



KAJIAN CAMPURAN PELARUT AKUADES-ASETON PADA PEMBUATAN MEMBRAN SELULOSA PROPIONAT

Study of Solvent Mixture of Aqua destillata – Acetone in the Making of Cellulose Propionate Membrane

Budi Kamulyan*, Uswatun Hasanah, dan Febrian Matulesi

*Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Brawijaya
Jl. Veteran, Malang 65145, Jawa Timur, Indonesia*

*Keperluan Korespondensi, email: budi1906@gmail.com

Received: August 06, 2018

Accepted: August 29, 2018

Online Published: August 31, 2018

DOI : 10.20961/jkpk.v3i2.22740

ABSTRAK

Pada penelitian ini akan menguji kelarutan selulosa propionat pada berbagai variasi campuran akuades:aseton. Sebelumnya selulosa propionat didispersikan ke dalam campuran pelarut akuades-aseton. Variasi perbandingan volume akuades-aseton 4:1; 3:1; 2:1; 1:2; 1:3; dan 1:4. Campuran diaduk selama 48 jam dan disaring. Padatan kemudian dimasukkan dalam alat cetakan dengan teknik sintering pada suhu 100 selama 5-10 menit. Karakterisasi membran meliputi parameter kelarutan δ_{mix} , Densitas menggunakan piknometer dan perhitungan dimensi sampel, dan Indeks *Swelling*. Hasil perhitungan parameter kelarutan δ_{mix} campuran pelarut akuades-aseton (1:4) mendekati δ selulosa asetat (12.47). Perbedaan densitas membran menggunakan piknometer dan perhitungan secara dimensi mengindikasikan adanya rongga atau pori di dalam membran tersebut. Selisih harga densitas kedua perhitungan terjadi pada membran dengan campuran akuades:aseton (1:3). Sifat hidrofobisitas terbesar didapatkan pada perbandingan pelarut akuades:aseton (1:4) dengan Indeks *Swelling* terkecil (48,14%).

Kata Kunci: *selulosa propionat, sintering, kelarutan*

ABSTRACT

In this article we will discuss the solubility test of cellulose propionate on various ratio variations of aqua destillata–acetone. Previously cellulose propionate was dispersed into a solvent mixture of aqua destillata–acetone. Variation in volume ratio of aqua destillata–acetone was 4: 1; 3: 1; 2: 1; 1: 2; 1: 3, and 1: 4. The mixture is stirred for 48 h and filtered. The solid was then put into a mold with a sintering technique at a temperature of 100°C for 5-10 minutes. Membrane characterization includes solubility parameters (δ_{mix}), density using picno meter and calculation of sample dimensions, and swelling index. The results of the calculation of solubility parameters (δ_{mix}) solvent mixture of aqua destillata–acetone (1: 4) close to δ cellulose acetate (12.47). Differences in membrane density using picno meter and calculations in dimensions indicate the presence of cavities or pores in the membrane. Difference in density value of both calculations occurs in the membrane with a mixture of aqua destillata–acetone (1: 3). The highest hydrophobicity properties were obtained in the ratio of solvents of destillata–acetone (1: 4) with the smallest swelling index (48,14%).

Keywords: *cellulose propionate, sintering, solubility*

PENDAHULUAN

Nata de coco merupakan selulosa bakterial yang dihasilkan oleh bakteri *Acetobacter xylinum* pada proses fermentasi air kelapa. Selulosa bakterial mempunyai beberapa keunggulan antara lain kemurnian tinggi, derajat kristalinitas tinggi, kerapatan antara 300 dan 900 kg/m³, kekuatan tarik tinggi, elastis dan terbiodegradasi [1]. Selulosa bakterial juga memiliki kekuatan tarik yang tinggi yaitu 200-300 Mpa dan modulus Young yang besar yaitu 15-35 Gpa.

Modifikasi selulosa menjadi selulosa ester mengakibatkan hidrofilitas material menjadi berkurang sehingga jika dimanfaatkan sebagai bahan baku membran mencegah terjadinya akumulasi air dalam struktur polimer. Jika selulosa ester digunakan sebagai adsorben maka senyawa yang bersifat kurang polar akan lebih terserap [2]. Esterifikasi tersebut bertujuan untuk merubah sifat fisik dari selulosa nata agar didapat suatu material dengan sifat mekanik yang lebih tinggi dan sifat porositas tinggi.

