrasi berbeda.

- Tambahkan aquades ke dalam masing-masing konsentrasi sehingga didapatkan campuran etanol-air sesuai dengan umpan yang akan digunakan.

3.4.2 Proses Pervaporasi

Proses ini dibagi menjadi 2 tahapan yaitu penelitian pendahuluan dan penelitian utama. Penelitian pendahuluan bertujuan untuk menentukan kondisi operasi yang akan digunakan dalam penelitian utama.

Secara umum prosedur yang dilakukan pada penelitian pendahuluan dan penelitian utama adalah sama, hanya berbeda pada variabel terikat, variabel kontrol dan variabel bebasnya, dengan rangkaian prosedur sebagai berikut:

- a. Siapkan seluruh peralatan dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian
- b. Uji hidrodinamika pada sistem pervaporasi pada saat sistem sedang dijalankan
- c. Proses pervaporasi dilakukan untuk umpan *batch* dalam rangkaian alat yang disusun sesuai Gambar 3.2, dengan menggunakan larutan umpan etanol-air.

- Penelitian Pendahuluan

Pada tahapan ini, dilakukan penelitian untuk menentukan kondisi operasi proses pervaporasi dengan memberikan variasi suhu dan tekanan pada nilai komposisi umpan tetap yaitu dalam kisaran nilai 45 - 50%-b.

Variabel yang ditentukan dalam penelitian pendahuluan adalah:

Variabel bebas : Suhu (35, 39, 44°C) dan tekanan pada sisi pemeat (660, 510, dan 260 mmHga)

Variabel kontrol : Waktu proses, konsentrasi umpan,

Variabel terikat : Kadar alkohol *permeate*, fluks massa, selektivitas.

- Penelitian Utama

Pada tahap ini dilakukan penelitian untuk melihat kinerja membran dengan melakukan variasi terhadap nilai konsentrasi umpan dengan rentang nilai 10 hingga 70%-m menggunakan nilai kondisi operasi yang telah diperoleh dari penelitian pendahuluan dengan lama waktu penelitian selama 30 menit.

Variabel yang ditentukan dalam penelitian utama adalah :

Variabel bebas : Konsentrasi umpan (10, 30, 50, dan 70 %)

Variabel kontrol : P, T, waktu pervaporasi,.

Variabel terikat : Kadar alkohol *permeate*, fluks massa, selektivitas.

- d. Isi wadah umpan dengan campuran etanol-air dengan konsentrasi yang akan diuji sampai volumenya 3400 mL.
- e. Masukkan wadah umpan ke dalam penangas air dan menambahkan campuran air-gliserin ke dalam penangas air.
- f. Atur temperatur pada penangas air pada suhu kondisi operasi yang telah ditetapkan sebesar 39°C.
- g. Alirkan umpan ke dalam modul membran dengan menyalakan pompa sirkulasi dan mengatur tekanan vakum pada sisi *permeate* sesuai dengan yang diinginkan.
- h. Kondensasi produk uap pada kondensor sehingga diperoleh produk dalam fasa cair.
- i. Alirkan retentat kembali ke umpan
- j. Tutup kerangan pada wadah retentat pada waktu 30 detik sebelum proses pervaporasi berakhir.
- k. Ambil sampel dan menganalisa komposisi alkohol pada *permeate* dan umpan dengan alkoholmeter.

3.4.3 Prosedur Analisis dan Interpretasi Data

Analisis meliputi pengukuran kadar alkohol permeat dan retentat dengan menggunakan alkoholmeter dan kromatografi gas, sedangkan perhitungan yang

dilakukan terhadap data hasil percobaan terdiri dari penentuan fluks massa permeat dan selektivitas membran.

3.4.3.1 Prosedur Analisis kandungan alkohol

a. Alkoholmeter

- Kalibrasi alkoholmeter dengan membuat larutan standar alkohol konsentrasi 1 – 100 %-b.
- Tuangkan sampel kedalam gelas ukur dengan dengan diameter sekurang-kurangnya 1,5 – 2 cm lebih lebar dari diameter alat.
- Ukur sampel pada kondisi suhu 20 °C.
- Celupkan alat kedalam sampel. Apabila pada larutan terdapat alkohol, maka alat ini akan mengembang.
- Baca nilai kadar alkohol dari angka yang terlihat tepat di bawah meniskus permukaan larutan.
- Catat nilai hasil pembacaan
- Keringkan kembali alkoholmeter setelah digunakan.

3.4.3.2 Persamaan-Persamaan Untuk Pengolahan Data

Untuk mengetahui kinerja membran TFC dalam percobaan ini, diperlukan beberapa persamaan yaitu:

- a. Fluks Massa Permeat adalah jumlah penetran yang dapat melewati membran permeabel per satuan luas penampang per satuan waktu. Data massa permeat diperoleh dari pengukuran selama selang waktu tertentu. Fluks massa dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$J = \frac{1}{A} \left(\frac{dm}{dt} \right) \quad (3.3)$$

dengan keterangan:

J = fluks (kg/m².jam)

A= luas penampang membran (m²)

t = waktu pengambilan sampel (min)

Nilai dm/dt diperoleh dari kemiringan (*slope*) kurva hubungan massa permeat (m) terhadap waktu (t) pervaporasi pada keadaan tunak.

- b. Selektivitas dapat diperoleh dengan uji kromatografi gas. Sampel yang diuji adalah komposisi umpan alkohol-air yang digunakan dan komposisi permeat yang diperoleh pada akhir pervaporasi. Parameter yang diukur faktor pemisahan (α).

Faktor pemisahan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\alpha_{A/B} = \frac{(y_A/y_B)_{\text{permeat}}}{(x_A/x_B)_{\text{umpan}}} \quad (3.4)$$

dengan : y_A = Fraksi komponen uap air

y_B = Fraksi komponen uap etanol

x_A = Fraksi komponen cairan air

x_B = Fraksi komponen cairan etanol

Nilai selektivitas α akan lebih besar dari satu. Jika laju permeasi komponen A yang melalui membran lebih besar dari komponen B, maka faktor pemisahan dituliskan sebagai $\alpha_{A/B}$. Sebaliknya jika laju permeasi komponen B lebih besar, maka faktor separasi ditulis sebagai $\alpha_{B/A}$. Jika $\alpha_{A/B} = \alpha_{B/A} = 1$, berarti tidak terjadi pemisahan oleh membran.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisi tentang hasil penelitian, data yang diperoleh, pengolahan data dan pembahasan hasil penelitian yang telah dilakukan. Tahapan penelitian yang dilakukan terdiri dari dua tahap seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, yaitu penelitian pendahuluan yang bertujuan untuk mencari kondisi operasi dan penelitian utama yang bertujuan untuk mengamati hasil dari proses pervaporasi dengan adanya perbedaan konsentrasi pada umpan. Masing-masing penjelasan akan dijabarkan pada paragraf-paragraf dibawah ini.

4.1 Penelitian pendahuluan

Penelitian pendahuluan bertujuan untuk mengetahui kondisi operasi optimal dari proses pervaporasi yang akan digunakan pada penelitian utama. Penelitian pendahuluan ini dapat disebut juga penelitian penentuan kondisi operasi. Pada tahap ini perlu diketahui pengaruh parameter seperti suhu umpan dan tekanan pada sisi permeat pada proses pervaporasi. Variabel terikat pada penelitian ini adalah konsentrasi awal umpan yang telah ditetapkan dengan kisaran nilai 45 – 50%-b. Variasi kondisi operasi berupa variasi suhu umpan dengan nilai suhu 35 sampai 44°C dan variasi tekanan pada sisi permeat pada 260, 510, 660 mmHga.

Dari data hasil penelitian akan dapat diamati pengaruh variasi suhu umpan dan tekanan pada sisi permeat pada setiap parameter yang diuji, yang hasilnya akan digunakan sebagai kondisi operasi pada proses pervaporasi dipenelitian utama. Pengaruh variasi tersebut terhadap proses pervaporasi yang dijabarkan sebagai berikut.

4.1.1 Pengaruh Tekanan Sisi Permeat

Pada proses pemisahan etanol-air dengan metode pervaporasi, terjadinya pemisahan dipengaruhi salah satunya oleh tekanan pada sisi permeat. Perbedaan tekanan uap diantara kedua sisi membran merupakan gaya penggerak terjadinya difusi komponen melalui membran. Pada kondisi dimana tekanan sisi permeat

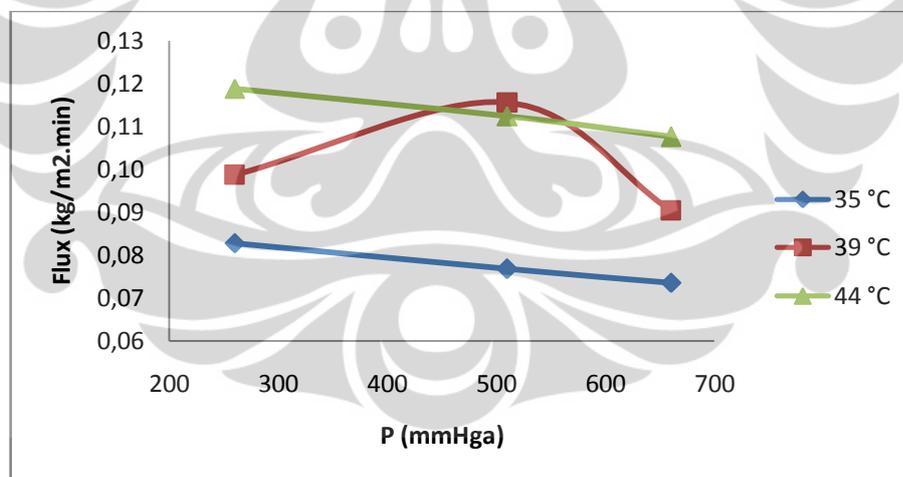
sama dengan tekanan jenuh komponen yang berpermeasi, gradien aktivitasnya menjadi nol dan akan terjadi penurunan fluks secara tajam.

