

SINTESIS MEMBRAN KOPOLIMERISASI SELULOSA ASETAT-GLUTARALDEHID MENGGUNAKAN IRADIASI BERKAS ELEKTRON UNTUK PERVAPORASI ETANOL-AIR

E. Evy Ernawati^{1*} dan Meri Suhartini²

¹Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam - UNPAD

Jatinangor, Bandung

²Pusat Aplikasi Isotop Radiasi (PAIR) - BATAN

Jl. Lebak bulus no.49 Jakarta

*E-mail: evyerna_p@yahoo.com

Diterima: 18 September 2015

Diperbaiki: 25 November 2015

Disetujui: 08 Januari 2016

ABSTRAK

SINTESIS MEMBRAN KOPOLIMERISASI SELULOSA ASETAT-GLUTARALDEHID MENGGUNAKAN IRADIASI BERKAS ELEKTRON UNTUK PERVAPORASI ETANOL-AIR. Membran selulosa asetat dapat digunakan untuk pervaporasi etanol-air, namun membran ini memiliki derajat penggembungan tinggi sehingga kinerjanya rendah maka perlu dimodifikasi. Modifikasi pada studi ini dilakukan dengan mengkopolimerisasi membran selulosa asetat dan monomer glutaraldehid menggunakan inisiator iradiasi berkas elektron. Studi ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh glutaraldehid dan iradiasi berkas elektron terhadap karakteristik serta kinerja membran selulosa asetat termodifikasi terhadap pervaporasi etanol-air. Karakterisasi yang dilakukan meliputi penentuan derajat kopolimerisasi dan pengembangan, kekuatan tarik, dan morfologi (SEM) dari membran selulosa asetat termodifikasi. Sementara penentuan kinerja membran selulosa asetat termodifikasi meliputi fluks dan selektivitas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada penambahan glutaraldehid 1%, dan dosis iradiasi 30 kGy, terjadi penurunan nilai derajat pengembangan sebesar 66,16%, peningkatan kekuatan tarik sebesar 49,75%, peningkatan nilai selektivitasnya sebesar 16,5 kali dan penurunan nilai fluks sebesar 0,7 kali. Modifikasi selulosa asetat dengan penambahan glutaraldehid dan radiasi berkas elektron dapat memperbaiki karakteristik dan kinerja membran selulosa asetat untuk pervaporasi etanol-air.

Kata kunci: Membran, Selulosa asetat, Glutaraldehid, Kopolimerisasi, Berkas elektron, Pervaporasi

ABSTRACT

SYNTHESIS OF GLUTARALDEHYDE-CELLULOSE ACETATE COPOLYMERIZATION MEMBRANE USING ELECTRON BEAM IRRADIATION FOR ETHANOL-WATER PERVAPORATION. Cellulose acetate membrane can be used for pervaporation of ethanol-water. However this membrane have been a high degree of swelling so that its performance is lower, therefore need to be modified. The modification has been done by irradiation copolymerization of glutaraldehyde-cellulose acetate using electron beam as initiator. Aim of the study is to determine the effects of glutaraldehyde addition and electron beam irradiation on the characteristics and performance of modified cellulose acetate membrane for pervaporation of ethanol-water. Degree of copolymerization, swelling, tensile strength, morphology (SEM), flux and selectivity were observed. The results showed there were a declining in the value of the degree of swelling of 66.16%, an increasing in tensile strength of 49.75%, an increasing of the selectivity value by 16.5 times and the flux impairment of 0.7 times by adding 1% glutaraldehyde, at dose of 30 kGy of irradiation. Modification of cellulose acetate with the addition of glutaraldehyde and electron beam radiation may improve the characteristics and performance of cellulose acetate membranes for pervaporation of ethanol-water.

Keywords: Membrane, Cellulose acetate, Glutaraldehyde, Copolymerization, Electron beams, Pervaporation

PENDAHULUAN

Pervaporasi melalui membran mempunyai keunggulan dibandingkan dengan teknologi pemisahan konvensional (distilasi, adsorpsi, ekstraksi cair-cair) karena tidak membutuhkan zat kimia tambahan, energi yang dibutuhkan relatif kecil, operasinya sederhana, dan tidak ada limbah [1,2,3]. Proses pervaporasi ini digunakan untuk memisahkan air dari pelarut organik.