Pada pembuatan selulosa asetat kebanyakan dipakai asetat anhidrit dengan katalis asam asetat. Penelitian sebelumnya menunjukkan asetilasi selulosa menggunakan katalis Iodindan asam sitrat sebagai cross-link sellulossa dari pati menggunakan katalis NaH₂PO₂ [3,4]. Pembuatan selulosa ester propionat telah dilakukan oleh seorang peneliti asal Indonesia menggunakan katalis dibutil timah oksida dengan kondisi reaksi pada suhu 50°C, 70°C, 80°C dan 90 °C dengan waktu 3 jam. Membran diperoleh dari produk selulosa ester dengan melarutkan pada campuran akuades aseton 1:1. Produk

ester propionate paling hidrofob diperoleh pada kondisi reaksi 70°C [5]. Produk ester secara enzimatik selama 18 jam dilakukan menggunakan Lipase amobil [6]. Atas dasar produk selulosa ester yang telah diperoleh, maka dalam penelitian ini akan menguji kelarutan dengan variasi ratio campuran akuades: aseton. Adanya fenomena *swelling* pada selulosa propionate memungkinkan dapat dibentuk film tipis atau membran.

Pada tahun 1936, Joel H. Hildebrand [7] mengusulkan definisi sederhana "parameter kelarutan" yang akan memberikan deskripsi sistemik perilaku dapat campur pelarut. Parameter kelarutan δ ini, didefinisikan sebagai akar kuadrat dari densitas energi kohesif, panas penguapan dibagi dengan volume molar. Hansen mengusulkan pengembangan metode parameter Hildebrand untuk memperkirakan kelayakan relatif dari sistem polar dan ikatan hidrogen. Dalam pendekatan Hansen parameter kelarutan Hildebrand dibagi menjadi tiga komponen: polar, dispersi, dan ikatan hidrogen; sehingga dinamakan parameter kelarutan 3D. Tiga komponen secara empiris disesuaikan untuk menentukan karakteristik dapat larut dari pelarut.

Parameter kelarutan δ merupakan hasil akar dari densitas energi kohesif, yang dirumuskan sebagai berikut [2] :

$$\delta = \left(\frac{\Delta E}{V}\right)^{1/2} \dots\dots\dots(1)$$

Untuk parameter kelarutan dari pelarut campuran (δ_{mix}) dihitung dengan rumus:

$$\delta_{mix} = \frac{x_1 V_1 \delta_1 + x_2 V_2 \delta_2}{x_1 V_1 + x_2 V_2} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

x_1 dan x_2 = fraksi mol komponen 1 dan 2

V_1 dan V_2 = volume molar komponen 1 dan 2

δ_1 dan δ_2 = parameter kelarutan komponen 1 dan 2

Perkembangan parameter system kelarutan 3 dimensi didasarkan pada asumsi bahwa energy penguapan yakni energy kohesif ΔE_t yang mengikat cairan berasal dari sumbangan gaya disperse London ΔE_d , gaya Polar ΔE_p , dan gaya ikatan hydrogen ΔE_h [8]:

$$\Delta E_t = \Delta E_d + \Delta E_p + \Delta E_h \dots\dots\dots(3)$$

Persamaan ini dibagi dengan volume molar menjadi:

$$\Delta E_t/V = \Delta E_d/V + \Delta E_p/V + \Delta E_h/V \dots\dots\dots(4)$$

atau

$$\delta = \sqrt{(\delta_d^2 + \delta_h^2 + \delta_p^2)} \dots\dots\dots(5)$$

Tabel 1. Parameter Hansen^{a,b} untuk pelarut pada 25 °C [8]

Liquid	$\bar{\delta}_d$ (cal/cm ³) ^{1/2}	$\bar{\delta}_p$ (cal/cm ³) ^{1/2}	$\bar{\delta}_h$ (cal/cm ³) ^{1/2}
Acetic Acid	6.8	6.0	9.2
Acetone	6.3	4.8	5.4
Benzene	7.9	4.2	2.0
1-Butanol	7.8	2.8	7.7
Chloroform	5.4	6.7	3.1
Cyclohexane	8.0	1.5	0.0
1,4-Dioxane	8.0	4.9	3.9
Diocetyl phthalate	8.1	3.4	1.5
Ethyl acetate	6.5	4.2	4.3
Ethylene Glycol	4.9	7.4	14.6
Glycerol	4.5	7.5	15.3
n-Hexane	7.3	0.0	0.0
Methyl Ethyl ketone	7.8	4.4	2.5
Methanol	7.4	6.0	10.9
Nitrobenzene	8.6	6.8	0.0
Tetrahydrofuran	8.2	2.8	3.9
Toluene	8.0	3.9	0.8
Water	5.9	11.1	19.7
m-Xylene	8.1	3.5	1.2

^aSource: "Table of Solubility Parameters", 3rd Ed., Chemicals and Plastics Research and Development Dept., Union Carbide Corporation, N.Y., 1975.

