

PENGARUH KONSENTRASI KITOSAN TERHADAP KARAKTER MEMBRAN KITOSAN

EFFECT OF CHITOSAN CONCENTRATION DUE TO CHITOSAN MEMBRANE CHARACTER

Taufiqur Rohman¹, Umi Baroroh Lili Utami¹, Mahmud²

¹Staf Pengajar Program Studi Kimia FMIPA

Jl. A Yani Km 35.8 Banjarbaru Kalimantan Selatan Universitas Lambung Mangkurat

²Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil Fak. Teknik

Jl. A Yani Km 34.8 Banjarbaru Kalimantan Selatan Universitas Lambung Mangkurat

^{*)}Corresponding author :liliutami@yahoo.com

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang pengaruh konsentrasi kitosan terhadap karakter membran kitosan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh konsentrasi kitosan terhadap permeabilitas, permselektivitas, dan modulus Young. Penelitian juga bertujuan untuk mengetahui nilai *Molecular Weight Cut-Off* (MWCO) dan morfologi membran kitosan. Pembuatan larutan cetak membran digunakan dua komponen yaitu kitosan sebagai polimer, dan asam asetat sebagai pelarut. Sintesis membran kitosan dilakukan dengan teknik inversi fasa, yaitu dengan proses rendam endap. Pada larutan dope, digunakan kitosan dengan variasi konsentrasi 2%, 3%, 4%, 5% dan 6% (b/b). Karakterisasi membran meliputi uji permeabilitas, permselektivitas, MWCO, modulus Young, dan analisis morfologi dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Hasil penelitian menunjukkan bahwa permeabilitas tertinggi dimiliki membran dengan konsentrasi larutan cetak 2% (b/b), sedangkan permselektivitas tertinggi dengan konsentrasi larutan cetak 6% (b/b), untuk nilai *Molecular Weight Cut-Off* nya adalah 50%, dan modulus Young tertinggi diperoleh dengan konsentrasi larutan cetak 2% (b/b). Analisis morfologi membran menunjukkan bahwa konsentrasi larutan cetak 5% (b/b) merupakan komposisi terbaik menghasilkan struktur membran dengan perbesaran pori yang teratur.

Kata kunci : membran kitosan, permeabilitas, permselektifitas, MWCO, morfologi

ABSTRACT

The research of an effect of chitosan concentration due to chitosan membrane character had been done. Aims of this research are to study an effect of chitosan concentration, permeability, permselectivity, modulus Young, number of Molecular Weight Cut-Off (MWCO) and morphology of chitosan membrane. Synthesis of membrane dope is used two components are chitosan as polymer, and acetic acid as solvent. Synthesis of chitosan membrane was done with phase inversion technique that is an immersion precipitation processes. In dope solution, is used chitosan with concentration variation are 2%, 3%, 4%, 5%, and 6% w/w. Characterization of membrane includes permeability, perm selectivity, Young modulus and morphology analysis using Scanning Electron Microscope (SEM). Result is showed that the highest permeability that membrane hold with dope solution concentration is 2% w/w, while the highest perm selectivity with dope solution concentration is 6% w/w. Number of Molecular Weight Cut-Off is 50%, and the highest Young modulus in dope solution concentration is 2% w/w. Analysis of membrane morphology is showed that dope solution concentration 5% yielded the best composition that membrane structure result with an anisotropic pore magnification.

Keywords: chitosan membrane, permeability, permselectivity, MWCO, morphology

PENDAHULUAN

Teknologi membran telah tumbuh dan berkembang secara dinamis sejak pertama kali dikomersialkan Sartorius-Werke di Jerman pada tahun 1927. Pengembangan dan aplikasi teknologi ini semakin beragam dan penemuan-penemuan baru pun semakin banyak dipublikasikan. Teknologi membran pada akhirnya menjadi salah satu teknologi alternatif yang dapat memberikan solusi bagi umat manusia dalam pemenuhan kebutuhan sehari-hari (Irma, 2003).

