

PEMBUATAN DAN UJI KARAKTERISASI MEMBRAN SERAT BERONGGA POLIETERSULFON UNTUK PROSES PEMURNIAN AIR

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF POLYETHERSULFONE HOLLOW FIBER MEMBRANE FOR WATER PURIFICATION

Nasrul Arahman

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
e-mail: nasrular@unsyiah.ac.id

Abstract

Polymeric porous membranes are generally prepared by the phase separation of polymer solution. In this work, hollow fiber membrane was prepared by nonsolvent induced phase separation (NIPS). Effect of addition of surfactant Tetronic on the performance and characteristic of resulting membrane were investigated. The control PES membrane has the highest water contact angle, indicating the lowest hydrophilic. With addition of surfactant Tetronic in the polymer blend hollow fiber membrane, the water contact angle decreased indicates that the membrane surface is more hydrophilic. Scanning electron microscopy (SEM) images for all of the membrane showed the structure of fiber with finger-like macrovoids through the cross-section. The sponge-type of structure in the center path of original membrane was disappeared with addition of Tetronic. Ultrafiltration experiment results showed that water permeability was increased with addition of surfactant Tetronic. According to the characteristics of resulting membrane such as hydrophilicity, ultrafiltration performance, and pores structure, surfactant Tetronic was a good additive to produce hydrophilic membrane for drinking water application

Keywords: hollow fiber membrane, polyethersulfone, surfactant tetronic.

1. PENDAHULUAN

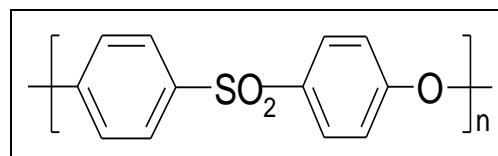
Ultrafiltrasi (UF) adalah proses yang sangat atraktif untuk memproduksi air minum atau mengolah air limbah. Hal ini dikarenakan proses ini mempunyai kemampuan untuk menyaring kontaminan pada level tekanan yang relatif rendah. Satu masalah yang tidak diinginkan pada membran ultrafiltrasi sampai saat ini adalah persoalan *fouling*, yang menimbulkan dampak negatif terhadap proses filtrasi secara keseluruhan dari membran ultrafiltrasi (Jermann *et al.*, 2007, Mulder, 1996). Modifikasi tingkat hidrophilisitas dari permukaan membran adalah salah satu metoda untuk mengurangi problem *fouling* pada membran ultrafiltrasi. Penambahan bahan organik atau inorganik sebagai komponen ketiga pada larutan kasting (larutan

polimer) merupakan salah satu teknik yang penting dipertimbangkan pada proses pembuatan membran. Penambahan bahan organik atau inorganik ke dalam larutan polimer telah dilaporkan sebagai *agent* pembentuk pori dan untuk memodifikasikan struktur membran (Kim dan Lee, 1998, Wang *et al.*, 2006). Porositas dan ukuran pori menentukan tingkat efisiensi dari proses filtrasi membran.

Poliethersulfon (PES) dengan struktur kimia seperti pada Gambar 1 adalah salah satu jenis polimer yang sangat populer dan luas digunakan sebagai bahan dasar pembuatan membran jenis ultrafiltrasi dan mikrofiltrasi. Hal tersebut dikarenakan karakteristik dari PES yang stabil pada kisaran temperatur yang luas mencapai 210 °C. Keunggulan PES yang

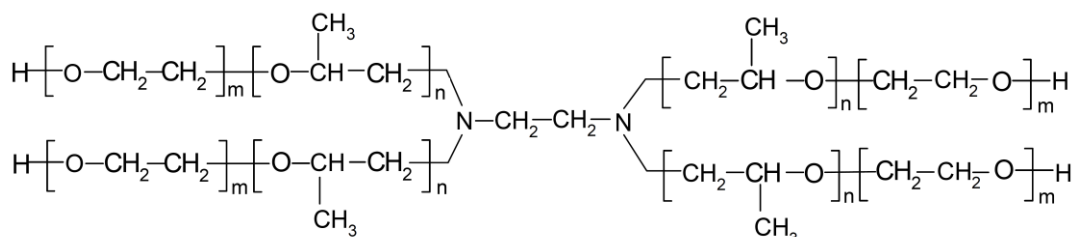
lainnya adalah mempunyai toleransi pH yang luas, baik saat pembuatan maupun saat aplikasi dan mempunyai resisten yang baik terhadap klorin (Cheryan, 1998). PES juga memiliki keunggulan mudah untuk membuat membran dengan berbagai variasi konfigurasi dan modul (Cheryan, 1998). PES mempunyai kelemahan yang sangat merugikan bila digunakan sebagai bahan baku membran untuk pengolahan air atau pemurnian protein yaitu mempunyai sifat hidrofobik. Membran yang bersifat hidrofobik mengakibatkan mudah terbentuk *fouling* (Boussu, Vandecasteele, dan Van der Bruggen, 2006). Oleh sebab itu diperlukan tindakan ekstra *backwash* untuk membersihkan membran, dengan demikian mengakibatkan turunnya performansi proses dan pemborosan energi. Oleh karena itu, arah perkembangan riset oleh para peneliti teknologi membran terkini adalah upaya pencarian material terbaik dari segi sifat mekanik dan bisa mempertahankan usia pakai membran semaksimal mungkin dengan menghindari terbentuknya *fouling*

pada permukaan membran.