Pada proses ini, campuran yang akan dipisahkan dalam keadaan cair pada tekanan atmosfer, dilewatkan pada permukaan aktif membran. Transfer massa terjadi berdasarkan mekanisme sorpsi-difusi melalui membran dengan adanya perbedaan tekanan parsial komponen [4,5]. Maka morfologi membran dan sifat kimia dari bahan polimer membran sangat mempengaruhi kinerja membran.

Selulosa asetat sangat cocok digunakan sebagai bahan pembuat membran karena sifatnya yang semikristalin. Struktur semikristalin memberikan kekuatan mekanik yang baik, bersifat termoplastik, dan relatif mudah dibuat [6]. Selulosa asetat merupakan polimer yang dapat digunakan sebagai membran hidrofilik serta dapat disintesis dari selulosa yang banyak tersedia di alam [7,8]. Membran hidrofilik seperti halnya selulosa asetat mudah mengembang (*swelling*) dalam larutan [9]. Daya sorpsi membran selulosa asetat 10 kali bila dibanding dengan membran poliakrilonitril. Hal ini menyebabkan kinerja pemisahannya kurang baik pada membran pervaporasi etanol-air [10]. Karena itu perlu dilakukan modifikasi dari membran untuk menekan tingkat pengembangan sehingga dapat meningkatkan kinerja membran, terutama untuk meningkatkan fluks dan selektivitas. Xu & Yan (2015) mengatakan bahwa metode yang baik untuk menekan tingkat pengembangan adalah kopolimerisasi dengan bantuan iradiasi [9].

Radiasi ionisasi dapat membentuk radikal bebas atau ion- di dalam suatu polimer dan dinyatakan sebagai sisi aktif. Sisi aktif ini dapat dibentuk dengan metode kimia dan fisika. Pada metode kimia, radikal terjadi akibat abstraksi oleh radikal inisiator seperti *dibenzoyl peroxide* (BPO), *azobisisobutyl ronitrile* (AIBN) atau bahan pengoksidasi seperti garam serium. Pada metode fisika, radikal terjadi dari sinar laser, berkas elektron, sinar UV, plasma, dan sinar gamma terhadap polimer induk membentuk radikal yang dapat menginduksi pada reaksi kopolimerisasi [11].

Membran polivinil alkohol merupakan membran hidrofilik, kopolimerisasi dengan glutaraldehyda dapat meningkatkan sorpsi dan kerapatan pori [12]. Himadri & Samit (2015) juga mengatakan, membran yang telah melalui kopolimerisasi dapat menghasilkan pori membran yang lebih rapat serta dapat meningkatkan selektivitasnya [13].

Berdasarkan hal ini, maka untuk menekan derajat pengembangan dari membran selulosa asetat, perlu dilakukan proses kopolimerisasi membran selulosa asetat dengan glutaraldehyda, seperti halnya dengan

membran polivinil alkohol. Mengingat membran selulosa asetat mempunyai sifat kehidrofilikan yang sama dengan membran polivinil alkohol. Proses kopolimerisasi dibantu dengan sinar radiasi, karena proses ini dapat menghemat bahan kimia yang digunakan dan lebih ramah lingkungan [14]. Radiasi yang digunakan pada penelitian ini adalah radiasi berkas elektron. Metode ini belum dilakukan oleh peneliti lain. Harapannya adalah dengan menekan derajat pengembangan, kinerja membran (fluks dan selektivitas) dapat meningkat, selain itu kekuatan mekanik pun dapat meningkat pula. Membran ini selanjutnya diujikan untuk proses pemisahan etanol-air menggunakan teknik pervaporasi

METODE PERCOBAAN

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah aseton p.a, etanol p.a (Merck), etanol teknis 90%, glutaraldehyda 25% (Merck), nitrogen cair, dan selulosa asetat teknis (Aldrich).