Meskipun telah banyak penelitian tentang pembuatan membran dan aplikasinya, namun pada kenyataannya masih terkendala pada bahan-bahan polimernya yang sangat mahal, contohnya polisulfon dan selulosa asetat. Sehingga diperlukan suatu alternatif yang efisien dalam pemenuhan bahan polimer pembuat membran tersebut.

Kitosan di masa yang lalu ditemukan sebagai material yang sangat menarik untuk pengolahan membran hidrofilik. Kitosan adalah kitin yang terdeasetilasi yang dapat ditemukan pada kulit hewan golongan *crustacea* seperti udang dan kepiting. Baru-baru ini telah banyak penelitian yang mengarah pada penggunaan kitosan sebagai material pembuat membran karena permselektivitas yang

baik, sifat hidrofiliknya, dan memiliki gugus fungsi yang memudahkannya untuk dimodifikasi (Ghazali & Hasyim, 2003).

Keberhasilan proses pemisahan dengan menggunakan membran tergantung pada kualitas membran tersebut. Permeabilitas, permselektivitas maupun sifat mekanik membran sangat bergantung pada struktur pori membran tersebut. Dalam pembentukannya, struktur pori membran dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah konsentrasi polimer (Mulder, 1991).

Fokus penelitian ini adalah pada variasi konsentrasi kitosan dalam pengaruhnya terhadap struktur pori membran dan lebih jauh lagi terhadap karakterisasinya. Pada penelitian ini dilakukan variasi konsentrasi kitosan 2%, 3%, 4%, 5% dan 6% (b/b) yang dilarutkan pada asam asetat 2% (v/v). Karakterisasi yang dilakukan meliputi pengukuran permeabilitas dan permselektivitas dengan *Sel dead-end*, pengukuran modulus Young, diameter pori maksimum, dan morfologi membran dengan *Scanning Electron Microscope (SEM)* JEOL 25C.

METODOLOGI

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain Kitosan dari kulit udang, HCl (Merck), NaOH (Merck), asam asetat (Merck), etanol

absolute (Merck), dekstran T-70 dan dekstran T-500 (Sigma Chemical Co.), kertas saring biasa dan Whatman No. 42, nitrogen cair, fenol 5%, H₂SO₄ (Merck) dan akuades.

Isolasi kitin dari kulit udang

Kitin diisolasi dari kulit udang, senyawa kitin dapat diperoleh dengan menggunakan dua tahapan penting, yaitu deproteinasi dengan NaOH 3,5% (b/v) pada suhu 90°C, dan demineralisasi dengan larutan HCl 1 M pada suhu 100°C. Kitin yang dihasilkan, dideasetilasi dengan larutan basa pekat (NaOH 50% b/v) pada suhu 110°C untuk menghasilkan kitosan.

Sintesis membran

Sintesis membran kitosan yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan teknik inversi fasa, rendam endap. Sintesis membran dilakukan dalam dua tahap, yaitu pembuatan larutan cetak (*dope*) dan pencetakan membran. Larutan cetak dibuat dengan melarutkan sebanyak 2; 3; 4; 5; 6 gram kitosan ke dalam sejumlah tertentu asam asetat 2% (v/v). Kemudian dilakukan pengadukan konstan selama 24 jam pada suhu ruang. Larutan tersebut dituangkan secara perlahan di atas pelat kaca dan kemudian diratakan dengan menggunakan batang *stainless steel*. Selanjutnya, membran dibiarkan di udara terbuka untuk menguapkan pelarutnya. Membran yang sudah

terbentuk dimasukkan ke dalam bak koagulasi selama 24 jam pada suhu ruang. Setelah itu membran diangkat dan dicuci dengan akuades untuk menghilangkan sisa pelarut yang ada pada membran dan terakhir dikeringkan pada temperatur ruang.

