

I. ---PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sumber energi bagi suatu negara sangatlah strategis untuk mendukung pengembangan industri, transportasi dan energi listrik. Kenyataan bahwa cadangan minyak bumi yang semakin menipis dan status Indonesia sebagai negara *net importer* bahan bakar minyak (BBM), maka perlu dilakukan upaya untuk memecahkan permasalahan ketergantungan terhadap BBM dalam pemenuhan kebutuhan energi. Polusi udara yang terjadi karena dipicu oleh penggunaan minyak bumi berkualitas rendah (kandungan sulfur tinggi) mendorong usaha pencarian sumber energi alternatif yang ramah lingkungan, sehingga tidak menambah terjadinya polusi udara. Langkah ini diimplementasikan dengan keluarnya Peraturan Presiden (Perpres) tentang kebijakan energi nasional untuk pengembangan sumber energi alternatif pengganti BBM yang menargetkan penggunaan *biofuel* lebih dari 5% pada tahun 2025 (Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2006, 2006). Lebih lanjut, pemerintah melalui Instruksi Presiden (Inpres) memberikan perhatian yang serius tentang penyediaan dan pemanfaatan bahan bakar nabati (*biofuel*) sebagai bahan bakar alternatif pengganti BBM (Instruksi Presiden Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2006, 2006).

Bioethanol merupakan salah satu *biofuel* yang telah dan terus dikembangkan oleh peneliti-peneliti di Indonesia. Alasan mendasar pengembangan tersebut karena ketersediaan biomassa sebagai bahan baku pembuatan bioethanol yang melimpah di Indonesia (Prihandana dan Hendro, 2007). Selain itu bioethanol juga dikenal sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan.

Sebelum dapat digunakan sebagai bahan bakar, proses pemisahan dan pemurnian bioethanol (dehidrasi) merupakan salah satu langkah penting yang harus dilalui, karena bioethanol hasil fermentasi hanya memiliki kemurnian kurang dari 10% (Uragami, 2005), sementara bioethanol sebagai *biofuel* harus

memiliki kemurniannya minimal 99,5%. Teknologi yang telah banyak digunakan pada tahap ini adalah distilasi konvensional, namun ethanol yang dihasilkan kemurniannya maksimal hanya mencapai 95% karena terbentuknya campuran azeotrop antara ethanol dan air (Widodo dkk., 2004; Uragami, 2005). Beberapa metode telah diusulkan untuk pemisahan campuran azeotrop ethanol-air guna mendapatkan ethanol dengan kemurnian mendekati 100%. Distilasi ekstraksi dan distilasi absorben merupakan metode yang banyak dikenal, kedua teknik tersebut telah terbukti mampu memisahkan campuran azeotrop, tetapi prosesnya kurang kompetitif karena sangat kompleks dan memerlukan penambahan zat kimia (Kozaric dkk., 1987). Sebagai contoh pada distilasi absorben, campuran azeotrop ethanol-air dipanaskan sampai 100°C sehingga kedua komponen akan menguap. Uap yang dihasilkan dilewatkan pada suatu kolom atau pipa berisi zeolit sebagai penyerap air, sehingga kemurnian ethanol dapat ditingkatkan mendekati 100%. Kelemahan cara ini adalah zeolit harus selalu diregenerasi dan prosesnya sangat kompleks.

Pervaporasi (PV) merupakan proses pemisahan menggunakan membran dengan gaya dorong perbedaan tekanan menawarkan pemecahan masalah pemurnian ethanol. Kemampuan PV dalam memisahkan campuran azeotrop dengan proses yang sederhana dan tanpa memerlukan penambahan zat kimia (Aptel dkk., 1976; Feng dan Huang, 1997; Shao dan Huang, 2007) menjadikan teknologi ini aplikatif untuk dehidrasi ethanol, sehingga penelitian tentang pervaporasi untuk pemurnian bioethanol menjadi *biofuel* sangat menarik untuk dilakukan.

Banyak penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan kinerja proses pervaporasi agar menghasilkan bioethanol *fuelgrade*. Secara umum pengembangannya dikelompokkan menjadi tiga, yaitu (i) pengolahan awal (*pretreatment*); (ii) sintesis membran berkinerja tinggi; dan (iii) optimasi kondisi proses pervaporasi (Widodo dkk., 2004). Membran PV berkinerja tinggi merupakan salah satu parameter kunci keberhasilan proses pervaporasi campuran azeotrop bioethanol-air. Pada awalnya membran PV untuk dehidrasi bioethanol dibuat dari polimer-polimer alam seperti selulosa dan turunannya (Neel, 1991;

Shao dan Huang, 2007), selanjutnya polimer sintesis seperti *poly (acrylonitrile)* (PAN), *poly (sulfone)* (PS), *poly (ethersulfone)* (PES), *poly (vinyl alcohol)* (PVA) dikembangkan untuk meningkatkan selektifitas dan permeabilitas (Aptel dkk., 1976; Huang dan Jarvis, 1970; Shao dan Huang, 2007). Namun demikian permeabilitas yang dihasilkan membran-membran PV tersebut relatif masih rendah.

Penelitian tentang penggunaan membran alginat untuk dehidrasi bioethanol telah dilakukan sejak tahun 1980-an (Shao dan Huang, 2007). Jika dibandingkan dengan membran kitosan, PVA, dan selulosa, membran alginat memiliki permeabilitas cukup tinggi meskipun juga mempunyai beberapa kelemahan. Alginat merupakan polimer ionik hidrofilik sehingga larut dalam air dan tidak stabil dalam larutan yang mengandung air (Shi dkk., 1996). Sebagai membran, lapisan film alginat bersifat rapuh (Keane dkk., 2007) dan mengalami penurunan fluks jika digunakan secara terus- menerus (Yeom dkk., 1996). Penelitian tentang membran kitosan telah banyak dilakukan (Masaru dkk., 1985; Matsuda dkk., 1988). Membran kitosan memiliki permeabilitas cukup tinggi, meskipun juga memiliki beberapa kelemahan. Sama seperti alginat, membran kitosan sangat hidrofilik dan dapat kehilangan kestabilan dalam larutan yang mengandung air atau bersifat asam (Nawawi dan Hassan, 2003; Shao dan Huang, 2007) serta memiliki kekuatan mekanik yang rendah (Chen dkk., 2004). Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengatasi kelemahan tersebut antara lain dengan melakukan *crosslinking* dengan senyawa lain untuk mengurangi kelarutan membran dalam air dan penambahan *plasticisers* untuk menurunkan kerapuhan membran saat digunakan (Tan dkk., 2002; Nawawi dan Hassan, 2003; Chen dkk., 2004, Bhat dan Aminabhavi, 2007; Keane dkk., 2007). Pengembangan berikutnya mendasarkan pada membran komposit yang mempunyai lapisan selektif tipis tidak berpori di atas permukaan lapisan penyokong (support) yang berpori (biasanya membran ultrafiltrasi) (Caro dkk., 2000; Tsai dkk., 2006; Keane dkk., 2007; Shao dan Huang, 2007). Membran komposit menawarkan permeabilitas dan kekuatan mekanik yang tinggi sementara selektivitas ditentukan oleh lapisan tipis tak berpori.

1.2. Rumusan Masalah

Dari beberapa penelitian mengenai membran komposit PV yang telah dilakukan, menunjukkan bahwa jenis bahan yang digunakan untuk pembuatan membran, metode pembuatan, dan kondisi operasi sangat berpengaruh terhadap karakteristik membran yang dihasilkan. Penelitian – penelitian tersebut belum banyak mengkaji tentang pengaruh konsentrasi larutan, kuantitas, jenis larutan dan metode *coating* dalam pembuatan membran komposit PV untuk dehidrasi bioethanol. Penelitian ini akan mengkaji pengaruh konsentrasi larutan, kuantitas, jenis larutan dan metode *coating* dalam pembuatan membran komposit PV untuk dehidrasi bioethanol dengan menggunakan membran UF berbasis polimer PES yang akan dilapisi biopolimer kitosan dan alginat.

PES dipilih sebagai membran support, karena memiliki kekuatan mekanik, stabilitas kimia dan thermal yang tinggi serta pembentukan film yang sempurna (Susanto dan Ulbricht, 2009a). Penggunaan kitosan dan alginat sebagai lapisan tipis tak berpori didasarkan pada sifat hidrofilik, kemampuan pembentukan film yang bagus, pelekatan (*adhesion*) yang kuat pada sebuah support, biokompatibel dan mudah untuk dimodifikasi secara kimia karena mempunyai gugus kimia/fungsional reaktif (Uragami, 2005; Bhat dan Aminabhavi, 2007). Keberadaan kitosan dan alginat yang melimpah di Indonesia merupakan daya tarik lain penggunaan biopolimer jenis ini. Konsentrasi larutan biopolimer, kuantitas lapisan *coating*, jenis biopolimer (kitosan dan alginat) dan metode *coating* (*casting* dan penyapuan), diduga akan berpengaruh terhadap karakteristik membran komposit yang dihasilkan.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah pembuatan membran komposit PV berkinerja tinggi untuk dehidrasi bioethanol dengan :

1. Mengkaji pengaruh konsentrasi larutan biopolimer terhadap karakteristik membran komposit PV berbasis PES – biopolimer.
2. Mengkaji pengaruh kuantitas *coating* terhadap karakteristik membran komposit PV berbasis PES – biopolimer.

3. Mengkaji pengaruh jenis biopolimer (kitosan dan alginat) terhadap karakteristik membran komposit PV berbasis PES – biopolimer.
4. Mengkaji pengaruh teknik *coating* (*casting* dan penyapuan) terhadap karakteristik membran komposit PV berbasis PES – biopolimer.
5. Melakukan uji aplikasi membran komposit PV berbasis PES – biopolimer untuk dehidrasi bioethanol.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat baik bagi akademik maupun masyarakat.

1. Akademik
 - a. Mendalami karakteristik membran komposit PES-Kitosan untuk aplikasi dehidrasi bioethanol menggunakan metode pervaporasi.
 - b. Mendalami karakteristik membran komposit PES-Alginat untuk aplikasi dehidrasi bioethanol menggunakan metode pervaporasi.
2. Masyarakat
 - a. Memberikan sumbangan teknologi dalam aplikasi PV untuk dehidrasi bioethanol sehingga diharapkan dapat mendorong produksi bioethanol di Indonesia.
 - b. Mendorong perkembangan industri kitosan dan alginat yang ketersediaannya di Indonesia cukup melimpah.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Bioethanol dan Proses Pembuatannya

Bioethanol dikenal sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan, karena bersih dari emisi bahan pencemar. Selain itu, bioethanol merupakan salah satu jenis *biofuel* yang telah dan terus dikembangkan oleh pemerintah Indonesia sebagai upaya untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Perpres No. 5 tahun 2006 tentang kebijakan energi nasional, Inpres No. 1 tahun 2006 tentang penyediaan dan pemanfaatan *biofuel*, Kepres No. 10 tahun 2006 tentang tim nasional pengembangan bahan bakar nabati untuk percepatan pengurangan kemiskinan dan pengangguran, dan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 32 tahun 2008 tentang penyediaan, pemanfaatan dan tata niaga bahan bakar nabati sebagai bahan bakar lain, merupakan upaya pemerintah dalam mendukung pengembangan energi alternatif khususnya *biofuel*.

Bioethanol dibuat dari biomasa yang secara umum dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu : (i) bahan bergula (*sugary materials*) seperti tebu, molasses dan gula bit; (ii) bahan berpati (*starchy materials*) seperti jagung, ubi kayu, sorghum manis dan kentang; (iii) bahan berlignoselulosa (*lignocellulosic materials*) seperti limbah pertanian dan kayu (Kozaric dkk., 1987). Penggunaan bahan berlignoselulosa sebagai bahan baku bioethanol dikembangkan untuk menghindari konflik kepentingan antara kebutuhan pangan dan kebutuhan energi.

Dias dkk. (2009) menjelaskan bahwa pembuatan bioethanol meliputi tiga tahapan proses, yaitu : (i) proses hidrolisa pemecahan karbohidrat (polisakarida) menjadi karbohidrat sederhana (glukosa/monosakarida) dengan bantuan katalis asam atau enzim (enzimatik), (ii) fermentasi dengan bantuan jasad renik seperti *Sacharomyces cereviceae* yang mengubah glukosa menjadi ethanol, dan (iii) proses pemisahan serta pemurnian produk.

Pemisahan dan pemurnian merupakan langkah yang sangat penting dan membutuhkan biaya tinggi. Hal ini disebabkan oleh rendahnya kemurnian bioethanol hasil fermentasi (< 10%) dan terbentuknya campuran azeotrop

bioethanol-air pada kemurnian 95% (Uragami, 2005). Untuk dapat digunakan sebagai bahan bakar (*fuel grade*), kemurnian bioethanol harus mencapai minimal 99,5%, terlebih jika akan digunakan sebagai bahan bakar tunggal, maka kemurnian bioethanol harus mencapai 100%. Distilasi konvensional mempunyai kendala karena terbentuknya campuran azeotrop. Distilasi absorbent dan distilasi ekstraksi merupakan metode pemisahan campuran azeotrop yang telah lama berkembang (Kozaric dkk., 1987), namun kompleksnya proses dan adanya penambahan zat kimia menjadikan prosesnya kurang kompetitif. Seiring dengan perkembangan teknologi membran, penelitian menunjukkan bahwa proses PV mempunyai prospek yang sangat cerah sebagai teknologi pemisahan campuran azeotrop (Aptel dkk., 1976; Feng dan Huang, 1997; Wang dkk., 2001; Shao dan Huang, 2007).

Standar bioethanol yang meliputi kadar ethanol, kadar methanol, kadar air, pH, dll. telah ditentukan oleh Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi seperti disajikan pada Tabel 2.1.

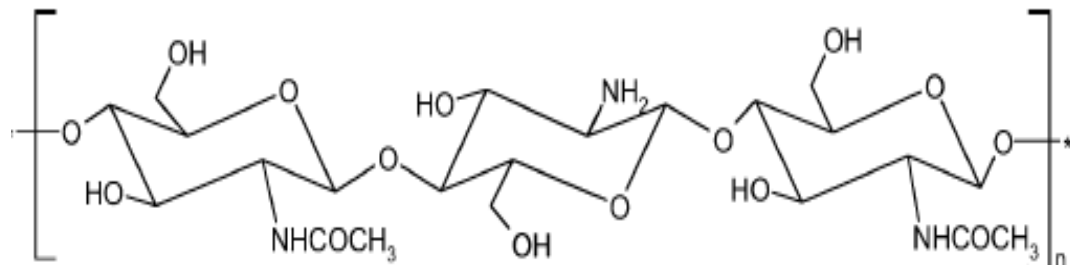
Tabel 2.1. Standar nasional Indonesia bioethanol (Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi Nomor : 23204.K/10/DJM.S/2008)

No.	Parameter	Unit	Spesifikasi
1.	Kadar ethanol	% v, min	99,5
2.	Kadar methanol	mg/L, max	300
3.	Kadar air	% v, max	1
4.	Tembaga (Cu)	mg/kg, max	0,1
5.	Keasaman sebagai CH ₃ COOH	mg/L, max	30
6.	Tampakan	Jernih dan terang, tidak ada endapan dan kotoran	
7.	Ion klorida	mg/L, max	40
8.	Kandungan belerang (S)	mg/L, max	50
9.	Getah (gum), dicuci	mg/100 ml	5,0
10.	pH		6,5 – 9,0

2.2. Kitosan

Kitosan ditemukan pertama kali oleh C. Rouget pada tahun 1859 dengan cara mereaksikan kitin dengan kalium hidroksida pekat. Kitosan adalah

biopolimer kationik polisakarida dari kopolimer linier β -(1 \rightarrow 4)-2-amino-2-deoxy-D-glucopiranosose dan β -(1 \rightarrow 4)-2-acetamido-2-deoxy-D-glucopiranosose (Moller dkk., 2004). Struktur kimia kitosan disajikan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Struktur kimia kitosan (Moller dkk., 2004)

Dalam tahun 1934, Rigby mendapatkan dua paten, yaitu penemuan mengenai pembuatan kitosan dari kitin dan pembuatan film dari serat kitosan. Penggunaan kitin dan kitosan meningkat pada tahun 1940-an dan semakin berkembang pada tahun 1970-an seiring dengan diperlukannya bahan alami dalam berbagai bidang industri. Sejak saat itu, penelitian tentang kitosan semakin berkembang pesat. Perkembangan aplikasi kitosan disebabkan polisakarida ini bukan hanya terdapat secara melimpah di alam, tetapi memiliki sifat tidak beracun, dapat terurai di alam (*biodegradable*), dan merupakan bahan yang terbarukan (*renewable*) (Kaban, 2009).

Kulit *Crustaceae* (kepiting, udang, lobster) sebagai limbah industri pangan merupakan sumber utama yang dapat digunakan untuk memproduksi kitosan dari kitin dalam skala besar. Secara umum proses pembuatan kitosan meliputi tiga tahap, yaitu : (i) deproteinasi, (ii) demineralisasi, dan (iii) deasetilasi. Proses deproteinasi bertujuan mengurangi kadar protein dengan menggunakan larutan alkali encer dan pemanasan yang cukup. Proses demineralisasi dimaksudkan untuk mengurangi kadar mineral (CaCO_3) dengan menggunakan asam konsentrasi rendah untuk mendapatkan kitin. Sedangkan proses deasetilasi bertujuan menghilangkan gugus asetil dari kitin melalui pemanasan dalam larutan alkali kuat dengan konsentrasi tinggi (Hassan dan Nawawi, 2008). Proses deasetilasi menggunakan alkali pada suhu tinggi akan menyebabkan terlepasnya gugus asetil (CH_3CHO) dari molekul kitin. Gugus amida dari kitin akan berikatan

dengan ion hidrogen yang bermuatan positif sehingga membentuk gugus amina bebas, $-NH_2$ (Mekawati dkk., 2000).

Perbedaan antara kitin dan kitosan terdapat pada derajat deasetilasinya. Kitosan memiliki derajat deasetilasi 80–90% tetapi dari kebanyakan publikasi menyebutkan bahwa istilah kitosan digunakan apabila derajat deasetilasinya diatas 70%. Kitin umumnya memiliki derajat deasetilasi kurang dari 10% (Rahayu dan Purnavita, 2007). Kualitas dan nilai ekonomi kitosan ditentukan oleh derajat deasetilasinya. Semakin tinggi derajat deasetilasinya semakin tinggi kualitas dan harga jual kitosan.

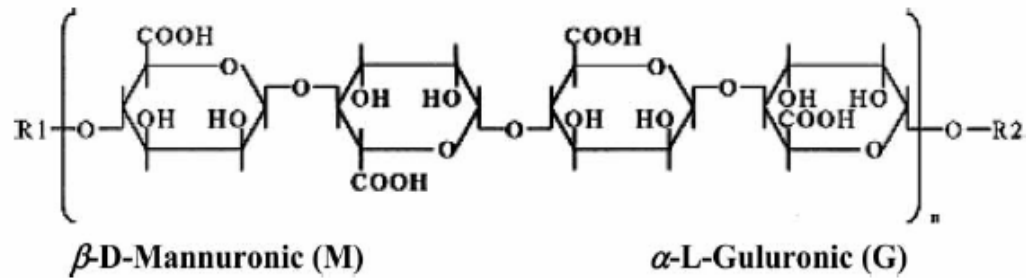
Kitosan memiliki sifat tidak larut dalam air dan larutan alkali, tetapi mudah larut dalam larutan asam organik seperti asam formiat, asam asetat, dan asam sitrat (Mekawati dkk., 2000). Karena memiliki gugus amino, kitosan merupakan polielektrolit kationik (pKa 6,5), hal yang sangat jarang terjadi secara alami. Karena sifatnya yang basa ini, maka kitosan (i) dapat larut dalam media asam encer membentuk larutan yang kental, (ii) membentuk kompleks yang tidak larut dalam air dengan polielektrolit anion, dan (iii) dapat digunakan sebagai pengkhelet ion logam berat (Kaban, 2009)

Pada saat ini, kitosan banyak diaplikasikan diberbagai industri, seperti untuk koagulan, adsorben dan membran. Karena sifatnya yang baik dalam pembentukan film, pelekatan (*adhesion*) yang kuat pada suatu material, biokompatibel, hidrofilik, dan mudah untuk dimodifikasi secara kimia karena mempunyai gugus hidroksil yang reaktif dan gugus fungsional amino, kitosan mempunyai prospek yang bagus untuk digunakan sebagai media dehidrasi ethanol (Uragami, 2005). Keberadaan kitosan yang melimpah di Indonesia merupakan daya tarik lain dari penggunaan kitosan.