^bSI value of parameter in MPa^{1/2} is obtained by multiplying the value in (cal/cm³)^{1/2} by 2.045

Jarak suatu koordinat (d) pelarut i dari titik pusat kelarutan polimer bola j dinyatakan dengan rumus [8]:

Jika $d < R$, dimana R jari-jari polimer bola maka pelarut i melarutkan polimer j dengan sangat tinggi.

$$d = [4(\delta_d^i - \delta_d^j)^2 + (\delta_p^i - \delta_p^j)^2 + (\delta_h^i - \delta_h^j)^2]^{1/2} \quad (6)$$

Tabel 2. Parameter Hansen dan Antaraksi jari-jari (R) Beberapa Polimer dan Resin^{a,b} [8].

Polymer	$\bar{\delta}_d$ (cal/cm ³) ^{1/2}	$\bar{\delta}_p$ (cal/cm ³) ^{1/2}	$\bar{\delta}_h$ (cal/cm ³) ^{1/2}	R (cal/cm ³) ^{1/2}
Acrylonitrile-buta-diene elastomer	9.1	4.3	2.0	4.7
Cellulose acetate	9.1	6.2	5.4	3.7
Epoxy resin	10.0	5.9	5.6	6.2
Nitrocellulose	7.5	7.2	4.3	5.6
Polyamide	8.5	-0.9	7.3	4.7
Polyisoprene	8.1	0.7	-0.4	4.7
PMMA	9.1	5.1	3.7	4.2
Polystyrene	10.4	2.8	2.1	6.2
Poly(vinyl acetate)	10.2	5.5	4.7	6.7
Poly(vinyl chloride)	8.9	3.7	4.0	1.7
SBR	8.6	1.7	1.3	3.2

^aData from Hansen and Beerbower, 1971. ^bSI value of parameter in MPa^{1/2} is obtained by multiplying the value in (cal/cm³)^{1/2} by 2.045

Swelling terjadi ketika polimer berikatan silang diletakkan dalam cairan yang merupakan pelarut dari polimer yang tidak berikatan silang sampai mencapai batas kesetimbangan antara pelarut dan polimer. Kesetimbangan tercapai ketika dua potensi yang bertindak secara berlawanan mempunyai nilai sama [9]. Derajat penggelembungan (*swelling*) merupakan salah satu parameter sifat fisik membran. Semakin rapat struktur dari film, menyebabkan proses difusi air ke dalam film lebih sulit. Uji Indeks *swelling* dilakukan dengan merendam film dalam air pada suhu ruang hingga tercapai kesetimbangan penyerapan air. Film kemudian diangkat dari air dan Indeks *swelling* dapat dihitung dengan persamaan [10]:

$$\text{indeks swelling} = \frac{B_K - B_A}{B_A} \times 100\% \dots\dots\dots(7)$$

Dimana, :

B_A = berat awal sampel

B_K = berat kesetimbangan sampel (akhir)

Berdasarkan permasalahan yang ada pada artikel ini akan ditentukan komposisi campuran pelarut (akuades: aseton) yang sesuai pada selulosa propionat dan mengetahui dapatkah campuran selulosa propionat dengan komposisi pelarut yang diperoleh dibuat membran.

METODE PENELITIAN

1. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Nata Propionat (*Selulosa propionate*), Aseton, Akuades.

