

PERMEABILITAS LARUTAN BOVINE SERUM ALBUMIN PADA MODUL TUNGGAL MEMBRAN HOLLOW FIBER POLIETERSULFON TERMODIFIKASI

Fachrul Razi, Sri Mulyati, Susi Mawarni, Nasrul Arahman*

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jalan Syech Abdurrauf No 7, Darussalam, Banda Aceh 23111

Email: nasrular@unsyiah.ac.id

Abstrak

Penelitian ini membahas tentang pemisahan protein albumin (*bovine serum albumin*) menggunakan modul tunggal membran *hollow fiber* yang terbuat dari polimer polietersulfone (PES)/N-metilpirrolidon (NMP) dan membran modifikasi PES/NMP dengan polimer hidrofilik Tetronic 304 (PES/NMP/Tetronic 304). Proses ultrafiltrasi dilakukan dengan mengalirkan larutan albumin 1000 ppm melewati modul membran dengan bantuan pompa peristaltik. Karakterisasi terhadap struktur morfologi membran dengan SEM memberikan informasi bahwa membran PES/NMP/Tetronic 304 mempunyai struktur pori yang lebih besar dan panjang dengan distribusi pori yang lebih merata dari pada membran PES/NMP. Uji ultrafiltrasi terhadap kedua jenis membran dengan larutan model protein albumin menunjukkan bahwa membran PES/NMP/Tetronic 304 mempunyai permeabilitas yang lebih tinggi pada setiap kondisi tekanan operasi. Rejeksi larutan albumin yang mencapai 90 % diperoleh pada uji filtrasi membran PES/NMP pada tekanan operasi 0,3 atm. Pada uji stabilitas filtrasi dengan tekanan operasi 0,5 atm didapatkan permeabilitas membran PES/NMP/Tetronic 304 pada *initial point* jauh lebih besar dibandingkan permeabilitas membran PES/NMP. Permeabilitas larutan albumin untuk membran PES/NMP turun drastis mendekati nol setelah ultrafiltrasi berjalan selama dua jam, sementara permeabilitas membran PES/NMP/Tetronic 304 masih bertahan sekitar 5 L/m².jam.atm.

Kata kunci: albumin, permeabilitas, polietersulfon, ultrafiltrasi

Abstract

BOVINE SERUM ALBUMIN SOLUTION PERMEABILITY IN SINGLE MODULE POLYETHER-SULFONE HOLLOW FIBER MEMBRANE. The present research discussed about protein (*bovine serum albumin*) separation by using single module hollow fiber membrane prepared from polyethersulfone/N-metilpirrolidon (PES/NMP) polymer and PES/NMP modified membrane with hydrophilic polymer Tetronic 304. The ultrafiltration was carried out by filtering albumin solution of 1000 ppm through membrane module by the peristaltic pump. The characterization of membrane morphology by SEM showed that the PES/NMP/Tetronic 304 membrane had larger and wider pore structure and better pore distribution compared with PES/NMP membrane. Ultrafiltration experiments for both membranes were done by using albumin solution, and the results showed that the permeability of PES/NMP/Tetronic 304 membrane was higher than that of PES/NMP membrane in all condition of applied pressure. The solute rejection was achieved up to 90% for ultrafiltration of albumin solution by using PES/NMP membrane obtained on the operating pressure of 0.3 atm. Membrane stability observation on the operating pressure of 0.5 atm showed that the initial permeability of PES/NMP/Tetronic 304 was much higher than that of PES/NMP membrane. The permeability of PES/NMP membrane was drastically decreased to almost zero after two hours filtration time, whereas the permeability of PES/NMP/Tetronic 304 membrane still produced about 5 L/m².h.atm.

