



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PEG, FORMAMIDA, MEDIA PENYIMPANAN
DAN SUHU TERHADAP SELEKTIVITAS MEMBRAN
SELULOSA ASETAT UNTUK PEMISAHAN CH₄ DAN CO₂**

SKRIPSI

**AMRINA SIAHAAN
0606040223**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM SARJANA ILMU KIMIA
DEPOK
JULI 2010**

ix



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PEG, FORMAMIDA, MEDIA PENYIMPANAN
DAN SUHU TERHADAP SELEKTIVITAS MEMBRAN
SELULOSA ASETAT UNTUK PEMISAHAN CH₄ DAN CO₂**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains

**AMRINA SIAHAAN
0606040223**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI ILMU KIMIA
KEKHUSUSAN ILMU KIMIA
DEPOK
JULI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Amrina Siahaan

NPM : 0606040223

Tanda Tangan :

Tanggal : Juli 2010



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : AMRINA SIAHAAN
NPM : 0606040223
Program Studi : KIMIA
Judul Skripsi : Pengaruh PEG, Formamida, Media Penyimpanan dan Suhu terhadap Selektivitas Membran Selulosa Asetat untuk Pemisahan CH₄ dan CO₂

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Ilmu Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : DR. Adiwari (.....)

Pembimbing II : Dra. Tresye Utari, M.Si (.....)

Penguji I : Ir. Widyastuti, M.Si (.....)

Penguji II : Drs. Riswiyanto, M.Si (.....)

Penguji III : DR. Yoki Yulizar (.....)

Ditetapkan di : Depok, Jawa Barat, Indonesia

Tanggal :

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Sains Jurusan Kimia pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia.

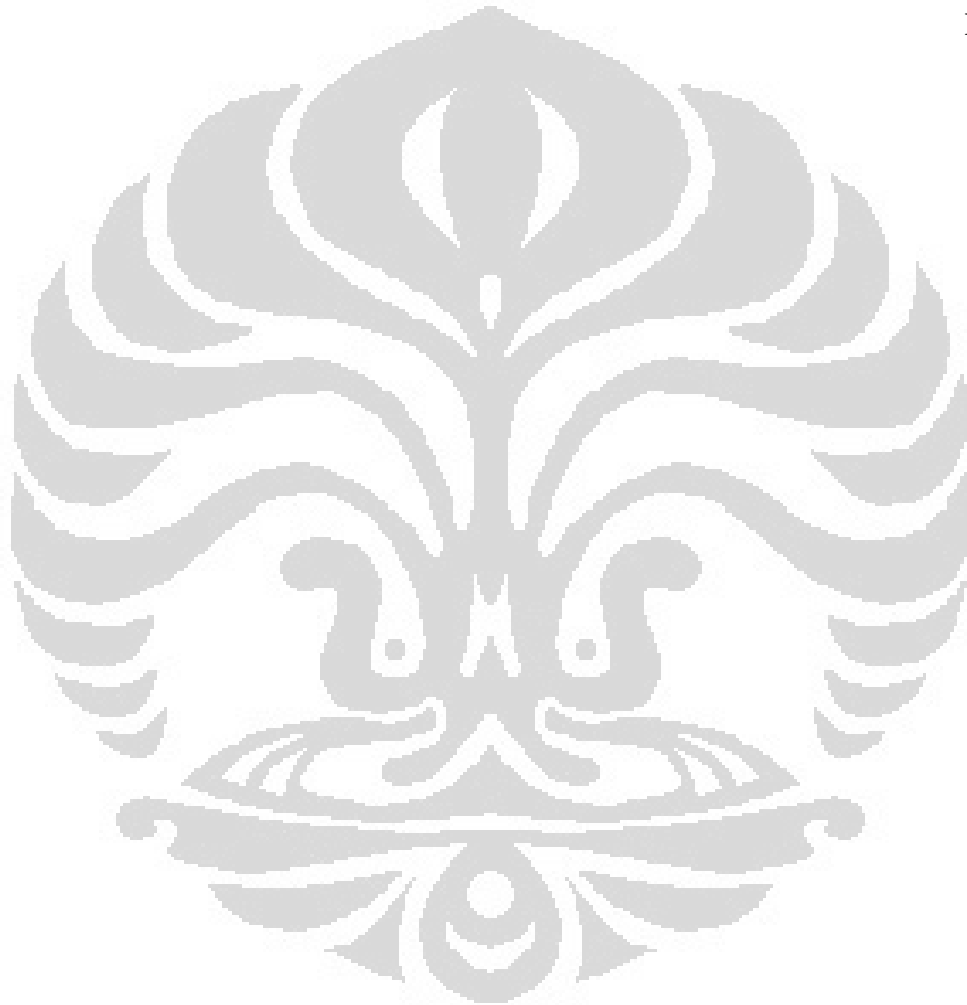
Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dra. Tresye Utari, Msi selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
2. DR. Adiwari yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan;
3. Orangtua papa dan mama tersayang yang telah memberikan dukungan material dan moral, dan keluarga saya; adikku Ellen dan Ronald Siahaan, inangtua Artha, tulang dan nantulang Deasy, uda Otto, naboru Pasma, sepupuku tercinta; kak Artha, kak Mona, kak Deasy, dll yang telah memberikan bantuan dukungan dan semangat kepada saya; dan
4. Sahabat saya tercinta; Geng si Berat (Auzora, Anniesa, Ariana), teman karib semasa kuliah saya; (Arie Ferdian Lubis, Rianna, Fadillah, Wirayudha, dll), teman-teman kompak di LEMIGAS; (Habibie, Angie, Ari, Siti, 2 kurcaci: Regina dan Evi), Geng Balola; (Tigor Hutahaean, Lusyana Simamora featuring Pardamean Robby Sitorus), Geng PJG; (Era, Stephy, Helen), Lodhy Prima yang telah meremove saya 2 kali dan Sammy teman terbaik saya di LEMIGAS yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

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

Penulis

2010



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Amrina Siahaan
NPM : 0606040223
Program Studi : Ilmu Kimia
Departemen : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
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 :

Pengaruh PEG, Formamida, Media Penyimpanan dan Suhu Terhadap Selektivitas Membran Selulosa Asetat Untuk Pemisahan CH₄ dan CO₂

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok, Jawa Barat, Indonesia
Pada tanggal : Juli 2010
Yang menyatakan

(AMRINA SIAHAAN)

ABSTRAK

Nama : Amrina Siahaan
Program Studi : Kimia
Judul : Pengaruh PEG, Formamida, Media Penyimpanan dan Suhu terhadap Selektivitas Membran Selulosa Asetat untuk Pemisahan Gas CO₂ dan CH₄

Pemisahan gas CO₂ dari CH₄ yang terdapat dalam gas alam penting dilakukan karena sifatnya dapat menyebabkan korosi pada pipa gas. Gas CO₂ juga dapat menurunkan nilai kalor dari gas alam. Teknologi membran telah mulai dikembangkan untuk pemisahan gas CO₂ dari CH₄ karena prosesnya yang sederhana, mudah, ramah lingkungan serta konsumsi energi dan biaya operasional yang rendah. Di dalam penelitian ini digunakan membran selulosa asetat (CA). Pembuatan membran CA dilakukan dengan melarutkan CA di dalam aseton. Proses koagulasinya dilakukan dengan metode inversi fasa. Untuk memperoleh selektivitas pemisahan CH₄ dan CO₂ optimum dilakukan penambahan PEG, Formamida, variasi media penyimpanan (desikator, air dan *solvent drying* desikator dan *solvent drying* heksan) dan variasi suhu koagulasi (10°C, 18°C dan 25°C). Pengukuran laju permeasi dilakukan menggunakan sel permeasi pada tekanan 10-100 psi . Nilai selektivitas didapat melalui perbandingan laju permeasi CO₂ terhadap CH₄. Dari hasil penelitian ditemukan bahwa selektivitas optimum pemisahan CO₂ dan CH₄ adalah dengan menggunakan PEG, dengan media penyimpanan *solvent drying* desikator dan suhu koagulasi 25°C. Nilai selektivitas optimum 572.74.

Kata Kunci : membran Selulosa asetat, CO₂, CH₄, PEG, Formamida, selektivitas, *solvent drying*.

xii+77 halaman : 12 gambar; 7 tabel

Daftar Pustaka : 18 (1983-2007)

ABSTRACT

Name : Amrina Siahaan
Program Study : Chemistry
Title : Pengaruh PEG, Formamida, Media Penyimpanan dan Suhu terhadap Selektivitas Membran Selulosa Asetat untuk Pemisahan Gas CO₂ dan CH₄

The separation of CO₂ from CH₄ in the natural gas are important because its characteristics can cause corrosion, can also reduce the heat value of natural gas. Nowadays, membrane technology has been environment and energy consumption and operational costs are low. In this research we use membrane made from cellulose acetate (CA). Membrane CA made by dissolved its CA in the acetone. The process coagulation itself using phase inversion. To gain an optimum selectivity in separation CH₄ and CO₂, we could added PEG, Formamida, variations of the storage media (desiccators, water and solvent drying desiccators and solvent drying hexane) and the variations of coagulation temperature (10°C, 18°C and 25°C). To measured its permeability we can use permeation cell at the pressure of 10-100 psi. Selectivity also been measured by compare its permeatio of CO₂ to CH₄. This research found that an optimum selectivity for separation CO₂ and CH₄ is using PEG, with storage media solvent drying desiccators and coagulation temperature measured at 250. Optimum selectivity is 572.74.

Key Words : Cellulose acetate membrane, CO₂, CH₄, PEG, Formamide, selectivity, solvent drying
xii+77 pages : 12 pictures; 7 tables
Bibliography : 18 (1983-2007)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
1. PENDAHULUAN	
1.1.LatarBelakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Manfaat Penelitian.....	3
1.5. Batasan Penelitian.....	3
2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1.Membran.....	4
2.2. Klasifikasi Membran.....	8
2.2.1. Klasifikasi Membran Berdasarkan jenis Bahan.....	8
2.2.2. Klasifikasi Membran Berdasarkan Struktur Morfologis.....	8
2.2.3. Klasifikasi Membran Berdasarkan Prinsip Pemisahan.....	10
2.2.4. Klasifikasi Membran Berdasarkan Sifat Kimia.....	11
2.3. Faktor yang berpengaruh Terhadap Kinerja Membran.....	11
2.3.1. Media Pembawa (carrier).....	11
2.3.2. Pemilihan Polimer.....	13
2.3.3. Pemilihan Pelarut.....	13
2.3.4. Pemilihan Koagulan.....	14
2.3.5. Pemilihan Aditif.....	14
2.3.6. Media Penyimpanan.....	15
2.4. Preparasi Membran.....	15
2.5. Penentuan Laju Permeasi dan Selektivitas.....	17
2.5.1.Permeabilitas Gas Murni.....	17
2.5.2.Selektivitas Gas murni.....	17

3. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	19
3.2. Alat dan Bahan.....	19
3.2.1. Alat-alat.....	19
3.2.2. Bahan-bahan.....	19
3.3. Cara Kerja.....	20
3.3.1. Pembuatan Membran.....	20
3.3.2. Variasi Preparasi Membran.....	21
3.3.3. Pengujian Laju Permeasi.....	21
3.4. Uji Laju Permeasi dan Selektivitas Gas CH ₄ dan CO ₂	22
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Pembuatan Membran CA.....	24
4.2. Pengaruh PEG, Formamida, media penyimpanan suhu koagulasi terhadap selektivitas.....	26
4.2.1. Media Desikator.....	26
4.2.2. Media Penyimpanan Air.....	27
4.2.3. Kepolaran Bertahap Dalam Heksana.....	27
4.2.4. Kepolaran Bertahap, Penyimpanan Dalam Desikator.....	28
4.2.5. Pengaruh Suhu Koagulasi.....	29
5. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan.....	33
5.2. Saran.....	33
DAFTAR PUSTAKA.....	34

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Skema Pemisahan dengan Membran	6
Gambar 2.2.	Mekanisme Difusi Knudsen, Molecular Sieving, Solution Diffusion	7
Gambar 2.3.	Struktur Morfologis Membran Simetrik	9
Gambar 2.4.	Struktur Morfologis Membran Asimetrik.....	9
Gambar 2.5.	Membran Berpori, Tidak Berpori, dan Membran Dengan Pembawa.....	10
Gambar 2.6.	Struktur Kimia PEG.....	12
Gambar 2.7.	Struktur Kimia Selulosa Asetat	13
Gambar 2.8.	Struktur Kimia Formamida	15
Gambar 3.1.	Skema Peralatan Sel Permeasi.....	21
Gambar 4.1.	Grafik Pengaruh Suhu Koagulasi Terhadap Selektivitas.....	30
Gambar 4.2.	Grafik Laju Permeasi CH ₄	31
Gambar 4.3.	Grafik Laju Permeasi CO ₂	32

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Diameter Kinetik Beberapa Molekul Gas	7
Tabel 2.2.	Data Permeasi dan Selektivitas Membran dengan Pembawa.....	12
Tabel 3.1.	Komposisi Solvent Drying	20
Tabel 4.1.	Data Range Selektivitas Semua Jenis Membran CA.....	26
Tabel 4.2.	Pengaruh Suhu Koagulasi Terhadap Selektivitas Membran CA+Aseton+PEG.....	29
Tabel 4.3.	Laju Permeasi CH ₄	30
Tabel 4.4.	Laju Permeasi CO ₂	31

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Membran CA Media Penyimpanan Desikator.....	36
Lampiran 2	Membran CA Media Penyimpanan Air.....	39
Lampiran 3.	Membran CA Media Penyimpanan Solvent Drying, Heksana..	42
Lampiran 4.	Membran CA Media Penyimpanan Solvent Drying, Desikator...	45
Lampiran 5.	Pengaruh Suhu Koagulasi Terhadap Selektivitas Membran CA+Aseton+PEG Solvent Drying, Desikator.....	48
Lampiran 6.	Contoh Perhitungan Data Penelitian.....	51
Lampiran 7.	Gambar Foto Peralatan Penelitian.....	52
Lampiran 8.	Skema Cara Kerja Pembuatan Membran CA, Pengaruh PEG, Formamida dan Media Penyimpanan	54
Lampiran 9.	Skema Cara Kerja Untuk Menentukan Pengaruh Suhu Koagulasi Terhadap Selektivitas Membran CA	55
Lampiran 10.	Membran 1A.....	56
Lampiran 11.	Membran 1B.....	57
Lampiran 12.	Membran 1C.....	58
Lampiran 13.	Membran 1D.....	59
Lampiran 14.	Membran 2A.....	60
Lampiran 15.	Membran 2B.....	61
Lampiran 16.	Membran 2C.....	62
Lampiran 17.	Membran 2D dan 5A.....	63
Lampiran 18.	Membran 3A.....	64
Lampiran 19.	Membran 3B.....	65
Lampiran 20.	Membran 3C.....	66
Lampiran 21.	Membran 3D.....	67
Lampiran 22.	Membran 4A.....	68
Lampiran 23.	Membran 4B.....	69
Lampiran 24.	Membran 4C.....	70
Lampiran 25.	Membran 4D.....	71
Lampiran 26.	Membran 5B.....	72
Lampiran 27.	Membran 5C.....	73

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sebagai salah satu negara penghasil gas alam terbesar, Indonesia perlu selalu mempertahankan kualitas gas alamnya agar layak dikonsumsi dengan baik. Gas alam yang diambil dari perut bumi terdiri dari berbagai komponen senyawa di dalamnya yaitu hidrokarbon murni yang didominasi oleh CH_4 (metana) dan gas-gas pengotor seperti CO_2 (karbondioksida). Karbon dioksida bila bereaksi dengan air akan menjadi asam dan bersifat korosif, sehingga dapat merusak bagian sistem perpipaan. Selain itu CO_2 juga tidak memiliki nilai bakar sehingga dapat merugikan karena hanya akan memenuhi ruang bakar.

Dalam hal pendistribusian gas alam (CH_4) yang menggunakan kapal tengker, gas alam tersebut perlu dicairkan terlebih dahulu. Pada proses pencairan gas alam ini, Gas CO_2 dapat menjadi penghalang karena gas CO_2 memiliki titik beku ($-56,4^\circ\text{C}$) lebih tinggi dibandingkan titik beku gas CH_4 ($-61,4^\circ\text{C}$), sehingga mengakibatkan penyumbatan pada tangki.

