



**KINERJA MEMBRAN SELULOSA ASETAT DENGAN VARIASI WAKTU
PENGUAPAN PADA PROSES ULTRAFILTRASI**

SKRIPSI

Oleh

**Dewi Rara Amiyati
NIM 101810301034**

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2016**



**KINERJA MEMBRAN SELULOSA ASETAT DENGAN VARIASI WAKTU
PENGUAPAN PADA PROSES ULTRAFILTRASI**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Kimia (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh

**Dewi Rara Amiyati
NIM 101810301034**

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2016**

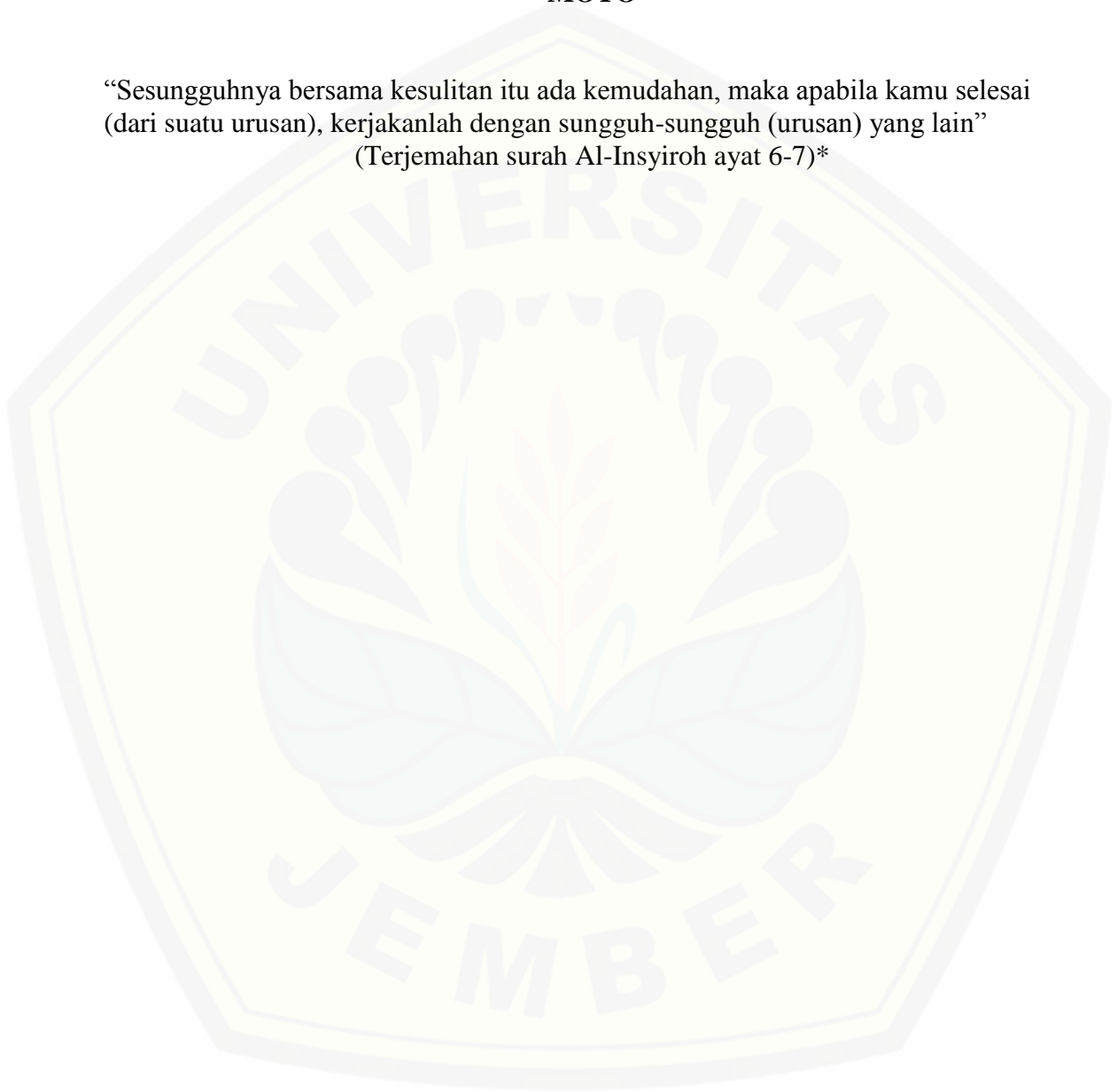
PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ibu Tola'ani dan Bapak Sucipto tercinta, terima kasih untuk kasih sayang, bimbingan, doa, serta motivasi yang telah berikan;
2. Kakak Robert Alexander W dan adik Tegar Maulana H, terima kasih atas motivasi dan dukungannya;
3. Guru-guru di TK Dharma Wanita, SDN I Kedung dowo, SMP 1 Ibrahimy, dan SMAN 2 Situbondo serta dosen-dosen di Jurusan Kimia FMIPA UNEJ yang telah memberikan ilmu, mendidik, dan membimbing dengan penuh kesabaran;
4. Almamater tercinta Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

MOTO

“Sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan, maka apabila kamu selesai (dari suatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain”
(Terjemahan surah Al-Insyiroh ayat 6-7)*



*Departemen agama Proyek Pengadaan Kitab Suci Al'Qur'an.1975.
Al-Qur'an dan terjemahannya.Jakarta : PT. Bumi Restu.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Dewi Rara Amiyati

NIM : 101810301034

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul "Kinerja Membran Selulosa Asetat dengan Variasi Waktu Penguapan pada Proses Ultrafiltrasi" adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 1 Juni 2016

Yang menyatakan,



Dewi Rara Amiyati

NIM 101810301034

SKRIPSI

**KINERJA MEMBRAN SELULOSA ASETAT DENGAN VARIASI WAKTU
PENGUAPAN PADA PROSES ULTRAFILTRASI**

Oleh

Dewi Rara Amiyati
NIM 101810301034

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dwi Indarti, S.Si., M.Si

Dosen Pembimbing Anggota : Yeni Maulidah Muflihah, S.Si., M.Si

PENGESAHAN

Skripsi berjudul "Kinerja Membran Selulosa Asetat dengan Variasi Waktu Penguapan pada Proses Ultrafiltrasi" telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : KAMIS 23 JUN 2016

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Tim Penguji;

Ketua (DPU),

Sekretaris (DPA),

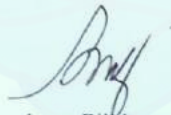


Dwi Indarti, S.Si., M.Si
NIP. 197409012000032004

Yeni Maulidah Muflihah, S.Si., M.Si
NIP. 198008302006042002

Penguji I,

Penguji II,



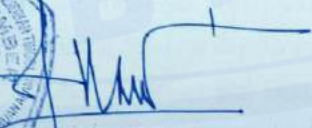
Dr. Bambang Piharto, S.Si., M.Si
NIP. 197107031997021001

Drs. Zulfikar, Ph.D
NIP. 196310121987021001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Jember




Drs. Sujito, Ph.D
NIP. 196102041987111001

RINGKASAN

Kinerja Membran Selulosa Asetat dengan Variasi Waktu Penguapan pada Proses Ultrafiltrasi; Dewi Rara Amiyati, 101810301034; 2016: 43 halaman; Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Membran ultrafiltrasi merupakan salah satu jenis membran dengan gaya dorong tekanan yang digunakan untuk memisahkan makromolekul dan koloid dari larutannya. Ukuran molekul yang dapat ditahan oleh membran ultrafiltrasi berkisar antara 10^3 - 10^8 dalton. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses pembentukan struktur membran yang dihasilkan antara lain penambahan aditif dan waktu penguapan. Penambahan aditif dapat dimaksudkan untuk mengatur viskositas larutan polimer, memperbanyak jumlah pori yang terbentuk atau untuk merubah sifat polimer dari hidrofobik menjadi hidrofilik, sedangkan waktu penguapan akan mempengaruhi laju difusi pada proses inversi fasa sehingga mempengaruhi kinerja membran yang dihasilkan. Penelitian ini difokuskan pada pembuatan membran selulosa asetat dengan penambahan aditif berupa polietilen glikol. Variasi waktu penguapan selama 0, 1, 3, 5 menit dikaji pengaruhnya terhadap porositas, nilai fluks, koefisien permeabilitas, dan rejeksi terhadap dekstran 500 kDa.

Proses pembuatan membran ultrafiltrasi menggunakan teknik inversi fasa, yaitu suatu proses pengubahan bentuk polimer dari fasa cair menjadi padatan dengan kondisi terkendali. Komposisi larutan polimer yang digunakan sebanyak 22% selulosa asetat, 15% aseton, 60% dimetil sulfoksida, dan 3% dimetil ftalat. Aditif polietilen glikol yang ditambahkan sebanyak 5% w/w dari larutan polimer. Larutan polimer diaduk sampai homogen dan dicetak di atas plat kaca. Waktu penguapan diberikan selama 0, 1, 3, dan 5 menit, kemudian dicelupkan ke dalam bak koagulasi

hingga terbentuk membran. Membran yang sudah terbentuk disimpan untuk karakterisasi.

Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa waktu penguapan yang semakin lama dihasilkan porositas membran yang semakin kecil. Porositas membran saat waktu penguapan 0, 1, 3 dan 5 menit masing-masing sebesar 66,1583%; 64,062%; 60,0394%; dan 53,3534%. Nilai fluks membran semakin kecil dengan bertambahnya waktu penguapan. Fluks yang dihasilkan masing-masing sebesar 12,1454 L/jam.m²; 9,3972 L/jam.m²; 6,8794 L/jam.m² dan 4,0780 L/jam.m² saat waktu penguapan 0, 1, 3 dan 5 menit. Koefisien permeabilitas membran semakin menurun dengan bertambahnya waktu penguapan. Koefisien permeabilitas yang dihasilkan sebesar 5,7861 L/jam.m².bar; 4,8629 L/jam.m².bar; 3,2049 L/jam.m².bar dan 2,0626 L/jam.m².bar. Rejeksi membran terhadap dekstran 500 kDa semakin meningkat seiring bertambahnya waktu penguapan. Rejeksi membran terhadap dekstran 500 kDa masing-masing sebesar 81,111%; 84,738%; 89,290% dan 92,917%.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Kinerja Membran Selulosa Asetat dengan Variasi Waktu Penguapan pada Proses Ultrafiltrasi”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Drs. Sujito, Ph.D, selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
2. Dr. Bambang Piluharto, S.Si., M.Si, selaku ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
3. Dwi Indarti, S.Si., M.Si selaku Dosen Pembimbing Utama dan Yeni Maulidah Muflihah, S.Si., M.Si selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, tenaga, pikiran, kasih sayang serta doa dan membimbing dengan penuh kesabaran dalam penulisan skripsi ini;
4. Dr. Bambang Piluharto, S.Si., M.Si selaku Dosen Penguji I dan Drs. Zulfikar, Ph.D selaku Dosen Penguji II yang telah meluangkan waktunya guna menguji, serta memberikan kritik dan saran demi kesempurnaan skripsi ini;
5. I Nyoman Adiwinata, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing penulis selama menjadi mahasiswa;
6. Bapak dan ibu dosen-dosen FMIPA UNEJ, dan dosen-dosen Jurusan Kimia khususnya yang telah banyak memberikan ilmu dan pengetahuan;
7. Teman-teman angkatan 2010, terima kasih atas semangat, bantuan, saran, perhatian, dan kenangan yang telah diberikan;

8. Anggota PALAPA terutama “Badai Pasang” yang tak bisa disebutkan satu per satu terima kasih atas semangat, perhatian dan kenangan yang tak kan terlupakan;
9. Mas Rizkon, Mbak Yuliani, Eka Yustiana, Lutfi, Qorry, Maganda, Rose, dan Tamam terima kasih atas bantuan, saran, kerjasama dan kekompakannya;
10. Staff laboratorium kimia
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi ilmu pengetahuan.

Jember, Juni 2016

Penulis

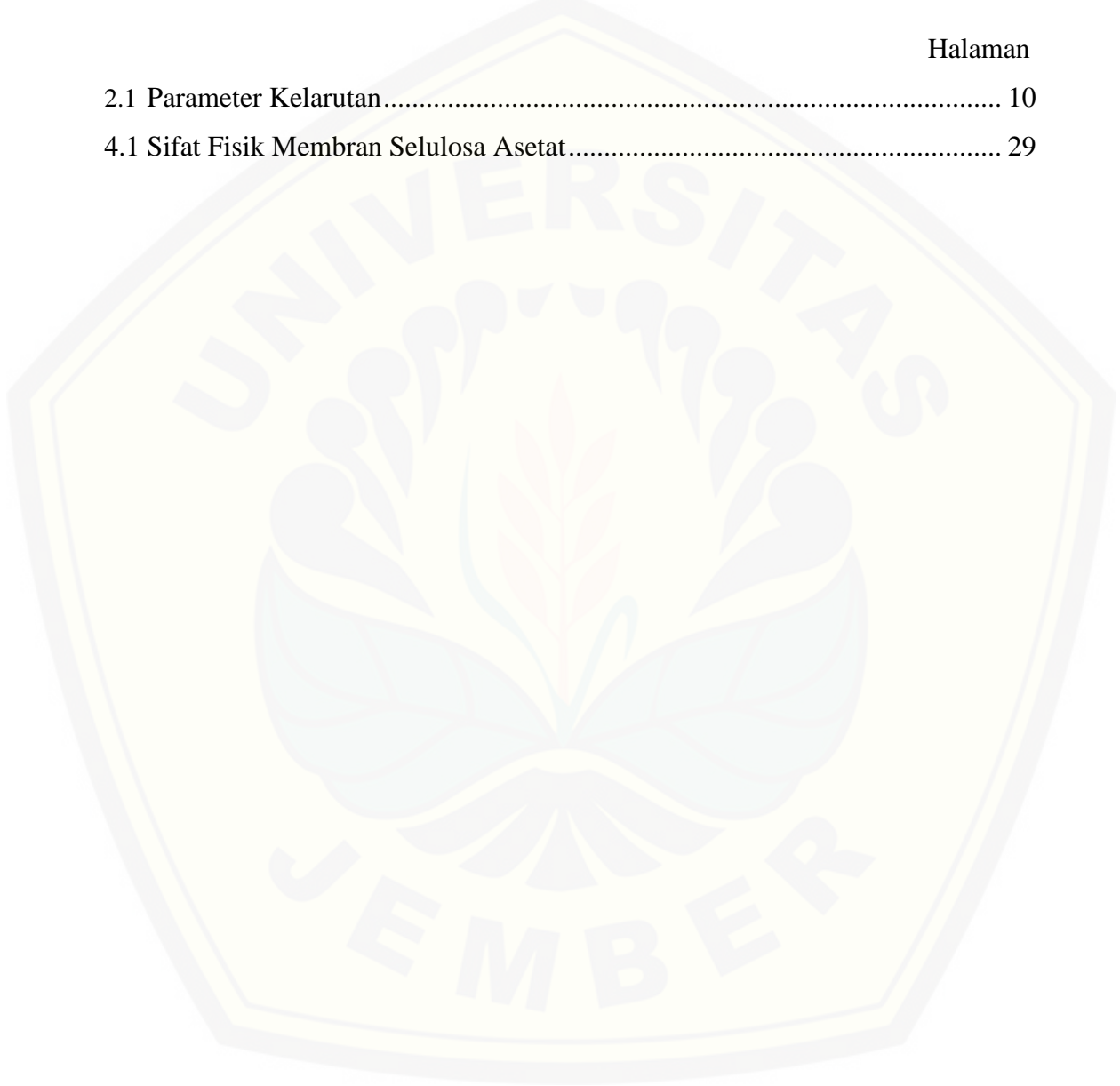
DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMBUNG	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBING	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Definisi dan Klasifikasi Membran	4
2.2 Teknik Pembuatan Membran	7
2.3 Faktor yang Mempengaruhi Proses Pembentukan Membran ...	9
2.4 Material Membran	12

