

KINERJA MEMBRAN ULTRAFILTRASI UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH EMULSI MINYAK-AIR SINTETIS

Nita Aryanti^{1*)}, Indah Prihatiningtyas²⁾, Diyono Ikhsan¹⁾, dan Dyah Hesti Wardhani¹⁾

¹⁾ Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

²⁾ Magister Teknik Kimia Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro

Jl. Prof Soedarto, SH, Tembalang, Semarang, Telp./Fax. (024)7460058/(024)76480675

*Penulis korespondensi: nita.aryanti@che.undip.ac.id

Abstract

PERFORMANCE OF ULTRAFILTRATION MEMBRANE FOR TREATMENT OF SYNTHETIC OIL-IN-WATER EMULSION WASTEWATER. *Fuels production from petroleum refinery generates oil-in-water emulsion wastewater. Conventional treatments of petroleum refinery wastewater are lack of reuse and recycle principles since the effluents of waste water treatment were unusable. In addition, the conventional processes produce discarded side products. Ultrafiltration membranes have been widely applied for oily wastewater treatment. This research used oil-in-water wastewater models as feed and polyethersulphone (PES) ultrafiltration membrane. The wastewater model was applies for comprehensive analysis of membrane performance. Lube oil, gasoline and diesel oil were used as dispersed phases while the continuous phase were water and surfactant for emulsion stabilizer. The lube oil, gasoline and diesel oil illustrated refinery wastewater produced in distillation columns and utility plant. Evaluation of ultrafiltration performance was determined based on flux profile and membrane rejection. Membrane characterization showed that the applied polyethersulphone membrane was an asymmetric ultrafiltration membrane having permeability of 17.32 (l/m².jam). It was shown that the flux profile of gasoline emulsion feed was the lowest. In addition, it was demonstrated that 90-98% of COD and 98-99% of oil were rejected.*

Keywords: *oil in water emulsion; petroleum refinery; ultrafiltration; waste water treatment*

Abstrak

Kegiatan pengilangan minyak bumi untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar menghasilkan limbah cair emulsi minyak-air. Pengolahan limbah emulsi minyak-air dengan metode konvensional belum mampu untuk menerapkan prinsip reuse dan recycle karena hasil pengolahan limbah hanya dibuang ke perairan. Selain itu, proses konvensional menimbulkan produk samping berupa sludge yang tidak diinginkan. Membran ultrafiltrasi telah banyak digunakan untuk pengolahan limbah berminyak. Pada penelitian ini digunakan umpan model limbah emulsi minyak dengan fasa terdispersi berupa minyak pelumas, bensin dan solar. Fasa kontinu adalah air, sedangkan surfaktan adalah sebagai mediator. Minyak pelumas, bensin dan solar digunakan untuk mewakili limbah kilang minyak bumi yang berasal dari kolom-kolom distilasi serta limbah yang berasal dari utility plant, misalnya limbah bahan bakar solar. Penggunaan model limbah pengilangan bertujuan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih detail tentang kinerja membran ultrafiltrasi untuk pengolahan limbah emulsi minyak bumi. Pengujian kinerja membran ultrafiltrasi dilakukan dengan mengetahui profil fluks dan rejeksi. Karakterisasi membran menunjukkan bahwa membran polyethersulfone yang digunakan merupakan membran ultrafiltrasi asimetrik dengan permeabilitas 17,32 (l/m².jam.bar). Profil fluks emulsi bensin, minyak pelumas dan solar menunjukkan bahwa penurunan fluks bensin yang tertinggi. Selain itu dapat dilihat bahwa membran polyethersulfone yang digunakan mampu merejeksi COD sebesar 98% dan minyak sebesar 98% untuk umpan emulsi bensin. Untuk emulsi minyak pelumas, 94% COD dan 99% minyak dapat direjeksi, sedangkan untuk umpan emulsi minyak solar, rejeksi COD sebesar 90% dan rejeksi minyak sebesar 98%.