Karakterisasi membran

Pengukuran fluks air

Membran yang diperoleh kemudian dipotong berbentuk lingkaran sesuai dengan disain alat ultrafiltrasi. Penentuan fluks air diperoleh dengan mengukur banyaknya volum air yang melewati tiap satuan luas permukaan membran per satuan waktu. Fluks volume dinyatakan sebagai berikut:

$$J = \frac{V}{A \times t} \quad (1)$$

dimana :

J = fluks volume (l/m².jam)

A = luas permukaan (m²)

t = waktu (jam)

Sebelum uji fluks air, terlebih dahulu dilakukan kompaksi terhadap membran yang akan diuji. Kompaksi dilakukan dengan mengalirkan air melewati membran hingga diperoleh fluks air yang konstan.

Pengukuran koefisien rejeksi

Membran dikarakterisasi dengan mengukur fluks air dan koefisien rejeksi terhadap larutan uji dekstran T-70 dan T-500. Penentuan fluks dilakukan setelah membran dikompaksi. Koefisien

rejeksi dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$R(\%) = \left(1 - \frac{C_p}{C_f}\right) \times 100\% \quad (2)$$

Dimana :

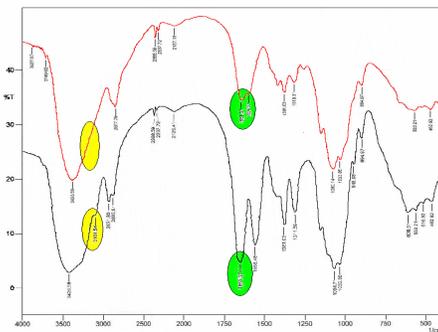
R = koefisien rejeksi

C_p = koefisien permeat

C_f = konsentrasi umpan (*feed*)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Isolasi kitin dari kulit udang



Gambar 1.Spektrum inframerah
(a) kitin (b) kitosan hasil isolasi

Berdasarkan spektrum inframerah kitin pada Gambar 1.a terlihat adanya beberapa puncak utama antara lain pada bilangan gelombang $3425,58 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan vibrasi ulur-OH yang memiliki ikatan hidrogen sehingga puncaknya melebar. Serapan yang khas untuk gugus -C=O yang berasal dari gugus asetamida pada kitin ditunjukkan pada bilangan gelombang $1651,07 \text{ cm}^{-1}$ dan diperkuat oleh serapan pada panjang gelombang $1311,59 \text{ cm}^{-1}$; $1064,71 \text{ cm}^{-1}$; $1033,85 \text{ cm}^{-1}$ yang ditimbulkan oleh ikatan -C-N (serapan dari 1350 cm^{-1} sampai 1000

cm^{-1}) dan juga oleh serapan pada bilangan gelombang $3101,54 \text{ cm}^{-1}$ yang ditimbulkan oleh rentangan N-H dari amida primer. Serapan pada bilangan gelombang $2931,80 \text{ cm}^{-1}$ dan $2885,51 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan rentangan C-H dari alkana.

Pada Gambar 1.b dapat dilihat bahwa kitosan yang diperoleh juga mengandung gugus -OH yang ditunjukkan oleh hasil serapan pada bilangan gelombang $3425,58 \text{ cm}^{-1}$, ada kemungkinan terjadinya tumpang tindih pada serapan tersebut dengan serapan untuk amina primer yang merupakan situs aktif pada kitosan, karena amina primer akan menimbulkan serapan pada bilangan gelombang $3200 - 3400 \text{ cm}^{-1}$. pada bilangan gelombang $1033,85 \text{ cm}^{-1}$ muncul serapan yang ditimbulkan oleh vibrasi uluran ikatan -C-N , yang berasal dari amina pada kitosan, dan dikuatkan dengan serapan pada bilangan gelombang $1604,77 \text{ cm}^{-1}$ yang diakibatkan oleh bengkokan -N-H dari amina primer. Gugus asetamida yang masih tersisa pada kitosan ditunjukkan oleh serapan pada bilangan gelombang $1651,07 \text{ cm}^{-1}$, serapan pada bilangan gelombang $2877,79 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan rentangan C-H dari alkana.