Keywords: albumin, permeability, polyethersulfone, ultrafiltration

*penulis korespondensi

PENDAHULUAN

Kelompok protein albumin adalah salah satu substansi penting bagi tubuh manusia. Albumin bekerja menjaga keseimbangan cairan di dalam pembuluh darah, dan juga bermanfaat dalam pembentukan jaringan sel baru, serta bertindak sebagai zat antibodi (Tini dkk., 2002). Albumin dalam tubuh dapat membantu mengurangi resiko stroke dan penyakit jantung koroner (Shaper dkk., 2004.). Kekurangan protein albumin dalam tubuh manusia dapat menyebabkan resiko kematian. Goldwasser dan Feldman (1997) dalam review artikelnya melaporkan hasil sebuah penelitian yang dilakukan selama satu tahun penuh terhadap 12.000 pasien hemodialisis, bahwa setiap pengurangan serum albumin sebesar 2,5 g/L terjadi peningkatan resiko kematian sebesar 56%. Salah satu sumber albumin yang murah dan mudah diperoleh adalah dari telur ayam, terutama bagian putih telurnya dengan kandungan albumin mencapai 54 % (Datta dkk., 2009). Diperlukan kondisi penyiapan dan penyimpanan serta teknik pemisahan yang tepat untuk menjamin keutuhan kandungan protein dalam putih telur tetap maksimal. Kondisi yang dimaksud adalah menyangkut proses pemisahan, pH larutan putih telur, temperatur, dan tekanan pada wadah penyimpanan (Hoppe dkk., 2013), serta ada atau tidaknya terpapar sinar matahari langsung terhadap larutan putih telur (Souza dkk., 2013).

Penelitian terus dilakukan untuk mencari metode isolasi protein dari putih telur untuk mendapatkan kualitas albumin terbaik. Teknik yang paling populer digunakan selama ini adalah presipitasi dengan garam pada temperatur dan kondisi pH tertentu. Amonium sulfat atau natrium sulfat adalah jenis garam yang paling umum digunakan untuk teknik presipitasi. Metode pemurnian protein dengan teknik presipitasi ini dapat menghasilkan albumin dalam jumlah besar, namun produk protein mengandung sisa bahan presipitat yaitu amonium sulfat atau natrium sulfat yang berpotensi merusak kesehatan tubuh (Datta dkk., 2009). Tingkat kemurnian produk yang rendah dan kehilangan sebagian produk dengan metode konvensional ini juga menjadi perhatian khusus para peneliti untuk terus mencari dan mengembangkan alternatif pengolahan dengan metode yang lebih menjanjikan keuntungan.

Perkembangan yang pesat dalam bidang bioteknologi telah memungkinkan pemisahan protein dengan metode yang lebih aman dan efisien yaitu pemurnian dengan teknologi membran (ultrafiltrasi, UF). Beberapa penelitian skala laboratorium melaporkan kesuksesan fraksionasi protein melalui UF dengan berbagai keunggulannya dibandingkan dengan pemisahan konvensional dengan cara biologi/kimia (Jana dkk., 2011, Wang dkk., 2011). Pemurnian protein dengan teknologi membran menjadi pilihan yang menarik di kalangan industri pengolahan bahan makanan di negara-negara maju, terutama pada proses pemekatan jus (Bazinet dkk., 2012; Tran dkk., 2012). Pemurnian protein dengan teknik ultrafiltrasi lebih menjanjikan dari pada proses lainnya atau kombinasi dari proses yang berbeda sekalipun. Kelebihan utama penggunaan ultrafiltrasi adalah bisa didapatkan produk dengan tingkat kemurnian tinggi dan bebas dari resiko keracunan bahan kimia (Mayani dkk., 2010).

Selain keunggulan yang telah disebutkan, teknologi ultrafiltrasi juga memiliki kekurangan dalam aplikasinya untuk proses pemurnian protein seperti albumin. Dalam banyak kasus, partikel protein sangat mudah terserap pada permukaan membran hidrofobik seperti PES, sehingga terjadi *fouling*. Sebagai konsekuensinya, fluks membran menurun dengan drastis seiring berjalannya waktu operasi. Modifikasi sifat permukaan membran adalah salah satu upaya untuk meminimalisir terbentuknya *fouling* pada permukaan membran.