Pembuatan Membran Selulosa Asetat (SA)

Membran SA dibuat berdasarkan proses inversi fase penguapan pelarut [10]. Mula-mula SA sebanyak 4 g dimasukkan secara perlahan ke dalam erlenmeyer berisi aseton 16 g sambil diaduk dengan pengaduk magnetik sampai larutan membran menjadi homogen (± 10 jam). Setelah itu, larutan dibiarkan selama 24 jam. Kemudian larutan dituangkan di atas permukaan plat kaca 10x10 cm yang sisinya telah diberi solatif, dan diratakan. Lalu, membran di atas kaca ini dimasukkan ke dalam desikator hingga membran terlepas dari cetakan (2-3 hari). Membran selulosa asetat (SA) telah berhasil dibuat dengan ketebalan 0,10 μm

Pembuatan Membran SA-GA

Membran SA yang telah dibuat sebelumnya dipotong menjadi empat bagian. Masing-masing membran direndam dalam empat variasi konsentrasi larutan glutaraldehyda (GA) yaitu konsentrasi 0,1; 0,3; 1; 3; dan 10%. Membran yang direndam dalam GA konsentrasi 0,1 dan 0,3%, diiradiasi dengan radiasi berkas elektron pada variasi dosis penyinaran 10, 20, 30, dan 40 kGy, guna mengetahui dosis optimum penyinaran berdasarkan nilai derajat kopolimerisasi tertinggi. Sedangkan membran variasi GA lainnya diiradiasi pada dosis optimum yang diperoleh sebelumnya.

Penentuan Derajat Pengembangan Membran dalam Etanol (DS)

Membran SA-GA teriradiasi selulosa asetat terpolimerisasi glutaraldehyda (dengan variasi konsentrasi) dan teradiasi pada dosis optimum dengan

ukuran 3x2 cm ditimbang berat kering (M_k) dan kemudian direndam dalam 10 mL larutan etanol 96% pada suhu 40°C selama 24 jam. Membran diangkat dan permukaannya di lap dengan kertas adsorben untuk menghilangkan kelebihan etanol yang menempel pada permukaan membran. Membran basah tersebut ditimbang kembali beberapa kali sampai diperoleh berat konstan (M_B), kemudian dihitung derajat pengembangannya. Derajat pengembangan (DS) ditentukan menggunakan Persamaan (1):

$$DS = \frac{M_B - M_k}{M_k} \times 100 \% \quad \dots\dots\dots (1)$$

Dimana, DS adalah derajat pengembangan (%), M_B adalah massa membran basah (g), dan M_k adalah massa membran kering (g)

Penentuan Derajat Kopolimerisasi Membran

Membran SA-GA teriradiasi pada dosis optimum dengan ukuran 5x5 cm ditimbang berat kering (M_s) kemudian membran direndam dalam akuades panas selama 1 hari, dikeringkan pada suhu ruang selama 1 hari dan ditimbang berat kering (M_d). Derajat kopolimerisasi dihitung dengan persamaan:

$$DK = \frac{M_d - M_s}{M_s} \times 100 \% \quad \dots\dots\dots (2)$$

Dimana, DK adalah derajat kopolimerisasi (%), M_s adalah massa membran sebelum kopolimerisasi (g), dan M_d adalah massa membran setelah kopolimerisasi (g)

Penentuan Kekuatan Tarik (Ts) Membran

Membran SA-GA teriradiasi pada dosis optimum dipotong sesuai plat dengan lebar 0,3 cm, lalu diukur ketebalannya, dan diuji kekuatan tariknya dengan alat *Stograph-RJ, Toseiki speed* yang digunakan 25.

$$Ts = \frac{Ml}{tebal / cm \times lebar / cm} \quad \dots\dots\dots (3)$$

Dimana Ts adalah kekuatan tarik (kg/cm^2) dan Ml adalah massa tarik (kg)

Proses Pervaporasi

Membran SA-GA teriradiasi pada dosis optimum diuji untuk pemisahan etanol-air dengan teknik pervaporasi. Kemudian hasil yang diperoleh dibandingkan dengan membran selulosa asetat.

Membran dipotong melingkar dengan ukuran diameter 4 cm dan diletakkan pada pendukung dalam modul pervaporasi (Gambar 1 no 5). Sebanyak 100 mL