Sintesis membran kitosan

Sintesis membran kitosan yang dilakukan pada penelitian ini dengan teknik inversi fasa rendam endap.

Dalam teknik ini, sintesis membran terbagi menjadi dua tahap yaitu pembuatan larutan cetak (*dope*) dan pencetakan membran.

Pemilihan komposisi sangat penting untuk menentukan karakteristik suatu membran. Pada penelitian ini dilakukan variasi jumlah polimer kitosan yang dilarutkan pada sejumlah tertentu asam asetat untuk menghasilkan 2 – 6 % larutan. Konsentrasi asam asetat yang digunakan adalah 2%, hal ini berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Liu, 2003.

Asam asetat merupakan pelarut yang sesuai untuk melarutkan kitosan, yang mana dalam pembentukan larutan *dope* tersebut, akan terjadi perpanjangan ikatan antar monomer pada polimer kitosan akibat adanya pengaruh asam, sehingga larutan tersebut dapat dibentuk menjadi film tipis yang disebut membran.

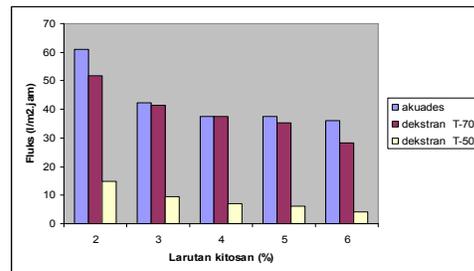
Pembuatan larutan cetak melibatkan proses pengadukan selama ± 24 jam. Tujuan dari pengadukan ini adalah agar semua komponen dapat larut secara homogen. Setelah proses pengadukan, larutan yang telah homogen tersebut didiamkan selama beberapa jam untuk menghilangkan gelembung-gelembung udara yang mungkin timbul ketika dilakukan pengadukan. Kemudian, larutan tersebut telah siap untuk dicetak menjadi membran. Larutan cetak yang

homogen dan telah didiamkan berwarna kuning dan jernih.

Besarnya konsentrasi kitosan akan mempengaruhi karakter membran yang terbentuk. Baik permeabilitas, permealtektivitas, ketahanan mekanik serta morfologi dari membran tersebut. Hal ini dapat terlihat pada hasil karakterisasinya.

Karakterisasi membran

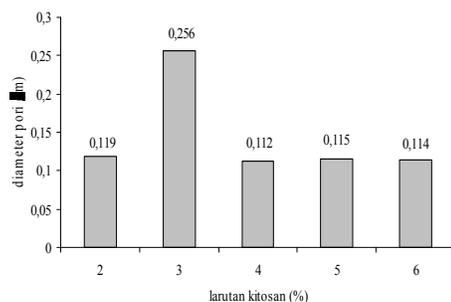
Permeabilitas suatu membran dinyatakan dalam suatu nilai yang disebut dengan nilai fluks. Dari ketiga bahan yang digunakan, baik akuades, dekstran T-70, dan dekstran T-500, hasil permeabilitas menunjukkan nilai fluks menjadi turun dengan meningkatnya konsentrasi kitosan pada membran. Hasil uji permeabilitas dapat dilihat pada Gambar 2 berikut :



Gambar 2. Hasil uji permeabilitas membran kitosan terhadap akuades, dekstran T-70, dan dekstran T-500

Hasil penelitian tersebut memperlihatkan bahwa kenaikan konsentrasi kitosan menyebabkan fluks permeat dan permeabilitas air menjadi lebih rendah. Hal tersebut disebabkan kenaikan konsentrasi polimer pada larutan, sehingga menyebabkan