2.4.1 Selulosa Asetat.....	13
2.4.2 Aseton	14
2.4.3 DMSO.....	14
2.4.4 Bahan Aditif Pada Polimer	15
2.4.5 Dekstran	17
2.5 Karakterisasi Membran	18
2.5.1 Uji Porositas.....	18
2.5.2 Uji Kinerja	18
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	21
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	21
3.2 Alat dan Bahan.....	21
3.2.1 Alat.....	21
3.2.2 Bahan	21
3.3 Diagram Alir Penelitian	22
3.4 Prosedur Penelitian.....	23
3.4.1 Pembuatan Membran	23
3.4.2 Karakterisasi Membran Selulosa Asetat	23
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	28
4.1 Membran Selulosa Asetat.....	28
4.2 Pengaruh Waktu Penguapan terhadap Porositas Membran	30
4.3 Pengaruh Waktu Penguapan terhadap Nilai Fluks.....	31
4.4 Pengaruh Waktu Penguapan terhadap Koefisien Permeabilitas	35
4.5 Pengaruh Waktu Penguapan terhadap Rejeksi Dekstran.....	37
BAB 5. PENUTUP.....	40
5.1 Kesimpulan.....	40
5.2 Saran	40
DAFTAR PUSTAKA	41
LAMPIRAN.....	44

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Parameter Kelarutan.....	10
4.1 Sifat Fisik Membran Selulosa Asetat.....	29



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Proses Pemisahan pada Membran.....	4
2.2 Skema Sistem Operasi Membran.....	5
2.3 Struktur Selulosa Asetat.....	14
2.4 Struktur Aseton	14
2.5 Struktur Kimia DMSO	15
2.6 Struktur DMP	16
2.7 Struktur Polietilen Glikol	16
2.8 Struktur Dekstran	17
2.9 Grafik Penentuan Koefisien Permeabilitas	19
3.1 Skema Preparasi dan Pengujian Membran Selulosa Asetat.....	22
3.2 Proses Pembuatan Membran	23
3.3 Set Alat Ultrafiltrasi	25
4.1 Nilai Porositas Membran Selulosa Asetat dengan Berbagai Waktu Penguapan	31
4.2 Waktu Kompaksi Membran Selulosa Asetat terhadap Fluks Air dengan Variasi Waktu Penguapan	32
4.3 Hubungan Nilai Fluks Membran Selulosa Asetat dengan Waktu Penguapan	34
4.4 Nilai Koefisien Permeabilitas Membran.....	35
4.5 Pengaruh Variasi Waktu Penguapan terhadap Koefisien Permeabilitas Membran Selulosa Asetat.....	36
4.6 Scanning Panjang Gelombang	38
4.7 Pengaruh Waktu Penguapan terhadap Koefisien Rejeksi Membran Selulosa Asetat	38

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Data Densitas Air pada Suhu Ruang.....	44
B. Data Densitas Membran.....	45
C. Data Porositas Membran.....	47
D. Waktu Kompaksi.....	49
E. Koefisien Permeabilitas	52
F. Scanning Dekstran 500 kDa.....	55
G. Kurva Kalibrasi Dekstran 500 kDa.....	56
H. Rejeksi Membran	57

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Membran ultrafiltrasi merupakan salah satu jenis membran dengan gaya dorong tekanan yang digunakan untuk memisahkan makromolekul dan koloid dari larutannya. Membran ultrafiltrasi mempunyai struktur asimetrik dengan lapisan atas lebih rapat (ukuran pori lebih kecil) dan porositas permukaan lebih rendah dibanding lapisan bawah, sehingga ketahanan hidrodinamiknya lebih tinggi. Ukuran molekul yang dapat ditahan oleh membran ultrafiltrasi berkisar antara 10^3 – 10^8 dalton (Mulder, 1996).

Proses pembuatan membran ultrafiltrasi sering kali menggunakan teknik inversi fasa, yaitu suatu proses pengubahan bentuk polimer dari fasa cair menjadi padatan dengan kondisi terkendali. Dibanding dengan teknik lain, inversi fasa mempunyai kelebihan diantaranya mudah dilakukan, pembentukan pori dapat dikendalikan dan dapat digunakan pada berbagai macam polimer (Wenten, 2000). Parameter-parameter yang dapat mempengaruhi proses pembentukan struktur membran yang dihasilkan antara lain jenis dan konsentrasi polimer, pemilihan sistem pelarut-nonpelarut, waktu penguapan pelarut, penambahan aditif dan komposisi bak koagulasi (Mulder, 1996).

Membran dapat dibuat dari berbagai material seperti selulosa asetat (CA), polisulfon, polieter sulfon, dan poliamida (Wenten, 2000). Pemilihan material membran menjadi penting karena berhubungan dengan pemilihan jenis pelarut dan nonpelarut yang digunakan. Material membran ultrafiltrasi yang berkembang saat ini adalah membran selulosa asetat. Kelebihan selulosa asetat sebagai material membran adalah mudah untuk diproduksi dan bahan dasarnya merupakan sumber yang dapat diperbaharui (*renewable*). Kekurangan selulosa asetat sebagai material membran adalah sangat sensitif terhadap pH yang dibatasi pada pH 2 sampai 8, sangat

biodegradable yaitu sangat rentan terhadap mikroba yang ada di alam (Wenten, 2000)

Pembuatan membran selulosa asetat biasanya dilakukan dengan penambahan aditif yang dimaksudkan untuk mengatur viskositas larutan polimer, memperbanyak jumlah pori yang terbentuk atau untuk merubah sifat polimer dari hidropobik menjadi hidrofilik. Aditif yang dapat ditambahkan ke dalam proses pembuatan membran selulosa asetat antara lain polivinil klorida, dimetil ftalat, monosodium glutamat dan polietilen glikol. Penambahan polietilen glikol (PEG) sebagai aditif dapat meningkatkan laju permeasi membran karena PEG berfungsi sebagai agen pembentuk pori membran (Saljoughi, 2010). Berdasarkan penelitian Krishnamoorty *et al*, (2010) menyebutkan bahwa peningkatan konsentrasi aditif (PEG 600) ke dalam larutan *casting* mampu meningkatkan fluks dari 15,8 L/jam.m² menjadi 85,1 L/jam.m² tetapi menurunkan rejeksi protein dari 96% menjadi 77%. Penelitian lain oleh Waheed *et al*, (2014) menyebutkan bahwa penambahan aditif (PEG 600) 5% menghasilkan fluks sebesar 234,64 L/jam.m² dan rejeksi garam sebesar 81,5%.

Parameter lain yang dapat mempengaruhi proses pembentukan struktur membran yang dihasilkan adalah waktu penguapan pelarut. Waktu penguapan pelarut secara jelas mengindikasikan bahwa semakin lama waktu penguapan akan mempertebal permukaan membran dan menurunkan fluks air tetapi meningkatkan selektivitas membran (Bhongsuwan *et al*, 2008). Kartika (2010) melakukan penelitian variasi waktu penguapan tanpa PEG dengan waktu penguapan 3 menit dan komposisi 22% selulosa asetat, 15% aseton, 60% dimetil sulfoksida (DMSO), dan 3% dimetil ftalat (DMP) menghasilkan membran ultrafiltrasi dengan nilai fluks 2,2438 L/jam.m² dan rejeksi terhadap dekstran 100-200 kDa sebesar 91,15%.

Berdasarkan latar belakang di atas dilakukan penelitian pembuatan membran selulosa asetat dengan pelarut aseton dan DMSO serta penambahan aditif PEG 600 sebanyak 5%. Variasi yang akan dilakukan yaitu waktu penguapan pelarut selama 0, 1, 3, 5 menit. Diharapkan dengan adanya penambahan aditif PEG dan variasi waktu

penguapan pelarut dapat membentuk pori yang lebih banyak sehingga mampu meningkatkan fluks membran yang dihasilkan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh waktu penguapan terhadap porositas membran selulosa asetat?
2. Bagaimana pengaruh waktu penguapan terhadap kinerja (fluks dan rejeksi) membran selulosa asetat?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mempelajari pengaruh waktu penguapan terhadap porositas membran selulosa asetat.
2. Mempelajari pengaruh waktu penguapan terhadap kinerja (fluks dan rejeksi) membran selulosa asetat.

1.4 Batasan Masalah

1. Penelitian ini menggunakan polimer selulosa asetat BM 30 kDa.
2. Polietilen glikol yang digunakan sebagai aditif dengan berat molekul 600 Da.
3. Dekstran yang digunakan untuk penentuan rejeksi memiliki berat molekul 500 kDa.

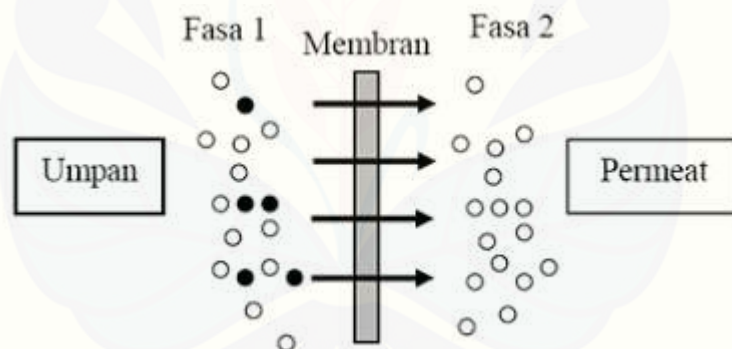
1.5 Manfaat Penelitian

1. Dapat memberikan kontribusi terhadap perkembangan membran khususnya aplikasi material selulosa asetat dalam proses ultrafiltrasi.
2. Dapat memberikan informasi tambahan mengenai hasil penggunaan variasi waktu penguapan pelarut dalam pembuatan membran selulosa asetat.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi dan Klasifikasi Membran

Secara umum, membran didefinisikan sebagai suatu lapisan tipis selektif dan semipermeabel yang berada diantara dua fasa, yaitu fasa umpan dan fasa permeat (Gambar 2.1). Fasa umpan atau konsentrat mengandung komponen yang tertahan sedangkan fasa permeat mengandung komponen yang lolos melalui membran. Pemisahan dicapai karena membran mempunyai kemampuan untuk melewatkan suatu komponen, yang ukurannya lebih kecil dari pori membran. Kinerja atau efisiensi membran ditentukan oleh dua parameter yaitu selektifitas dan laju alir (fluks) melalui membran (Mulder, 1996).

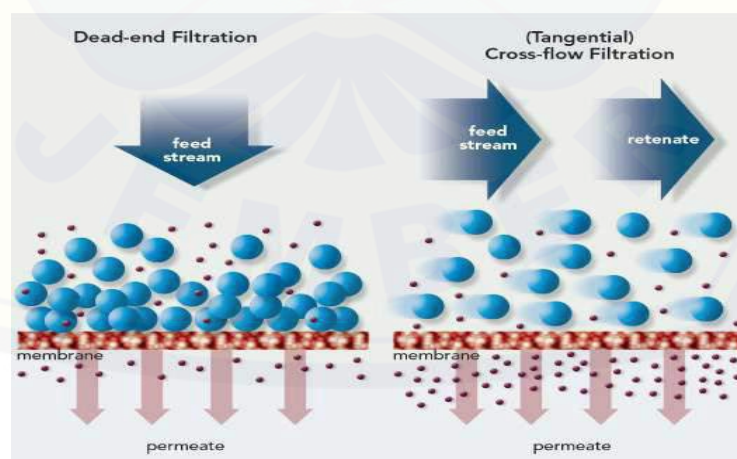


Gambar 2.1. Proses Pemisahan pada Membran (Mulder, 1996)

Ada beberapa jenis membran, dimana klasifikasinya dapat dilakukan berdasarkan beberapa aspek. Berdasarkan asalnya membran dibagi menjadi membran alami dan sintetik. Membran alami biasanya dibuat dari selulosa dan derivatnya seperti selulosa nitrat dan selulosa asetat, sedangkan contoh membran sintetik adalah polisulfon (PSf), polikarbonat, poli(akrilonitril) (PAN), poli(vinilidena fluorida) (PVDF), poli(vinil klorida) (PVC) (Cheryan, 1998).

Berdasarkan geometri porinya, membran dibedakan atas membran asimetrik dan simetrik (Gruenwedel dan Whitaker, 1987). Membran simetrik adalah membran yang mengandung pori dengan ketebalan 10-200 μm . Membran ini memiliki struktur pori yang homogen di seluruh bagian membran. Jenis membran ini kurang efektif karena memungkinkan lebih cepat terjadinya penyumbatan pori dan mengakibatkan *fouling* atau penyumbatan pori pada penggunaannya. Membran asimetrik adalah membran yang terdiri dari dua lapisan, yaitu kulit yang tipis dan rapat dengan ketebalan 0,1-0,5 μm dan lapisan pendukung berpori besar dengan ketebalan 50-150 μm . Membran asimetrik menghasilkan selektivitas yang lebih tinggi disebabkan oleh rapatnya lapisan atas membran dan mempunyai kecepatan permeasi yang tinggi karena tipisnya membran. Tingginya laju filtrasi pada membran asimetrik ini disebabkan mekanisme penyaringan permukaan. Partikel yang ditolak tertahan pada permukaan membran. Tingkat pemisahan membran asimetrik jauh lebih tinggi dari pada membran simetrik pada ketebalan yang sama. Hal ini disebabkan karena pada membran simetrik, partikel yang melewati pori akan menyumbat pori-pori membran sehingga penyaringan membran menurun drastis (Mulder, 1996).