Keberadaan gas CO_2 di dalam gas alam dapat menjadi permasalahan yang serius. Dengan demikian perlu dilakukan proses penghilangan CO_2 tersebut. Kandungan CO_2 dalam gas alam untuk keperluan komersil harus ditekan sampai 2% untuk transportasi gas alam pada sistem perpipaan dan 50 ppm untuk gas alam yang dicairkan (Astarita, 1983).

Gas alam yang banyak mengandung komponen terutama gas CO_2 , dapat dihilangkan atau dikurangi kadarnya dengan menggunakan teknik membran (Bodzek, 2000). Teknik ini mempunyai kelebihan yaitu proses yang sederhana, mudah, ramah lingkungan dan pemakaian energi serta biaya operasional yang cukup rendah (Mulder, 1996).

Membran sebenarnya telah dikenal sejak tahun 1861, yaitu sejak Graham menemukan mekanisme transportasi gas melalui membran karet (Ahmad, 2007), namun teknologi membran baru berkembang sekitar 20-30 tahun yang lalu seiring dengan pertumbuhan industri polimer yang berkembang dan

menyediakan bahan baku membran sintetik.

Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kinerja membran dalam pemisahan antara lain pemilihan polimer, teknik preparasi, komposisi bahan pembentuk, ketebalan membran, dan media penyimpanan. Dalam penelitian ini, polimer yang digunakan adalah selulosa asetat (CA). Membran berbahan dasar selulosa asetat sangat baik untuk pemisahan gas dan sangat luas digunakan pada aplikasi membran (Muthusamy, *et.al.*, 2006). Pada penelitian sebelumnya mengenai pemisahan gas hidrogen dan gas karbon monoksida menggunakan membran memberikan pengaruh terhadap nilai selektivitas (Andriani, 2003).

Teknik preparasi membran yang dipilih adalah inversi fasa. Teknik ini sangat fleksibel dan memungkinkan diperolehnya bentuk morfologi membran (Andriani, 2003). Tahapan dari teknik ini meliputi pelarutan polimer dalam pelarut, pencetakan, koagulasi menggunakan bukan pelarut, penyimpanan di dalam media penyimpanan. Sebagai media pengkoagulasi digunakan isopropanol. Isopropanol ini dapat memberikan selektivitas yang lebih baik dari pada pengkoagulasi lain seperti air.

1.2. Rumusan Masalah

Membran berbahan dasar selulosa asetat memberikan pengaruh terhadap selektivitas dan permeabilitas pada pemisahan CO₂ dan CH₄. Untuk itu peneliti mempelajari:

1. Efek penambahan PEG pada membran.
2. Bagaimana efek media penyimpanan kering dan basah.
3. Bagaimana efek pengeringan dengan solvent drying

1.3. Tujuan Penelitian

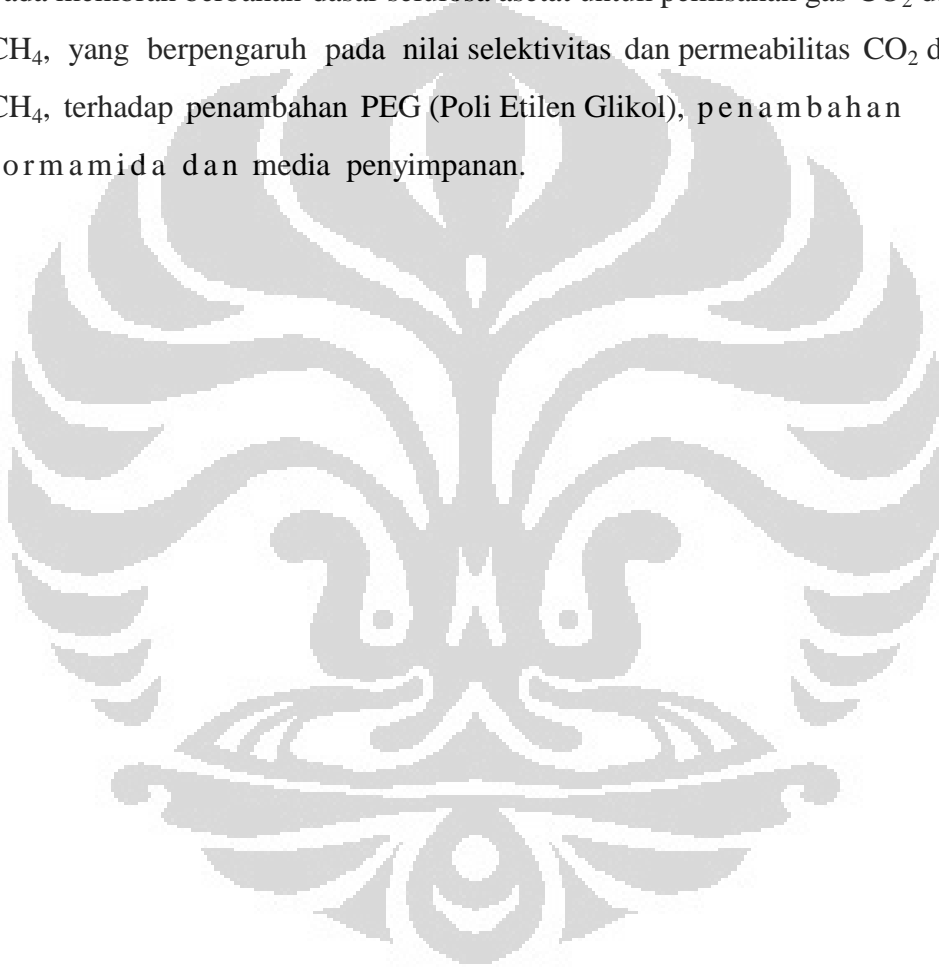
Tujuan penelitian ini adalah mengetahui efek pengeringan dengan kepolaran bertahap (*solvent drying*) terhadap morfologi membran, menentukan dampak penambahan Polietilen Glikol (PEG) dan Formamida pada membran, menentukan media penyimpanan yang terbaik agar dapat menghasilkan kinerja membran yang optimal.

1.4 Manfaat Penelitian

Didapatkan membran polimer berbahan selulosa asetat dengan selektivitas yang tinggi, sehingga efektif dalam pemisahan gas CH_4 dan CO_2 .

1.5. Batasan Penelitian

Perlakuan pengeringan secara bertahap (*solvent drying*) memberikan efek pada membran berbahan dasar selulosa asetat untuk pemisahan gas CO_2 dan CH_4 , yang berpengaruh pada nilai selektivitas dan permeabilitas CO_2 dan CH_4 , terhadap penambahan PEG (Poli Etilen Glikol), penambahan formamida dan media penyimpanan.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Membran

Secara umum definisi membran adalah suatu penghalang atau daerah tipis antara dua fasa yang memberikan lintasan selektif (Baker, 2000), sehingga memungkinkan fasa atau komponen tertentu menembus lebih cepat dibandingkan dengan fasa atau komponen lainnya di bawah pengaruh gaya penggerak (*driving force*) (Andalucia, 2006).

Umpan adalah aliran yang masuk ke dalam membran. Fasa yang diumpan akan mengalami pemisahan, yaitu: permeat yang merupakan aliran yang menembus membran, sedangkan retentat merupakan aliran yang tidak menembus membran. Proses pemisahan gas pada membran tidak berpori, meliputi 3 tahapan proses:

1. Melarut pada permukaan membran
2. Berdifusi dalam bahan membran
3. Melepaskan diri dari permukaan membran.

Ketiga tahapan proses tersebut dapat digambarkan dengan hukum kelarutan Hendry dan Difusi Fick. Berdasarkan kedua hukum tersebut pemisahan gas terjadi akibat adanya perbedaan kelarutan dan difusi gas dalam membran.

Difusi gas melalui membran tidak berpori dapat dilihat berdasarkan persamaan yang diberikan oleh Fick di bawah ini:

$$J = -D \left(\frac{dc}{dx} \right) \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana: J = fluks ($m^{-2} \text{ jam}^{-1}$)

D = koefisien difusi

dc/dx = gaya penggerak (perbedaan konsentrasi)

Persamaan tersebut dapat diubah menjadi:

$$J = D (C_0 - C_1) / I \dots\dots\dots (2.2)$$

$C_0 - C_1$ = perbedaan konsentrasi gas dalam membran pada kedua sisi membran.

I = ketebalan membran

Hukum Hendri menyatakan, bahwa hubungan linier terjadi antara konsentrasi dalam membran dan tekanan parsial gas di luar membran dengan persamaan sebagai berikut:

$$C = S \cdot p \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana: S = koefisien solubilitas

Bila persamaan 1,2, dan 3 digabungkan maka didapat:

$$J = DS (p_0 - p_1) / l \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

$(p_0 - p_1)$ = perbedaan tekanan parsial

Permeabilitas gas pada membran adalah besaran yang menggambarkan banyaknya gas yang dapat menembus membran. Persamaan ini umum dipakai untuk menyatakan permeasi gas melalui membran. Perkalian antara koefisien difusi D dengan koefisien solubilitas S disebut koefisien permeabilitas P .

$$P = D \cdot S \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana: P = permeabilitas ($\text{cm}^3(\text{STP})\text{cm}/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{cmHg}$)

D = difusivitas (cm^2/s)

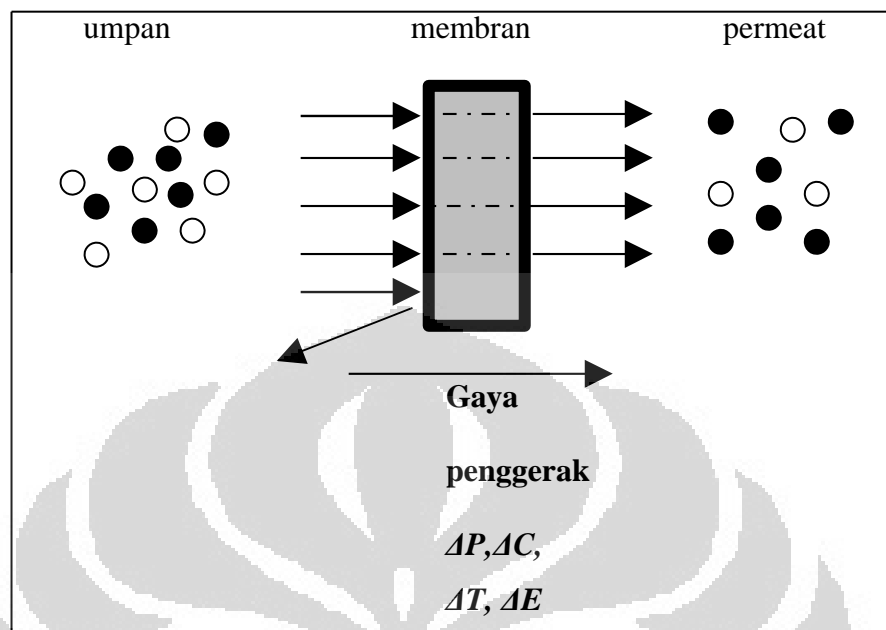
S = solubility ($\text{cm}^3(\text{STP})/\text{cm}^3 \cdot \text{cmHg}$)

Gabungan persamaan 4 dan 5 menjadi,

$$J = P (p_0 - p_1) / l \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

Dari persamaan 2.6 di atas terlihat, bahwa kecepatan aliran atau fluks melewati membran dipengaruhi oleh permeabilitas, perbedaan tekanan parsial dan kebalikan dari ketebalan membran.

Skema pemisahan dengan membran secara umum ditunjukkan pada Gambar 2.1 di bawah ini:



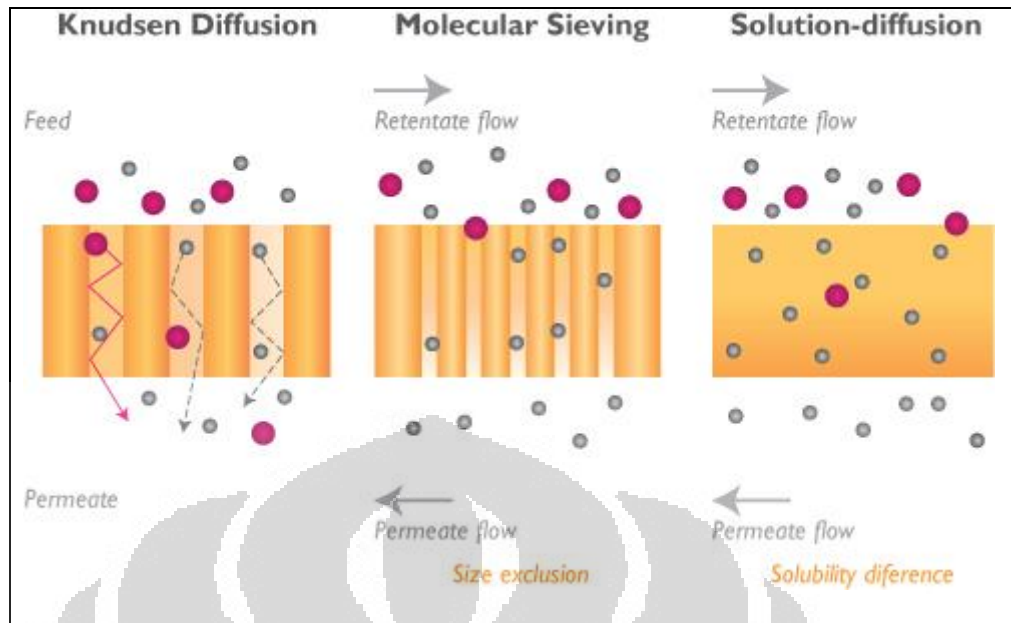
Gambar 2.1. Skema pemisahan dengan membran (Baker,2000)

Besarnya gaya penggerak berupa perbedaan konsentrasi (ΔC), perbedaan tekanan (ΔP), perbedaan temperatur (ΔT), ataupun perbedaan potensial listrik (ΔE) dapat mempengaruhi fluks. Semakin besar gaya penggerak, maka fluks akan semakin besar, seperti dc/dx pada persamaan 1.

Mekanisme perpindahan gas melalui membran asimetris berpori dibedakan berdasarkan:

1. *Surface Diffusion*
2. *Knudsen Diffusion* (Difusi Knudsen)
3. *Capillary Diffusion*
4. *Solution Diffusion*
5. *Molecular sieving*

Mekanisme Knudsen diffusion, *molecular sieving*, *solution diffusion* dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Mekanisme Difusi Knudsen, *Molecular sieving*, *Solution diffusion*

Diffusi Knudsen adalah terjadi apabila ukuran pori kecil atau tekanan gas berkurang celah bebas untuk difusi molekul menjadi sebanding atau lebih besar dari ukuran pori membran. Benturan antara molekul gas jarang terjadi dibandingkan benturan gas dengan dinding pori. Perpindahan gas semacam ini disebut difusi Knudsen.

Berdasarkan mekanisme *molecular sieving*, permeasi gas melalui membran dipengaruhi oleh ukuran molekul. Diameter kinetik CO₂ lebih kecil dibandingkan CH₄, sehingga permeabilitas CO₂ melalui membran lebih besar dibandingkan CH₄. Tabel 2.1 menunjukkan diameter kinetik beberapa molekul gas.

Tabel 2.1. Diameter kinetik beberapa molekul gas (Andriani, 2003)

Molekul gas	He	Ne	H ₂	CO ₂	Ar	O ₂	N ₂	CO	CH ₄	C ₂ H ₄
Diameter kinetik (Å ⁰)	2.60	2.75	2.89	3.30	3.40	3.46	3.64	3.76	3.80	3.90

Pada mekanisme solusi difusi gas, dipisahkan berdasarkan kelarutannya di dalam membran dan difusinya melalui matriks membran. Mekanisme pemisahan ini biasanya digunakan untuk membran polimer.

Selektivitas membran merupakan perbandingan antara permeabilitas gas murni yang satu terhadap permeabilitas gas murni lainnya. Selektivitas yang tinggi akan mempengaruhi efisiensi pemisahan membran. Semakin tinggi nilai selektivitas, semakin tinggi efisiensi pemisahan gas dan penurunan biaya.