Gambar 1. Rumus Bangun Polietersulfon

Empat jenis surfaktan yang dipilih dengan berat molekul yang berbeda yaitu (Tetronic 304, 704, 908, and 1307) digunakan pada penelitian ini. Surfaktan Tetronic yang mempunyai rumus bangun seperti pada Gambar 2, secara komersial juga bisa diperoleh sebagai *Poloxamine* adalah suatu polimer dengan empat blok polyoxyethylene (POE)- polyoxy- propylene (POP) bergabung secara bersama pada bagian tengah rangkaian ethylene diame. (Moghimi, 1997). Gugus hidroksil dari PEO yang terdapat pada senyawa Tetronic yang bersifat hidrophilik diharapkan mampu meningkatkan sifat hidrophilisitas dari membran yang terbentuk.



Gambar 2. Rumus Bangun Surfaktan Tetronic

Tetronic dikembangkan secara luas dalam industri farmasi, yaitu sebagai *agent* untuk aplikasi pada biomedik sebagai media *drug delivery* (Moghimi dan Hunter, 2000, Csaba, Sánchez, dan Alonso 2006). Perkembangan terbaru Tetronic juga sudah dikembangkan pemakaiannya sebagai matrik dalam industri pembuatan tisu (Sosnik dan Sefton, 2005). Gugus etilen oksida yang terkandung dalam senyawa Tetronic adalah potensi sumber untuk peningkatan sifat hidrophilisitas bila dicampurkan dengan material polimer. Berdasarkan ide inilah pada penelitian ini digunakan surfaktan Tetronic sebagai *agent*

untuk memodifikasi permukaan membran.

Pada artikel ini, membran serat berongga polietersulfon dibuat dengan metoda pemisahan fasa larutan oleh larutan non-pelarut (*non-solvent induced phase separation*). Larutan polimer dilarutkan di dalam suatu pelarut yang sesuai untuk mencapai larutan dop yang homogen. Selanjutnya larutan polimer yang telah homogen dicetak pada media tertentu atau dipintal melalui *spinneret* dan dipadatkan dengan larutan non-pelarut seperti air atau etanol. Pemisahan fasa dapat terjadi karena masuknya larutan non-pelarut ke dalam

larutan polimer (Matsuyama *et al.*, 2003, Van de Witte *et al.*, 1996).

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat membran serat berongga dari bahan polimer PES untuk mendapatkan membran yang berkualitas tinggi dan meminimalisir masalah *fouling*. Pengaruh penambahan surfaktan dipelajari terhadap struktur morfologi dan sifat hidrophobik atau hidrophilik membran yang dihasilkan. Performansi membran untuk aplikasi dalam pengolahan air diuji untuk beberapa parameter, yaitu permeabilitas air atau *fluks* dan koefisien rejeksi.

