

ISBN : 978-602-19327-0-4

PROSIDING

SEMINAR NASIONAL
HASIL RISET DAN STANDARDISASI INDUSTRY

"HASIL RISET DAN STANDARDISASI INDUSTRY
BERBASIS AGRO SERTA IMPLEMENTASINYA"



Banda Aceh, 14 s/d 16 Nopember 2011



KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN
BADAN PENGKAJIAN KEBIJAKAN, IKLIM DAN MUTU INDUSTRI
BALAI RISET DAN STANDARDISASI INDUSTRI ACEH

Jln. Cut Nyak Dhien No. 377 Lamteumen Timur Banda Aceh
Telp. (0651) 49714 Fax. (0651) 49556

Pocut Nurul Alam, M.Dani Supardan	125
10. Ekstraksi Zat Aditif Kunyit Dan Asam Sebagai Bahan Pangan Fungsional Nurlaila, Lancy Maurina, Ellysa	134
11. Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Untuk Pembuatan Papan Komposit Dengan Perekat <i>High Density Polietilen</i> (HDPE) Sofyana, Hisbullah	145
12. Pengaruh Lama Penyimpanan Nira Dan Konsentrasi Gula Terhadap Kualitas <i>Nata De Arenga</i> Yanti Meldasari Lubis, Murna Muzaiifa	157
13. Pembuatan Membran Ultrafiltrasi Selulosa Asetat Dari Selulosa Pulp Kayu Sengon (<i>Parascianthes Falcataria</i>) Cut Meurah Rosnelly	165
14. Karakteristik Kimia Tepung Ikan <i>Leubini</i> Hitam Yang Diberi Asam Askorbat Selama Penyimpanan Zalniati Fonna Rozali	188
15. Prediksi Kandungan Lemak Dan Protein Susu Segar Secara Simultan Menggunakan Teknologi Analisis Terbaru <i>Near Infrared Spectroscopy</i> (NIRS) Dan <i>Chemometrics</i> Hesti Meilina, Alfian Putra	198
16. Pembuatan Plastik <i>Biodegradable</i> Dari Campuran Pati Ubi Jalar (<i>Ipomoea Batatas</i>) Dan Selulosa Residu Rumput Laut (<i>Eucheuma Spinosum</i>) Dengan Gliserol Sebagai <i>Plasticizer</i> Yuli Darni, Umi Fathanah	209
17. Potensi Pemanfaatan Teknik Spektroskopi Plasma Laser (<i>Laser-Induced Breakdown Spectroscopy</i> , LIBS) Untuk Alat Analisa Cepat Dan Efisien Produk Agro Nasrullah Idris	219
18. Komposisi Serangga Perkebunan Kelapa Sawit Dan Perannya Terhadap Produktivitas Suwarno, Seumenika Fitrialismah, Abdul Hadi Mahmud	229
19. Perbaikan Teknologi Budidaya Nilam (<i>Pogostemon cablin BENTH</i>) Menggunakan Varietas Unggul Idawanni, Fenty Ferayanti	243

PEMBUATAN MEMBRAN ULTRAFILTRASI SELULOSA ASETAT DARI SELULOSA PULP KAYU SENGON (PARASERIANTHES FALCATARIA)

Cut Meurah Rosnelly

Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syeh Abdul Rauf No. 7 Darussalam Banda Aceh
E-mail: cutnelly@gmail.com

ABSTRAK

Sengon (*Paraserianthes falcataria*) merupakan tanaman yang mudah tumbuh, banyak terdapat di Indonesia, dan sangat potensial untuk dijadikan sumber bahan baku polimer membran karena kandungan selulosa yang cukup tinggi. Melalui proses asetilasi, selulosa dapat dijadikan selulosa asetat yang merupakan material membran. Membran banyak digunakan dalam berbagai proses pemisahan. Tujuan dari penelitian ini adalah memanfaatkan selulosa pulp kayu sengon dalam pembuatan membran ultrafiltrasi selulosa asetat. Inversi fasa merupakan metoda yang banyak digunakan pada proses pembuatan membran. Pada proses tersebut, polimer selulosa diasetat (SDA) dilarutkan dalam pelarut dimetilformamida (DMF) dengan perbandingan 1:6 untuk memperoleh larutan cetak serta ditambahkan juga polietilen glikol (PEG) 6000 Da dengan rasio PEG/SDA 20%. Larutan tersebut dicetak di atas plat kaca dengan ketebalan $\pm 0,2$ mm, didiamkan selama 30 detik dan selanjutnya dicelupkan dalam bak koagulasi berisi non-pelarut (air) pada suhu 15 °C dan suhu kamar. Penambahan PEG menghasilkan membran dengan lapisan yang lebih tebal, kuat tarik yang lebih besar, dan menekan terbentuknya makrovoid. Analisis SEM menunjukkan struktur morfologi membran lebih rapat dengan bentuk pori yang lebih teratur. Koagulasi pada suhu tinggi menghasilkan membran dengan lapisan yang lebih tipis dan kuat tarik yang lebih rendah. Struktur morfologi membran yang dihasilkan lebih rapuh. Membran yang telah dihasilkan masih tergolong jenis proses ultrafiltrasi dengan ukuran pori 67 kDa.

Kata kunci: Sengon, selulosa asetat, inversi fasa, membran ultrafiltrasi

PENDAHULUAN

Teknologi membran merupakan salah satu teknologi pemisahan yang akhir-akhir ini banyak digunakan di dunia industri dengan tujuan untuk memperoleh produk dengan tingkat kemurnian yang diinginkan. Teknologi ini memiliki banyak keunggulan yang tidak dimiliki metode-metode pemisahan lainnya. Diantara keunggulan tersebut yaitu tidak membutuhkan bahan kimia tambahan, dapat dikombinasikan dengan proses lain, tidak mengalami perubahan fase, energi yang diperlukan rendah, proses dapat berlangsung secara kontinyu, dan dapat bekerja pada ruang instalasi yang tidak besar (Mulder, 1996; Wenten, 1999). Namun, penggunaan teknologi membran di Indonesia tidak begitu pesat dibandingkan beberapa negara lainnya. Kelangkaan akan membran lokal dan mahalnya membran impor merupakan kendala penggunaan membran di dunia industri Indonesia (Giriarto, 2009). Usaha untuk mengatasi kendala tersebut terus dilakukan. Akhir-akhir ini perkembangan teknologi terutama

dalam hal pemilihan baku baku lebih cenderung diarahkan pada sumber daya alam yang sifatnya dapat diperbaharui.

Membran merupakan suatu lapisan tipis yang bersifat semipermeabel dan dapat dihasilkan dari bahan organik maupun anorganik. Membran organik dapat berasal dari bahan polimer. Jenis polimer yang banyak digunakan untuk membuat membran antara lain selulosa beserta turunannya, polisulfan, poliamida, poliakrilonitril, polieter sulfon (Wenten, 1999). Selulosa asetat merupakan polimer turunan dari selulosa yang dewasa ini banyak digunakan sebagai polimer membran. Hal ini dilakukan untuk meminimalkan penggunaan bahan baku fosil sebagai bahan penghasil polimer umumnya. Selulosa asetat dapat diperoleh melalui proses asetilasi selulosa. Bahan baku pembuatan selulosa asetat secara komersial umumnya berasal dari kayu (*hardwoods*, dan *softwoods*), kapas, dan serat tanaman non-kayu berkualitas tinggi (Kuo dan Borgan, 1997). Sejauh ini pembuatan membran selulosa asetat telah dilakukan oleh beberapa peneliti menggunakan selulosa dari berbagai sumber, seperti selulosa mikrobial (Desiyarni, 2006 dan Darwis *et al.*, 2003), pulp Abaka (Radiman, 2004), dan limbah serbuk gergaji kayu (Suyati, 2008). Sengon (*Paraserianthes falcataria*) merupakan tanaman yang banyak tumbuh di Indonesia dan belum pernah dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan polimer membran. Oleh karena itu pemilihan bahan baku selulosa pulp kayu sengon diharapkan dapat menjadi alternatif bahan baku polimer membran.