4.1.1.1 Pengaruh Tekanan Sisi Permeat Terhadap Fluks

Fluks massa adalah jumlah penetran yang dapat melewati membran permeabel per satuan luas penampang per satuan waktu. Data massa permeat diperoleh dari pengukuran selama selang waktu tertentu. Nilai fluks dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.3 dibawah ini (Contoh perhitungan dapat dilihat pada lampiran 2):

$$J = \frac{1}{A} \left(\frac{dm}{dt} \right) \quad (3.3)$$

Peningkatan tekanan pada sisi permeat akan berpengaruh terhadap fluks air dan rejeksi etanol dari membran RO. Dalam penelitian ini air dari umpan dipaksa untuk melalui membran dan pada sisi permeat akan diperoleh air bebas etanol. Air akan menembus membran sedangkan etanol akan tertolak oleh membran dan mengalir keluar sebagai retentat.



Gambar 4.1 Profil Pengaruh Tekanan Permeat Terhadap Fluks

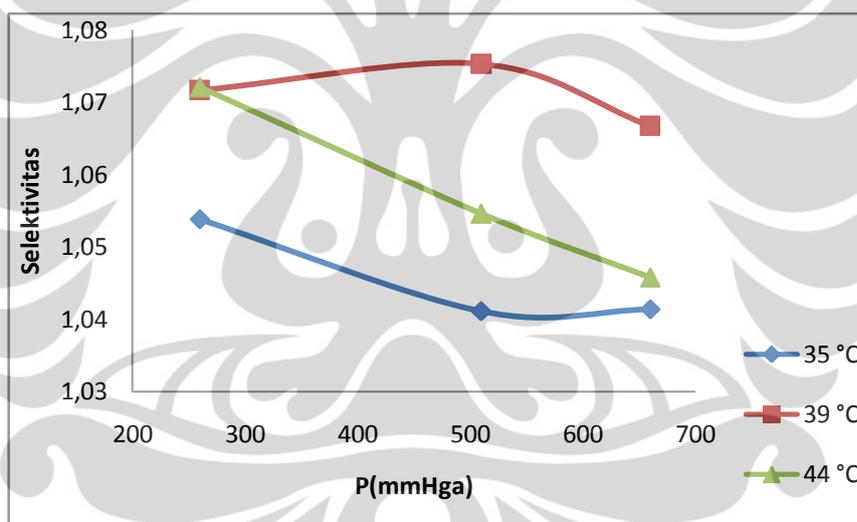
Perubahan fluks dapat terjadi pada setiap waktu dengan adanya perbedaan tekanan pada sisi permeat dan temperatur pada umpan.

Pada Gambar 4.1. dapat dilihat bahwa nilai fluks akan mengalami penurunan seiring meningkatnya nilai tekanan pada sisi permeat. Karena pervaporasi bekerja dengan cara menurunkan tekanan pada sisi permeat, maka

kenaikan tekanan uap pada sisi permeal mengakibatkan terjadinya penurunan laju permeasi. Dari hasil pengolahan data diperoleh nilai fluks tertinggi pada tekanan 260 mmHg sebesar $0,1188 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}$ dan kedua tertinggi pada tekanan sisi permeal 510 mmHg sebesar $0,1156 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}$.

4.1.1.2 Pengaruh Tekanan Sisi Permeal Terhadap selektivitas

Besarnya derajat pemisahan dari proses pervaporasi ditentukan oleh nilai selektivitas. Semakin besar nilai selektivitas dapat diartikan bahwa proses pervaporasi ini semakin selektif dan makin baik dalam memisahkan etanol-air. Pada gambar 4.2 dapat dilihat bahwa semakin rendah nilai tekanan pada sisi permeal, maka akan dihasilkan nilai selektivitas yang semakin baik. Walaupun pada pemisahan etanol nilai selektivitas yang diperoleh masih relatif kecil berkisar nilai 1.



Gambar 4.2 Profil Pengaruh Tekanan Permeal Terhadap Selektivitas

Pada tekanan sisi permeal yang tinggi (mendekati tekanan uap parsial air), perbedaan volatilitas komponen merupakan faktor yang menentukan proses pemisahan. Konsekuensinya adalah penurunan fluks dan konsentrasi air di permeal sebagai akibat penurunan selektivitas dan peningkatan konsentrasi etanol. Untuk menghindari fenomena tersebut, tekanan pada sisi permeal harus dipertahankan cukup rendah sehingga memungkinkan terjadinya pemisahan yang

efektif dan efisien dengan tetap memperhatikan aspek ekonomi karena operasi pada tekanan yang sangat rendah juga meningkatkan biaya operasinya.

Dari hasil pengolahan data diperoleh nilai selektivitas tertinggi diperoleh pada kondisi 510 mmHg sebesar 1,075.

Faktor yang sangat mempengaruhi hal tersebut adalah nilai tekanan uap air yang jauh lebih rendah dibandingkan etanol sehingga peningkatan tekanan sisi permeal memberikan efek yang lebih signifikan terhadap penurunan fluks air (Widodo, 2004).

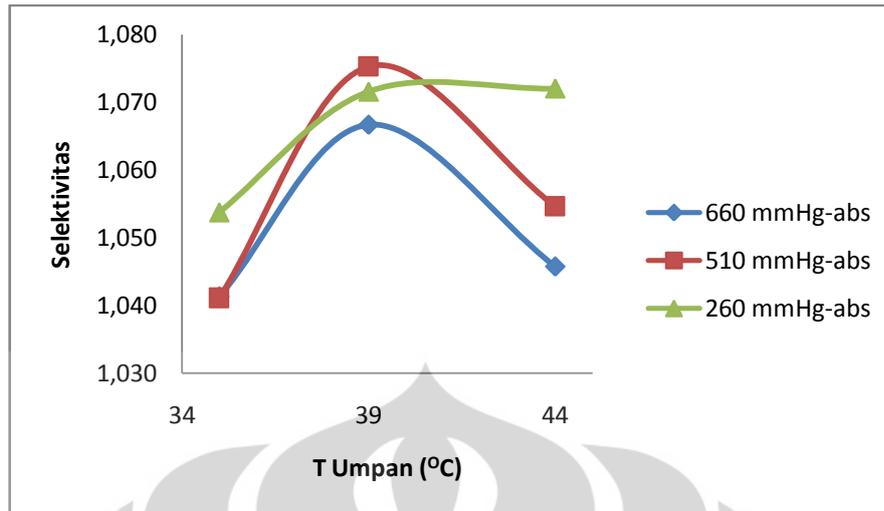
Hal yang berkaitan dengan fenomena ini adalah proses evaporasi pada sisi permeal. Dalam pervaporasi, evaporasi berlangsung lebih cepat daripada pelarutan dan difusi melalui membran (Widodo, 2004). Peningkatan tekanan pada sisi permeal akan menurunkan laju evaporasi sehingga gradien konsentrasi air di antara kedua sisi membran menjadi kecil. Fenomena yang berbeda terjadi pada etanol, dimana kenaikan tekanan tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap fluks etanol karena tekanan uap etanol jauh lebih tinggi dibandingkan air (Widodo, 2004).

4.1.2 Pengaruh Suhu Umpan

Dengan meningkatnya suhu umpan, laju permeasi menjadi semakin meningkat, sedangkan faktor pemisahannya semakin berkurang. Dengan meningkatnya suhu pada proses pervaporasi tingkat difusi molekul yang dapat menyerap, sehingga laju permeasi total menjadi lebih tinggi dan faktor pemisahannya menjadi lebih rendah. Untuk mengkaji pengaruh temperatur umpan, percobaan dilakukan dengan memvariasikan temperatur umpan dalam rentang 35 sampai 44 °C dan tekanan sisi permeal 660, 510, 260 mmHg.

4.1.2.1 Pengaruh Suhu Umpan Terhadap Selektivitas

Dalam penelitian yang dilakukan penelitian pendahuluan dengan tujuan mengetahui kondisi operasi yang akan digunakan dalam penelitian utama. Dengan rentang variasi suhu dari 35 hingga 44 °C dipilih variasi suhu pada 35, 39 dan 44°C.

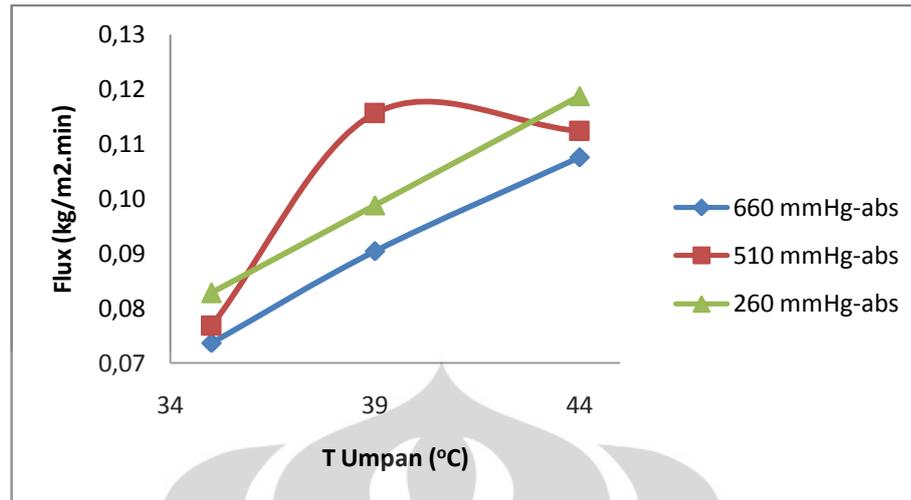


Gambar 4.3 Profil Pengaruh Suhu Umpan Terhadap Selektivitas

Dari gambar diatas dapat terlihat profil pengaruh suhu umpan terhadap nilai selektivitas, dimana nilai selektivitas akan meningkat dengan kenaikan suhu, akan tetapi setelah mencapai nilai suhu 39°C terjadi penurunan nilai selektivitas. Hal ini dapat disebabkan membran telah melewati kondisi suhu *glassy* yang dapat merubah sifat membran yang plastis menjadi *rubbery*, yang mengakibatkan pori membran menjadi besar, sehingga banyak molekul etanol yang dapat lolos melewati membran menuju permeat. Perubahan sifat membran ini pula yang akan menurunkan selektivitas membran menjadi lebih kecil pada suhu lebih tinggi dari suhu *glassy*-nya.