Berdasarkan sistem operasinya dibedakan atas sistem *dead-end* dan *cross flow* ditunjukkan oleh gambar 2.2



Gambar 2.2 Skema Sistem Operasi Membran (Ho dan Sirkar, 1992)

Sistem operasi *dead-end* arah aliran umpan tegak lurus terhadap membran. Sistem ini mempunyai kelemahan yaitu cenderung mengakibatkan fouling yang tinggi karena terbentuknya lapisan (*cake*) di permukaan membran pada sisi umpan. Ketebalan *cake* meningkat terhadap waktu sehingga fluks mengalami penurunan hingga mencapai nol. Sistem operasi *cross-flow* mempunyai arah umpan dialirkan secara aksial (sejajar) dengan permukaan membran, pembentukan *cake* yang terjadi sangat lambat karena tersapu oleh gaya geser yang disebabkan oleh aliran *cross-flow* umpan (Wenten, 2000).

Secara garis besar berbagai jenis proses membran berdasarkan ukuran pori membran sebagai berikut:

a. Mikrofiltrasi

Membran mikrofiltrasi memiliki ukuran pori antara 0,05 sampai 10 μm dan tebal antara 10 sampai 150 μm . Garam-garam tidak dapat direjeksi oleh membran mikrofiltrasi. Proses filtrasi dapat dilaksanakan pada tekanan relatif rendah yaitu di bawah 2 bar. Mikrofiltrasi banyak digunakan pada berbagai macam aplikasi di industri, terutama untuk pemisahan partikel berukuran $> 0,1 \mu\text{m}$ dari larutannya (Wenten, 2000).

b. Ultrafiltrasi

Proses ultrafiltrasi berada di antara proses nanofiltrasi dan mikrofiltrasi. Ukuran pori membran berkisar antara 0,05 μm sampai 1 nm. Ultrafiltrasi digunakan untuk memisahkan makromolekul dan koloid dari larutannya. Membran ultrafiltrasi merupakan membran *porous* dimana rejeksi zat terlarut sangat dipengaruhi oleh ukuran dan berat zat terlarut relatif terhadap ukuran pori membran. Membran ultrafiltrasi memiliki struktur yang asimetris dengan lapisan atas yang lebih *dense* (ukuran pori lebih kecil dan porositas permukaan lebih rendah) sehingga tahanan hidrodinamikanya akan lebih besar. Ukuran molekul yang dapat ditahan oleh membran ultrafiltrasi berkisar antara 10^3 - 10^8 Da (Mulder, 1996).

c. Reverse Osmosis

Membran *reverse osmosis* (RO) digunakan untuk memisahkan zat terlarut yang memiliki berat molekul yang rendah seperti garam anorganik atau molekul organik kecil seperti glukosa dan sukrosa dari larutannya. Membran yang lebih rapat dengan tahanan hidrodinamik yang lebih besar diperlukan pada proses ini. Hal ini menyebabkan tekanan operasi pada RO akan sangat besar untuk menghasilkan fluks yang sama dengan proses mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi. Umumnya, membran RO memiliki struktur asimetrik dengan lapisan atas yang tipis dan rapat serta matrik penyokong dengan tebal 50 sampai 150 μm . Membran RO banyak digunakan pada proses desalinasi air laut dan air payau. Material yang digunakan umumnya bersifat hidrofilik, mempunyai permeabilitas yang tinggi terhadap air dan kelarutan yang sangat rendah terhadap zat terlarut (Wenten, 2000).

d. Nanofiltrasi

Membran nanofiltrasi mempunyai ukuran pori antara 2-5 nm dan dapat digunakan untuk memisahkan garam-garam misalnya NaCl dan MgSO_4 . Nanofiltrasi mempunyai permeabilitas yang lebih tinggi pada tekanan yang lebih rendah dibanding dengan RO (Wenten, 2000).

2.2 Teknik Pembuatan Membran

Teknik-teknik yang digunakan pada proses pembuatan membran antara lain :*sintering*, *stretching*, *track-etching*, *template leaching*, dan inversi fasa. Teknik yang sering digunakan dalam proses pembuatan membran yang dibuat dalam skala laboratorium maupun industri adalah teknik inversi fasa (Mulder, 1996).

Metode inversi fasa ini merupakan suatu metode preparasi membran yang sering digunakan untuk menghasilkan membran asimetrik, dimana dalam metode ini polimer dari fase cair diubah menjadi padat. Metode inversi fasa ini banyak dipilih karena lebih mudah untuk dilakukan, disamping itu berbagai morfologi membran bisa didapatkan (Mulder, 1996).

Inversi fasa adalah suatu proses pengubahan bentuk polimer dari fasa cair menjadi padatan dengan kondisi terkendali. Proses pemadatan (solidifikasi) ini diawali dengan transisi dari fasa cair ke fasa dua cairan (*liquid-liquid demixing*). Selama proses *demixing*, salah satu fasa cair (fasa polimer konsentrasi tinggi) akan memadat sehingga akan terbentuk matriks padat. Pengendalian tahap awal transisi fasa akan menentukan morfologi membran yang dihasilkan.

Konsep inersi fasa mencakup berbagai macam teknik pengendapan antara lain pengendapan dengan penguapan pelarut, pengendapan fase uap, pengendapan dengan penguapan terkendali, pengendapan termal, dan pengendapan imersi.

a. Pengendapan dengan penguapan pelarut

Merupakan metode yang paling sederhana. Polimer dilarutkan pada pelarut tertentu kemudian dicetak, pelarut dibiarkan menguap pada suasana *inert* untuk mengeluarkan uap air, sehingga didapatkan membran homogen yang tebal.

b. Pengendapan fase uap

Teknik ini dibuat dengan cara meletakkan cetakan film yang terdiri dari polimer dan pelarut pada suasana uap dimana fase uap mengandung uap nonpelarut jenuh dan pelarut yang sama dengan cetakan film. Konsentrasi pelarut yang tinggi di fase uap akan mencegah penguapan pelarut dari cetakan film. Pembentukan membran terjadi karena difusi dari nonpelarut ke dalam cetakan film. Membran yang terbentuk adalah membran berpori tanpa lapisan atas.

c. Pengendapan dengan penguapan terkendali

Metode ini memanfaatkan perbedaan volatilitas antara pelarut dan nonpelarut. Selama pelarut lebih mudah menguap dari nonpelarut maka perubahan komposisi selama penguapan bergerak ke arah kandungan nonpelarut yang lebih tinggi dan konsentrasi polimer yang lebih tinggi.

d. Pengendapan Termal

Metode ini membentuk membran dengan cara mendinginkan larutan polimer supaya terjadi pemisahan fase dan penguapan pelarut. Penguapan pelarut sering mengakibatkan terbentuknya membran berkulit untuk mikrofiltrasi. Larutan polimer

dengan pelarut tunggal atau campuran lebih diharapkan untuk memudahkan terjadinya pemisahan fasa.

e. Pengendapan Imersi

Metode pengendapan imersi adalah metode yang saat ini sering dipakai untuk membuat membran. Larutan polimer dicetak dalam suatu tempat dan dicelupkan ke dalam bak koagulasi yang mengandung nonpelarut. Membran terbentuk karena pertukaran pelarut dan nonpelarut.

Pembentukan pori membran pada teknik inversi fasa ini terdapat dua jenis yaitu *instaneous demixing* dan *delayed demixing*. Teknik *instantaneous demixing* larutan *casting* akan langsung dicelupkan ke dalam bak berisi cairan non pelarut dan mengalami solidifikasi, sehingga terbentuklah membran padat. *Delayed demixing* sebelum dicelupkan ke dalam bak pelarut diperlukan waktu untuk mengalami penguapan terlebih dahulu guna membentuk membran kemudian dimasukkan ke dalam bak berisi cairan non pelarut.

2.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Proses Pembentukan Membran

Menurut Mulder (1996) faktor-faktor yang dapat mempengaruhi proses pembentukan membran antara lain jenis sistem pelarut nonpelarut, pemilihan polimer, komposisi pelarut, komposisi bak koagulasi, komposisi larutan polimer, waktu penguapan larutan *dope*, dan penambahan aditif.

1. Jenis sistem pelarut-nonpelarut

Pemilihan sistem pelarut–nonpelarut sangat mempengaruhi struktur membran yang dihasilkan. Pada pembuatan membran secara inversi fasa, polimer harus dapat larut dalam pelarut yang cocok. Meskipun terdapat lebih dari satu pelarut yang cocok untuk polimer namun pelarut dan nonpelarut harus saling campur. Air adalah nonpelarut yang umum digunakan dalam proses inversi fasa. Proses pencampuran dapat berlangsung secara sempurna jika komposisi semua bahan penyusun membran mempunyai daya larut yang sama. Di samping itu komposisi total sangat menentukan homogenitas dan kinerja membran. Kelarutan polimer berkurang dengan

bertambahnya massa molekul. Jika suatu polimer dapat larut dalam pelarut yang cocok kemudian ditambahkan bukan pelarut (jika larutan polimer dituangkan ke dalam bukan pelarut yang jumlahnya berlebihan) maka polimer akan mengendap.

2. Pemilihan polimer (jenis polimer)

Merupakan salah satu faktor penting karena akan membatasi jenis pelarut dan nonpelarut yang digunakan. Pemilihan material membran menjadi penting dengan memperhatikan faktor *fouling* (efek adsorpsi, karakteristik hidrofilik/ hidrofobik), kestabilan termal dan kimia.

3. Komposisi pelarut

Komposisi pelarut merupakan parameter lain yang sangat mempengaruhi jenis struktur membran yang terbentuk. Pembuatan membran selulosa asetat dapat menggunakan dua macam pelarut. Sistem selulosa asetat/aseton/air menghasilkan tipe membran yang mempunyai tipe membran yang rapat (Wenten, 2000). Beberapa pelarut yang digunakan untuk pembuatan membran selulosa asetat yaitu dimetil formamida (DMF), dimetil asetamida (DMAc), aseton, dioksan, tetrahidrofuran (THF), asam asetat (HAc), asam format, aseton dan dimetil sulfoksida (DMSO). Polimer harus larut secara sempurna oleh pelarut.

Tabel 2.1 Parameter kelarutan

Pelarut	Kelarutan (δ (MPa ^{1/2}))	$\Delta\delta$ (parameter kelarutan dengan selulosa asetat)
Dioksan	20,6	0,64
Aseton	20,3	0,34
DMSO	29,7	9,74
DMF	24,8	4,84
DMac	22,1	2,14
Asam asetat	20,7	0,74
Anilin	21,1	1,14
Asam format	24,8	4,48
THF	18,6	1,36
Metanol	29,7	9,74
Formamida	39,7	19,74

Sumber : Brandrup, 1975.

Kelarutan polimer dalam pelarut dapat dilihat dari harga parameter kelarutan. Nilai parameter kelarutan untuk selulosa asetat adalah $19,96 \text{ MPa}^{1/2}$. Parameter kelarutan beberapa pelarut selulosa asetat ditunjukkan pada tabel 2.1. Oleh karena itu semakin kecil nilai $\Delta\delta$ (parameter kelarutan) antara polimer dan pelarut maka kelarutannya makin baik artinya polimernya akan lebih cepat larut terhadap pelarut yang digunakan.

4. Komposisi bak koagulasi

Penambahan pelarut ke dalam bak koagulasi adalah parameter lain yang sangat mempengaruhi jenis struktur membran yang terbentuk. Semakin besar konsentrasi pelarut di dalam bak koagulasi berdampak pada penurunan konsentrasi polimer pada *interface*, sehingga dihasilkan membran dengan ukuran pori semakin besar (Mulder, 1996).

5. Komposisi larutan polimer

Komposisi larutan polimer harus tetap berada pada satu fasa sehingga tidak terjadi *demixing*, sehingga penambahan bahan lain dalam larutan polimer akan mempengaruhi struktur membran. Penambahan air sebagai non pelarut ke dalam larutan polimer menyebabkan terjadinya peristiwa *instantaneous demixing*. Apabila larutan polimer tidak mengandung air pembentukan membran terjadi melalui mekanisme pemisahan tertunda (*delayed demixing*) sehingga diperoleh membran *nonporous* (Mulder, 1996).

6. Waktu penguapan

Waktu penguapan ini berkaitan dengan berapa kuantitas pelarut yang meninggalkan film polimer ketika proses pembentukan pori-pori membran sedang berlangsung. Saat pori terbentuk, pelarut berada dalam pori-pori tersebut kemudian disesak oleh nonpelarut dalam bak koagulasi hingga terjadi solidifikasi. Sebelum solidifikasi, penguapan pelarut menyebabkan pori yang sudah terbentuk menyatu kembali. Semakin lama waktu penguapan, semakin sedikit dan semakin kecil diameter pori yang terbentuk (Kesting, 1971).

7. Penambahan aditif

Aditif memiliki fungsi yang spesifik. Fungsi tersebut meliputi perlindungan terhadap pengaruh lingkungan seperti penolak nyala, penyerap radiasi ultraviolet, antioksidan, antiozon (stabilitas termal dan kimia), mempermudah pemrosesan, memperbaiki kekuatan mekaniknya (Smallman dan Bishop, 2000). Aditif yang dapat ditambahkan ke dalam proses pembuatan membran antara lain polivinil klorida yang berfungsi untuk meningkatkan fluks air, dimetil ftalat berfungsi sebagai plastisizer, monosodium glutamat dan polietilen glikol yang berfungsi untuk meningkatkan porositas membran. Efek aditif pada larutan casting tergantung pada sejauh mana pengaruh aditif pada tingkat pengendapan. Aditif dalam larutan *casting* meningkatkan tingkat pengendapan, tetapi jika aditif, misalnya untuk benzena ada dalam larutan *casting* akan cenderung untuk mengurangi tingkat pengendapan. Oleh karena itu mendukung struktur spons (Idris *et al*, 2008).

2.4 Material Membran

Umumnya material membran terbentuk dari bahan polimer. Pemilihan polimer sebagai bahan baku membran dilakukan berdasarkan faktor strukturnya. Setiap faktor struktural ini akan menentukan sifat termal, kimia, dan mekanik. Hal tersebut akan mempengaruhi sifat intrinsik polimer, yaitu permeabilitas. Dengan demikian faktor struktur seperti berat molekul, fleksibilitas rantai, interaksi rantai akan mempengaruhi sifat material membran.

Dasarnya semua polimer dapat digunakan sebagai material membran, tetapi karena perbedaan sifat fisik dan kimia yang sedemikian banyaknya sehingga jumlahnya hanya dibatasi untuk penggunaan praktis. Polimer untuk membran dibagi menjadi dua kelompok yaitu membran dengan pori terbuka yang dipakai untuk ultrafiltrasi dan mikrofiltrasi dan membran nonpori padat yang dipakai untuk pemisahan gas dan prevaporasi (Mulder, 1996).