2. Prosedur Kerja

a. Pelarutan dan Pembuatan Film Tipis Selulosa propionat dalam pelarut Akuades Aseton

Selulosa propionat sebanyak 0,5 g dimasukkan dalam Erlenmeyer 25 mL kemudian ditambahkan campuran pelarut akuades:aseton pada berbagai ratio (4:1,3:1,2:1, 1:2,1:3:1:4), diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 48 jam dan diamati perubahan yang terjadi.. Jika terbentuk gel/mengembang selanjutnya dilakukan pengepresan menggunakan **hydraulic press** pada suhu 100° C dengan waktu 5-10 menit sampai terbentuk film tipis. Film tipis yang terbentuk kemudian dikarakterisasi meliputi Indeks *Swelling* dan densitas membran secara dimensional dan piknometer.

b. Karakterisasi Film Tipis Selulosa Propionat

1) Penentuan indeks *swelling*

Dalam menentukan indeks *swelling* langkah pertama yaitu film tipis dibuat ukuran 1x1 cm kemudian ditimbang (B_A) kemudian direndam dengan akuades selama 30 menit dalam cawan petri. Setelah 30 menit produk diangkat dikeringkan permukaannya dengan kertas saring untuk menghilangkan air yang terdapat pada permukaan, kemudian ditimbang massanya (B_K). Setelah ditimbang pada 30 menit kemudian dimasukkan lagi pada cawan petri disk untuk 30 menit kedua dan seterusnya menit ke 210. Indeks *swelling* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (7).

2) Penentuan berat jenis dengan piknometer

Piknometer (5mL) kosong ditimbang, piknometer diisi dengan akuades dan ditutup hingga tidak terdapat gelembung. Kemudian piknometer yang berisi akuades ditimbang. Data tersebut digunakan untuk kalibrasi volume piknometer dengan mengetahui berat jenis akuades pada 25°C. Selanjutnya ke dalam piknometer yang telah berisi akuades dimasukkan sampel nata propionat dan akuades sampai penuh dan ditimbang sebagai massa total. Hal yang perlu diperhatikan dalam uji berat jenis dengan menggunakan piknometer yaitu tidak boleh terdapat gelembung pada saat ditutup. Berat jenis suatu bahan dapat dihitung berdasarkan persamaan:

$$\rho \text{ akuades} = \frac{mB - mA}{Vp}$$

$$\rho \text{ sampel} = \frac{mC}{\left(Vp - \left(\frac{mD - mE}{\rho \text{ akuades}}\right)\right)}$$

Keterangan:

mA	: massa piknometer kosong
mB	: massa akuades+piknometer
mC	: massa sampel
mD	: massa total (massa piknometer + sampel + akuades)
mE	: massa piknometer+sampel
Vp	: Volume piknometer

3) Penentuan berat jenis secara dimensional

Film tipis dibuat lingkaran dengan diameter sekitar 2 cm dan diukur ketebalan menggunakan mikrometer pada 5 posisi. Kemudian bulatan film tipis tersebut ditimbang. Dengan menghitung volume film tipis hasil pengukuran tersebut maka dapat diperoleh berat jenis secara dimensional.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pembentukan Membran Selulosa propionat

Nata de coco sebagai sumber selulosa murni dapat disintesis menjadi selulosa ester dengan pereaksi asam karboksilat menggunakan katalis. Dalam penelitian ini hasil reaksi esterifikasi selulosa propionat berupa serbuk.

Membran selulosa propionat dibuat dari 0.5 g serbuk selulosa propionate dan campuran pelarut akuades aseton pada berbagai ratio (4:1,3:1,2:1, 1:2,1:3:1:4). Serbuk selulosa propionat di dalam campuran pelarut akan mengalami *swelling* setelah dilakukan pengadukan selama 48 jam. Berikutnya campuran disaring dan dimasukkan ke dalam cetakan untuk dilakukan tahap sintering dengan bantuan hydraulic press pada suhu 100 °C selama 5-10 menit. Membran atau film tipis yang terbentuk selanjutnya dilakukan uji kelarutan, indeks *swelling*, dan densitas membran.

2. Parameter kelarutan nata propionat dalam campuran akuades: aseton

Salah satu kriteria material agar dapat digunakan sebagai bahan baku membran adalah mudah dibentuk menjadi film tipis, melalui berbagai teknik pembuatan membran. Pada percobaan ini selulosa propionat diharapkan dapat dibuat membran melalui teknik sintering. Campuran pelarut yang digunakan adalah akuades dan aseton pada berbagai perbandingan. Parameter kelarutan δ_{mix} menggunakan persamaan (2) disajikan dalam Tabel 3. Polimer akan larut apabila harga δ sama dengan δ_{mix} pelarutnya.