2.3. Alginat

Alginat merupakan kopolimer polisakarida tidak bercabang, mengandung asam *D-mannunoric* (M) dan asam *L-guluronic* (G) dengan variasi komposisi dan urutan tertentu (Bhat dan Aminabhavi, 2007). Alginat dapat diperoleh dari ekstraksi rumput laut coklat yang berasal dari genus *Ascophyllum*, *Ecklonia*,

Durvillaea, *Laminaria*, *Lessonia*, *Macrocystis*, *Sargassum* dan *Turbinaria*. Kandungan alginat pada rumput laut coklat tergantung pada tempat tumbuh, umur panen, dan jenis rumput laut. Struktur alginat disajikan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Struktur kimia alginat (Bhat dan Aminabhavi, 2007)

Dalam dunia industri, alginat dikenal dalam dua bentuk, yaitu asam alginat dan garam alginat. Garam alginat yang umum dikenal adalah sodium alginat. Asam alginat tidak larut dalam air dan mengendap pada pH < 3,5, sedangkan garam alginat dapat larut dalam air dingin maupun panas dan mampu membentuk larutan yang stabil, tetapi tidak larut dalam pelarut organik. Alginat banyak digunakan pada industri kosmetik untuk membuat suspensi, emulsifier, stabilizer, tablet, salep, kapsul dan plester. Selain itu alginat juga digunakan sebagai bahan aditif untuk industri makanan, tekstil, kertas, keramik, insektisida, dan pestisida. Lapisan film Natrium alginat dapat digunakan sebagai membran (Kaban dkk., 2006).

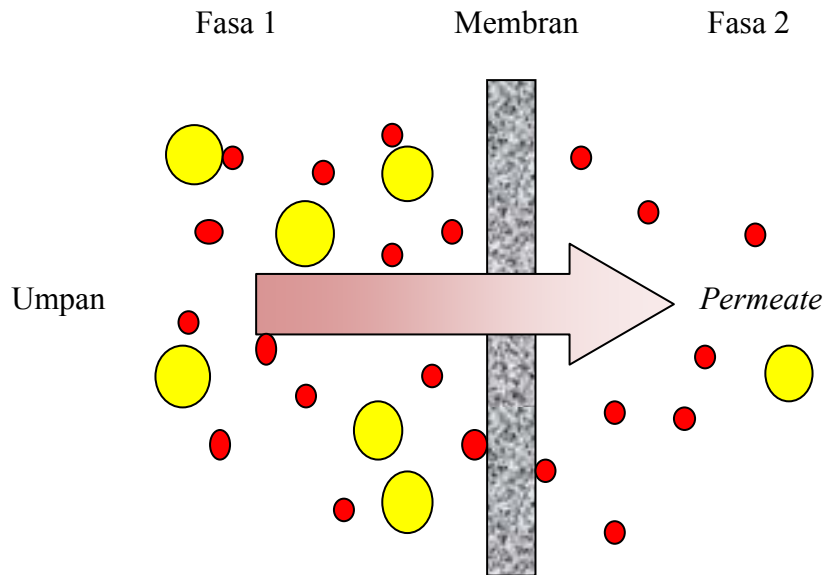
Sama seperti kitosan, alginat merupakan polisakarida polielektrolit, hidrofilik, mempunyai daya lekat yang bagus dan mempunyai gugus fungsional yang reaktif dan bermuatan, sehingga alginat mempunyai potensi untuk digunakan sebagai media dehidrasi ethanol karena afinitasnya yang tinggi terhadap air.

2.4. Tinjauan Umum Tentang Membran

2.4.1. Pengertian Membran dan Keunggulan

Membran didefinisikan sebagai lapisan tipis yang bersifat selektif (semipermeabel) sebagai pembatas antara dua fasa dan berfungsi mengatur perpindahan komponen pada kedua fasa tersebut (Gambar 2.3.). Jika suatu larutan

umpan melewati sebuah membran, maka ada komponen dalam umpan yang tertahan oleh membran (*retentate*) dan komponen yang melewati membran (*permeate*)



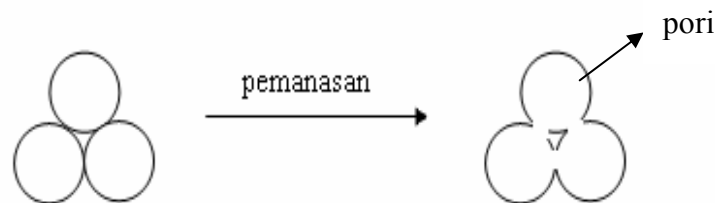
Gambar 2.3. Skema sistem dua fasa yang dipisahkan oleh membran (Mulder,1996)

Meningkatnya aplikasi membran di berbagai industri tidak terlepas dari keunggulan yang dimiliki oleh membran. Keunggulan utama teknologi membran dibandingkan dengan teknologi pemisahan secara konvensional, yaitu membran bekerja dengan prinsip *sieving mechanism* (mekanisme pengayaan) atau *solution diffusion* (melarut-mendifusi). Artinya pemisahan dengan membran tidak membutuhkan bahan kimia aditif, dapat beroperasi secara isothermal pada suhu kamar, dan konsumsi energi yang lebih rendah. Keunggulan lain adalah proses *upscaling*, *down scaling* dan pengintegrasian pada proses lain mudah dilakukan.

2.4.2. Metode Pembuatan Membran

Sejumlah teknik yang berbeda dapat digunakan untuk pembuatan membran sintetis baik itu membran polimer organik maupun membran anorganik. Teknik yang cukup penting dalam pembuatan membran adalah : (i) *sintering*, (ii) *stretching*, (iii) *track-etching*, (iv) *template-leaching*, (v) inversi fasa, dan (vi) *coating* (Mulder, 1996).

Sintering. Pada teknik *sintering*, serbuk dengan ukuran tertentu dikompresi dan di-*sintering* pada suhu tinggi. Pori akan terbentuk ketika batas antar permukaan partikel hilang. Skema proses *sintering* disajikan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Skema proses *sintering*

Teknik ini akan menghasilkan membran dengan ukuran pori 0,1 sampai 10 μm . Hanya membran mikrofiltrasi yang bisa dibuat dengan teknik ini.

Stretching. Pembuatan membran dengan teknik *stretching* dilakukan untuk bahan polimer yang semi kristalin. Film dari bahan polimer semi kristalin ditarik searah dengan proses *ekstruksi*. Ketika *stress* mekanik dilakukan, maka akan terjadi sedikit pemutusan dan terbentuk struktur pori dengan ukuran 0,1 sampai 0,3 μm .

Track-etching. Pada teknik *track-etching*, film polimer ditembak oleh partikel radiasi berenergi tinggi dengan arah tegak lurus film. Bekas tembakan partikel tersebut akan membentuk suatu lintasan pada film sehingga terbentuk pori silinder yang sangat sempit. Film tersebut kemudian direndam di dalam bak yang berisi asam atau basa. Teknik ini menghasilkan membran dengan ukuran pori sekitar 0,02-10 μm .

Template-leaching. Teknik ini digunakan untuk membuat membran berpori dengan cara *leaching-out* salah satu komponen dalam film. Proses dilakukan dengan cara mendinginkan lelehan homogen (suhu 1000-1500°C) tiga komponen (misal : $\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$), akibatnya sistem akan terpisah menjadi dua fasa. Fasa yang pertama didominasi oleh SiO_2 yang tidak larut, sedangkan fasa yang lain larut. Fasa yang kedua *dileaching* menggunakan asam atau basa. Membran yang

dihasilkan memiliki rentang diameter pori yang luas dengan ukuran minimum sekitar 0,005 μm .

Inversi fasa (*phase inversion*). Inversi fasa adalah suatu proses perubahan bentuk polimer dari fasa cair menjadi fasa padat. Larutan satu fasa (*one phase solution*) yang mengandung polimer diubah melalui proses pengendapan menjadi dua fasa yang terpisah (*two separate phase*), yaitu fasa padat yang kaya polimer dan fasa cair yang kandungan polimernya rendah. *Proto membrane* terbentuk dari larutan polimer yang *dicasting* pada suatu substrat membentuk lapisan film.

Berdasarkan cara larutan polimer memadat, inverse fasa dapat digolongkan menjadi empat, yaitu :

- (i) *nonsolvent-induced phase separation* (NIPS). Pada NIPS, larutan polimer direndam dalam bak koagulasi yang berisi nonsolven. Solven akan didorong keluar dari larutan polimer oleh nonsolven sehingga terjadi pengendapan.
- (ii) *vapor-induced phase separation* (VIPS). Pemadatan pada metoda VIPS terjadi ketika larutan polimer dikontakkan dengan udara yang mengandung nonsolven (biasanya air). Absorpsi dari nonsolven menyebabkan pengendapan.
- (iii) *evaporation-induced phase separation* (EIPS). Pada EIPS, larutan polimer dibuat dalam solven atau campuran antara *volatile* solven dan *less volatile* nonsolven kemudian solven diuapkan sehingga terjadi pengendapan.
- (iv) *thermally induced phase separation* (TIPS). Pada TIPS, larutan polimer *dicasting* pada temperatur tinggi kemudian didinginkan sehingga terjadi pengendapan.

Pada umumnya membran ultra filtrasi (UF) dan *porous support* dari membran komposit pervaporasi (PV) dibuat dengan metode *phase separation* (Susanto dan Ulbricht, 2009).

Coating. *Coating* merupakan teknik pembuatan membran komposit yang sangat sederhana untuk memperoleh lapisan *dense* yang sangat tipis di atas permukaan membran support yang bersifat *porous*. Pada proses ini diperoleh membran yang memiliki selektifitas tinggi dan fluks yang relatif tinggi.

2.4.3. Pengaruh Berbagai Parameter Pada Morfologi Membran

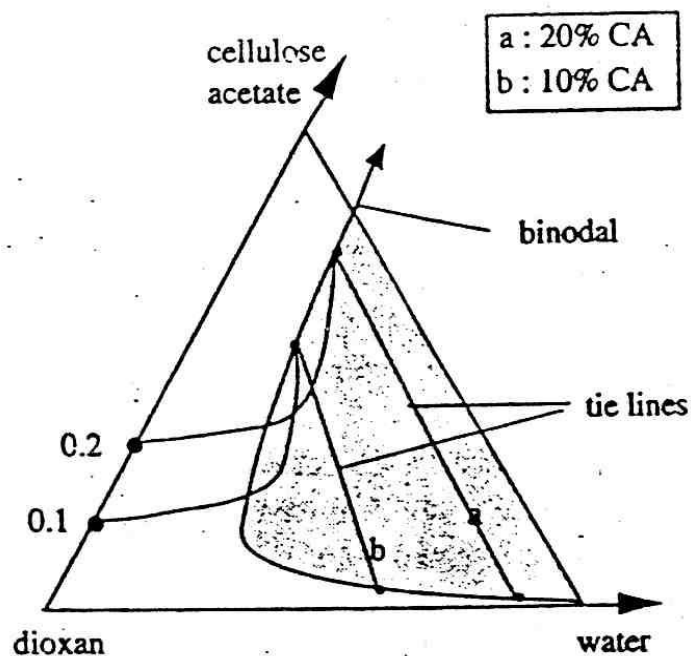
Pada pembuatan membran dengan metoda *phase inversion*, akan diperoleh dua tipe membran yang berbeda, membran berpori (mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi) dan membran *nonporous (dense)* tergantung dari mekanisme pembentukannya. *Instantaneous demixing* akan menghasilkan membran dengan lapisan atas berpori, sedangkan *delayed demixing* akan menghasilkan membran dengan lapisan atas *nonporous (dense)*. Beberapa parameter yang berpengaruh pada morfologi membran: (i) pemilihan sistem solven/nonsolven; (ii) pemilihan polimer; (iii) konsentrasi polimer; (iv) komposisi *coagulation bath*; (v) Komposisi larutan *casting* (Mulder, 1996).

Pemilihan sistem solven/nonsolven. Salah satu variabel utama pada *immersion precipitation process* adalah pemilihan sistem solven/nonsolven. Solven dan nonsolven harus saling melarutkan. Air umumnya dipilih sebagai nonsolven, walaupun nonsolven lain dapat digunakan. Sebagai contoh pada kasus pembuatan membran *cellulose acetate (CA)* dari larutan polimer 15%. Pada penggunaan aceton sebagai solven dan air sebagai nonsolven, akan diperoleh membran *dense (delayed demixing)*, sedangkan pada penggunaan solven *dimethylsulfoxide (DMSO)* dan air sebagai nonsolven, akan diperoleh membran ultrafiltrasi (*instantaneous demixing*).

Pemilihan polimer. Pemilihan polimer sangat penting karena penggunaan solven/nonsolven pada *phase inversion* sangat terbatas. Pemilihan polimer akan berdampak terhadap *fouling* dan stabilitas thermal serta kimia dari membran yang dihasilkan. PS, PES dan PAN merupakan jenis polimer yang dapat digunakan untuk pembuatan membran ultrafiltrasi dengan *dimethylformamide (DMF)* sebagai solven dan air sebagai nonsolven.

Komposisi *coagulation bath*. Penambahan solven ke dalam *coagulation bath* akan berpengaruh pada struktur membran yang terbentuk. Semakin besar konsentrasi solven di dalam *coagulation bath* berdampak pada penurunan konsentrasi polimer pada *interface*, sehingga dihasilkan membran dengan ukuran pori semakin besar.

Konsentrasi polimer. Kenaikan konsentrasi polimer pada larutan *casting* akan menyebabkan kenaikan konsentrasi polimer pada *interface*, akibatnya membran yang dihasilkan akan memiliki ukuran pori yang semakin kecil dan fluks yang rendah. Menurut Susanto dan Ulbrich (2009), membran UF diperoleh dari larutan polimer dengan konsentrasi 12-20% berat, sementara membran RO diperoleh dari larutan polimer dengan konsentrasi $\geq 20\%$ berat. Gambar 2.5 menyajikan diagram fasa sistem CA/dioxan/air pada konsentrasi 10% dan 20% CA dalam larutan *casting*.



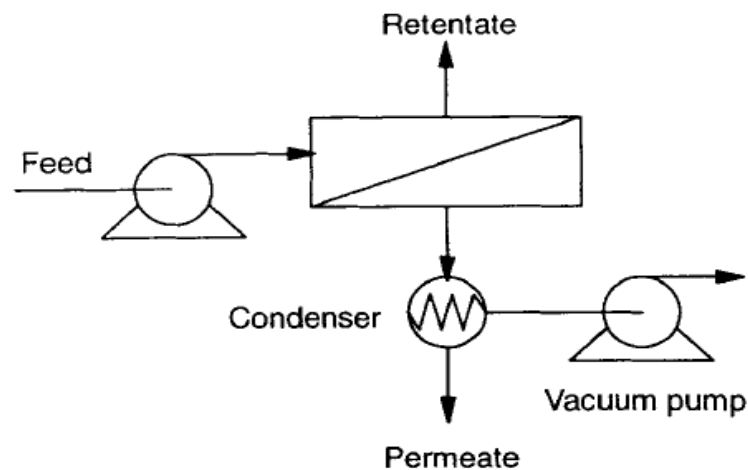
Gambar 2.5. Diagram fasa sistem CA/dioxan/air pada konsentrasi 10% dan 20% CA dalam larutan *casting* (Mulder, 1996)

Komposisi larutan *casting*. Penambahan nonsolven pada larutan *casting* akan berpengaruh terhadap struktur membran yang dihasilkan. Sebagai contoh kasus pengaruh penambahan air pada berbagai konsentrasi dalam sistem CA/acetone/air. Ketika tidak ada penambahan air ke dalam larutan *casting*, pembentukan membran melewati mekanisme *delayed demixing*, sehingga diperoleh membran *nonporous*. Penambahan air pada larutan *casting* menyebabkan struktur pori membran semakin terbuka.

2.5. Pervaporasi

2.5.1. Pengertian dan Prinsip Kerja Pervaporasi

Pervaporasi (PV) adalah proses pemisahan dengan menggunakan membran, umpan yang akan dipisahkan dikontakkan dengan permukaan membran, sementara permeat dengan tekanan uap yang lebih rendah dipisahkan/diambil. Gaya dorong proses didapatkan dengan penggunaan gas inert atau pompa vakum pada bagian permeat sehingga tekanan uap pada sisi permeat akan lebih rendah dibandingkan dengan tekanan parsial pada umpan. Skema prinsip kerja PV disajikan pada Gambar 2.6.

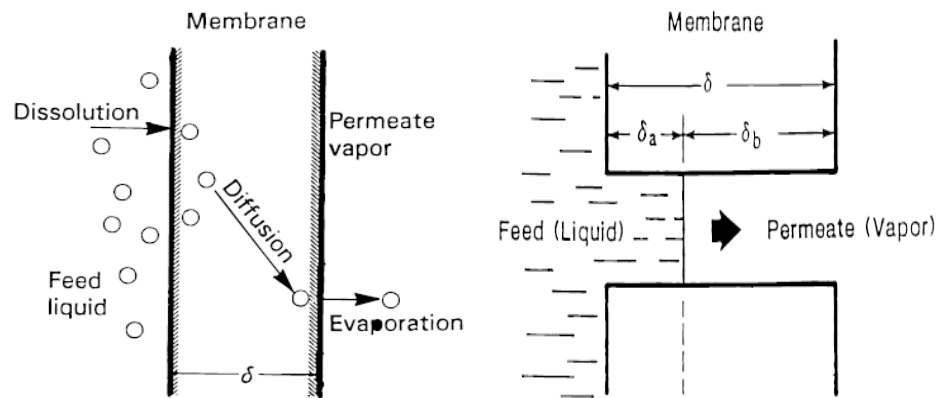


Gambar 2.6. Skema prinsip kerja PV (Zhang dan Drioli, 1995)

2.5.2. Teori Perpindahan Massa Pada Pervaporasi

Dua pendekatan telah diperkenalkan dalam menggambarkan perpindahan massa dalam proses PV, yaitu (i) model pelarutan dan difusi (*solution-diffusion*) yang dikembangkan oleh Wijman dan Baker (1995) dan (ii) model aliran dalam pori (*pore flow*) yang dikembangkan oleh Okada dan Matsura (1991). Dalam model *solution diffusion*, tiga proses pemisahan dengan PV meliputi (i) sorpsi komponen permeat dari umpan ke membran, (ii) difusi permeat dalam membran dan (iii) desorpsi permeat ke fase uap pada sisi permeat. Kelarutan (*solubility*) dan difusifitas (*difusivity*) dipengaruhi oleh konsentrasi. Dalam model *pore flow*, membran diasumsikan mempunyai pori silinder yang lurus sepanjang

ketebalan membran. Perpindahan massa terjadi dengan tiga tahapan, yaitu (i) perpindahan cairan dari fase umpan ke fase batas cair-uap, (ii) penguapan pada fase batas dan (iii) perpindahan uap dari fase batas ke fase uap. Gambar 2.7 mengilustrasikan perpindahan massa pada PV.