2. METODOLOGI

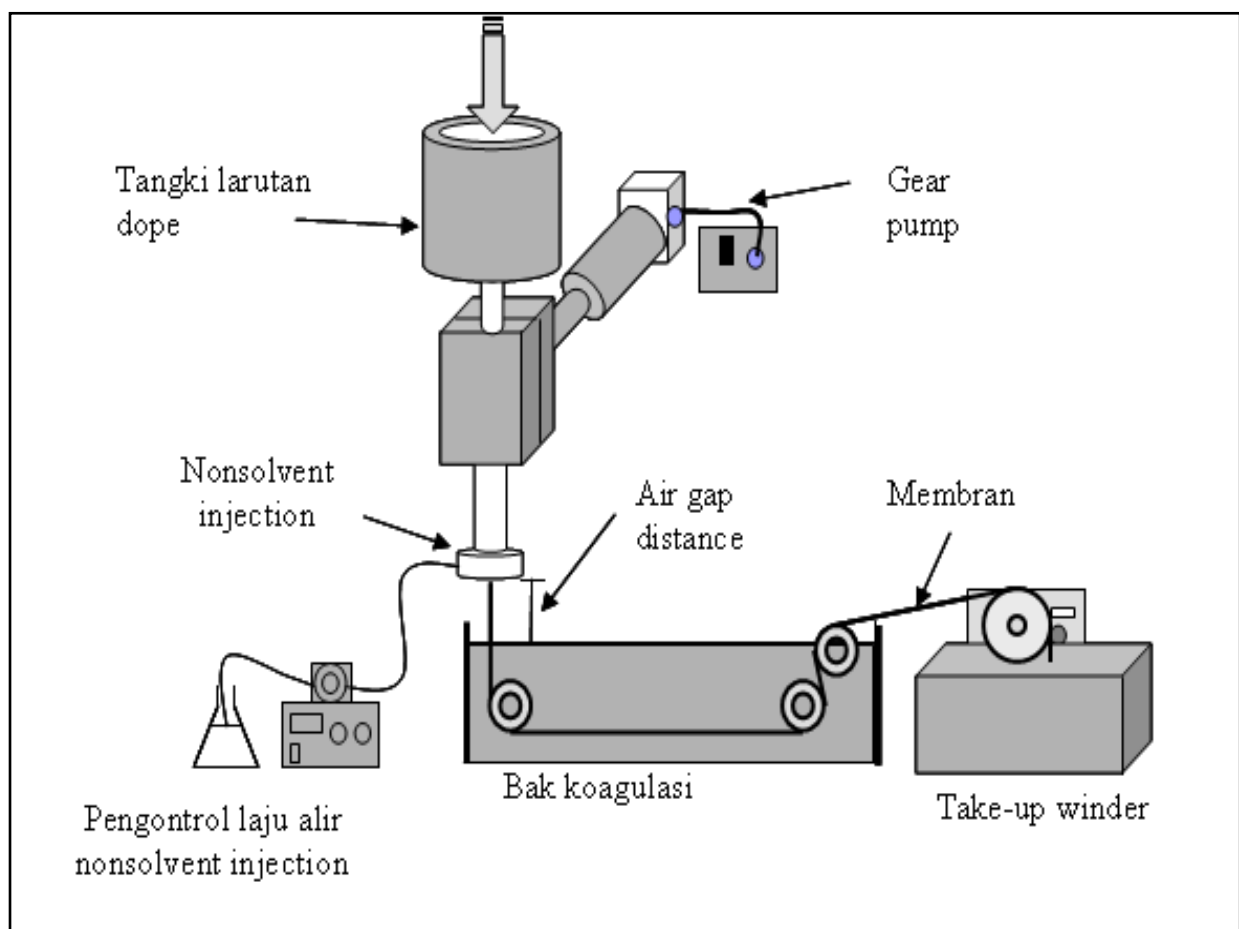
Bahan-bahan

Polietersulfon, PES (Ultrason E6020 P) dengan berat molekul 65000 diperoleh dari

BASF Co. N-Methyl-2-pyrrolidone (NMP) didapat dari WAKO (*Pure Chemical Industries, Ltd, Japan*). Surfaktan (Tetronik 304; *molecular weight* (MW) =1650, Tetronik 704; MW=5500, Tetronik 1307; MW=18000, dan Tetronik 908; MW=25000) dibeli dari BASF Co. Dextran (MW=8500-11500) diperoleh dari SIGMA (Germany). Semua bahan kimia digunakan tanpa perlakuan lanjutan.

Pembuatan Membran Serat Berongga

Membran serat berongga poliethersulfon dibuat dengan metoda pemisahan fasa oleh non-pelarut (*non-solvent induced phase separation, NIPS*) dengan suatu mesin yang didesain sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 3. Kondisi operasi proses pembuatan membran ditetapkan konstan untuk semua variabel yang diuji sebagai mana disarikan pada Tabel 1.



Gambar 3. Diagram Peralatan Proses Pembuatan Membran Serat Berongga dengan Metoda Pemisahan Fasa Oleh Non-Pelarut

Tabel 1. Kondisi Operasi Pembuatan Membran Serat Berongga

Laju alir polimer melalui <i>spinneret</i> , (m/min)	: 3.20
Laju alir air pada <i>spinneret</i> , (m/min)	: 10.4
Kecepatan penggulungan membran, (m/min)	: 11.2
Jarak antara tangki dope dan permukaan koagulan, <i>air gap distance</i> , (cm)	: 5
Suhu:	
Larutan dop (°C)	: 25
Air sebagai inner koagulan (°C)	: 25
Bak koagulan (°C)	: 25

Larutan dop (larutan polimer) dibuat dengan melarutkan PES dan Tetronik ke dalam NMP. Konsentrasi PES dan Tetronik ditetapkan konstan masing masing 25 dan 7 % berat. Proses pembuatan membran serat berongga dimulai dengan memasukkan larutan polimer ke dalam tangki dop. Selanjutnya larutan polimer ini dialirkan dari tangki larutan dop melewati *spinneret* menggunakan pompa tipe roda gigi. Larutan non-pelarut yang digunakan adalah air. Air diinjeksikan ke bagian tengah *spinneret* untuk membentuk rongga dari fiber. Fiber ditarik ke dalam tangki koagulasi yang berisi air sebagai non-pelarut supaya terjadi pemisahan fasa dan memadatkan membran menggunakan motor pemutar (*take-up winder*). Laju alir polimer melalui *spinneret* dikontrol dengan pompa tipe roda gigi. *Spinneret* terdiri atas tube bagian luar dan bagian dalam dengan diameter masing masing 1,00 dan 0,70 mm. Membran yang terbentuk disimpan dalam air bersih (*deionized water*) sebelum dilakukan pengujian karakterisasi

Karakterisasi membran serat berongga.