2.2 Klasifikasi Membran

Membran dapat diklasifikasikan berdasarkan jenis bahan, struktur morfologis membran, prinsip pemisahan serta sifat kimianya.

2.2.1. Klasifikasi membran berdasarkan jenis bahan

Berdasarkan jenis bahan pembentuknya membran, diklasifikasikan menjadi membran alami dan membran sintetik (Etty, 1995):

- a. Membran alami adalah membran yang terbentuk secara alami, tersusun terutama dari protein dan lipid
- b. Membran sintetik adalah membran buatan tersusun dari bahan sintetik baik organik (polimer) ataupun anorganik (gelas atau keramik).

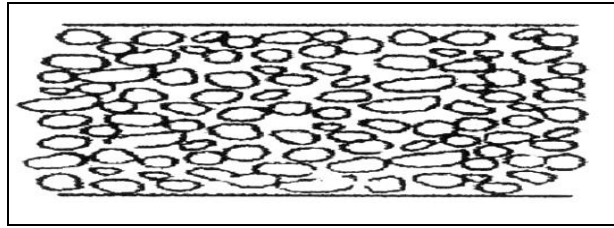
2.2.2. Klasifikasi membran berdasarkan struktur morfologis

Berdasarkan struktur morfologisnya, membran diklasifikasikan menjadi membran simetrik dan asimetrik (Baker, 2000)

- a. Membran simetrik

Membran simetrik memiliki struktur homogen pada lapisan atas maupun bawahnya, serta mempunyai ketebalan antara 10-200 μm . Membran ini dibedakan menjadi membran berpori dan membran berpori rapat (*dense*). Membran berpori rapat memiliki nilai fluks yang lebih kecil dibandingkan membran berpori, karena membran berpori rapat *dense* memiliki struktur yang lebih rapat, dan membran berpori strukturnya lebih berpori.

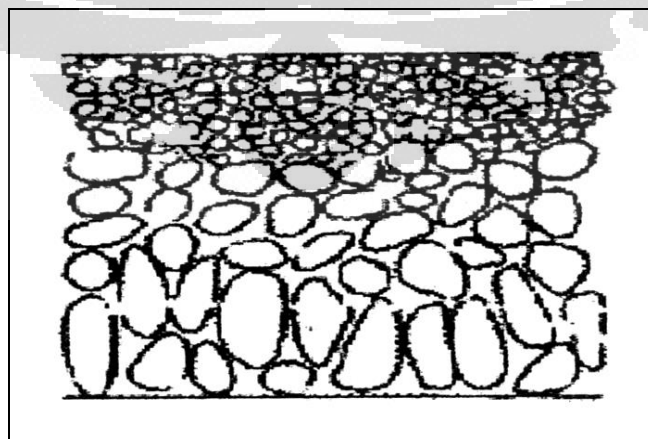
Struktur morfologis membran simetrik dapat dilihat pada Gambar 2.3



Gambar 2.3. Struktur morfologis membran simetrik (Howe G.M)

b. Membran asimetrik

Membran asimetrik pertama kali dibuat oleh Loeb Sourirajan pada tahun 1960-an (Ani Idris, dkk., 2005). Jenis membran ini memiliki dua lapisan, yaitu lapisan atas dan bawah. Pada lapisan atas memiliki struktur yang lebih rapat (ketebalan 0,1-0,5 μm), sedangkan pada lapisan bawah mempunyai struktur yang lebih berpori (ketebalan 50-150 μm). Membran ini memiliki fluks yang besar, sehingga sering digunakan pada proses komersial. Pemisahan dan laju permeasi membran ditentukan oleh lapisan atas permukaannya, sedangkan lapisan bawah berfungsi sebagai penopang yang memberikan kekuatan mekanik pada membran. Struktur morfologis membran asimetrik dapat dilihat pada Gambar 2.4:



Gambar 2.4. Struktur morfologis membran asimetrik
(Loeb Sourirajan)

2.2.3. Klasifikasi membran berdasarkan prinsip pemisahan

Klasifikasi membran berdasarkan struktur prinsip pemisahan dan struktur pori, dibagi dalam tiga kategori (Mulder, 1996):

1. Membran berpori

Membran jenis ini digunakan pada mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi. Tingkat selektivitas bergantung pada ukuran partikel dibandingkan ukuran pori membran.

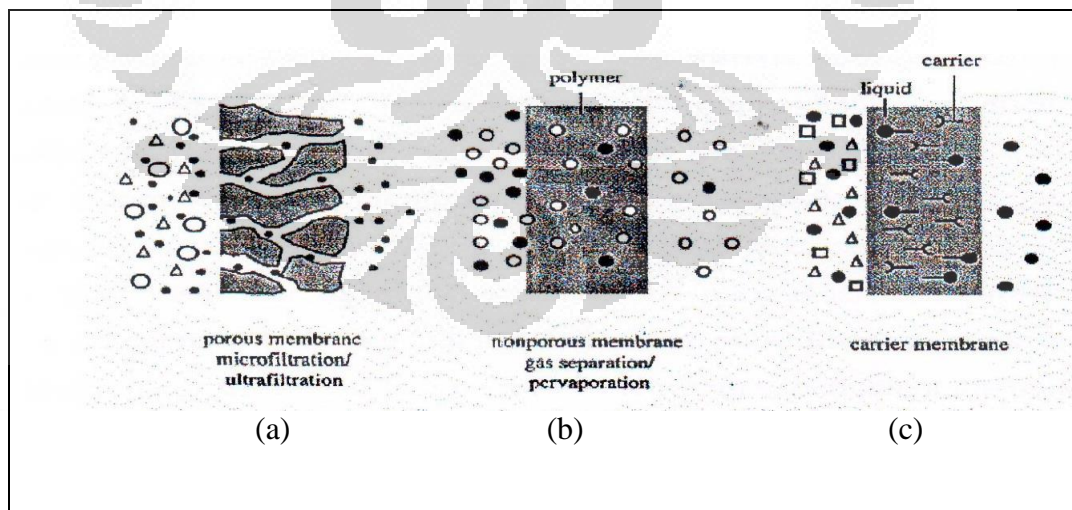
2. Membran tidak berpori

Membran jenis ini sangat memungkinkan untuk pemisahan molekul yang memiliki ukuran yang hampir sama. Membran ini sering digunakan dalam pervaporasi. Prinsip pemisahan berdasarkan pada perbedaan difusifitas dan *solubility*.

3. Membran dengan pembawa

Prinsip pemisahan menggunakan membran jenis ini adalah molekul pembawa dapat memindahkan molekul yang ingin dipisahkan. Molekul pembawa dapat berada di dalam pori pada membran. Molekul pembawa mempunyai spesifikasi afinitas terhadap komponen yang diinginkan.

Gambar 2.5 berikut merupakan gambar ketiga membran berdasarkan prinsip pemisahan:



Gambar 2.5. (a) Membran berpori (b) Membran tidak berpori dan (c) membran dengan pembawa

2.2.4. Klasifikasi membran berdasarkan sifat kimia

Berdasarkan sifat kimianya membran dapat diklasifikasikan menjadi yang terbuat dari bahan organik (polimer) dan bahan anorganik (logam, keramik, atau gelas) (Baker, 2000).

1. Membran organik

Pada dasarnya semua polimer dapat digunakan sebagai bahan dasar membran, akan tetapi proses dan waktu hidup membran menjadi bahan yang harus dipertimbangkan dalam pemilihan bahan dasar membran. Beberapa bahan polimer yang terpenting diantaranya selulosa asetat, polisulfon, poliamida, polikarbonat, polipropilen, nilon dan lain-lain.

2. Membran anorganik

Membran ini memiliki sifat mekanik dan stabilitas panas yang lebih baik dibandingkan membran organik. Akan tetapi, membran jenis ini masih memiliki kelemahan yaitu rapuh. Oleh karena itu, mayoritas digunakan pada skala industri seperti pada pengolahan air yang menggunakan suhu tinggi dan pengolahan susu pada proses sterilisasi.

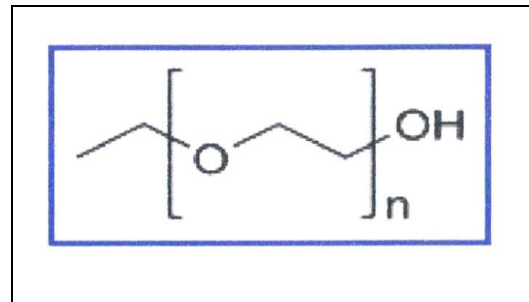
2.3. Faktor yang berpengaruh terhadap kinerja membran

Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kinerja membran, yaitu adanya media pembawa, jenis polimer, jenis pelarut, jenis koagulan, dan jenis aditif dan media penyimpanan.

2.3.1. Media Pembawa (carrier)

Dalam pemilihan pembawa, harus dipilih zat yang memiliki afinitas yang tinggi terhadap gas CO₂ sehingga fluks dan selektivitasnya dapat ditingkatkan. Pada penelitian ini digunakan PEG (Polietilen Glikol) sebagai pembawa.

Struktur kimia PEG dapat dilihat pada Gambar 2.6



Gambar 2.6. Struktur kimia PEG

Hasil dari penelitian-penelitian yang telah menggunakan PEG sebagai pembawa dapat dilihat pada Tabel 2.2:

Tabel 2.2. Data laju permeasi dan selektivitas membran dengan pembawa (PEG)

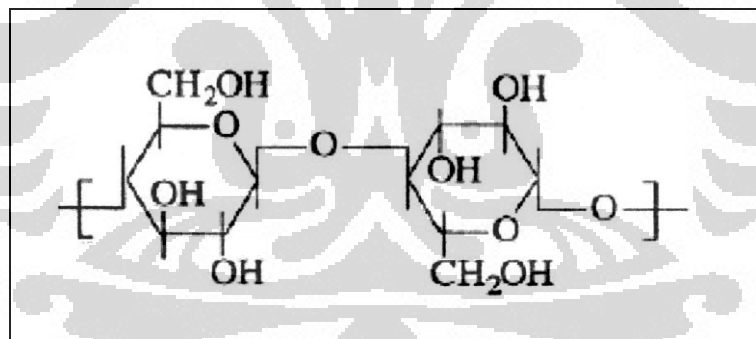
Membran	Permeasi CO ₂ (cm ³ (STP)/cm ² .S.cmHg)	Tekanan (cmHg)	Selektivitas	Daftar acuan
PEG 600 pada selulosa asetat	5,72 x 10 ⁻¹⁰	20	6,88	Li. B. <i>et.al.</i> , 1995
PEG 2000 pada selulosa asetat	6,31 x 10 ⁻¹⁰	20	11,5	Li. B. <i>et.al.</i> , 1995
PEG pada polisulfon	9,5 x 10 ⁻⁷	517	23,75	Li. B. <i>et.al.</i> , 1995
PEG 400 pada selulosa asetat	2,55 x 10 ⁻⁷	103,4	178,4	Kim. H.J. <i>et.al.</i> , 1999

Dari Tabel 2.2 tersebut terlihat bahwa penggunaan PEG dengan berat molekul yang berbeda pada membran selulosa asetat akan diperoleh selektivitas yang berbeda. Pada penelitian ini, digunakan PEG dengan berat molekul berbeda yaitu PEG 4000.

2.3.2 Pemilihan Polimer

Pemilihan polimer merupakan hal yang penting karena akan mempengaruhi kinerja membran secara langsung melalui morfologi membran yang dihasilkan. Polimer ideal adalah polimer yang memiliki struktur yang sesuai dengan unsur yang akan dipisahkan, kuat, amorf, tetapi tidak rapuh pada pemakaian di bawah transisi gelasnya (T_g).

Pada penelitian ini digunakan selulosa asetat, karena selulosa asetat bersifat polar sama seperti sifat gas CO_2 yang bersifat polar, sehingga affinitasnya terhadap CO_2 tinggi yang pada akhirnya meningkatkan laju permeasi, sedangkan gas CH_4 bersifat non polar. Disamping itu selulosa asetat lebih mudah didapat dan murah dibandingkan polisulfon dan polimer lainnya.



Gambar 2.7. Struktur kimia Selulosa Asetat

2.3.3 Pemilihan Pelarut

Pelarut yang dipilih adalah yang dapat melarutkan polimer dengan baik (aseton, isopropanol, metanol). Polimer tersebut hanya sedikit larut dalam non pelarut (air). Polimer yang memenuhi spesifikasi tersebut adalah selulosa asetat, polisulfon, poliamida aromatik, poliimida, polieterimida.

Dalam pemisahan gas CO_2 dari CH_4 , pelarut yang digunakan adalah aseton karena dapat melarutkan selulosa asetat dengan baik dan mudah untuk terevaporasi. Pada saat pencetakan, aseton akan mengalami penguapan dan

menghasilkan membran padat yang berpori rapat. Hal ini dapat membantu pemisahan itu sendiri, karena lapisan dengan pori rapat (lapisan atas) akan berfungsi sebagai penyeleksi.

Selain itu, aseton juga larut dalam air yang digunakan sebagai koagulan dalam proses preparasi membran. Akibatnya dalam proses koagulasi, akan terjadi proses difusi aseton ke dalam air, sehingga dihasilkan membran dengan struktur pori yang rapat.

2.3.4 Pemilihan koagulan

Jenis koagulan yang digunakan juga dapat mempengaruhi morfologi membran. Koagulasi adalah proses yang perubahan fasa pada larutan *casting* membran dari fasa cair menjadi fasa padat. Koagulan yang banyak digunakan adalah air, akan tetapi dapat digunakan pula selain air asalkan koagulan dapat saling larut dengan pelarut yang digunakan.

Apabila interaksi antara pelarut dan koagulan tinggi, maka proses pertukaran akan berlangsung dengan cepat, sehingga porositas membran menjadi lebih besar. Sebaliknya, apabila interaksi koagulan dengan pelarut rendah, maka proses pertukaran akan berlangsung perlahan-lahan mengakibatkan ukuran pori yang terbentuk menjadi lebih kecil.

Selulosa asetat memiliki banyak gugus hidroksil. Jumlah gugus hidroksil yang banyak tersebut menyebabkan selulosa asetat tidak terlarut dalam air. Hal tersebut disebabkan oleh timbulnya ikatan hidrogen secara merata dalam selulosa asetat sehingga molekul-molekul dalam selulosa saling berikatan dengan kuat dan tidak dapat dilarutkan dalam air.

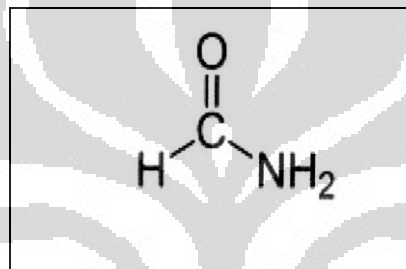
Koagulan dibutuhkan dalam jumlah yang cukup banyak dan harus sering diganti oleh karena itu sebagai koagulan digunakan air karena air tidak menimbulkan pencemaran lingkungan, relative murah dan mudah didapat.

2.3.5. Pemilihan Aditif

Aditif yang digunakan harus larut dalam pelarut, tetapi tidak mudah menguap. Sifat ini dibutuhkan saat evaporasi, agar pori membran dapat terbentuk dengan baik. Untuk membran asimetrik dapat digunakan aditif berupa

formamida.

Senyawa formamida (CH_3NO atau HCONH_2) merupakan zat aditif yang dapat membantu pembentukan pori pada membran asimetrik. Penambahan formamida pada membran akan menghasilkan lapisan bawah membran (sub layer) lebih berpori. Lapisan ini akan memudahkan keluarnya gas yang telah diseleksi pada lapisan atas, sehingga akan memberikan permeabilitas gas CO_2 yang tinggi. Formamida sangat mudah teroksidasi dan berubah warna bila terkena cahaya, sehingga dalam proses penyiapan larutan harus diberi pelindung agar tidak terkena cahaya.