TINJAUAN PUSTAKA

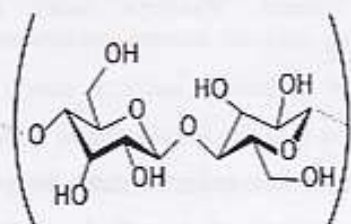
Sengon (*Paraserianthes falcataria*)

Kayu sengon (*Paraserianthes falcataria*) merupakan tanaman yang mudah tumbuh diberbagai keadaan, sehingga perolehan bahan baku tersebut mudah didapat secara kontinyu dengan harga yang dapat dijangkau. Kayu ini dikenal juga dengan nama kayu jinjing dan termasuk dalam famili *Leguminose*. Tinggi pohon ini dapat mencapai 40 m dengan panjang batang bebas cabang 10-30 m dan diameter batangnya dapat mencapai 80 cm serta bobot jenis kayu 0,33 (Rahmawati, 1999). Komponen kimia kayu sengon yang berumur 5 tahun adalah selulosa 46,62%; pentosan 16,52%; lignin 29,16%; silika 0,50%; abu 0,64%, dan air 5,28% (Pari, 1996). Prosentase selulosa yang tinggi dari kayu sengon menyebabkan kayu ini cukup potensial dijadikan bahan baku pulp dan produk selulosa lainnya. Penggunaan terbesar selulosa di dalam industri adalah berupa serat kayu dalam industri kertas.

Selulosa

Selulosa adalah polimer alam yang paling banyak terdapat dan tersebar di alam serta merupakan unsur struktural komponen utama dinding sel dari pohon dan tanaman tinggi

lainnya. Selulosa mendominasi karbohidrat yang berasal dari tumbuh-tumbuhan karena selulosa merupakan bagian yang terpenting dari dinding sel tumbuh-tumbuhan. Sumber utama selulosa ialah kayu. Kira-kira 40-45 % bahan kering dalam kebanyakan spesies kayu adalah selulosa, terutama terdapat dalam dinding sel (Achmadi, 1990). Struktur selulosa dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur Selulosa (Nevell dan Zeronian, 1985)

Selulosa adalah polimer tak bercabang dari glukosa yang dihubungkan melalui ikatan β -1,4 glikosida. Glukosa mempunyai rumus molekul $C_6H_{12}O_6$, sementara molekul selulosa ialah $(C_6H_{10}O_5)_n$ dan n dapat berupa angka ribuan. Selulosa memiliki sifat kuat tarik yang tinggi, tidak larut dalam kebanyakan pelarut, dan bersifat sangat hidrofilik namun tidak dapat larut dalam air. Hal ini disebabkan karena sifat kristalin selulosa yang tinggi dan tingginya gaya antar rantai akibat ikatan hidrogen antara gugus hidroksil pada rantai yang berdekatan (Cowd, 1991). Ukuran panjang rantai molekul selulosa dinyatakan sebagai derajat polimerisasi (DP) (Fengel dan Wegener, 1984). Derajat polimerisasi tinggi akan memberi kekuatan mekanik yang baik terhadap polimer tersebut. Nilai derajat polimerisasi selulosa dari beberapa sumber selulosa dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Derajat polimerisasi selulosa dari beberapa sumber selulosa *

Sumber	Derajat Polimerisasi
Kapas	6.500 – 7.000
Kayu	8.000
Flax	2.900
Hemp bast fiber	3.270

* Han, (1998); Pakkala, (2001)

Derajat kristalinitas suatu polimer berpengaruh juga terhadap sifat polimer. Umumnya derajat kristalinitas selulosa kayu lebih kecil dibandingkan dengan selulosa mikrobial. Derajat kristalinitas yang terdapat pada selulosa kayu secara umum berkisar 30%-38% (Yoshinaga *et al.*, 1997 & Sanjaya, 2001). Walaupun memiliki komposisi kimia yang hampir sama dengan

selulosa tanaman, White dan Brown (1998) menyatakan bahwa selulosa mikrobial lebih bersifat kristal, dengan derajat kristalinitas lebih besar dari 60%. Derajat polimerisasi selulosa mikrobial berkisar antar 2.000-6.000 (Krystynowicz *et al.*, 2001).

Selulosa adalah bahan baku yang dapat digunakan untuk berbagai produk. Gugus hidroksil yang terkandung pada selulosa dapat dimodifikasi dengan pereaksi-pereaksi yang biasa bereaksi dengan alkohol. Misalnya reaksi selulosa dengan anhidrida asetat menghasilkan selulosa asetat.

Selulosa Asetat

Selulosa asetat merupakan polimer yang banyak digunakan sebagai penyaring tembakau, pembuatan serat tekstil, fotografi dan kemasan lapisan, pemakaian di bidang medis, dan pemanfaatan sebagai membran (Yamakawa *et al.*, 2003). Selama ini, Indonesia masih mengimpor selulosa asetat. Kebutuhan akan selulosa asetat di Indonesia bertambah untuk setiap tahunnya mulai 10.327 ton pada tahun 2000 menjadi 15.897 ton pada tahun 2006 (BPS Sumut, 2007).

Selulosa asetat digolongkan sebagai polimer ester organik dan memiliki sifat atau kualitas yang unik, meliputi: tingkat kejernihan yang bagus, kasar, bersifat alami, berkilau, bersifat hidrofilik, tetapi sangat rentan terhadap mikroorganisme (biodegradabilitas). Disamping itu selulosa asetat juga memiliki nilai kuat tarik yang termasuk tinggi, yaitu 30 Mpa pada titik leleh 170-240 °C (Harrison *et al.*, 2006). Kuat tarik tersebut sangat ditentukan oleh struktur semikristalin selulosa diasetat sehingga memberikan kekuatan mekanik yang baik. Sifat mekanik ini sangat diperlukan bagi selulosa diasetat bila digunakan sebagai polimer membran karena pada proses pemisahannya memerlukan tekanan dalam memindahkan satu komponen dari suatu campuran larutan.

Secara komersial, selulosa asetat dihasilkan dari reaksi selulosa dengan anhidrida asetat menggunakan katalis dan asam asetat sebagai pelarut. Senyawa-senyawa yang dapat digunakan sebagai katalis adalah asam sulfat, asam perklorat, dan asam sulfonat (Kuo *et al.*, 1997). Asam sulfat merupakan katalis yang paling umum digunakan, sementara katalis lain jarang digunakan karena tidak efektif, tidak praktis, atau sangat berbahaya untuk dilakukan pada skala industri (Kuo *et al.*, 1997). Menurut Ott *et al.* (1954) dan Nevell dan Zeronian (1985), tahapan pembuatan selulosa asetat terdiri atas empat proses, yaitu: (1) praperlakuan aktivasi (*pretreatment*), (2) asetilasi (*acetylation*), (3) hidrolisis (*hydrolysis*), dan (4) pemurnian (*purification*).

baik. Pada tahap ini serat-serat selulosa mengembang sehingga permukaan selulosa membesar dan ikatan intramolekuler hidrogen menjadi putus, dan memudahkan difusi *reagent* ke dalam serat. Bahan aktivasi yang biasa digunakan adalah air atau asam asetat. Perlakuan awal selulosa umumnya dilakukan pada suhu berkisar antara 20°C hingga 118°C, tetapi sebaiknya dilakukan sampai dengan suhu 50°C untuk mencegah penguapan pelarut (Ott *et al.*, 1954). Nevell dan Zeronian (1985) menyatakan aktivasi selulosa pulp kayu umumnya dilakukan selama 1-2 jam. Selanjutnya proses asetilasi dilakukan bertujuan untuk menggantikan sebagian atau semua gugus hidroksil pada molekul selulosa dengan gugus asetil dari reaktan anhidrida asetat, sehingga membentuk selulosa triasetat (Fengel dan Wegener, 1984). Pelarut asam asetat dan katalis asam sulfat merupakan senyawa kimia yang umum digunakan pada proses asetilasi (Kuo *et al.*, 1997). Lama asetilasi berlangsung dapat dilihat sampai materi terlarut sempurna dalam campuran asetilasi dan derajat substitusi antara 2,35-2,40. Pemakaian suhu terlalu tinggi di atas 85°C pada proses ini dapat mengakibatkan depolimerisasi sehingga menghasilkan selulosa asetat dengan viskositas intrinsik yang rendah (Kuo *et al.*, 1997). Setelah proses asetilasi berakhir kemudian dilanjutkan proses hidrolisis dengan tujuan mensubstitusikan gugus asetil dari selulosa triasetat dengan gugus hidroksil dari air sehingga kandungan gugus asetil dari selulosa triasetat berkurang dan didapat selulosa diasetat dengan berbagai kadar asetil yang diinginkan. Reaksi hidrolisis dapat dilakukan mulai suhu 38°C pada kondisi tanpa tekanan sampai 229°C pada reaksi bertekanan (Kirk dan Othmer, 1993). Suhu yang biasa dipakai pada proses hidrolisis selulosa asetat antara 60°C - 90°C (Kuo *et al.*, 1997). Untuk mendapatkan produk selulosa asetat, tahap akhir yang dilakukan adalah pengendapan yang selanjutnya dicuci dan dikeringkan. Produk yang diinginkan bisa dalam bentuk serpihan (*flakes*), atau bubuk (*powder*). Selanjutnya endapan selulosa ester yang terbentuk dipisahkan dari larutan dan dicuci untuk menghilangkan sisa asam asetat (Ott *et al.*, 1954).