Parameter kelarutan juga dihitung menurut persamaan Hansen untuk menghitung jarak d . Oleh karena parameter R selulosa propinat tidak diketahui maka sebagai analogi dipakai parameter R dari selulosa Asetat. Hasil perhitungan selulosa

asetat untuk parameter δ menggunakan persamaan (5) sedangkan parameter d menggunakan persamaan (6) disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 3. Parameter Kelarutan δ_{mix} Campuran Akuades Aseton

No	Sampel	Volume Akuades (mL)	Volume Aseton (mL)	δ_{mix}
1	Akuades : Aseton (4:1)	20	5	20.68
2	Akuades : Aseton (3:1)	15	5	20.00
3	Akuades : Aseton (2:1)	10	5	18.85
4	Akuades : Aseton (1:2)	5	10	14.29
5	Akuades : Aseton (1:3)	5	15	13.16
6	Akuades : Aseton (1:4)	5	20	12.47

Hasil perhitungan parameter δ untuk selulosa asetat $12.28 \text{ (kal/cm}^{-3}\text{)}^{1/2}$ dan δ_{mix} campuran pelarut yang mendekati pada komposisi akuades aseton (1:4).

Tabel 4 Perhitungan parameter kelarutan selulosa propionate dalam campuran akuades: aseton.

Campuran pelarut	$d(\text{kal/cm}^{-3})^{1/2}$
Akuades : Aseton (4:1)	13.65
Akuades : Aseton (3:1)	12.94
Akuades : Aseton (2:1)	11.71
Akuades : Aseton (1:2)	7.73
Akuades : Aseton (1:3)	6.92
Akuades : Aseton (1:4)	6.53

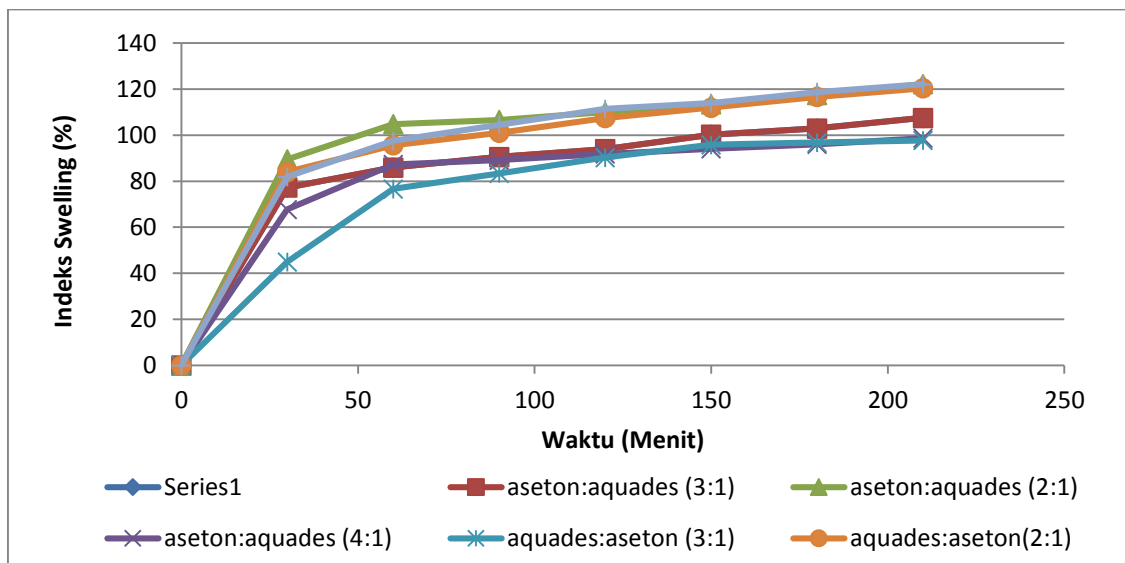
Harga R untuk selulosa asetat sebesar $3,7(\text{kal/cm}^{-3})^{1/2}$ terlihat pada campuran akuades aseton (1:4) yang paling mendekati sehingga pada pelarut ini selulosa propinat memiliki kelarutan paling besar.

Dari Tabel 3 dan Tabel 4 terlihat bahwa pada sampel selulosa propionate yang dilarutkan dalam campuran pelarut

akuades aseton makin meningkat ratio perbandingan aseton akuades maka parameter kelarutan makin menurun. Hal ini menunjukkan makin dekat harga δ polimer dengan δ pelarutnya akan meningkat kelarutan polimer tersebut.