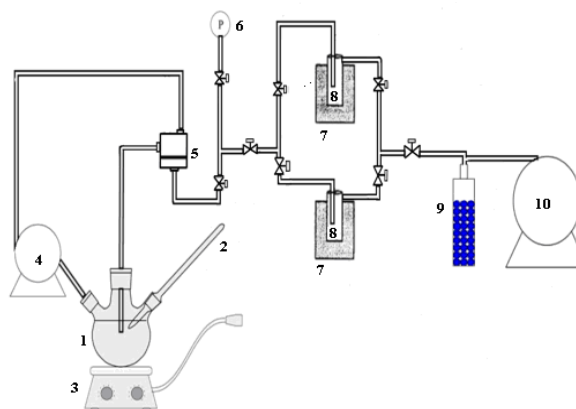
etanol 90% dimasukkan ke dalam labu umpan (Gambar 1 no 1) dan dijaga suhunya pada 40°C menggunakan mantel pemanas. Proses pervaporasi dioperasikan pada tekanan 0,25 mBar menggunakan pompa vakum. Permeat yang dihasilkan ditampung pada cold trap (Gambar 1 no 8) yang sudah diketahui beratnya dan suhunya di bawah -65 °C. Pendinginan ini dihasilkan dengan merendam *cold trap* dalam nitrogen cair. Setiap satu jam sekali, permeat ditampung *cold trap* (Gambar 1 no 8) sehingga diperoleh 4 permeat. Permeat yang diperoleh ditentukan konsentrasi etanolnya menggunakan refraktometer. Kemudian fluks permeat (J) dan selektivitas membran (α) ditentukan menggunakan rumus [15].

$$J = \frac{1}{A} \times dm / dt \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\alpha = \frac{(Y_w / Y_A)}{(X_w / X_A)} \quad \dots\dots\dots (5)$$

Dimana J adalah nilai fluks total (g/m^2 jam), A adalah luas membran (m^2), dm/dt adalah slope dari grafik antara massa permeat terhadap waktu, Y_w adalah konsentrasi air dalam permeat (%), Y_A adalah konsentrasi etanol dalam permeat (%), X_w adalah konsentrasi air dalam umpan (%), dan X_A adalah konsentrasi etanol dalam umpan (%)

Penentuan Konsentrasi Etanol dalam Permeat



Gambar 1. Skema rangkaian alat pervaporasi (1) tangki umpan, (2) termometer, (3) pemanas, (4) pompa sirkulasi, (5) modul membran, (6) pengukur tekanan, (7) nitrogen cair, (8) cold trap, (9) silica gel, (10) pompa vakum

Analisis refraktometri digunakan untuk menentukan konsentrasi etanol dari permeat. Dengan memplotkan indeks bias permeat pada kurva baku dari variasi konsentrasi etanol terhadap indeks bias yang dibuat sebelumnya.

Penentuan Gugus Fungsi Membran

Spektrum FTIR membran SA-GA digunakan untuk mengetahui gugus fungsi dari membran yang dihasilkan. Alat yang digunakan adalah alat *fourier transform infrared* (FTIR) Perkin Elmer Spektrum 100.

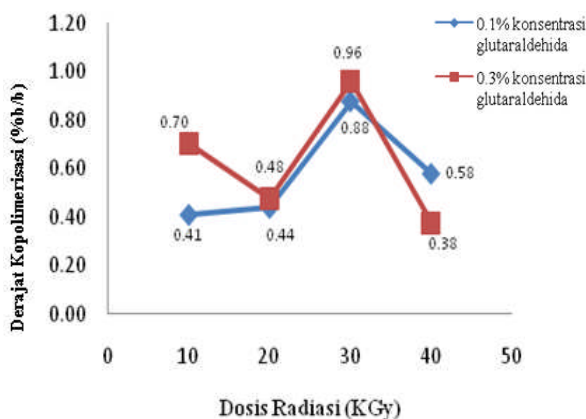
Morfologi Permukaan Membran

Scanning electron microscope (SEM) digunakan untuk mengetahui morfologi dari penampang permukaan dan penampang melintang membran SA-GA yang dihasilkan. Alat yang digunakan adalah SEM JEOL JSM-6360LA

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Glutaraldehyda dan Radiasi Berkas Elektron pada membran