2.4.1 Selulosa Asetat

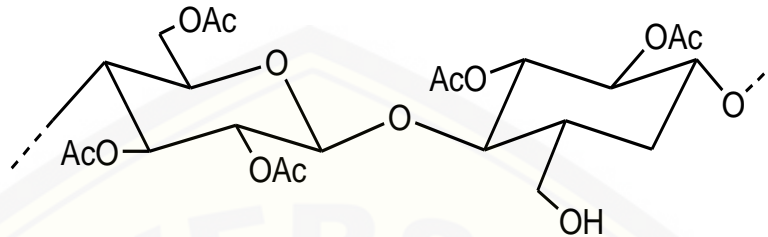
Bahan mentah selulosa asetat (CA) adalah selulosa. Selulosa merupakan polisakarida yang tersusun atas satuan glukosa yang dihubungkan dengan ikatan glikosida β -1,4 antar molekul glukosa penyusunnya. Selulosa membentuk komponen serat dari dinding sel tumbuhan. Molekul selulosa merupakan rantai-rantai, atau mikrofibril dari D glukosa sampai 14.000 satuan yang terdapat sebagai berkas-berkas terpuntir mirip tali, yang terikat satu sama lain oleh hidrogen (Fessenden, 1989).

Berat molekulnya bervariasi antara 500.000-1.500.000 Da yang tiap unitnya mempunyai berat molekul 3000-9000 Da. Selulosa mempunyai sifat seperti kristalin dan tidak mudah larut dalam air walaupun polimer ini sangat hidrofilik. Hal ini disebabkan oleh sifat kristalinitas dan ikatan membran intermolekuler antara gugus hidroksil (Mulder, 1996).

Selulosa asetat berbentuk padat, berwarna putih, dan tidak beracun. Selulosa asetat diproduksi dengan kandungan asetil 38%-40,5%. Selulosa asetat larut dalam aseton, dimetilformamida (DMF), dioksan tetrahidrofur (THF), asam asetat, dimetilsulfoksida (DMSO), dimetilasetamida (DMAc). Selulosa asetat merupakan ester yang paling penting yang berasal dari asam organik, digunakan untuk pabrik cat laker, plastik, film dan benang. Bila dibandingkan dengan selulosa nitrat, selulosa asetat tidak mudah terbakar. Sifat-sifat teknis selulosa asetat ditentukan oleh derajat substitusi yang berperan terhadap kecocokannya dengan membuat plastik maupun kelarutannya dalam pelarut. Kriteria kedua adalah derajat polimerisasi, yang dinyatakan dengan kekentalan yang mempengaruhi sifat-sifat mekanik produk-produk dan kesanggupan kerjanya (Fengel dan Wegener, 1995).

Membran selulosa asetat mempunyai kekurangan antara lain sangat reaktif terhadap reaksi kimia, reaksi biologi, perubahan suhu, dan kadar pH yang terlalu tinggi atau terlalu rendah. Pencegahan kerusakan penggunaan membran dapat diusahakan berlangsung pada suhu kamar (Kesting, 1971). Selulosa asetat memiliki beberapa keuntungan sebagai membran di dalam proses ultrafiltrasi antara lain

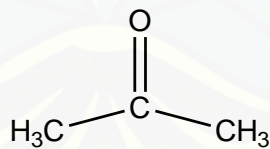
tingkat selektivitas untuk menahan material cukup tinggi (Mulder,1996). Struktur kimia selulosa asetat dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Struktur Selulosa Asetat (GAMA, 2014)

2.4.2 Aseton

Aseton merupakan keton yang paling sederhana, digunakan sebagai pelarut polar dalam kebanyakan reaksi organik. Aseton dikenal juga sebagai dimetil keton, 2-propanon, atau propan-2-on. Aseton adalah senyawa berbentuk cairan yang tidak berwarna dan mudah terbakar, digunakan untuk membuat plastik, serat, obat-obatan, dan senyawa-senyawa kimia lainnya. Aseton larut dalam berbagai perbandingan dengan air, etanol, dietil eter, dan lain-lain. Struktur kimia dari aseton dapat dilihat pada gambar 2.4. Pembuatan selulosa dengan menggunakan aseton sebagai pelarut menghasilkan tipe membran yang mempunyai pori yang rapat (Wenten, 2000).

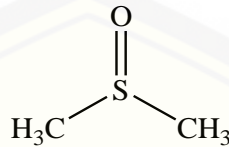


Gambar 2.4 Struktur Aseton (Wade, 2010).

2.4.3 DMSO

Dimetil sulfoksida (DMSO) merupakan senyawa kimia dengan rumus $(\text{CH}_3)_2\text{SO}$ (Gambar 2.5). Berat molekul DMSO sebesar 78,13 g/mol, serta memiliki titik beku pada suhu antara $18^\circ\text{-}18,55^\circ\text{ C}$ dan titik didih pada suhu 189° C . DMSO berbentuk larutan tidak berwarna yang memiliki sifat aprotik dipolar, yaitu dapat melarutkan senyawa polar dan nonpolar. Selain itu, dimetil sulfoksida juga memiliki

sifat ampifilik (memiliki sifat hidrofilik dan hidrofobik) (Gaylord, 2007). Sifat ampifilik yang dimiliki DMSO mendukung kemampuan DMSO dalam menembus membran sel sehingga dapat melakukan penetrasi ke dalam sel (Sum & Pablo, 2003).

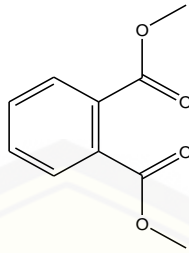


Gambar 2.5. Struktur Kimia DMSO (Gaylord, 2007)

2.4.4 Bahan Aditif Pada Polimer

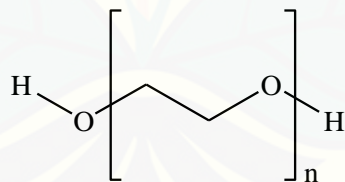
Bahan aditif pada polimer yaitu bahan yang ditambahkan pada polimer untuk meningkatkan kemampuan pemrosesan dan mengubah kualitas dan sifat produk polimer. Bahan aditif yang banyak ditambahkan pada polimer dapat berfungsi sebagai zat penstabil (*stabilizer*), zat pemlastis (*plasticizer*), zat pengisi (*filler*), dan zat-zat lain seperti zat warna, akselerator, zat penahan nyala (Billmeyer, 1962). Penambahan aditif dalam pembuatan membran dimaksudkan untuk menambah fleksibilitas dan *workabilitynya* yaitu sifat mekanik dan kinerja membran yang optimal. Pada penelitian ini menggunakan bahan aditif Dimetil Ftalat (DMP) dan Poli etilen glikol (PEG).

DMP merupakan senyawa golongan ester yang berbentuk cairan berminyak. Nama lain dari senyawa DMP diantaranya asam ftalat dimetil ester, dimetil 1,2-benzendikarboksilat, *Palatinol M*, *fermine*, *Avolin*, *Mipax*. Dimetil ftalat sangat mudah terbakar, dalam bentuk gas dimetil ftalat akan bereaksi dengan OH radikal (Sitting, 1991). Dimetil ftalat digunakan sebagai plastisizer untuk nitroselulosa dan selulosa asetat, resin dan karet alam. Dimetil ftalat larut dalam alkohol, eter dan kloroform dan tidak larut dalam air. Struktur Dimetil ftalat dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Struktur DMP (Sitting, 1991)

PEG adalah molekul sederhana dengan struktur molekul linier atau bercabang, polieter netral, sesuai dengan beberapa variasi bobot molekul, dan larut dalam air dan beberapa pelarut organik. PEG tersedia dalam berbagai macam berat molekul mulai dari 200 sampai 8000. PEG yang umum digunakan adalah PEG 200, 400, 600, 1000, 1500, 1540, 3350, 4000, 6000 dan 8000. Pemberian nomor menunjukkan berat molekul rata-rata dari masing-masing polimernya. PEG yang memiliki berat molekul rata-rata 200, 400, 600 berupa cairan bening tidak berwarna dan yang mempunyai berat molekul rata-rata lebih dari 1000 berupa lilin putih, padat dan kekerasannya bertambah dengan bertambahnya berat molekul (Harris, 1992). Rumus molekul PEG dapat dilihat pada Gambar 2.7.

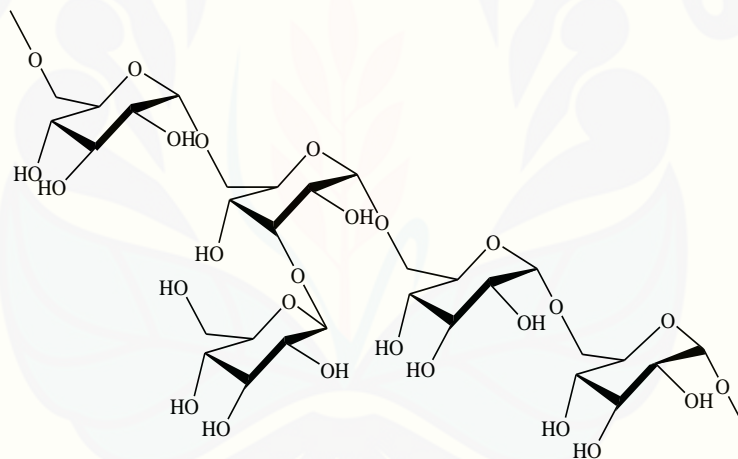


Gambar 2.7 Struktur Polietilen Glikol (Harris, 1992)

PEG digunakan sebagai agen pembentuk pori membran. PEG larut dalam air dan beberapa pelarut organik meliputi toluena, metil klorida, etanol dan aseton. PEG tidak larut dalam heksana dan hidrokarbon alifatik yang serupa, dietil eter serta etilen glikol (Harris, 1992).

2.4.5 Dekstran

Dekstran merupakan glukosa dengan ikatan α -D-1,6-glukosa dengan rantai samping 1,3 yang terikat pada rantai C bipolimer. Derajat percabangan kira-kira 5%. Cabang ini sebagian besar terdiri dari 1-2 unit glukosa. Struktur dekstran dapat dilihat pada gambar 2.8. Dekstran bersifat fleksibel dan polimer yang panjang dan di dalam larutan berada sebagai gulungan yang dapat memanjang. Dekstran dengan mudah larut dalam air. pH tidak berpengaruh secara signifikan terhadap kelarutannya. Larutan dapat dibuat pada konsentrasi (>50% berat/volume). Dekstran larut juga dalam pelarut lain, khususnya metal sulfida, formamida, etilen glikol dan gliserol. Dekstran tidak larut dalam monohidrat alkohol, sebagai contoh metanol, etanol dan isopropanol dan juga kebanyakan keton seperti aseton dan 2-propanon.



Gambar 2.8 Struktur Dekstran (Pharmacosmos, 2015)

Larutan dekstran biasanya digunakan sebagai salah satu larutan standar dalam perhitungan nilai selektivitas karena ketersediaan senyawa dekstran dalam spektrum massa molekul relatif yang luas. Larutan dekstran dapat dengan mudah difiltrasi. Konsentrasi larutan dekstran yang lebih besar membutuhkan filter dan tekanan yang lebih besar untuk meningkatkan laju filtrasi. Laju filtrasi dapat ditingkatkan dengan menaikkan suhu. Luas sistem filter harus sesuai dengan volume dan konsentrasi larutan dekstran yang digunakan (Pharmacosmos, 2015).

2.5 Karakterisasi Membran

Karakterisasi pada membran meliputi uji porositas dan uji kinerja (fluks dan rejeksi).

2.5.1 Uji Porositas

Porositas merupakan perbandingan antara volume pori dengan volume total membran. Porositas berguna untuk mengetahui banyaknya pori dalam membran. Porositas dapat ditentukan berdasarkan persamaan 2.1.

$$P (\%) = \frac{W_1 - W_2}{\rho_w \cdot V_T} \times 100\% \quad (2.1)$$

$$\text{Dimana } V_T = \frac{W_1 - W_2}{\rho_w} + \frac{W_2}{\rho_{md}}$$

Keterangan:

W_1 = berat basah membran (g)

W_2 = berat kering membran (g)

ρ_w = densitas air (g/cm^3)

V_T = volume membran basah (cm^3)

ρ_{md} = densitas membran kering (g/cm^3)

(Velu *et al*, 2015)

2.5.2 Uji Kinerja

Uji kinerja membran meliputi fluks dan rejeksi membran.

a. Fluks Membran

Kinerja suatu membran ditentukan oleh dua parameter, fluks dan selektifitas. Fluks volume adalah jumlah volume permeat yang diperoleh pada operasi membran persatuan waktu dan satuan luas permukaan membran. Permeabilitas akan menentukan harga fluks yang merupakan volume permeat yang melewati tiap satuan luas permukaan membran per satuan waktu. Fluks volume dirumuskan pada persamaan 2.2.

$$J_v = \frac{V}{A.t} \quad (2.2)$$

Di mana:

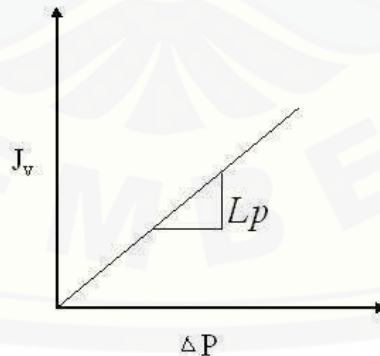
J_v = fluks volume ($L/m^2 \cdot \text{jam}$)

V = volume permeat (L)

A = luas permukaan (m^2)

t = waktu (jam)

Aliran selanjutnya sering dinotasikan sebagai fluks yang didefinisikan sebagai volume aliran yang melalui membran per unit area dan waktu. Beberapa satuan SI yang dipakai untuk menyatakan fluks antara lain: $L/m^2 \cdot \text{jam}$ dan $L/m^2 \cdot \text{hari}$. Sebelum uji fluks, terlebih dahulu dilakukan kompaksi terhadap membran yang akan diuji. Kompaksi dilakukan dengan mengalirkan air melewati membran hingga diperoleh fluks air yang konstan. Penurunan fluks air akan terjadi karena adanya deformasi mekanik pada matriks membran akibat tekanan yang diberikan. Proses deformasi ini mengakibatkan terjadinya pemadatan pori membran, sehingga nilai fluks menjadi turun. Perlakuan tersebut akan menghasilkan nilai fluks untuk setiap tekanan pada membran, kemudian dibuat grafik nilai perubahan tekanan (sebagai sumbu X) dan nilai fluks (sebagai sumbu Y). Nilai L_p (koefisien permeabilitas) ditentukan dari nilai slope yang didapatkan pada setiap grafik (lihat gambar 2.9).



Gambar 2.9 Grafik penentuan koefisien permeabilitas (L_p)

Gambar 2.9 menunjukkan bahwa fluks berbanding lurus dengan perubahan tekanan. Fluks dialurkan terhadap perubahan tekanan akan diperoleh kemiringan kurva yang merupakan nilai dari koefisien permeabilitas.