Gambar 2.7. Skema model perpindahan massa proses PV : Model *Solution-Diffusion* (kiri) dan Model *Pore-Flow* (kanan) (Feng dan Huang, 1997)

Berdasarkan mekanisme *solution-diffusion*, kecepatan permeasi dari komponen i (J_i) yang melewati membran dalam pervaporasi dapat dinyatakan dengan hukum pertama dari *Fick's* (Zhang dan Drioli, 2007) :

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

Kecepatan permeasi dapat dituliskan dalam bentuk lain, yaitu :

$$J_i = D_i \frac{C_i' - C_i''}{\delta} \quad (2.2)$$

Dimana :

$$C_i' = S_i \cdot p_i' \quad (2.3)$$

$$C_i'' = S_i \cdot p_i'' \quad (2.4)$$

Sehingga :

$$J_i = \frac{P_i}{\delta} (p_i' - p_i'') \quad (2.5)$$

Dimana :

$$P_i = D_i \cdot S_i \quad (2.6)$$

Umumnya pervaporasi dilakukan pada tekanan *downstream* yang rendah,

maka $p' \gg p'' \rightarrow 0$ dan $C' \gg C'' \rightarrow 0$, dan tekanan uap *upstream* sama dengan tekanan jenuh uap murninya (p_i^o), sehingga persamaan (2.2) dan persamaan (2.5) dapat disederhanakan menjadi :

$$J_i = D_i \cdot C_i' / \delta \quad (2.7)$$

$$J_i = \frac{P_i}{\delta} p_i^o \quad (2.8)$$

S adalah parameter termodinamika yang digunakan untuk mengukur jumlah penetran yang terserap oleh membran pada kondisi setimbang. D adalah parameter kinetika yang menunjukkan seberapa cepat penetran dapat melewati membran. Difusivitas tergantung pada ukuran dari penetran, semakin besar ukuran molekulnya, maka difusivitas akan turun.

Menurut Mulder (1996), pada model *pore flow* terdapat dua persamaan perpindahan massa. Untuk membran dengan bentuk silinder paralel dengan ukuran pori cukup besar, maka proses perpindahan massanya mengikuti Persamaan *Hagen-Poiseuille* berikut :

$$J = \frac{\varepsilon \cdot r^2 \cdot \Delta P}{8 \cdot \eta \cdot \tau \cdot \Delta x} \quad (2.9)$$

Untuk membran dengan ukuran pori yang sangat kecil, maka frekuensi tumbukan antar molekul dalam pori membran sangat kecil dibanding dengan tumbukan antara molekul dengan dinding pori. Untuk kasus seperti ini maka persamaan perpindahan massanya disebut *Knudsen diffusion*.

$$J = \frac{\pi \cdot n \cdot r^2 \cdot D_k \cdot \Delta P}{R \cdot T \cdot \tau \cdot l} \quad (2.10)$$

Knudsen diffusion coefficient dihitung menggunakan persamaan (2.11) berikut :

$$D_k = 0,66 r \sqrt{\frac{8RT}{\pi M_w}} \quad (2.11)$$

2.5.3. Membran Pervaporasi

Sekalipun telah dikembangkan sejak lama, komersialisasi PV dimulai pertama kali pada tahun 1970-an dimana Chiang dan Perry dalam US Patent No. 4067805 (1978) memisahkan larutan formaldehid dengan menggunakan membran

kopolimer *styrene* dan *acrylic acid* serta *poly(vinyl butyral)*. Sedangkan penggunaan PV untuk pemisahan campuran azeotrop pertama kali dilakukan oleh Aptel dkk. (1976). Pada tahun 1980-an sebuah penemuan yang sangat menarik dipublikasikan oleh *Gesellschaft fur Trenntechnik* (GFT) (Baker, 2004). Mereka berhasil mengembangkan membran komposit yang terdiri dari lapisan tidak berpori *crosslinked poly(vinyl alcohol)* dan lapisan berpori sebagai substrat untuk dehidrasi ethanol. Sejak penemuan tersebut pengembangan untuk meningkatkan kinerja proses terus dilakukan. Optimasi terhadap parameter proses dapat meningkatkan kinerja proses namun dalam banyak kasus, kinerja proses sangat dipengaruhi oleh karakteristik membran itu sendiri (Feng dan Huang, 1997; Zhang dan Drioli, 1995).

Dalam mengembangkan membran pervaporasi ada tiga hal yang harus diperhatikan, yaitu : (i) produktifitas membran, (ii) selektivitas membran, dan (iii) stabilitas membran (Feng dan Huang, 1997). Produktifitas membran adalah ukuran kuantitas suatu komponen yang menembus melalui area tertentu dari permukaan membran dalam waktu tertentu dan sering disebut permeasi fluks. Selektivitas komponen *i* terhadap komponen *j* adalah rasio komposisi komponen *i* dan *j* dalam permeat terhadap komposisi komponen *i* dan *j* dalam umpan. Stabilitas membran adalah kemampuan untuk mempertahankan membran, baik permeabilitas maupun selektivitas untuk jangka waktu yang lama. Stabilitas membran dipengaruhi oleh sifat kimia, mekanis, dan thermal dari membran. *Swelling membrane* (pembengkakan membran) dalam cairan atau *solvent* merupakan sifat yang penting untuk diketahui karena *swelling* dapat merubah mobilitas rantai polimer membran. Peristiwa perpindahan massa pada pervaporasi sangat dipengaruhi oleh struktur rantai polimer.

Kinerja membran untuk proses PV biasanya dinyatakan dengan fluks permeat (permeabilitas) dan faktor pemisahan (selektivitas). Kualitas pemisahan akan semakin baik dengan meningkatnya selektivitas, sedangkan peningkatan selektivitas umumnya berbanding terbalik dengan fluks yang dihasilkan sehingga diperlukan suatu optimasi (Keane dkk., 2007). Fluks permeat dan selektivitas dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Mulder, 1996) :

$$J = \frac{m}{S \times t}, \left(\frac{g}{cm^2 \times h} \right) \quad (2.12)$$

$$\alpha_{A/B} = \left(\frac{y_A / y_B}{x_A / x_B} \right) \quad (2.13)$$

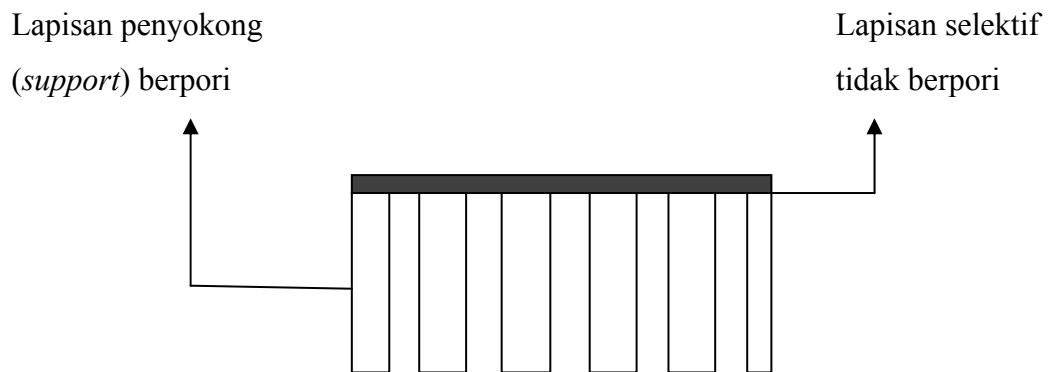
Jika α_i mendekati jumlah yang tidak terbatas, membran cenderung menjadi superselektif. Untuk aplikasi praktis dari pervaporasi, membran harus memiliki tingkat permeasi yang tinggi dan faktor pemisahan yang besar (Zhang dan Drioli, 1995). Tabel 2.2 menyajikan kinerja dari beberapa membran pervaporasi yang diaplikasikan untuk dehidrasi ethanol.

Tabel 2.2. Kinerja membran pervaporasi untuk dehidrasi ethanol dengan kadar air umpan 10 % berat (Shao and Huang, 2007)

Membran	Suhu (°C)	Fluks (g/m ² .j)	Selektifitas
GA ^a cross-linked sodium alginat	60	300	1000
Al ³⁺ , Cr ³⁺ cross-linked sodium alginat	70	942	2750
GA cross-linked sodium alginat/kitosan	60	300	200
GA cross-linked kitosan	50	1100	6000
GA cross-linked 2x kitosan/sodium alginat	60	210	1000
Kitosan/polyacrylic acid kompleks	60	2000	1000
CS/PEIkomplek CS/PDMDAAC ^b komplek	50	650	208
GFT cross-linked PVA ^c /PAN ^d	50	90	150

^aGA : Glutaraldehyde; ^bPDMDAAC : poly(dimethyl diallyl ammonium chloride); ^cPVA : poly(vinyl alcohol); ^dPAN : poly(acrylonitrile)

Kebanyakan membran komersial PV merupakan membran komposit dengan lapisan selektif tidak berpori. Hal ini disebabkan oleh kenyataan bahwa membran komposit dapat menggabungkan keunggulan perpindahan massa dan kekuatan mekanik yang dibutuhkan. Untuk mencapai selektifitas yang tinggi, polimer membran harus mempunyai interaksi yang lebih dengan salah satu komponen pada umpan. Gambar 2.8 menunjukkan skema membran komposit PV.



Gambar 2.8. Skema struktur membran komposit PV (Susanto dan Ulbricht, 2009)

Tiga kategori lapisan selektif dikenal dalam proses PV (Jonquieres dkk., 2002) : (i) hidrofilik, (ii) organofilik dan (iii) organoselektif. Polimer hidrofilik digunakan sebagai lapisan selektif dalam proses dehidrasi cairan organik. *Poly(vinyl alcohol)* merupakan contoh polimer yang telah banyak digunakan sebagai lapisan selektif hidrofilik (Jonquieres dkk., 2002; Feng dan Huang, 1997). Berbeda dengan hidrofilik polimer, membran PV organofilik digunakan untuk memisahkan senyawa organik volatil dari larutan dengan pelarut air. Membran organoselektif digunakan untuk memisahkan campuran cairan organik-organik. Sebagai lapisan penyokong, PES dan PAN sering digunakan karena kekuatan mekanik, stabilitas kimia dan thermal yang tinggi (Susanto dan Ulbricht, 2009).

2.5.4. Pembuatan Membran Komposit

Membran komposit menggabungkan dua atau lebih material dengan karakteristik yang berbeda untuk mendapatkan kinerja yang optimal. Secara umum pembuatan membran komposit meliputi : (i) pembuatan membran berpori untuk lapisan penyokong yang biasanya dibuat dengan teknik inversi fasa dan (ii) deposisi lapisan selektif di atas permukaan lapisan penyokong (Mulder, 1996). Terdapat beberapa metode dalam pembuatan membran komposit: (i) *Laminating*, (ii) *Dip-coating*, (iii) *Plasma polimerization*, (iv) *Interfacial polimerization* (Cadotte, 1985).

Laminating. Pada metode *laminating*, lapisan film yang sangat tipis dicasting kemudian dilaminasikan pada membran support berpori (MF). Metode ini telah digunakan pada pembuatan membran RO untuk desalinasi air.

Dip-coating. Metode *dip-coating* sangat sederhana sehingga banyak digunakan untuk pembuatan membran komposit. Larutan polimer dilapiskan di atas membran support (MF), dilanjutkan dengan pengeringan sehingga terjadi *crosslinking* antara lapisan *coating* dengan membran support. Hasilnya berupa lapisan tipis polimer yang menempel pada membran support. Terdapat dua permasalahan yang mungkin terjadi : (i) penetrasi larutan *coating* yang encer ke dalam pori membran support dan (ii) terbentuknya *defective coating*. Masalah pertama dapat dikurangi dengan melakukan *precoating* terhadap support menggunakan *protective layer* dari polimer hidrophilik seperti *polyacrylic acid* atau dengan mengisi pori menggunakan *wetting liquid* seperti air atau gliserin. Masalah kedua dapat dikurangi dengan menambahkan *intermediate layer* antara *selective polymer layer* dengan substrat berpori.

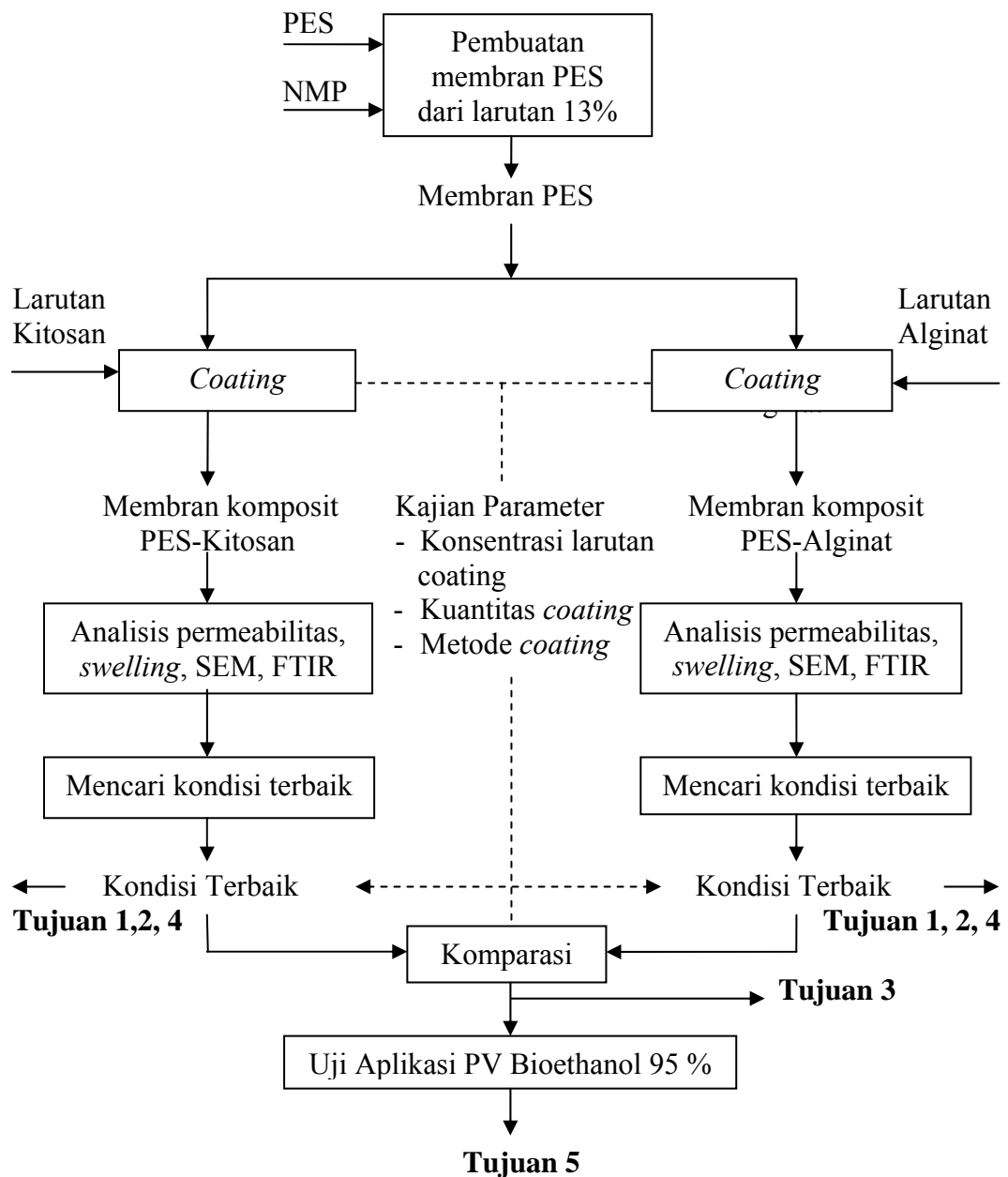
Plasma polimerization. *Plasma polimerization* merupakan salah satu metoda yang digunakan untuk memperoleh lapisan *dense* tipis di atas permukaan lapisan berpori. Plasma diperoleh dengan cara melakukan ionisasi gas menggunakan energi listrik dengan frekuensi di atas 10 MHz (Mulder, 1996).

Interfacial polimerization. Metoda ini dikembangkan oleh Cadotte dkk.. *Selective layer* terbentuk melalui polikondensasi atau poliaddisi dari *reactive monomer* atau *prepolimer* pada permukaan *porous support*. *Post treatment* seperti pemanasan digunakan untuk memperoleh struktur *cross-linked* dari *selective barrier*.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Rancangan Penelitian

Penelitian menggunakan metode eksperimental yang dilakukan di laboratorium dengan rancangan seperti yang disajikan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram rancangan penelitian

3.2. Rancangan Variabel

Rancangan variabel yang akan digunakan pada penelitian ini disajikan pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2.

Tabel 3.1. Rancangan variabel pembuatan membran komposit PES-Kitosan

Run	Variabel		Yang dihitung	Hasil
	Konsentrasi Kitosan(C)	Kuantitas <i>Coating</i> (n) <i>Casting</i> <i>Penyapuan</i>		
1.	0,5 %	1 x	- permeabilitas	C & n
2.	1,0 %	1 x	- derajat <i>swelling</i>	opt.
3.	1,5 %	1 x	- uji FTIR	
4.	2,0 %	1 x	- uji SEM	
5.	2,5 %	1 x		
6.	0,5 %	2 x		
7.	1,0 %	2 x		
8.	1,5 %	2 x		
9.	2,0 %	2 x		
10.	2,5 %	2 x		
11.	0,5 %	3 x		
12.	1,0 %	3 x		
13.	1,5 %	3 x		
14.	2,0 %	3 x		
15.	2,5 %	3 x		
16.	0,5 %		1 x	
17.	1,0 %		1 x	
18.	1,5 %		1 x	
19.	2,0 %		1 x	
20.	2,5 %		1 x	
21.	0,5 %		2 x	
22.	1,0 %		2 x	
23.	1,5 %		2 x	
24.	2,0 %		2 x	
25.	2,5 %		2 x	
26.	0,5 %		3 x	
27.	1,0 %		3 x	
28.	1,5 %		3 x	
29.	2,0 %		3 x	
30.	2,5 %		3 x	

Kondisi tetap yang digunakan :

- Membran penyokong : PES
- Solven larutan kitosan : larutan asam asetat 1 %
- Pengeringan I : suhu kamar selama 2 jam
- Pengeringan II : dengan oven suhu 40°C selama 24 jam

Tabel 3. 2. Rancangan variabel pembuatan membran komposit PES-Alginat

Run	Variabel		Yang dihitung	Hasil
	Konsentrasi Alginat(C)	Kuantitas <i>Coating</i> (n) <i>Casting</i> Penyapuan		
1.	0,5 %	1 x	- permeabilitas	C & n
2.	1,0 %	1 x	- derajat <i>swelling</i>	opt.
3.	1,5 %	1 x	- uji FTIR	
4.	2,0 %	1 x	- uji SEM	
5.	2,5 %	1 x		
6.	0,5 %	2 x		
7.	1,0 %	2 x		
8.	1,5 %	2 x		
9.	2,0 %	2 x		
10.	2,5 %	2 x		
11.	0,5 %	3 x		
12.	1,0 %	3 x		
13.	1,5 %	3 x		
14.	2,0 %	3 x		
15.	2,5 %	3 x		
16.	0,5 %		1 x	
17.	1,0 %		1 x	
18.	1,5 %		1 x	
19.	2,0 %		1 x	
20.	2,5 %		1 x	
21.	0,5 %		2 x	
22.	1,0 %		2 x	
23.	1,5 %		2 x	
24.	2,0 %		2 x	
25.	2,5 %		2 x	
26.	0,5 %		3 x	
27.	1,0 %		3 x	
28.	1,5 %		3 x	
29.	2,0 %		3 x	
30.	2,5 %		3 x	

Kondisi tetap yang digunakan :

- Membran penyokong : PES
- Solven larutan alginat : aquadest
- Pengeringan I : suhu kamar selama 2 jam
- Pengeringan II : dengan oven suhu 40°C selama 24 jam

3.3. Bahan dan Alat Penelitian

3.3.1. Bahan Penelitian

Bahan yang akan digunakan dalam penelitian disajikan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Daftar bahan yang digunakan

Bahan/ <i>Chemical</i>	Kemurnian	Supplier	Fungsi
PES	$\geq 99,5 \%$	Merck	Bahan kerja
<i>N-Methyl Pyrrolidone</i>	$\geq 99,5 \%$	Merck	Bahan kerja
Kitosan		Aldrich	Bahan kerja
Alginat (SA)		Zigma	Bahan kerja
Asam asetat glacial	100 %	Merck	Bahan kerja
Aquadest			Bahan kerja
Ethanol teknis	$\pm 95 \%$		Bahan analisa
Ethanol p.a.	100 %	Merck	Bahan analisa

3.3.2. Alat Penelitian

Alat yang akan digunakan penelitian ini meliputi plate kaca ukuran 15 cm x 25 cm, pisau *casting*, bak untuk perendaman, oven, neraca elektrik, dan alat uji permeabilitas, pervinginasi, FTIR (*Fourier Transform Infrared*), dan SEM (*Scanning Electron Microscopy*).