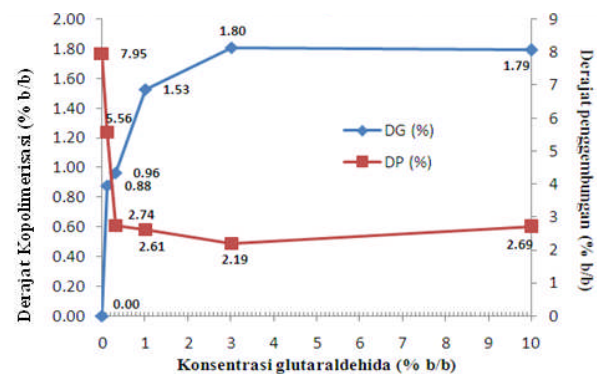
Efek radiasi berkas elektron pada membran dapat diketahui berdasarkan nilai derajat kopolimerisasi (DK). Gambar 2 menunjukkan pengaruh dosis radiasi terhadap DK. Nilai DK membran SA pada konsentrasi GA 0,1% (SA-GA-0,1%) dengan penambahan dosis radiasi dari 10 ke 20 kGy terjadi peningkatan relatif kecil yaitu dari 0,41 menjadi 0,44%. Hal ini terjadi karena radikal yang terbentuk belum maksimal. Namun dengan dosis radiasi 30 kGy terjadi peningkatan DK dua kali lipat menjadi 0,88%. Hal ini disebabkan bertambahnya radikal bebas yang terbentuk dan membuka ikatan rangkap [6], sehingga ikatan antara SA dan GA meningkat. Namun, nilai DG menurun menjadi 0,58% pada dosis iradiasi 40 kGy. Penambahan dosis iradiasi yang berlebih menyebabkan terjadi degradasi pada SA karena SA merupakan bahan yang dapat terdegradasi oleh radiasi [16]. Hal yang sama terjadi pada membran SA dengan konsentrasi GA 0,3% (SA-GA-0,3%), dimana pada dosis radiasi 10 kGy dan 20 kGy diperoleh DK yang mengalami kenaikan tidak signifikan yaitu dari 0,43% menjadi 0,48% sedangkan pada dosis 30 kGy, DK menjadi 0,96%. Hal



Gambar 2. Grafik derajat kopolimerisasi membran SA-GA-0,1% dan 0,3% b/b pada variasi dosis iradiasi.

ini disebabkan seluruh radikal yang terbentuk dapat dipergunakan untuk menpolimerisasi GA pada SA. Pada dosis iradiasi 40 kGy, DK mengalami penurunan menjadi 0,38%, karena radikal yang terbentuk menjadi berlebihan sehingga mendegradasi SA. Pada dosis radiasi 30 kGy, SA dengan penambahan konsentrasi GA dari 0,1% menjadi 0,3% menyebabkan terjadinya peningkatan DK dari 0,88% menjadi 0,96%. GA pada konsentrasi 0,3% mempunyai cukup monomer untuk bereaksi dengan radikal yang terbentuk, sehingga kopolimerisasi GA pada SA menjadi lebih banyak. Sedangkan pada konsentrasi GA 0,1%, monomer yang ada tidak cukup untuk bereaksi dengan radikal yang terbentuk [16]. Kondisi optimum iradiasi dicapai pada 30 kGy pada dosis tersebut DK mencapai 0,96%.

Gambar 3 menunjukkan derajat pengembangan (DS) dari membran SA-GA-0,1; 0,3; 1; 3; dan 10% serta telah diradiasi pada dosis radiasi 30 kGy. Pada gambar ini menunjukkan bahwa membran SA yang belum diradiasi memiliki nilai DS 7,95%. Pada proses kopolimerisasi dengan variasi konsentrasi GA 0,1-3%, nilai DS mengalami penurunan. Hal ini disebabkan peningkatan DK. Semakin tinggi konsentrasi GA yang ditambahkan, semakin meningkat DK dan menyebabkan membran semakin rapat [7]. Namun pada penambahan GA 10% terjadi kenaikan DS dari 2,19% menjadi 2,69%. Kenaikan ini dianggap tidak terlalu signifikan karena interval konsentrasi dari 3% ke 10% sangat lebar jika dibandingkan dengan interval konsentrasi dari 0,1% ke 3%. Sehingga kenaikan DP ini dianggap konstan. Dan GA 3% dinyatakan sebagai konsentrasi GA optimum untuk proses kopolimerisasi