konsentrasi polimer pada *interface* (lapisan antar muka) menjadi lebih tinggi. Lapisan antar muka didefinisikan sebagai lapisan diantara dua fasa yaitu larutan polimer dalam pelarut dan dalam non pelarut. Peningkatan konsentrasi polimer pada lapisan antarmuka menyebabkan fraksi volum polimer meningkat dan menghasilkan membran dengan porositas permukaan (luas pori membran dibandingkan luas total membran) menjadi lebih rendah. Perbedaan nilai fluks juga terjadi pada ketiga bahan yang digunakan. Akuades memiliki nilai fluks yang paling besar, sedangkan dekstran T-500 memiliki nilai fluks terkecil. Perbedaan ini disebabkan proses pemisahan membran dilakukan berdasarkan perbedaan berat molekul. Semakin besar ukuran partikelnya, maka semakin sedikit spesi tersebut dapat menembus membran. Hal inilah yang terjadi pada larutan dekstran T-500 yang memiliki berat molekul yang paling besar sehingga banyak spesi yang tidak dapat menembus membran.

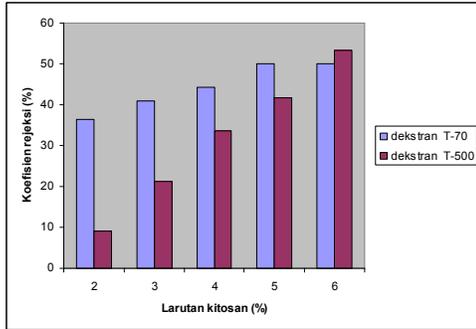


Gambar 2. Diameter pori membran kitosan dengan variasi

Pada penelitian ini juga dilakukan pengukuran diameter pori membran kitosan. Pengukuran diameter pori membran dilakukan dengan menggunakan metode *Bubble Point*.

Diameter membran kitosan hasil sintesis dapat dilihat pada Gambar 2. Membran kitosan dengan konsentrasi larutan cetak 3% memiliki diameter pori terbesar, yaitu 0,256 µm, sedangkan diameter pori terkecil dimiliki oleh membran kitosan pada konsentrasi larutan cetak sebesar 4% (b/b), yaitu 0,112 µm. Besarnya diameter pori suatu membran tidak terlalu mempengaruhi permeabilitas membran secara menyeluruh karena karakteristik membran lebih dipengaruhi oleh bagaimana pori-pori tersebut tersusun. Hal ini terlihat pada membran kitosan yang dicetak pada konsentrasi 3% (b/b). Diameter pori membran ini cukup besar, tetapi nilai permeabilitasnya lebih rendah dari membran kitosan dengan konsentrasi larutan cetak 2%.

Hasil uji permselektivitas pada Gambar 3 menunjukkan koefisien rejeksi tertinggi terjadi pada larutan kitosan sebesar 6%, sedangkan yang terendah terjadi pada larutan kitosan sebesar 2%.

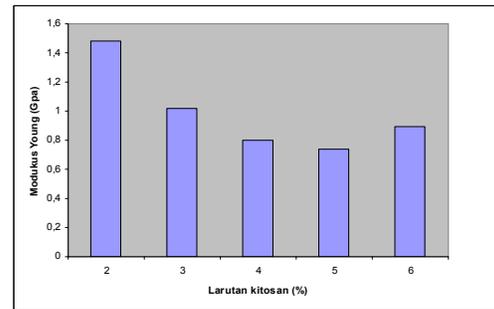


Gambar 3. Koefisien rejeksi membran kitosan terhadap dekstran T-70 dan dekstran T-500 pada berbagai konsentrasi kitosan

Kemampuan membran untuk dapat menahan suatu spesi sering dinyatakan dengan istilah *Molecular Weight Cut Off* (MWCO). MWCO didefinisikan sebagai masa molekul relatif yang dapat direjeksikan sebesar 95% oleh membran (Widyaningsih & Senny 2003). Dari hasil pengukuran permselektivitas membran kitosan, nilai MWCO belum dapat tercapai. Faktor yang menyebabkan hal ini adalah proses pencetakan membran masih dilakukan secara manual dan biasanya untuk dapat mencapai nilai MWCO, membran harus dilapisi dengan zat lain sehingga terbentuk membran komposit dan proses pemisahannya dikenal dengan istilah *Reverse Osmosis* (RO) (El-Saied *et al.*, 2003).