Penelitian ini adalah bagian dari upaya mencari membran yang sesuai untuk pemekatan protein dengan fokus pada pemilihan jenis membran dengan struktur pori yang sesuai. Penelitian menggunakan dua jenis membran *hollow fiber* yang terbuat dari polimer utama PES/NMP dan modifikasi PES/NMP dengan aditif *Tetronic 304*. Kedua jenis membran ini dibuat di Laboratorium Material Science, Universitas Kobe, Jepang. *Tetronic 304* adalah jenis *non-ionic surfactant* yang memiliki dua buah ikatan polietilen oksida (PEO) dan dua buah ikatan polipropilen oksida (PPO) pada gugus etilen diamin. Surfaktan ini berpotensi meningkatkan sifat hidrofilik membran PES karena gugus PEO yang dikandungnya. Sejauh pengamatan penulis belum pernah digunakan untuk memodifikasi membran PES jenis flat

ataupun *hollow fiber*. Tujuan penelitian adalah untuk mempelajari profil filtrasi larutan BSA pada membran PES/NMP dan membran PES modifikasi dengan surfaktan Tetronic 304 untuk parameter permeabilitas dan kemampuan rejeksi molekul BSA.

METODE

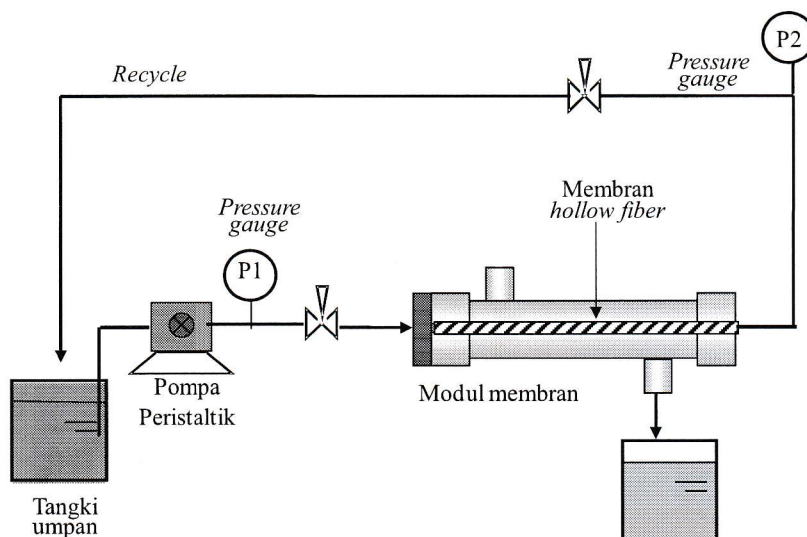
Peralatan yang diperlukan berupa satu unit modul membran tipe ultrafiltrasi, timbangan analitis dengan tingkat ketelitian 0,0001 mg, pompa peristaltik, peralatan uji morfologi berupa *scanning electron microscopy* (SEM), dan spektrofotometer untuk analisis kadar albumin. Bahan utama berupa dua jenis membran *hollow fiber* yang terbuat dari sistem polietersulfone (PES)/N-metilpirrolidon (NMP), dan PES/NMP/Surfaktan Tetronic 304 (Tet304). Membran PES/NMP mempunyai diameter dalam dan diameter luar masing-masing 699 dan 776 μm . Sedangkan membran PES/NMP/Tet304 mempunyai diameter dalam 705 μm dan diameter luar 796 μm . Setiap uji ultrafiltrasi menggunakan membran dengan panjang 15 cm dengan aliran *cross flow*. Model protein *bovine serum albumin* (BSA) *Cohn fraction V*, pH 7 (WAKO Pure Chemical industries, Jepang). Bahan kimia pengontrol pH larutan yang digunakan adalah buffer natrium dihidrogen posfat dan di-natrium hidrogen posfat.