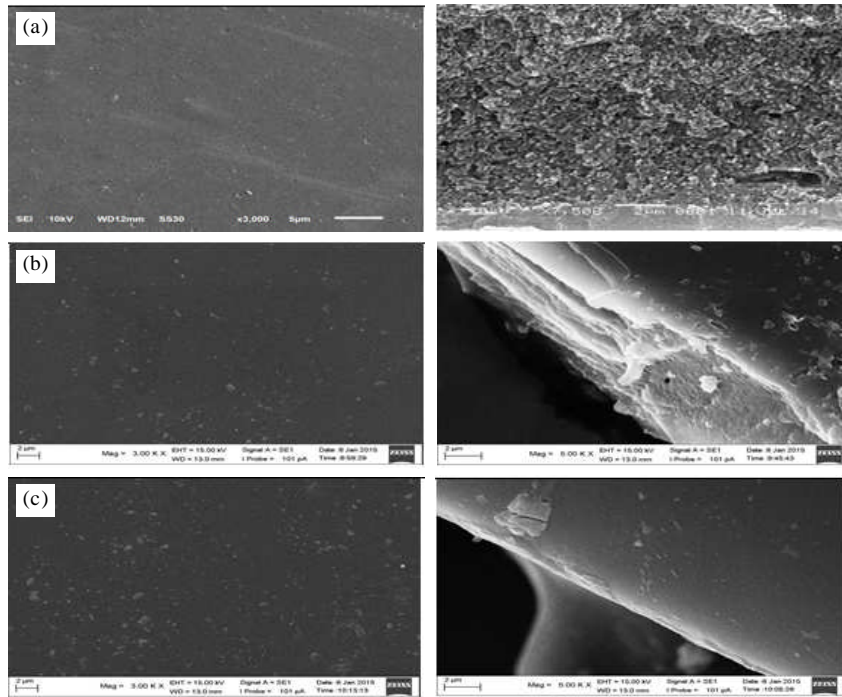


Gambar 3. Grafik derajat kopolimerisasi dan derajat pengembangan membran SA-GA (dosis iradiasi 30 kGy).

Nilai DS pada membran SA turun, DK naik. Hal ini disebabkan DS dipengaruhi oleh DK [9]. Kenaikan DK menyebabkan kerapatan membran meningkat.

Morfologi membran

Hasil analisis menggunakan SEM menunjukkan morfologi permukaan dan penampang melintang pada membran SA (Gambar 4a), membran SA-GA-1% (Gambar 4b), dan membran SA-GA-10% (Gambar 4c). Dengan

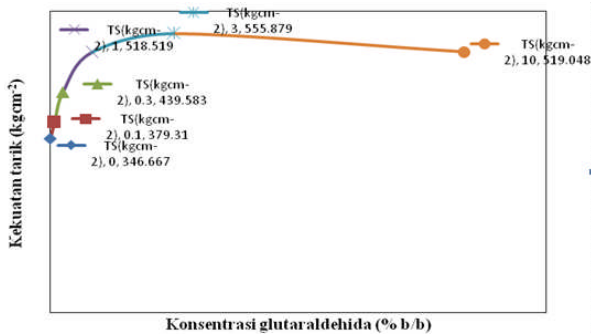


Gambar 4. Hasil pencitraan dengan SEM, permukaan dan penampang lintang dari membran (A). SA, (b). SA-GA-1% dan (c). SA-GA-3%.

bertambahnya konsentrasi GA, permukaan dan penampang melintang membran terlihat semakin halus dan rapat (Gambar 4a – 4c). Hal ini memperkuat keberhasilan terjadinya kopolimerisasi ikatan silang pada membran dengan menghasilkan membran yang rapat. Membran yang rapat merupakan salah satu syarat membran pervaporasi.

Kekuatan tarik membran

Modifikasi membran SA menyebabkan terjadinya perubahan sifat mekanik yang ditunjukkan dari hasil pengujian kekuatan tarik (Ts). Ts dari membran SA bertambah dengan meningkatnya konsentrasi GA (Gambar 5). Semakin tinggi konsentrasi GA yang ditambahkan, maka Ts semakin besar karena adanya interaksi yang kuat antara SA dengan GA. Ts optimum terjadi pada 555,88 kgcm⁻² dengan penambahan GA



Gambar 5. Grafik Ts membran SA-GA.

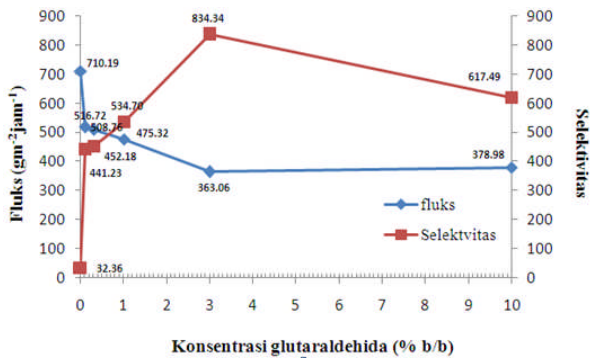
konsentrasi 3% sementara pada GA konsentrasi 10% Ts turun menjadi 519,05 kgcm⁻². Penurunan Ts ini terjadi tidak terlalu signifikan sehingga kenaikan konsentrasi GA dianggap tidak mempengaruhi Ts. Ts merupakan salah satu parameter untuk mengetahui sifat mekanik dari membran.