4.1.2.2 Pengaruh Suhu Umpan Terhadap Fluks Permeat

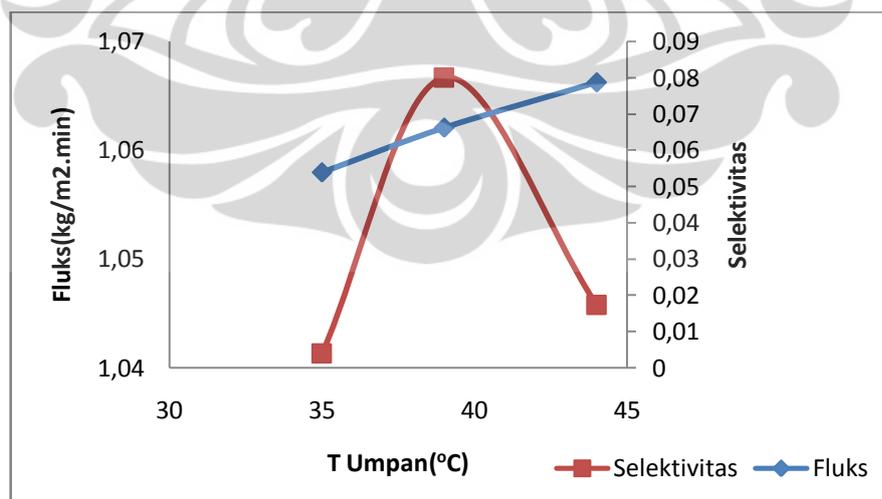
Berbanding terbalik dengan pengaruh tekanan sisi permeat pada nilai fluks, peningkatan suhu umpan akan meningkatkan nilai fluks. Seperti dapat dilihat pada gambar dibawah ini, bahwa dengan kenaikan suhu pada umpan, maka nilai fluks juga semakin besar.



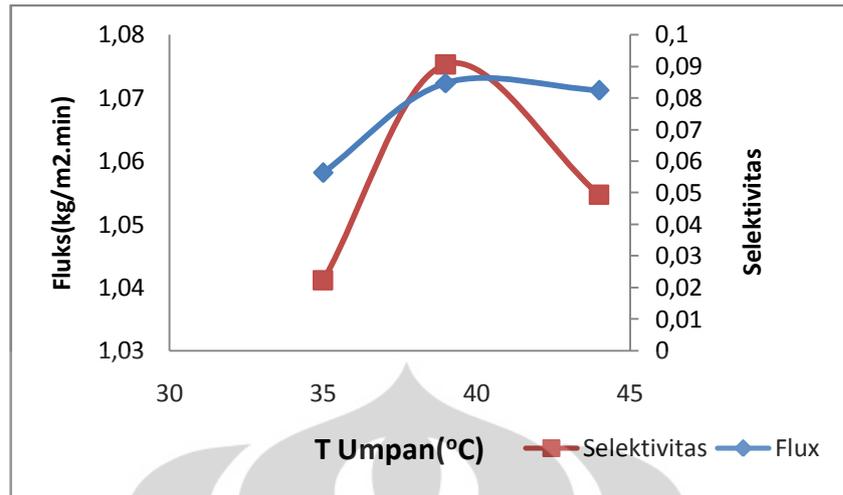
Gambar 4.4 Profil Pengaruh Suhu Umpan Terhadap Fluks

Kenaikan temperatur menyebabkan peningkatan gaya penggerak perpindahan massa dan meningkatkan gerakan termal. Hasil profil di atas dapat diamati bahwa pada suhu 39°C dan tekanan 510 mmHg abs nilai fluks yang diperoleh relatif lebih tinggi jika dibandingkan dengan tekanan lain pada kondisi yang sama. Hal ini mungkin disebabkan membran yang digunakan sudah jenuh oleh air, sehingga banyak molekul etanol yang terlarut dalam air terikut lolos melalui membran.

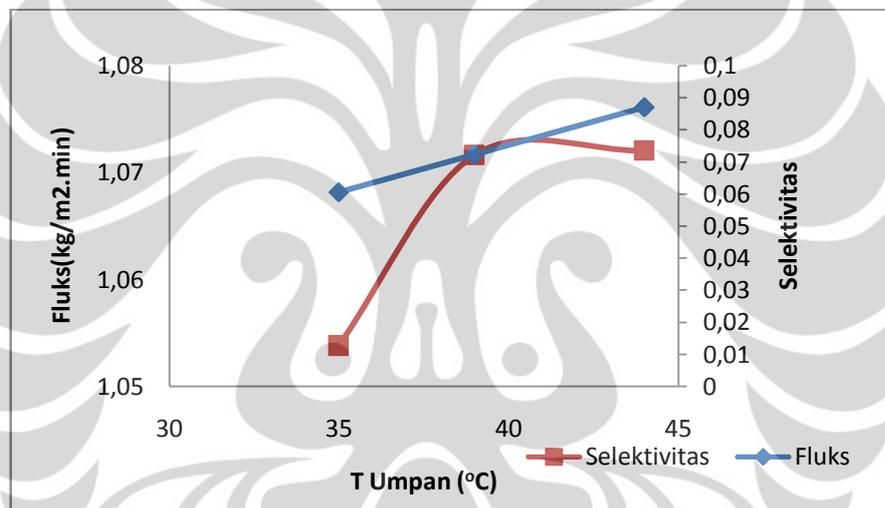
4.1.2.3 Pengaruh Suhu Umpan Terhadap Fluks Permeat dan Selektivitas



Gambar 4.5 Profil Pengaruh Suhu Umpan Terhadap Fluks dan Selektivitas Pada 660mmHg abs



Gambar 4.6 Profil Pengaruh Suhu Umpan Terhadap Fluks dan Selektivitas Pada 510mmHga



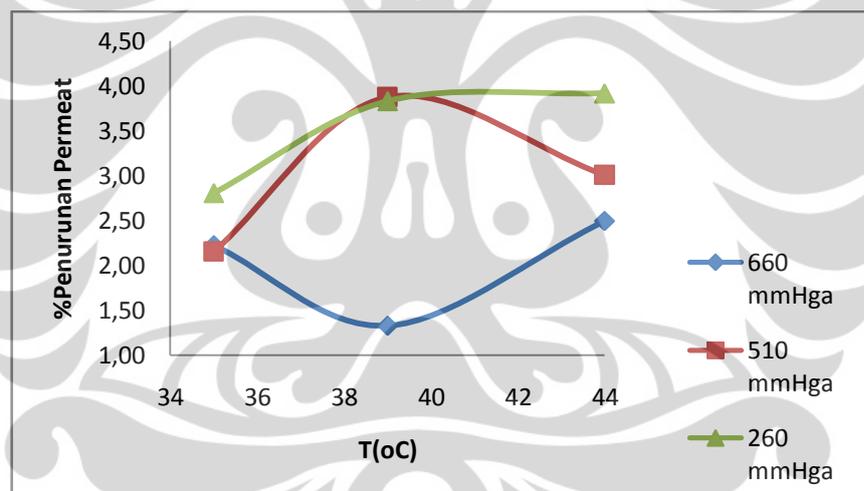
Gambar 4.7 Profil Pengaruh Suhu Umpan Terhadap Fluks dan Selektivitas Pada 260mmHga

Dari profil diatas untuk masing masing tekanan, dapat dilihat bahwa profil fluks permeal relatif meningkat pada tiap waktunya, akan tetapi untuk profil selektivitas pada titik tertentu akan mengalami penurunan. Hal ini dapat terjadi karena ketika membran beroperasi mendekati suhu *glassy*-nya akan menyebabkan pori-pori membran semakin besar, pembesaran pori tersebut akan meningkatkan nilai fluks permeal yang dihasilkan. Sedangkan nilai selektivitas dari membran akan menurun dengan pembesaran pori tersebut, hal ini dapat terjadi karena semakin besar ukuran pori membran akan membuat molekul etanol yang dapat menembus membran semakin banyak, sehingga menurunkan nilai selektivitas dari membran.

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar, semakin tinggi temperatur umpan, nilai fluks mengalami peningkatan tetapi selektivitas proses menurun. Peningkatan tekanan uap dan permeabilitas membran karena pengaruh temperatur menyebabkan kenaikan fluks dan penurunan selektivitas secara signifikan. Penurunan selektivitas tersebut terlihat dari konsentrasi air dalam permeat yang semakin menurun seiring kenaikan temperatur.