3.4. Prosedur Penelitian

3.4.1. Prosedur Pembuatan Lapisan Penyokong (Membran Berpori)

Membran dibuat dengan metode pemisahan phase (*phase separation*) menggunakan air sebagai nonsolven. Untuk membuat larutan PES 13%, lima belas gram polimer PES dilarutkan dalam 100 ml solven NMP dan diaduk sampai benar-benar larut. Enam ml larut kemudian *dicasting* dengan ketebalan 200 mikron di atas permukaan substrat kaca ukuran 15cm x 25 cm. Hasil *casting* selanjutnya dimasukkan ke dalam bak yang berisi satu liter aquadest dan direndam selama satu jam. Membran yang dihasilkan dibilas dan direndam dalam aquadest selama 24 jam untuk menghilangkan solven yang tersisa. Selanjutnya

membran dikeringkan pada suhu kamar selama 2 jam dan dilanjutkan dengan pengeringan dalam oven pada suhu 40°C selama 24 jam.

3.4.2. Prosedur Pembuatan Membran Komposit (*Coating Lapisan Dense*)

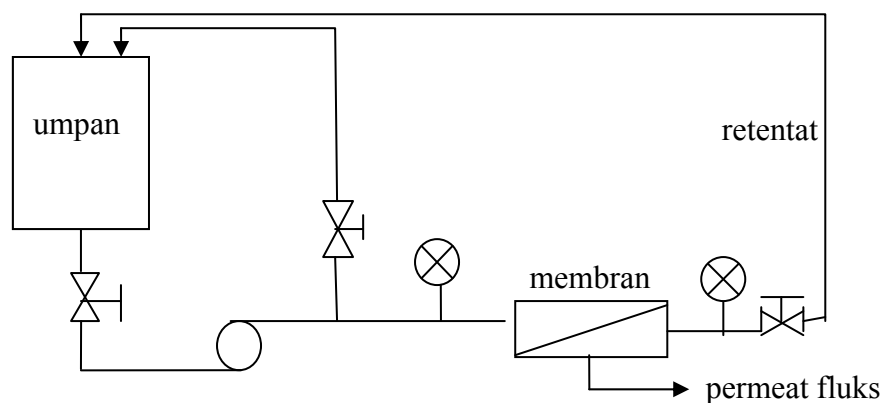
Untuk membuat membran komposit dengan teknik *dip-coating*, permukaan aktif membran penyokong PES dilapisi menggunakan larutan kitosan atau alginat. Satu gram kitosan dilarutkan dalam sembilan puluh sembilan ml larutan 1% asam asetat dalam air dan diaduk hingga diperoleh larutan homogen. Larutan kitosan kemudian *dicasting* pada permukaan aktif membran penyokong. Setelah itu membran dikeringkan pada suhu kamar selama 2 jam dan dilanjutkan dengan pengeringan dalam oven pada temperature 40°C selama 24 jam. Prosedur ini digunakan untuk pembuatan membran komposit sesuai dengan variabel proses seperti tersaji pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2.

3.5. Teknik Analisis

3.5.1. Teknik Pengumpulan Data dan Sampel

Produk membran komposit yang dihasilkan selanjutnya dianalisis untuk menentukan karakteristik membran yang meliputi: (1) Uji permeabilitas air; (2) Uji *swelling*; (3) Uji FTIR (*Fourier Transform Infrared*); (4) Uji SEM (*Scanning Electrone Microscopy*); (5) Aplikasi Pervaporasi

Uji Permeabilitas Air. Diagram alir untuk menentukan uji permeabilitas air disajikan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Diagram alir percobaan untuk penentuan permeabilitas air

Permeabilitas adalah laju volumetrik cairan yang melewati membran (permeat) per luas membran per waktu per unit tekanan antar membran. Permeabilitas merupakan indikator dasar yang digunakan untuk mengetahui produktifitas dari sebuah membran. Besarnya permeabilitas membran dapat dinyatakan dalam $\text{kg/m}^2 \cdot \text{jam} \cdot \text{bar}$. Permeabilitas air diukur dengan mengalirkan air murni ke dalam modul membran dengan tekanan tertentu. Volume permeat yang dihasilkan akan diukur secara gravimetri untuk jangka waktu tertentu. Permeabilitas air murni merupakan gradien dari grafik hubungan antara fluks dengan tekanan.

Uji *Swelling*. Uji *swelling* dilakukan dalam air, ethanol teknis dan ethanol pa. Membran komposit yang telah dikeringkan ditimbang, kemudian direndam dalam air selama 2 jam. Setelah itu permukaan membran yang dalam keadaan *swollen* diusap dengan tissue dan kemudian ditimbang. Prosedur yang sama dilakukan untuk uji *swelling* dalam alkohol teknis maupun alkohol pa. Derajat *swelling* dihitung dengan persamaan berikut :

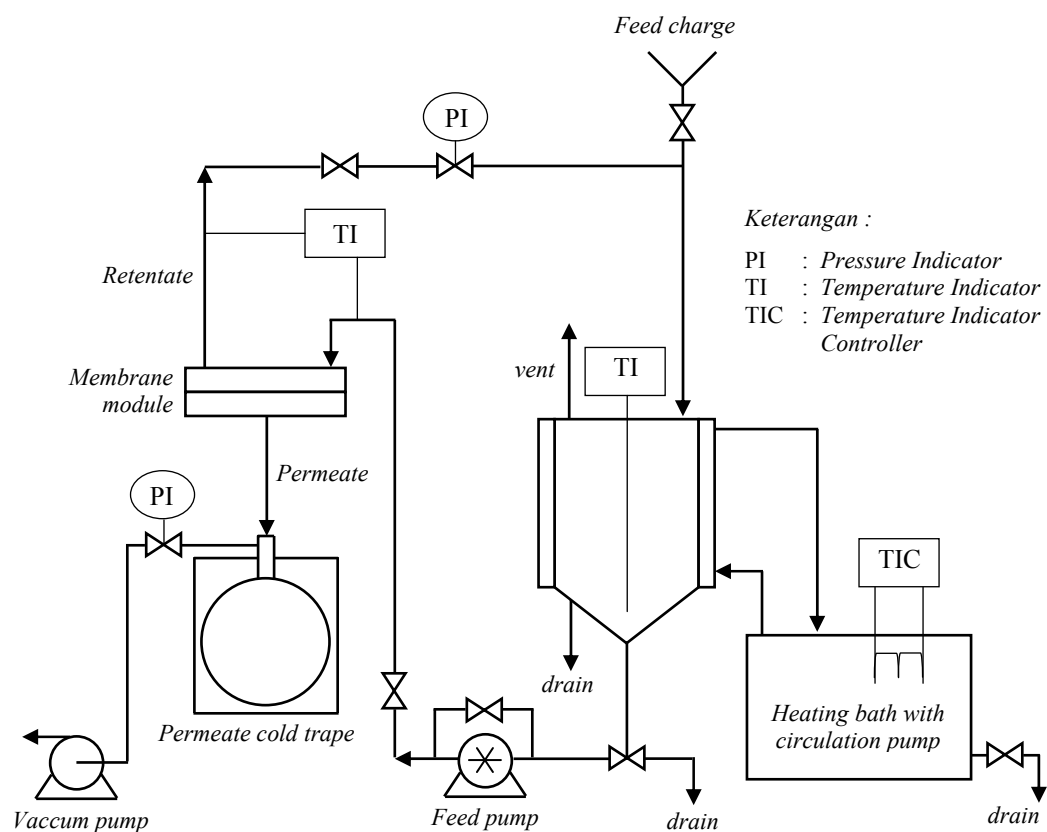
$$\text{Derajat } swelling = \frac{m_w - m_d}{m_d}$$

Dengan m_w dan m_d berturut-turut adalah berat membran komposit dalam keadaan basah dan kering.

Uji FTIR. Pengamatan terhadap gugus fungsional menggunakan uji *fourier transform infrared* (FTIR) dilakukan di Sentra Teknologi Polimer (STP)-BPPT. Pada penelitian ini akan dibandingkan spektroskopi *fourier transform infrared* (FTIR) spektrum IR membran penyokong dan membran komposit serta pengaruh kadar lapisan *coating* terhadap intensitas panjang gelombang yang diperoleh. Untuk Kitosan akan dilihat spektrum dari gugus OH dan NH_2 , sedangkan untuk alginat akan dilihat spektrum dari gugus OH dan COONa

Uji SEM. Morfologi permukaan membran akan diamati dengan menggunakan alat *scanning electron microscopy* (SEM JEOL JSM 6510) dengan perbesaran 5000x dengan standar ASTM E 1252.. Uji SEM dilakukan di Badan Tenaga Atom Nasional (BATAN) Serpong.

Aplikasi Pervaporasi. Membran dengan permeabilitas tertinggi dan terendah dilakukan uji pervaporasi. Kadar bioethanol yang dihasilkan dari aplikasi pervaporasi diketahui dengan cara membandingkan indeks bias bioethanol yang diperoleh dengan kurva baku kadar bioethanol. Pembuatan kurva baku kadar bioethanol dilakukan dengan cara mengencerkan etanol absolut p.a. dengan air suling sampai didapatkan kadar bioethanol yang bervariasi dari kadar 94,00 % sampai 99,90 %. Setelah didapatkan masing-masing konsentrasi etanol tersebut, tiap konsentrasi dibaca indeks biasnya dengan menggunakan refraktometer.



Gambar 3.3. Skema alat pervaporasi

3.5.2. Analisis Data Percobaan

Pengolahan data hasil percobaan dilakukan dengan menggunakan metode diskriptif.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

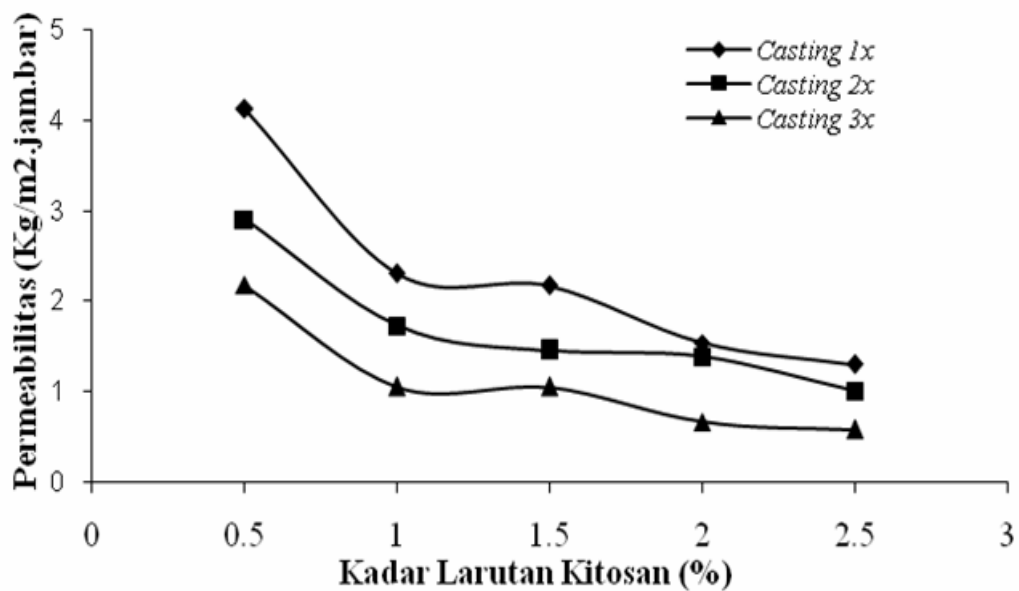
4.1. Pengaruh Konsentrasi Larutan Biopolimer

4.1.1. Kitosan

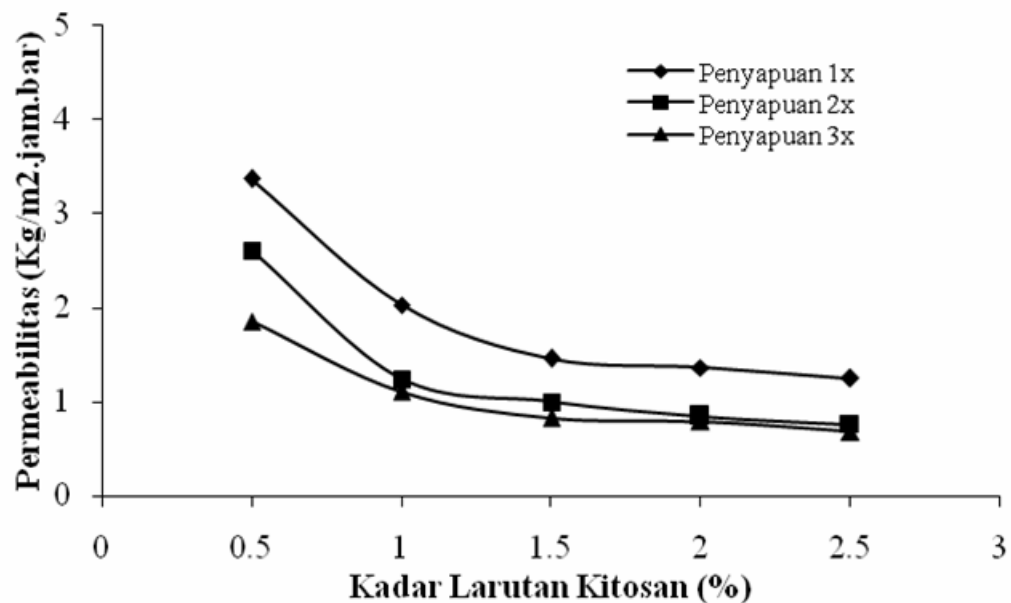
Pada penelitian ini, larutan asam asetat 1% digunakan sebagai pelarut kitosan. Penelitian ini bertujuan mengkaji pengaruh kadar larutan kitosan, kuantitas *coating* dan metode *coating* (*casting* dan penyapuan) terhadap karakteristik membran PES-Kitosan.

Pengaruh konsentrasi larutan kitosan terhadap permeabilitas serta derajat *swelling* dalam air, alkohol teknis, dan alkohol absolut dari membran komposit PES-Kitosan berturut-turut disajikan pada Gambar 4.1., Gambar 4.2., Gambar 4.3. dan Gambar 4.4. Pada Gambar 4.1 terlihat bahwa kenaikan kadar larutan kitosan pada membran komposit PES-Kitosan yang dibuat dengan metode *casting* maupun penyapuan, berdampak pada penurunan permeabilitas. Hal ini disebabkan karena kenaikan kadar larutan kitosan berdampak pada kenaikan ketebalan lapisan *coating*. Semakin tebal lapisan *coating* yang terdapat pada membran komposit, akan menyebabkan permeabilitas semakin turun (Mulder, 1996; Zhang dan Drioli, 1995). Meskipun kitosan bersifat hidrofilik (Bhat dan Aminabhavi, 2007; Uragami, 2005) sehingga diharapkan mampu menaikkan permeabilitas, namun ternyata ketebalan lapisan *coating* lebih kompetitif berpengaruh terhadap permeabilitas dibandingkan sifat hidrofilik. Hal ini juga didukung dari hasil analisa SEM. Dengan membandingkan Gambar 4.11 dan Gambar 4.12 tentang foto SEM tampak atas membran PES dan membran PES-Kitosan terlihat bahwa *coating* berpengaruh terhadap *pore blocking*. Pada Gambar 4.12 tampak bahwa kenaikan kadar larutan kitosan berdampak pada peningkatan *pore blocking* yang berimbas pada penurunan permeabilitas seperti terbukti pada penelitian ini. Hasil analisis FTIR seperti tersaji pada Gambar 4.15 dan Gambar 4.16 mendukung fenomena tersebut. Pada Gambar tersebut tampak bahwa kenaikan kadar larutan kitosan berdampak pada kenaikan intensitas pada daerah bilangan gelombang yang dimiliki oleh gugus hidroksil dan amina. Permeabilitas

tertinggi sebesar 4,119 kg/m².jam.bar diperoleh pada penggunaan konsentrasi larutan kitosan 0,5%, sedangkan permeabilitas terendah sebesar 0,520 kg/m².jam.bar diperoleh pada penggunaan konsentrasi larutan kitosan 2,5%.



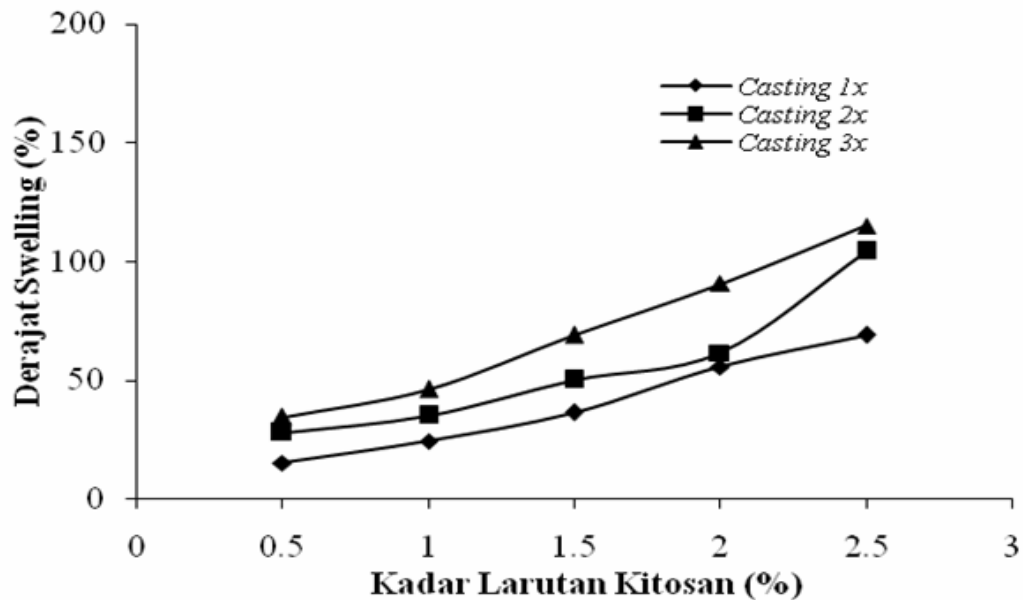
(a)



(b)

Gambar 4.1. Pengaruh kadar larutan kitosan pada berbagai kuantitas *coating* terhadap permeabilitas air dari membran komposit PES-Kitosan : (a) metode *casting*; (b) metode penyapuan

Pengaruh kadar larutan kitosan terhadap derajat *swelling* dalam air disajikan pada Gambar 4.2.