Gambar 2.8. Struktur kimia Formamida

2.3.6 Media Penyimpanan

Dalam penelitian ini, membran disimpan dalam berbagai media penyimpanan yaitu desikator, air dan heksan. Media penyimpanan sangat berpengaruh terhadap kinerja membran dalam pemisahan CH_4 dan CO_2 . Untuk proses solvent drying, ada dua media penyimpanan yaitu penyimpanan di dalam larutan terakhir dan dalam desikator. Hasil akhir, diharapkan didapatkan membran dengan kondisi kering dan selektivitasnya tinggi

2.4. Preparasi Membran

Beberapa teknik preparasi membran yang telah dikembangkan untuk mendapatkan morfologi membran yang sesuai dengan kebutuhan (Lazuardi, 1995) adalah:

- a. *Sintering*.
- b. *Stretching*.

- c. *Track-Etching*
- d. Pelapisan
- e. Inversi fasa

Pada penelitian ini preparasi membran menggunakan teknik inversi fasa. Teknik ini telah diperkenalkan oleh Loeb-Sourirajan pada tahun 1960-an. Teknik ini merupakan teknik yang sering digunakan karena sangat fleksibel dalam menghasilkan bentuk morfologinya. Inversi fasa adalah proses perubahan fasa suatu polimer dengan cara mengontrol perubahan dari fasa cair menjadi fasa padat. Pemadatan diawali dengan transisi larutan polimer menjadi dua fasa, yaitu fasa kaya polimer (*rich polymer*) dan fasa sedikit polimer (*lean polymer*). Fasa cair dengan konsentrasi polimer tinggi akan memadat, sehingga terbentuk matriks membran. Sedangkan fasa cair dengan konsentrasi polimer rendah akan membentuk pori membran.

Pada penelitian ini teknik inversi fasa dari cair ke padat dengan menggunakan metode pencelupan polimer. Hampir semua membran komersial dibuat dengan proses pengendapan melalui pencelupan. Polimer dilarutkan dalam pelarut yang cocok (yang juga mungkin termasuk aditif). Larutan polimer dicetak langsung pada lapisan penyangga dengan menggunakan pisau pencetak. Ketebalan lapisan dapat divariasikan dari 50-500 μm . Film tersebut kemudian dicelupkan ke dalam bak koagulasi yang mengandung bukan pelarut (air), terjadi pertukaran antara pelarut dengan bukan pelarut dan akhirnya polimer mengendap. Air sering digunakan sebagai bukan pelarut, tetapi pelarut organik (seperti metanol) juga dapat digunakan sebagai bukan pelarut.

Parameter-parameter lainnya mencakup konsentrasi polimer, lama penguapan, kelembaban, suhu dan komposisi larutan polimer (aditif dan lain-lain) sangat berperan dalam menentukan kinerja membran seperti fluks dan selektivitas.

2.5. Penentuan Laju Permeasi Dan Selektivitas

2.5.1. Permeabilitas Gas Murni

Permeabilitas gas murni adalah jumlah atau banyaknya gas murni yang dapat menembus membran. Permeabilitas membran ditentukan oleh konsentrasi dan mobilitas komponen dalam struktur membran. Konsentrasi komponen dalam membran berpori sangat tergantung pada ukuran pori membran dan konsentrasi ini dapat ditingkatkan dengan penggunaan zat pembawa yang bersifat selektif dan memiliki mobilitas tertentu (Andriani, 2003).

Persamaan yang digunakan untuk menentukan permeabilitas gas murni yaitu:

$$P = \frac{Q \cdot I}{A_m \cdot \Delta P} \dots\dots\dots (2.7)$$

P = permeabilitas gas murni ($\text{cm}^3 \text{ cm/cm}^2 \text{ det cmHg}$)

Q = laju alir permeat (cm^3/detik)

I = tebal membran (cm)

A_m = luas membran (cm^2)

ΔP = beda tekanan umpan dan permeat (cmHg)

2.5.2. Selektivitas

Selektivitas membran umumnya dinyatakan dalam 2 parameter, yaitu faktor retensi (R) atau faktor pemisahan (α). Faktor retensi (R) digunakan untuk menyatakan selektivitas membran pada proses pemisahan suatu komponen dari larutan. Untuk pemisahan gas, selektivitas membran dinyatakan dengan faktor pemisahan (α). Faktor pemisahan (α) adalah perbandingan antara permeabilitas gas yang satu dengan laju permeasi gas yang lain seperti yang tertera rumus di bawah ini:

$$\alpha_{i,j} = \frac{P_i}{P_j} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana: P_j = permeabilitas gas murni (j)
 P_i = permeabilitas gas murni (i)
 α = selektivitas

Selektivitas gas murni merupakan perbandingan permeabilitas gas murni (i) terhadap permeabilitas gas murni (j). Parameter fluks (J) dan faktor pemisahan atau selektivitas (α) sangat berpengaruh pada kehandalan membran. Nilai fluks yang tinggi mengarah pada produktivitas yang tinggi serta kebutuhan luas area membran yang sempit. Sedangkan selektivitas (α) yang tinggi akan mempengaruhi efisiensi pemisahan dan penurunan biaya (Mulder, 1996). Faktor permeabilitas dan selektivitas mengarah pada pemilihan proses yang lebih ekonomis. Akan tetapi pada beberapa pemisahan, permeabilitas dan selektivitas cenderung berlawanan. Pada permeabilitas yang tinggi, maka harga selektivitas rendah, begitu pula sebaliknya

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu Dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 6 bulan, mulai dari bulan Februari 2009 sampai Juni 2009 di laboratorium proses separasi, PPPTMGB (LEMIGAS) Jl. Ciledug Raya, Cipulir Kebayoran Lama, Jakarta Selatan.

3.2. Alat dan Bahan

3.2.1. Alat-alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: pisau perata merek yoshimitsu (0-500 μm) Tokyo jepang, kaca lembaran (ukuran 26x32cm), tabung erlenmeyer pirex, gelas beaker Duran 50, neraca meter toledo tipe PB 3002-s, spatula, desikator, kertas saring, penangas air merek grant W28, stopwatch seiko S031-4010 jepang, pipet volume, magnetik stirrer IKA labortechnik tipe RCT-B, kotak plastik merek dicky, sel permeasi terdiri dari dua buah lempeng logam sebagai tempat membran diletakkan kemudian kedua lempeng logam akan dikaitkan dengan baut sehingga gas yang akan dialirkan di dalam sel permeasi tidak bocor.

3.2.2. Bahan-Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Polimer CA (kandungan asetil 39,8%), merek Aldrich.
2. Polietilen glikol (PEG 4000) pro analisis Merck, Jerman.
3. Formamide merek Merck, Jerman
4. Pelarut aseton pro analisis Merk, Jerman.
5. Pelarut aseton teknis
6. Gas metana murni
7. Gas karbondioksida murni
8. Iso propanol

3.3. Cara Kerja

Skema kerja pembuatan membran asimetrik CA dapat dilihat pada Lampiran 8 dan Lampiran 9.

3.3.1. Pembuatan Membran CA

Preparasi membran pada penelitian ini digunakan teknik Loeb-Sourirajan. Preparasi pembuatan membran sebagai berikut:

Selulosa asetat dilarutkan dalam aseton, setelah itu campuran polimer dan pelarut diaduk hingga homogen menggunakan magnetik stirrer selama ± 24 jam. Larutan yang sudah homogen dibiarkan sampai gelembung udara yang ada di dalam larutan menghilang (± 12 jam). Larutan dituangkan ke atas plat kaca untuk proses *casting* (pencetakan). Proses pencetakan membran dilakukan dengan pisau Dr Knife yang memiliki ukuran dengan ketebalan $250 \mu\text{m}$. Membran yang telah dicetak dikeringkan di udara terbuka (evaporasi) selama 60 detik. Selanjutnya dilakukan proses koagulasi. Plat kaca yang berisi cetakan membran dicelupkan ke dalam bak berisi air es pada suhu kurang lebih 10°C selama 1 jam. Selanjutnya dilakukan *annealing*. Membran dimasukkan dalam water bath yang berisi air panas pada suhu 70°C selama 10 menit. Terakhir membran disimpan dalam 3 macam media penyimpanan yaitu: desikator, kotak air, dan *solvent drying*. Untuk membran yang diberi perlakuan *solvent drying*, selanjutnya disimpan di dalam desikator dan heksan.

Tabel 3.1 Komposisi *solvent drying*

I	Air	=100
II	Air : Iso propanol	=75 : 25
III	Air : Iso propanol	=50 : 50
IV	Air : Iso propanol	=25 : 75
V	Iso propanol	= 100
VI	Iso propanol : heksana	= 75 : 25
VII	Isopropanol : heksana	= 50 : 50
VIII	Isopropanol : heksana	= 25 : 75
IX	Heksana	=100

Cara pengerjaan dalam *solvent drying* adalah:

Setelah proses annealing, membran disimpan dalam larutan I selama 15 menit. Setelah diangkat, disimpan dalam larutan II selama 15 menit dan seterusnya sampai larutan IX. Untuk membran yang diberi perlakuan *solvent drying*, selanjutnya disimpan di dalam dua macam media penyimpanan, yaitu desikator dan heksana.

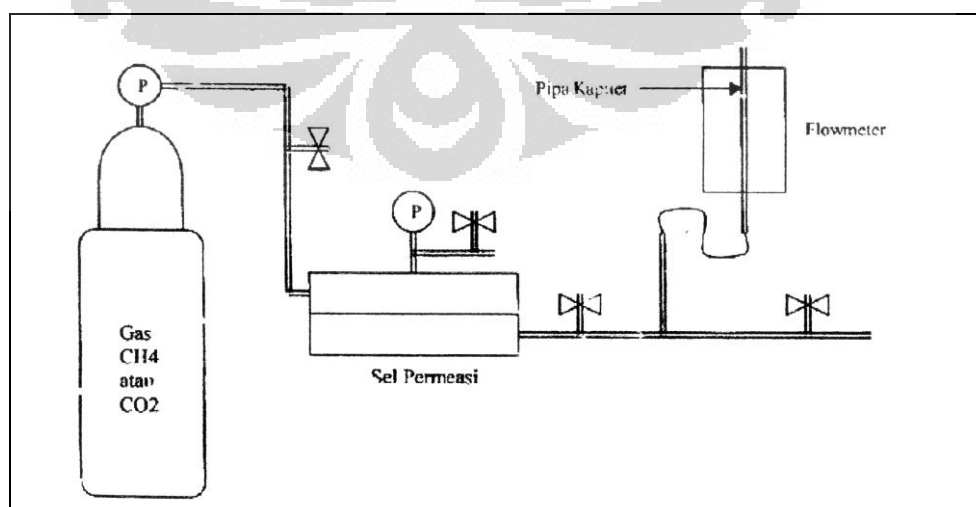
3.3.2. Variasi Preparasi Membran

Dengan melakukan prosedur yang sama pada 3.1 dilakukan beberapa variasi, (lihat Lampiran 8 dan Lampiran 9) yaitu

1. Variasi membran dengan PEG dan membran tanpa PEG
2. Variasi membran dengan formamida dan membran tanpa formamida
3. Variasi media penyimpanan di dalam desikator dan air.
4. Untuk membran dengan perlakuan solvent drying selanjutnya disimpan dalam desikator dan heksan
5. Membran yang hasil selektivitasnya optimum, selanjutnya suhu koagulasi divariasikan 10°C, 18°C, dan 25°C

3.3.3. Pengujian Laju Permeasi

Untuk pengujian laju permeasi gas CO_2 dan CH_4 dilakukan dengan menggunakan sel permeasi yang dapat dilihat pada Gambar 3.1:



Gambar 3.1 Skema peralatan sel permeasi

1. Sebelum di uji, membran dipotong membentuk lingkaran dengan diameter 4 cm, selanjutnya diletakkan dalam sel permeasi dan ditutup rapat.
2. Sel permeasi dihubungkan dengan tabung gas CH₄ murni.
3. Gas CH₄ murni dialirkan dengan tekanan dari yang rendah 10 psi hingga 100 psi.
4. Pengoperasian sel dimulai dari membuka kran pertama untuk mengalirkan gas CH₄. Aliran gas akan melewati membran yang ada di dalam sel permeasi
5. Setelah keluar dari sel permeasi, gas melewati keran kedua dan masuk ke arah flowmeter.
6. Kemudian di dalam flowmeter, dicatat waktu tempuh dari titik A sampai titik B pada tekanan 10- 100 psi.
7. Kran 3 berfungsi untuk membuang gas yang telah diukur dengan flowmeter. Setelah sisa gas habis, dapat digunakan untuk pengukuran gas CO₂
8. Diulangi langkah di atas untuk gas CO₂.

3.4. Uji Laju Permeasi Dan Selektivitas Gas CH₄ Dan CO₂

Setelah tahapan pengujian dengan sel permeasi, dihitung laju alir gas (Q) dengan menggunakan data variasi jarak dan waktu. Dengan menggunakan rumus berikut:

$$Q = A \frac{dL}{dt} \dots \dots \dots (3.1)$$

Q = laju alir gas (cm³/s)

A = luas penampang pipa kapiler (cm²).

Pada penelitian ini= 0.0325 cm²

dL/dt = jarak yang ditempuh propanol untuk waktu tertentu (cm/s)

Penghitungan laju alir permeat pada kondisi standar (Q_{STP}), 1 atm dan $0^{\circ}C$ (273 K), yaitu:

$$Q_{STP} = Q \frac{273}{T+273} \dots\dots\dots (3.2)$$

T = suhu percobaan = suhu ruang = $25^{\circ}C$

Penghitungan laju permeasi gas pada membran adalah:

$$\frac{P}{I} = \frac{Q_{STP}}{A_m(P_i - P_o)} \dots\dots\dots (3.3)$$

A_m = luas penampang membran (cm^2) = $11.3 cm^2$

P_i = tekanan umpan (cmHg)

P_o = tekanan permeat (cmHg)

P/I = laju permeasi gas murni ($cm^3_{(STP)}/cm^2.s.cmHg$)

Q_{STP} = laju alir gas permeat pada kondisi STP ($cm^3_{(STP)}/S$)

Penghitungan selektifitas CO_2 terhadap CH_4 dengan menggunakan persamaan:

$$\alpha_{CO_2/CH_4} = \frac{P/I(CO_2)}{P/I(CH_4)} \dots\dots\dots (3.4)$$

α_{CO_2/CH_4} = selektivitas gas CO_2 terhadap CH_4

$P/I(CO_2)$ = laju permeasi gas CO_2 ($cm^3_{(STP)}/cm^2.s.cmHg$)

$P/I(CH_4)$ = laju permeasi gas CH_4 murni
($cm^3_{(STP)}/cm^2.s.cmHg$)

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan PEG, Formamida dan media penyimpanan, serta suhu terhadap laju permeasi dan selektivitas membran CA untuk pemisahan CH₄ dan CO₂.

4.1 Pembuatan Membran CA

Proses pembuatan membran terdiri dari beberapa tahapan yaitu: pembuatan adonan polimer (pelarutan), pencetakan (*casting*), penguapan pelarut di udara terbuka (evaporasi), perendaman dalam air dingin (koagulasi), perendaman dalam air panas (annealing) dan penyimpanan membran dalam media penyimpan.

Preparasi membran CA dengan PEG dan Formamida dilakukan dengan menggunakan CA berbentuk serbuk halus berwarna putih sebagai polimer yang berperan membentuk matriks membran, serta PEG yang berbentuk kristal putih sebagai media pembawa yang diharapkan dapat meningkatkan kinerja membran. PEG tersebut digerus terlebih dahulu membentuk butiran-butiran yang lebih halus, agar dalam pelarutan terbentuk larutan homogen. Selanjutnya, selulosa asetat dan PEG tersebut dilarutkan dalam pelarut aseton di dalam erlenmeyer, kemudian ditambahkan formamida (aditif). Larutan diaduk menggunakan pengaduk magnetik selama 24 jam, sehingga didapatkan larutan polimer yang homogen. Setelah itu erlenmeyer ditutup dengan menggunakan aluminium foil, karena formamida akan mudah teroksidasi jika terkena cahaya dan menyebabkan larutan menjadi kuning. Penggunaan formamida dimaksudkan sebagai promotor pembentukan pori pada membran karena sifat formamida lebih sukar menguap dibandingkan aseton, sehingga formamida akan tertinggal lebih lama pada membran saat dilakukan evaporasi dan akan membentuk pori dalam jumlah lebih banyak dibandingkan jika tidak digunakan formamida.