Karakterisasi membran *hollow fiber*

Karakterisasi membran dimaksudkan untuk mengetahui morfologi dari semua jenis membran yang dipakai menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM, Hitachi Co, S-800, Japan) dengan akselerasi voltase pada 20kV. Sebelum diuji SEM, membran direndam dalam nitrogen cair selama lebih kurang lima menit sampai membran menjadi kaku. Perlakuan ini agar tidak terjadi perubahan struktur membran saat dipasang pada pelat sampel SEM. Membran dikeringkan di dalam *freeze-drier* selama satu malam. Satu helai membran diambil acak dan dipasang pada media sampling yang dibalut dengan selotip karbon, dan kemudian diberikan proses pelapisan selama 5 menit. Sampel dipasang pada panel SEM untuk proses pengambilan gambar pada pembesaran yang ditentukan.

Perancangan modul ultrafiltrasi

Modul ultrafiltrasi yang digunakan pada proses pemisahan albumin dirancang menggunakan modul membran tunggal (Gambar 1), sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya (Arahman dkk., 2013). Detail Modul ultrafiltrasi terdiri dari satu unit pompa peristaltik (Watson Marlow), rangkaian selang untuk aliran umpan, dua buah *pressure gauge*, *valve*, dan membran *hollow fiber* yang dipasang pada rangkaian. Dilengkapi pula dengan tiga buah tangki, masing-masing untuk penyimpanan larutan umpan, menampung larutan *permeate* dan larutan *retentate*.



Gambar 1. Rangkaian modul ultrafiltrasi (Arahman dkk., 2013)

Proses pemisahan larutan albumin

Sebelum digunakan untuk pemisahan albumin, membran terlebih dahulu diuji kemampuan filtrasinya menggunakan air murni (milli-Q water) atau *deionized water* untuk mengetahui gambaran fluks membran. Larutan albumin dibuat pada konsentrasi 1000 ppm pada pH 4,5 menggunakan larutan buffer natrium di-hidrogen posfat dan di-natrium hidrogen posfat. Proses ultrafiltrasi larutan albumin dilakukan dengan mengalirkan larutan umpan ke unit membran menggunakan pompa peristaltik. *Permeate* ditampung sebagai hasil filtrasi dan *retentate* yang tidak tersaring dikembalikan ke tangki umpan. *Permeate* dan *retentate* dikumpulkan dan ditimbang setiap 10 menit. Data berat *permeate* yang terkumpul selanjutnya dikonversi dalam satuan volume. Fluks dan permeabilitas larutan albumin dihitung masing-masing dengan persamaan 1) dan 2).

$$Flux = V/(A.t) \quad (1)$$

$$Permeabilitas = V/(A.t.P) \quad (2)$$

dengan V adalah volume *permeate*, A adalah luas permukaan kontak membran, t adalah waktu filtrasi, dan P merupakan tekanan operasi. Selanjutnya konsentrasi albumin dalam *permeate* dan *retentate* dianalisis menggunakan spektrofotometer. Kemampuan rejeksi membran dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$Rejeksi = \frac{C_F - C_P}{C_F} \times 100\% \quad (3)$$

dengan C_F dan C_P adalah konsentrasi protein dalam sampel dan *permeate*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Struktur morfologi membran

Hasil SEM kedua jenis membran yang digunakan diperlihatkan pada Gambar 2. Gambar kiri adalah morfologi membran yang terbuat dari sistem PES/NMP, dan gambar kanan merupakan membran yang terbuat dari sistem PES/NMP/Tetronic 304 (5 %-b). Struktur morfologi membran pada lapisan permukaan dalam dan morfologi membran pada lapisan permukaan luar yang direkam dengan SEM pada *magnification* 3000 kali diperlihatkan pada Gambar 2b, dan Gambar 2c. Dengan jelas terlihat perbedaan struktur pori dan pola *macrovoid* yang terbentuk. Struktur pori membran PES/NMP/T304