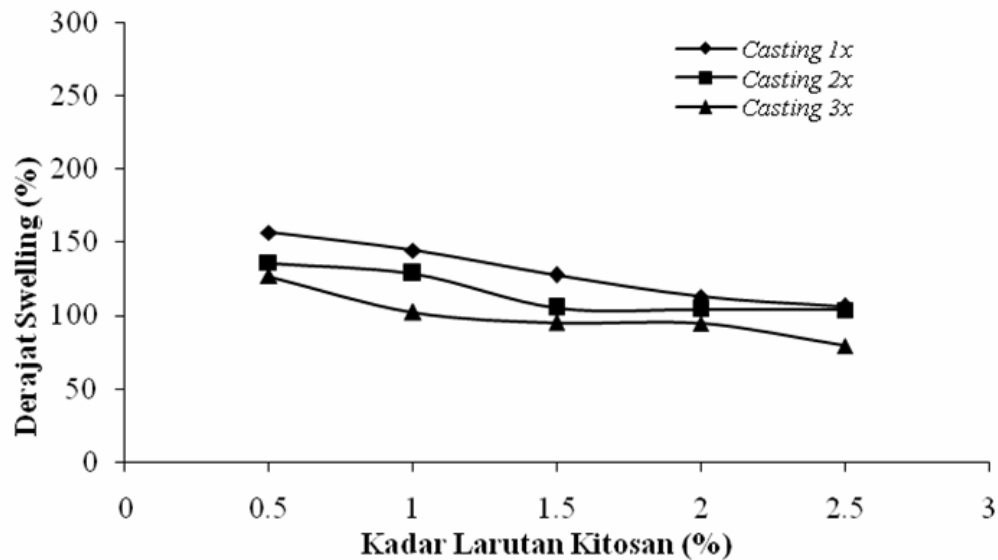


Gambar 4.2. Pengaruh kadar larutan kitosan pada berbagai kuantitas *coating* terhadap derajat *swelling* dalam air dari membran komposit PES -Kitosan

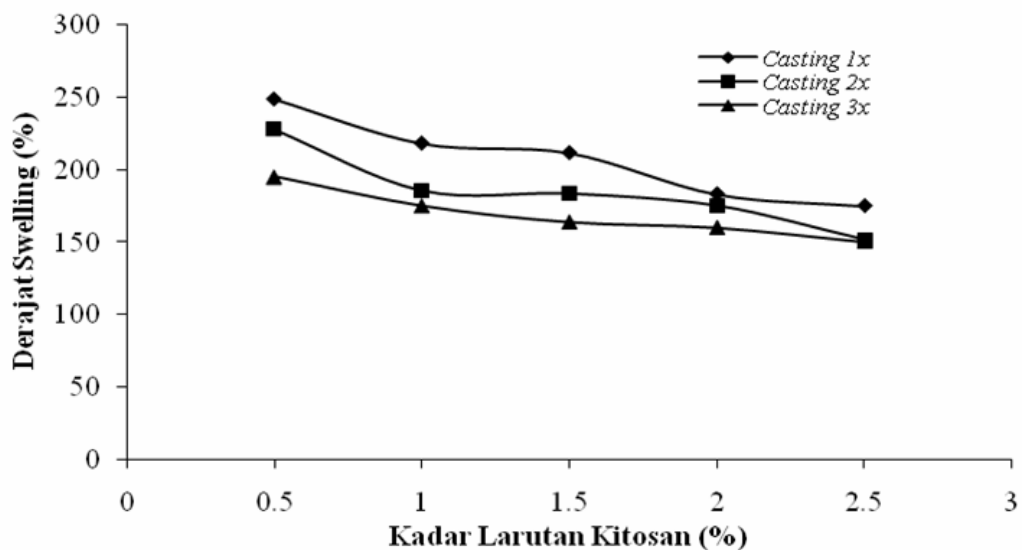
Pada Gambar 4.2. terlihat bahwa semakin tinggi kadar larutan kitosan berdampak pada kenaikan derajat *swelling* dalam air dari membran komposit PES-Kitosan. Hal ini disebabkan oleh sifat hidrofilik dari kitosan (Hasan dan Nawawi, 2003; Shao dan Huang, 2007). Semakin tinggi kadar larutan kitosan, semakin tinggi jumlah air yang dapat terserap oleh membran, sehingga berdampak pada kenaikan derajat *swelling* dalam air.

Pengaruh kadar larutan kitosan terhadap derajat *swelling* dalam alkohol teknis dan alkohol absolut disajikan pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4. Gambar 4.3. menunjukkan, semakin tinggi kadar larutan kitosan derajat *swelling* dalam alkohol teknis semakin turun. Fenomena yang sama terjadi pada pengaruh kadar larutan kitosan terhadap derajat *swelling* dalam alkohol absolut seperti yang disajikan pada Gambar 4.4. Fenomena ini terjadi karena kitosan yang bersifat hidrofilik lebih mudah menyerap air dibanding alkohol, sehingga dengan adanya kenaikan kadar larutan kitosan berdampak pada penurunan derajat *swelling* dalam alkohol. Untuk kadar larutan kitosan yang sama, derajat *swelling* dalam air

ternyata lebih rendah dibandingkan dengan derajat *swelling* dalam alkohol. Fenomena ini terjadi karena didalam alkohol membran PES mengalami *swelling* (Tsai dkk., 2006) sementara didalam air *swelling* hanya dialami oleh lapisan kitosan saja.



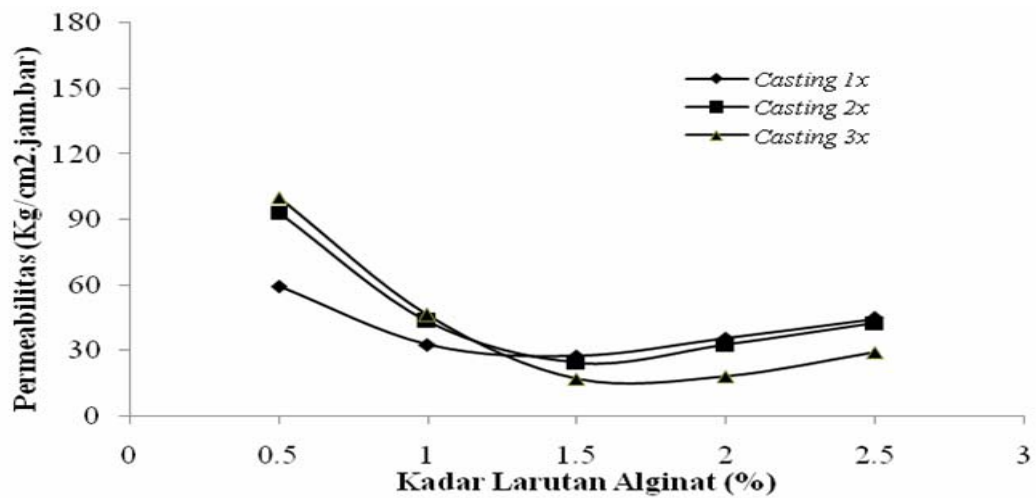
Gambar 4.3. Pengaruh kadar larutan kitosan pada berbagai kuantitas *coating* terhadap derajat *swelling* dalam alkohol teknis dari membran komposit PES-Kitosan



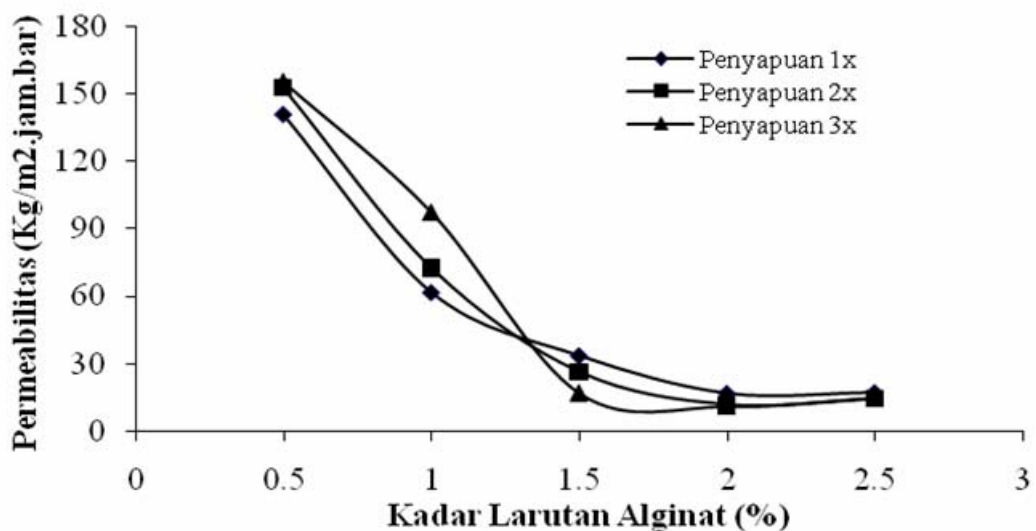
Gambar 4.4. Pengaruh kadar larutan kitosan pada berbagai kuantitas *coating* terhadap derajat *swelling* dalam alkohol absolut untuk membran komposit PES-Kitosan

4.1.2. Alginat

Pada penelitian ini, air digunakan sebagai pelarut alginat. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh kadar larutan alginat, kuantitas *coating* dan metode *coating* (*casting* dan penyapuan) terhadap karakteristik membran PES-Alginat. Gambar 4.5 menyajikan pengaruh kadar larutan alginat terhadap derajat *swelling* dalam air.



(a)

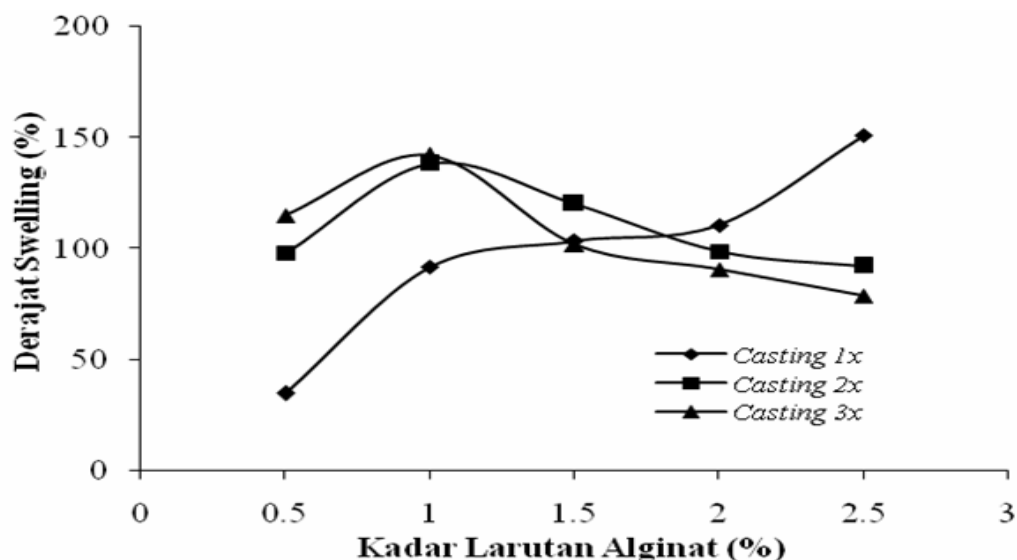


(b)

Gambar 4.5. Pengaruh kadar larutan alginat pada berbagai kuantitas *coating* terhadap permeabilitas dari membran komposit PES-Alginat : (a) metode *casting*; (b) metode penyapuan.

Pada Gambar tersebut terlihat bahwa kenaikan kadar larutan alginat dari 0,5% sampai dengan 1,5% yang digunakan untuk *coating* membran PES yang dibuat dengan metode *casting* berdampak terhadap penurunan permeabilitas dari membran PES-Alginat. Fenomena yang sama terjadi juga untuk membran PES-Alginat yang dibuat dengan metode penyapuan, hanya saja penurunan permeabilitas terjadi sampai kadar larutan alginat 2%. Penurunan ini disebabkan kenaikan ketebalan membran akan menghambat transfer massa (Shen dkk.,2005). Namun pada penggunaan kadar larutan alginat selanjutnya justru terjadi kenaikan permeabilitas karena sifat hidrofilik dari alginat lebih berpengaruh, sehingga kenaikan kadar larutan alginat berdampak pada kenaikan permeabilitas.. Permeabilitas tertinggi sebesar 155,57 kg/m².jam.bar diperoleh pada penggunaan larutan alginat 0,5% dengan kuantitas *coating* 3x, sementara permeabilitas terendah sebesar 11,01 kg/m².jam.bar diperoleh pada penggunaan kuantitas *coating* 3x dengan konsentrasi larutan alginat 1,5%.

Pengaruh kadar larutan alginat terhadap derajat *swelling* dalam air disajikan pada Gambar 4.6.

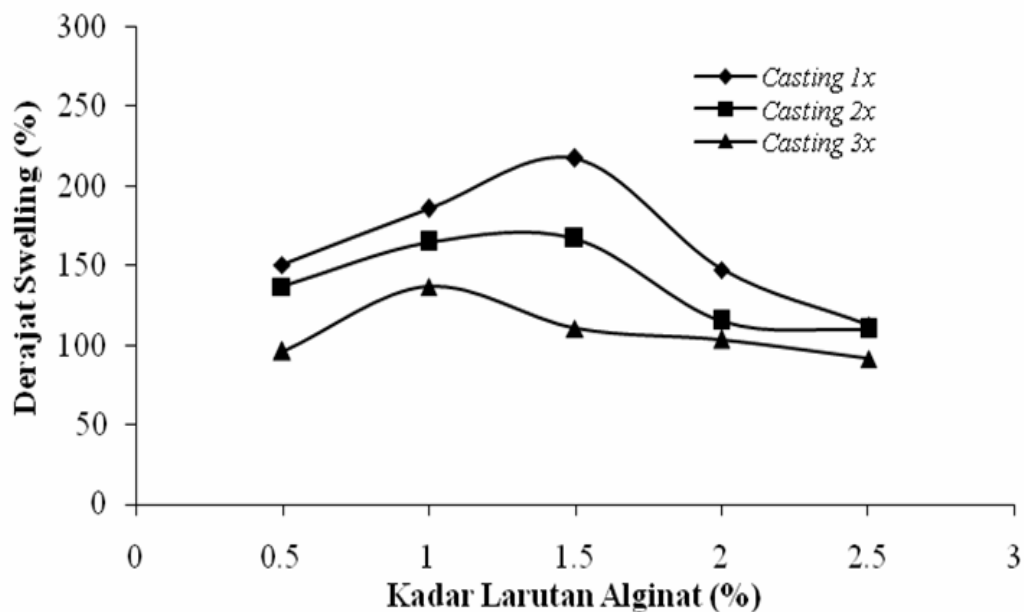


Gambar 4.6. Pengaruh kadar larutan alginat pada berbagai kuantitas *coating* terhadap derajat *swelling* dalam air dari membran komposit PES-Alginat

Pada konsentrasi larutan alginat sampai 1,0% kenaikan kadar larutan alginat berdampak pada kenaikan derajat *swelling* dalam air. Pada konsentrasi

larutan alginat yang lebih tinggi, ternyata terjadi penurunan derajat *swelling* dalam air, kecuali untuk kuantitas *coating* 1x. Fenomena ini terjadi karena pada konsentrasi di atas 1,0% dengan kuantitas *coating* di atas 1x akan terjadi *pore blocking* yang semakin besar sehingga dapat menghambat membran untuk *swelling*.

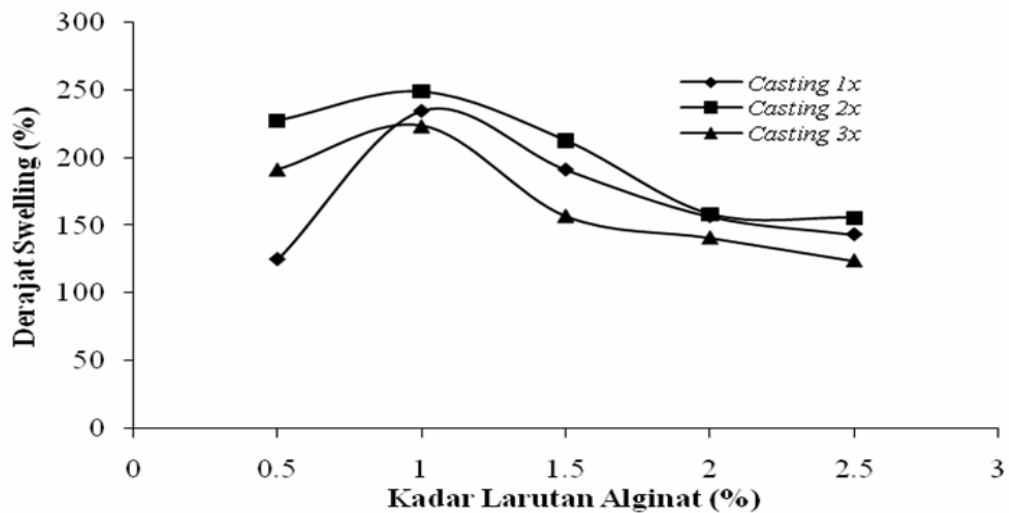
Pengaruh kadar alginat terhadap derajat *swelling* dalam alkohol teknis dan alkohol absolut berturut-turut disajikan pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8. Pada Gambar 4.7 terlihat bahwa pada awalnya kenaikan kadar larutan alginat berdampak pada kenaikan derajat *swelling* dalam alkohol teknis. Pada kadar larutan alginat antara 1% sampai 1,5%, derajat *swelling* dalam alkohol teknis mengalami penurunan. .



Gambar 4.7. Pengaruh kadar larutan alginat pada berbagai kuantitas *coating* terhadap derajat *swelling* dalam alkohol teknis dari membran komposit PES-Alginat

Fenomena yang sama terjadi pada derajat *swelling* dalam alkohol absolut seperti yang tersaji pada Gambar 4.8. Sama seperti pada membran PES-Kitosan, derajat *swelling* dalam alkohol selain dipengaruhi oleh lapisan alginat, lapisan penyokong PES juga sangat berpengaruh (Tsai dkk., 2006). Daya serap PES terhadap alkohol cukup besar berpengaruh terhadap derajat *swelling*. Pada kadar

larutan alginat di atas 1% baru terlihat adanya penurunan derajat *swelling* dalam alkohol, karena alginat lebih mudah menyerap air dibanding menyerap alkohol.



Gambar 4.8. Pengaruh kadar larutan alginat pada berbagai kuantitas *coating* terhadap derajat *swelling* dalam alkohol absolut dari membran komposit PES-Alginat

4.2. Pengaruh Kuantitas *Coating*

4.2.1. Kitosan

Pengaruh kuantitas *coating* terhadap permeabilitas serta derajat *swelling* dalam air, alkohol teknis, dan alkohol absolut dari membran komposit PES-Kitosan berturut-turut disajikan pada Gambar 4.1., Gambar 4.2., Gambar 4.3. dan Gambar 4.4.