4.1.2.4 Pengaruh Suhu Umpan Terhadap Penurunan Etanol Permeat

Terjadinya penurunan konsentrasi etanol pada aliran permeat membuktikan bahwa terjadinya proses pemisahan pada membran. Dimana pada sisi permeat membran akan meloloskan uap air dan menolak etanol. Sehingga etanol yang tertolak akan mengalir pada bagian sisi luar membran sebagai retentat.



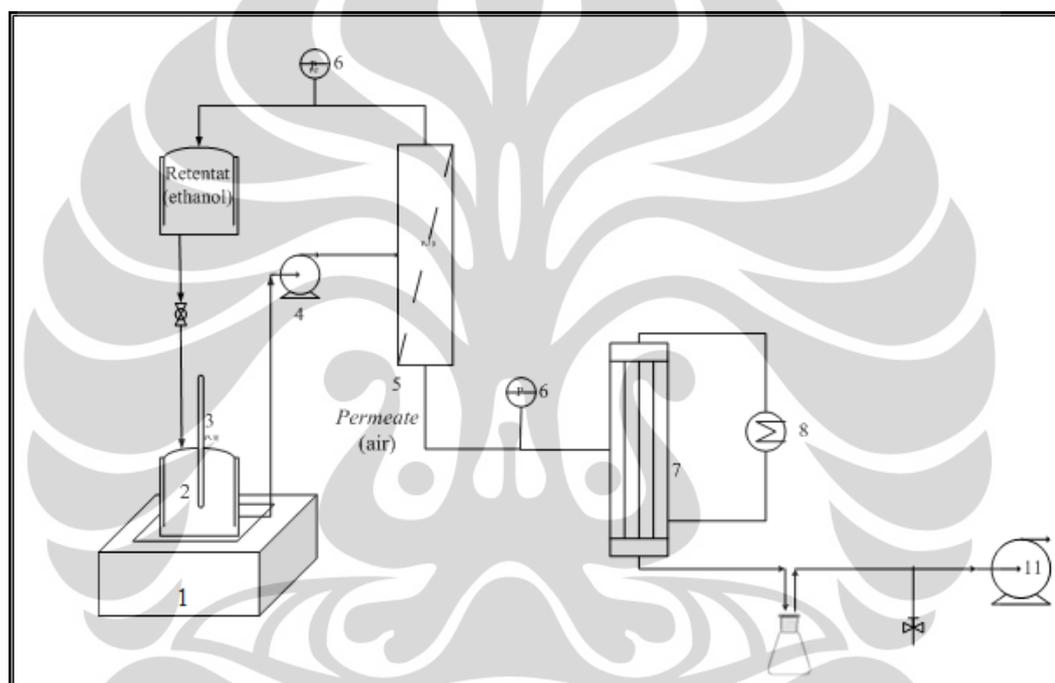
Gambar 4.8 Profil Pengaruh Suhu Umpan Terhadap Penurunan Etanol Permeat

Dari profil dibawah ini, dapat dilihat bahwa pada tekanan 260 dan 510 mmHg penurunan konsentrasi etanol pada permeat semakin meningkat hingga mencapai kondisi umpan 39°C. Setelah kondisi 39°C akan terjadi penurunan nilai dan akan menurun dengan kenaikan suhu menuju 44°C. Hal ini dapat disebabkan membran yang digunakan telah mengembang yang berakibat pada membesarnya pori membran, sehingga banyaknya molekul etanol yang harusnya tertahan oleh membran ikut lolos melalui pori membran. Akan tetapi pada tekanan 660mmHg penurunan permeat relatif kecil terjadi pada suhu 39 dan kembali meningkat pada

suhu 44°C, nilai tersebut dapat terjadi karena membran belum stabil saat melakukan proses pervaporasi.

4.1.3 Modifikasi sistem pervaporasi

Modifikasi sistem pervaporasi pada penelitian ini dilakukan dengan dua rancangan berbeda, pada skema sistem pertama aliran retentat akan dikembalikan ke umpan. Skema rancangan sistem pervaporasi dapat dilihat pada Gambar 4.9 di bawah ini:

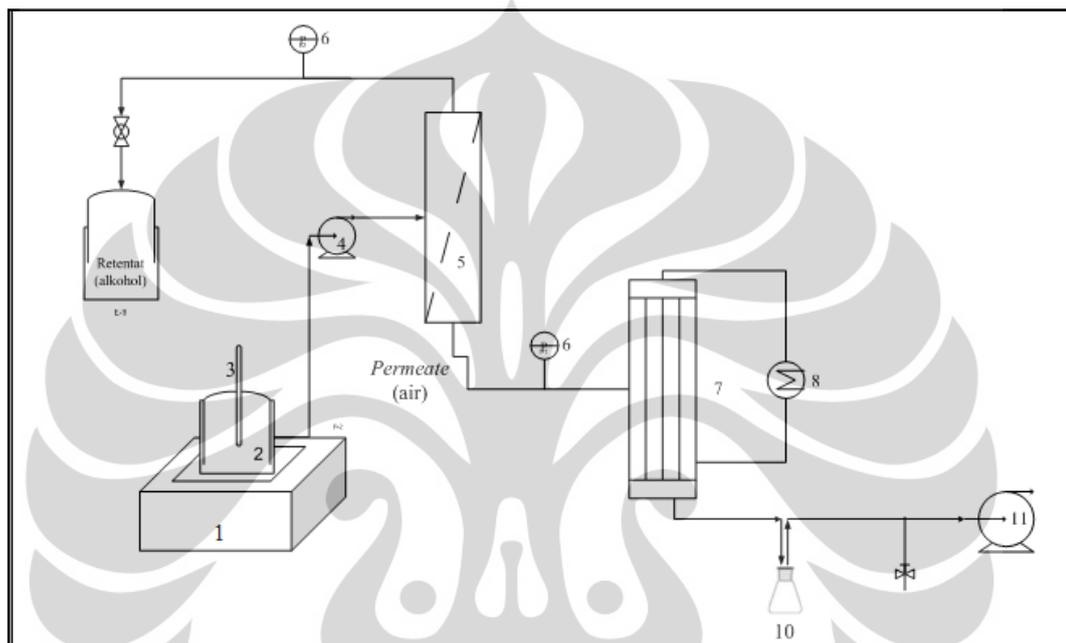


Gambar 4.9 Skema Alat dan Proses Pervaporasi Rancangan 1

dengan keterangan alat adalah :

- | | |
|--------------------------|--|
| 1. Penangas Air | 8. Termosirkulator |
| 2. wadah umpan | 9. Erlenmeyer 500 mL untuk wadah <i>permeate</i> |
| 3. Termometer | 10. <i>Gate valve</i> |
| 4. Pompa sirkulasi | 11. Pompa vakum |
| 5. Membran TFC | |
| 6. <i>Pressure gauge</i> | |
| 7. Kondensor | |

Pada penelitian dicoba lakukan modifikasi sistem rancangan 2, dimana pada modifikasi sistem ini aliran retentat tidak dikembalikan ke dalam umpan, tetapi keluaran laju alir retentat diatur dengan menggunakan gate valve (kerangan). Dengan modifikasi sistem ini tidak ada pengembalian kembali aliran dalam umpan. Rancangan sistem alat pervaporasi kedua dapat dilihat pada skema dibawah ini:



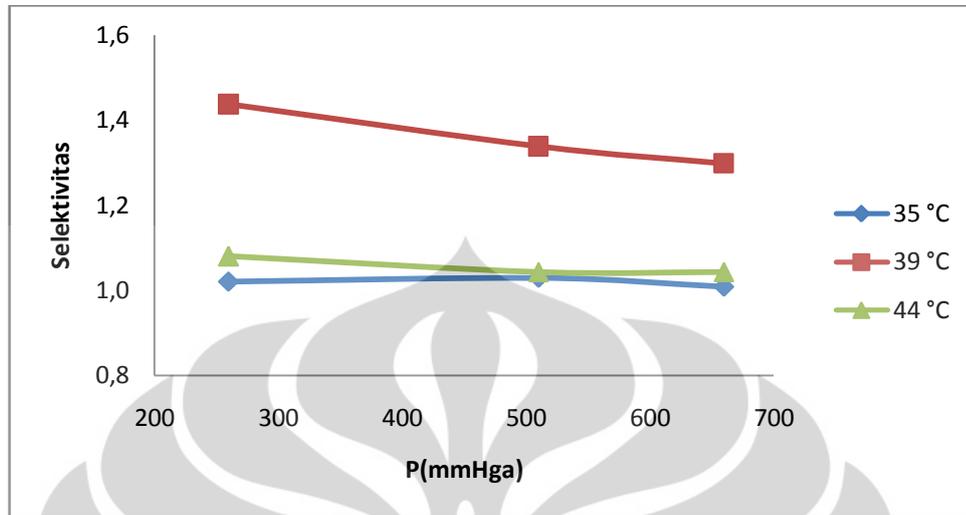
Gambar 4.10 Skema Alat dan Proses Pervaporasi Perancangan 2

dengan keterangan alat adalah :