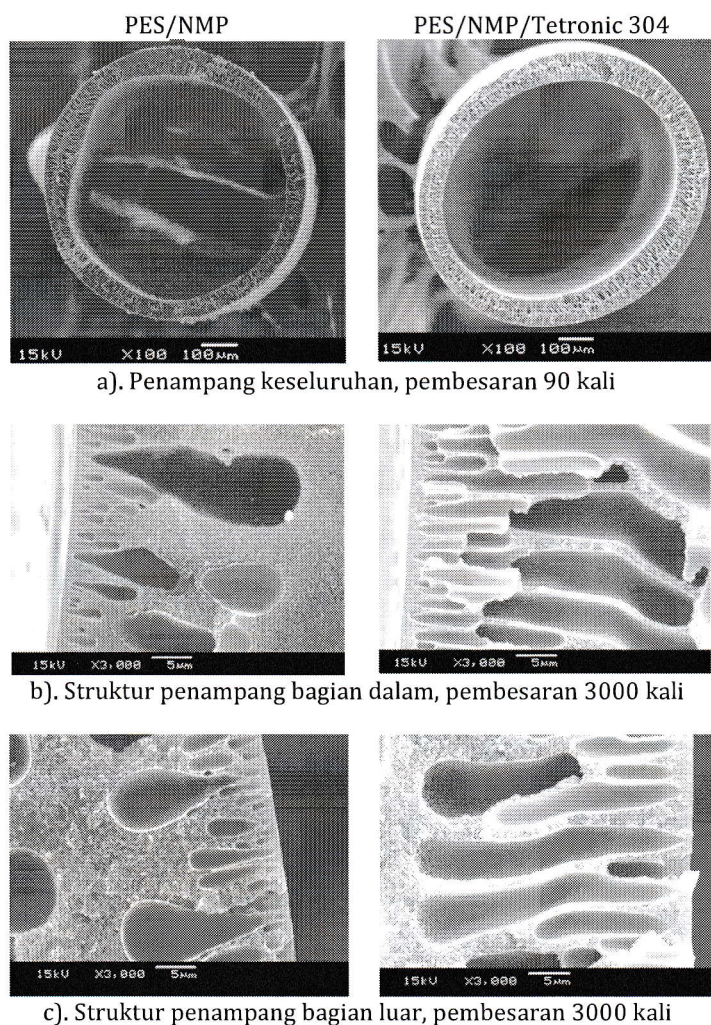
terlihat lebih besar dan lebih banyak dengan ukuran *macrovoid* yang lebih panjang. Ini akan berpengaruh terhadap proses ultrafiltrasi protein albumin yang akan dibahas pada bagian lain dari artikel ini. Gambar 2b dan Gambar 2c juga dapat memberikan informasi bahwa struktur *sponge* yang besar pada bagian tengah membran PES/NMP kelihatan menghilang pada membran jenis PES/NMP/T304.

Perbedaan struktur *macrovoid* ini akan dipelajari hubungannya terhadap besarnya fluks albumin dan tingkat kemurnian protein yang dihasilkan dari proses ultrafiltrasi. Peningkatan jumlah dan ukuran *macrovoid* ini terjadi karena pengaruh penambahan *polymeric surfactant*. Sebagian aditif ikut keluar dari sistem polimer pada pembentukan membran dengan metode NIPS, sehingga terjadi pelebaran ukuran *macrovoid*.

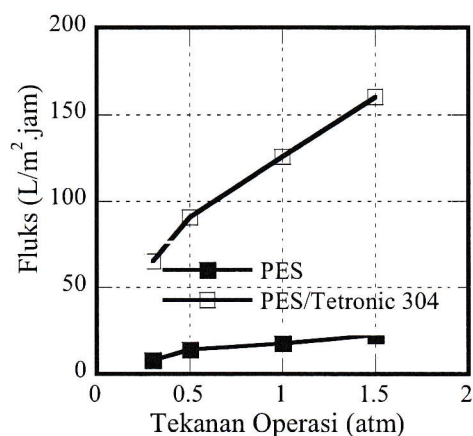
Fluks dan rejeksi protein albumin

Salah satu parameter yang sangat penting bagi kinerja membran adalah kemampuan menyaring larutan yang biasa disebut sebagai fluks atau permeabilitas. Parameter lain yang juga penting adalah kemampuan membran untuk menahan komponen atau partikel dari campuran larutan yang disaring, biasa disebut dengan rejeksi (*solute rejection*). Pada penelitian ini, kemampuan ultrafiltrasi membran diuji dengan menggunakan membran tunggal *hollow fiber (single module)* yang dipasang dengan tipe aliran *pressure driven inside (PDI)* atau dengan model aliran *cross-flow filtration*.