MEMBRAN

Definisi dan Karakteristik Membran

Membran adalah suatu lapisan tipis bersifat semipermeabel yang dapat menahan dan melewatkan pergerakan bahan tertentu (Scot dan Hughes, 1996). Berdasarkan definisi tersebut, membran dapat dikatakan juga sebagai filter, memiliki kemampuan untuk menyaring zat yang memiliki ukuran partikel berbeda.

Membran dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kelompok yaitu berdasarkan morfologi, bahan pembuat, dan proses pemisahannya. Berdasarkan morfologi, membran dibagi menjadi dua golongan, yaitu membran simetrik dengan struktur berpori (*porous*) atau tidak-berpori (*nonporous*), dan membran asimetrik bersifat berpori dengan pori pada lapisan atas lebih rapat (*dense*) dibandingkan pori pada lapisan bagian bawah (*porous*) (Mulder, 1996).

Berdasarkan bahan pembuat, membran terbagi atas membran organik dan membran anorganik. Membran organik terbuat dari bahan polimer, seperti selulosa beserta turunannya, polisulfan, poliamida, poliakrilonitril, polieter sulfon (Wenten, 1999). Sementara itu, membran anorganik adalah membran yang berasal dari material anorganik, seperti membran keramik, gelas, metal (termasuk karbon), dan zeolit. Material anorganik memiliki stabilitas kimia dan stabilitas thermal lebih baik dibandingkan bahan polimer.

Berdasarkan jenis proses pemisahan, membran terbagi atas jenis proses mikrofiltrasi (MF), ultrafiltrasi (UF), nanofiltrasi (NF), reverse osmosis (RO). Jenis-jenis proses membran tersebut merupakan membran berpori dan proses pemisahan berdasarkan perbedaan ukuran pori membran dengan partikel yang akan dipisahkan. Pemisahan komponen jenis proses membran tidak berpori seperti separasi gas (GS), pervaporasi (PV), dan dialisis terjadi karena adanya perbedaan konsentrasi sebagai gaya penggerakannya.

Preparasi Membran

Tujuan pembuatan membran adalah memodifikasi material/polimer dengan teknik yang sesuai sehingga didapatkan membran yang memiliki morfologi/struktur untuk tujuan separasi tertentu. Hal ini menunjukkan material membran membatasi teknik pembuatan membran. Membran yang diproduksi umumnya dalam bentuk datar, meskipun terdapat bentuk-bentuk lain seperti bentuk tubular dan serat berlubang (*hollow fiber*).

Menurut Mulder (1996), pembuatan membran dapat dilakukan dengan beberapa teknik antara lain: (1) pemanasan (*sintering*), (2) peregangan (*stretching*), (3) *track-etching*, (4) *template leaching*, (5) fasa balik (*phase inversion*), (6) pelumasan (*coating*). Teknik yang dipilih didasari oleh jenis material dan struktur membran yang akan dibuat. Kebanyakan membran dihasilkan dengan teknik inversi fasa. Inversi fasa merupakan proses perubahan polimer secara terkendali dari fasa cair ke fasa padat melalui fasa transisi.

Terdapat beberapa faktor penting yang berpengaruh terhadap morfologi membran pada pembuatan membran secara inversi fasa. Struktur, porositas, dan selektivitas membran yang ingin dihasilkan dapat ditentukan melalui pengaturan komposisi larutan polimer, jenis

pelarut dan bukan-pelarut (*nonsolvent*), konsentrasi polimer, komposisi cairan dalam bak koagulasi, komposisi larutan cetak, suhu larutan polimer, dan suhu koagulasi (Schwarz, 1989; Young dan Chen, 1995; Shibata, 2004). Menurut Cheryan (1998), terdapat dua tipe morfologi membran dari hasil proses *demixing*, yaitu: *instantaneous demixing* dan *delayed demixing*. *Instantaneous demixing* berarti bahwa struktur membran terbentuk segera setelah lapisan film dicelupkan ke dalam bukan-pelarut. Hasil mekanisme *demixing* ini terjadi dalam pembentukan membran berpori (tipe mikrofiltrasi/ultrafiltrasi). Sebaliknya *delayed demixing* diperlukan beberapa selang waktu sebelum terbentuk struktur membran dan akan dihasilkan membran dengan lapisan atas yang *dense* (rapat). Hasil mekanisme *demixing* ini terjadi dalam pembentukan membran rapat (pemisahan gas/pervaporasi).

Karakterisasi Membran

Menurut Mulder (1996), karakterisasi membran dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu (1) membran berpori (*porous membrane*), (2) membran tidak-berpori (*nonporous membrane*).

Terdapat beberapa metoda yang dapat digunakan untuk mengkarakterisasi membran berpori, yaitu mikroskop elektron, metode gelembung udara (*bubble point*), dan pengukuran permeasi (Scott *et al.*, 1996). *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Transmission Electron Microscope* (TEM) adalah alat mikroskop yang dapat digunakan untuk pengamatan langsung. Perbedaan mendasar dari TEM dan SEM adalah pada cara bagaimana elektron yang ditembakkan oleh pistol elektron mengenai sampel.

Porometer membran dapat ditentukan berdasarkan nilai rejeksi suatu zat padat terlarut yang diketahui berat molekulnya. Berat molekul mempunyai hubungan linier dengan jari-jari atau ukuran pori membran. Pengukuran rejeksi padatan (*Solute Rejection Measurements*) biasanya dinyatakan sebagai *Molecular Weight Cut Off* (MWCO) dan banyak digunakan untuk mengkarakterisasi ukuran pori suatu membran berpori. MWCO didefinisikan sebagai bobot molekul suatu zat terlarut yang 80%-90% dapat direjeksi oleh membran. (Scott dan Hughes, 1996; Mahendran *et al.*, 2004).

Proses Pemisahan dan Kinerja Membran

Dalam operasi membran dikenal dua jenis aliran umpan, yaitu aliran *cross-flow* dan aliran *dead-end*. Aliran filtrasi *dead-end*, yaitu keseluruhan dari fluida (aliran umpan) melewati membran dan partikel tertahan pada membran. Pengaliran secara *crossflow* dilakukan dengan cara mengalirkan umpan sejajar melalui suatu membran dengan hanya

sebagian saja yang melewati pori membran untuk memproduksi permeat. Kemampuan dari membran dalam memindahkan satu komponen dari campuran umpan lebih cepat daripada komponen-komponen lainnya disebabkan karena adanya daya penggerak berupa gradient tekanan (ΔP), gradient konsentrasi (ΔC), dan gradient potensial (ΔE) yang dikenakan pada komponen-komponen dalam umpan (Mulder, 1996). Berdasarkan gradient tekanan sebagai gaya dorongnya dan permeabilitasnya, membran dapat dibedakan menjadi beberapa jenis yaitu (Mulder, 1996):

- a. Mikrofiltrasi (MF), membran jenis ini bekerja pada tekanan 0,1-2 bar dengan permeabilitasnya lebih besar dari $50 \text{ L/m}^2 \cdot \text{jam} \cdot \text{bar}$
- b. Ultrafiltrasi (UF), membran jenis ini bekerja pada tekanan 1-5 bar dengan permeabilitas berada diantara $10-50 \text{ L/m}^2 \cdot \text{jam} \cdot \text{bar}$
- c. Nanofiltrasi, membran jenis ini bekerja pada tekanan 5-20 bar dengan permeabilitasnya diantara $1,4 - 12 \text{ L/m}^2 \cdot \text{jam} \cdot \text{bar}$
- d. Reverse Osmosis (RO), membran jenis ini bekerja pada tekanan 10-100 bar dengan permeabilitasnya diantara $0,05-1,4 \text{ L/m}^2 \cdot \text{jam} \cdot \text{bar}$.