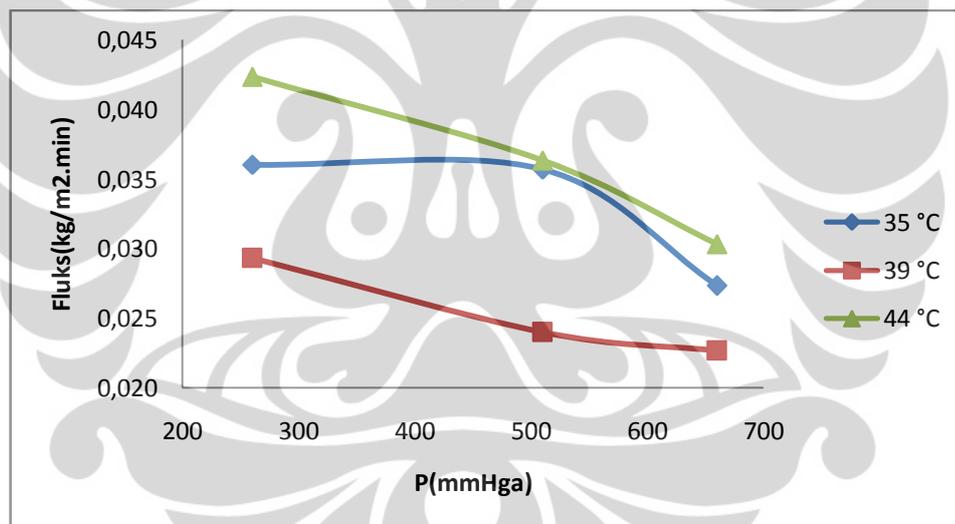
- | | |
|--------------------------|--|
| 1. Penangas Air | 8. Termosirkulator |
| 2. wadah umpan | 9. Erlenmeyer 500 mL untuk wadah <i>permeate</i> |
| 3. Termometer | 10. <i>Gate valve</i> |
| 4. Pompa sirkulasi | 11. Pompa vakum |
| 5. Membran TFC | |
| 6. <i>Pressure gauge</i> | |
| 7. Kondensor | |

Dalam penelitian pemisahan campuran etanol-air dilakukan modifikasi sistem pemurnian, didapatkan data modifikasi ini untuk memperoleh nilai persen kenaikan yang relatif lebih besar. Dari modifikasi sistem tersebut, maka untuk

penelitian utama digunakan modifikasi sistem pada gambar 4.1 (Sistem rancangan 1).



Gambar 4.11 Profil Tekanan Terhadap Selektivitas Sistem 2



Gambar 4.12 Profil Tekanan Terhadap Fluks Sistem 2

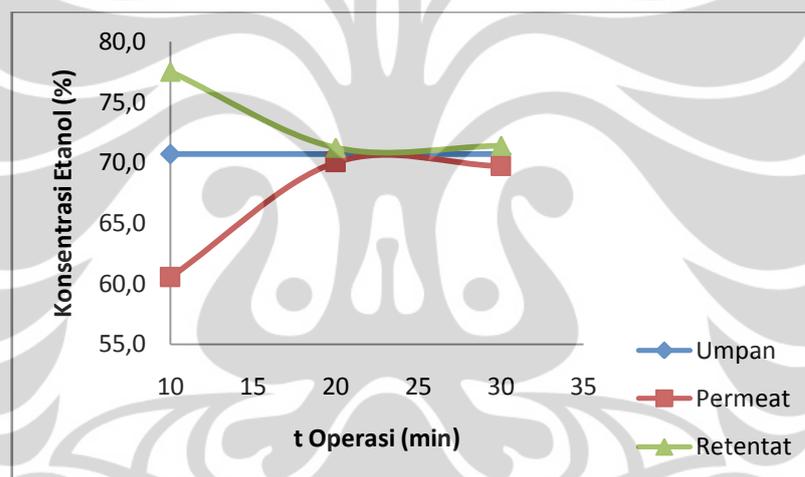
Dari data kedua modifikasi tersebut, dapat diamati bahwa dengan sistem 2 nilai fluks yang dihasilkan relatif lebih kecil jika dibandingkan dengan sistem 1. Hasil nilai selektivitas pada sistem 2 masih berada pada rentang nilai 1, walaupun hasil tersebut sedikit lebih besar jika dibandingkan dengan hasil selektivitas sistem 1. Sehingga dari hasil analisis tersebut sistem yang dipilih untuk proses penguap pada penelitian utama adalah sistem 1.

4.2 Penelitian Utama

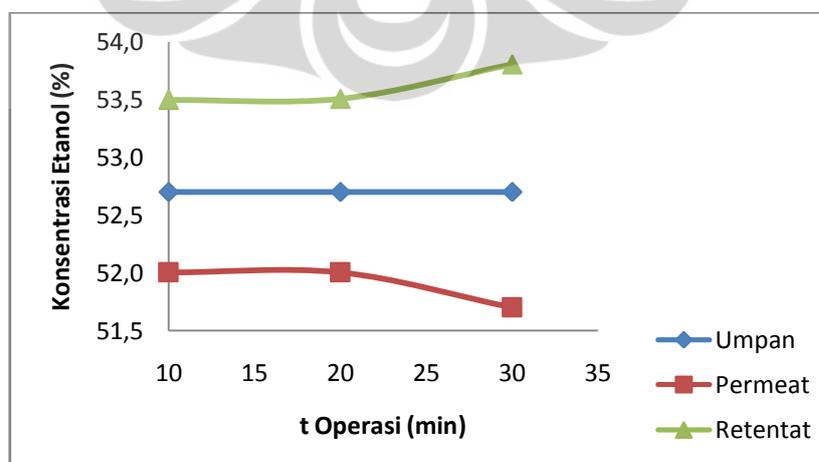
Penelitian utama proses pervaporasi dilakukan dengan menggunakan kondisi operasi yang telah diperoleh dari penelitian pendahuluan. Kondisi ini dipilih berdasarkan nilai optimal dari selektivitas dan nilai fluks pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

4.2.1 Pengaruh Waktu Operasi Terhadap Konsentrasi

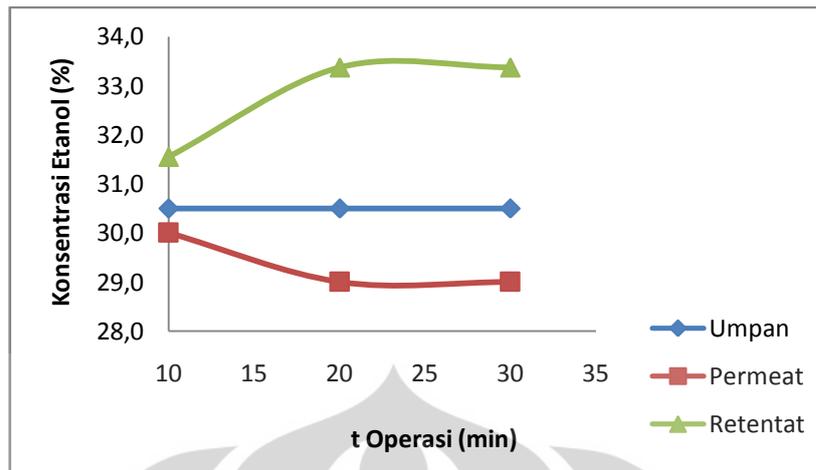
Waktu operasi akan berpengaruh terhadap nilai konsentrasi. Semakin lama waktu operasi, diharapkan nilai konsentrasi permeat akan semakin kecil, dan konsentrasi retentat akan semakin besar. Hal ini disebabkan dengan semakin lamanya waktu operasi maka jumlah air melewati membran akan semakin banyak, sehingga kandungan air didalam umpan semakin kecil.



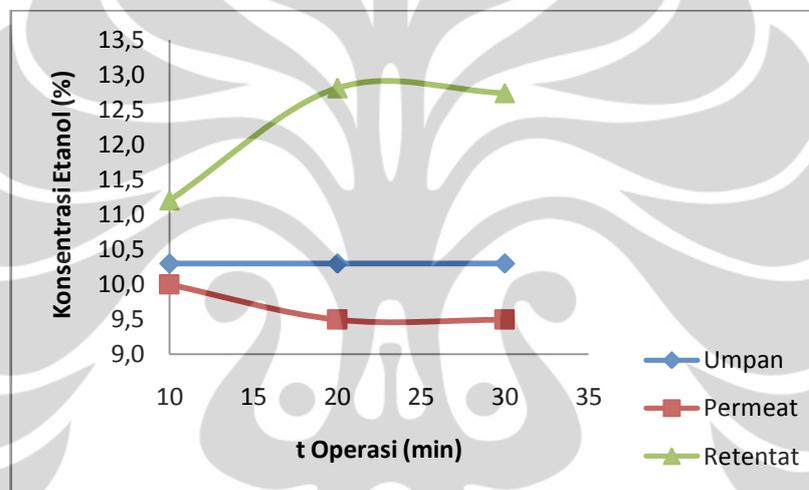
Gambar 4.13 Profil Waktu Operasi Terhadap Konsentrasi Pada Konsentrasi Umpan 70%



Gambar 4.14 Profil Waktu Operasi Terhadap Konsentrasi Pada Konsentrasi Umpan 50%



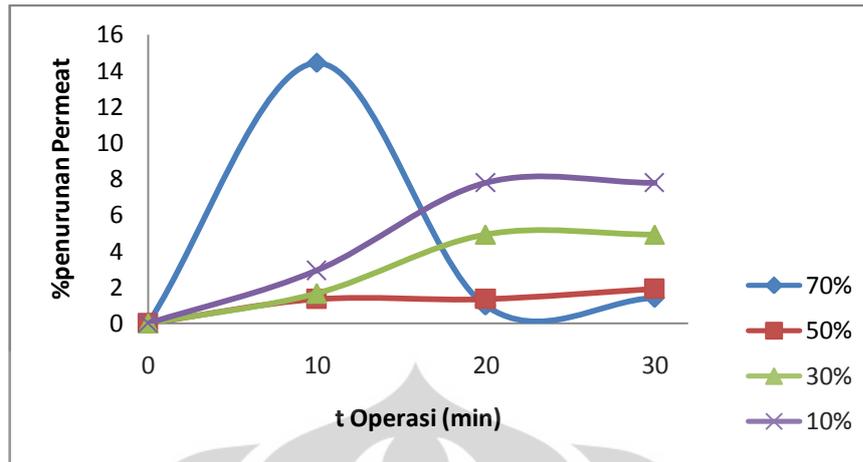
Gambar 4.15 Profil Waktu Operasi Terhadap Konsentrasi Pada Konsentrasi Umpan 30%



Gambar 4.16 Profil Waktu Operasi Terhadap Konsentrasi Pada Konsentrasi Umpan 10%

Dari profil aliran diatas dapat dilihat bahwa nilai konsentrasi permeat menurun terhadap konsentrasi umpan dan retentat. Dari data tersebut dapat dikatakan bahwa pada membran terjadi proses pemisahan campuran etanol-air. Pada konsentrasi semakin tinggi, pemisahan yang terjadi akan semakin sulit, hal ini dapat terjadi karena pada konsentrasi tinggi ikatan antar molekul etanol semakin kuat, sehingga pada suhu operasi 39°C belum cukup untuk dapat memisahkan molekul etanol dan air akan semakin sulit.