Koefisien permeabilitas bisa dinyatakan melalui persamaan 2.3 (Mulder, 1996)

$$J_v = L_p \Delta P \quad (2.3)$$

Di mana:

J_v = fluks air (L/m^2 jam)

L_p = koefisien permeabilitas (L/m^2 .jam.atm); dan

ΔP = perubahan tekanan.

b. Selektifitas membran

Selektifitas membran terhadap campuran secara umum dinyatakan oleh satu dari dua parameter yaitu koefisien rejeksi (R) dan faktor pemisahan (α). Campuran larutan encer yang terdiri dari pelarut (sebagian besar air) dan zat terlarut lebih sesuai dengan retensi terhadap terlarut. Zat terlarut sebagian atau secara sempurna ditahan sedang molekul pelarut air dengan bebas melalui membran. Rejeksi dinyatakan dalam persamaan 2.4.

$$R = \frac{C_f - C_p}{C_f} = \left(1 - \frac{C_p}{C_f}\right) \times 100\% \quad (2.4)$$

Di mana :

R = koefisien rejeksi,

C_p = konsentrasi zat terlarut dalam permeat,

C_f = konsentrasi zat terlarut dalam feed,

R adalah parameter yang tidak berdimensi, sehingga tidak berpengaruh unit konsentrasinya. Nilai R berkisar antara 100% (jika zat terlarut dapat ditahan secara sempurna) dan 0% zat terlarut dan pelarut melalui membran secara bebas (Mulder, 1996).

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2015 sampai Januari 2016. Penelitian terdiri dari dua tahap yaitu pembuatan membran dan karakterisasi membran. Karakterisasi meliputi uji porositas, fluks dan rejeksi.

Preparasi dan pengujian membran dilakukan di Laboratorium Kimia Fisik dan Laboratorium Kimia Analitik Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

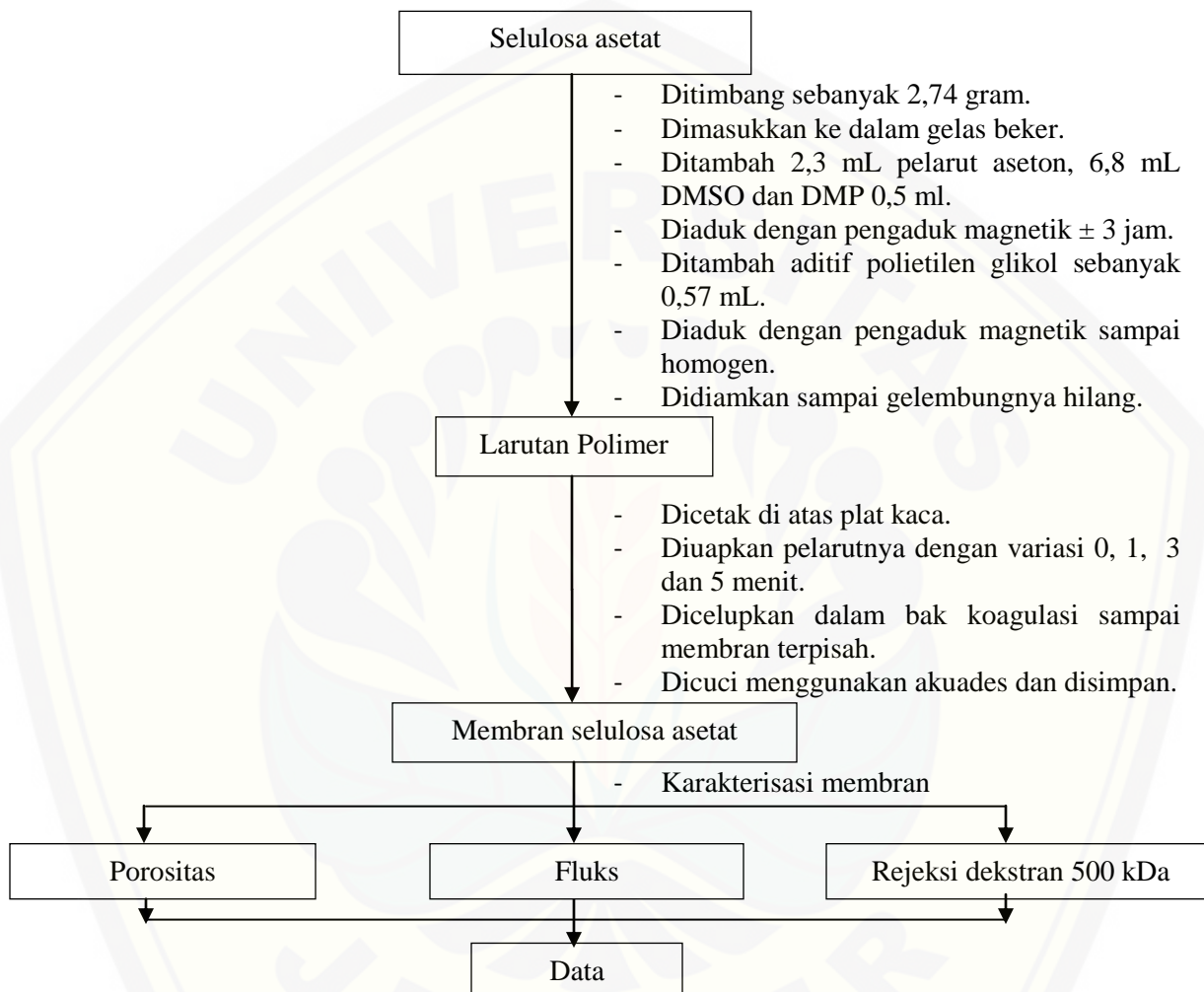
Alat yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya: Satu set alat ultrafiltrasi modul flat sistem *dead-end*, magnetik stirer, plat kaca, selotip, lampu neon, *stopwatch*, kompresor, piknometer, labu ukur 25 mL, 50 mL dan 1000 mL, pipet mohr 1 mL, 5 mL dan 10 mL, pipet volume 1 mL dan 5 mL, ball pipet, gelas ukur 10 mL dan 50 mL, gelas beker 100 mL, bak koagulasi, neraca analitik, botol semprot, gunting, spektrofotometer UV-Vis model 752.

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya : Selulosa asetat *sigma aldrich* (BM = 30 kDa), aseton (*merck*); $\rho = 0,79$ g/mL, dimetil sulfoksida (DMSO) (*Schuchardt*); $\rho = 1,11$ g/mL), akuades, dimetil Ptalat (DMP) pekat (*Schuchardt*); $\rho = 1,19$ g/mL, Polietilen glikol (PEG) *brataco chemika* 600 Da; $\rho = 1,12$ g/mL, dekstran *sigma aldrich* 500 kDa, fenol(*merck*); $\rho=1,057$ g/mL, H₂SO₄ pekat (LIPI); $\rho=1,84$ g/mL, kertas saring dan alumunium foil.

3.3 Diagram Alir Penelitian

Pelaksanaan penelitian akan dilakukan seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1

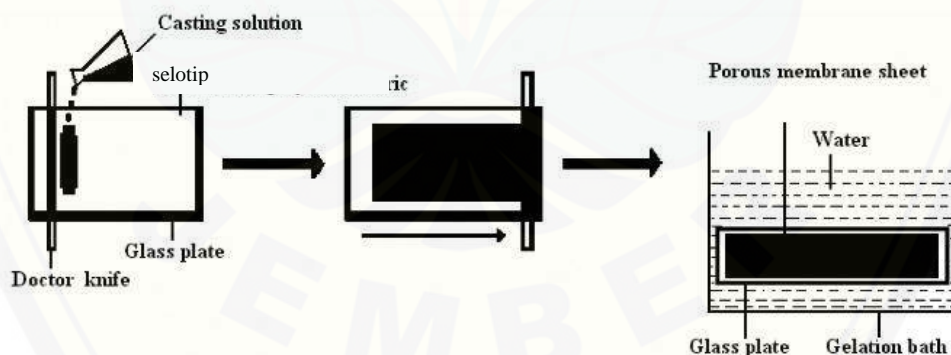


Gambar 3.1 Skema Preparasi dan Pengujian Membran Selulosa Asetat

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Pembuatan Membran

Pembuatan membran selulosa asetat ini menggunakan metode inversi fasa. Selulosa asetat sebanyak 2,74 gram dilarutkan dalam 2,3 mL pelarut aseton dan 6,8 mL DMSO kemudian ditambahkan 0,5 mL DMP dan ditutup dengan alumunium foil untuk mengurangi penguapan pelarut. Larutan diaduk dengan pengaduk magnetik selama ± 3 jam. Ditambahkan zat aditif PEG 600 sebanyak 5% dari berat total larutan polimer. Campuran diaduk dengan pengaduk magnetik selama 1 jam sampai larutan polimer homogen. Larutan polimer yang telah homogen kemudian didiamkan sampai tidak mengandung gelembung udara. Larutan polimer yang tidak mengandung gelembung udara dicetak di atas plat kaca yang bagian tepinya telah diberi selotip untuk mengatur ketebalan membran dan dibiarkan di udara terbuka dengan variasi waktu penguapan 0, 1, 3 dan 5 menit. Selanjutnya film membran dicelupkan dalam bak koagulasi hingga terjadi pematangan membran. Sisa pelarut dan aditif pada membran dihilangkan dengan cara dicuci dengan air dan disimpan. Proses pembuatan membran ditunjukkan pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Proses Pembuatan Membran (Javiya, 2008).

3.4.2 Karakterisasi Membran Selulosa Asetat

Karakterisasi membran selulosa asetat meliputi uji porositas dan uji kinerja meliputi fluks dan rejeksi.

a. Uji Porositas

Porositas membran dihitung dengan menentukan perbandingan volume pori dengan volume total membran. Porositas membran dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.1. Perhitungan porositas dilakukan dengan menimbang berat basah membran dikurangi berat kering dan dibagi dengan hasil perkalian antara densitas air dengan volume membran. Pengukuran densitas air dilakukan menggunakan piknometer dengan cara menimbang piknometer kosong yang bersih dan kering beserta tutupnya dan hasilnya dicatat sebagai berat piknometer kosong (A gram). Piknometer tersebut kemudian diisi dengan air hingga tanda batas dan ditutup. Piknometer kemudian ditimbang dan hasil penimbangan tersebut dicatat sebagai berat piknometer+air (B gram). Air dikeluarkan dari piknometer kemudian dibilas hingga bersih. Pengukuran dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali. Setelah data diperoleh, densitas air dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 3.1.

$$\text{Densitas air } (\rho) = \frac{B - A}{V} \quad (3.1)$$

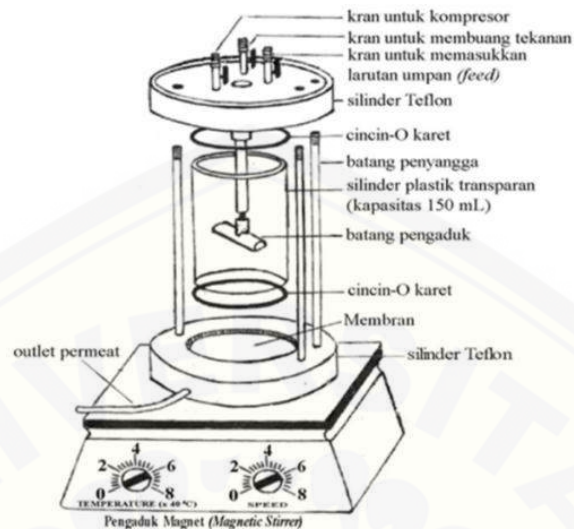
Keterangan : A = berat piknometer kosong (gram)

B = berat piknometer+air (gram)

V = volume piknometer (cm³)

b. Uji Fluks Air

Uji Fluks dilakukan untuk mengetahui jumlah volume permeat yang diperoleh pada operasi membran persatuan waktu dan satuan luas permukaan. Membran yang sudah dicetak dipotong membentuk lingkaran sesuai diameter alat ultrafiltrasi *dead-end* seperti gambar 3.3. Sebelum dilakukan pengujian fluks air dilakukan penentuan kompaksi terlebih dahulu. Penentuan kompaksi berfungsi untuk penataan ulang pori membran sehingga mampu menghasilkan pori yang seragam. Kompaksi dilakukan dengan memasukkan akuades sebanyak kurang lebih 100 ml ke dalam sel filtrasi dan ditutup rapat kemudian diberikan tekanan sebesar 2 bar. Akuades yang melewati membran setiap satu mL dicatat waktunya sampai didapatkan nilai fluks yang konstan. Setelah diperoleh nilai fluks yang konstan, dilakukan pengujian fluks air.



