

PEMEKATAN GLISEROL DENGAN REVERSE OSMOSIS: Studi Karakteristik Fluks dan Rejeksi

I N. Widiasta^{*)}, Wisjnuprpto^{**)}, I G. Wenten^{*)}

Abstrak

Pemisahan enzim dan pemekatan produk masih menjadi kendala utama dalam aplikasi proses hidrolisis minyak/lamak secara enzimatis untuk skala industri. Dalam makalah ini akan dipaparkan kemungkinan proses reverse osmosis tekanan rendah untuk pemekatan larutan gliserol. Tiga tipe membran reverse osmosis yang tersedia di pasaran dari Millipore, yakni R-15A (poliamida), R-25A (poliamida), dan R-45P (polisulfon tersulfonasi), telah digunakan. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa fluks permeat meningkat secara linear terhadap tekanan operasi. Selain itu, peningkatan tekanan operasi juga meningkatkan selektivitas membran. Sebaliknya, selektivitas membran menurun secara drastis dengan meningkatnya konsentrasi umpan. Secara umum, membran R-15A memberikan selektivitas yang lebih baik dibandingkan dengan membran R-25A dan membran R-45P, tetapi memberikan fluks yang lebih rendah. Untuk umpan dengan konsentrasi gliserol kurang dari 60.000 ppm, membran R-25A lebih direkomendasikan karena memberikan fluks lebih dari 40% fluks air murni dan rejeksi masih di atas 85%. Peningkatan nilai C_m dan k terhadap kenaikan tekanan operasi menunjukkan bahwa kondisi percobaan masih di daerah kendali tekanan.

Kata kunci : hidrolisis minyak; pemekatan gliserol; reverse osmosis

Pendahuluan

Hidrolisis trigliserida menjadi asam lemak dan gliserol merupakan salah satu operasi industri penting mengingat lebih dari 1,6 juta ton per tahun asam lemak diproduksi dengan proses ini (Pronk, dkk, 1988). Asam lemak banyak digunakan antara lain untuk pembuatan sabun, pelumas, kosmetik, *emulsifier*, deterjen sintetik, dan lilin, sedangkan gliserol banyak digunakan untuk *alkyd resin*, obat-obatan, parfum, kosmetik, makanan, dan pelarut [9,10]. Secara stoikiometri, reaksi hidrolisis ini menghasilkan 3 mol asam lemak dan 1 mol gliserol untuk setiap 1 mol trigliserida.

Kebanyakan industri asam lemak dan gliserol yang ada saat ini menggunakan proses *Colgate-Emery*, yaitu hidrolisis minyak/lamak secara kimia pada tekanan sekitar 50 bar dan temperatur sekitar 250 °C (Goto, dkk, 1992). Karena berbagai kelemahan proses ini, penelitian untuk menggali potensi proses hidrolisis trigliserida secara enzimatis telah banyak mendapat perhatian. Sejumlah hasil penelitian hidrolisis minyak dan lemak dengan lipase baik dalam keadaan terlarut (Lee, dkk, 1989; Nix, dkk, 1983; Pencreach, dkk, 1997) teramobilisasi (Bouwer, dkk, 1981; Brady, dkk, 1986; Bosley, dkk, 1998; Geluk, dkk, 1992; Kosugi, dkk, 1990; Moreno, dkk, 1997; Murray, dkk, 1997; Warmuth, dkk, 1994) atau terkurung dalam *cell* utuh (Bell dan Todd, 1981) telah dipublikasikan. Namun, sebagaimana umumnya proses enzimatis, pemisahan enzim dan pemekatan produk adalah kendala yang harus dipecahkan untuk dapat diaplikasikannya proses ini secara komersial.

Saat ini, reverse osmosis (RO) telah menjadi teknologi pemisahan yang sangat populer hampir pada setiap industri yang memerlukan pemisahan zat terlarut dari pelarutnya. Bahkan RO merupakan komponen

fundamental dari sistem pengolahan air yang digunakan dalam industri semikonduktor, industri farmasi, industri peralatan medis, demikian juga dalam pemurnian air untuk dialisis dan pembangkit tenaga listrik. Selain itu, RO digunakan untuk desalinasi (Hayashi, dkk, 2000; Klein, 1997; Raether, 1999) dan pemekatan sari buah (Kronmiller, 1996; Pearce dan Bullen, 1999). Keberhasilan teknologi RO tidak terlepas dari potensi ekonomi dan kesederhanaan operasinya.