Kemampuan filtrasi larutan model protein albumin menggunakan membran PES/NMP dan membran PES/NMP/Tetronic 304 pada beberapa kondisi tekanan operasi diperlihatkan pada Gambar 3. Fluks membran PES/NMP/Tetronic 304 pada titik awal percobaan dengan tekanan operasi 0,3 atm. berada pada angka 65,40 L/m².jam. Fluks mengalami kenaikan yang signifikan seiring dengan peningkatan tekanan operasi mencapai 160, 00 L/m².jam pada tekanan 1,5 atm. Fluks membran PES/NMP pada titik awal tekanan operasi 0,3 atm jauh lebih rendah yaitu 8,12 L/m².jam. Pada kondisi tekanan operasi yang paling tinggi yaitu 1,5 atm, diperoleh fluks membran PES/NMP sebesar 22,5 L/m².jam.



Gambar 2. Struktur morfologi membran diobservasi dengan SEM

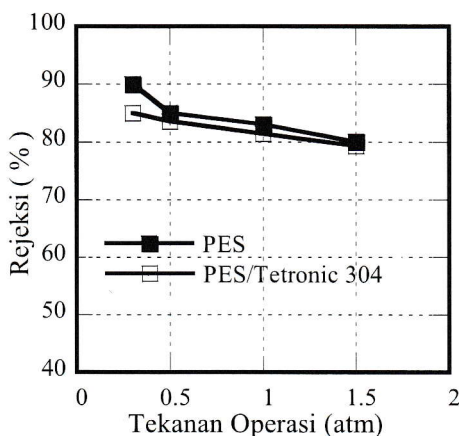


Gambar 3. Fluks membran pada beberapa variasi tekanan operasi

Perbedaan fluks yang dihasilkan oleh kedua jenis membran ini adalah karena perbedaan ukuran pori dari membran tersebut. Tetronic 304 merupakan bahan aditif (polimer) yang berfungsi sebagai media pembentuk pori. Didalam ilmu teknologi membran, aditif ini biasa disebut sebagai *membrane modifying agent (MMA)*. Peningkatan ukuran pori membran dengan metode *blending* MMA kedalam larutan polimer adalah salah satu teknik yang paling mudah digunakan dalam upaya meningkatkan kinerja membran yang diproduksi secara inversi fasa (Loh dkk, 2011).

Kemampuan rejeksi larutan albumin kedua jenis membran diperlihatkan pada Gambar 4. Rejeksi albumin oleh membran PES/NMP lebih besar dari 90% dicapai pada kondisi tekanan filtrasi 0,3 atm. Peningkatan

tekanan operasi menyebabkan jumlah partikel albumin semakin banyak yang lolos ke bagian *permeate*. Untuk semua variasi tekanan operasi yang diuji, rejeksi larutan albumin oleh kedua jenis membran masih berada diatas 80%.



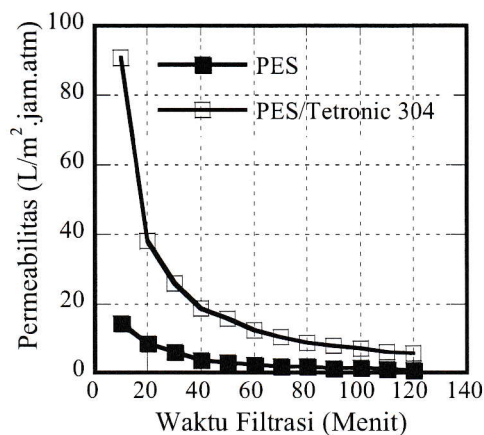
Gambar 4. Rejeksi membran terhadap larutan albumin pada beberapa variasi tekanan operasi

Stabilitas filtrasi membran

Kinerja membran yang juga penting diperhatikan adalah uji stabilitas filtrasi, yaitu kemampuan membran untuk menyaring *solute* persatuan waktu dan tekanan operasi. Dalam aplikasi di pabrik, uji ini berkaitan dengan usia pakai membran (*life time*). Hasil uji stabilitas membran terhadap larutan model protein albumin menggunakan membran PES/NMP dan membran PES/NMP/Tetronic 304 pada kondisi tekanan operasi 0,5 atm diperlihatkan pada Gambar 5.