3. Penentuan indeks *swelling*

Pada penelitian ini dilakukan penentuan sifat hidrofobitas berdasarkan indeks *swelling* dengan perbandingan komposisi pelarut yang berbeda. Penentuan indeks *swelling* dilakukan dengan cara merendam specimen film tipis selulosa propionat dalam pelarut (akuades:aseton) dengan perbandingan komposisi pelarut yang berbeda pada waktu perendaman tertentu (30,60,90,120,150,180,210 menit). Semakin kecil nilai indeks *swelling* menunjukkan sifat hidrofobitas semakin menonjol. Hasil penentuan indeks *swelling* terhadap komposisi pelarut dibuat kurva pada Gambar 1.



Gambar 1. Kurva Indeks Swelling dari sampel selulosa propionat

Kurva yang diperoleh dianalisis untuk memperoleh titik stasioner, yaitu titik belok dari masing-masing trendline. Titik stasioner adalah waktu kesetimbangan *swelling* bagi seluruh sampel.

Untuk mendapatkan waktu kesetimbangan maka dari kurva pada Gambar 1 dibuat persamaan polinomial orde 3, selanjutnya dengan menurunkan persamaan

polinomial sampai turunan kedua yang sama dengan nol sehingga diperoleh titik belok kurva. Titik belok menunjukkan waktu kesetimbangan dan indeks *swelling* diperoleh dengan memasukkan waktu kesetimbangan pada persamaan polinomial [11]. Waktu Kesetimbangan dan Indeks *Swelling* disajikan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Penentuan Waktu Kesetimbangan dan Indeks *Swelling*

Sampel	Polinomial	Waktu setimbang (menit)	Derajat <i>swelling</i> (%)
Akuades : Aseton (4:1)	$y = 5 \times 10^{-5}x^3 - 0,022x^2 + 2,7965x$	146.66	126.21
Akuades : Aseton (3:1)	$y = 3 \times 10^{-5}x^3 - 0,0118x^2 + 1,8249x$	128.88	103.39
Akuades : Aseton (2:1)	$y = 6 \times 10^{-5}x^3 - 0,0223x^2 + 2,7908x$	123.88	117.56
Akuades : Aseton (1:2)	$y = 7 \times 10^{-5}x^3 - 0,0256x^2 + 3,0801x$	121.9	121.85
Akuades : Aseton (1:3)	$y = 5 \times 10^{-5}x^3 - 0,0208x^2 + 2,5503x$	138.88	87.29
Akuades : Aseton (1:4)	$y = 5 \times 10^{-5}x^3 - 0,0198x^2 + 2,4556x$	132	48.14

Kesetimbangan *swelling* paling cepat terjadi pada pelarut dengan perbandingan komposisi akuades : aseton (1:2) dan paling lama terjadi pada perbandingan komposisi akuades : aseton (4:1). Waktu kesetimbangan yang lebih kecil menunjukkan interaksinya

terhadap molekul air adalah lebih kuat, sehingga laju difusi air kedalam struktur rantai polimer lebih mudah. Hasil pada penelitian menunjukkan adanya pola tertentu yang menghubungkan perbandingan komposisi pelarut terhadap indeks *swelling*.

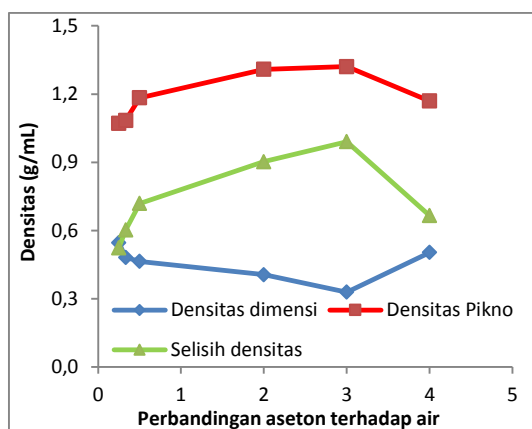
Pengaruh perbandingan komposisi terhadap indeks *swelling* menunjukkan semakin banyak perbandingan aseton yang digunakan maka semakin kecil Indeks *Swelling*. Makin kecil indeks *swelling* membran makin bersifat hidrofobis (48.14%). Sifat hidrofobitas paling kecil didapatkan pada perbandingan pelarut akuades : aseton (4:1) dengan indeks *swelling* paling besar 126,21 %.