Proses pengadukan pada pembuatan adonan polimer diperlukan untuk mendapatkan adonan polimer yang homogen dan adanya udara yang terperangkap

pada saat pengadukan harus dihilangkan sebelum pencetakan dengan cara mendiamkan adonan selama 24 jam. Hal ini penting sebab jika larutan polimer yang dihasilkan langsung dicetak tanpa menghilangkan gelembung-gelembung udaranya terlebih dahulu maka gelembung-gelembung tersebut dapat menyebabkan kebocoran (void) pada struktur membran yang dihasilkan.

Pada saat pencetakan membran (*casting*), adonan dituangkan di atas lembaran kaca. Lembaran kaca tersebut diusahakan bersih dan kering untuk mencegah debu menempel pada struktur membran yang dihasilkan. Setelah itu, digunakan pisau perata untuk membentuk membran dengan ketebalan 250 μm . Kekuatan tekanan dan kecepatan penarikan pisau perata pada saat melakukan pencetakan membran dibuat tetap (tidak terlalu cepat dan tidak terlalu lambat) agar lembaran membran yang dihasilkan memiliki ketebalan yang sama di setiap bagiannya. Larutan polimer yang telah dicetak tersebut kemudian dibiarkan menguap selama 60 detik untuk membiarkan sebagian pelarutnya menguap. Hal ini dimaksudkan agar terbentuk lapisan selektif pada bagian atas membran karena lapisan tersebut tidak lagi mengandung aseton. Lapisan selektif adalah lapisan di bagian atas membran yang lebih kaya polimer dan berperan penting dalam efektivitas membran tersebut dalam pemisahan gas CO_2 dan CH_4 .

Langkah selanjutnya membran yang telah dicetak direndam di dalam air dingin pada suhu $<10^\circ\text{C}$ selama 1 jam, hal ini dilakukan agar air dapat berdifusi ke dalam membran menggantikan pelarut aseton yang masih terperangkap dalam membran dan akhirnya membran memadat (inversi fasa) dan terlepas dari pelat kaca yang selanjutnya dilakukan proses annealing.

Proses annealing, yaitu perendaman membran di dalam air panas pada suhu 70°C . Proses ini berfungsi untuk menguatkan struktur membran yang terbentuk. Pada proses ini diharapkan terjadi pengecilan pori membran membentuk struktur yang lebih rapat.

Setelah proses annealing, membran asimetrik yang dihasilkan disimpan di dalam berbagai media penyimpanan yaitu desikator, kotak air dan solvent drying. Tahap terakhir, membran dan kemudian diuji laju permeasi dengan menggunakan sel permeasi pada tekanan 10-100 psi dan dihitung selektivitasnya.

4.2 Pengaruh PEG, Formamida, media penyimpanan dan suhu koagulasi terhadap selektivitas.

Data hasil pengukuran laju permeasi CH_4 dan CO_2 dan selektivitas dapat dilihat pada Lampiran 1- 5. Adapun data hasil perhitungan selektivitas pemisahan CH_4 dan CO_2 dari keseluruhan percobaan terdapat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Data range selektivitas semua jenis membran CA

Membran	Desikator	Air	Solvent drying, heksan	Solvent drying, desikator
CA+ Aseton	0.18-0.3.	0.23-0.41	0.82-2.87	0.09-0.82
CA+ Aseton+ PEG	0.52-4.02.	0.23-33.3	17.10-35.52.	2.31- 18.21
CA +Aseton+F	0.85-1.01.	0.95-6.04.	1.17-3.98	1.71-10.08
CA+Aseton+F+PEG	0.72-0.79.	5.44- 19.56	0.4-14.4	0.46-5.47

4.2.1 Media desikator

Membran penyimpanan dalam desikator secara umum memiliki nilai selektivitas yang tidak begitu baik, karena dalam desikator terjadi pengeringan membran secara tiba-tiba, sehingga mengakibatkan lapisan pori rubuh yang dapat menyebabkan cacat pada lapisan selektifnya sehingga lapisan selektif tidak berfungsi secara maksimal dan mengakibatkan laju permeasi kedua gas cukup tinggi. Rubuhnya lapisan pori tersebut dapat menurunkan kinerja lapisan selektifnya dan dapat menurunkan selektivitasnya. Artinya, lapisan selektif pada membran yang disimpan di desikator memang sudah tidak efektif lagi untuk memisahkan gas CO_2 dan CH_4 baik pada tekanan rendah maupun tekanan tinggi. Membran dalam desikator selektivitas tertinggi hanya mencapai 4.02. Membran yang paling baik adalah membran dengan penambahan PEG, karena PEG dapat berfungsi sebagai media pembawa CO_2 , sehingga CO_2 cepat lolos dari membran. Rendahnya selektivitas membran tanpa PEG ini disebabkan banyaknya *defect* yang terdapat pada membran. Penambahan PEG akan meningkatkan densitas membran sehingga membran yang terbentuk akan lebih padat. Membran yang lebih padat akan mengurangi kemungkinan terjadinya *defect* pada membran.

Defect dapat menyebabkan laju permeasi gas CH₄ meningkat karena gas tidak terhalang oleh lapisan selektif (lapisan atas) melainkan langsung menuju lapisan berpori (lapisan bawah). Oleh karena itu, membran tanpa PEG menghasilkan laju permeasi CH₄ yang lebih tinggi dibandingkan membran tanpa PEG. Penambahan PEG juga dapat meningkatkan laju permeasi gas CO₂ karena PEG dapat mengabsorpsi gas CO₂ sehingga lebih mudah dan lebih cepat melewati membran. Mekanismenya dalam struktur PEG terdapat gugus OH pada ujung rantai. Gugus OH dapat membentuk ikatan hidrogen dengan CO₂, sehingga PEG dapat mengabsorpsi CO₂ dibandingkan CH₄ yang non polar. Membran dengan PEG dalam desikator selektivitasnya paling tinggi yaitu 4.02. Membran dengan penambahan Formamida selektivitasnya tidak lebih baik, karena penambahan Formamida pada membran mengakibatkan peningkatan pembentukan pori. Larutan aseton menguap terlebih dahulu dibanding Formamida, sehingga Formamida tertinggal lebih lama di membran. Akibatnya peningkatan jumlah pori serta pori yang lebih besar di lapisan sublayer. Hal ini akan memudahkan keluarnya gas-gas yang telah diseleksi pada lapisan selektif (lapisan atas) sehingga akan memberikan permeabilitas gas CO₂ yang tinggi. Adanya pori menyebabkan laju permeasi CO₂ besar dan akibatnya laju permeasi gas CH₄ juga tinggi sehingga selektivitasnya rendah.

4.2.2 Media Penyimpanan Air

Oleh karena penyimpanan dalam desikator selektivitasnya rendah, maka dilakukan penyimpanan dalam air. Membran yang disimpan di dalam air secara umum memberikan selektivitas yang lebih tinggi dibandingkan membran yang disimpan dalam desikator. Penyimpanan di dalam air menjaga struktur pori membran tidak berubah dan tidak rapuh dan ketahanan mekanisnya tinggi. Oleh karena itu, membran yang disimpan di dalam air lebih baik menahan laju permeasi gas CH₄.

4.2.3 Kepolaran Bertahap Dalam Heksana

Dalam aplikasinya, membran digunakan dalam kondisi kering. Namun dari hasil variasi sebelumnya diketahui penyimpanan dalam desikator belum

memberikan hasil yang baik. Oleh karena itu, variasi media penyimpanan yang lainnya perlu dilakukan. Salah satunya dengan *solvent drying* (kepolaran bertahap). Kepolaran bertahap yang dimaksud adalah pengeringan membran secara bertahap berdasarkan kepolaran dari larutan. Pengeringan secara bertahap dilakukan agar pengeringan membran tidak berjalan tiba-tiba, tetapi bertahap agar pori-porinya tidak runtuh. Membran disimpan dalam larutan yang mempunyai kepolaran yang tinggi sampai dengan kepolaran yang rendah secara bertahap. Membran dengan kepolaran bertahap, lapisan selektifnya dapat terbentuk baik. Oleh karena itu, membran yang disimpan dengan kepolaran bertahap efektif dalam pemisahan CH_4 dan CO_2 . Terbukti dengan hasil selektivitas dari kedua membran yang lebih tinggi dibandingkan membran yang disimpan dalam air dan dalam desikator saja tanpa perlakuan tambahan yaitu *solvent drying*. Pada penelitian ini dilakukan 2 variasi penyimpanan *solvent drying*, yaitu disimpan dalam pelarut terakhir (heksana 100%) dan dalam desikator. Untuk penyimpanan dalam heksana secara umum nilai selektivitasnya baik. Membran yang terbaik adalah CA+ aseton + PEG dengan nilai selektivitas 35.52. Pada membran dengan penambahan Formamida, ternyata selektivitasnya tidak lebih baik karena terbentuknya banyak pori di membran CA, sehingga laju permeasi gas CO_2 tinggi dan laju permeasi gas CH_4 tinggi. Setelah dilihat nilai selektivitas yang cukup baik di dalam heksana, maka dilakukan variasi penyimpanan dalam desikator untuk dilihat nilai selektivitasnya.

4.2.4 Kepolaran Bertahap, Penyimpanan Dalam Desikator

Membran perlakuan *solvent drying* yang disimpan dalam desikator, secara umum nilai selektivitasnya tidak jauh berbeda. Selektivitas yang cukup baik karena proses pengeringan membran CA tidak secara tiba-tiba melainkan secara bertahap sehingga pori-porinya tidak runtuh. Membran yang memberikan selektivitas yang baik adalah membran CA+ aseton dan membran CA+ Aseton+ PEG. Berarti lapisan selektifnya dapat bekerja dengan baik sehingga efektif dalam pemisahan CH_4 dan CO_2 . Oleh karena di dalam aplikasinya membran digunakan dalam kondisi kering, maka hasil ini sesuai dengan yang diinginkan yaitu membran CA dalam kondisi kering. Membran yang terbaik yang memiliki

selektivitas tertinggi adalah membran CA+ aseton+ PEG oleh karena nilai selektivitasnya optimal, maka dilakukan variasi suhu ketika proses koagulasi.

4.2.5 Pengaruh Suhu Koagulasi

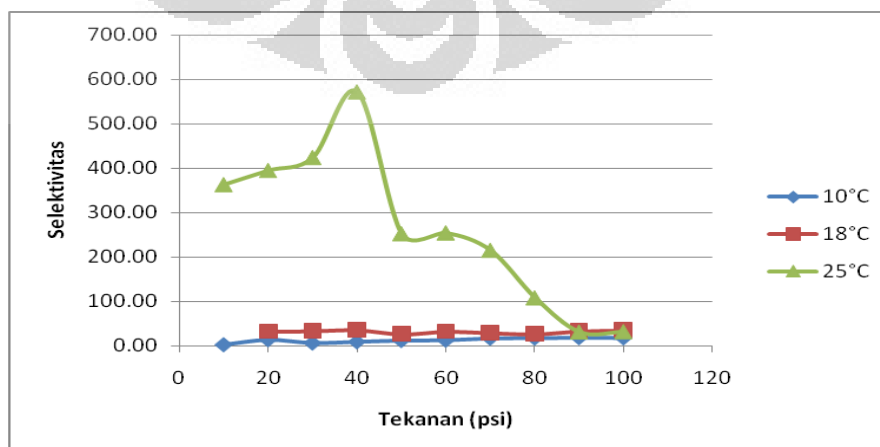
Membran CA setelah selesai *casting* dan diuapkan, kemudian dikoagulasi di dalam air dengan suhu kamar yang divariasikan yaitu 10°C, 18°C dan 25°C untuk dilihat pengaruh suhu koagulasi terhadap selektivitas.

Pengaruh suhu koagulasi terhadap selektivitas pemisahan CH₄ dan CO₂ pada membran CA+ AC+PEG *solvent drying*, desikator dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.1.

Tabel 4.2. Pengaruh suhu koagulasi terhadap selektivitas membran CA+ Aseton +PEG

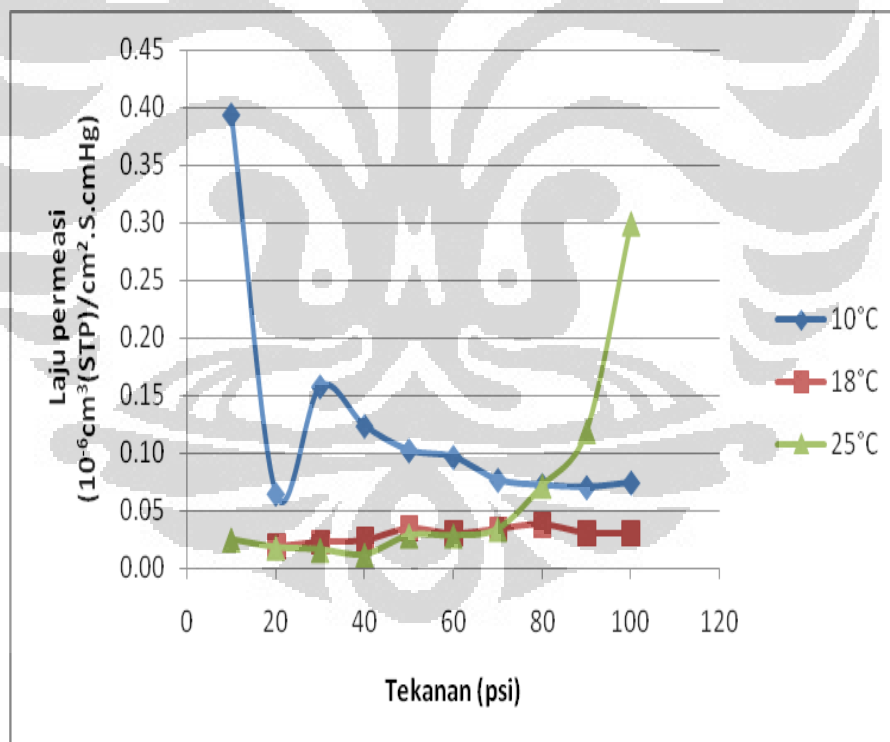
Tekanan (psi)	10°C	18°C	25°C
10	2.31	TD	363.54
20	13.39	32.04	395.53
30	6.03	33.39	424.69
40	8.86	35.62	572.74
50	11.65	25.97	252.99
60	12.45	32.03	254.80
70	16.82	28.90	215.42
80	17.19	26.17	108.47
90	18.21	32.89	31.27
100	17.52	34.77	32.33

Gambar 4.1 Grafik pengaruh suhu koagulasi terhadap selektivitas



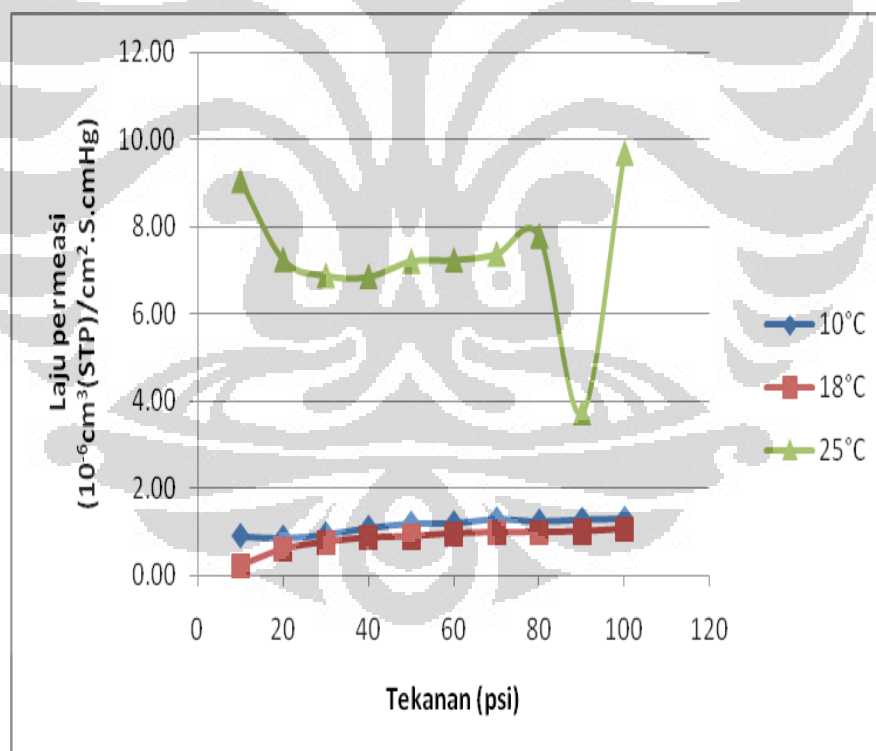
Tabel 4.3. Laju permeasi CH₄

Tekanan (psi)	10°C	18°C	25°C
10	0.39	TD	0.02
20	0.06	0.02	0.02
30	0.16	0.02	0.02
40	0.12	0.02	0.01
50	0.10	0.03	0.03
60	0.10	0.03	0.03
70	0.08	0.03	0.03
80	0.07	0.04	0.07
90	0.07	0.03	0.12
100	0.07	0.03	0.30