Kinerja atau efisiensi proses membran ditentukan oleh dua parameter, yaitu selektivitas dan fluks/laju permeasi ($\text{L/m}^2 \cdot \text{jam}$ atau $\text{kg/m}^2 \cdot \text{jam}$ atau $\text{mol/m}^2 \cdot \text{jam}$) atau koefisien permeabilitas ($\text{L/m}^2 \cdot \text{jam} \cdot \text{bar}$). Fluks adalah jumlah permeat yang dihasilkan pada operasi membran per satuan luas permukaan membran dan persatuan waktu. Fluks dapat dinyatakan sebagai berikut (Mulder, 1996):

$$J_v = V / (A \cdot t) \quad (1)$$

Dimana :

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

t = waktu (jam)

A = luas permukaan membran (m^2)

V = volume permeat (lt)

Koefisien permeabilitas untuk membran jenis proses ultrafiltrasi berada pada kisaran $0,5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari} \cdot \text{bar}$ ($20 \text{ L/m}^2 \cdot \text{jam} \cdot \text{bar}$) – $5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari} \cdot \text{bar}$ ($200 \text{ L/m}^2 \cdot \text{jam} \cdot \text{bar}$) (Wenten, 1999). Selektivitas suatu membran merupakan ukuran kemampuan suatu membran menahan atau melewatkan suatu molekul. Selektivitas membran tergantung pada interaksi antar permukaan dengan molekul, ukuran molekul, dan ukuran pori membran. Selektivitas umumnya

dinyatakan oleh satu dari dua parameter, yaitu retensi/rejeksi (R) atau faktor pemisahan (α). Menurut Mulder (1996) nilai rejeksi suatu zat padat terlarut (*solute*) dinyatakan sebagai berikut:

$$R (\%) = \left(1 - \frac{C_{\text{permeat}}}{C_{\text{umpan}}} \right) \times 100\% \quad (2)$$

Dimana :

R = persentase tahanan

C_{permeat} = konsentrasi partikel dalam permeat

C_{umpan} = konsentrasi partikel dalam umpan

Nilai R bervariasi antara 0 – 100%, dimana R 100% artinya terjadi pemisahan sempurna, dalam hal ini membran semipermeabel ideal sedangkan nilai R 0% berarti partikel semua lolos dari membran.

Membran Ultrafiltrasi Selulosa Asetat

Membran selulosa asetat digolongkan sebagai membran organik yang aman terhadap lingkungan karena materialnya berasal dari sumber yang dapat diperbaharui (*renewable*) seperti selulosa dari pulp dan selulosa mikrobial. Membran selulosa asetat bersifat semikristalin dan memberikan kekuatan mekanik yang baik, bersifat termoplastik, serta pembuatan relatif mudah. Selain sifat baik tersebut, membran selulosa asetat sangat sensitif terhadap pengrusakan thermal, kimia, dan biologis. Sebagai usaha untuk mempertahankan membran dari kerusakan maka pH operasi biasanya dipertahankan pada pH 4 sampai 6,5 pada temperatur kamar (Mahendran *et al.*, 2004).

Membran ultrafiltrasi (UF) mempunyai ukuran pori berkisar 10-1000 Å atau sekitar 10^3 - 10^6 MWCO, dan dapat memisahkan bahan berukuran lebih besar dari 0,005 µm atau partikel dengan berat molekul lebih besar dari 1000 Da. Molekul-molekul seperti garam/ion, dan gula dapat melewati membran UF. Membran ultrafiltrasi memiliki struktur asimetrik dengan permukaan atas yang lebih rapat atau *dense* dibandingkan struktur pada lapisan bawah (Mulder, 1996; Osada dan Nakagawa, 1992).

METODE PENELITIAN

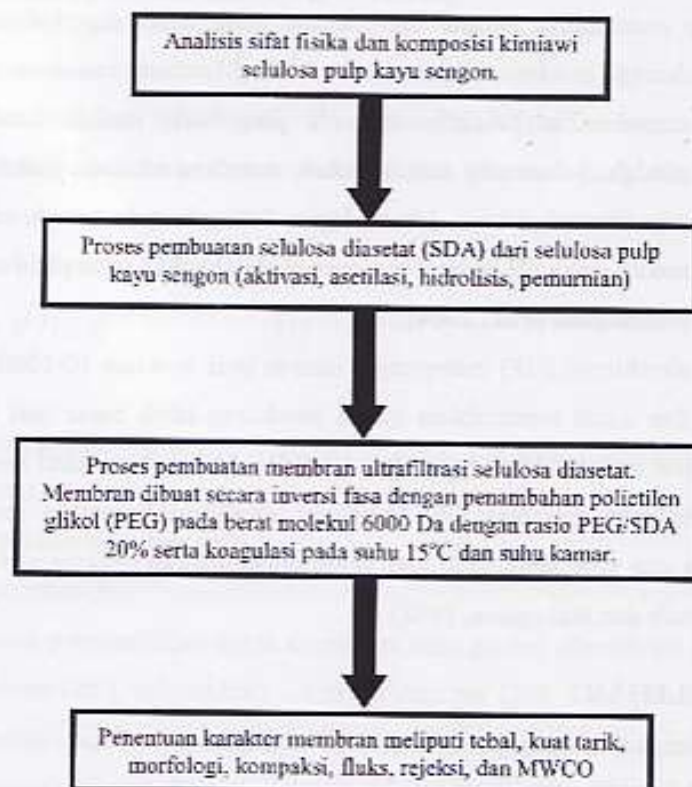
Penelitian dilakukan dua tahap, yaitu :

1. Pembuatan selulosa diasetat
2. Pembuatan membran selulosa diasetat

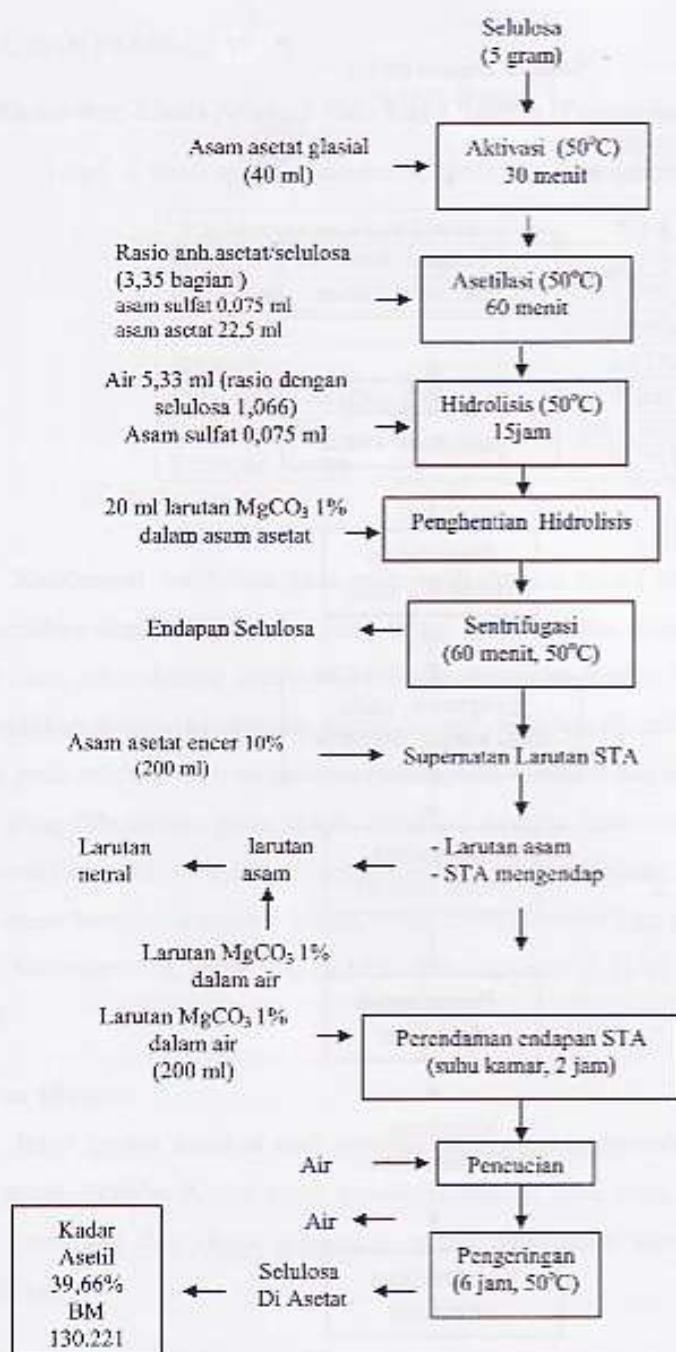
Pada tahap pembuatan selulosa asetat, selulosa pulp sengon yang digunakan dengan kemurnian 92,11% berasal dari proses delemnifikasi hasil kerjasama dengan Balai Besar Pulp dan Kertas (BBPK) Bandung. Kondisi operasi yang digunakan untuk menghasilkan selulosa diasetat diambil dari kondisi terbaik hasil peneliti terdahulu (Rosnelly *et al.*, 2009; Rosnelly *et al.*, 2010) dan diperoleh kadar asetil dari selulosa diasetat sebesar 39,66% (Gambar 3).