Gambar 3.3 Set alat ultrafiltrasi (Irfan, 2008)

Pengujian fluks air dilakukan dengan prosedur yang sama saat penentuan kompaksi namun dalam pengujian ini yang dicatat adalah banyaknya volume akuades yang lolos melewati membran selama satu jam dan dihitung nilai fluksnya berdasarkan persamaan 2.2.

c. Uji Koefisien Permeabilitas

Uji koefisien permeabilitas membran dilakukan dengan memasukkan air sebanyak 100 ml ke dalam set ultrafiltrasi. Pengadukan menggunakan pengaduk magnetik dan kecepatan dijaga konstan. Setiap membran selulosa asetat diberi variasi tekanan yaitu 1; 1,5; 2; 2,5; dan 3 bar selama 1 jam sehingga dapat ditentukan nilai fluks untuk setiap perbedaan tekanan. Sebelum dilakukan penentuan koefisien permeabilitas juga dilakukan kompaksi terlebih dahulu dimana tekanan yang diberikan bervariasi yaitu 1; 1,5; 2; 2,5; dan 3 bar sampai didapatkan nilai fluks yang konstan. Berdasarkan perlakuan tersebut maka akan diperoleh nilai fluks untuk setiap tekanan pada masing-masing membran. Hasil pengukuran yang dihasilkan, kemudian dibuat grafik nilai perubahan tekanan (sebagai sumbu X) dan nilai fluks (sebagai

sumbu Y). Nilai L_p (konstanta permeabilitas) ditentukan dari nilai slope yang didapatkan pada setiap grafik seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5.

d. Penentuan Koefisien Rejeksi Membran

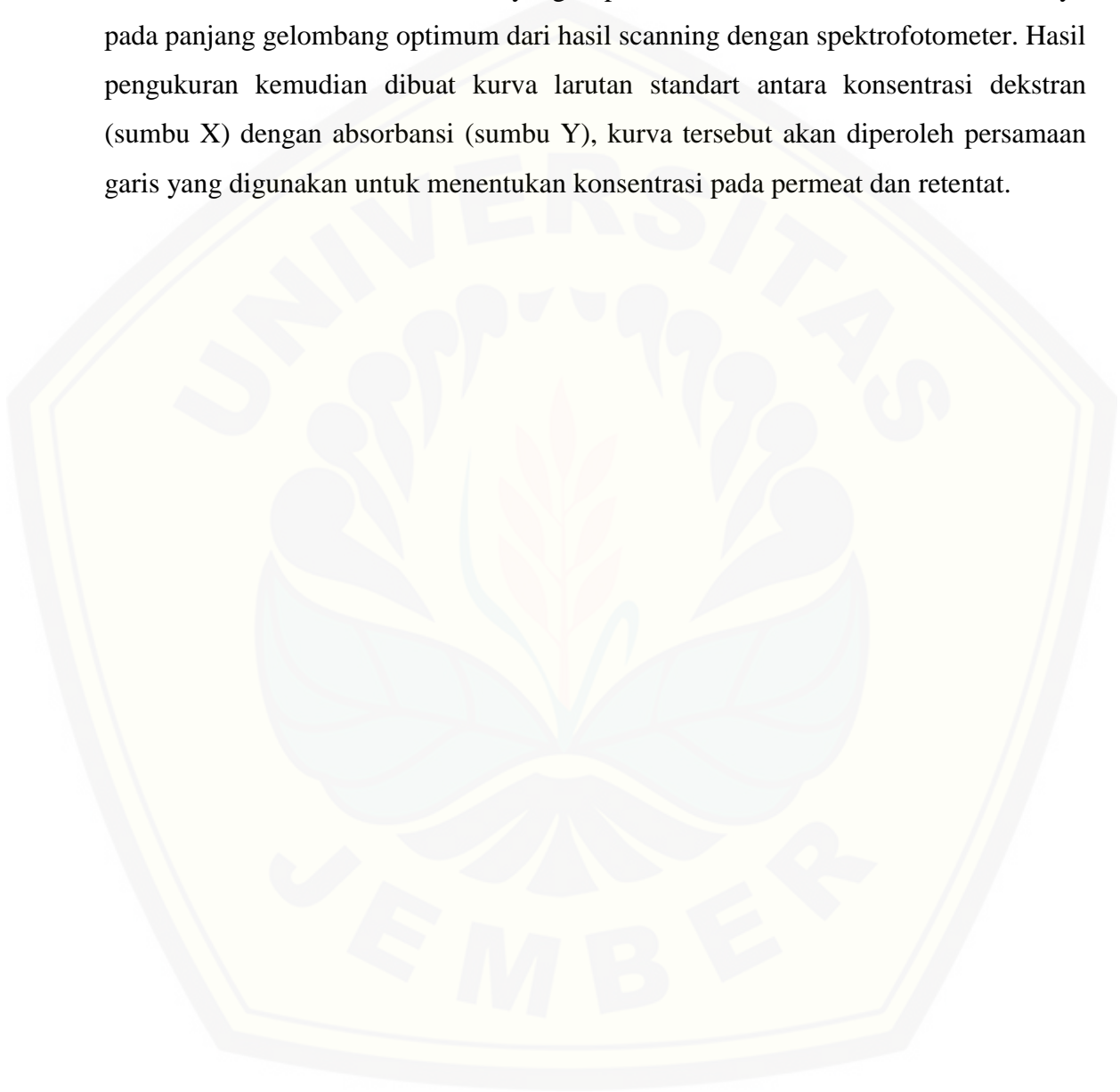
Penentuan koefisien rejeksi ini dilakukan untuk menentukan membran yang dapat masuk dalam kategori membran ultrafiltrasi dengan menggunakan larutan dekstran 500 kDa dengan konsentrasi 1000 ppm sebanyak ± 100 mL yang dilewatkan melalui membran. Pemisahan dilakukan dengan tekanan 2 bar selama 1 jam. Permeat dan retentat yang diperoleh diambil sebanyak 1 mL kemudian ditambahkan fenol 5% sebanyak 1 mL dan asam sulfat pekat sebanyak 5 mL yang selanjutnya diencerkan dengan akuades dalam labu ukur 25 mL sampai tanda batas. Pembuatan larutan fenol 5% dilakukan dengan menimbang fenol sebanyak 1,25 gram kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 25 mL selanjutnya ditambahkan akuades sampai tanda batas. Konsentrasi permeat dan retentat dihitung menggunakan spektrofotometri. Penentuan konsentrasi permeat dan retentat dengan spektrofotometri harus mengetahui panjang gelombang maksimum (scanning) yang digunakan. Konsentrasi dari permeat dan retentat digunakan untuk menentukan koefisien rejeksi. Koefisien rejeksi membran dihitung berdasarkan persamaan 2.4.

Pembuatan kurva kalibrasi dilakukan dengan menyiapkan larutan induk dekstran 500 kDa dengan konsentrasi 1000 ppm. Larutan induk 1000 ppm diencerkan menjadi 50, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, dan 900 ppm. Larutan yang telah diencerkan diambil masing-masing 1,0 mL kemudian ditambahkan fenol 5% sebanyak 1 mL dan asam sulfat pekat sebanyak 5 mL yang selanjutnya diencerkan dengan akuades dalam labu ukur 25 mL sampai tanda batas sehingga diperoleh konsentrasi 2, 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36, dan 40 ppm.

Pembuatan blanko dilakukan dengan mengambil 1,0 mL akuades yang ditambahkan dengan fenol 5% sebanyak 1 mL dan H_2SO_4 pekat sebanyak 5 mL yang selanjutnya diencerkan dengan akuades dalam labu ukur 25 mL sampai tanda batas. Larutan standart yang digunakan untuk scanning adalah larutan standart dekstran

dengan konsentrasi 20 ppm. Scanning dilakukan dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 400-550 nm.

Larutan standart dekstran yang diperoleh kemudian diukur absorbansinya pada panjang gelombang optimum dari hasil scanning dengan spektrofotometer. Hasil pengukuran kemudian dibuat kurva larutan standart antara konsentrasi dekstran (sumbu X) dengan absorbansi (sumbu Y), kurva tersebut akan diperoleh persamaan garis yang digunakan untuk menentukan konsentrasi pada permeat dan retentat.



BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Variasi waktu penguapan pelarut mempengaruhi porositas membran. Semakin lama waktu penguapan pelarut, porositas yang dihasilkan semakin rendah.
2. Nilai fluks membran semakin kecil seiring bertambahnya waktu penguapan pelarut tetapi meningkatkan rejeksi membran terhadap dekstran 500 kDa. Membran dengan waktu penguapan 5 menit memiliki nilai rejeksi $>90\%$ terhadap molekul dekstran 500 kDa.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, porositas dan fluks yang dihasilkan masih rendah sehingga perlu penyempurnaan dalam pembuatan membran. Selain itu perlu dikaji lebih lanjut penentuan ukuran pori yang dihasilkan untuk mengetahui pengaruh penambahan PEG terhadap pori membran.

DAFTAR PUSTAKA

- Bhongsuwan, D. and T. Bhongsuwan, 2008. Preparation of cellulose acetate membranes for ultra-nano-filtrations. *Kasetsart J. Nat. Sci* Vol **42** (2): 311-317.
- Billmeyer, F.W. 1962. *Text Book of Polymer Science*. New York and London: John Wiley and Sons Inc.
- Brandrup, J., John, W., and Son. 1975. *Handbook Polymer, Edisi ke-2*. New York.
- Cheryan, M. 1998. *Ultrafiltration and Microfiltration Handbook*, 2nd edition. U.S: CRC Press.
- Fengel, D. and G. Wegener. 1995. *Kayu: Kimia, Ultrastruktur, Reaksi-reaksi* Terjemahan oleh Hardjono Sastrohamidjojo. Yogyakarta: UGM Press.
- Fessenden, Ralp J., and Joan S. Fessenden. 1989. *Kimia organik*. Jilid 2. Edisi ketiga. Terjemahan Aloysius Hadyana Pudjaatmaka dari Organic Chemistry (1989). Jakarta: Erlangga.
- GAMA. 2014. Manufacturing of Filter Tow. <http://acetateweb.com/manufacturing-filter-tow/> [7 Agustus 2015].
- Gaylord Chemical Company, L. L. C. "Dimethyl sulfoxide (DMSO): Health and safety information". *Gaylord Chemical Company, L. L. C. Bulletin*. Oktober 2007. Halaman 2-5.
- Gruenwedel, D.W. and Whitaker, J.R. 1987. *Food Analysis: Principles and Techniques*. Vol.4 (Separation Techniques). New York: Marcel Dekker, Inc.
- Harris, M.J. 1992. *Poly (Ethylene Glycol) Chemistry. Biotechnical and Biomedical Applications*. New York: Plenum Press.
- Ho, W.S, Winton and Sirkar. 1991. *Membrane Handbook*. New York: Chapman Hall
- Idris, A., Mieow., and Ahmed. 2008. The Effect of Monosodium Glutamate Additive On Performance Of Dialysis Membrane. *J. Sci. Technol* Vol **3**(2): 172 – 179.

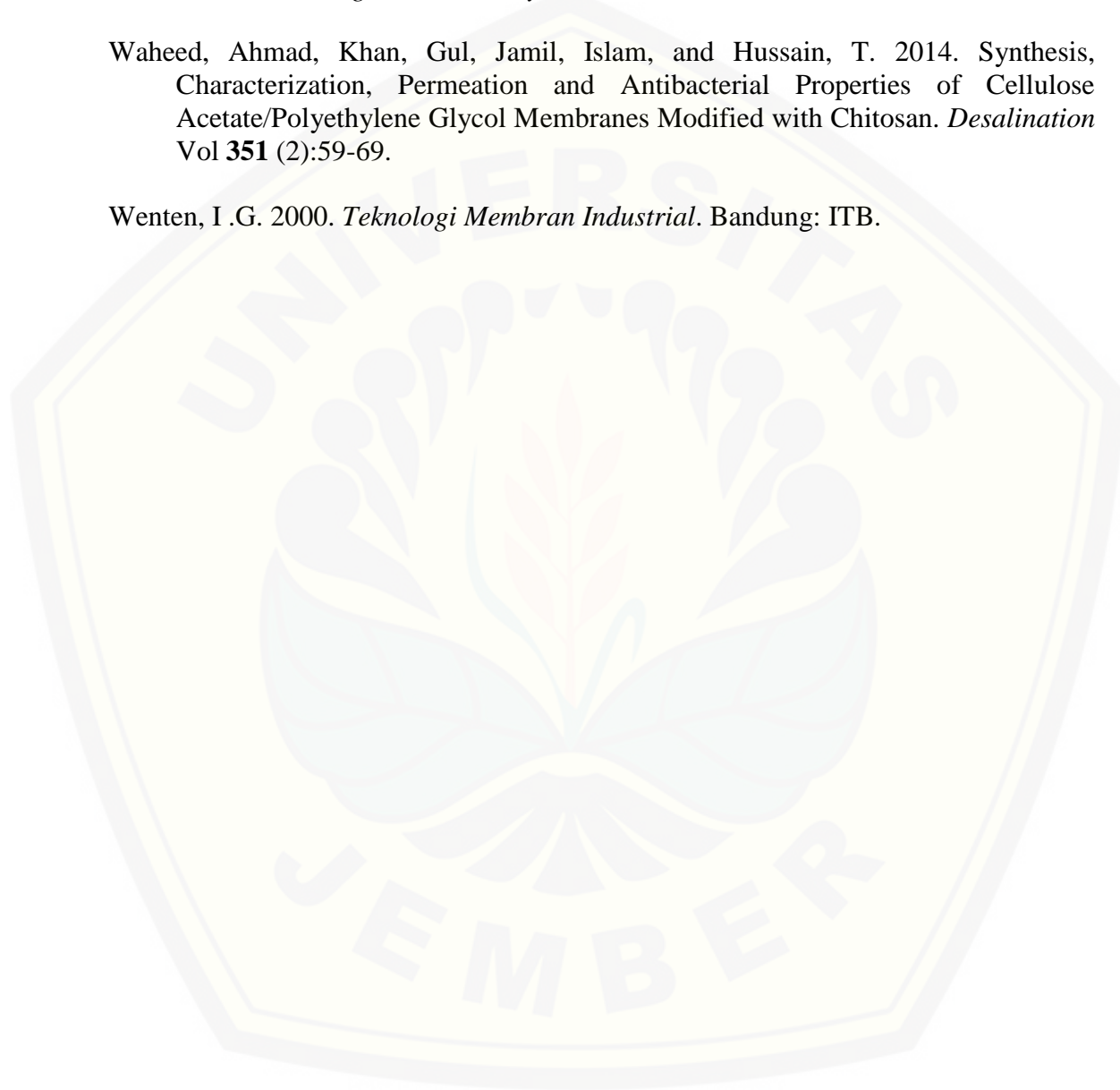
- Javiya, Yogesh, Gupta, Singh, and Bhattacharya. 2008. Porometry Studies of the Polysulfone Membranes on Addition of Poly(ethylene Glycol) in Gelation Bath During Preparation. *Journal of Science and Industrial Research* Vol **52** (2):140-144.
- Kartika, L. 2010. "Pemisahan Surfaktan Anionik Sodium Dodesil Sulfat (SDS) dengan menggunakan Membran Ultrafiltrasi Selulosa Asetat (CA)". Tidak dipublikasikan. Skripsi. Jember: Universitas Jember.
- Kesting, R. E. 1971. *Synthetic Polymeric Membranes*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Krishnamoorthy, L., Arif, P. M., and Ahmedkhan, R. 2010. Separation of Proteins from Aqueous Solution Using Cellulose Acetate/Poly (Vinyl Chloride) Blend Ultrafiltration Membrane. *J Mater Sci* Vol **46** (2): 2914-2921.
- Lucia, A., dan Adiwir. 2011. Efek Berat Molekul *Polietilen Glikol* (PEG) pada Membran Selulosa Asetat terhadap Selektivitas Pemisahan Gas CO₂/CH₄. *Lembaran publikasi minyak dan gas bumi* Vol. **45** (2): 121 – 124.
- Mulder, M. 1996. *Basic Principles of Membrane Technology*, 2nd ed. Dorddercht: Kluwer Academic Publishers.
- Pharmacosmos.A/S. 2015. *Dextran Struktur*. (<http://www.dextran.net/about-dextran/dextran-chemistry.aspx>) [27 Juli 2015]
- Saljoughi, E., 2010. Effect of PEG additive and coagulation bath temperature on the morphology permeability and thermal/chemical stability of asymmetric CA membranes. *Desalination* Vol **262** (1-3): 72-78.
- Sitting, M. 1991. *Handbook of Toxic and Hazardous Chemicals and Carcinogens Volume I A-F*. USA: Noyes Publication.
- Smallman, R.E. dan Bishop, R.J. (2000). *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material* Terjemahan oleh Sriati Djaprie. Jakarta: Erlangga.
- Sum, A. K. and J. J. Pablo. 2003. Molecular simulation study on the influence of dimethylsulfoxide on the structure of phospholipid bilayers. *Biophysical Journal* Vol **85** (6): 3636-3645.
- Velu, S., Muruganandam, L., and Arthanareeswaran, G. 2015. Preparation and Performance Studies on Polyethersulfone Ultrafiltration Membranes Modified

with Gelatin for Treatment of Tannery and Distillery Wastewater. *Brazilian Journal of Chemical Engineering* Vol **32** (01): 179-189.