Gambar 4.2. Grafik laju permeasi CH₄

Tabel 4.4. Laju permeasi CO₂

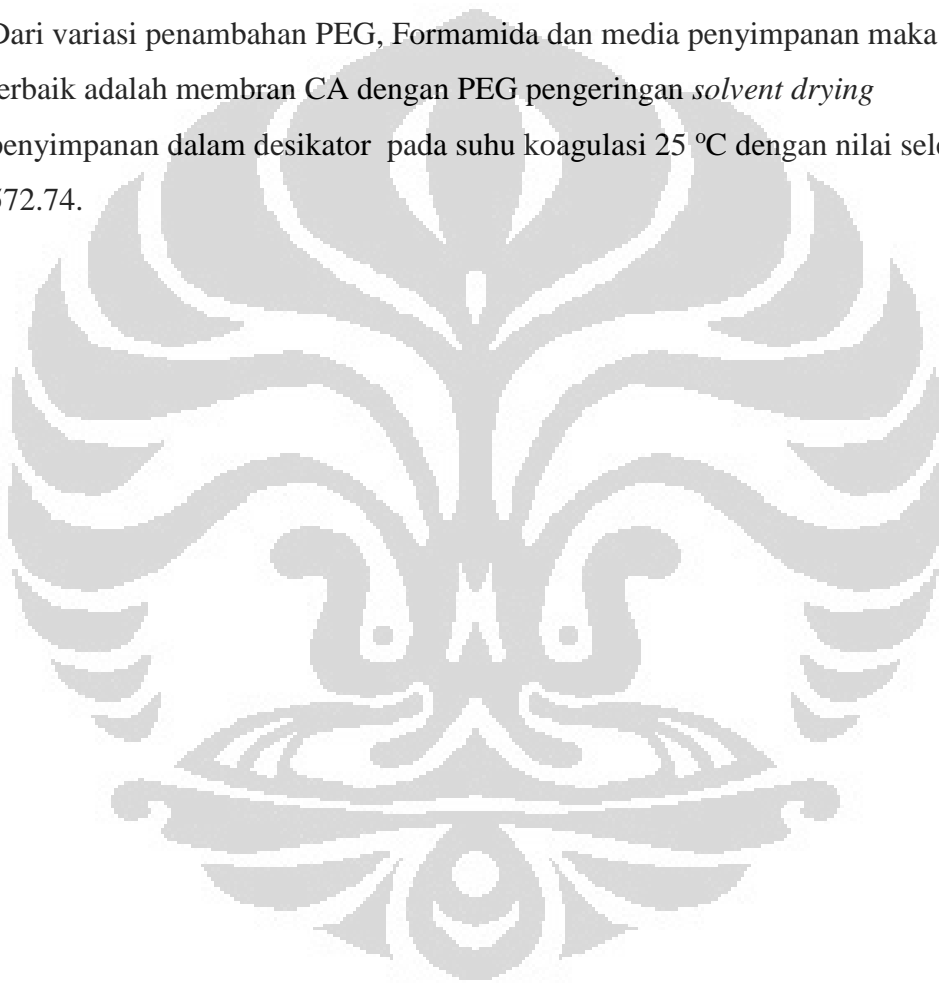
Tekanan (psi)	10°C	18°C	25°C
10	0.91	0.22	9.05
20	0.87	0.60	7.24
30	0.95	0.76	6.87
40	1.09	0.86	6.85
50	1.19	0.89	7.20
60	1.20	0.95	7.23
70	1.29	0.98	7.36
80	1.24	0.98	7.77
90	1.28	1.00	3.72
100	1.30	1.05	9.67

Gambar 4.3. Grafik laju permeasi CO₂

Laju permeasi CO₂ yang paling tinggi adalah pada suhu 25°C (3.72- 9.05), sedangkan laju permeasi CO₂ pada suhu 10°C dan 18°C hampir sama. Laju permeasi CO₂ pada suhu 10° C (0.87-1.3) dan pada suhu 18° C (0.22-1.05).

Laju permeasi CH_4 pada suhu 25°C dari tekanan 10 psi- 70 psi relatif rendah, namun mulai mengalami kenaikan pada tekanan 70 psi, kemungkinan membran mulai mengalami *defect* sehingga membran tidak kuat menahan tekanan yang lebih besar lagi. Secara umum laju permeasi CH_4 pada suhu 25°C kecil (0.01- 0.30). Oleh karena kenaikan laju permeasi CO_2 jauh lebih besar daripada laju permeasi CH_4 , maka nilai selektivitas pada suhu 25°C lebih tinggi daripada suhu 10°C dan 18°C .

Dari variasi penambahan PEG, Formamida dan media penyimpanan maka yang terbaik adalah membran CA dengan PEG pengeringan *solvent drying* penyimpanan dalam desikator pada suhu koagulasi 25°C dengan nilai selektivitas 572.74.



BAB V

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Membran dengan penambahan PEG memiliki selektivitas yang lebih tinggi dibandingkan membran tanpa PEG.
2. Membran dengan penambahan Formamida selektivitasnya lebih rendah dibandingkan membran tanpa penambahan Formamida.
3. Media penyimpanan terbaik adalah dengan pengeringan dengan kepolaran bertahap (*solvent drying*) penyimpanan dalam desikator.
4. Suhu koagulasi membran yang terbaik adalah pada suhu 25°C.

5.2 Saran

Perlu dicari variasi-variasi yang lain agar dapat diperoleh membran dengan selektivitas yang baik pada kondisi kering mengingat aplikasinya di lapangan gas yang dalam kondisi kering.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, AL., 2007. *Teknologi Membran, Evolusi Proses Pemisahan Kreatif, Inovatif Dan Efektif Tanpa Sepadan*. Kampus Kejunteraan. Universiti Sains Malaysia. Pulau Pinang.
- Andalucia, 2006. Preparasi Dan Karakterisasi Membrane Fixed-Carrier Untuk Pemisahan CO₂/CH₄ Pada Tekanan 103.4-517.1 cmHg. *Thesis*. Program Pasca Sarjana. Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok.
- Andriani, Yayun, 2003. Pemakaian Membran Polisulfon Untuk Pemisahan Gas Hidrogen Dan Karbon Monoksida. *Thesis*. FMIPA. Universitas Indonesia. Depok.
- Ani, Idris, Faridah K., dan M. Zakiamani, 2005. The Effect Of Curing Temperature On The Performance Of Thin Film Composite Membrane. *Journal Technology*. 43 (f). 51-64. Universiti Teknologi Malaysia.
- Astarita, G., dan D.W. Savage, 1983. *Gas Treating With Chemical Solvents*. John Wiley and Sons Inc.: New York Baker, R.W., 2000. *Membrane Technology And Application: Membrane Technology And Reseach*. Inc. McGraw-Hill. New York.
- Bodzek, M., 2000. Membrane Technique In Air Cleaning. *Polish Journal of Environtmental Studies*. Vol.9. no.1(2000).1-12.
- Dongliang, W., K. Li, and W.K., Teo, 1995. Effect of Temperature And Pressure On Gas Permselection Properties In Asymmetric Membranes. *Journal of Membrane Science*. Vol. 105. pages 89-101.
- George, K.E., Judson King C.C., Edward. C.L., William E., Muralidhara H.S., and W. Milton E., 1993. *Separation Technology In Japan*. International Technology Research Institute. Japanese Technology Evaluation Center. Howe, G.M., and I.K. Jaqueline, *Encyclopedia of Chemical Technology Fourth Edition*. John Wiley and Sons Inc. New York.
- Howe, G.M dan I.K. Jaqueline. *Encyclopedia of Chemical Technology Fourth Edition*. John Wiley and Sons Inc: New York
- Jintong, L., Shichang W., Kazukiyo N., Tsutomu N., and W-H.Mau Albert, 1998. Effect Of Polyethyleneglicol (PEG) On Gas Permeabilities And Permselectivities In Its Cellulose

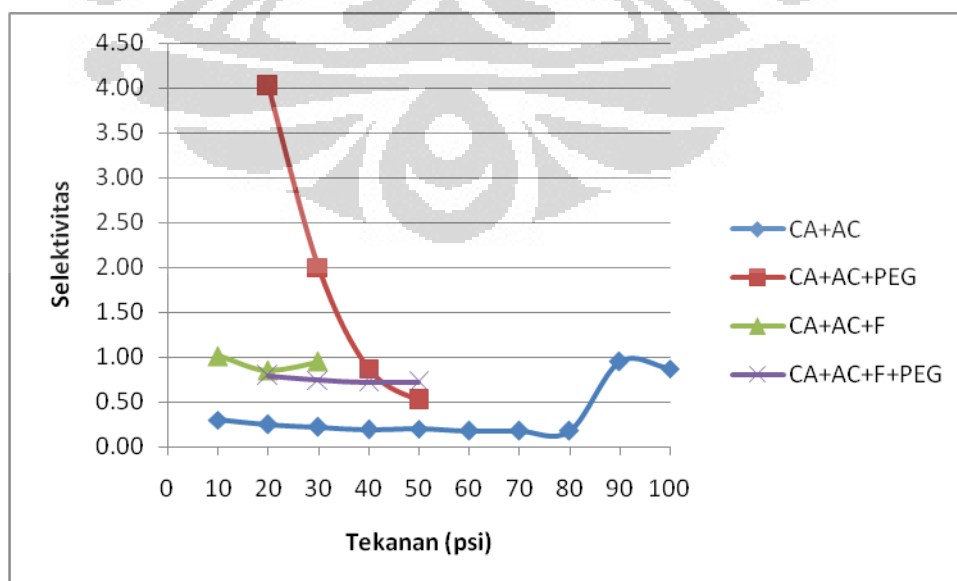
- Acetate (CA) Blend Membranes. *Journal of Membrane Science*. Vol.138. pages 143-152.
- Kim, H.J., Tabe-Mohammadi A., Kumar A.E., and Fouda, 1999. Asymmetric Membrane by a two-stage Gelation Technique for Gas Separation. Formation and characterization. *Journal of Membrane Science*. vol.161. pages. 229-238.
- Kim, T-J., Li B., and Hugg M.B., 2004. Novel Fixed-Site Carrier Polyvinylamine Membrane For Carbon Dioxide Capture. *Journal of Polymer Science*. Part B. Polymer Physics. Vol.42. pages. 4326-4336.
- Kulprathipanja S., 2004. *Mixed Matrix Membrane for Separation of Gas*. US patent no.6726744.82.
- Kuo-lun Tung, 2007. *Introduction for Water Treatment Membrane Processes*. R&D Center for Membrane Technology. Chung Yuan University.
- Lazuardi, F., 2005. Pemisahan Gas CO₂ Dari Campuran Gas CO₂ Dan CH₄ Dengan Menggunakan Membran Asimetrik Selulosa Asetat. *Skripsi*. Fakultas Teknik. Universitas Indonesia. Depok
- Li B., Nagai K., Nakagawa T., Wang S., 1995. Preparation Of Polyethylene Glycol And Cellulose Acetate Blend Membrane And Their Gas Permeability. *Journal of Applied Polymer Science*. Vol.58. pages. 1455-1456.
- Mulder, Marcell.1996. *Basic Principles of Membrane Technology Second Edition*. Kluwer Academic Publisher: Netherlands
- Muthusamy S, Doraisami R.M. Ramamoorthy R. 2006. Studies on Cellulose Acetate- Polysulfone Ultrafiltration Membranes II. Effect of additive Concentration. *Journal of Membrane Science*. Vol.268. pages 208-219
- R.W Baker, 2000. "Membrane Technology and Applications". Membrane Technology and Research, Inc. McGraw-Hill New York
- S. Loeb and Sourirajan. 1963. *Sea Water Demineralization by Means of an Osmotic Membrane. Saline Water Conversion-II. Advance in Chemistry Series no.28*. American Chemical Society. Washington.

Lampiran 1. Membran CA media penyimpanan desikator

Tabel selektivitas

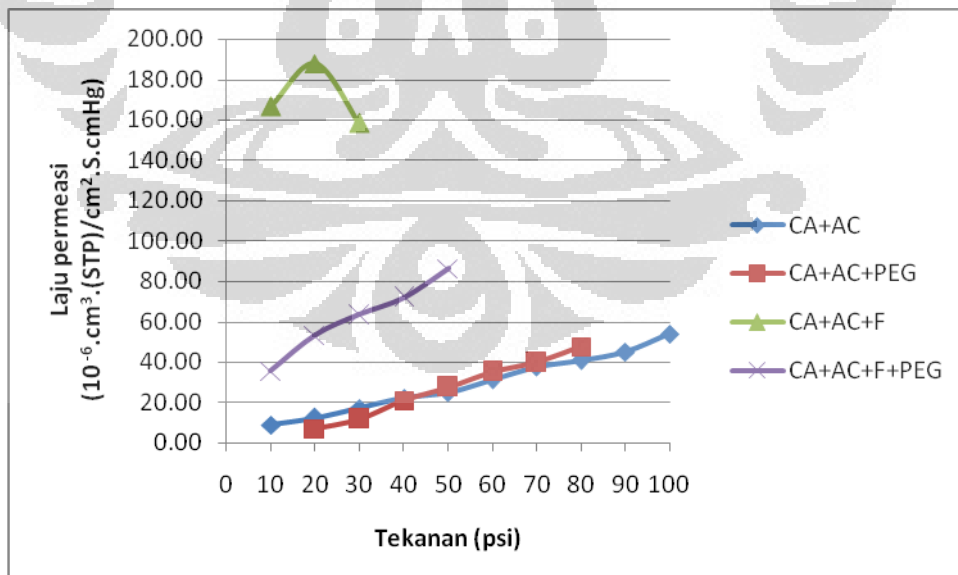
Tekanan (psi)	CA+AC	CA+AC+PEG	CA+AC+F	CA+AC+F+PEG
10	0.30	TD	1.01	TD
20	0.25	4.02	0.85	0.79
30	0.22	2.00	0.95	0.74
40	0.19	0.87	TD	0.72
50	0.20	0.52	TD	0.72
60	0.18	TD	TD	TD
70	0.18	TD	TD	TD
80	0.18	TD	TD	TD
90	0.95	TD	TD	TD
100	0.87	TD	TD	TD