Adapun proses pembuatan membran selulosa diasetat adalah sebagai berikut:

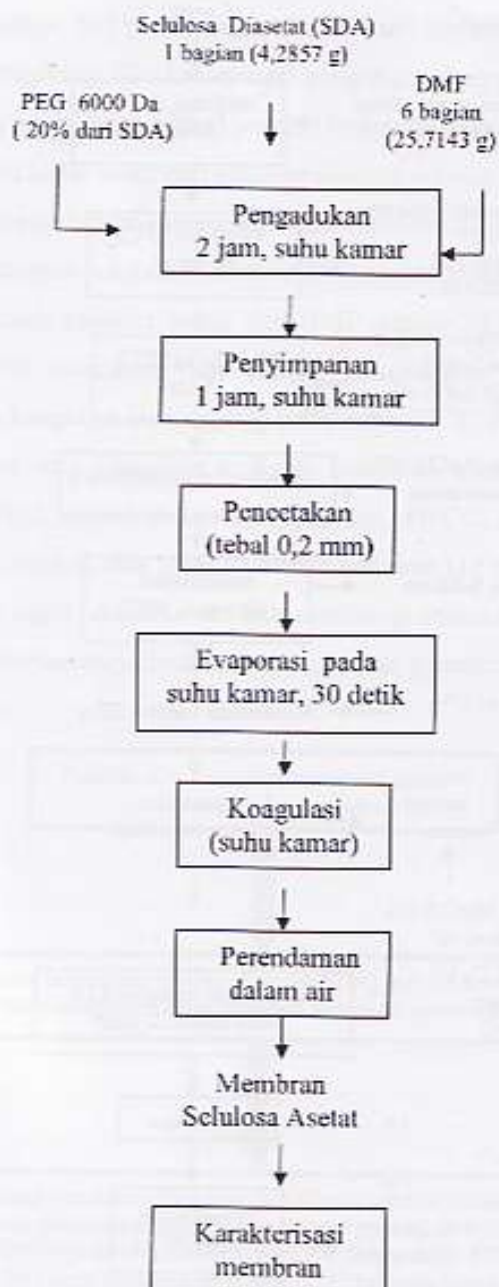
Proses pembuatan membran selulosa diasetat (SDA) secara inversi fasa. Rasio SDA terhadap DMF adalah 1:6. Jumlah selulosa asetat dan DMF adalah 30 gram. Penambahan porogen polietilen glikol (PEG) dilakukan juga dengan menggunakan berat 6000 Da pada rasio PEG/SDA 20% serta koagulasi berlangsung pada suhu 15 °C dan suhu kamar (Gambar 4). Karakterisasi membran yang dihasilkan meliputi: ketebalan, kuat tarik, morfologi, kompaksi, fluks (air, dekstran, BSA), rejeksi (dekstran, BSA), dan MWCO. Larutan standar yang dipakai pada penentuan fluks, rejeksi, dan MWCO adalah dekstran (12 kDa), BSA (67 kDa) dengan konsentrasi awal 200 mg/l. Analisis struktur morfologi membran menggunakan alat SEM (*Scanning Electron Microscope*). Secara umum tahapan penelitian keseluruhan digambarkan pada skema Gambar 2.



Gambar 2. Skema tahapan penelitian



Gambar 3. Diagram alir pembuatan selulosa diasetat (modifikasi Harison *et al.*, 2004; Desiyarni, 2006).



Gambar 4. Diagram alir perancangan proses pembuatan membran ultrafiltrasi selulosa asetat pada koagulasi suhu kamar (modifikasi Chou *et al.*, 2007 dan Mahendran *et al.*, 2004)

HASIL DAN PEMBAHASAN.

Sifat Fisiko Dan Kimia Selulosa Pulp Kayu Sengon (*Paraserianthes falcataria*)

Tabel 2. Hasil analisis komponen kimia dan sifat fisiko pulp kayu sengon

Parameter analisis kimia	Nilai
Kadar alfa selulosa	92,11%
Kadar abu	0,10%
Kadar air	4,68%
Impuritis	3,11%
Parameter analisis fisiko	Nilai
Derajat putih	85,14% (ISO: 88%)
Bilangan Kappa	10,735

Kandungan α -selulosa pada pulp kayu sengon relatif tinggi, yaitu 92,11 % dan ini menunjukkan tingkat kemurnian yang tinggi dari selulosa. Kemurnian selulosa juga dapat dilihat dari nilai derajat putih 85,14% dan bilangan Kappa 10,735. Nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa kandungan lignin hampir terdelegnifikasi sempurna. Kadar air yang rendah pada selulosa akan sangat menguntungkan, karena dapat mengurangi jumlah anhidrida asetat yang dibutuhkan pada proses asetilasi. Apabila kandungan air pada selulosa tinggi dikhawatirkan selulosa triasetat yang dihasilkan tidak maksimal karena anhidrida asetat tidak hanya dapat bereaksi dengan selulosa, tetapi dapat bereaksi juga dengan air membentuk asam asetat. Sementara itu, kadar abu (0,10%) dan impuritis (3,11%) yang dihasilkan juga relatif rendah.

Selulosa Diasetat

Hasil proses asetilasi dari selulosa pulp sengon diperoleh selulosa diasetat dengan kadar asetil 39,66%. Kadar asetil tersebut memiliki nilai yang mendekati dengan selulosa asetat komersial dan dapat digunakan untuk pembuatan membran dengan jenis proses ultrafiltrasi.

KARAKTERISASI MEMBRAN

Karakterisasi membran dilakukan untuk menghubungkan sifat-sifat struktural membran terhadap sifat-sifat pemisahan dengan membran. Kompaksi terhadap membran terlebih dahulu dilakukan sebelum pengukuran fluks, rejeksi, dan MWCO. Porometer membran dinyatakan dengan konsep MWCO berdasarkan nilai rejeksi 80-90% dari larutan standar Mahendran *et al.* (2004). Membran yang digunakan dalam bentuk datar (*flat*) dengan

luas permukaan $12,5 \text{ cm}^2$ ($12,5 \times 10^{-4} \text{ m}^2$) pada TMP 1,2 bar dan kecepatan alir $7,4 \times 10^{-3} \text{ m/det}$ (34 L/jam).

Ketebalan Membran

Lapisan membran tanpa PEG hasil koagulasi pada suhu kamar lebih tipis dibandingkan membran dengan penambahan PEG. Tebal lapisan membran tanpa PEG diperoleh 0,050 mm dan 0,062 mm untuk membran dengan penambahan PEG 6000 Da pada rasio PEG/SDA 20%. Akhlus dan Widiastuti (2005) dari hasil penelitiannya menunjukkan bahwa ketebalan membran berbanding lurus dengan jumlah polimer yang digunakan.

Pada suhu koagulasi yang lebih rendah (15°C), tebal lapisan membran tanpa PEG diperoleh 0,053 mm dan 0,065 mm untuk membran dengan penambahan PEG 6000 Da dan rasio PEG/SDA 20%. Tebal lapisan membran yang diperoleh masih berada pada batasan membran asimetrik, yaitu sekitar $150 \mu\text{m}$ (0,15 mm) (Mulder, 1996).