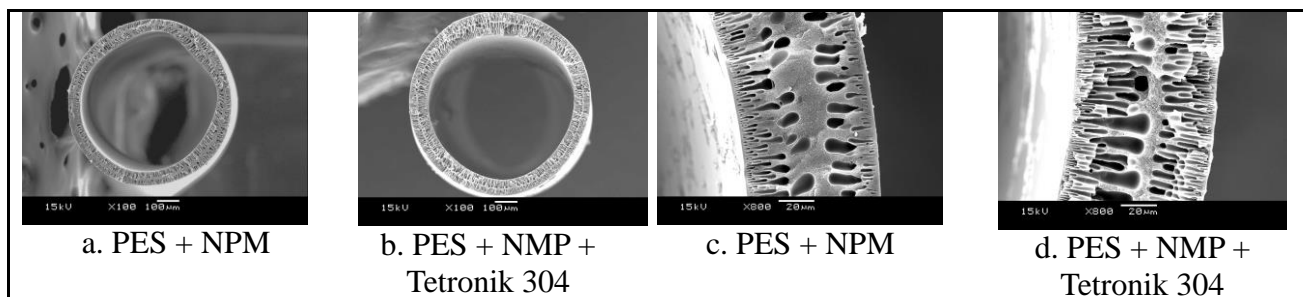
Karakterisasi dilakukan pada membran serat berongga yang dihasilkan untuk beberapa indikasi sifat membran. Sifat membran tersebut, meliputi struktur morfologi, sifat

hidrophilisitas, dan kemampuan permeasi, serta kemampuan merejeksi kontaminan dengan menggunakan larutan dextran .

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Struktur Morphologi Membran

Struktur morfologi membran yang dihasilkan (permukaan dan penampang) diobservasi dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM, Hitachi Co, S-800, Japan) dengan akselerasi voltase pada 20 kV. Cara mendapatkan membran dalam kondisi kering, yaitu membran terlebih dahulu dikeringkan dalam *freeze dryer* (EYELA, FD-1000, Japan). Membran kering dipatahkan di dalam nitrogen cair untuk dianalisis struktur pada bagian penampang membran. Foto hasil *scanning* penampang membran dan pembesaran bagian penampang membran kontrol dan campuran ditampilkan pada Gambar 4. Membran kontrol dibuat dari larutan PES/NMP sedangkan membran campuran yang dibuat dari larutan PES/NMP/Tetronik 304 (7wt%). Foto yang sama pada penampang keseluruhan dan pembesaran pada bagian penampang, permukaan luar, dan permukaan dalam untuk membran dengan penambahan 7 % (berat) Tetronik 704, 1307, dan 908 juga telah diperoleh namun tidak ditampilkan di sini.



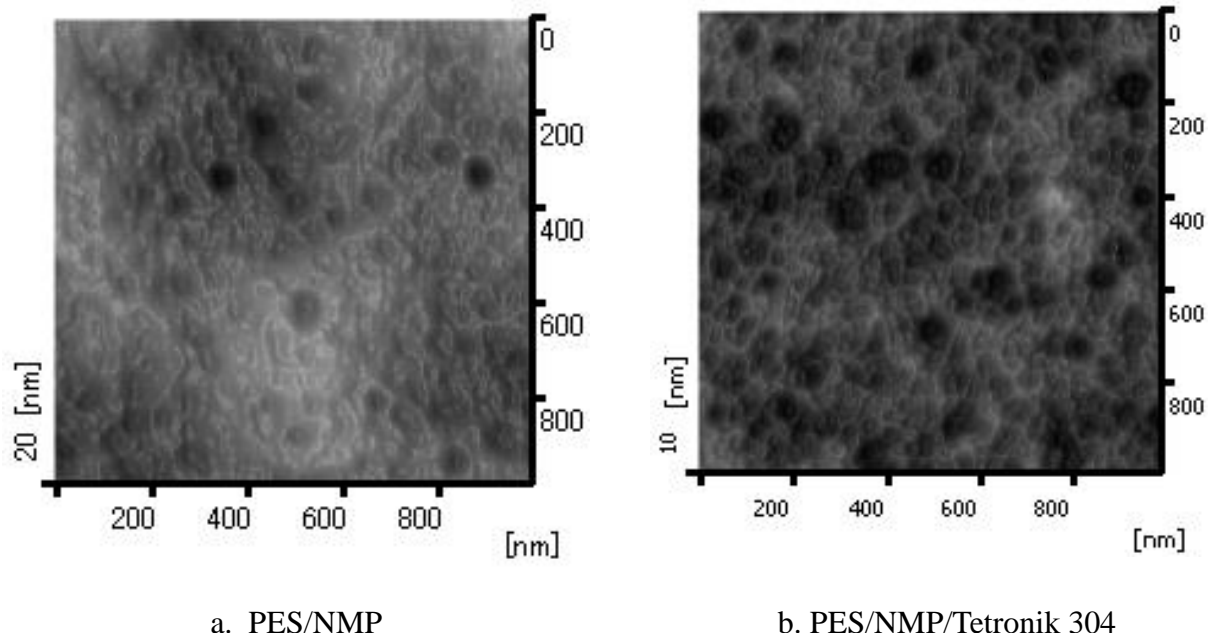
Gambar 4. Hasil Foto *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk Penampang Keseluruhan dan Pembesaran Pada Bagian Penampang; (a) dan (c) Tanpa Penambahan Tetronik 304; (b) dan (d) dengan Penambahan 7 % (Berat) Tetronik 304