Penurunan nilai konsentrasi permeat berbeda-beda pada tiap konsentrasi. Penurunan Konsentrasi pada permeat dapat dilihat pada profil di bawah ini



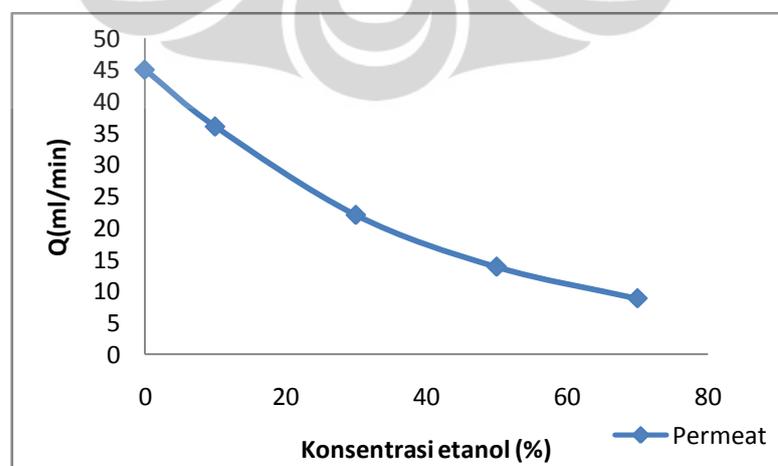
Gambar 4.17 Profil Waktu Operasi Terhadap Penurunan Konsentrasi Permeat

Penurunan konsentrasi terbesar dimiliki oleh konsentrasi umpan 70% dengan penurunan sebesar 14,4 % pada waktu operasi 10 menit. Setelah waktu operasi 10 menit, terjadi penurunan dan pada menit ke-20 kembali terjadi peningkatan walaupun tidak sebesar penurunan diawal.

Penurunan konsentrasi permeat pada konsentrasi umpan 10, 30, dan 50 % akan terus meningkat hingga waktu operasi 20 menit, dan setelah waktu operasi itu, penurunan akan menjadi relatif stabil.

4.2.2 Pengaruh Konsentrasi Etanol Terhadap Laju Alir Permeat

Nilai konsentrasi umpan pada awal proses akan mempengaruhi nilai laju alir permeat. Nilai ini menunjukkan jumlah produk permeat yang berhasil melewati membran persatuan waktu.



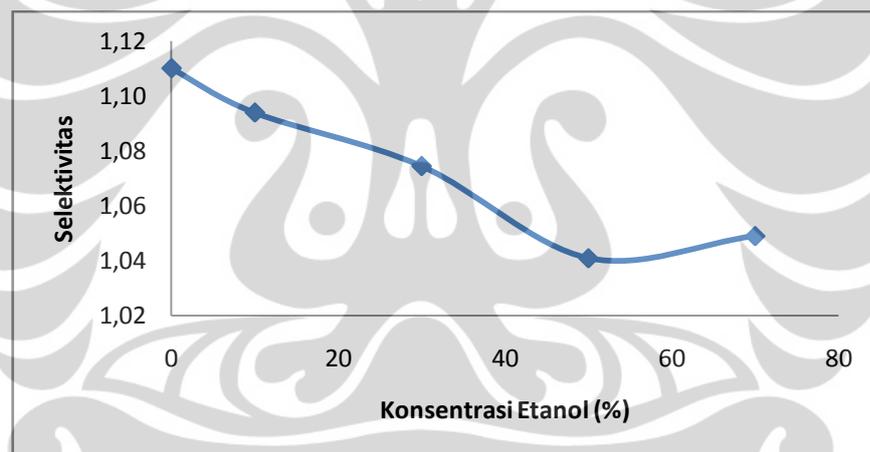
Gambar 4.18 Profil Konsentrasi Umpan Terhadap Laju Alir

Dari Gambar 4.18 di atas ini dilihat hubungan konsentrasi umpan berbanding terbalik dengan nilai laju alir di permeat. Semakin tinggi nilai konsentrasi umpan maka laju alir pada sisi permeate akan semakin besar.

Hal ini dapat terjadi karena semakin rendah nilai konsentrasi etanol umpan maka kandungan molekul air dalam umpan semakin banyak dibandingkan dengan molekul etanol, sehingga jumlah molekul air yang dapat menembus membran semakin besar, yang akan meningkatkan laju alir pada sisi. Nilai laju alir permeat untuk konsentrasi etanol pada umpan sebesar 10% adalah 36 ml/min dan untuk konsentrasi etanol tertinggi senilai 70% adalah sebesar 8,8 ml/min.

4.2.3 Pengaruh Konsentrasi Terhadap Selektivitas

Nilai selektivitas dapat pula dipengaruhi oleh konsentrasi, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.19 .

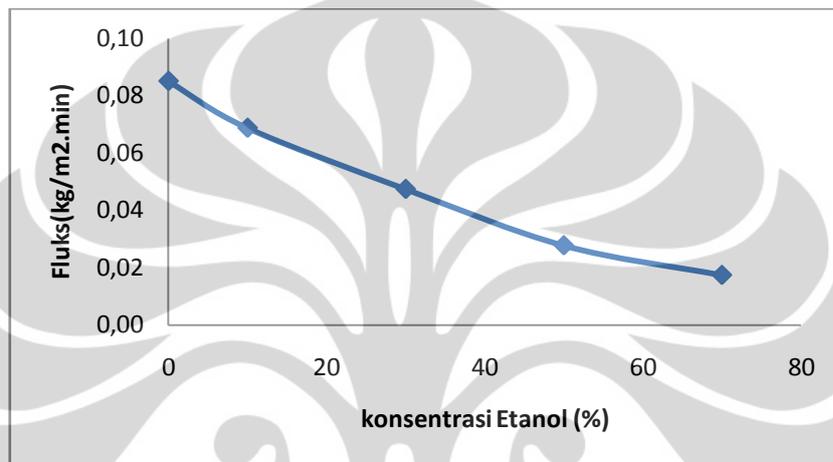


Gambar 4.19 Profil Konsentrasi Umpan terhadap Selektivitas

Dari profil diatas, dapat dilihat bahwa nilai selektivitas akan menurun dengan kenaikan konsentrasi. Peristiwa ini terjadi karena semakin tinggi konsentrasi maka ikatan antar molekul etanol semakin kuat, dan pemisahan dengan menggunakan membran memutus ikatan tersebut. Nilai selektivitas pada konsentrasi umpan 70% lebih besar dibandingkan dengan nilai selektivitas konsentrasi umpan 50% hal ini dapat terjadi karena pada saat konsentrasi 50% kondisi pori membran telah mengembang (*swelling*) yang dapat menyebabkan banyaknya molekul etanol yang larut bersama air melewati membran.

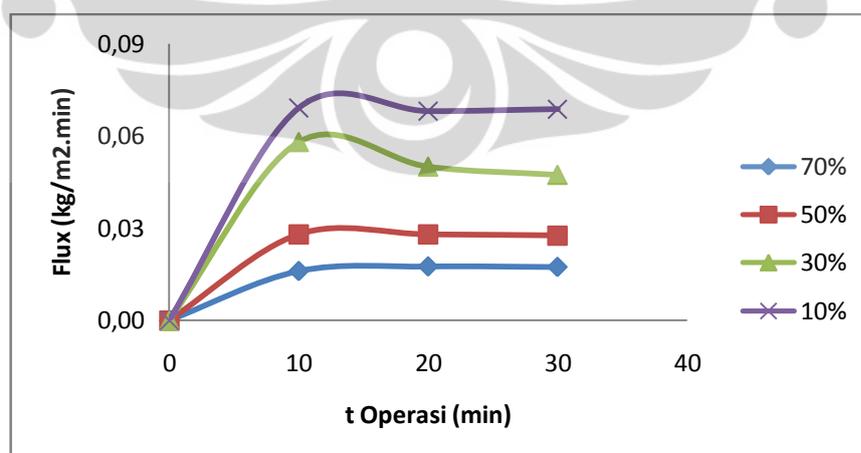
4.2.4 Pengaruh Konsentrasi Terhadap Fluks Total Permeat

Seperti halnya pada penelitian pendahuluan, dimana nilai fluks akan berbanding terbalik dengan nilai tekanan pada sisi permeat. Pada penelitian utama, nilai konsentrasi umpan juga berbanding terbalik dengan laju fluks. Semakin tinggi nilai konsentrasi umpannya maka laju fluks nya akan semakin kecil. Profil pengaruh konsentrasi terhadap nilai fluks dapat dilihat pada Gambar 4.20 di bawah ini.