Sistem RO memisahkan zat terlarut dari air via membran semipermeabel yang melewatkan air lebih baik dibandingkan dengan zat terlarut. Membran RO sangat hidrofilik, berarti bahwa air dapat berikatan dengan ujung segmen polimer sehingga mampu berdifusi ke dalam dan ke luar struktur polimer membran. Sementara itu, kemampuan membran RO mendifusikan zat organik tertentu tidak absolut, tetapi bergantung pada bentuk dan ukuran fisik serta karakteristik kimia zat organik tersebut (Byrne, 1995). Oleh karena itu, investigasi tentang karakteristik fluks dan rejeksi pada berbagai kondisi operasi untuk setiap jenis membran sangat penting.

Dalam makalah ini akan dipaparkan secara singkat potensi aplikasi proses reverse osmosis untuk pemisahan larutan gliserol. Pengujian yang dilakukan menggunakan larutan sintetik dengan reverse osmosis tekanan rendah. Membran yang dipakai pada penelitian ini adalah membran Millipore R-15A, R-25A dan R-45P. Membran R-15A dan R-25A terbuat dari poliamida asimetrik, sedangkan membran R-45P terbuat dari bahan polisulfon. Analisis kinerja membran pada tekanan

^{*)} Departemen Teknik Kimia ITB, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132

^{**)} PPAU Bioteknologi ITB, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132

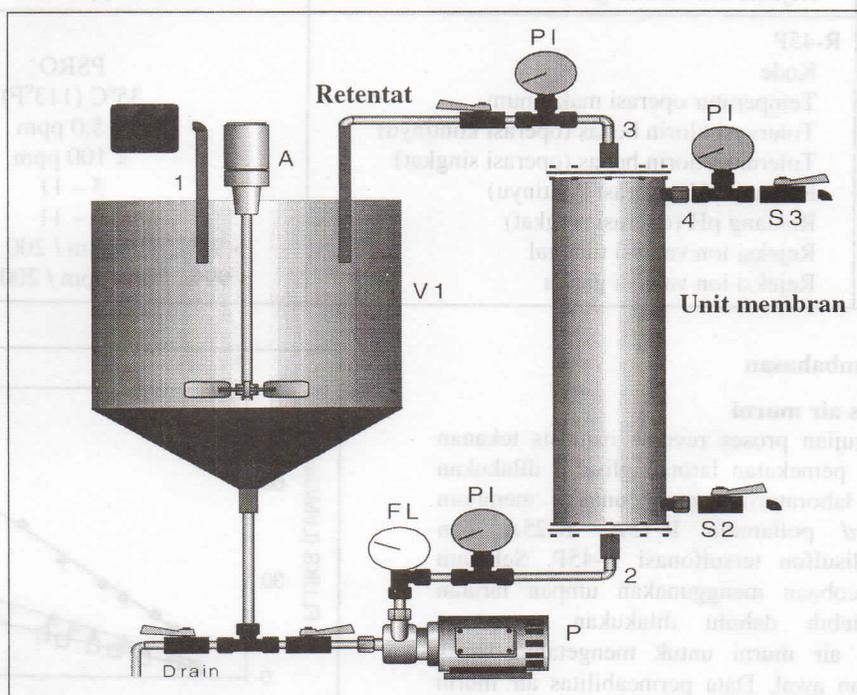
operasi 5 - 35 bar didasarkan pada selektivitas membran dan fluks permeat yang dihasilkan.

Bahan dan Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan seperangkat peralatan reverse osmosis seperti terlihat pada Gambar 1. Sistem peralatan eksperimen terdiri dari modul membran spiral wound, pompa, tangki umpan, indikator tekanan, dan katup pengatur tekanan operasi. Air umpan yang digunakan adalah larutan sintetik. Konsentrasi umpan divariasikan antara 5 sampai 200 gram/liter, dan tekanan operasi divariasikan antara 5 sampai 35 bar. Membran yang dipakai pada penelitian ini adalah membran Millipore R-15A, R-25A dan R-45P. Membran R-15A dan R-25A terbuat dari poliamida asimetrik, sedangkan membran R-45P terbuat dari

bahan polisulfon tersulfonasi. Spesifikasi masing-masing membran diberikan pada Tabel 1.