Gambar 4.1. menunjukkan bahwa untuk kadar larutan kitosan yang tetap, maka kenaikan kuantitas *coating* menyebabkan penurunan permeabilitas. Fenomena ini terjadi baik pada membran komposit PES-Kitosan yang dibuat dengan metode *casting* maupun penyapuan. Sama halnya seperti pada pengaruh kadar larutan kitosan terhadap permeabilitas, semakin tinggi kuantitas *coating* yang digunakan menyebabkan ketebalan lapisan aktif membran semakin naik. Menurut Zhang dan Drioli (1995) ketebalan lapisan aktif akan berpengaruh terhadap permeabilitas. Semakin tinggi ketebalan membran berdampak pada penurunan permeabilitas (Mulder, 1996). Meskipun kitosan bersifat hidrofilik (Bhat dan Aminabhavi, 2007; Uragami, 2005) sehingga diharapkan mampu

menaikkan permeabilitas, namun ketebalan lapisan *coating* ternyata lebih kompetitif berpengaruh terhadap permeabilitas dibandingkan sifat hidrofilik tersebut. Selain itu dari Gambar 4.11 dan Gambar 4.12 tentang foto SEM tampak atas membran PES dan membran PES-Kitosan terlihat bahwa *coating* berpengaruh terhadap *pore blocking*. Pada Gambar 4.12 tampak bahwa kenaikan kuantitas *coating* berdampak pada peningkatan *pore blocking*. Hal ini terbukti dengan adanya penurunan permeabilitas pada kenaikan kadar larutan kitosan yang digunakan dalam penelitian ini.

Pada Gambar 4.2 terlihat, kenaikan kuantitas *coating* berdampak pada kenaikan derajat *swelling* dalam air. Karena kitosan bersifat hidrofilik (Bhat dan Aminabhavi, 2007; Uragami, 2005), maka kenaikan kuantitas *coating* menyebabkan jumlah air yang bisa terserap oleh membran akan semakin besar. Fenomena yang berbeda terjadi pada derajat *swelling* dalam alkohol teknis maupun alkohol absolut. Kenaikkan kuantitas *coating* justru menurunkan derajat *swelling* seperti yang disajikan pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4.. Hal tersebut terjadi karena kitosan lebih mudah menyerap air dibanding menyerap alkohol.

4.2.2. Alginat

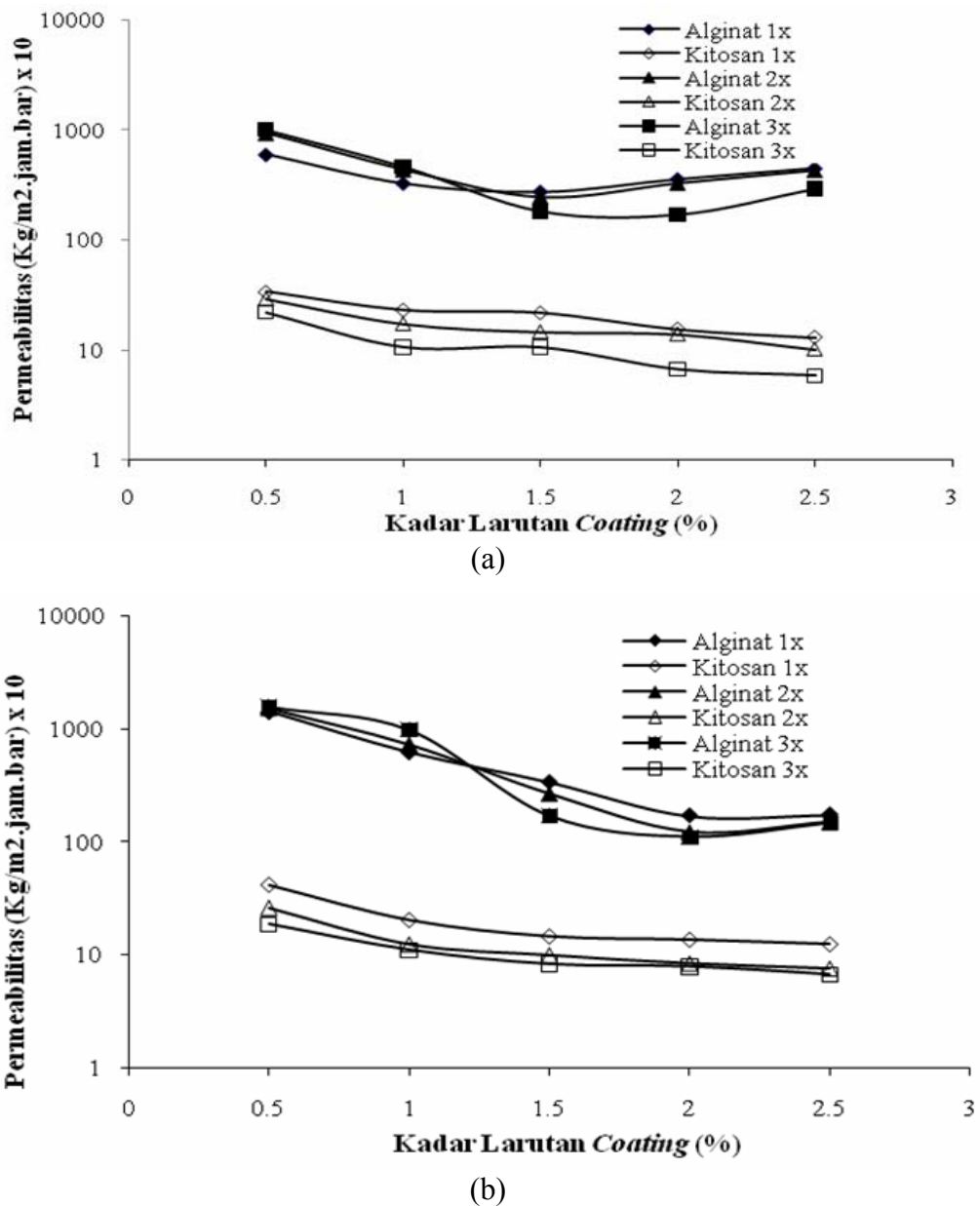
Pengaruh kuantitas *coating* terhadap permeabilitas disajikan pada Gambar 4.5. Pada Gambar 4.5 tampak bahwa kenaikan kuantitas *coating* pada awalnya berdampak pada kenaikan permeabilitas, namun pada konsentrasi kadar larutan alginat 1,5% terjadi titik balik, ternyata kenaikan kuantitas *coating* justru menurunkan permeabilitas. Fenomena ini terjadi karena ada kompetisi antara sifat hidrofilik, ketebalan membran dan *pore blocking*. Pada awalnya kompetisi dimenangkan oleh sifat hidrofilik membran, selanjutnya ketebalan membran dan *pore blocking* lebih berperan.

Pengaruh kuantitas *coating* terhadap derajat *swelling* dalam air disajikan pada Gambar 4.6. Pada konsentrasi rendah, semakin tinggi kuantitas *coating* berpengaruh pada kenaikan derajat *swelling*, tetapi pada konsentrasi tinggi justru sebaliknya. Fenomena yang sama terjadi pada pengaruh kuantitas *coating* terhadap derajat *swelling* dalam alkohol teknis maupun alkohol absolut seperti

disajikan pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8. Derajat *swelling* dalam alkohol dipengaruhi oleh membran penyokong. Pada konsentrasi rendah dengan kuantitas coating tinggi pengaruh ini cukup besar, sementara pada konsentrasi tinggi dengan kuantitas *coating* juga tinggi *pore blocking* lebih berpengaruh.

4.3. Pengaruh Tipe Coating

Pengaruh tipe *coating* terhadap permeabilitas air disajikan pada Gambar 4.9.

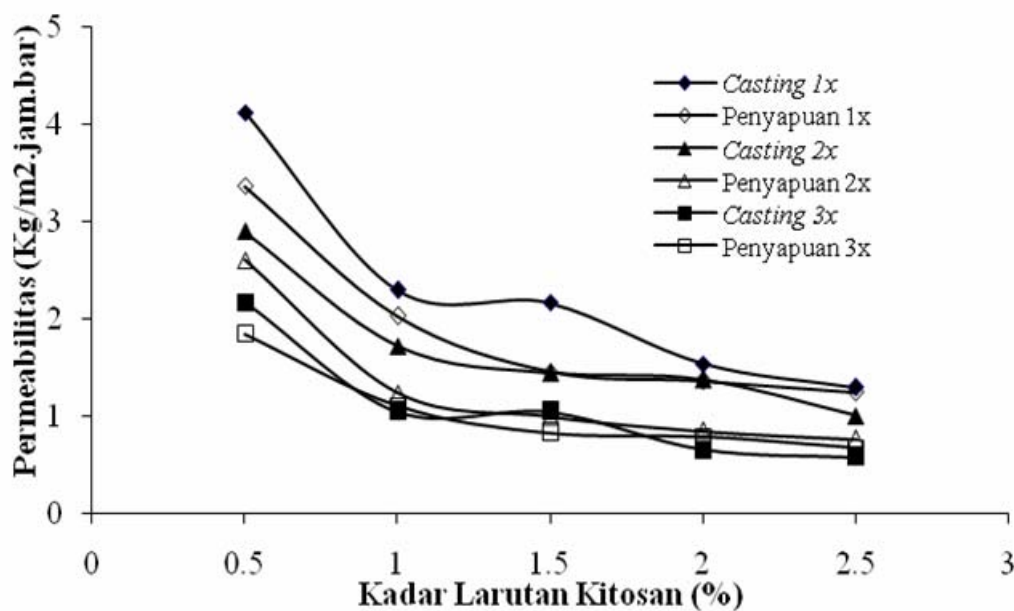


Gambar 4.9. Pengaruh kadar larutan *coating* (alginat dan kitosan) terhadap permeabilitas (a) metode *casting*; (b) metode penyapuan

Pada Gambar 4.9 terlihat, untuk kadar larutan *coating* dan kuantitas *coating* yang sama, tipe larutan *coating* (kitosan dan alginat) memberikan hasil yang berbeda. Membran PES yang dilapisi menggunakan larutan alginat memberikan permeabilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan membran PES yang dilapisi menggunakan larutan kitosan. Hal ini disebabkan oleh sifat alginat yang lebih hidrofilik dibanding kitosan karena selain memiliki gugus OH yang hidrofilik alginat juga memiliki gugus COO^- yang sangat hidrofilik.

4.4. Pengaruh Metode *Coating*

Pengaruh metode *coating* terhadap permeabilitas disajikan pada Gambar 4.10. Pada Gambar 4.10 tampak bahwa metode *coating* secara umum kurang berpengaruh pada permeabilitas. Untuk kadar larutan dan kuantitas *coating* yang sama, hasil permeabilitas menggunakan metode *casting* secara umum sedikit lebih tinggi dibandingkan menggunakan metode penyapuan. Hal ini disebabkan membran yang dihasilkan dengan metode penyapuan memiliki lapisan aktif yang sedikit lebih tebal dibandingkan dengan membran yang dihasilkan dengan metode *casting*, sehingga berdampak pada sedikit penurunan permeabilitas.



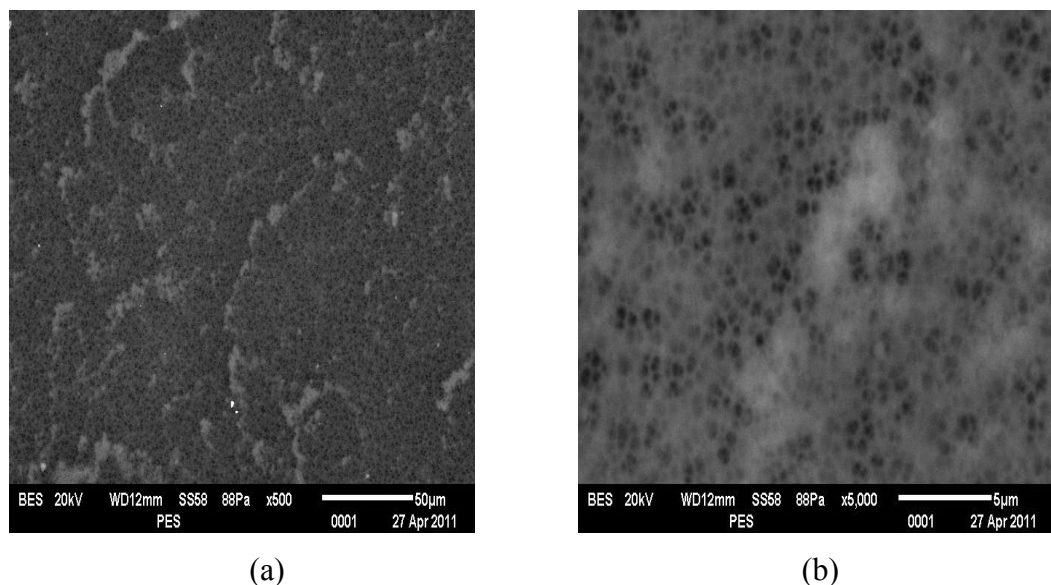
Gambar 4.10. Pengaruh metode *coating* terhadap permeabilitas pada berbagai kadar larutan kitosan dan kuantitas *coating*.

4.5. Analisis SEM

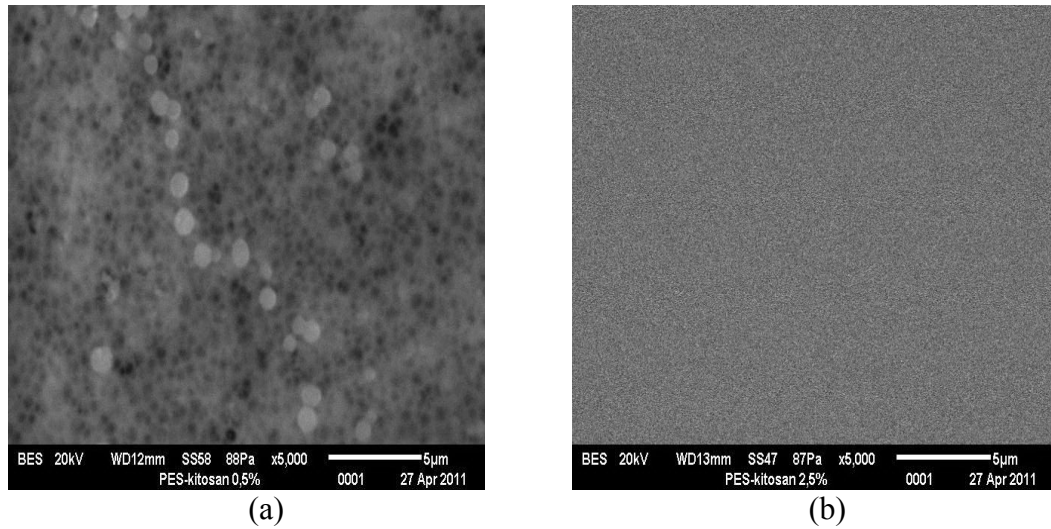
Analisis SEM dilakukan terhadap 5 membran, yaitu membran penyokong PES; membran PES yang *dicasting* menggunakan larutan kitosan 0,5% dan kuantitas *coating* 1x; membran PES yang *dicasting* menggunakan larutan kitosan 2,5% dan kuantitas *coating* 3x; membran PES yang dilapisi menggunakan larutan alginat 0,5% dan kuantitas *coating* 3x; serta membran PES yang dilapisi menggunakan larutan alginat 1,5% dan kuantitas *coating* 3x.

Analisis SEM menunjukkan bentuk dan perubahan atau morfologi permukaan dari sampel yang dianalisis. Pada prinsipnya bila terjadi perubahan suatu bahan misalnya perubahan struktur permukaan, maka bahan tersebut cenderung mengalami perubahan energi. Energi yang telah berubah tersebut dapat dipancarkan, dipantulkan dan diserap serta diubah bentuknya menjadi fungsi gelombang elektron yang dapat ditangkap dan dibaca hasilnya.

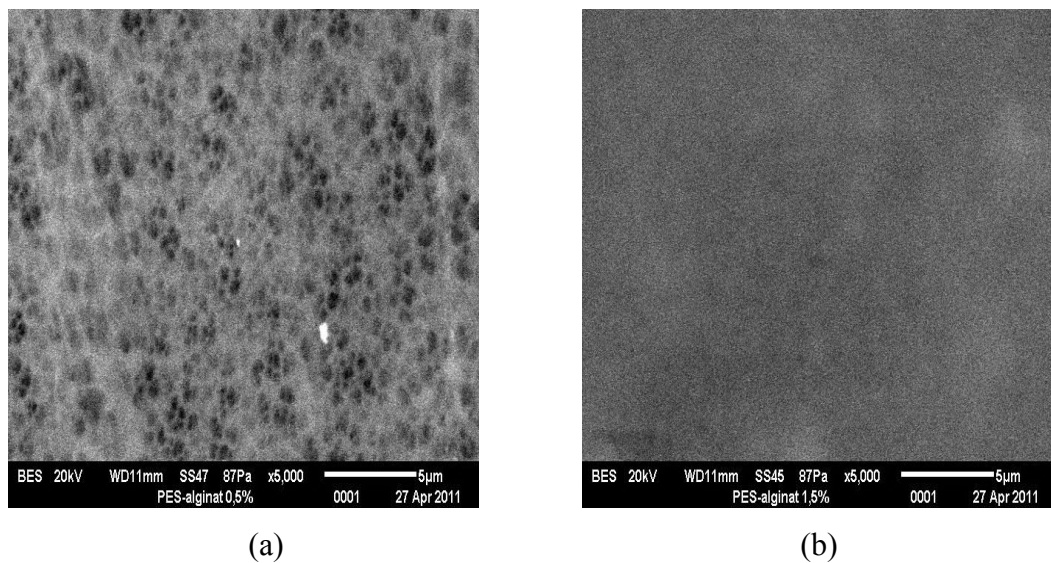
Foto SEM membran penyokong PES, membran PES yang dilapisi menggunakan larutan kitosan, membran PES yang dilapisi menggunakan larutan alginat berturut-turut disajikan pada Gambar 4.11; Gambar 4.12 dan Gambar 4.13.