Seperti diperlihatkan pada Gambar 4, kedua jenis membran mempunyai struktur berserat membentuk *macrovoid* seperti jari tangan. Jumlah dan panjang *macrovoid* berbentuk jari tersebut meningkat dengan adanya penambahan Tetronik 304. Struktur berbentuk *sponge* pada bagian tengah dari membran kontrol menjadi mengecil dengan penambahan surfaktant Tetronik 304. Struktur *macrovoid* berbentuk jari tangan pada membran serat berongga ini muncul akibat penambahan komponen ketiga pada larutan dop, yaitu surfaktant Tetronik 304. Pada saat terjadi proses presipitasi di dalam bak koagulasi, surfaktant Tetronik keluar dari larutan dop.

Struktur morfologi permukaan membran tidak bisa terbaca dengan jelas menggunakan SEM (SEM, Hitachi Co, S-800, Japan), karena pori membran pada permukaan sangat kecil dalam ukuran nano meter. Kecilnya pori pada bagian permukaan ini disebabkan karena konsentrasi polimer yang digunakan 25% (berat) termasuk batas

maksimum dalam proses pembuatan membran dengan metoda presipitasi. Saat larutan polimer dimasukkan kedalam larutan non-pelarut, pelarut NMP yang digunakan sebagai pelarut polimer keluar meninggalkan larutan menuju bak koagulasi, sehingga terjadinya peningkatan konsentrasi polimer pada bagian permukaan, dengan demikian akan terbentuk membran yang rapat pori pada bagian ini.

Struktur permukaan membran dilihat lebih jelas dengan melakukan analisis menggunakan *atomic force microscopy* (AFM) seperti diperlihatkan pada Gambar 5 dan Gambar 6. Pada foto dua dimensi hasil *scanning* menggunakan AFM seperti pada Gambar 5 dapat dengan jelas terbaca perbedaan struktur permukaan dan bentuk pori yang terbentuk. Membran yang terbuat dengan larutan PES/NMP hanya mempunyai sedikit pori, sementara membran yang terbuat dari larutan PES/NMP/Tetronik 304 mempunyai jumlah pori yang lebih banyak dan terdistribusi dengan merata.



Gambar 5. Foto Dua Dimensi Dengan *Atomic Force Microscopy* (AFM) Permukaan Luar Membran

Derajat kekasaran permukaan membran dapat terbaca dengan memperhatikan foto tiga

dimensi hasil *scanning* AFM pada Gambar 6. Pada membran dengan larutan PES/NMP

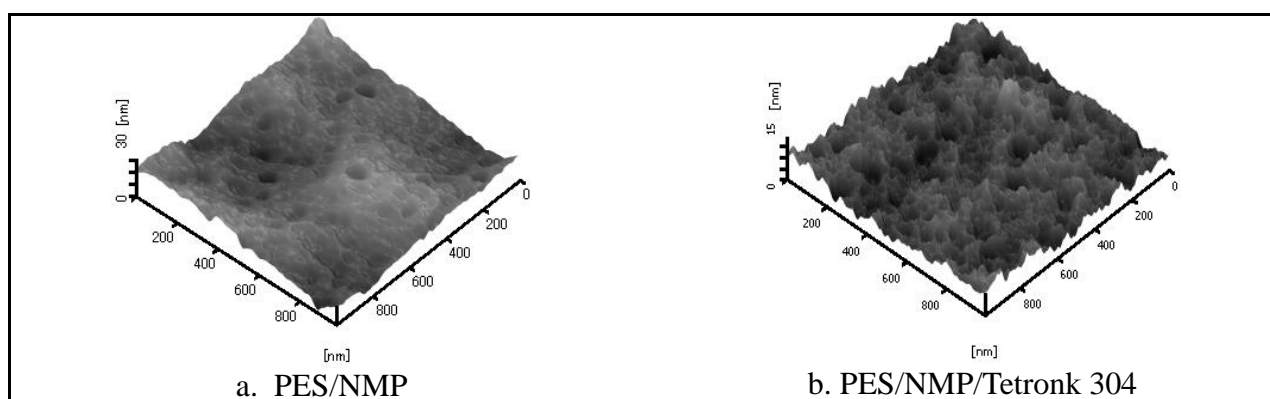
tampak sejumlah kecil dan rendah nodul pada permukaan membran, dengan nilai kekasaran 1.043 nm. Pada membran campuran yang terbuat dari PES/NMP/Tetronik 304, ukuran nodul lebih banyak dan tinggi, dengan nilai kekasaran 1.550 nm. Perbedaan struktur morfologi kedua jenis membran tersebut disebabkan oleh penambahan surfaktan Tetronik ke dalam larutan dop. Segmen *polyetylenoksida* (PEO) dari senyawa Tetronik adalah berfungsi sebagai agen pemodifikasian permukaan membran. PEO terserap ke dalam polimer matrik melalui segmen hidrofobik. Hidrofobik segmen ini terakumulasi pada permukaan membran