Pada setiap tempuhan, perlakuan diawali dengan proses regenerasi membran menggunakan larutan NaOH 1% berat. Tahap ini dimaksudkan untuk menghilangkan *foulant* yang ada pada permukaan membran. Sisa larutan NaOH dibilas dengan air distilasi. Selanjutnya, dilakukan pengukuran permeabilitas air murni. Setelah proses di atas, larutan umpan dialirkan dengan pompa melewati modul membran. Tekanan operasi diatur dengan menggunakan katup pengatur tekanan. Pengambilan cuplikan dilakukan setelah operasi mencapai keadaan tunak. Respon yang diamati adalah fluks dan indeks bias. Hasil pengukuran indeks bias dikonversi menjadi konsentrasi (gram/liter) dengan menggunakan korelasi empirik (Weast dan Astle, 1978).



Gambar 1. Skematik unit reverse osmosis

Membran	Permeabilitas [lit/m ² jam bar]
R-25A	2.09
R-15A	0.92
R-45P	0.68

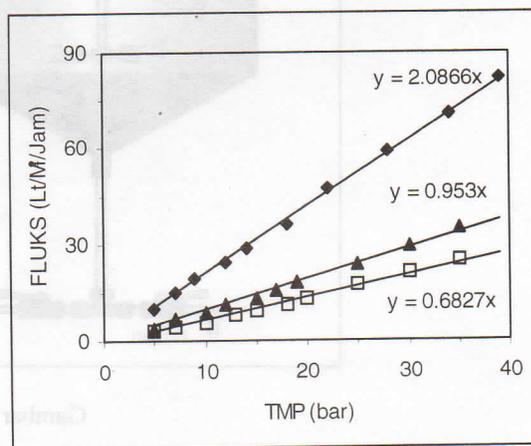
Tabel 1. Spesifikasi Membran

No	Tipe Membran	Spesifikasi
1	R-15A Kode Temperatur operasi maksimum Toleransi klorin bebas Rentang pH (operasi kontinyu) Rentang pH (operasi singkat) Rejeksi ion valensi tunggal Rejeksi ion valensi ganda	HR 30 45°C (113°F) < 0,1 ppm 2 - 11 1 - 12 > 99%, 2500 ppm / 500 psi / 25°C > 99%, 2000 ppm / 500 psi / 25°C
2	R-25A Kode Temperatur operasi maksimum Toleransi klorin bebas Rentang pH (operasi kontinyu) Rentang pH (operasi singkat) Rejeksi ion valensi tunggal Rejeksi ion valensi ganda	FT 30 45°C (113°F) < 0,1 ppm 2 - 11 1 - 12 > 98%, 2000 ppm / 225 psi / 25°C > 99%, 2000 ppm / 225 psi / 25°C
3	R-45P Kode Temperatur operasi maksimum Toleransi klorin bebas (operasi kontinyu) Toleransi klorin bebas (operasi singkat) Rentang pH (operasi kontinyu) Rentang pH (operasi singkat) Rejeksi ion valensi tunggal Rejeksi ion valensi ganda	PSRO 35°C (113°F) < 5,0 ppm < 100 ppm 3 - 11 3 - 11 > 95%, 750 ppm / 200 psi / 25°C > 99%, 2000 ppm / 200 psi / 25°C

Hasil dan Pembahasan

Permeabilitas air murni

Pengujian proses reverse osmosis tekanan rendah untuk pemekatan larutan gliserol dilakukan dalam skala laboratorium menggunakan membran spiral wound poliamida R-15A, R-25A dan membran polisulfon tersulfonasi R-45P. Sebelum memulai percobaan menggunakan umpan larutan gliserol, terlebih dahulu dilakukan penentuan permeabilitas air murni untuk mengetahui unjuk kerja membran awal. Data permeabilitas air murni ini sangat penting untuk mempelajari pengaruh parameter operasi terhadap kinerja membran. Hasil pengukuran fluks air murni terhadap tekanan lintas membran (*transmembrane pressure*, TMP) disajikan pada Gambar 2. Permeabilitas air murni yang merupakan gradien dari kurva tersebut ditampilkan pada Tabel 2. Perbedaan fluks air murni melalui ketiga membran tersebut disebabkan oleh perbedaan hidrofilitas bahan polimer membran dan struktur lapisan dari membran.