Wade, L.G. 2010. *Organic Chemistry. Seventh Edition*.USA: Pearson Education, Inc.

Waheed, Ahmad, Khan, Gul, Jamil, Islam, and Hussain, T. 2014. Synthesis, Characterization, Permeation and Antibacterial Properties of Cellulose Acetate/Polyethylene Glycol Membranes Modified with Chitosan. *Desalination* Vol **351** (2):59-69.

Wenten, I.G. 2000. *Teknologi Membran Industrial*. Bandung: ITB.



LAMPIRAN**Lampiran A.** Densitas Air pada Temperatur Ruang

Massa pikno kosong (gram)	Massa pikno + air (gram)	Volume pikno (cm ³)	ρ_{air} (gram/cm ³)	ρ_{air} rata-rata (gram/cm ³)	SD
29,464	39,621	10,205	0,9953		
29,464	39,621	10,205	0,9953	0,9953	0,0006
29,464	39,620	10,205	0,9952		

Cara menghitung densitas air (ρ_w) :

$$\rho_w = \frac{(\text{Massa pikno+air}) - (\text{massa pikno kosong})}{V_{\text{pikno}}}$$

$$\rho_w = \frac{39,621 \text{ gram} - 29,464 \text{ gram}}{10,205 \text{ cm}^3} = 0,9953 \text{ gram /cm}^3$$

Lampiran B. Data Densitas Membran dengan Berbagai Variasi Waktu Penguapan pada Temperatur Ruang

Perlakuan	Ulangan	Massa membran (gram)	Ketebalan membran (cm)					Rata-rata	Vm (cm ³)	ρ_{membran} (gram/cm ³)	SD
			I	II	III	IV	V				
0 menit	1	0,045	0,005	0,005	0,005	0,005	0,006	0,0052	0,0980	0,4591	0,0213
	2	0,044	0,006	0,006	0,006	0,005	0,005	0,0056	0,1055	0,4169	
	3	0,045	0,006	0,006	0,005	0,005	0,005	0,0054	0,1018	0,4421	
1 menit	1	0,068	0,006	0,006	0,006	0,006	0,005	0,0058	0,1093	0,6220	0,0216
	2	0,069	0,006	0,005	0,006	0,006	0,005	0,0056	0,1055	0,6537	
	3	0,070	0,005	0,005	0,006	0,006	0,006	0,0056	0,1055	0,6632	
3 menit	1	0,111	0,006	0,007	0,007	0,007	0,007	0,0068	0,1282	0,8661	0,0335
	2	0,116	0,007	0,006	0,006	0,007	0,007	0,0066	0,1244	0,9325	
	3	0,111	0,006	0,006	0,007	0,007	0,007	0,0066	0,1244	0,8923	
5 menit	1	0,167	0,007	0,007	0,008	0,008	0,007	0,0074	0,1395	1,1974	0,0122
	2	0,165	0,008	0,007	0,007	0,007	0,007	0,0072	0,1357	1,2159	
	3	0,161	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,0070	0,1319	1,2203	

Perhitungan volume membran (V_m) dan densitas membran (ρ_m) waktu penguapan 0 menit pengulangan 1 :

$$\begin{aligned} V_m &= \text{luas alas } (\pi \times r^2) \times \text{tinggi (ketebalan)} \\ &= 3,14 \times (2,45 \text{ cm})^2 \times 0,0052 \text{ cm} \\ &= 0,0980 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Sehingga ;

$$\begin{aligned} \text{Densitas membran } (\rho_m) &= \frac{\text{massa membran (gram)}}{V_m} \\ &= \frac{0,045 \text{ gram}}{0,0980 \text{ cm}^3} \\ &= 0,4591 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

Lampiran C. Data Porositas Membran pada Berbagai Variasi Waktu Penguapan

Perlakuan	Ulangan	W_w (gram)	W_d (gram)	ρ_w (gram/cm ³)	ρ_m (gram/mL)	V_T (cm ³)	Porositas membran (%)	Porositas rata-rata membran (%)	SD
0 menit	1	0,239	0,045	0,9953	0,4591	0,2929	66,5421	66,1583	0,81575
	2	0,241	0,044	0,9953	0,4169	0,3035	65,2214		
	3	0,248	0,045	0,9953	0,4421	0,3057	66,7113		
1 menit	1	0,255	0,068	0,9953	0,6220	0,2972	63,2184	64,062	1,30362
	2	0,251	0,069	0,9953	0,6537	0,2884	63,404		
	3	0,27	0,07	0,9953	0,6632	0,3065	65,5634		
3 menit	1	0,291	0,111	0,9953	0,8661	0,3090	58,5255	60,0394	1,31692
	2	0,307	0,116	0,9953	0,9325	0,3163	60,6722		
	3	0,304	0,111	0,9953	0,8923	0,3183	60,9204		
5 menit	1	0,313	0,167	0,9953	1,1974	0,2862	51,2616	53,3534	2,22137
	2	0,318	0,165	0,9953	1,2159	0,2894	53,1136		
	3	0,326	0,161	0,9953	1,2203	0,2977	55,6849		

W_w = Massa membran basah

W_d = Massa membran kering

ρ_w = Densitas air

ρ_m = Densitas membran

V_T = Volume total membran

Perhitungan porositas membran pada waktu penguapan 0 menit ulangan 1:

$$\begin{aligned}\text{Volume total membran (V}_T) &= \frac{W_w - W_d}{\rho_w} + \frac{W_d}{\rho_{md}} \\ &= \frac{0,239 \text{ gram} - 0,045 \text{ gram}}{0,9953 \text{ gram/cm}^3} + \frac{0,045 \text{ gram}}{0,4591 \text{ gram/cm}^3} \\ &= 0,2929 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Porositas (\%)} &= \frac{W_1 - W_2}{\rho_w \cdot V_T} \times 100\% \\ &= \frac{0,239 \text{ gram} - 0,045 \text{ gram}}{0,9953 \frac{\text{gram}}{\text{cm}^3} \cdot 0,2929 \text{ cm}^3} \times 100\% \\ &= 66,5421 \%\end{aligned}$$

Lampiran D. Waktu Kompaksi

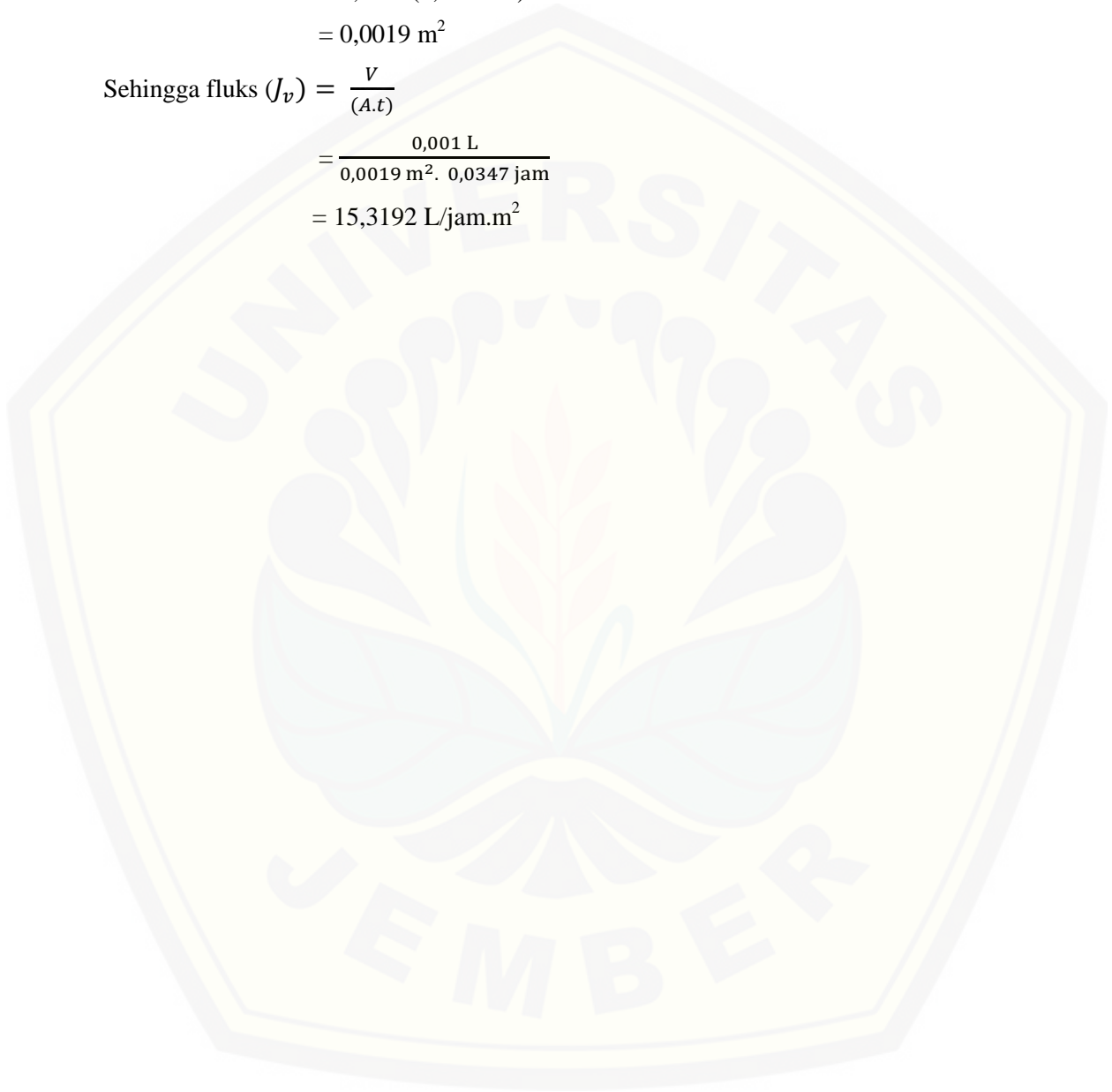
Volume 1 mL ke-	0 menit						1 menit					
	t_1 (jam)	Jv (L/jam.m ²)	t_2 (jam)	Jv (L/jam.m ²)	t_3 (jam)	Jv (L/jam.m ²)	t_1 (jam)	Jv (L/jam.m ²)	t_2 (jam)	Jv (L/jam.m ²)	t_3 (jam)	Jv (L/jam.m ²)
1	0,0347	15,3192	0,0347	15,3192	0,0319	16,6512	0,0417	12,7660	0,0458	11,6054	0,0439	12,1196
2	0,0350	15,1976	0,0353	15,0779	0,0325	16,3667	0,0425	12,5156	0,0467	11,3982	0,0447	11,8938
3	0,0353	15,0779	0,0358	14,8441	0,0333	15,9574	0,0436	12,1968	0,0475	11,1982	0,0458	11,6054
4	0,0358	14,8441	0,0361	14,7300	0,0339	15,6958	0,0444	11,9681	0,0486	10,9422	0,0469	11,3307
5	0,0364	14,6175	0,0367	14,5068	0,0344	15,4427	0,0453	11,7478	0,0494	10,7578	0,0483	11,0051
6	0,0369	14,3977	0,0369	14,3977	0,0353	15,0779	0,0461	11,5355	0,0506	10,5214	0,0494	10,7578
7	0,0375	14,1844	0,0378	14,0801	0,0359	14,8441	0,0469	11,3307	0,0514	10,3508	0,0506	10,5214
8	0,0372	14,2902	0,0389	13,6778	0,0364	14,6175	0,0475	11,1982	0,0525	10,1317	0,0519	10,2401
9	0,0378	14,0801	0,0397	13,3909	0,0367	14,5068	0,0486	10,9422	0,0533	9,9734	0,0514	10,3508
10	0,0386	13,7762	0,0406	13,1157	0,0372	14,2902	0,0494	10,7578	0,0542	9,8200	0,0522	10,1856
11	0,0392	13,5808	0,0417	12,7660	0,0380	13,9773	0,0500	10,6383	0,0550	9,6712	0,0533	9,9734
12	0,0400	13,2979	0,0425	12,5156	0,0386	13,7762	0,0525	10,1317	0,0558	9,5268	0,0544	9,7699
13	0,0408	13,0265	0,0433	12,2750	0,0392	13,5808	0,0533	9,9734	0,0564	9,4330	0,0556	9,5745
14	0,0408	13,0265	0,0444	11,9681	0,0400	13,2979	0,0542	9,8200	0,0569	9,3409	0,0564	9,4330
15	0,0408	13,0265	0,0444	11,9681	0,0406	13,1157	0,0550	9,6712	0,0575	9,2507	0,0572	9,2956
16	0,0408	13,0265	0,0444	11,9681	0,0406	13,1157	0,0561	9,4797	0,0578	9,2062	0,0572	9,2956
17			0,0444	11,9681	0,0406	13,1157	0,0569	9,3409	0,0586	9,0753	0,0572	9,2956
18					0,0406	13,1157	0,0569	9,3409	0,0586	9,0753	0,0572	9,2956
19							0,0569	9,3409	0,0586	9,0753		
20							0,0569	9,3409	0,0586	9,0753		
Σ	0,6078		0,6778		0,6656		1,0050		1,0739		0,9339	