Gambar 4.20 Profil Konsentrasi Umpan terhadap Fluks

Dari penelitian ini, juga dapat dilihat pengaruh waktu operasi terhadap fluks pada berbagai konsentrasi. Profil pengaruh waktu operasi terhadap fluks pada masing-masing konsentrasi dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.21 Profil Waktu Operasi terhadap Fluks

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa nilai fluks relatif stabil selama waktu operasi sekitar 30 menit. Tidak terjadi peningkatan ataupun penurunan nilai fluks yang signifikan. Sehingga nilai fluks lebih dipengaruhi oleh nilai konsentrasi dibandingkan dengan waktu operasi.

4.3 Hasil data penelitian dan aplikasi membran RO

Dari hasil penelitian studi kinerja pemisahan campuran etanol-air dengan proses pervaporasi menggunakan membran TFC komersial, diperoleh hasil, pada rentang konsentrasi 10 hingga 70%, didapatkan persen penurunan permeat paling tinggi sebesar 14,4%. Hasil ini merupakan nilai penurunan terbesar dari proses pervaporasi yang diteliti. Hasil tersebut dapat lebih dioptimasi dengan menggunakan modifikasi lanjut pada membran RO yang digunakan. Modifikasi yang dilakukan bertujuan untuk menghasilkan kemurnian konsentrasi etanol pada retentat hingga mencapai kemurnian yang sesuai dengan standar kadar yang diperuntukan sebagai bioetanol. Sehingga diharapkan dengan proses pervaporasi dapat mengefisiensikan proses sebelumnya yg berupa destilasi.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian “Studi Kinerja pemurnian etanol-air menggunakan proses pervaporasi dengan membran TFC komersial” adalah:

1. Membran TFC komersial yang berbahan dasar poliamida, polisulfon, poliester dapat digunakan dalam pemisahan campuran etanol-air dengan konsentrasi tertentu.
2. Peningkatan suhu umpan pada proses pervaporasi akan meningkatkan laju fluks yang berarti bahwa nilai fluks berbanding lurus dengan nilai kenaikan suhu umpan, akan tetapi akan menurunkan nilai selektivitas, dimana suhu kondisi optimum diperoleh pada nilai 39°C dan tekanan 510mmHg.
3. Dengan penambahan tekanan pada sisi permeat akan berpengaruh pada menurunnya nilai fluks dan selektivitas seiring dengan menurunnya laju alir permeat.
4. Semakin tinggi konsentrasi etanol pada umpan akan menurunkan laju permeat, nilai fluks dan nilai selektivitas.
5. Hubungan fluks dengan selektivitas berbanding terbalik, dimana dengan meningkatnya fluks permeat akan menurunkan nilai selektivitas membran pada pemisahan etanol-air.
6. Pada konsentrasi etanol 70% penurunan konsentrasi etanol dipermeat mencapai nilai paling tinggi yaitu sebesar 14,4 %.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian ini untuk meningkatkan optimasi hasil pemisahan etanol –air adalah:

1. Pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan modifikasi pada membran berbahan dasar poliamida, polisulfon, poliester yang akan digunakan

dalam proses pervaporasi pemisahan etanol-air untuk meningkatkan kinerjanya.

2. Perlu dicoba melakukan penelitian untuk jenis alkohol lain yang dapat dikembangkan dalam skala rumah tangga



DAFTAR PUSTAKA

- Baig, F. U. (2008). Pervaporation. In A. G. F. Norman N. Li, W. S. Winston Ho and T. Matsuura (Ed.), *Advanced Membrane Technology and Applications* (pp. 469-488). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Baker, R. W. (2004). *Membrane Technology and Applications*. California: John Wiley & Sons Ltd.
- Chan, W.-H., Ng, C.-F., Lam-Leung, S.-Y., dan He, X. (1998). Pervaporation of aqueous ethanol solution through poly(amidesulfonamide)s (PASAs) membranes. *Polymer*, 39(12), 2461-2467. doi: 10.1016/s0032-3861(97)00557-0
- Chapman, P. D., Oliveira, T., Livingston, A. G., dan Li, K. (2008). Membranes for the dehydration of solvents by pervaporation. *Journal of Membrane Science*, 318(1-2), 5-37. doi: 10.1016/j.memsci.2008.02.061
- Dalwani, M. R. (2011). *Thin film composite nanofiltration membranes for extreme conditions* (Dissertation), University of Twente, The Netherlands.
- Feng, X. a. H., dan Robert Y. M. (1997). Liquid Separation by Membrane Pervaporation: A Review. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 36(4), 1048-1066. doi: 10.1021/ie960189g
- He, X., Chan, W.-H., dan Ng, C.-F. (2001). Water-alcohol separation by pervaporation through zeolite-modified poly(amidesulfonamide). *Journal of Applied Polymer Science*, 82(6), 1323-1329. doi: 10.1002/app.1967
- Huang, H.-J., Ramaswamy, S., Tschirner, U. W., dan Ramarao, B. V. (2008). A review of separation technologies in current and future biorefineries. *Separation and Purification Technology*, 62(1), 1-21. doi: 10.1016/j.seppur.2007.12.011
- Huang, S.-H., Li, C.-L., Hu, C.-C., Tsai, H. A., Lee, K.-R., and Lai, J.-Y. (2006). Polyamide thin-film composite membranes prepared by interfacial polymerization for pervaporation separation. *Desalination*, 200(1-3), 387-389. doi: 10.1016/j.desal.2006.03.386
- Huang, S.-H., Lin, W.-L., Liaw, D.-J., Li, C.-L., Kao, S.-T., Wang, D.-M., and Lai, J.-Y. (2008). Characterization, transport and sorption properties of poly(thiol ester amide) thin-film composite pervaporation membranes. *Journal of Membrane Science*, 322(1), 139-145. doi: 10.1016/j.memsci.2008.05.034
- Kujawski, W. (2000). Application of Pervaporation and Vapor Permeation in Environmental Protection. *Polish Journal of Environmental Studies*, 9(1), 13-26.
- Li, C.-L., Huang, S.-H., Liaw, D.-J., Lee, K.-R., dan Lai, J.-Y. (2008). Interfacial polymerized thin-film composite membranes for pervaporation separation of aqueous isopropanol solution. *Separation and Purification Technology*, 62(3), 694-701. doi: 10.1016/j.seppur.2008.03.031
- Liu, Y.-L., Yu, C.-H., dan Lai, J.-Y. (2008). Poly(tetrafluoroethylene)/polyamide thin-film composite membranes via interfacial polymerization for pervaporation dehydration on an isopropanol aqueous solution. *Journal of Membrane Science*, 315(1-2), 106-115. doi: 10.1016/j.memsci.2008.02.019

- Liu, Y.-L., Yu, C.-H., Lee, K.-R., dan Lai, J.-Y. (2007). Chitosan/poly(tetrafluoroethylene) composite membranes using in pervaporation dehydration processes. *Journal of Membrane Science*, 287(2), 230-236. doi: 10.1016/j.memsci.2006.10.040
- Molina, J. M., Vatai, G., dan Bekassy-Molnar, E. (2002). Comparison of pervaporation of different alcohols from water on CMG-OM-010 and 1060-SULZER membranes. *Desalination*, 149(1-3), 89-94. doi: 10.1016/s0011-9164(02)00737-3
- Mulder, M. (1991). *Basic Principles of Membrane Technology*. Netherland: Kluwer Academic Publishers.
- Pangarkar, V. G., dan Pal, S. (2009). *Pervaporation: Theory, Practice, and Applications in the Chemical and Allied Industries*. Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- Peng, M., Vane, L. M., dan Liu, S. X. (2003). Recent advances in VOCs removal from water by pervaporation. *Journal of Hazardous Materials*, 98(1-3), 69-90. doi: 10.1016/s0304-3894(02)00360-6
- Semenova, S. I., Ohya, H., dan Soontarapa, K. (1997). Hydrophilic membranes for pervaporation: An analytical review. *Desalination*, 110(3), 251-286. doi: 10.1016/s0011-9164(97)00103-3
- Shao, P., & Huang, R. Y. M. (2007). Polymeric membrane pervaporation. *Journal of Membrane Science*, 287(2), 162-179. doi: 10.1016/j.memsci.2006.10.043
- Wee, S.-L., Tye, C.-T., dan Bhatia, S. (2008). Membrane separation process—Pervaporation through zeolite membrane. *Separation and Purification Technology*, 63(3), 500-516. doi: 10.1016/j.seppur.2008.07.010
- Widodo, S.I N.Widiasa, dan I G.Wanten. (2004). Pengembangan Teknologi Pervaporasi untuk Produksi Etanol Absolut.
- Wijmans, J. G., dan Baker, R. W. (1995). The solution-diffusion model: a review. *Journal of Membrane Science*, 107(1-2), 1-21. doi: 10.1016/0376-7388(95)00102-i
- Yamasaki, A., Tyagi, R. K., Fouda, A., dan Matsuura, T. (1996). Effect of evaporation time on the pervaporation characteristics through homogeneous aromatic polyamide membranes. II. Pervaporation performances for ethanol/water mixture. *Journal of Applied Polymer Science*, 60(5), 743-748. doi: 10.1002/(sici)1097-4628(19960502)60:5<743::aid-app13>3.0.co;2-#