Gambar 2. Pengaluran fluks air murni terhadap TMP:
◆ R-25A, ▲ R-15A, □ R-45P

Tabel 2. Permeabilitas air murni

Membran	Permeabilitas [lt/(m ² .jam.bar)]
R-25A	2,09
R-15A	0,95
R-45P	0,68

Derajat hidrofilitas adalah tingkat kemampuan suatu bahan untuk mengikat molekul air (H₂O). Membran R-45P terbuat dari bahan polisulfon tersulfonasi yang mempunyai dua molekul oksigen pada gugus fungsionalnya. Sementara itu, membran R-25A dan R-15A terbuat dari poliamida yang memiliki 2 molekul oksigen dan 2 gugus NH. Molekul oksigen ini masing-masing memiliki dua pasang elektron bebas, sedangkan gugus NH mempunyai satu pasang elektron bebas. Pasangan elektron bebas ini akan menjadi donor elektron untuk terbentuknya ikatan hidrogen dengan molekul air. Semakin banyak jumlah molekul oksigen dan gugus NH pada monomer suatu bahan menunjukkan derajat hidrofilitas bahan tersebut semakin tinggi.

Lebih lanjut, R-45P merupakan membran asimetrik dengan satu jenis bahan polimer (asimetrik biasa), sedangkan R-15A dan R-25A merupakan membran asimetrik komposit. Pada membran asimetrik komposit, lapisan selektif membran (*thin film*) yang bersifat *dense* dibuat dengan pelapisan pada *support* membran berpori. Dengan teknik seperti ini, *thin film* membran komposit menjadi sangat tipis sehingga tahanan perpindahan massa minimum. Sedangkan membran asimetrik biasa terbentuk secara langsung. Dengan cara demikian, sulit untuk memperoleh *thin film* yang sangat tipis. Tahanan pada *support* membran juga cukup besar karena porinya tersusun secara alami dari kecil ke besar. Oleh karena itu, membran R-25A dan R-15A memberikan permeabilitas air murni yang lebih besar dibandingkan dengan membran R-45P. Perbedaan permeabilitas membran R-25A dan R-15A disebabkan oleh perbedaan struktur lapisan kedua membran tersebut. Permeabilitas air murni dari R-25A lebih besar daripada R-15A menunjukkan bahwa lapisan selektif R-15A lebih tebal dibandingkan dengan R-25A. Lapisan selektif yang lebih tebal ini akan memberikan rejeksi lebih baik tetapi diperlukan tekanan operasi yang lebih tinggi.

Karakteristik fluks dan rejeksi gliserol

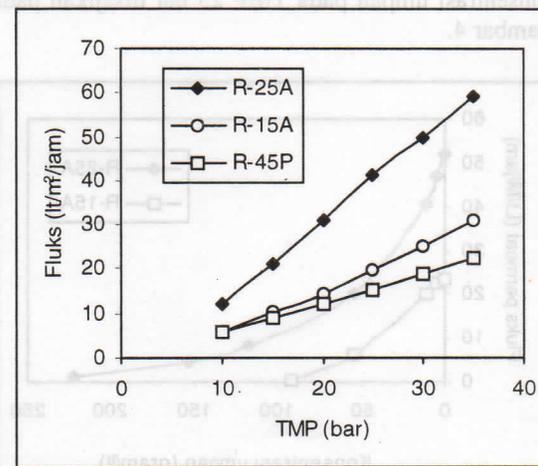
Jika menggunakan membran sebagai unit pemisahan, pemilihan membran yang sesuai mutlak diperlukan. Percobaan yang dilakukan mula-mula difokuskan untuk mendapatkan karakteristik fluks stabil dan rejeksi gliserol pada berbagai rentang TMP dan konsentrasi umpan. Hubungan fluks permeat terhadap TMP untuk konsentrasi umpan 10 gram/lit dan rejeksi terhadap TMP untuk konsentrasi umpan 60 gram/lit ditampilkan pada Gambar 3. Gambar tersebut memperlihatkan bahwa fluks permeat meningkat secara linear terhadap kenaikan TMP. Namun, peningkatan fluks permeat terhadap TMP pada membran R-45P lebih kecil dibandingkan

dengan membran R-25A dan R-15A. Hal ini berarti bahwa dengan peningkatan TMP yang sama, kedua membran poliamida ini akan memberikan peningkatan fluks lebih tinggi dibandingkan dengan membran R-45P.