Gambar grafik selektivitas



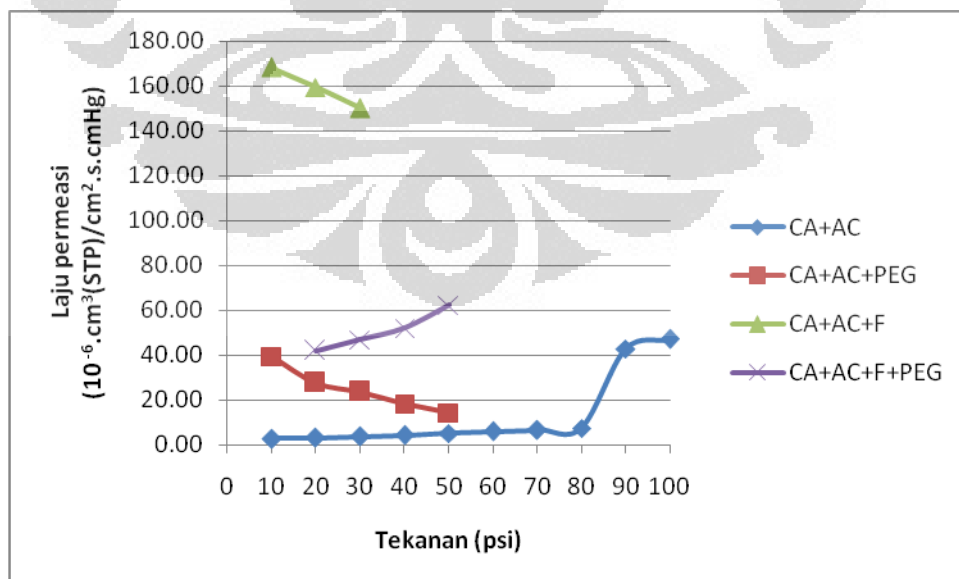
Tabel Laju permeasi CH₄

Tekanan (psi)	CA+AC	CA+AC+PEG	CA+AC+F	CA+AC+F+PEG
10	8.87	TD	166.60	35.54
20	12.39	6.86	187.90	53.19
30	17.12	11.78	158.30	63.30
40	22.18	21.03	TD	71.89
50	25.03	27.63	TD	86.36
60	31.41	35.16	TD	TD
70	37.77	39.80	TD	TD
80	41.04	47.53	TD	TD
90	45.06	TD	TD	TD
100	53.84	TD	TD	TD

Gambar grafik laju permeasi CH₄

Tabel laju permeasi CO₂

Tekanan (psi)	CA+AC	CA+AC+PEG	CA+AC+F	CA+AC+F+PEG
10	2.68	39.34	168.10	TD
20	3.11	27.55	159.40	41.81
30	3.74	23.56	150.10	46.71
40	4.28	18.37	TD	52.04
50	4.99	14.34	TD	62.18
60	5.81	TD	TD	TD
70	6.64	TD	TD	TD
80	7.28	TD	TD	TD
90	42.81	TD	TD	TD
100	46.95	TD	TD	TD

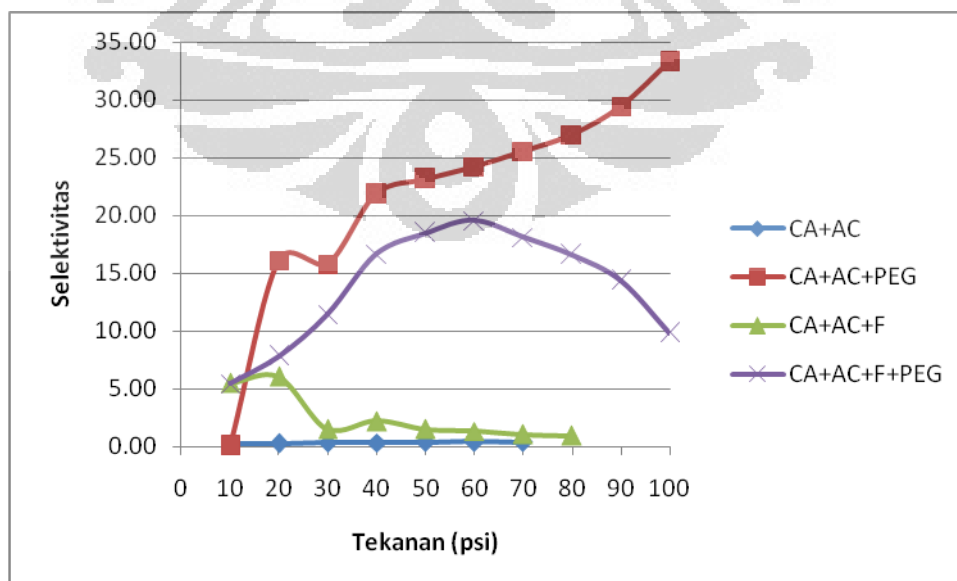
Gambar grafik laju permeasi CO₂

Lampiran 2. Membran CA media penyimpanan air

Tabel selektivitas

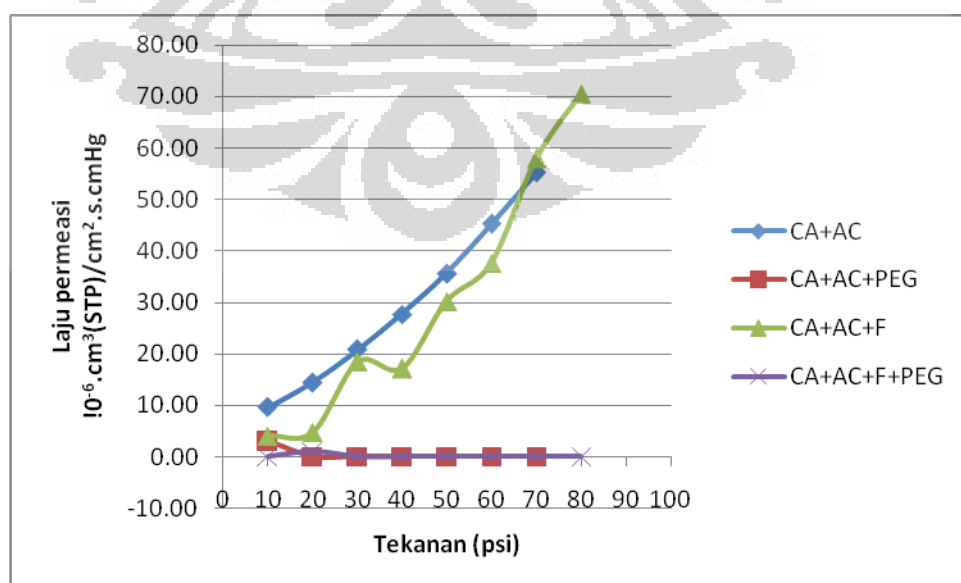
Tekanan (psi)	CA+AC	CA+AC+PEG	CA+AC+F	CA+AC+F+PEG
10	0.23	0.04	5.50	5.44
20	0.25	16.10	6.04	7.83
30	0.31	15.77	1.50	11.45
40	0.32	21.85	2.19	16.64
50	0.36	23.18	1.50	18.50
60	0.41	24.23	1.33	19.56
70	0.40	25.56	1.07	18.09
80	TD	26.99	0.95	16.59
90	TD	29.42	TD	14.38
100	TD	33.30	TD	9.80

Gambar grafik selektivitas



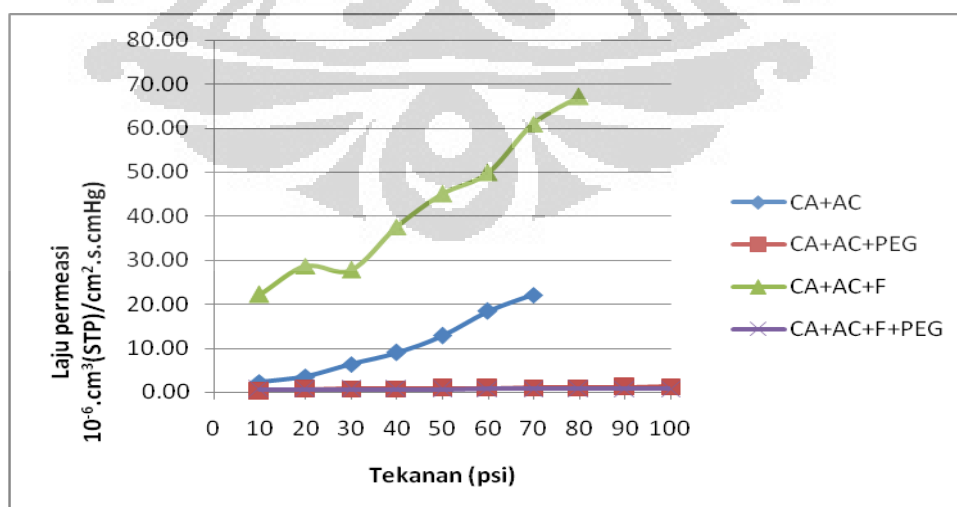
Tabel laju permeasi CH₄

Tekanan (psi)	CA+AC	CA+AC+PEG	CA+AC+F	CA+AC+F+PEG
10	9.63	2.99	4.04	0.12
20	14.45	0.04	4.75	1.08
30	20.80	0.05	18.48	0.06
40	27.75	0.04	17.15	0.04
50	35.60	0.04	30.16	0.04
60	45.22	0.04	37.63	0.04
70	55.21	0.04	57.90	0.04
80	TD	TD	70.51	0.04
90	TD	TD	TD	TD
100	TD	TD	TD	TD

Gambar grafik laju permeasi CH₄

Tabel laju permeasi CO₂

Tekanan (psi)	CA+AC	CA+AC+PEG	CA+AC+F	CA+AC+F+PEG
10	2.26	0.13	22.24	0.64
20	3.59	0.59	28.67	0.65
30	6.37	0.72	27.79	0.64
40	8.97	0.79	37.53	0.66
50	12.80	0.86	45.10	0.66
60	18.37	0.91	49.94	0.73
70	22.13	0.96	60.98	0.70
80	TD	1.04	67.20	0.69
90	TD	1.14	TD	0.73
100	TD	1.23	TD	0.75

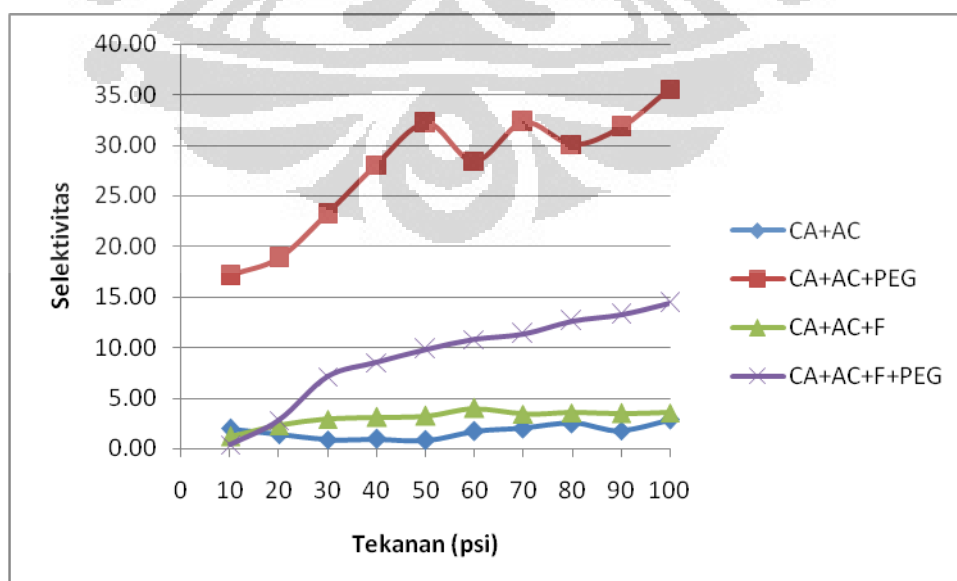
Gambar grafik laju permeasi CO₂

Lampiran 3. Membran CA media penyimpanan solvent drying, heksana

Tabel nilai selektivitas

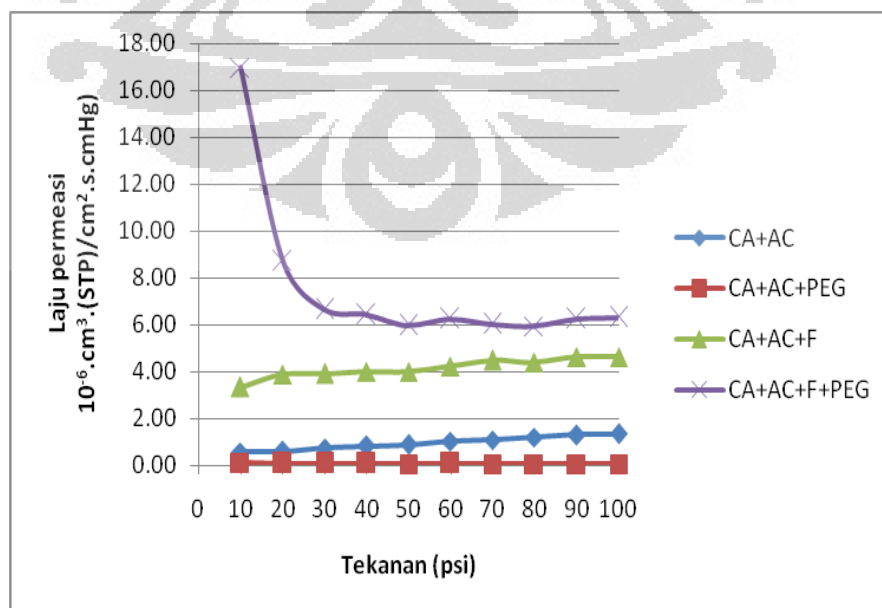
Tekanan (psi)	CA+AC	CA+AC+PEG	CA+AC+F	CA+AC+F+PEG
10	1.96	17.10	1.17	0.40
20	1.41	18.82	2.27	2.79
30	0.89	23.20	2.92	7.08
40	0.93	28.03	3.10	8.52
50	0.82	32.19	3.25	9.81
60	1.73	28.41	3.98	10.77
70	1.99	32.31	3.44	11.35
80	2.50	30.07	3.56	12.65
90	1.78	31.79	3.45	13.26
100	2.87	35.52	3.57	14.41

Gambar grafik selektivitas



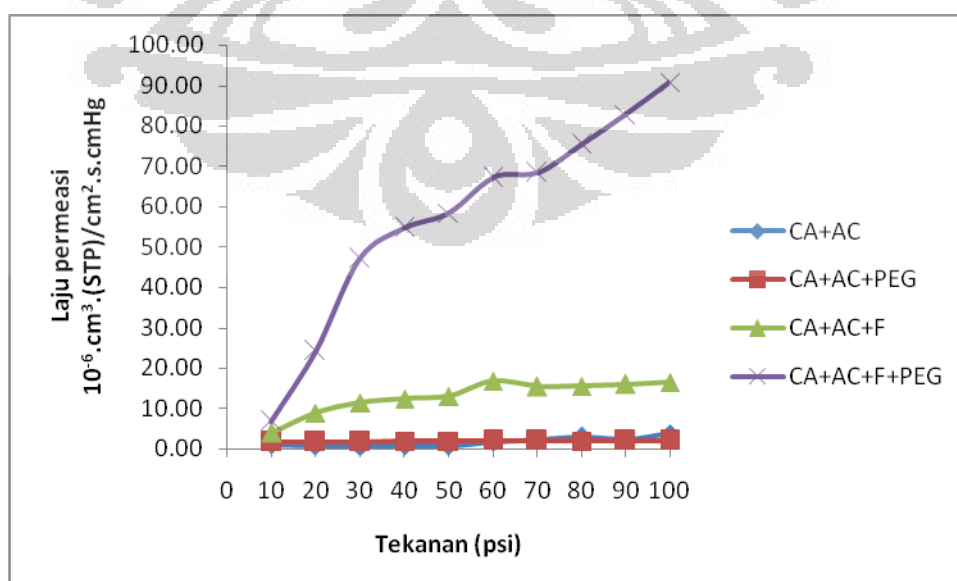
Tabel laju permeasi CH₄

Tekanan (psi)	CA+AC	CA+AC+PEG	CA+AC+F	CA+AC+F+PEG
10	0.56	0.10	3.34	16.96
20	0.60	0.09	3.88	8.71
30	0.75	0.07	3.91	6.66
40	0.82	0.07	4.00	6.44
50	0.89	0.06	4.01	5.96
60	1.02	0.07	4.22	6.24
70	1.08	0.06	4.49	6.02
80	1.21	0.06	4.39	5.95
90	1.30	0.06	4.62	6.25
100	1.33	0.06	4.62	6.30

Gambar grafik laju permeasi CH₄

Tabel laju permeasi CO₂

Tekanan (psi)	CA+AC	CA+AC+PEG	CA+AC+F	CA+AC+F+PEG
10	1.10	1.76	3.92	6.84
20	0.84	1.70	8.81	24.33
30	0.67	1.72	11.42	47.12
40	0.76	1.94	12.39	54.80
50	0.73	1.91	13.02	58.45
60	1.76	2.07	16.80	67.18
70	2.15	2.01	15.45	68.37
80	3.02	1.93	15.60	75.41
90	2.30	2.00	15.95	82.79
100	3.82	2.03	16.50	90.72