Gambar 4.11. Foto SEM tampak atas membran PES (a) Perbesaran 500x; (b) Perbesaran 5000x



Gambar 4.12. Foto SEM tampak atas membran komposit PES-Kitosan pada perbesaran 5000x (a) Larutan kitosan 0,5%, *coating* 1x; (b) Larutan kitosan 2,5%, *coating* 3x



Gambar 4.13. Foto SEM tampak atas membran komposit PES-Alginat pada perbesaran 5000x (a) Larutan alginat 0,5%, *coating* 3x; (b) Larutan alginat 1,5%, *coating* 3x

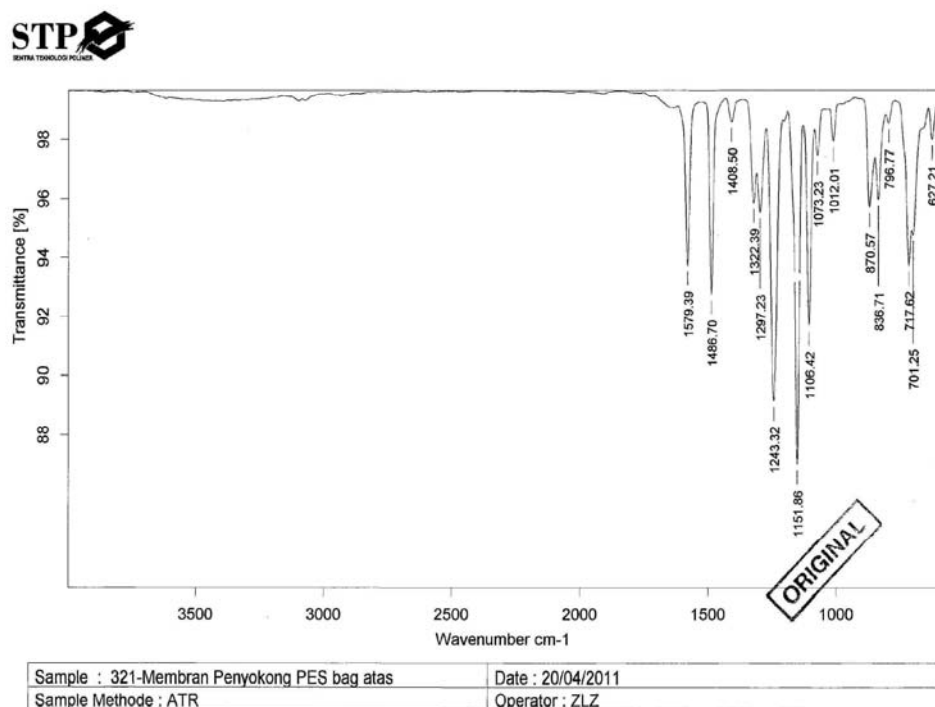
Dengan membandingkan ketiga Gambar tersebut terlihat adanya perbedaan antara foto SEM membran PES dengan membran PES yang telah dilapisi menggunakan larutan kitosan maupun larutan alginat. Pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13 tampak bahwa konsentrasi larutan biopolimer berpengaruh terhadap *pore blocking*. Pada penggunaan larutan kitosan dan larutan alginat kadar 0,5%

sudah terlihat adanya *pore blocking*. Semakin besar kadar larutan *coating* yang digunakan, *pore blocking* pada membran PES yang dilapisi larutan kitosan maupun alginat semakin meningkat.

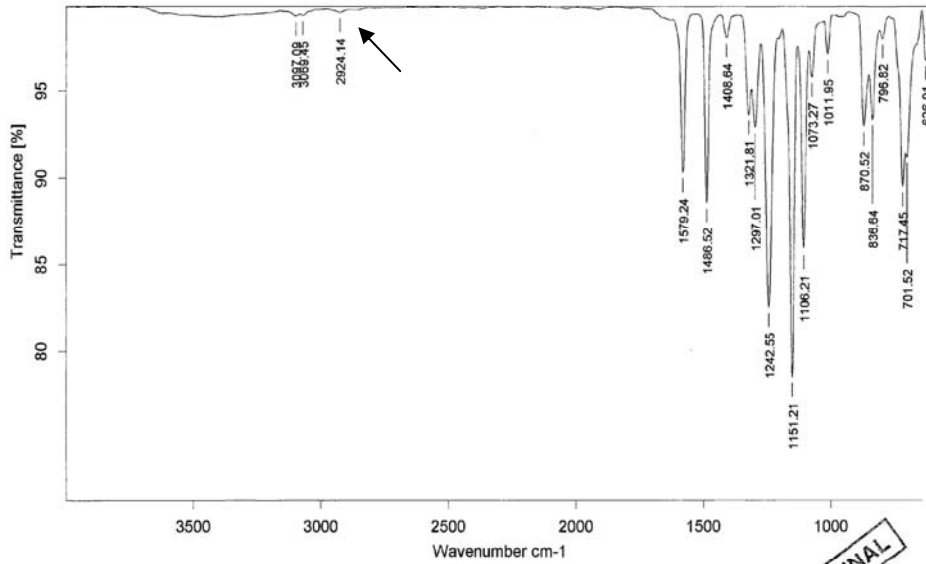
4.6. Analisis FTIR

Karakterisasi permukaan membran menggunakan metode FTIR menunjukkan puncak-puncak vibrasi tertentu dari bahan yang digunakan untuk pembuatan membran berdasarkan gugus fungsional yang dimiliki oleh masing-masing bahan tersebut.

Analisis FTIR dilakukan terhadap 5 buah membran yang berbeda, yaitu membran penyokong PES; membran PES yang dilapisi 1x menggunakan larutan 0,5% kitosan; membran PES yang dilapisi 3x menggunakan larutan 2,5% kitosan; membran PES yang dilapisi 3x menggunakan larutan 0,5% alginat dan membran PES yang dilapisi 3x menggunakan larutan 1,5% alginat dan berturut-turut disajikan pada Gambar 4.14, Gambar 4.15, Gambar 4.16, Gambar 4.17 serta Gambar 4.18



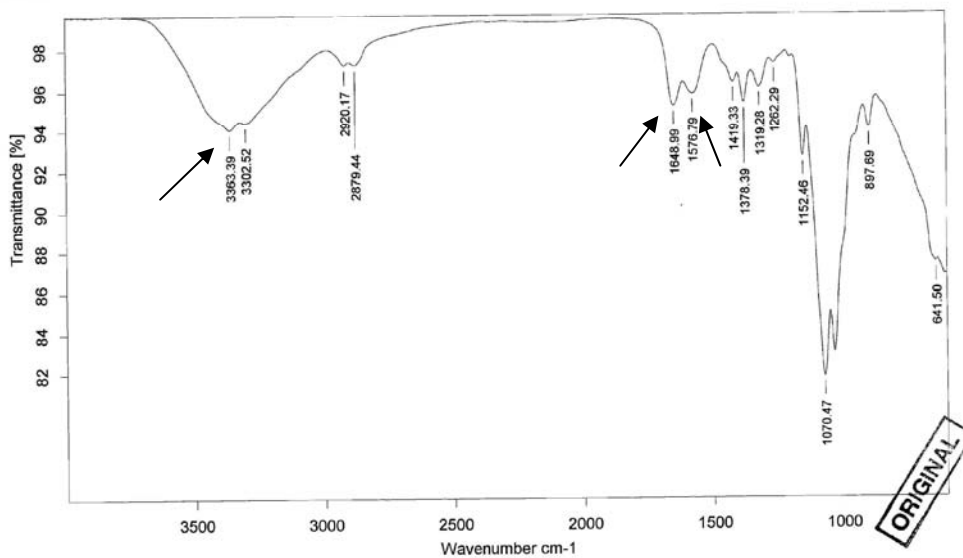
Gambar 4.14. Analisis FTIR membran penyokong PES



Sample : 322-Membran Komposit PES-Kitosan 0.5% bag atas	Date : 20/04/2011
Sample Methode : ATR	Operator : ZLZ

ORIGINAL

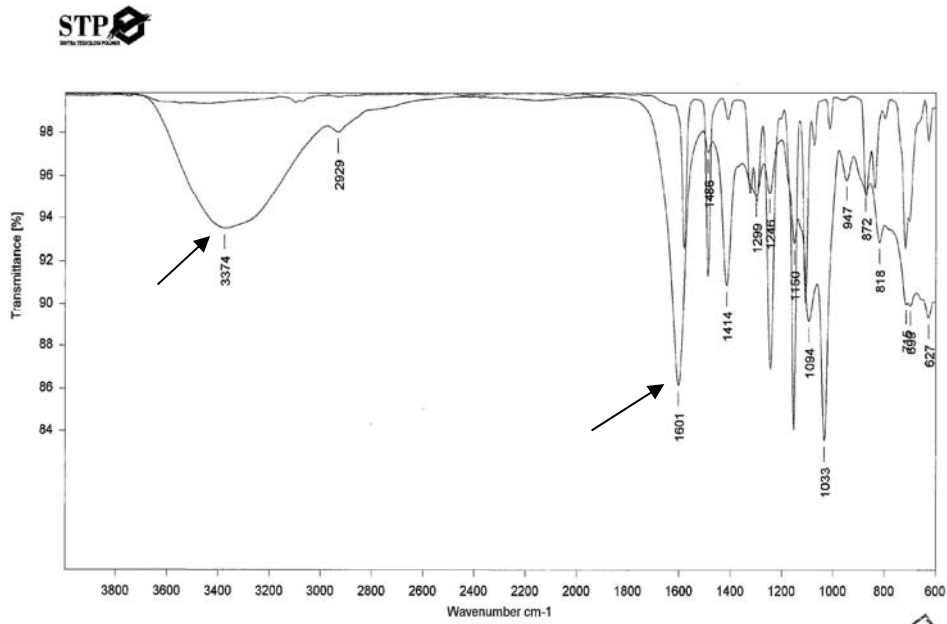
Gambar 4.15. Analisis FTIR membran komposit PES-Kitosan 0,5%



Sample : 323-Membran Komposit PES-Kitosan 2.5% bag atas	Date : 20/04/2011
Sample Methode : ATR	Operator : ZLZ

ORIGINAL

Gambar 4.16. Analisis FTIR membran komposit PES-Kitosan 2,5%

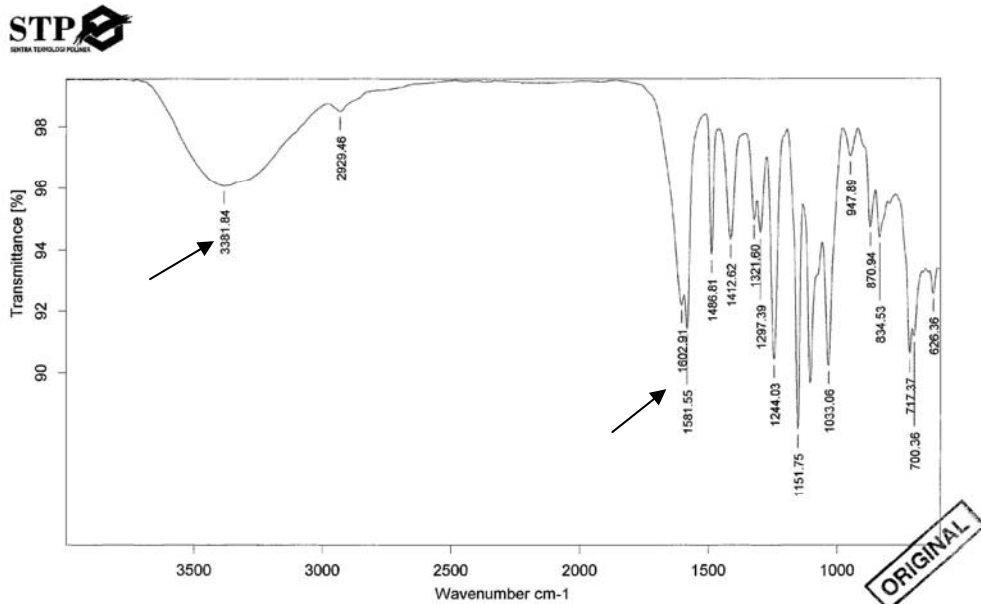


Sample : 324-Membran Komposit PES-Alginat0.5% bag atas Sample Methode : ATR

Sample : 324-Membran Komposit PES-Alginat0.5% bag bawah Sample Methode : ATR

ORIGINAL

Gambar 4.17. Analisis FTIR membran komposit PES-Alginat 0,5%



Sample : 325-Membran Komposit PES-Alginat0.5% bag atas	Date : 20/04/2011
Sample Methode : ATR	Operator : ZLZ

ORIGINAL

Gambar 4.18. Analisis FTIR membran komposit PES-Alginat 1,5%

Pada gambar terlihat, hasil FTIR terhadap membran penyokong PES dengan membran PES yang dilapisi menggunakan larutan kitosan maupun alginat menunjukkan adanya perbedaan. Pada membran yang dilapisi menggunakan larutan kitosan menunjukkan adanya puncak-puncak vibrasi baru pada daerah bilangan gelombang (cm^{-1}) : 3363 (uluran N-H tumpang tindih dengan O-H); 2920 (regangan C-H alifatik); 1648 (uluran C=O amida); 1576 (C-N); 1419 dan 1378 (C-H alkyl); 1152 (regangan C=O eter); 1070 dan 1032 (C-N). Membran yang dilapisi menggunakan larutan alginat menunjukkan puncak-puncak vibrasi baru pada daerah bilangan gelombang 3374 dan 3381 (O-H) ; 2920 (C-H alifatik), 1601 (COONa). Semakin tinggi kadar kitosan dan alginat menunjukkan kenaikan intensitas pada daerah bilangan gelombang tersebut.

4.7. Uji Pervaporasi

Uji aplikasi pervaporasi bioethanol dilakukan terhadap 4 membran, yaitu : membran PES yang dilapisi larutan kitosan (konsentrasi 0,5% dan kuantitas *coating* 1x; konsentrasi 2,5% dan kuantitas *coating* 3x) serta membran PES yang dilapisi larutan alginat (konsentrasi 0,5% dan kuantitas *coating* 3x; konsentrasi 1,5% dan kuantitas *coating* 3x). Bioethanol yang digunakan untuk uji pervaporasi memiliki konsentrasi awal 94,34%. Hasil uji pervaporasi tersebut disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Pengaruh kadar larutan biopolimer dan kuantitas *coating* pada membran PES-biopolimer terhadap kadar bioethanol hasil uji pervaporasi

No.	Membran Komposit	Konsentrasi Larutan Biopolimer	Kuantitas <i>Coating</i>	Kadar Bioethanol
1.	PES – Kitosan	0,50 %	1 x	97,00 %
2.	PES – Kitosan	2,50 %	3 x	99,30 %
3.	PES – Alginat	0,50 %	3 x	96,40 %
4.	PES – Alginat	1,50 %	3 x	97,20 %

Pada Tabel 4.1. tampak bahwa membran komposit PES-biopolimer mampu menaikkan kadar bioethanol. Penggunaan kadar larutan biopolimer dan kuantitas

coating yang lebih tinggi memberikan dampak pada kenaikan selektifitas, hal ini terlihat dari adanya kenaikan kadar bioethanol yang dihasilkan. Pada uji pervaporasi menggunakan membran komposit PES-biopolimer dengan konsentrasi larutan alginat dan kitosan yang sama, ternyata kadar bioethanol yang dihasilkan oleh membran PES-Alginat lebih rendah dibandingkan yang dihasilkan dari membran PES-Kitosan. Hal ini disebabkan oleh karakteristik yang berbeda antara kitosan dengan alginat seperti tampak pada uji permeabilitas. Pada uji permeabilitas, membran PES-Alginat memiliki permeabilitas yang lebih besar dibanding dengan membran PES-Kitosan dan kenaikan kadar larutan biopolimer maupun kuantitas *coating* berdampak pada penurunan permeabilitas. Menurut Keane dkk. (2007), kenaikan permeabilitas berdampak pada penurunan selektifitas. Hal tersebut terbukti pada penelitian ini. Kadar bioethanol terbaik pada uji pervaporasi diperoleh pada penggunaan membran PES-Kitosan yang dibuat menggunakan konsentrasi larutan kitosan 2,5% dan kuantitas *coating* 3x yang terbukti dapat menaikkan kadar bioethanol dari 94,34% menjadi 99,30%. Kadar ini belum memenuhi standar biofuel, dan dapat ditingkatkan dengan menggunakan membran PES yang dilapisi menggunakan larutan biopolimer diatas 2,5%

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Konsentrasi larutan biopolimer dan kuantitas *coating* sangat berpengaruh terhadap permeabilitas membran komposit PES-biopolimer yang dihasilkan. Permeabilitas terbaik untuk membran PES-Kitosan sebesar 4,119 Kg/m².jam.bar diperoleh pada penggunaan larutan kitosan 0,5% dengan kuantitas *coating* 1x. Permeabilitas terbaik untuk membran PES-Alginat sebesar 155,570 kg/m².jam.bar. diperoleh pada penggunaan larutan alginat 0,5% dengan kuantitas *coating* 3x.
2. Jenis biopolimer (kitosan dan alginat) berpengaruh terhadap karakteristik membran komposit PV berbasis PES-biopolimer. Membran PES yang dilapisi menggunakan larutan alginat memiliki permeabilitas lebih tinggi dibanding membran PES yang dilapisi menggunakan larutan kitosan
3. Teknik *coating* (*casting* dan penyapuan) secara umum kurang berpengaruh terhadap permeabilitas membran komposit PES-biopolimer terutama untuk membran PES yang dilapisi menggunakan larutan kitosan.
4. Hasil analisis SEM menunjukkan adanya perbedaan antara membran penyokong PES dengan membran penyokong yang dilapisi menggunakan larutan kitosan maupun alginat. Pada membran PES yang dilapisi menggunakan larutan biopolimer tampak adanya *pore blocking*.
5. Hasil analisis FTIR menunjukkan adanya perbedaan puncak-puncak vibrasi antara membran penyokong PES dengan membran PES yang dilapisi menggunakan larutan alginat maupun kitosan. Semakin tinggi kadar kitosan dan alginat , menunjukkan kenaikan intensitas pada daerah bilangan gelombang tersebut.
6. Hasil uji pervaporasi menunjukkan membran komposit pervaporasi mampu menaikkan kadar larutan bioethanol. Hasil tertinggi diperoleh pada penggunaan membran komposit PES yang dilapisi menggunakan larutan kitosan 2,5% sebanyak 3 x. Membran tersebut dapat menaikkan kadar

bioetanol dari 94,34 % menjadi 99,30%.. Hasil ini belum memenuhi standar bioethanol sebagai *biofuel*, dan masih dapat ditingkatkan dengan penggunaan kadar larutan biopolimer diatas 2,5%.