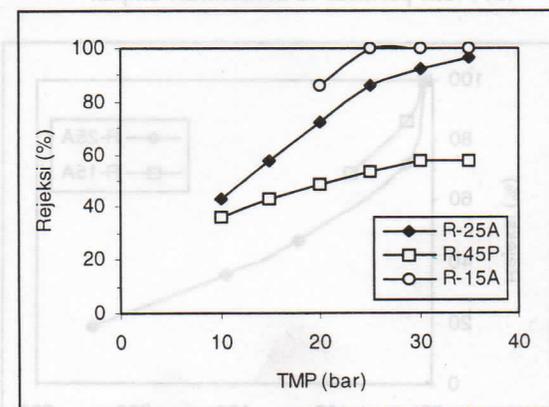
Hubungan antara rejeksi dan TMP dapat dinyatakan dengan persamaan berikut [16]:

$$R = \frac{A(\Delta P - \pi)}{A(\Delta P - \pi) + B} \quad (1)$$

dalam hubungan ini R, ΔP, π, A, dan B masing-masing menyatakan rejeksi, TMP, tekanan osmotik, koefisien permeabilitas air, dan koefisien permeabilitas gliserol. Secara umum, rejeksi gliserol dengan membran R-25A dan R-15A lebih besar dibandingkan dengan membran R-45P seperti terlihat pada Gambar 3b. Hal ini berarti bahwa membran poliamida memberikan selektivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan membran polisulfon tersulfonasi.



(a) Fluks permeat vs TMP

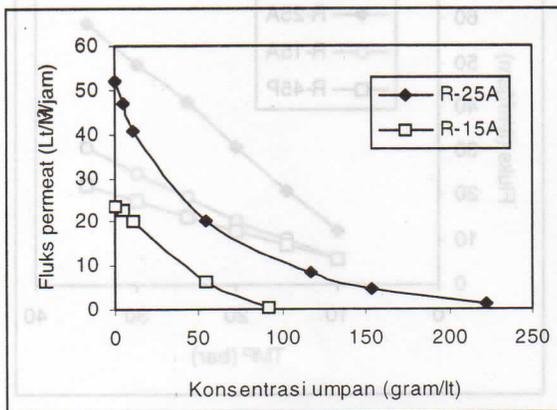


(b) Rejeksi vs TMP

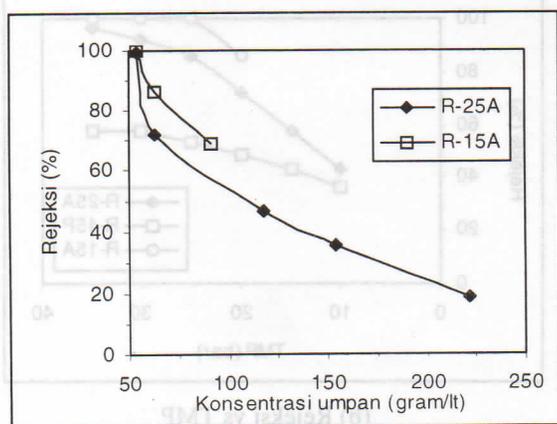
Gambar 3. Pengaluran fluks permeat dan rejeksi terhadap TMP

Gambar 3b juga menunjukkan bahwa peningkatan rejeksi terhadap kenaikan TMP dengan membran R-25A dan R-15A jauh lebih besar dibandingkan dengan membran R-45P terutama pada TMP di atas 20 bar. Hal ini jelas membuktikan bahwa peningkatan TMP pada membran poliamida akan memberikan kenaikan selektivitas yang lebih signifikan dibandingkan dengan membran polisulfon tersulfonasi. Disamping itu, kenaikan rejeksi yang sangat tajam pada TMP di atas 20 bar menunjukkan pengaruh kenaikan fluks terhadap rejeksi lebih dominan daripada kenaikan konsentrasi pada permukaan membran. Hal ini sangat penting jika permeat dengan kemurnian tinggi yang diinginkan.

Berdasarkan hasil di atas, pemanfaatan membran poliamida semestinya lebih baik dibandingkan dengan membran polisulfon tersulfonasi. Oleh karena itu, pengujian selanjutnya menggunakan membran R-25A dan R-15A. Pengaluran fluks permeat dan rejeksi terhadap konsentrasi umpan pada TMP 25 bar disajikan pada Gambar 4.