Permeabilitas membran PES/NMP/Tetronic 304 pada titik awal percobaan (*initial point*) dengan tekanan operasi 0,3 atm sebesar 90,75 L/m².jam.atm. Sedangkan permeabilitas membran PES/NMP pada *initial point* jauh lebih rendah, yaitu 14, 38 L/m².jam.atm. Kinerja filtrasi kedua jenis membran ini berkaitan erat dengan struktur morfologi membran tersebut seperti dipaparkan pada Gambar 2. Dibandingkan dengan membran PES/NMP, membran PES/NMP/Tetronic 304 mempunyai struktur pori yang lebih besar dengan densitas pori yang lebih tinggi pula. Struktur *finger like macrovoid* juga lebih panjang, dan tidak ada struktur *sponge* pada bagian tengah penampang membran. Perbedaan struktur pori ini yang membuat membran

PES/NMP/Tetronic 304 mempunyai kemampuan filtrasi yang lebih baik.



Gambar 5. Stabilitas filtrasi membran berdasarkan waktu operasi

Seiring meningkatnya waktu filtrasi, permeabilitas kedua jenis membran menurun akibat terjadinya *fouling* pada permukaan pori membran. Namun demikian, permeabilitas membran PES/NMP/Tetronic 304 masih tetap berada pada angka 5,60 L/m².jam.atm setelah proses filtrasi mencapai 120 menit. Berbeda dengan permeabilitas membran PES/NMP yang hampir mendekati angka 0. Stabilitas filtrasi membran ini berhubungan erat dengan sifat permukaan membran yang sering disebut derajat hidrofilisitas membran. Membran PES/NMP/Tetronic 304 bersifat lebih hidrofilik dengan nilai *water contact angle* sebesar 62°, dibandingkan dengan membran PES dengan nilai *water contact angle* 74° (Arifin dkk., 2012). Membran yang bersifat hidrofilik mempunyai kemampuan menahan *fouling* lebih baik daripada membran yang bersifat hidrofobik (Wang dkk., 2006).

Kemampuan menahan *fouling* oleh membran hidrofilik ini berhubungan dengan gaya interaksi antara permukaan membrane dengan partikel larutan (protein). Kandungan rantai polietilenoksida (PEO) yang terdapat pada additiv Tetronic menjadi penghalang (*steric repulsion*) bagi partikel protein untuk mendekat ke permukaan membran. Sehingga proses adsorpsi molekul protein oleh permukaan membran tidak mudah terjadi, dengan demikian proses *fouling* dapat diminimalisir (Jeon dkk., 1991)

KESIMPULAN

Aplikasi teknologi membran ultrafiltrasi untuk pemisahan model protein albumin dilakukan menggunakan dua jenis membran *hollow fiber* PES/NMP dan PES/NMP/Tetronic 304. Karakterisasi morfologi kedua jenis membran dengan SEM memberikan gambaran bentuk dan struktur morfologi, ukuran dan densitas pori membran tersebut. Hasil uji ultrafiltrasi yang dilakukan selama dua jam pada kedua jenis membran, dapat disimpulkan bahwa membran PES/NMP/ Tetronic 304 mempunyai kinerja filtrasi fluks yang lebih baik dari pada membran PES/NMP. Hasil penelitian rejeksi protein albumin mencapai 90% diperoleh pada ultrafiltrasi menggunakan membran PES/NMP.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami sampaikan kepada Universitas Syiah Kuala atas dukungan dana untuk terlaksananya penelitian ini melalui Hibah Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi (PUPT) 2013.