4. Penentuan berat jenis Film Tipis Nata Propionat

Densitas dapat menjadi acuan pengaruh perbedaan kualitas membran yang terbentuk. Hasil penelitian densitas membran menggunakan piknometer dan perhitungan dimensional disajikan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Densitas Membran metode Dimensi dan Piknometer

Aqua-des	Ase-ton	densitas dimensi	densitas pikno	selisih densitas
1	2	0.4063	1.3091	0.9029
1	3	0.3295	1.3205	0.9911
1	4	0.5041	1.1696	0.6655
2	1	0.4646	1.1839	0.7193
3	1	0.4817	1.0841	0.6024
4	1	0.5470	1.0711	0.5241



Gambar 2. Kurva Densitas terhadap Perbandingan aseton air

Densitas merupakan suatu parameter yang dapat memberikan informasi ukuran pori atau jumlah pori, semakin tinggi densitas maka jumlah pori atau ukuran pori semakin edikit [5].

Perbedaan densitas membran menggunakan piknometer dan perhitungan secara dimensi mengindikasikan adanya rongga atau pori di dalam membran tersebut. Makin besar perbedaan makin besar pula adanya rongga dalam membran. Membran dengan campuran pelarut akuades:aseton (1:3) memberikan selisih harga densitas terbesar. Oleh karena itu selisih harga ini secara deskriptif dapat menunjukkan porositasnya. (Gambar 2).

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan, yakni:

1. Pada komposisi pelarut akuades:aseton (1:4) dengan $\bar{\delta}_{mix} = 12,47$ mendekati parameter kelarutan selulosa propionate 12,28 menghasilkan membran yang bersifat hidrofobis (indeks *swelling* = 48.14%).
2. Membran selulosa propionat dapat dibuat dengan teknik sintering pada suhu 100 °C menggunakan campuran pelarut akuades:aseton (1:4).

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Krystynowics, "Biosynthesis of Bacterial Cellulose and its Potential Application in the Different Industries", 2001, <http://www.biotechnology.pl.com/science/krystynomcz, htm>, diakses tanggal 9 Agustus 2011.

- [2] Maskhuroh, N. A., Pengaruh Jenis Asam pada Modifikasi Nata de Coco sebagai Bahan Baku Material Fungsional Berbasis Selulosa, Skripsi, Jurusan Kimia FMIPA Universitas Brawijaya, Malang, 2015.
- [3] Li, Jing, Li-Ping Zang, Feng Peng, Jing Bian, Tong-Qi Yuan, Feng Xu dan Rungcang Sun, "Microwave-assisted Solvent-Free Acetylation of Cellulose with Acetic Anhydride in the Presence of Iodin as a Catalyst", *Molecules*, 14, pp 3551-3566; doi:10.3390/molecules14093551, 2009.
- [4] Reddy, N. dan Yang, Yiqi, "Citric acid cross-linking of starch film", *Food Chemistry* 118:3, pp. 702-711; doi: 10.1016/j.foodchem.2009.05.050, 2010.
- [5] Trisnawati, A. D., Studi Pengaruh Temperatur pada Esterifikasi Selulosa Nata de Coco dengan Asam Propionat, Skripsi, Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya Malang, 2016.
- [6] Yulianti, R.P., Esterifikasi Bakterial Selulosa dengan Asam Propionat Menggunakan Lipase Amobil dari *Mucor miehei*, Skripsi, Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya Malang, 2015.
- [7] Belmares, M., Blanco, M., Goddard, W.A., Ross, R.B., Caldwell, G., Chou, S.H., Pham, J., Olofson, P.M., Thomas C., "Hildebrand and Hansen Solubility Parameters from Molecular Dynamics with Applications to Electronic Nose Polymer Sensors", *J Comput Chem* 25: 1814-1826, 2004.
- [8] Chanda, M., Introduction Polymer Science and Chemistry, CRC Press Taylor and Francis Group, Florida, 2006.
- [9] Rabek, J. F., Experimental Methods in Polymer Chemistry, John Willey & Sons, New York, 1980.
- [10] Puspawiningtyas, Endar dan Damajanti, Neni, "Kajian Sifat Fisik Film Tipis Nata de Soya sebagai Membran Ultrafiltrasi", *Techno*, ISSN 1410 - 8607, Vol. 12 : 01-07, 2011.
- [11] Mortimer, R.G. Mathematics for Physical Chemistry, 3rd Edition, Elsevier Academic Press, UK, 2005.