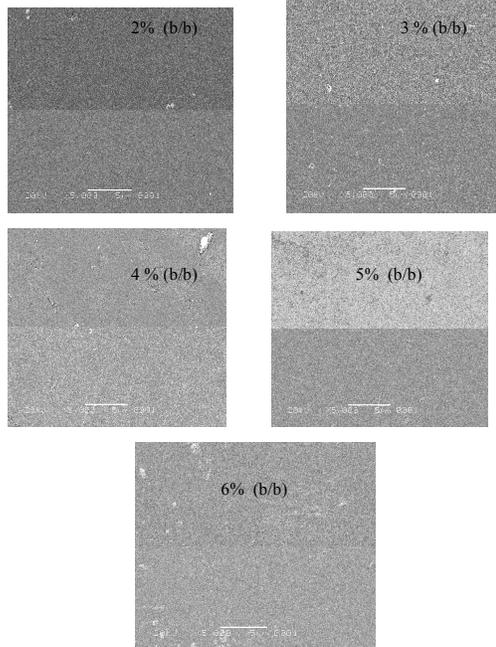
Uji ketahanan mekanik membran berupa pengukuran modulus Young membran kitosan. Nilai modulus Young membran menunjukkan elastisitas dari membran tersebut. Elastisitas adalah

sifat benda yang mengalami perubahan bentuk atau deformasi secara tidak permanen, artinya, jika gaya penyebab perubahan bentuk hilang maka benda akan kembali ke bentuk semula. Besarnya nilai modulus Young tersebut berpengaruh pada saat membran tersebut diaplikasikan untuk proses pemisahan.



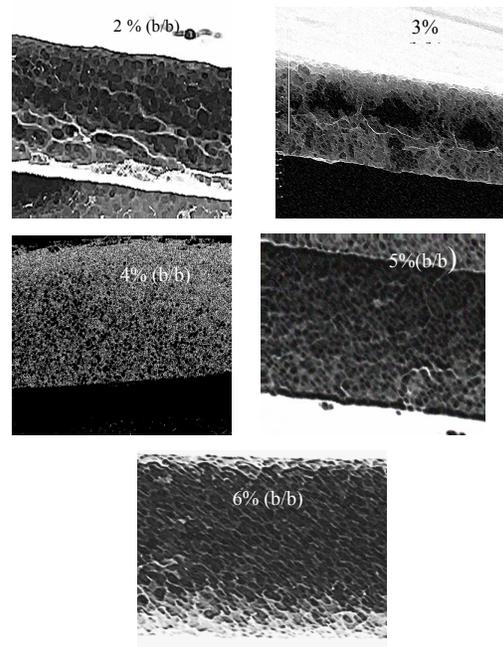
Gambar 4. Hasil analisis modulus young membran kitosan

Analisis morfologi membran dilakukan dengan menggunakan foto SEM. Hasil foto memperlihatkan bagian permukaan (Gambar 5) dan penampang lintang (Gambar 6) membran kitosan. Dari gambar terlihat susunan dan kerapatan pori, ada tidaknya *macrovoid* (rongga besar) yang terbentuk, kehalusan permukaan membran, serta defek atau cacat pada membran. Membran yang disintesis dengan teknik inverse fasa rendam endap akan menghasilkan struktur pori asimetrik karena bagian atas membran memiliki susunan yang lebih rapat daripada bagian bawah atau bagian pendukung membran.