Hasil yang telah diperoleh tersebut didukung dari hasil penelitian Chou *et al.* (2007) bahwa ketebalan membran sangat tergantung dari sifat kelarutan aditif dalam air pada bak koagulasi. Sementara itu menurut Young dan Chen, 1995, ketebalan lapisan kulit membran akan naik secara bertahap hingga difusi pelarut dari lapisan bagian bawah membran melalui lapisan bagian atas ke bukan-pelarut (non-pelarut) berhenti. Ini berarti bahwa ketebalan membran sangat tergantung dari perbandingan jumlah polimer dan pelarut yang digunakan.

Kuat Tarik Membran

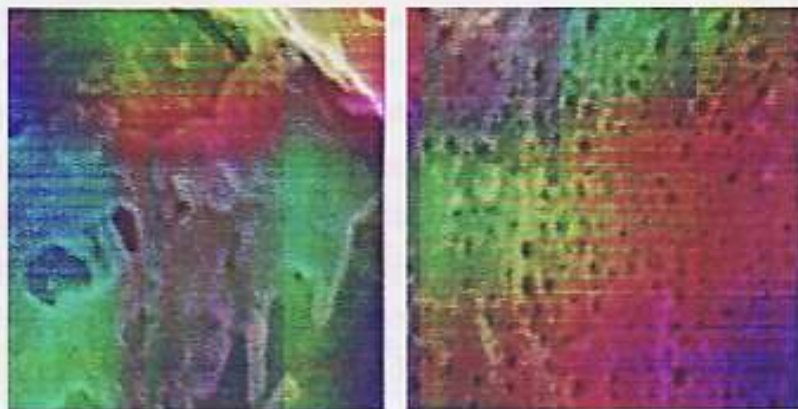
Membran dengan penambahan PEG yang dihasilkan dari koagulasi pada suhu konstan (suhu kamar) mempunyai nilai kuat tarik lebih tinggi dibandingkan membran dengan tanpa penambahan PEG. Bertambah besarnya nilai kuat tarik tersebut disebabkan terdapat sejumlah molekul polimer PEG pada matriks membran selulosa asetat. Sementara itu membran hasil koagulasi pada suhu yang lebih rendah (15°C) diperoleh kuat tarik membran lebih tinggi dibandingkan koagulasi pada suhu tinggi (suhu kamar). Hal ini berhubungan dengan sifat kelarutan PEG yang menurun pada koagulasi suhu rendah, sehingga masih terdapat sejumlah molekul PEG yang tertinggal pada matriks membran selulosa asetat dan menambah polimer padatan pada matriks membran selulosa asetat.

Pada koagulasi suhu kamar, kuat tarik membran dengan penambahan PEG 6000 Da pada rasio PEG/SDA 20% diperoleh sebesar $3,795 \text{ kgf/cm}^2$ dan $2,355 \text{ kgf/cm}^2$ untuk membran tanpa PEG. Nilai kuat tarik yang diperoleh tersebut sedikit lebih tinggi dibandingkan nilai kuat tarik dari membran selulosa asetat berbasis selulosa mikrobial, yaitu $3,37 \text{ kgf/cm}^2$ pada formula membran 14% PEG dan 10% selulosa asetat (Darwis *et al.*, 2003).

Membran dengan penambahan PG 6000 Da pada rasio PEG/SDA 20% hasil koagulasi suhu 15 °C memiliki nilai kuat tarik sebesar 4,19 kgf/cm². Nilai kuat tarik untuk membran tanpa PEG diperoleh sebesar 3,030 kgf/cm².

Morfologi Membran

Mekanisme pembentukan membran pada penelitian ini berlangsung secara *instantaneous demixing*. Kelemahan yang sering terjadi pada mekanisme *instantaneous demixing* adalah terbentuknya makrovoid pada lapisan bagian bawah dari membran. Makrovoid merupakan suatu rongga yang sangat terbuka berada diantara pori-pori yang lebih kecil. Keberadaan makrovoid tidak diharapkan karena akan menurunkan kekuatan mekanikal membran sehingga mempengaruhi permeabilitas membran (Chaudhuri, 2003; Husain, 2009). Perbedaan struktur membran yang dihasilkan dari membran tanpa PEG dan dengan penambahan PEG dapat dilihat pada Gambar 5.

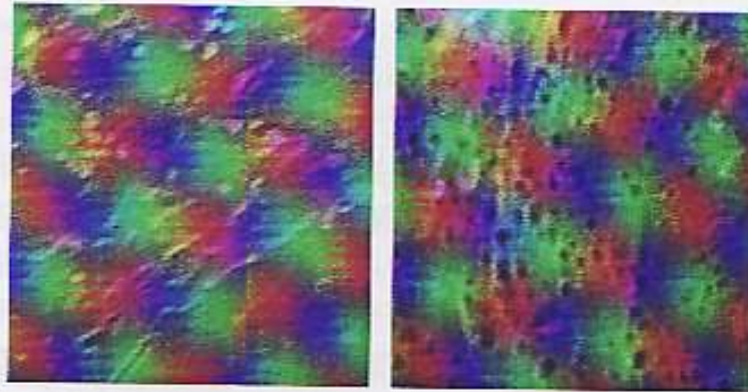


Gambar 5. Bagian lapisan bawah membran (500x, koagulasi suhu kamar):
tanpa PEG , b. penambahan PEG 6000 Da, rasio PEG/SDA 20%

Pada Gambar 5.a dapat dilihat bahwa struktur morfologi berupa pori yang tidak tertata dengan baik. Terdapat rongga yang besar berupa makrovoid diantara pori-pori kecil. Makrovoid berhenti bila konsentrasi polimer larutan menjadi sangat tinggi dan terjadi pepadatan. Aditif PEG yang ditambahkan pada larutan cetak membuat larutan polimer menjadi lebih kental dan afinitas antara DMF dan air menjadi berkurang, sehingga pertumbuhan makrovoid dapat ditahan (Javiya *et al.*, 2008), seperti terlihat pada Gambar 5. b dengan keberadaan pori lebih tertata dengan baik.

Pori dari membran yang terbentuk dari hasil koagulasi pada suhu yang lebih rendah, yaitu 15 °C lebih kecil dibandingkan pada suhu kamar (Gambar 6). Suhu koagulasi rendah mengakibatkan afinitas antara pelarut DMF dengan non-pelarut air menjadi berkurang. Selain

itu PEG lebih sukar larut dalam air pada suhu rendah, sehingga menurunkan kecepatan proses difusi yang terjadi antara DMF dan air.



Gambar 6. Bagian lapisan bawah membran penambahan PEG 6000 Da, rasio PEG/SDA 20% (500x) pada koagulasi: a. 15 °C; b. Suhu kamar

Kompaksi

Kompaksi dilakukan terhadap membran yang dihasilkan menggunakan tekanan transmembran (TMP) sebesar 2 bar, lebih tinggi dari TMP yang akan dioperasikan (1,2 bar). Kompaksi dilakukan dengan mengalirkan air melewati membran dengan luas efektif 12,56 cm² hingga diperoleh fluks air konstan. Kompaksi untuk semua membran menunjukkan penurunan fluks sampai menit ke tigapuluh. Kompaksi dilakukan agar struktur pori membran menjadi lebih rapat karena terjadinya proses deformasi mekanik pada matriks membran akibat tekanan yang diberikan. Membran hasil kompaksi menjadi lebih kaku (Mahendran *et al.*, 2004).

Karakteristik Membran terhadap Fluks pada Penambahan PEG

Salah satu parameter utama dalam pengujian kinerja suatu membran adalah permeabilitas yang menunjukkan banyaknya permeat yang melewati membran persatuan waktu persatuan luas. Permeabilitas lebih sering dinyatakan sebagai fluks.

Fluks membran dari formula membran dengan penambahan PEG telah dibandingkan dengan formula membran tanpa PEG. Tujuan penambahan PEG sebagai porogen agar distribusi pori lebih merata. Fluks yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 2.

Terlihat bahwa fluks dari membran tanpa PEG lebih rendah dibandingkan membran dengan penambahan PEG. Pori membran yang terbentuk sangat ditentukan dari jumlah konsentrasi polimer awal yang digunakan. Konsentrasi polimer yang tinggi akan membentuk lapisan permukaan membran dengan porositas yang rendah karena fraksi volume dari polimer

naik, dan demikian sebaliknya. Membran tanpa PEG, pori yang terbentuk tidak tersebar dengan baik ketika proses difusi antara DMF dan air berlangsung. Sedangkan pada penambahan PEG, pori yang terbentuk menjadi bertambah dan tersusun dengan lebih baik dan teratur. Hal ini disebabkan karena terdapat sejumlah molekul PEG yang telah mengisi matriks membran ikut larut ke dalam air sehingga meninggalkan pori pada membran. Kecenderungan yang sama juga terjadi pada koagulasi suhu 15 °C (Tabel 3).