Volume 1 mL ke-	3 menit						5 menit					
	t ₁ (jam)	J _v (L/jam.m ²)	t ₂ (jam)	J _v (L/jam.m ²)	t ₃ (jam)	J _v (L/jam.m ²)	t ₁ (jam)	J _v (L/jam.m ²)	t ₂ (jam)	J _v (L/jam.m ²)	t ₃ (jam)	J _v (L/jam.m ²)
1	0,0625	8,5106	0,0653	8,1485	0,0583	9,1185	0,1167	4,5593	0,1183	4,4951	0,1142	4,6591
2	0,0636	8,3620	0,0664	8,0121	0,0594	8,9481	0,1192	4,4636	0,1203	4,4224	0,1172	4,5377
3	0,0650	8,1833	0,0680	7,8159	0,0603	8,8244	0,1222	4,3520	0,1222	4,3520	0,1225	4,3422
4	0,0661	8,0458	0,0689	7,7213	0,0614	8,6647	0,1244	4,2743	0,1247	4,2648	0,1247	4,2648
5	0,0675	7,8802	0,0700	7,5988	0,0625	8,5106	0,1269	4,1901	0,1267	4,1993	0,1269	4,1901
6	0,0692	7,6903	0,0711	7,4800	0,0633	8,3986	0,1300	4,0916	0,1286	4,1358	0,1294	4,1092
7	0,0706	7,5390	0,0722	7,3650	0,0644	8,2538	0,1336	3,9811	0,1311	4,0570	0,1317	4,0399
8	0,0717	7,4221	0,0736	7,2260	0,0656	8,1140	0,1364	3,9000	0,1333	3,9894	0,1339	3,9728
9	0,0728	7,3088	0,0747	7,1186	0,0667	7,9787	0,1386	3,8375	0,1353	3,9320	0,1364	3,9000
10	0,0742	7,1719	0,0758	7,0143	0,0678	7,8479	0,1411	3,7695	0,1375	3,8685	0,1400	3,7994
11	0,0761	6,9887	0,0772	6,8881	0,0689	7,7213	0,1411	3,7695	0,1397	3,8069	0,1422	3,7400
12	0,0775	6,8634	0,0772	6,8881	0,0700	7,5988	0,1411	3,7695	0,1397	3,8069	0,1444	3,6825
13	0,0775	6,8634	0,0772	6,8881	0,0714	7,4509	0,1411	3,7695	0,1397	3,8069	0,1469	3,6198
14	0,0775	6,8634	0,0772	6,8881	0,0725	7,3368			0,1397	3,8069	0,1469	3,6198
15	0,0775	6,8634			0,0736	7,2260					0,1469	3,6198
16					0,0736	7,2260					0,1469	3,6198
17					0,0736	7,2260						
18					0,0736	7,2260						
19												
Σ	1,0692		1,0150		1,2069		1,7125		1,8369		2,1514	

Perhitungan fluks membran pada saat t penguapan 0 menit pengulangan 1:

$$\begin{aligned}\text{Luas membran (A)} &= \pi r^2 \\ &= 3,14 \times (0,0245 \text{ m})^2 \\ &= 0,0019 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Sehingga fluks (} J_v \text{)} &= \frac{V}{(A.t)} \\ &= \frac{0,001 \text{ L}}{0,0019 \text{ m}^2 \cdot 0,0347 \text{ jam}} \\ &= 15,3192 \text{ L/jam.m}^2\end{aligned}$$

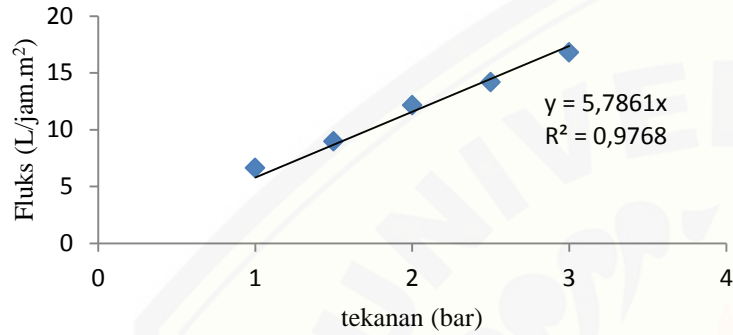


Lampiran E. Koefisien Permeabilitas

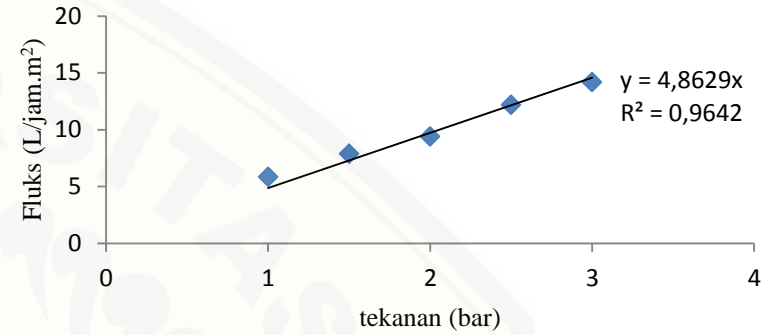
Variasi	Tekanan (bar)	Pengulangan	Volume (L)	Fluks (L/jam.m ²)	Fluks rata-rata (L/jam.m ²)	SD	Lp
0 menit	1	1	0,0128	6,8085	6,6312	0,5028	5,7861
		2	0,0114	6,0638			
		3	0,0132	7,0213			
	1,5	1	0,0173	9,2021	8,9539	0,6735	
		2	0,0154	8,1915			
		3	0,0178	9,4681			
	2	1	0,0230	12,2340	12,1454	0,6693	
		2	0,0215	11,4362			
		3	0,0240	12,7660			
	2,5	1	0,0274	14,5745	14,1844	1,0656	
		2	0,0244	12,9787			
		3	0,0282	15,0000			
3	1	0,0315	16,7553	16,7908	1,8088		
	2	0,0282	15,0000				
	3	0,0350	18,6170				
1 menit	1	1	0,0110	5,8511	5,8511	0,1064	
		2	0,0112	5,9574			
		3	0,0108	5,7447			
	1,5	1	0,0148	7,8723	7,8723	0,1064	
		2	0,0146	7,7660			
		3	0,0150	7,9787			
	2	1	0,0178	9,4681	9,3972	0,2215	
		2	0,0172	9,1489			
		3	0,0180	9,5745			
	2,5	1	0,0230	12,2340	12,1631	0,0614	
		2	0,0228	12,1277			
		3	0,0228	12,1277			
3	1	0,0274	14,5745	14,1844	0,3736		
	2	0,0260	13,8298				
	3	0,0266	14,1489				

Variasi	Tekanan (bar)	Pengulangan	Volume (L)	Fluks (L/jam.m ²)	Fluks rata-rata (L/jam.m ²)	SD	Lp
3 menit	1	1	0,0066	3,5106	3,3865	0,1710	3,2049
		2	0,0060	3,1915			
		3	0,0065	3,4574			
	1,5	1	0,0096	5,1064	5,2482	0,1625	
		2	0,0098	5,2128			
		3	0,0102	5,4255			
	2	1	0,0124	6,5957	6,8794	0,4028	
		2	0,0126	6,7021			
		3	0,0138	7,3404			
	2,5	1	0,0140	7,4468	7,8369	0,3420	
		2	0,0150	7,9787			
		3	0,0152	8,0851			
	3	1	0,0168	8,9362	9,1667	0,2014	
		2	0,0174	9,2553			
		3	0,0175	9,3085			
	1	1	0,0045	2,3936	2,2695	0,1338	
		2	0,0043	2,2872			
		3	0,0040	2,1277			
1,5	1	0,0058	3,0851	3,0674	0,1339		
	2	0,0060	3,1915				
	3	0,0055	2,9255				
5 menit	2	1	0,0074	3,9362	4,0780	0,1228	
		2	0,0078	4,1489			
		3	0,0078	4,1489			
2,5	1	0,0098	5,2128	5,2128	0,1064		
	2	0,0096	5,1064				
	3	0,0100	5,3191				
3	1	0,0115	6,1170	6,1170	0,1596		
	2	0,0112	5,9574				
	3	0,0118	6,2766				

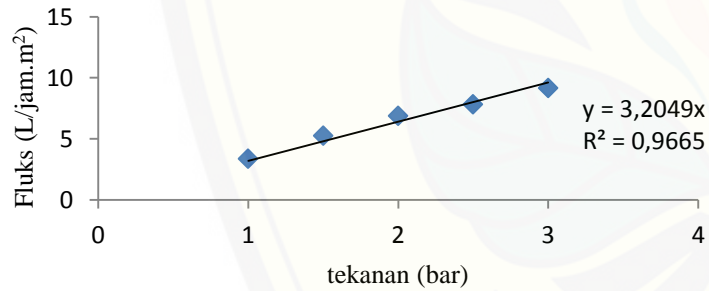
Penentuan koefisien permeabilitas t penguapan 0 menit



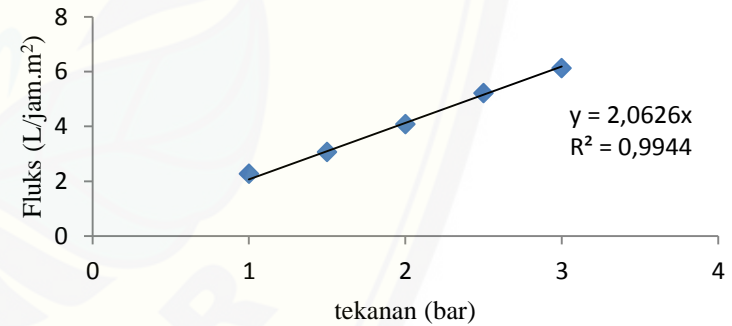
Penentuan koefisien permeabilitas t penguapan 1 menit



Penentuan koefisien permeabilitas t penguapan 3 menit



Penentuan koefisien permeabilitas t penguapan 5 menit

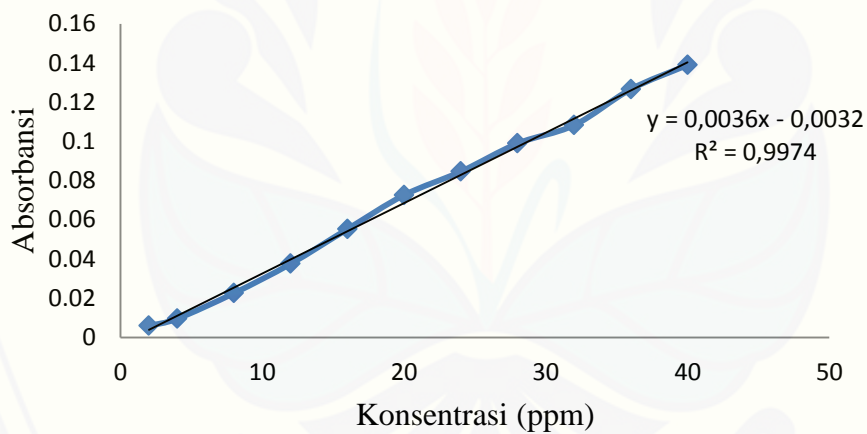


Lampiran F. Scanning Dekstran 500 kDa :

Panjang gelombang (nm)	Absorbansi (A)			Absorbansi rata-rata	SD
	1	2	3		
400	0,041	0,041	0,042	0,0413	0,0006
410	0,044	0,043	0,044	0,0437	0,0006
420	0,046	0,046	0,045	0,0457	0,0006
430	0,047	0,048	0,050	0,0483	0,0015
440	0,051	0,051	0,051	0,0510	0
450	0,053	0,052	0,052	0,0523	0,0006
460	0,055	0,054	0,054	0,0543	0,0006
470	0,057	0,057	0,057	0,0570	0
480	0,060	0,059	0,060	0,0597	0,0006
482	0,062	0,061	0,062	0,0617	0,0006
484	0,063	0,062	0,064	0,0630	0,0010
486	0,065	0,064	0,065	0,0647	0,0006
488	0,068	0,067	0,067	0,0673	0,0006
490	0,074	0,072	0,072	0,0727	0,0012
*492	0,075	0,073	0,075	0,0743	0,0012
494	0,073	0,071	0,072	0,0720	0,0010
496	0,071	0,07	0,071	0,0707	0,0006
498	0,070	0,069	0,070	0,0697	0,0006
500	0,065	0,067	0,066	0,0660	0,0010
510	0,053	0,054	0,052	0,0530	0,0010
520	0,048	0,047	0,048	0,0477	0,0006
530	0,036	0,035	0,035	0,0353	0,0006
540	0,023	0,023	0,023	0,0230	0
550	0,012	0,011	0,010	0,0110	0,0010

Lampiran G. Kurva Kalibrasi Dekstran 500 kDa :

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi			Absorbansi rata-rata	SD
	1	2	3		
2	0,006	0,005	0,007	0,0060	0,0010
4	0,010	0,008	0,011	0,0097	0,0015
8	0,025	0,021	0,022	0,0227	0,0021
12	0,038	0,039	0,036	0,0377	0,0015
16	0,054	0,058	0,054	0,0553	0,0023
20	0,070	0,074	0,074	0,0727	0,0023
24	0,082	0,085	0,087	0,0847	0,0025
28	0,099	0,100	0,098	0,0990	0,0010
32	0,107	0,108	0,110	0,1083	0,0015
36	0,125	0,129	0,126	0,1267	0,0021
40	0,138	0,140	0,139	0,1390	0,0010

Kurva Kalibrasi Dekstran 500 kDa

Lampiran H. Rejeksi Dekstran

Variasi	Absorbansi permeal				[C _p] ppm	FP	FP x [C _p]	[C _i] ppm	Rejeksi (%)	Rata-rata R (%)	SD
	I	II	III	Rata-rata							
0 menit	0,025	0,026	0,026	0,0257	8,018	25	200,463	1000	79,954	81,111	1,157
	0,024	0,024	0,024	0,0240	7,556	25	188,889	1000	81,111		
	0,022	0,023	0,022	0,0223	7,092	25	177,315	1000	82,268		
1 menit	0,021	0,018	0,02	0,0197	6,352	25	158,796	1000	84,120	84,738	0,876
	0,019	0,019	0,02	0,0193	6,259	25	156,482	1000	84,352		
	0,017	0,018	0,017	0,0173	5,704	25	142,593	1000	85,741		
3 menit	0,012	0,011	0,013	0,0120	4,222	25	105,556	1000	89,444	89,290	0,482
	0,013	0,013	0,013	0,0130	4,500	25	112,500	1000	88,750		
	0,012	0,012	0,011	0,0117	4,130	25	103,241	1000	89,676		
5 menit	0,006	0,007	0,006	0,0063	2,648	25	66,204	1000	93,380	92,917	0,401
	0,006	0,008	0,008	0,0073	2,926	25	73,148	1000	92,685		
	0,007	0,009	0,006	0,0073	2,926	25	73,148	1000	92,685		

Perhitungan % rejeksi :

Saat t penguapan 0 menit pengulangan 1, persamaan dari kurva kalibrasi:

$$y = 0,0036x - 0,0032$$

Y = Absorbansi; x = Konsentrasi (ppm)

FP = faktor pengenceran

Absorbansi permeal rata-rata = 0,0257

$$y = 0,0036x - 0,0032$$

$$0,0257 = 0,0036x - 0,0032$$

$$X = 8,018 \text{ ppm}$$

[permeal]sebenarnya = Konsentrasi saat pengukuran x FP

$$= 8,018 \text{ ppm} \times 25$$

$$= 200,463 \text{ ppm}$$

$$\text{Rejeksi (\%)} = \left(1 - \frac{C_p}{C_f}\right) \times 100\%$$

$$= \left(1 - \frac{200,463}{1000}\right) \times 100\%$$

$$= 79,954\%$$