(a) Fluks permeat vs konsentrasi umpan



(b) Rejeksi vs konsentrasi umpan

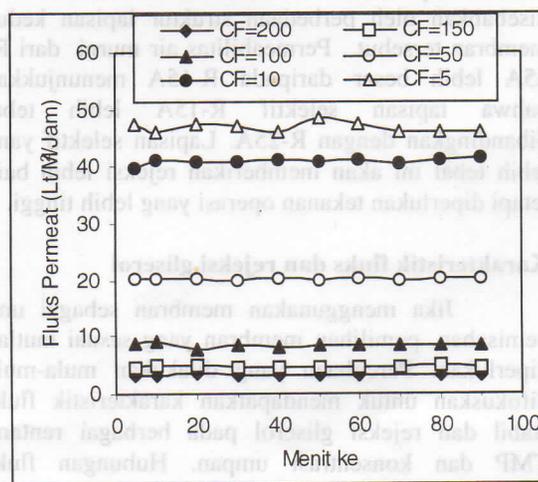
Gambar 4. Pengaluran fluks permeat dan rejeksi terhadap konsentrasi umpan

Pada Gambar 4a terlihat bahwa membran R-15A memberikan fluks yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan R-25A. Bahkan pada konsentrasi umpan di atas 100 gram/l, membran R-15A tidak memberikan fluks sama sekali. Sementara itu, rejeksi yang dihasilkan dengan membran R-15A hampir sama dibandingkan dengan membran R-25A khususnya pada konsentrasi di bawah 60 gram/l (Gambar 4b). Berdasarkan hasil ini, reverse osmosis dengan membran R-25A lebih direkomendasikan untuk mendapatkan fluks yang tinggi dengan rejeksi lebih dari 85% pada TMP 30 bar. Fluks yang sangat rendah dan rejeksi yang kecil untuk konsentrasi umpan di atas 150 gram/l menjadikan reverse osmosis tidak efektif untuk konsentrasi lebih besar dari itu.

Lebih lanjut, semakin tinggi konsentrasi umpan maka rejeksi yang diperoleh semakin kecil. Hasil ini serupa dengan umpan yang melibatkan zat terlarut inorganik, tetapi penurunan rejeksi tidak setajam larutan gliserol (Wenten, dkk, 1998). Hal ini dapat dijelaskan bahwa kenaikan konsentrasi gliserol akan meningkatkan tekanan osmotik dan viskositas. Sementara itu, untuk larutan inorganik (NaCl), perubahan viskositas larutan karena kenaikan konsentrasi dapat diabaikan.

Dinamika fluks

Pemahaman perubahan kinerja membran terhadap waktu sangat penting untuk operasi kontinyu. Dinamika fluks permeat dengan membran R-25A untuk berbagai konsentrasi umpan (C_F) disajikan pada Gambar 5.



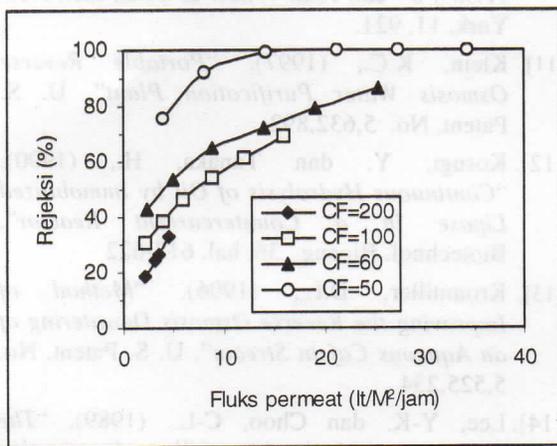
Gambar 5. Dinamika fluks permeat pada TMP 25 bar (membran R-25A)

Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa fluks permeat tidak menunjukkan adanya perubahan yang signifikan dari menit-menit awal sampai 90 menit pengujian. Hal ini berarti tidak terjadi deposisi

gliserol pada permukaan membran sehingga fluks permeat hanya dipengaruhi oleh polarisasi konsentrasi. Pengaruh polarisasi ini dapat diminimasi dengan hidrodinamika aliran yang lebih baik. Karena fluks sangat stabil maka rejeksi yang diperoleh juga sangat stabil.

Pengaruh fluks permeat terhadap rejeksi

Pengaluran rejeksi terhadap fluks permeat dapat memberikan gambaran yang lebih ilustratif pengaruh peningkatan fluks permeat terhadap rejeksi. Karakteristik kurva rejeksi terhadap fluks permeat pada Gambar 6 menunjukkan bahwa rejeksi meningkat seiring dengan kenaikan fluks permeat. Hal ini berarti kenaikan tekanan operasi hanya meningkatkan fluks air (Jw) sedangkan fluks gliserol (Js) relatif konstan. Oleh karena itu, konsentrasi gliserol dalam permeat menjadi lebih rendah jika tekanan yang lebih tinggi diberikan terhadap umpan. Hal ini merupakan akibat dari pengenceran solut menjadi lebih besar dengan bertambahnya fluks air