karena sifat ketidak-sesuaian antara membran matrix dan PEO (Kim dan Lee, 1998), Wang *et al.*, 2006).

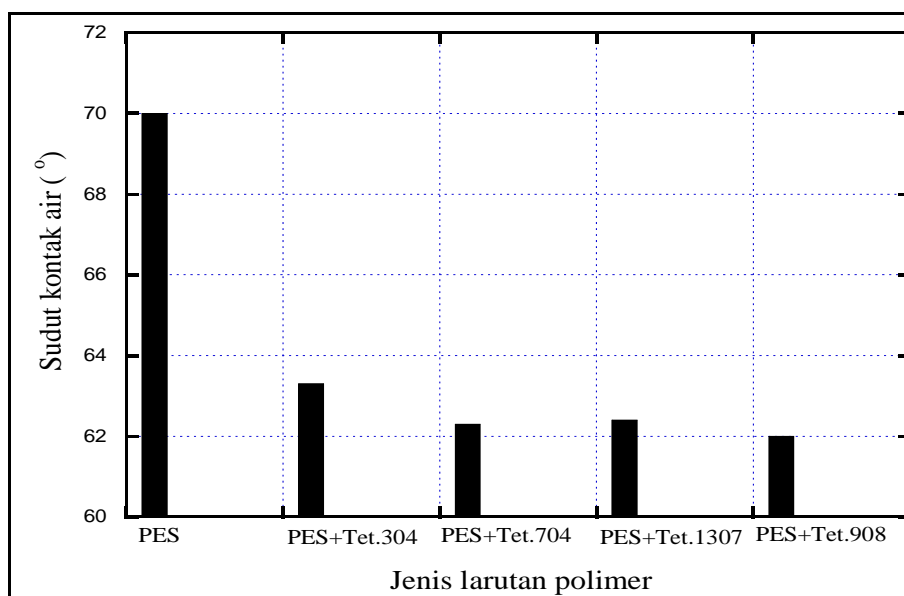
Hidrophilisitas membran.

Derajat hidrophilik membran serat berongga yang diperoleh dianalisis menggunakan metoda pengukuran sudut kontak air pada permukaan membran pada suhu ruang (25 °C) menggunakan alat *water contact angle meter* (Kyowa Kaiwenkagaku, CA-A, Japan).

Setiap data sudut kontak air diukur sebanyak 20 kali untuk didapatkan nilai rata-rata. Hasilnya seperti diperlihatkan pada Gambar 7.



Gambar 6. Foto Tiga Dimensi Dengan *Atomic Force Microscopy* (AFM) Permukaan Luar Membran



Gambar 7. Pengaruh Penambahan Surfaktan Tetronik Terhadap Sudut Kontak Air Pada Permukaan Luar Dinding Membran.

Membran kontrol yang dibuat dari bahan PES/NMP mempunyai sudut kontak air yang tinggi (70°), mengindikasikan membran tersebut mempunyai sifat hidrophilik yang rendah atau bersifat hidrophobik. Sudut kontak air menurun ketika kedalam sistim polimer ditambahkan surfaktan Tetronic, menunjukkan bahwa sifat hidrophilik dari membran meningkat. Meningkatnya sifat hidrophilisitas dari permukaan membran ini akan menurunkan permasalahan *fouling* pada saat membran digunakan untuk proses pemurnian air (Arahman *et al.*, 2009). Peningkatan sifat hidrophilik dari membran campuran ini disebabkan oleh molekul surfaktan yang eksis pada permukaan membrane. Gugus hidroksil yang terdapat pada senyawa Tetronic adalah pembawa sifat hidrophilik pada membran campuran.

Kemampuan filtrasi.