Pervaporasi Etanol-Air

Proses pervaporasi, umpan etanol-air dialirkan menuju membran yang telah diletakkan pada modul pendukung (Gambar 1 no 5) secara horizontal menggunakan pompa pristaltik (Gambar 1 no 10) sehingga dihasilkan aliran *cross flow*, yang mana retentat etanol akan kembali ke dalam labu. Aliran ini digunakan untuk mencegah terjadinya *fouling*.

Air dalam umpan yang berinteraksi dengan membran akan berdifusi ke dalam membran sesuai dengan teori *solution-diffusion* [5]. Interaksi terjadi karena membran SA-GA memiliki gugus -OH dan C=O yang dapat mengikat air dengan ikatan hidrogen. Air yang telah berdifusi akan keluar dari membran dalam bentuk fase uap dan merupakan permeat.

Perubahan fase dari cairan menjadi uap disebabkan perbedaan tekanan yang besar antara permukaan atas (*up stream*) dan permukaan bawah (*down stream*) membran. Kecepatan air keluar dari membran dihitung berdasarkan nilai fluks dan kemampuan membran memisahkan air dari etanol dihitung berdasarkan nilai selektivitas. Hasilnya ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Kurva pengaruh konsentrasi GA terhadap fluks dan selektivitas membran SA

Pada Gambar 6, nilai fluks turun dengan bertambahnya konsentrasi GA (1 s/d 3%). Hal ini dikarenakan hidrofilitas membran SA-GA berkurang, sehingga interaksi umpan (air) dengan permukaan membran pun berkurang. Namun pada penambahan GA 3 s/d 10% nilai fluks menjadi relatif konstan. Sementara nilai selektivitas bertambah seiring dengan bertambahnya konsentrasi GA (1 s/d 3%). Berarti membran SA-GA lebih selektif terhadap air daripada etanol karena struktur membran yang menjadi lebih rapat dengan adanya agen pengikat silang (GA) ini. Hal ini ditunjukkan pula pada morfologi hasil pencitraan membran dengan SEM pada Gambar 4. Namun nilai selektivitas membran SA-GA menurun pada penambahan GA (3 s/d 10%). Pada penambahan GA 3%, nilai selektivitas mencapai yang tertinggi namun nilai fluks sangat rendah. Sehingga proses pemisahan pada penambahan GA 3% kurang efektif. Pada penambahan GA 1%, nilai selektivitasnya naik 16,5 kali yaitu dari nilai selektivitas awal yaitu 32,36 menjadi 534,70 sementara nilai fluks turun tidak terlalu besar yaitu 0,7 kali dari nilai fluks awal yaitu 710,19 menjadi 475,32 gm²·jam⁻¹. Maka komposisi membran SA-GA-0,1% merupakan komposisi dengan kinerja yang optimum. Hasil-hasil yang diperoleh ini menunjukkan bahwa proses kopolimerisasi dengan penambahan GA dan dosis radiasi berkas elektron mempengaruhi sifat membran (DK, DP, dan Ts). Selain itu juga mempengaruhi kinerja membran (fluks dan selektivitas).

KESIMPULAN

Proses kopolimerisasi dengan penambahan GA dan dosis radiasi berkas elektron mempengaruhi sifat membran (DK, DP, dan Ts) dan kinerja membran (fluks dan selektivitas). Hasil penelitian pada membran SA yang telah dimodifikasi GA 1% pada dosis iradiasi optimum 30 KGy menunjukkan bahwa penurunan nilai derajat pengembangan 66,16%, kekuatan tarik meningkat 49,75%, nilai selektivitasnya meningkat 16,5 kali, dan nilai fluks turun 0,7 kali. Penambahan GA dan radiasi berkas elektron dapat memperbaiki karakteristik dan kinerja membran selulosa asetat untuk pervaporasi etanol-air.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Supandi ST. (PAIR-BATAN) atas bantuannya meng-iradiasi sampel selulosa asetat dan terimakasih pada Akhmad Rasyid S.Si (PAIR-BATAN) atas bantuannya pada saat menggunakan alat Instron Tester. Terimakasih khusus kepada Dini S.Si. (Universitas Padjadjaran) atas bantuannya sehingga penelitian ini dapat berjalan seperti yang diharapkan.