Tabel 2. Nilai fluks dari membran tanpa dan dengan penambahan PEG pada koagulasi suhu kamar

Formulasi membran	Fluks air	Fluks dekstran	Fluks BSA
	L/jam.m ²		
Tanpa PEG	74 ± 6	69 ± 4	62 ± 4
PEG 6000 Da, PEG/SDA 20%	83 ± 9	71 ± 5	62 ± 5

Tabel 3. Nilai fluks dari membran tanpa dan dengan penambahan PEG pada koagulasi suhu 15 °C

Formulasi membran	Fluks air	Fluks dekstran	Fluks BSA
	L/jam.m ²		
Tanpa PEG	53 ± 4	49 ± 4	43 ± 2
PEG 6000 Da, PEG/SDA 20%	75 ± 8	61 ± 5	55 ± 4

Karakteristik Membran terhadap Rejeksi pada Penambahan PEG

Selain fluks, rejeksi termasuk parameter untuk melihat kinerja membran. Hasil rejeksi dekstran dan BSA dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai rejeksi dari membran tanpa dan dengan penambahan PEG pada koagulasi suhu kamar

Formulasi membran	Rejeksi dekstran	Rejeksi BSA
	%	
Tanpa PEG	54,826 ± 4,14	78,724 ± 5,94
PEG 6000 Da, PEG/SDA 20%	56,343 ± 4,25	86,400 ± 6,52

Rejeksi dari membran dengan penambahan PEG lebih tinggi dibandingkan membran tanpa PEG. Hal tersebut diperkirakan karena pori yang terbentuk lebih banyak pada membran dengan penambahan PEG dan distribusi ukuran pori membran menjadi lebih beragam

sehingga rejeksi yang dihasilkan menjadi lebih tinggi. Kecenderungan yang sama juga terjadi pada suhu koagulasi 15 °C (Tabel 6).

Tabel 6. Nilai rejeksi dari membran tanpa dan dengan penambahan PEG pada koagulasi suhu 15 °C

Formulasi membran	Rejeksi dekstran	Rejeksi BSA
	%	
Tanpa PEG	56,540 ± 4,27	84,217 ± 6,39
PEG 6000 Da, PEG/SDA 20%	62,840 ± 4,74	90,670 ± 6,89

Karakteristik Membran terhadap Fluks pada Perubahan Suhu Koagulasi.

Semakin tinggi suhu air pada bak koagulasi, semakin cepat difusi yang terjadi antara pelarut DMF dan air sehingga membentuk sejumlah besar pori. Pada Tabel 7 dan Tabel 8 dapat dilihat bahwa fluks meningkat dengan naiknya suhu koagulasi baik dengan penambahan PEG maupun tanpa penambahan PEG. Hal ini diperkirakan porositas membran yang dihasilkan meningkat pada suhu koagulasi yang lebih tinggi. Pendapat tersebut sesuai dengan hasil penelitian Chou *et al.* (2005) yang menyatakan bahwa kenaikan suhu koagulasi dari 25°C sampai 70°C akan menaikkan porositas membran sehingga fluks meningkat. Saljoughi *et al.* (2010) dari hasil penelitiannya juga menyatakan bahwa porositas membran akan menurun dengan rendahnya suhu koagulasi sehingga fluks menurun.

Tabel 7. Nilai fluks dari membran tanpa PEG

Suhu koagulasi	Fluks air	Fluks dekstran	Fluks BSA
	L/jam.m ²		
15 °C	53 ± 4	49 ± 4	43 ± 2
Suhu kamar	74 ± 6	69 ± 4	62 ± 4

Tabel 8. Nilai fluks dari membran dengan penambahan PEG 6000 Da, PEG/SDA 20%

Suhu koagulasi	Fluks air	Fluks dekstran	Fluks BSA
	L/jam.m ²		
15 °C	75 ± 8	61 ± 5	55 ± 4
Suhu kamar	83 ± 9	71 ± 5	62 ± 5

Karakteristik Membran terhadap Rejeksi pada Perubahan Suhu Koagulasi.

Proses difusi suatu larutan berjalan sangat lambat bila koagulasi berlangsung pada suhu rendah karena viskositas larutan tersebut menjadi tinggi sehingga rejeksi membran yang dihasilkan tersebut lebih tinggi. Hasil dapat dilihat pada Tabel 9 dan Tabel 10.

Tabel 9. Nilai rejeksi dari membran tanpa PEG

Suhu koagulasi	Rejeksi dekstran	Rejeksi BSA
	%	
15 °C	56,540 ± 4,27	84,217 ± 6,39
Suhu kamar	54,826 ± 4,14	78,724 ± 5,94

Tabel 10. Nilai rejeksi dari membran dengan penambahan PEG 6000 Da, PEG/SDA 20%

Suhu koagulasi	Rejeksi dekstran	Rejeksi BSA
	%	
15 °C	56,540 ± 4,27	84,217 ± 6,39
Suhu kamar	56,343 ± 4,25	86,400 ± 6,52

Cai *et al.* (2007) menyatakan dari hasil penelitiannya bahwa membran hasil koagulasi pada suhu rendah cenderung memiliki ukuran pori yang relatif kecil dibandingkan membran hasil suhu koagulasi pada suhu yang lebih tinggi. Saljoughi *et al.* (2010) juga menyatakan bahwa suhu koagulasi rendah akan menurunkan porositas membran, sehingga menghasilkan rejeksi yang tinggi. Dapat dikatakan bahwa pori yang terbentuk kecil bila koagulasi dilakukan pada suhu rendah sehingga rejeksi meningkat.

Molecular Weight Cut-Off (MWCO) Membran

Molecular Weight Cut-Off (MWCO) didefinisikan sebagai bobot molekul suatu zat terlarut yang 80-90% dapat direjeksi oleh membran (Mahendran *et al.*, 2004). Dari formulasi membran yang telah dihasilkan diperoleh rejeksi terhadap larutan standar dekstran (12 kDa) berkisar 53-56% dan rejeksi larutan standar BSA (67 kDa) berkisar 80-86%. Dapat dikatakan bahwa ukuran pori membran berada pada ukuran maksimal 67 kDa. Menurut Osada dan Nakagawa (1992) membran ultrafiltrasi (UF) mempunyai ukuran pori berkisar 10-1000 Å atau MWCO sekitar 10^3 - 10^6 Da. Ukuran pori membran yang dihasilkan ini masih termasuk kategori membran dengan jenis proses ultrafiltrasi.

KESIMPULAN

Penambahan PEG menghasilkan membran dengan karakteristik sebagai berikut: memiliki lapisan yang lebih tebal, kuat tarik yang lebih besar, dan menekan terbentuknya makrovoid. Analisis SEM menunjukkan struktur morfologi membran yang dihasilkan lebih rapat dengan tingkat keteraturan bentuk pori yang lebih baik sehingga kerapatan (porositas) besar serta terlihat distribusi pori semakin kecil. Koagulasi pada suhu tinggi menghasilkan

membran dengan lapisan yang lebih tipis dan kuat tarik yang lebih rendah. Struktur morfologi membran yang dihasilkan lebih rapuh namun ukuran dan jumlah pori lebih besar sehingga porositas dan distribusi pori besar.