LAMPIRAN

LAMPIRAN I
DATA PENGAMATAN

1.1 Penelitian Pendahuluan

1.1.1 Variasi Suhu Umpan

- Laju Alir Umpan : 100 mL/min
- Tekanan Keluar Membran: 30 psi
- Konsentrasi Umpan : 45 – 50 %-b
- Waktu Penelitian : 25 menit

a. Tekanan sisi permeal : 660 mmHg

T Umpan (oC)	Waktu (menit)	Volume (mL)			Berat (kg)		
		Umpan	Permeal	Retentat	Umpan	Permeal	Retentat
35	5	465	185	280	0,885	0.175	0,710
	10	486	196	290	0,905	0.185	0,720
	15	486	206	280	0,895	0.185	0,710
	20	510	210	300	0,920	0.190	0,730
	25	474	204	270	0,885	0.185	0,700

T Umpan (oC)	Waktu (menit)	Umpan		Permeal	
		% mass	% volum	% mass	% volum
35	5	45	53	44,2	52
	10	45	53	44	52
	15	45	53	44	52
	20	45	53	44	52
	25	45	53	44	52

b. Tekanan sisi permeal : 510 mmHg

T Umpan (oC)	Waktu (menit)	Volume (mL)			Berat (kg)		
		Umpan	Permeal	Retentat	Umpan	Permeal	Retentat
35	5	468	198	360	0,890	0.190	0,700
	10	488	218	360	0,900	0.200	0,700
	15	479	214	355	0,885	0.185	0,700
	20	485	210	365	0,900	0.190	0,710
	25	480	210	360	0,895	0.195	0,700

T Umpan (oC)	Waktu (menit)	Umpan		Permeate	
		% mass	% volum	% mass	% volum
35	5	46,5	55	45,5	54,7
	10	46,5	55	45,7	54,3
	15	46,5	55	47	56
	20	46,5	55	46,5	55,5
	25	46,5	55	45,5	55

c. Tekanan sisi permeat : 260 mmHg

T Umpan (oC)	Waktu (menit)	Volume (mL)			Berat (kg)		
		Umpan	Permeat	Retentat	Umpan	Permeat	Retentat
35	5	487	222	355	0,900	0,200	0,700
	10	512	232	370	0,920	0,210	0,710
	15	517	232	375	0,930	0,210	0,720
	20	507	232	365	0,920	0,210	0,710
	25	490	230	350	0,895	0,205	0,690

T Umpan (oC)	Waktu (menit)	Umpan		Permeate	
		% mass	% volum	% mass	% volum
35	5	46,3	54,6	45,5	54
	10	46,3	54,6	45,5	54
	15	46,3	54,6	44,7	53,7
	20	46,3	54,6	45,3	54
	25	46,3	54,6	45	54

1.1.2 Variasi Tekanan Sisi Permeat

- Laju Alir Umpan : 100 mL/min
- Tekanan Keluar Membran: 30 psi
- Konsentrasi Umpan : 45 – 50 %-b
- Waktu Penelitian : 25 menit

a. Suhu Umpan : 39°C

P Permeat (mmHg)	Waktu (menit)	Volume (mL)			Berat (kg)		
		Umpan	Permeat	Retentat	Umpan	Permeat	Retentat
660	5	510	240	360	0,910	0,700	0,210
	10	523	248	365	0,935	0,710	0,225

15	525	260	355	0,925	0,700	0,225
20	548	268	370	0,955	0,710	0,245
25	570	270	390	0,960	0,730	0,230

P Permeat (mmHga)	Waktu (menit)	Umpan		Permeate	
		% mass	% volum	% mass	% volum
660	5	45,3	53	44,7	52,7
	10	45,3	53	44,5	52,5
	15	45,3	53	44,3	52,3
	20	45,3	53	44,3	52,3
	25	45,3	53	44,7	52,7

b. Suhu Umpan : 39°C

P Permeat (mmHga)	Waktu (menit)	Volume (mL)			Berat (kg)		
		Umpan	Permeat	Retentat	Umpan	Permeat	Retentat
510	5	649	334	405	1,045	0,300	0,745
	10	639	344	385	1,045	0,320	0,725
	15	662	342	410	1,065	0,315	0,750
	20	602	312	380	1,005	0,285	0,720
	25	520	345	265	0,940	0,320	0,620

P Permeat (mmHga)	Waktu (menit)	Umpan		Permeate	
		% mass	% volum	% mass	% volum
510	5	46,5	53	44,3	52,5
	10	46,5	53	44	52,3
	15	46,5	53	44,3	52,5
	20	46,5	53	44	52
	25	46,5	53	44,7	52,5

c. Suhu Umpan : 39°C

P Permeat (mmHga)	Waktu (menit)	Volume (mL)			Berat (kg)		
		Umpan	Permeat	Retentat	Umpan	Permeat	Retentat
260	5	563	278	375	0,965	0,245	0,720
	10	551	276	365	0,955	0,245	0,710
	15	558	278	370	0,965	0,255	0,710
	20	548	278	360	0,955	0,250	0,705
	25	548	268	370	0,950	0,240	0,710

P Permeat (mmHga)	Waktu (menit)	Umpan		Permeate	
		% mass	% volum	% mass	% volum
260	5	44,4	52,2	43,5	51,5
	10	44,4	52,2	43,3	51,5
	15	44,4	52,2	43	51
	20	44,4	52,2	43,7	50,7
	25	44,4	52,2	42,7	50,7

1.2 Penelitian Utama Variasi Konsentrasi

- Laju Alir Umpan : 100 mL/min
- Tekanan Keluar Membran : 30 psi
- Suhu Umpan : 39 °C
- Tekanan Pada Sisi Permeat : 510 mmHga
- Waktu Operasi : 30 Menit

1.2.1 Konsentrasi Umpan 10%

Waktu (menit)	Volume (mL)			Berat (kg)		
	Umpan	Permeat	Retentat	Umpan	Permeat	Retentat
10	473	355	118	1.135	0.720	0.415
20	455	345	110	1.120	0.710	0.410
30	478	360	118	1.140	0.725	0.415

Waktu (menit)	Umpan		Permeate	
	% mass	% volum	% mass	% volum
10	10.3	13.3	10.0	13.3
20	10.3	13.3	9.5	13.0
30	10.3	13.3	9.0	11.5

1.2.2 Konsentrasi Umpan 30%

Waktu (menit)	Volume (mL)			Berat (kg)		
	Umpan	Permeat	Retentat	Umpan	Permeat	Retentat
10	450	305	145	1.260	0.665	0.595
20	335	220	115	1.155	0.585	0.570
30	335	220	115	1.155	0.585	0.570

Waktu (menit)	Umpan		Permeate	
	%	% volum	%	% volum

	mass		mass	
10	30.5	37.0	30.0	36.3
20	30.5	37.0	29.0	35.0
30	30.5	37.0	29.0	35.0

1.2.3 Konsentrasi Umpan 50%

Waktu (menit)	Volume (mL)			Berat (kg)		
	Umpan	Permeate	Retentat	Umpan	Permeate	Retentat
10	289	154	135	0.930	0.355	0.575
20	291	156	135	0.930	0.355	0.575
30	263	138	125	0.915	0.350	0.565

Waktu (menit)	Umpan		Permeate	
	%	% volum	%	% volum
	mass		mass	
10	52.7	60.9	52.0	60.0
20	52.7	60.9	52.0	60.0
30	52.7	60.9	51.7	59.7

1.2.4 Konsentrasi Umpan 70%

Waktu (menit)	Volume (mL)			Berat (kg)		
	Umpan	Permeate	Retentat	Umpan	Permeate	Retentat
10	225	90	135	0.860	0.295	0.565
20	214	94	120	0.875	0.310	0.565
30	213	88	125	0.855	0.300	0.555

Waktu (menit)	Umpan		Permeate	
	%	% volum	%	% volum
	mass		mass	
10	70.7	77.5	60.5	67.5
20	70.7	77.5	70.0	77.0
30	70.7	77.5	69.7	76.9

LAMPIRAN II

PENGOLAHAN DATA

Pada penelitian dilakukan perhitungan laju alir, selektivitas, fluks, dan % penurunan permeat.

2.1 Perhitungan Laju Alir

Nilai perhitungan laju alir pada aliran umpan, permeat, dan retentat dihitung menggunakan persamaan:

$$Q = \frac{V}{t}$$

dengan, Q : Laju Alir (mL/min)
V : Volum (mL)
t : Waktu (min)

Contoh perhitungan laju alir permeat pada penelitian pendahuluan dengan P 510 mmHg pada T 39°C:

$$Q = \frac{225}{10} = 22,5$$

2.2 Perhitungan Selektivitas

Nilai perhitungan laju alir pada aliran umpan, permeat, dan retentat dihitung menggunakan persamaan:

$$\alpha_{A/B} = \frac{\left(\frac{y_A}{y_B} \right)_{\text{permeat}}}{\left(\frac{x_A}{x_B} \right)_{\text{umpan}}}$$

dengan: α : Selektivitas
 y_A : Fraksi komponen uap air
 y_B : Fraksi komponen uap etanol
 x_B : Fraksi komponen cairan air
 x_B : Fraksi komponen cairan etanol

2.3 Perhitungan Fluks

Nilai perhitungan laju alir pada aliran umpan, permeat, dan retentat dihitung menggunakan persamaan:

$$J = \frac{1}{A} \left(\frac{dm}{dt} \right)$$

dengan: J : Fluks (kg/m².min)
 A : Luas permukaan kontak membran (m²)
 (dm/dt): delta massa permeat per satuan waktu

2.4 Perhitungan Nilai Penurunan Permeat

Nilai perhitungan laju alir pada aliran umpan, permeat, dan retentat dihitung menggunakan persamaan:

$$\% \text{ Penurunan Permeat} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\%$$

dengan: C₀ = Konsentrasi awal umpan
 C_t = Konsentrasi permeat pada saat t