DAFTAR ACUAN

- [1]. Bruggen B.V. and P. Luis. "Chapter Four - Pervaporation," in *Progress in Filtration and Separation*, S. Tarleton, Editor., Oxford: Oxford Academic Press, 2015, pp. 101-154 .
- [2]. I.T. Meireles, C. Portugal, V. D. Alves, *et al.* "Impact of biopolymer purification on the structural characteristics and transport performance of composite polysaccharide membranes for pervaporation", *Journal of Membrane Science*, vol. 493, pp. 179-187, 2015.
- [3]. E. Nagya, S. Boldyryevb, P. Varbanov. " Analysis of energy saving of the combination of distillation and pervaporation for biofuel production," in *Proceedings of the 6th International Conference on Process Systems Engineering (PSE ASIA)*, 2013, pp 239-244.
- [4]. H. Zhou, R. Shi, W. Jin. "Novel Organic-Inorganic Pervaporation Membrane With A Super hydrophobic Surface For The Separation Of Ethanol from An Aqueous Solution", *Separation and Purification Technology*, vol. 127, pp.61-69, 2014.
- [5]. M. Komorowska-Durka, R. van Houten, G. D. Stefanidis. "Application of microwave heating to pervaporation: A case study for separation of ethanol-water mixtures", *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, vol. 81, pp. 35-40, 2014.
- [6]. N. K. Goel, V. Kumar, N. Misra, L. Varshney. "Cellulose based cationic adsorbent fabricated via radiation grafting process for treatment of dyes wastewater", *Carbohydrate Polymers*, vol. 132, pp. 444-451, 2015.
- [7]. H. Kang, R. Liu, Y. Huang. "Graft modification of cellulose: Methods, properties and applications", *Polymer*, vol. 70, pp. A1-A16, 2015.
- [8]. M. Zafar, M. Ali , S. M. Khan, *et al.* "Effect of additives on the properties and performance of cellulose acetate derivative membranes in the separation of isopropanol/water mixtures", *Desalination*, vol. 285, pp 359-365, 2012.
- [9]. Xu S., Y. Wang. "Novel thermally cross-linked polyimide membranes for ethanol dehydration via pervaporation", *Journal of Membrane Science*, vol. 496, pp. 142-155, 2015.

- [10]. Kataoka T., Toshinori T., Shin-Ichi N., *et al.* "Membrane Transport Properties of Pervaporation and Vapor Permeation in Ethanol-Water System Using Polyacrylonitrile and Cellulose Acetate Membranes", *Journal of Chemical Engineering of Japan*, vol. 24, no. 3, pp. 334-339, 1991.
- [11]. G. Fan, M. Wang, C. Liao, T. Fang, J. Li, & R. Zhou. "Isolation of cellulose from rice straw and its conversion into cellulose acetate catalyzed by phosphotungstic acid". *Carbohydrate Polymers*, vol. 94, pp. 71-76, Apr. 2013.
- [12]. O. M'barki, A. Hanafia, D. Bouyer, *et al.* "Greener method to prepare porous polymer membranes by combining thermally induced phase separation and crosslinking of poly (vinylalcohol) in water", *Journal of Membrane Science*, vol. 458, pp. 225-235, 2014.
- [13]. H. S. Samanta, S. K. Ray. "Separation of ethanol from water by pervaporation using mixed matrix copolymer membranes", *Separation and Purification Technology*, vol. 146, pp. 176-186, 2015.
- [14]. N. M. Mahmoud, O. Guvenc. "Radiation-grafted copolymers for separation and purification purposes: Status, challenges and future directions", *Progress in Polymer Science*, vol. 37, pp. 1597-1656, 2012.
- [15]. K. Zhou, Q. G. Zhang, G. L. Han, *et al.* "Pervaporation of water-ethanol and methanol-MTBE mixtures using poly (vinylalcohol)/cellulose acetate blended membranes", *Journal of Membrane Science*, vol. 448, pp. 93-10, 2013.
- [16]. Donia, A.M., A. Asem A., Abouzayed F. I. "Preparation and Characterization of Nano-magnetic Cellulose with Fast Kinetic Properties Towards the Adsorption of Some Metal Ions". *Chemical Engineering Journal*, vol. 191, pp. 22-30, May 2012.