5.2. Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut menggunakan kadar larutan *coating* di atas 2,5% terutama untuk larutan alginat, yang nantinya diharapkan dapat menaikkan kadar bioethanol yang dihasilkan pada proses pervaporasi hingga minimal 99,50%.
2. Perlu dicoba dilakukan penelitian tentang pembuatan membran komposit PES-alginat-kitosan

VI. RINGKASAN

Kenyataan bahwa cadangan minyak bumi yang semakin menipis, mendorong pemerintah Indonesia untuk mengembangkan *biofuel* sebagai energi alternatif diantaranya bioethanol, karena ketersediaan bahan baku yang cukup melimpah dan ramah lingkungan. Untuk mendapatkan bioethanol sebagai *biofuel* dengan kemurnian minimal 99,5%, perlu dilakukan proses pemurnian. Pervaporasi (PV) menjadi pilihan karena prosesnya sederhana, tidak memerlukan bahan kimia aditif, dan hemat energi. Pada awalnya membran PV untuk dehidrasi bioethanol dibuat dari polimer alam. Polimer sintetis dikembangkan untuk menaikkan permeabilitas dan selektifitas. Pengembangan berikutnya berdasarkan pada membran komposit yang menawarkan kekuatan mekanik dan permeabilitas tinggi sementara selektifitas ditentukan oleh lapisan tipis tak berpori. Meskipun alginat dan kitosan memiliki sifat hidrofilik, kemampuan membentuk film yang bagus, dan *biocompatible*, namun membran kitosan dan alginat memiliki kelemahan yaitu tidak stabil dalam air dan kekuatan mekanik yang rendah. PES dipilih sebagai membran support karena memiliki kekuatan mekanik, stabilitas kimia dan thermal yang tinggi. Tujuan penelitian ini adalah mengkaji pengaruh konsentrasi larutan biopolmer, kuantitas *coating*, jenis biopolimer, dan teknik *coating* terhadap karakteristik membran komposit PV berbasis PES-biopolimer dan dilanjutkan dengan uji aplikasi membran untuk pervaporasi. **Ringkasan ini terdapat pada Bab I.**

Tahapan pemisahan dan pemurnian produk merupakan langkah terakhir yang sangat penting dan membutuhkan biaya tinggi pada proses pembuatan bioethanol sebagai *biofuel*, karena bioethanol hasil fermentasi memiliki kemurnian kurang dari 10%, sementara bioethanol sebagai *biofuel* harus memiliki kemurnian minimal 99,5%. Distilasi konvensional hanya mampu menaikkan kadar bioethanol sampai 95% karena terbentuknya campuran azeotrop antara bioethanol dengan air. Dari hasil penelitian menunjukkan PV mempunyai prospek yang bagus sebagai teknologi pemisahan campuran azeotrop. Kitosan adalah

biopolimer kationik yang diperoleh dari deasetilasi kitin yang banyak terkandung dalam limbah kulit *crustaceae*. Karena sifatnya yang baik dalam pembentukan film, pelekatan yang kuat pada suatu material, hidrofilik dan mudah dimodifikasi secara kimia, kitosan mempunyai prospek yang bagus untuk digunakan sebagai bahan dehidrasi ethanol. Alginat merupakan kopolimer polisakarida tidak bercabang yang dapat diperoleh dari ekstraksi rumput laut coklat. Dalam industri alginat dikenal dalam dua bentuk, asam alginat dan garam alginat seperti sodium alginat. Sama seperti kitosan, alginat bersifat hidrofilik, memiliki daya lekat yang bagus dan gugus fungsional yang reaktif, sehingga berpotensi sebagai membran untuk dehidrasi bioethanol. Membran merupakan lapisan tipis semipermeabel sebagai pembatas antara dua fasa dan mengatur perpindahan komponen pada kedua fasa tersebut. Aplikasi membran dalam industri semakin meningkat karena membran memiliki keunggulan yaitu tidak membutuhkan bahan kimia aditif, dapat beroperasi secara isothermal pada suhu kamar, hemat energi dan mudah dilakukan proses *upscaling*, *down scaling* dan pengintergrasian dengan proses lain. Teknik yang cukup penting pada pembuatan membran adalah : (i) *sintering*, (ii) *stretching*, (iii) *track-etching*, (iv) *template leaching*, (v) inversi fasa, dan (vi) *coating*. Pervaporasi adalah proses pemisahan dengan menggunakan membran dengan gaya dorong perbedaan tekanan yang diperoleh dengan penggunaan pompa vakum atau gas inert. Perpindahan massa dalam PV didekati dengan dua model, yaitu *solution-diffusion* dan *pore flow*. PV telah dikembangkan sejak lama dan penelitian dilakukan untuk meningkatkan kinerja proses. Kinerja membran untuk proses PV biasanya dinyatakan dengan permeabilitas dan selektifitas. Peningkatan selektifitas umumnya berbanding terbalik dengan permeabilitas, sehingga diperlukan suatu optimasi. Pembuatan membran komposit meliputi : (i) pembuatan membran berpori untuk lapisan penyokong yang biasanya dibuat dengan teknik inversi fasa dan (ii) deposisi lapisan selektif di atas permukaan lapisan penyokong yang dapat dilakukan dengan metode *laminating*, *dip-coating*, *plasma polymerization*, dan *interfacial polymerization*. **Ringkasan ini terdapat pada Bab II.**

Rancangan variabel yang digunakan dalam penelitian ini meliputi konsentrasi biopolimer (0,5%; 1%; 1,5%; 2% dan 2,5%), kuantitas *coating* (1x; 2x; 3x), tipe *coating* (alginat dan kitosan) serta metode *coating* (*casting* dan penyapuan). Proses pembuatan membran komposit PV berbasis PES-biopolimer dibagi menjadi dua tahap. Pertama membuat membran penyokong, dilanjutkan dengan pembuatan membran komposit PES-Biopolimer. Pada pembuatan membran penyokong, larutan PES dalam *n-methyl pyrrolidone* (NMP) dengan kadar 13% *dicasting* dengan ketebalan 200 mikron pada substrat kaca. Hasil *casting* direndam dalam bak yang berisi air dan dilanjutkan dengan pengeringan. Membran yang telah dikeringkan selanjutnya dilapisi menggunakan larutan biopolimer kitosan dan alginat sesuai dengan rancangan variabel. Produk membran komposit selanjutnya dianalisis untuk menentukan karakteristik membran yang meliputi : uji permeabilitas air, uji *swelling*, analisis FTIR dan analisis SEM. Membran dengan permeabilitas terendah dan tertinggi dilakukan uji aplikasi PV. **Ringkasan ini terdapat pada Bab III.**

Semakin tinggi kadar larutan kitosan akan menurunkan permeabilitas. Hal ini disebabkan kenaikan kadar larutan kitosan akan menaikkan ketebalan lapisan aktif membran yang berdampak pada penurunan permeabilitas. Dari hasil analisis SEM, semakin tinggi kadar larutan kitosan akan menaikkan *pore blocking* yang berdampak pada penurunan permeabilitas, meskipun kitosan bersifat hidrofilik sehingga derajat *swelling* dalam air semakin tinggi. Hasil berbeda diperoleh pada penggunaan variasi konsentrasi alginat. Pada konsentrasi 0,5% - 1% fenomena yang sama terjadi. Pada kadar larutan di atas 1,5%, kenaikan kadar larutan alginat justru menaikkan permeabilitas. Hal ini disebabkan alginat lebih hidrofilik dibanding kitosan. Pada membran komposit PES-Kitosan kenaikan kuantitas *coating* berdampak pada penurunan permeabilitas. Untuk membran komposit PES-Alginat pada kadar larutan alginat sampai 1,5% kenaikan kuantitas *coating* berdampak pada kenaikan permeabilitas, sedangkan di atas kadar tersebut permeabilitas mengalami penurunan. Tipe *coating* sangat berpengaruh terhadap permeabilitas. Membran komposit PES-Alginat memiliki permeabilitas yang jauh lebih besar dibandingkan membran komposit PES-Kitosan. Fenomena ini

disebabkan oleh kehidrofilikan alginat yang lebih besar dibandingkan kitosan. Metode coating kurang berpengaruh terhadap permeabilitas. Permeabilitas dari membran yang dilapisi menggunakan metode *casting* secara umum sedikit lebih tinggi dibandingkan yang dibuat dengan metode penyapuan. Hasil Analisis SEM menunjukkan adanya *pore blocking* pada membran yang dilapisi. *Pore blocking* semakin meningkat dengan meningkatnya konsentrasi larutan *coating*. Analisis FTIR untuk membran PES yang dilapisi menggunakan larutan kitosan ditemukan puncak vibrasi baru pada daerah gelombang (cm-1) : 3363 (N-H tumpang tindih dengan O-H); 1648 (C=O amida); 1032 (C-N), sedangkan pada *coating* menggunakan larutan alginat ditemukan puncak vibrasi bari pada daerah gelombang (cm-1) : 3374 (O-H); 1601 (COONa). Dari hasil uji pervaporasi, kenaikan kadar larutan *coating* berdampak pada peningkatan kadar bioethanol yang dihasilkan. **Ringkasan ini terdapat pada Bab IV.**

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan konsentrasi larutan *coating*, kuantitas *coating* dan jenis biopolimer sangat berpengaruh terhadap karakteristik membran, sedangkan teknik *coating* kurang berpengaruh. Permeabilitas terbaik untuk membran PES-Kitosan sebesar 4,119 kg/m².jam.bar diperoleh pada penggunaan larutan kitosan 0,5% dengan kuantitas *coating* 1x. Permeabilitas terbaik untuk membran PES-Alginat sebesar 155,570 kg/m².jam.bar diperoleh pada penggunaan larutan alginat 0,5% dengan kuantitas *coating* 3x. Hasil analisis SEM tampak adanya *pore blocking* pada membran penyokong yang telah dilapisi. Analisis FTIR menunjukkan adanya perbedaan puncak-puncak vibrasi antara membran PES dan membran komposit. Dari hasil uji pervaporasi, membran komposit PES-kitosan 2,5% dapat menaikkan kadar bioethanol dari 93,34% menjadi 99,30%. **Ringkasan ini terdapat pada Bab V.**

DAFTAR PUSTAKA

- Aptel, P., Challard, N., Cuny, J., and Neel, J. (1976). "Application of Pervaporation Process to Separate Azeotropic Mixtures". *Journal of Membrane Science*. 1 : 271-278.
- Baker, R.W. (2004). *Membrane Technology and Applications*. 2nd edition. California : John Wiley & Sons, Ltd.
- Bhat, S.D. and Aminabhavi, T.M. (2007). "Pervaporation Separation Using Sodium Alginate and Its Modified Membrane – A Review". *Separation and Purification Reviews*. 36 : 203-229.
- Cadote, J.E. (1985). "Material Science of Synthetic Membrane". ACS Symposium Series 269. American Chemical and Society. Washington DC.
- Caro, J., Noack, M., Kolsch, P., and Schafer, R. (2000). "Zeolite Membrane-States of Their Development of Perspective". *Microporous and Mesoporous Materials*. 38 : 3-24.
- Chen, F., Luo, G.S., Wang, Y.J. (2004). "Preparation of Polysulfone-Coated Chitosan Beads by Emulsion Phase - Inversion Method". *Journal of Applied Polymer Science*. 91 : 3542-3548.
- Chiang, R. and Perry, E. (1978). *Process for Separating Aqueous Formaldehyde Mixtures*. (US Patent 4,067,805).
- Dias, M.O.S., Ensinas, A.V., Nebra, S.A., Filho, R.M., Rossell, C.E.V., Maciel, M.R.W. (2009). "Production of Bioethanol and Other Bio-Based Materials from Sugarcane Bagasse : Integration to Conventional Bioethanol Production Process". *Chemical Engineering Research and Design*. 87 : 1206-1216.
- Erizal dan Redja, I.W. (2010). "Sintesis Hidrogel Superabsorben-Polietilen Oksida-Alginatdengan Teknik radiasi Gamma dan Karakterisasinya". *Jurnal Ilmu Kefarmasian Indonesia*. 8(1) : 11-17
- Feng, X. and Huang, R.Y.M. (1996). "Pervaporation with Chitosan Membranes. I. Separation of Water from Ethylene Glycol by A Chitosan/Polysulfone Composite Membrane". *Journal of Membrane Science*. 116 : 67-76.
- Feng, X. and Huang, R.Y.M. (1997). "Liquid Separation by Membrane Pervaporation : A Review". *Industrial Engineering Chemical Resources*. 36 : 1048-1066.

- Hassan, H. and Nawawi, M.G.M. (2008). "Chitosan as A Membrane Material for Pervaporation Separation Isopropanol-Water Mixtures". *Jurnal Teknologi*. 49(F) : 207-218.
- Huang, R.Y.M. and Jarvis, N.R. (1970). "Separation of Liqui Mixtures by Using Polymer Membranes. II. Permeation of Aqueous Alcohol Solution Through Cellophane and Poly(Vinyl Alcohol)". *Journal of Applied Polymer Science*. 14(9) : 2341-2456.
- Instruksi Presiden Republik Indonesia No. 1 Tahun 2006 tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Bahan Bakar Nabati (*Biofuel*) Sebagai Bahan Bakar Lain.
- Jonquires, A., Clement, R., Lochon, P., Neel, J., Dresch, M., and Chretien, B., (2002). "Industrial State-of-The-Art of Pervaporation and Vapour Permeation in Western Countries". *Journal of Membrane Science*. 206 : 87-117.
- Kaban, J. (2009). *Modifikasi Kimia dari Kitosan dan Aplikasi Produk yang Dihadirkan*. Universitas Sumatera Utara : Pidato Pengukuhan Guru Besar.
- Kaban,J., Bangun, H., Dawolo, A.K., Daniel. (2006). "Pembuatan Membran Kompleks Polielektrolit Alginat Kotosan". *Jurnal Sains Kimia*. 10(1) : 10-16.
- Keane, D., Eoin, F., and Michael, M. (2007). "Preparation of Polymer-Based Membranes for Dehydration of Ethanol by Pervaporation". *Environmental Protection Agency STRIVE Programme 2007-2013. STRIVE Report Series*. No. 50 : 1-37.
- Kozaric, N., Farkas, A., Salim, H., and Mayer, O. (1987). *Ethanol*. In Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Vol. A.9. Tokyo : VCH. 615-630.
- Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi Nomor : 23204.K/10/DJM.S/2008 tentang Standard dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Nabati (*Biofuel*) Jenis Bioethanol Sebagai Bahan Bakar Lain Yang Dipasarkan di Dalam Negeri.
- Kozaric, N., Farkas, A., salim, H., and Mayer, O. (1987). *Ethanol*. In Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Vol. A.9. Tokyo : VCH. 615-630.
- Masaru, M., Reikichi, I., Seiich, M., Shuzo,Y., Akira, M., Yoshinobu,T. (1985). *Chitosan Membranes for Separation of Water-Ethanol by Pervaporation*. *Gov. Ind. Inst-Osaka Ikeda*. 42 : 139-142.

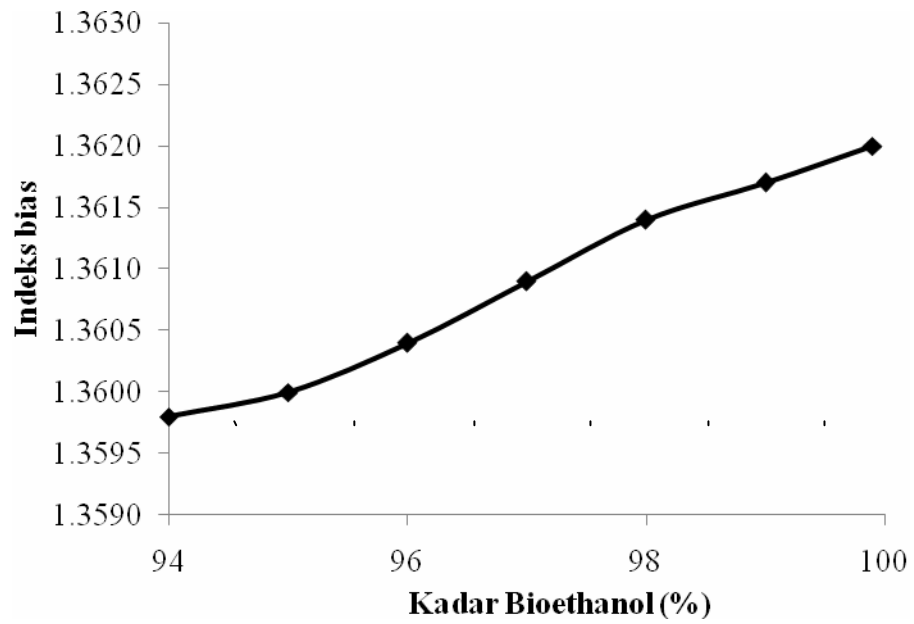
- Matsuda, M., Kamizawa, C., Kobayashi, R. (1988). "Preparation of Chitosan and Modified Chitosan Membranes for Ultrafiltration and Dialysis and Determination of Membrane Properties". *Natl. Chem. Lab. Industry* 45.
- Mekawati, Fachriyah, E., dan Sumardjo, D. (2000). "Aplikasi Kitosan Hasil Transformasi Kitin Limbah Udang (*Penaeus merguensis*) Untuk Adsorpsi Ion Logam Timbal". *Jurnal Sains dan Matematika FMIPA Undip*. 8(2) : 51-54.
- Moller, H., Grelier, S., Pardon, P., and Coma, V. (2004). "Antimicrobial and Physicochemical Properties of Chitosan-HPMC-Based Films". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52 : 6585-6591.
- Mulder, M. (1996). *Basic Principles of Membrane Technology*. 2nd ed. Kluwer Academic Publisher, London.
- Neel, J. in Huang, R.Y.M. (1991). *Introduction to Pervaporation. Pervaporation Membrane Separation Processes*. Amsterdam : Elsevier. 1-109.
- Okada, T. and Matsura, T. (1991) "A New Transport Model for Pervaporation". *Journal of Membrane Science*. 59(2) : 133-149.
- Peraturan Presiden Republik Indonesia No. 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional Untuk Pengembangan Sumber Energi Alternatif Pengganti BBM.
- Prihandana, R. dan Hendro, R. (2007). "Energi Hijau pilihan Bijak Menuju negeri Mandiri Energi. Penebar Swadaya. Jakarta
- Rahayu, L.H. dan Purnavita, S. (2007) "Optimasi Pembuatan Kitosan dari Kulit Limbah Cangkang Rajungan (*Paortunus pelagicus*) Untuk Adsorben Ion Logam Merkuri". *Reaktor*. 11(1) : 45-49.
- Shao, P. and Huang, R.Y.M. (2007). "Review Polymeric Membrane Pervaporation". *Journal of Membrane Science*. 287 : 162-179.
- Shen, J.N., Wu, L.G., Qiu, J.H., Gao,C.J. (2005)."Pervaporation Separation of Water/Isopropanol Mixture through Crosslinked Carboxy Methyl Chitosan/DS Hollow Fiber Composite Membrane". *Journal of Applied Polymer Science*. 10:1963-1965.
- Shi, Y.Q., Wang, X.W., and Chen, G.W. (1996). "Pervaporation Characteristics and Solution-Diffusion Behaviors through Sodium Alginate Dense Membrane". *Journal of Applied Polymer Science*. 68 : 959-968.

- Susanto, H. and Ulbricht, M. (2009a). "Characteristic, Performance and Stability of Polyethersulfone Ultrafiltration Membranes Prepared by Phase Separation Method Using Different Macromolecular Additives". *Journal of Membrane Science*. 327 : 124-135.
- Susanto, H. and Ulbricht, M. (2009b). "Polymeric Membranes for Molecular Separation, in : Drioli, E. and Giorno, L. *Membrane Operations. Innovative Separations and Transformations*. Weinheim : Wiley-VCH.
- Susanto, H., Stahra, N., and Ulbricht, M. (2009). "High Performance Polyethersulfone Microfiltration Membranes Having High Flux and Stable Hydrophilic Property". *Journal of Membrane Science*. 342 : 153-164.
- Tsai, H.A., Chen, H.C., Lee, K.R., Lai, J.Y. (2006). "Study of Separation Properties of Chitosan Polysulfone Composite Hollow-Fiber Membranes". *Desalination*, 193 : 129-136.
- Uragami, T., (2005), "Dehydration Performance of Alcohol from Biomass Fermentation by Various Chitosan Membranes", *Journal of Metals, Materials and Minerals*. 15(1) : 49-57
- Wang, X.P., Li, N., and Wang, W.Z., (2001). "Pervaporation Properties of Novel Alginate Composite Membranes for Dehydration of Organic", Widodo, S., Widiyasa, I.N., dan Wenten, I.G. (2004). "Pengembangan Teknologi Pervaporasi untuk Produksi Ethanol Absolut". *Prosiding Seminar Rekayasa Kimia dan Proses*, 21-22 Juli 2004. Semarang:F-27-1 – F-27-6.
- Widodo, S., Widiyasa, I.N., dan Wenten, I.G. (2004). "Pengembangan Teknologi Pervaporasi untuk Produksi Ethanol Absolut". *Prosiding Seminar Rekayasa Kimia dan Proses*, 21-22 Juli 2004. Semarang : F-27-1 – F-27-6.
- Wijmans, J.G., and Baker, R.W. (1995). "The Solution-Diffusion Model : A Review". *Journal of Membrane Science*. 107 : 1.
- Yeom, C.K., Jegal, J.G. and Lee, K.H. (1996). "Characterization of Relaxation Phenomena and Permeation Behaviors in Sodium Alginate Membrane during Pervaporation Separation of Ethanol-Water Mixture". *Journal of Applied Polymer Science*. 62 : 1561-1576.
- Zhang, S and Drioli, E., (1995). 'Pervaporation Membranes'. *Separation Science and Technology*. 30(1) : 1-31.

LAMPIRAN

L. 1. Grafik indeks bias bioethanol pada berbagai konsentrasi

Percobaan pembacaan indeks bias etanol dilakukan pada suhu $30\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,3$



Gambar L1.1. Pengaruh kadar bioethanol terhadap indeks bias