Salah satu parameter yang diobservasi untuk mengetahui kinerja membran adalah dengan menguji kemampuan filtrasi. Pada penelitian skala laboratorium, performansi filtrasi membran yang paling umum diuji adalah jumlah air yang dapat melewati dinding membran atau biasa disebut fluks (*water permeability*) dan kemampuan merejeksi *foulant* atau kontaminan dari larutan. Larutan yang lazim digunakan adalah larutan yang mengandung asam humus (*humic acid*), *dextran*, *sodium alginate*, bovin serum albumin (BSA), atau juga yang mengandung partikel seperti Triton X-100 (Moriya *et al.*, 2009; Wickramasinghe *et al.*, 2009; Fu *et al.*, 2006; Yu, Ying, dan Jin, 2004; Yuan dan Zydney, 1999). Pada penelitian ini digunakan larutan yang mengandung 1% *dextran*

dengan berbagai berat molekul, yaitu 10.000, 77.000, dan 200.000 Dalton. Metoda filtrasi yang dilakukan adalah tipe *cross-flow* seperti yang telah kami jelaskan sebelumnya (Arahman, 2008). Air dialirkan dan ditekan melalui bagian dinding dalam membran (*in side to out side*) dengan menggunakan pompa prestaltik. Fluks air ke luar melalui bagian dinding luar membran dan dikumpulkan dalam wadah lalu ditimbang setiap lima menit dengan memberikan tekanan yang telah ditentukan. Metoda yang sama juga digunakan untuk uji rejeksi membran terhadap larutan dextran. Koefisien rejeksi dari larutan dextran dianalisis menggunakan *Total Organic Carbon Analyzer* (TOC-V CSH, Shimadzu Co., Japan). Hasil uji filtrasi ini ditampilkan pada Tabel 2.

Seperti terlihat pada Tabel 2, membran serat berongga poliethersulfon terbuat dari PES/NMP (kontrol) mempunyai permeabilitas air awal yang rendah, yaitu $7,48 \text{ L/m}^2 \cdot \text{jam} \cdot \text{atm}$. Membran tersebut memiliki nilai rejeksi *dextran* yang tinggi, yaitu 92,9, 100, dan 100% masing-masing untuk *dextran* dengan berat molekul 10.000, 77.000, dan 200.000 Dalton. Rendahnya permeabilitas air dari membran kontrol ini bisa dijelaskan berdasarkan struktur morfologi membran seperti dipaparkan pada Gambar 4 dan 5. Kontrol membran mempunyai struktur tipe *sponge* yang hanya memiliki mikro pori dan dengan distribusi pori yang rendah. Penerapan tekanan yang konstan menyebabkan jumlah air yang dapat melewati dinding membran sangat kecil. Tingginya koefisien rejeksi pada kondisi permeabilitas air yang rendah adalah suatu fenomena yang lazim karena partikel *dextran* yang lebih besar daripada diameter pori membran.

Table 2. Kemampuan Filtrasi dari Membran Serat Berongga Polietersulfon.

Jenis membran	Permeabilitas air ($\text{L/m}^2 \cdot \text{jam} \cdot \text{atm}$)	Rejeksi (%)		
		Dextran (mw: 10.000)	Dextran (mw: 77.000)	Dextran (mw : 200.000)
PES/NMP	7.48	92.9	100	100
PES/NMP/Tetronic 304	46.7	71.4	82.0	94.0
PES/NMP/Tetronic 704	42.0	78.6	92.0	96.0
PES/NMP/Tetronic 1307	23.5	85.7	95.0	100
PES/NMP/Tetronic 908	28.5	85.7	96.0	100

Ketika surfaktan Tetronik ditambahkan kedalam larutan polimer, permeabilitas air meningkat tajam. Peningkatan permeabilitas air pada membran campuran ini disebabkan oleh sifat surfaktan Tetronik yang dapat larut dalam air. Ketika larutan dop dialirkan ke dalam tangki koagulasi berisi air yang bertindak sebagai non-pelarut, pelarut NMP yang ada dalam campuran larutan dop keluar meninggalkan membran. Sejumlah pori akan terbentuk pada membran serat berongga ini pada saat terjadi proses solidifikasi. Dalam hal ini, surfaktan Tetronik bertindak sebagai *membrane modifying agent*, dengan demikian, permeabilitas air dari membran campuran meningkat (Kim dan Lee, 1998, Wang *et al.*, 2006).

Besarnya peningkatan permeabilitas air ini berbeda-beda untuk setiap jenis surfaktan Tetronik yang ditambahkan. Tidak ditemukan suatu kecendrungan yang pasti tinggi rendahnya permeabilitas air dengan perbedaan berat molekul dari surfaktan Tetronik. Surfaktan Tetronik 304 mempunyai permeabilitas air yang paling tinggi, sebaliknya memiliki kemampuan rejeksi paling rendah seperti diperlihatkan pada Tabel 2.