Gambar 6. Pengaruh fluks permeat terhadap rejeksi

Penentuan C_m dan k

Perpindahan cairan melalui membran tidak berpori seperti dalam reverse osmosis dapat dijelaskan dengan mekanisme *solution-diffusion*, yaitu:

Permeabilitas(P) = kelarutan(S) x difusivitas(D)
 Kelarutan merupakan parameter termodinamika yang menjadi ukuran jumlah zat yang terserap oleh membran pada kondisi setimbang. Sebaliknya, difusivitas adalah parameter kinetik yang menunjukkan seberapa cepat suatu komponen berpindah melalui membran. Persamaan dasar yang menghubungkan antara konsentrasi ruah (C_b), konsentrasi pada permukaan membran (C_m), konsentrasi permeat (C_p), fluks permeat (J), dan koefisien transfer massa (k) sebagai berikut:

$$\ln \frac{C_m - C_p}{C_b - C_p} = \frac{J}{k} \quad (2)$$

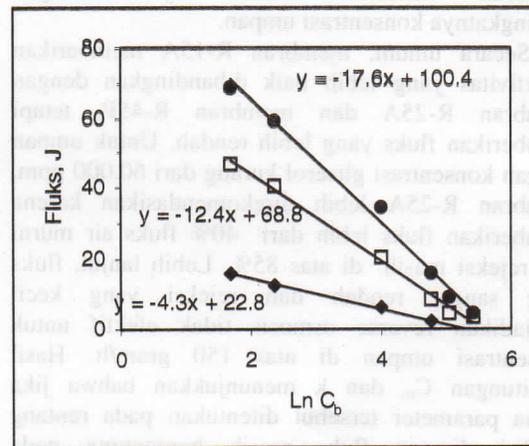
Dengan pendekatan C_m dan C_b jauh lebih besar dibandingkan dengan C_p maka persamaan (2) dapat disederhanakan menjadi:

$$\ln \frac{C_m}{C_b} = \frac{J}{k} \quad (3)$$

atau

$$J = k \ln C_m - k \ln C_b \quad (4)$$

Pengaluran J terhadap ln C_b sesuai dengan persamaan (4) pada TMP 10, 25, dan 35 bar disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Fluks sebagai fungsi ln C_b (● : 35 bar; □ : 25 bar; ◆ : 10 bar) untuk membran R-25A

Hasil perhitungan C_m dan k ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai konsentrasi pada permukaan membran (C_m) dan koefisien transfer massa (k)

TMP (bar)	k (m/jam)	C _m (gr/lit)
10	4,3 x 10 ⁻³	200,8
25	12,4 x 10 ⁻³	256,8
35	17,6 x 10 ⁻³	300,2

Tabel 2 menunjukkan jika koefisien transfer massa dan konsentrasi pada permukaan membran ditentukan pada rentang kondisi dimana fluks masih bergantung pada tekanan hidrostatik, nilai keduanya bertambah seiring dengan kenaikan TMP. Perlu ditekankan bahwa setelah TMP tertentu tercapai, fluks tidak akan meningkat lagi dengan kenaikan TMP. Fluks maksimum ini disebut dengan fluks batas. Nilai k dan C_m tertinggi diperoleh dari hubungan fluks batas (J_∞) dan ln C_b.

Kesimpulan

Studi tentang pemekatan campuran biner gliserol-air dengan reverse osmosis tekanan rendah telah dilakukan menggunakan tiga jenis membran : R-15A (poliamida), R-25A (poliamida), dan R-45P (polisulfon tersulfonasi), ketiganya dari Millipore. Hasil percobaan menunjukkan fluks permeat meningkat secara linear terhadap tekanan operasi. Peningkatan fluks yang linear terhadap tekanan operasi perlu dicermati untuk menentukan desain yang optimal. Selain itu, peningkatan tekanan operasi juga meningkatkan selektivitas membran, hal ini sangat penting jika produk dengan kemurnian tinggi yang diinginkan. Sebaliknya, selektivitas membran menurun secara tajam dengan meningkatnya konsentrasi umpan.