Gambar 5. Permukaan membran kitosan

Proses pembentukan membran meliputi proses pembentukan inti (nukleasi) dan pertumbuhan inti, serta pembentukan celah dan rongga atau *void* (Kaiser & Stropnik, 2000). Proses ini terjadi di dalam bak koagulasi sehingga baik komposisi membran yang dibuat dan komposisi koagulan yang digunakan sangat berpengaruh terhadap morfologi membran yang dihasilkan



Gambar 6. Penampang lintang membran kitosan

Dari hasil analisis morfologi menggunakan foto SEM pada bagian permukaan membran, terlihat bahwa membran kitosan yang disintesis pada konsentrasi larutan cetak 5% memiliki struktur permukaan yang baik, karena defek atau cacat yang dihasilkan pada permukaan membran lebih sedikit dibandingkan dengan membran lainnya, akibat dari komposisi yang tidak tepat. Sehingga semakin besar konsentrasi polimer hingga titik tertentu akan menghasilkan membran dengan struktur permukaan yang lebih baik, kemudian akan terjadi penumpukkan padatan disuatu bagian dari membran jika konsentrasi larutan ditingkatkan, yang menimbulkan adanya bagian yang cacat pada membran. Hal ini juga terjadi pada

penampang lintang, membran kitosan yang dihasilkan memiliki susunan pori yang baik dan tersusun teratur, pada penampang lintang terdapat bagian atas yang lebih rapat dan semakin ke bawah, ukuran pori-porinya semakin membesar.

Struktur ini sangat baik terutama ketika membran ini diaplikasikan dalam proses pemisahan karena setelah membran diberi tekanan, kemampuan membran untuk kembali ke bentuk semula lebih besar dari pada membran kitosan lainnya.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa permeabilitas tertinggi dimiliki membran dengan konsentrasi larutan ceta 2% (b/b), sedangkan permselektivitas tertinggi dengan konsentrasi larutan ceta 6% (b/b), untuk nilai *Molecular Weight Cut-Off* nya adalah 50%, dan modulus Young tertinggi diperoleh dengan konsentrasi larutan ceta 2% (b/b). Analisis morfologi membran menunjukkan bahwa konsentrasi larutan ceta 5% (b/b) merupakan komposisi terbaik menghasilkan struktur membran dengan perbesaran pori yang teratur.

DAFTAR PUSTAKA

- Baker, R.W. 2004. *Membrane Technology and Applications*. Second Edition. John Willey & Sons, Ltd., Chichester, England, pp:4-6.
- Berlage, M.A.M, M.H.V. Mulder, C.A. Smolders, and H. Strathmann. 1993. Introduction: Ultrafiltration Membranes For Non-Aqueous Systems. *Journal Membrane Sci.* 25:1-19.
- Bungay, P.M, H.K Lonsdale, and M.N. de Pinho. 1986. *Synthetic Membranes: Science, Engineering and Applications*. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland, p:1-25.
- Claisen, C., T.Wilhelms., W.-M.Kulicke. 2006. *Formation and Characterization of Chitosan Membranes*. Institute of Technical and Macromolecular Chemistry, University of Hamburg, 20146 Hamburg, Germany
- Cousins, R.B. 2003. *Membrane Technology*. Department of Chemical And Process Engineering University of Strathclyde, Glasgow, Scotland, pp:21, 23, 37, 52.
- El-Saied, H., A.H. Basta, B.N. Barsoum, & M.E. Elberry. 2003. Cellulose Membranes for Reverse Osmosis Part I. RO Cellulose Acetate Membranes Including A Composite With Polypropylene. *Desalination* 159:171-181.
- Gabriel, B.L. 1992. *SEM : A User's Manual for Material Science*. American Society for Metals, Metal Parks, Ohio, p:4-10,81-85.
- Ghazali, Mohd Bin Mohd Nawawi. & Hashim Bin Hassan. 2003. Pervaporation Separation of Isopropanol-Water Mixture Using Crosslinked Chitosan Membranes. *Jurnal Teknologi*, 39(A) Keluaran Khas. Dis. 55–64. University Teknologi Malaysia.
- Irma. 2003. Pemisahan Dengan Membran. *Panduan Pelaksanaan Laboratorium Instruksional I/II*.