DAFTAR PUSTAKA

Arahman, N.; Erika, C.; Putra, A., Pemurnian minyak kelapa sawit menggunakan membran serat berongga, *Agritech*, **2013**, 33, 32-37.

Arahman, N.; Sotani, T.; Matsuyama, H., Effect of the Addition of the Surfactant Tetronic 1307 on Poly(ether sulfone) Porous Hollow-Fiber Membrane Formation, *Journal of Applied Polymer Science*, **2008**, 108(5), 3411-3418.

Arifin, B.; Arahman, N.; Mulyati, S., *Effect of Polymeric Additives on the Performances of Polyethersulfone Blend Hollow Fiber Membrane*, Prosiding Seminar Aceh International Conference (the 2nd AIC), Banda Aceh, 22-24 November 2012.

Bazinet, L.; Brianceau, S.; Dubé, P.; Desjardins, Y., Evolution of cranberry juice physico-chemical parameters during phenolic antioxidant enrichment by electrodialysis with filtration membrane, *Separation Purification Technology*, **2012**, 87, 31-39.

Datta, D.; Bhattacharjee, S.; Nath, A.; Das, R.; Bhattacharjee, C., Separation of ovalbumin from chicken egg white using two-stage ultrafiltration technique, *Separation and*

Purification Technology, **2009**, 66(2), 353-361.

Goldwasser, P.; Feldman, J., Association of Serum Albumin and Mortality Risk, *Journal of Clinical Epidemiology*, **1997**, 50(6), 693-703.

Hoppe, A.; Jung, S.; Patnaik, A.; Zeece, M.ZG., Effect of high pressure treatment on egg white protein digestibility and peptide products, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, **2013**, 17, 54-62.

Jana, S.; Purkait, M.K.; Mohanty, K., Clay supported polyvinyl acetate coated composite membrane modified dip coating method: Application for the purification of lysozyme from chicken egg white, *Journal of Membrane Science*, **2011**, 382(1), 243-251.

Loh, C. H.; Wang, R.; Shi, L.; Fane, A.G., Fabrication of high performance polyethersulfone UF hollow fiber membranes using amphiphilic Pluronic block copolymers as pore-forming additives, *Journal of Membrane Science*, **2011**, 380(1), 114-123.

Mayani, M.; Carlos Filipe, C. M. F.; Ghosh, R., Cascade ultrafiltration systems—Integrated processes for purification and concentration of lysozyme, *Journal of Membrane Science*, **2010**, 347(1), 150-158.

Shaper, A.G.; Wannamethee, S.G.; Whin-cup, P.H., Serum albumin and risk of stroke, coronary heart disease, and mortality: the role of cigarette smoking, *Journal of Clinical Epidemiology*, **2004**, 57(2), 195-202.

Souza, P. M.; Fernández, A., Rheological properties and protein quality of UV-C processed liquid egg products, *Food Hydrocolloids*, **2013**, 31(1), 127-134.

Tini, M.; Jewell, U.R.; Camenisch, G.; Chilov, D.; Gassmann, M., Generation and application of chicken egg-yolk antibodies, *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, **2002**, 131(3), 569-574.

Tran, A.T.T.; Pattersonb, D.A.; James, B.J., Investigating the feasibility of using polysulfone-montmorillonite composite membranes for protein adsorption, *Journal of Food Engineering*, **2012**, 112(1), 38-49.

Wang, Y.; Rodgers, V.G.J., Electrostatic contributions to permeate flux behavior in single bovine serum albumin ultrafiltration, *Journal of Membrane Science*, **2011**, 366(1), 184–191.

Wang, Y. Q.; Su, Y. L.; Ma, X. L.; Sun, Q.; Jiang, Z. Y., Pluronic polymers and polyethersulfone blend membranes with improved fouling-

resistant ability and ultrafiltration performance, *Journal of Membrane Science*, **2006**, 283(1), 440-447.

Jeon, S. I.; Lee, J. H.; Andrade, J. D.; De Gennes, P., Protein—surface interactions in the presence of polyethylene oxide: I. Simplified theory, *Journal of Colloid and Interface Science*, **1991**, 142(1), 149-158.