4. KESIMPULAN

Membran berpori serat berongga telah dibuat dari larutan polietersulfon/Normal metil pirrolidon dengan metoda pemisahan fasa oleh larutan non-pelarut. Pengaruh penambahan aditif surfaktan Tetronik sebagai komponen ketiga dari larutan polimer telah dipelajari terhadap kinerja dan karakteristik membran yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan, penambahan surfaktan Tetronik sangat efektif untuk meningkatkan permeabilitas air dari membran serat berongga polietersulfon. Sifat hidrophilisitas membran juga meningkat dengan penambahan surfaktan Tetronik. Berdasarkan kesimpulan dari hasil penelitian terhadap karakteristik membran seperti uji

filtrasi, srtuktur morfologi, dan sifat hidrophilisitas, dapt disimpulkan surfaktan Tetronik adalah aditif yang baik untuk memproduksi membran dalam rangka meminimasi permasalahan *fouling* pada proses pemurnian air. Analisis terhadap ketahanan *fouling* dari membran yang dihasilkan untuk waktu pengolahan air yang cukup lama akan dipaparkan pada paper berikutnya dari grup riset ini.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada Prof. Hideto Matsuyama sebagai kepala laboratorium Material Processing sekaligus direktur Membrane Research Center, Chemical Science and Engineering Department, Kobe University, Japan, sebagai tempat penulis melakukan penelitian ini sampai selesai.

DAFTAR PUSTAKA

- Arahman, N., Maruyama, T., Sotani, T., Matsuyama, M.H. (2009). *Fouling reduction of a poly(ether sulfone) hollow-fiber membrane with a hydrophilic surfactant prepared via non-solvent-induced phase separation. Journal of Applied Polymer Science*. 111. 1653–1658.
- Arahman, N. (2008). *Development of Porous Hydrophilic Hollow Fiber Membranes Prepared by Non-solvent Induced Phase Separation and Thermally Induced Phase Separation*, Doctoral Dissertation. Kobe University, Japan.
- Boussu, K., Vandecasteele, C., Van der Bruggen, B. (2006). Study of the characteristics and the performance of self-made nanoporous polyethersulfone membranes. *Polymer*. 47. 3464–3476
- Cheryan, M., (1998). *Ultrafiltration and Microfiltration Handbook*, Technomic Publishing Co. Lancaster, PA.

- Csaba, N., Sánchez, A., Alonso, M.J. (2006). PLGA: Poloxamer and PLGA: Poloxamine blend nanostructures as carriers for nasal gene delivery. *Journal of Controlled Release*. 113. 164–172
- Fu, X., Matsuyama, H., Teramoto M., and Nagai, H. (2006). Preparation of polymer blend hollow fiber membrane via thermally induced phase separation. *Separation and Purification Technology*. 52. 363–371
- Jermann, D., Pronk, W., Meyland, S., Boller, M. (2007). Interplay of different NOM fouling mechanisms during ultrafiltration for drinking water production. *Water Research*. 41. 1713–1722.
- Kim, J.H. and Lee, K.H. (1998). Effect of PEG additive on membrane formation by phase separation. *Journal of Membrane Science*. 138. 153–163
- Matsuyama, H., Nakagawa, K., Maki, T., Teramoto, M. (2003). Studies on phase separation rate in porous polyimide membrane formation by immersion precipitation. *Journal of Applied Polymer Science*. 90. 292–296
- Moghimi, S.M. (1997). Prolonging the circulation time and modifying the body distribution of intravenously injected polystyrene nanospheres by prior intravenous administration of poloxamine-908. A hepatic-blockade event or manipulation of nanosphere surface in vivo. *Biochimica et Biophysica Acta*. 1336. 1–6.
- Moghimi, S.M. and Hunter, C.A. (2000). Poloxamers and poloxamines in nanoparticle engineering and experimental medicine. *TIBTECH*. 18. 412–420.
- Moriya, A., Maruyama, T., Ohmukai, Y., Sotani, T., and Matsuyama, H. (2009). Preparation of poly(lactic acid) hollow fiber membranes via phase separation methods. *Journal of Membrane Science*. 342. 307–312
- Mulder, M. (1996). Basic principles of membrane technology. 2nd edition. Kluwer Academic Publisher, USA.
- Sosnik, A., Sefton, M.V. (2005). Semi-synthetic collagen/poloxamine matrices for tissue engineering. *Biomaterials*. 26. 7425–7435
- Van de Witte, P., Dijkstra, P.J., Van den Berg, J.W.A., Feijen, J. (1996). Phase separation processes in polymer solutions in relation to membrane formation. *Journal of Membrane Science*. 117. 1–31
- Wang, Y.Q., Su, Y.L., Ma, X.L., Sun, Q., Jiang, Z.Y., (2006). Pluronic polymers and polyethersulfone blend membranes with improved fouling-resistant ability and ultrafiltration performance. *Journal of Membrane Science*. 283. 440–447
- Wickramasinghe, S. R., Bower, S.E., Chen, Z., Mukherjee, A., and Husson, S.M. (2009). Relating the pore size distribution of ultrafiltration membranes to dextran rejection. *Journal of Membrane Science*. 340. 1–8
- Yu, Y., Ying, P.Q., and Jin, G. (2004). Competitive Adsorption between Bovine Serum Albumin and Collagen Observed by Atomic Force Microscope. *Chinese Chemical Letters*. 15. 465–468.

Yuan, W. and Zydney, A.L. (1999). Humic acid *fouling* during microfiltration.

Journal of Membrane Science. 157. 1-12.