- Departemen Teknik Kimia ITB. Bandung.
- Judd, S. & B. Jefferson. 2003. *Membranes for Industrial Wastewater Recovery and Re-use*. Elsevier, Ltd., Oxford, UK, p: 7, 9.
- Kaiser, V. & C. Stropnik. 2000. Membranes From Polysulfone/*N,N*-Dimethyl-acetamide/Water System; Structur And Water Flux. *Acta Chim. Slov.* 47:205-213.
- Kathleen. 2004. Poly-D-Glucosamine (Chitosan). *Technical Evaluation Report*. ICF Consulting.
- Knaul, J., Hooper, M., Chanyi, C., Creber, K.A.M. (1998), *Journal of Applied Polymer Science*, 72: 1435-1444
- Knorr, D. 1984. Use of Chitinous Polymers in Food, *J. Food Technology*, vol : 11(2), 85-94.
- Kools, W.F.C. 1998. Membrane Formation by Phase Inversion In Multicomponent Polymer Systems. *Thesis*. University of Twente, Netherland, pp: 2-3.
- Lamina., A. Noor., T. Rahman., & M. Ragina. 2007. Modifikasi Arang Limbah Kayu Ulin Dengan Kitosan dari Limbah Kulit Udang untuk Meningkatkan Kapasitas Adsorpsinya Terhadap Timbal. *Laporan PKMP*. Universitas Lambung Mangkurat. Banjarbaru, hlm 10-11.
- Liu, J., X. Chen., Z. Zhong., Shao., & P. Zhou. 2003. *Preparation and Characterization of Chitosan/Cu(II) Affinity Membrane for Urea Adsorption*. Department of Macromolecular Science, The Key Laboratory of Molecular Engineering of Polymers, Fudan University, Shanghai, 200433.
- Mallevalle J., Odendoal P.E. and Wiesner M.R. 1996. *Water Treatment Membrane Processes*. Mc Graw-Hill, New York, p: 24 – 25.
- Mulder, M. 1991. *Basic Principles of Membrane Technology*. Kluwer Academic Publisher, Netherland, p:5-11
- Porter, M.C. 1990. *Handbook of Industrial Membrane Technology*. Noyes Publication, New Jersey, USA, pp: 2.
- Rautenbach, R & R. Albrecht. 1989. *Membrane Processes*. John Wiley and Sons, Chichester, p:19-24.
- Refinel. 1995. *Studi Tentang Polarisasi Konsentrasi Dan Penyumbatan Pori-Pori Membran Pada Proses Mikrofiltrasi Larutan Indigobiru*. Program Pasca Sarjana ITB, Bandung, p:6.
- Rohman, T. 1997. Pengaruh Komposisi Koagulan Terhadap Struktur Pori Membran Ultrafiltrasi. *Tesis*. Program Pasca Sarjana ITB, Bandung, hal:6, 9, 18-20.
- Sajitha, C.J & Mohan, D., 2003, Studies on Cellulose acetate-carboxylated polysulfone blend Ultrafiltration Membranes-Part II. *Polymer Int* 52:138.
- Sanzhes, D.R. Rha, Chokun., 1981. Chitosan Glubes, *Journal of Food Tecnology*, Vol.16, 469.
- Sibarani, S.O. 1994. *Penggunaan Sel Ultrafiltrasi Aliran Tangensial (Cross-Flow Ultrafiltration) Pada Proses Pemisahan Secara Kontinyu*. Jurusan Kimia FMIPA ITB, Bandung, hal:14-15.
- Uragami. T & H. Shinomiya. 1992. *J. Membrane Sci.* 74 183.
- Ventosa, A. R. 2003. *The Sorbents : Chitin, Chitosan and derivatives*. p:71-72.

- Widyaningsih & Senny, 2003, *Pembuatan Membran Selulosa Asetat dari Pulp Kenaf (Hisbiscus cannabinus)*, Program Pasca Sarjana ITB, Bandung, p:35.
- Zihua, Yao & Shi Dagang. 1999. *Preparation and Characterization of Porous Chitosan Membranes and The Localization of The Activity of Urease Immobilized on it by SEM and X-ray Microanalysis*. Collage of Chemistry and Environmental Science, Hebei University, Boading, 071002.