Secara umum, membran R-15A memberikan selektivitas yang lebih baik dibandingkan dengan membran R-25A dan membran R-45P, tetapi memberikan fluks yang lebih rendah. Untuk umpan dengan konsentrasi gliserol kurang dari 60.000 ppm, membran R-25A lebih direkomendasikan karena memberikan fluks lebih dari 40% fluks air murni dan rejeksi masih di atas 85%. Lebih lanjut, fluks yang sangat rendah dan rejeksi yang kecil menjadikan reverse osmosis tidak efektif untuk konsentrasi umpan di atas 150 gram/lit. Hasil perhitungan C_m dan k menunjukkan bahwa jika kedua parameter tersebut ditentukan pada rentang kondisi dimana fluks masih bergantung pada tekanan hidrostatik, nilai keduanya bertambah seiring dengan kenaikan TMP.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dibiayai oleh Kantor Menteri Negara Riset dan Teknologi melalui Proyek Riset Unggulan Terpadu VIII dengan kontrak 011.11/SK/RUT/2001, 26 Januari 2001

Daftar Pustaka

- [1]. Bell, G. dan Todd, J.R., (1981), "Hydrolysis of Triglyceride by Solid Phase Lipolytic Enzymes of *Rhizopus Arrhizus* in Continuous Reactor System", Biotechnol. Bioeng., 23, hal. 1703-1719
- [2]. Bouwer, S.T., Cuperus, F.P., dan Derksen, J.T.P., (1997), "The Performance of Enzyme-Membrane Reactors with Immobilized Lipase", Enzyme Microb. Technol., 21, hal. 291-296
- [3]. Brady, C.D., Metcalfe, L.D., Slaboszewski, D.R., dan Frank D., (1986). "Hydrolysis of Fats", U. S. Patent, No. 4.629.742
- [4]. Bosley, J.A. dan Moor, S.R., (1998), "Immobilized Lipases on a Dry, Porous Particulate Hydrophobic Support and Containing a Non-ionic Surfactant", U. S. Patent, No. 5,773,266
- [5]. Byrne, W., (1995), "Reverse Osmosis. A Practical Guide for Industrial Users", 1st ed., Tall Oaks Publishing Inc., Littleton.
- [6]. Geluk, M. A., Norde, W., Kalsbeek, H. K. dan Riet, K., (1992), Enzyme Microb. Technol., "Adsorption of Lipase from *Candida Rugosa* on Cellulose and Its Influence on Lipolytic Activity", 14, hal. 748-754
- [7]. Goto, M., Goto, M., Nakashio, F., Yoshizuka, K., dan Inoue, K., (1992), "Hydrolysis of Triolein by Lipase in a Hollow Fiber Reactor", J. Membr. Sci., 74, hal. 207-214
- [8]. Hayashi, Y., Fukui, S., Nakamura, Y., (2000), "Method of and Apparatus for Producing Potable Water and Salt", U. S. Patent, No. 6,030,535
- [9]. Kirt-Othmer, 1984, "Encyclopedia of Chem. Tech.", 3rd ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, 4, 814.
- [10]. Kirt-Othmer, 1984, "Encyclopedia of Chem. Tech.", 3rd ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, 11, 921.
- [11]. Klein, K.C., (1997), "Portable Reverse Osmosis Water Purification Plant", U. S. Patent, No. 5,632,892
- [12]. Kosugi, Y. dan Tanaka, H., (1990), "Continuous Hydrolysis of Oil by Immobilized Lipase in a Countercurrent Reactor", Biotechnol. Bioeng., 36, hal. 617-622
- [13]. Kronmiller, D.L., (1996), "Method of Improving the Reverse Osmosis Dewatering of an Aqueous Caffeine Stream", U. S. Patent, No. 5,525,234
- [14]. Lee, Y-K. dan Choo, C-L., (1989), "The Kinetics and Mechanism of Shear Inactivation of Lipase from *Candida cylindracea*", Biotechnol. Bioeng., 33, 183-190
- [15]. Moreno, J-M., Arroyo, M., Hernaiz, M-J., dan Sinisterra, J-V., (1997), "Covalent Immobilization of Pure Isoenzymes from Lipase of *Candida rugosa*", Enzyme Microb. Technol., 21, hal. 552-558
- [16]. Mulder, M., (1996), "Basic Principles of Membrane Technology", 2nd ed., Kluwer Acad. Publishers, Dordrecht, hal. 299
- [17]. Murray, M., Rooney, D., Neikerk, M.V., Montenegro, A., dan Weatherley, L.R., (1997), "Immobilization of Lipase onto Lipophilic Polymer Particle and Application to Oil Hydrolysis", Process Biochem., 32, hal. 479-486
- [18]. Nix, P.T., Santoro, J.M., dan Stephens, J.E., (1983), "Enzymatic Glyceride Hydrolysis", U. S. Patent, No. 4,394,445