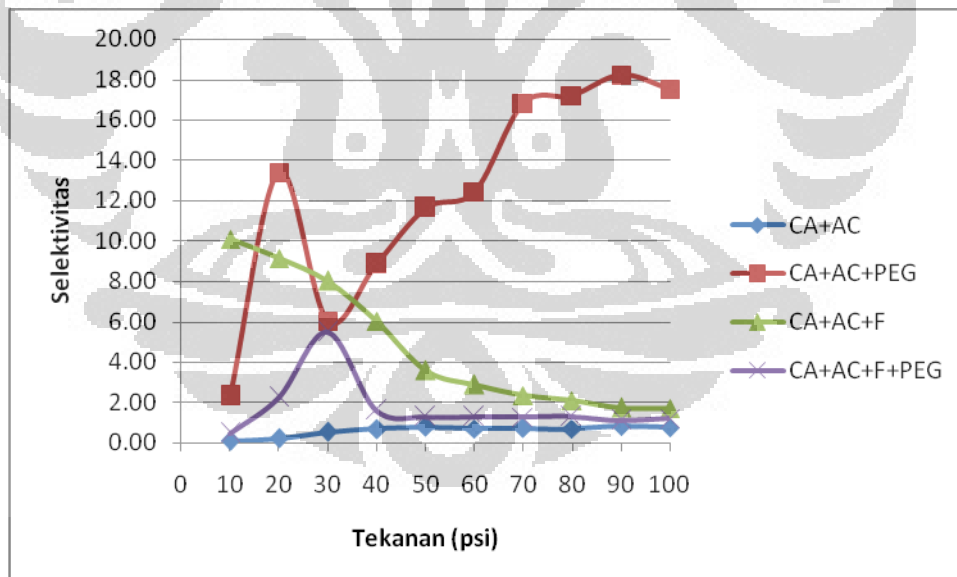
Gambar grafik laju permeasi CO₂

Lampiran 4. Membran CA media penyimpanan solvent drying, desikator

Tabel nilai selektivitas

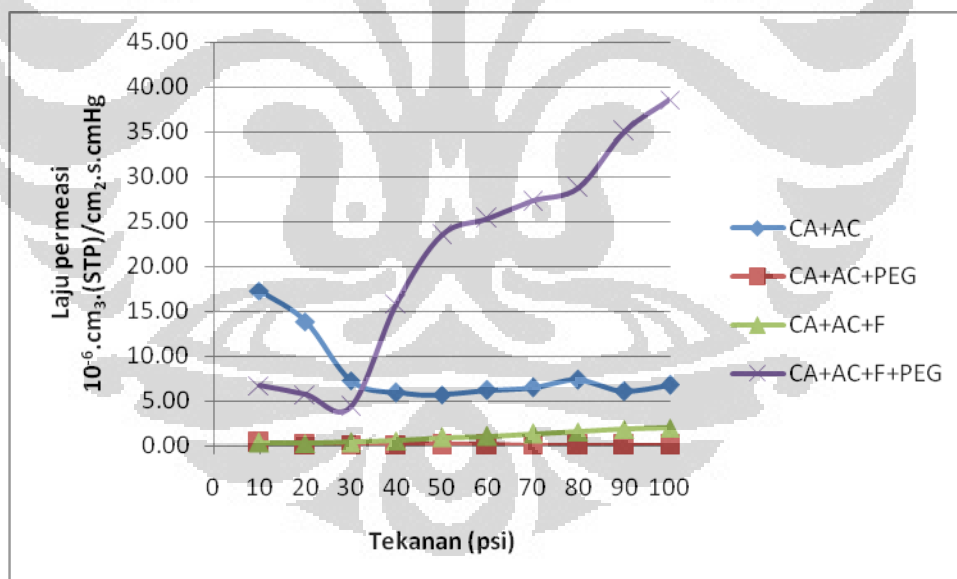
Tekanan (psi)	CA+AC	CA+AC+PEG	CA+AC+F	CA+AC+F+PEG
10	0.09	2.31	10.08	0.46
20	0.23	13.39	9.15	2.25
30	0.52	6.03	8.01	5.47
40	0.68	8.86	6.04	1.61
50	0.78	11.65	3.58	1.29
60	0.70	12.45	2.88	1.30
70	0.71	16.82	2.34	1.27
80	0.69	17.19	2.09	1.29
90	0.82	18.21	1.73	1.11
100	0.75	17.52	1.71	1.19

Gambar grafik nilai selektivitas



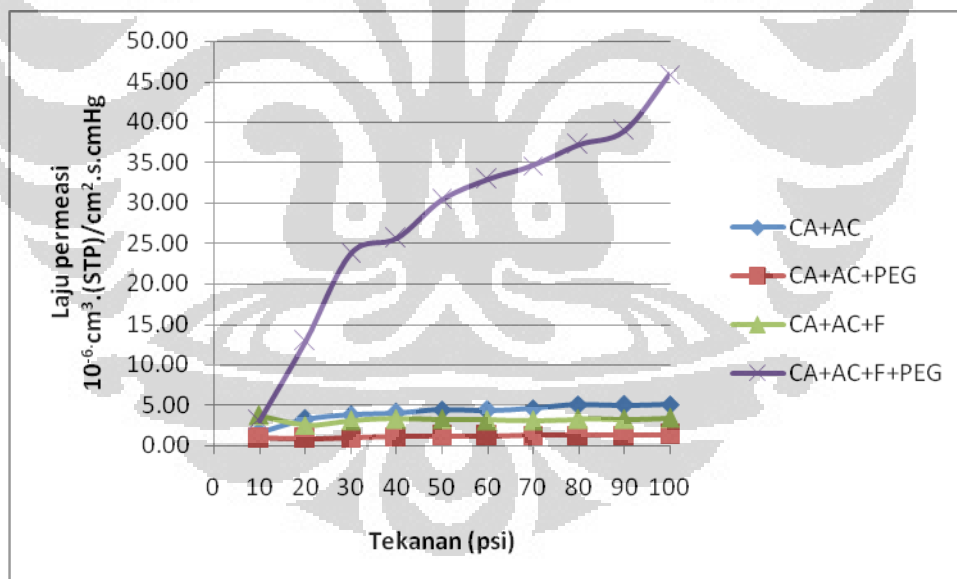
Tabel laju permeasi CH₄

Tekanan (psi)	CA+AC	CA+AC+PEG	CA+AC+F	CA+AC+F+PEG
10	17.29	0.39	0.37	6.69
20	13.84	0.06	0.27	5.73
30	7.26	0.16	0.39	4.34
40	5.95	0.12	0.54	15.85
50	5.69	0.10	0.90	23.52
60	6.19	0.10	1.09	25.33
70	6.49	0.08	1.31	27.24
80	7.32	0.07	1.57	28.78
90	6.08	0.07	1.85	35.04
100	6.78	0.07	1.97	38.59

Gambar grafik laju permeasi CH₄

Tabel laju permeasi CO₂

Tekanan (psi)	CA+AC	CA+AC+PEG	CA+AC+F	CA+AC+F+PEG
10	1.61	0.91	3.73	3.07
20	3.24	0.87	2.50	12.89
30	3.76	0.95	3.11	23.71
40	4.05	1.09	3.28	25.58
50	4.42	1.19	3.22	30.35
60	4.34	1.20	3.12	32.95
70	4.58	1.29	3.07	34.57
80	5.04	1.24	3.26	37.23
90	4.95	1.28	3.21	38.95
100	5.10	1.30	3.37	45.89

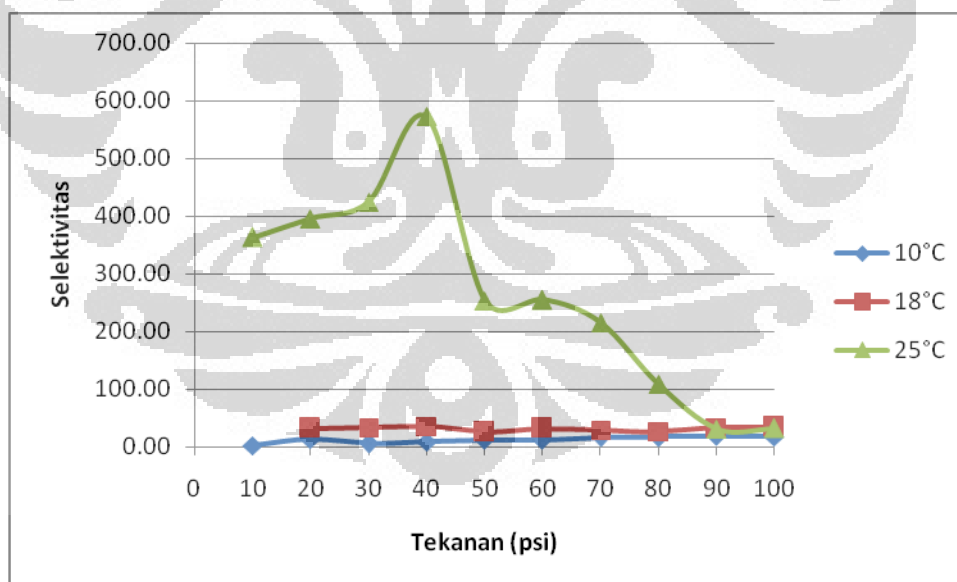
Gambar grafik laju permeasi CO₂

Lampiran 5. Pengaruh suhu koagulasi Membran CA+ AC+PEG solvent drying, desikator

Tabel selektivitas

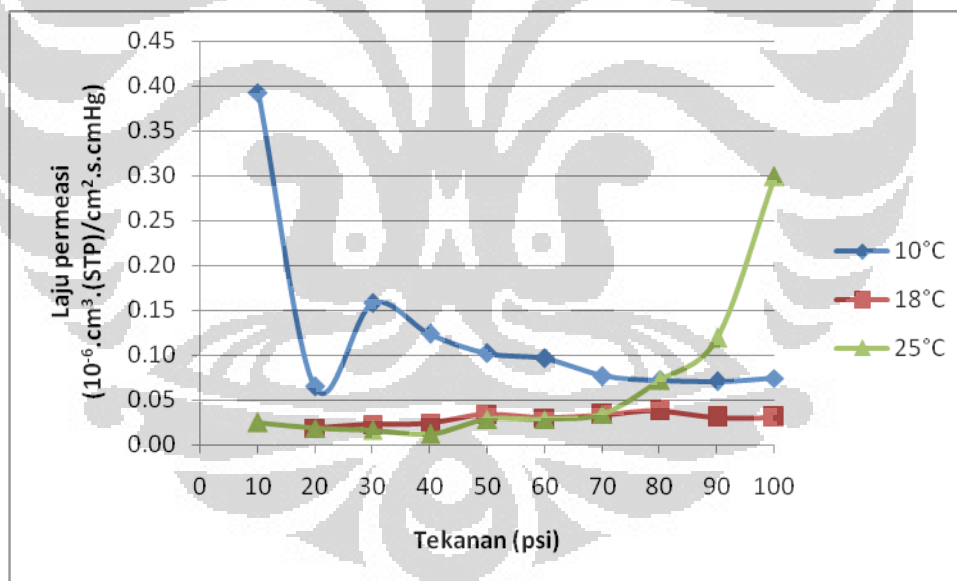
Tekanan (psi)	10°C	18°C	25°C
10	2.31	TD	363.54
20	13.39	32.04	395.53
30	6.03	33.39	424.69
40	8.86	35.62	572.74
50	11.65	25.97	252.99
60	12.45	32.03	254.80
70	16.82	28.90	215.42
80	17.19	26.17	108.47
90	18.21	32.89	31.27
100	17.52	34.77	32.33

Gambar grafik selektivitas



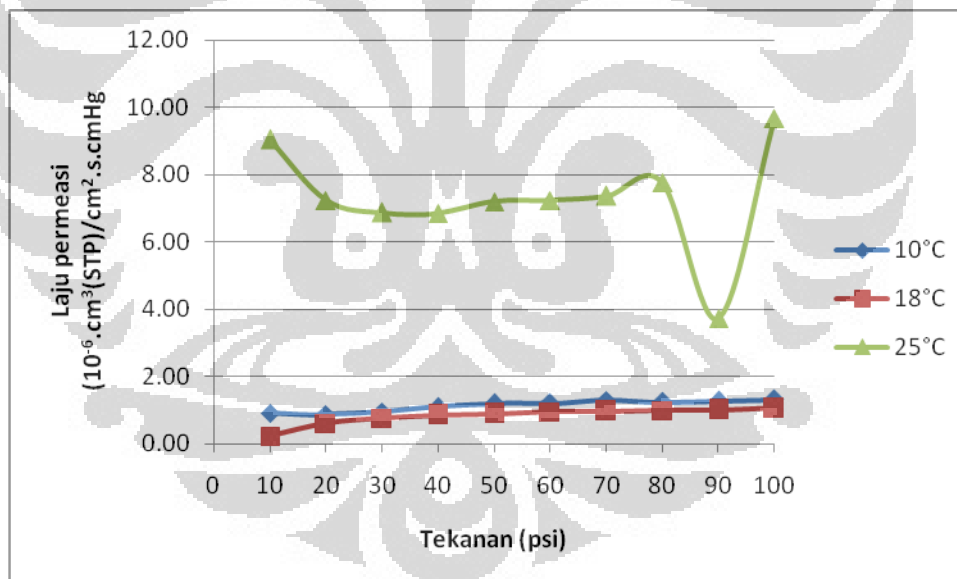
Tabel laju permeasi CH₄

Tekanan (psi)	10°C	18°C	25°C
10	0.39	TD	0.02
20	0.06	0.02	0.02
30	0.16	0.02	0.02
40	0.12	0.02	0.01
50	0.10	0.03	0.03
60	0.10	0.03	0.03
70	0.08	0.03	0.03
80	0.07	0.04	0.07
90	0.07	0.03	0.12
100	0.07	0.03	0.30

Gambar grafik laju permeasi CH₄

Tabel laju permeasi CO₂

Tekanan (psi)	10°C	18°C	25°C
10	0.91	0.22	9.05
20	0.87	0.60	7.24
30	0.95	0.76	6.87
40	1.09	0.86	6.85
50	1.19	0.89	7.20
60	1.20	0.95	7.23
70	1.29	0.98	7.36
80	1.24	0.98	7.77
90	1.28	1.00	3.72
100	1.30	1.05	9.67

Gambar grafik laju permeasi CO₂

Lampiran 6. Contoh Perhitungan Data Penelitian

Membran CA+ Aseton media penyimpanan air (Membran 1B)

Diketahui : Luas penampang selang (A_{ps})= 0.0325 cm²

Diameter membran (d)= 4 cm-> r=2 cm

1. Menghitung luas permukaan membran (A_m)

$$A_m = \pi r^2 = 3.14 (2)^2 = 12.56 \text{ cm}^2$$

2. Menghitung laju alir gas CH₄ (Q)

Contoh: Pada tekanan umpan 10 psig diperoleh data untuk gas CH₄ yaitu:

Jarak (cm)	Waktu (s)	dL/dt (cm/s)
1	5.47	0.18282
2	10.43	0.20161
3	15.88	0.18349

dL/dt rata-rata = 0.18930 cm/s

$$Q = A_{ps} \frac{dL}{dt} = (0.0325) \times (0.18930) = 0.006152 \text{ cm}^3/\text{s}$$

3. Menghitung laju alir gas CH₄ pada kondisi standar (Q_{STP}), 1 atm dan 0°C (273°K)

$$Q_{STP} = Q \times (273/298) = (0.006152) \times (273/298) = 0.005636 \text{ cm}^3/\text{s}$$

T= suhu percobaan=suhu ruang=25°C

4. Menghitung laju permeasi gas CH₄ pada membran

$$P = Q_{STP} = 0.005636 = 9.633E-06$$

5. Menentukan Selektifitas ideal (P/I)

Pada tekanan yang sama diperoleh:

Laju permeasi gas CO₂ = 2.261E-06 cm³_(STP)/cm² s cmHg

Maka selektivitas gas CO₂ yaitu:

$$CO_2/CH_4 = P/I_{(CO_2)} = 2.261E-06 = 0.23$$