Penentuan MWCO pori membran dengan larutan standar dekstran (12 kDa) dan BSA (67 kDa) yang didasari oleh nilai rejeksi 80-90% didapat ukuran pori membran maksimal 67.000 Da dan membran yang telah dihasilkan masih tergolong jenis proses ultrafiltrasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmadi, S.S. 1990. Kimia Kayu. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan PAU Ilmu Hayat, Institut Pertanian Bogor, Bogor
- Akhilus, S dan Widiastuti, N. 2005. Perolehan Kembali NaOH dari Limbah White Liquor Hasil Pengelantangan Sistem Fotosintizer Katil Bergerak. *Akta Kimia Indonesia* 1 (1/Oktober):35-40
- Cai, J., Wang, L., dan Zhang, L. 2007. Influence of coagulation temperature on pore size and properties of cellulose membranes prepared from NaOH-Urea aqueous solution. *Journal Cellulose* 4 (3/June), ISSN 0969-0239.
- Chaudhuri, R., dan Siladitya. 2003. The Effect of electric fields on macrovoid pores in polymeric membranes. http://drc.ohiolink.edu/handle/2374/oxi_9629.
- Cheryan, M. 1998. Ultrafiltration and Microfiltration Handbook. Technomic Publication Company, Inc. Lancaster, Pennsylvania-U.S.A.
- Chou, W. L., Yu, D. G., Chien, M. dan Yang, C. H. J. 2007. Effect of molecular weight and concentration of PEG additives on morphology and permeation performance of cellulose acetate. *Sciencedirect Separation and Purification Technology*.
- Cowd, M. A. 1991. Kimia Polimer. Terjemahan: Harry Firman-Bandung. Penyunting: Kosasih Padmawinata. Penerbit ITB. ISBN 979-8001-49-4.
- Darwis, A.A., Syamsu K., Suryani A. dan Desiyarni. 2003. Pembuatan Membran Filtrasi dari Selulosa Mikrobial. Laporan Akhir Hibah Bersaing IX. Fateta IPB.
- Data BPS Sumut. 2007. Kebutuhan Selulosa Asetat di Indonesia.
- Desiyarni. 2006. Perancangan Proses Pembuatan Selulosa Asetat dari Selulosa Mikrobial untuk Membran Ultrafiltrasi. Disertasi dari Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Institut Pertanian Bogor-IPB.
- Fengel, D. dan Wegener, G. 1984. Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions. Berlin: Walter de Gruyter & Co. Berlin.

- Giriarso, J. P. 2009. Teknologi Membran, Teknologi Filtrasi Penyelamat Dunia. <http://mistchego.blogspot.com/2009/01/teknologi-membran-teknologi-filtrasi.html>.
- Han, J. 1998. Properties of Nonwood Fibers. Proceedings of the Korean Society of Wood Science and Technology Annual Meeting. ISSN 1225-6811
- Harrison, I., Huttenhuis, P.J.G., dan Heesink, A.B.M. 2006. BIOCA-Biomass Streams to produce cellulose acetate. Department of Chemical Engineering, Twente University, Enschede, Procede Twente BV., Enschede, The Netherlands. Science in Thermal and Chemical Biomass Conversion. Edited by Bridgwater, A. V. dan Boocock, D. G. B. 1: 370-381
- Husain, S. dan Koros, W. J. 2009. Macrovoids in hybrid organic/inorganic hollow fiber membranes. Ind. Eng. Chem. 48 (5): 2372-2379.
- Javiya, S., Yogesh, Gupta, S., Singh, K dan Bhattacharya, A. 2008. Porometry studies of the polysulfone membranes on addition of poly(ethylene glycol) in gelation bath during preparation. Journal of Mex. Chem. Soc. 52(2): 140-144, Sociedad Química de México ISSN 1870-249X.
- Kirk, B.E. dan Othmer, D. F. 1993. Encyclopedia of Chemical Technology. The Interscience Encyclopedia Inc., New York.
- Kuo, C. M. dan Bogan, R. T. 1997. Penemu; Process for the manufacture of cellulose acetate. U.S. Patent. Patent : 5,608,050.
- Kroschwitz, J.I. 1990. Concise Encyclopedia of Polymer Science and Engineering. John Wiley and Sons, Inc., Canada.
- Mahendran, R., Malaisamy, R., dan Mohan, D. R. 2004. Cellulose acetate and polyethersulfone blend ultrafiltration membranes . Part I: Preparation and characterizations. Polymer Advanced Technologies 15: 149-157.
- Mulder, M. 1996. Basic Principles of Membrane Technology. Kluwer Academic Publisher, Netherland.
- Nevell, T.P. dan Zeronian, S. H. 1985. Cellulose Chemistry and It's Application. John Wiley and Sons, New York.
- Osada, Y. dan Nakagawa, T. 1992. Membrana Science and Technology. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Ott, E., Spurlin, H. M., dan Grafflin, M.W. 1954. Cellulose and Cellulose Derivates. Interscience Publisher Inc, New York.
- Pahkala, S. K. 2001. Nonwood Plants as Raw Material for Pulp and Paper. Dissertation, MTT Agrifood Research, Finland di dalam Harrison, I., Huttenhuis, P.J.G., Heesink,

- A.B.M. (2006). BIOCA-Biomass streams to produce cellulose acetate. Department of Chemical Engineering, Twente University, Enschede, Procede Twente BV., Enschede, The Netherlands. Science in Thermal and Chemical Biomass Conversion. Edited by Bridgwater, A. V. dan Boocock, D. G. B. 1: 370-381
- Pari, G. 1996. Analisis Komponen Kimia dan Kayu Sengon dan Kayu Karet pada Beberapa Macam Umur. Buletin Penelitian Hasil Hutan Visi dan Misi P3HN dan SEK. 14. (8): 31.
- Radiman, C.L.dan Wafiroh, S. 2004. Pembuatan Membran Selulosa Asetat dari Pulp Abaka (*Musa textilis*). Departemen Kimia ITB Bandung dan Jurusan Kimia, Universitas Airlangga Surabaya.
- Rahmawati, N. 1999. Struktur Lignin Kayu Daun Lebar dan Pengaruhnya Terhadap Laju Deleknifikasi. Thesis Ilmu Pengetahuan Kehutanan Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Rosnelly, C.M., Darwis, A.A., Noor, E., dan Kaseno. 2009. Pembuatan Selulosa Diasetat dan Selulosa Pulp Sengon (*Paraserianthes falcataria*) Sebagai Bahan Baku Pembuatan Membran. Jurnal Agri-Tek, Vol. 10.No.1, Maret.
- Rosnelly, C.M., Darwis, A.A., Noor, E., dan Kaseno. 2010. Pengaruh Rasio Anhidrida Asetat dalam Proses Asetilasi Selulosa Pulp Kayu Sengon (*Paraserianthes falcataria*) dalam Pembuatan Polimer Selulosa Tri Asetat. Jurnal Warta IHP. Vol.27, No.1, Juni.
- Saljoughi, E., Amirilargani, M., dan Mohammadi, T. 2010. Effect of PEG additive and coagulation bath temperature on the morphology, permeability and thermal/chemical stability of asymmetric CA membranes. Science Direct-Desalination, accepted 25 May 2010. Available online 30 June 2010.
- Sanjaya. 2001. Pengaruh Anhidridaasetat terhadap Struktur Molekular Kayu dalam Stabilisasi Dimensi Kayu Pinus Merkusi. FKIP, Universitas Sriwijaya. JMS. 6 (1).
- Schwarz, H. H. and Hicke, H. G. 1989. Influence of casting solution concentration on structure and performance of cellulose acetate membrane. Journal of Membrane Science 46 : 325-334.
- Scott, K. dan Hughes, R. 1996. Industrial Membrane Separation Technology. Balckie Academic and Profesionals, London.
- Shibata, T. 2004. Cellulose acetate in separation technology. Macromol. Symp. 208: 353-369.
- Suyati. 2008. Pembuatan Selulosa Asetat dari Limbah Serbuk Gergaji Kayu dan Identifikasinya. Tesis Pascasarjana FMIPA-Kimia, ITB-Bandung

- Wenten, I.G., Kresnowati, M. T. A. P. dan Beatrix. 1999. Development of Membrane Technology in Indonesia: Prospect and Challenges didalam Wenten, I. G. "Teknologi Membran Industrial". Penerbit Institut Teknologi Bandung..
- White, D.G., Brown, R. M. 1983. Prospect for The Commercialization of The Biosynthesis of Microbial Cellulose di dalam Fengel, D. dan Wegener, G. (1984). Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions. Berlin; Walter de Gruyter & Co. Berlin.
- Yamakawa, K., Matsuoka, K. dan Sato, T. 2003. Process for producing cellulose Acetate. U. S. Patent.: US 6,624,299 B2.
- Young, T. H dan Chen, L. W. 1995. Pore formation mechanism of membranes from phase inversion process. Desalination 103 : 233-247.
- Yoshinaga, F., Tonouchi, N. dan Watanabe, K. 1997. Research progress in production of bacterial cellulose any aeration and agitation culture and its application as a new industrial material. Biosci, Biotech, Biochem. 6: 119-224.