Kata kunci: *emulsi minyak-air; pengilangan minyak bumi; ultrafiltrasi; pengolahan limbah*

PENDAHULUAN

Limbah berminyak merupakan salah satu penyebab dampak buruk terhadap lingkungan. Limbah yang mengandung emulsi minyak berasal dari berbagai proses industri seperti industri logam, industri otomotif, industri transportasi, industri makanan, industri petrokimia, industri minyak dan gas bumi (Daiminger dkk., 1995; Honga dkk., 2003). Limbah kilang minyak bumi berasal dari area pabrik, tangki-tangki hasil distilasi dan *utility plant*. Komponen minyak dalam limbah tersebut bersifat *lethal* (mematikan) maupun *sublethal* (menghambat pertumbuhan, reproduksi dan proses fisiologis lainnya) pada ekosistem perairan karena banyak senyawa organik beracun seperti benzena, toluena, etilbenzena, xylene, naphthalena, fenantrena, dibenzothiophena (NPD), hidrokarbon poliaromatik (PAHs) dan fenol yang terdispersi dalam air (Ekins dkk., 2007; Ahmadun dkk., 2009). Limbah berminyak yang dihasilkan pada proses pengilangan minyak bumi sebanyak 0,4-1,6 kali jumlah produksi minyak yang diperoleh (Coelho dkk., 2006), dengan kadar COD 850-1020 mg/l, kadar minyak 100-300 mg/l pada air desalter dan sampai 5000 mg/l di dasar tangki (World Bank Group, 1998). Konsentrasi minyak dan lemak serta COD tersebut melebihi batas konsentrasi buangan sesuai Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 19 tahun 2010 tanggal 30 November 2010 tentang baku mutu air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan minyak dan gas serta panas bumi. Peraturan tersebut menetapkan bahwa konsentrasi minyak dan lemak maksimum 20 mg/l dengan kadar COD maksimum sebesar 160 mg/l.

Pengolahan limbah emulsi minyak telah dilakukan dengan pemberian koagulan, asam dan pemanasan untuk memecah emulsi minyak, selanjutnya minyak dan air dipisahkan dengan prinsip grafitasi dan menggunakan proses oksidasi (Song dkk., 1998; Deng dkk., 2005), koagulasi dengan DAF (Zouboulis dkk., 2000). Penggunaan teknologi tersebut memungkinkan untuk menghasilkan luaran sesuai dengan standar buangan yang diijinkan, namun disisi lain menghasilkan *sludge* yang termasuk limbah B3 dengan volume yang cukup banyak. Teknologi membran, khususnya mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi merupakan salah satu metode alternatif untuk memisahkan minyak dari air. Teknologi ini memiliki efisiensi yang tinggi dalam memisahkan minyak, tidak memerlukan bahan kimia dalam prosesnya (Srijaroonrat dkk., 1999), dapat menghasilkan air dengan kualitas yang konsisten dan juga teknologi ini dapat mengolah emulsi minyak dalam air dengan partikel berdiameter kurang dari 5 mikron, yang tidak dapat diolah dengan hidrosiklon (Cumming dkk., 2000). Membran telah digunakan untuk mengolah umpan berupa emulsi minyak seperti emulsi *crude oil* (Chakrabarty dkk., 2010), emulsi minyak *kerosene* dan *crude oil* (Sutrisna, 2010), emulsi *cutting oil* (Notodarmodjo dkk., 2004). Hasil dari penelitian di

atas menyebutkan bahwa membran rata-rata dapat merejeksi minyak, COD serta surfaktan di atas 90%.

Penelitian-penelitian untuk pengolahan limbah berminyak yang berupa emulsi minyak-air dengan membran UF umumnya menggunakan limbah asli yang mengandung bahan-bahan yang kompleks. Dengan menggunakan limbah asli, kadar parameter-parameter hasil olahan secara langsung dapat diketahui. Namun, parameter-parameter dalam komponen limbah yang berpengaruh pada fluks permeat tidak dapat diketahui secara jelas. Pada penelitian ini digunakan umpan model limbah emulsi minyak dengan fasa terdispersi berupa minyak pelumas, bensin dan solar. Fasa kontinu adalah air, sedangkan surfaktan adalah sebagai mediator. Minyak pelumas, bensin dan solar digunakan untuk mewakili limbah kilang minyak bumi yang berasal dari kolom-kolom distilasi serta limbah dari operasi peralatan proses pada *utility plant*. Penelitian ini difokuskan pada pengujian kinerja membran (fluks dan rejeksi) ultrafiltrasi limbah emulsi minyak-air. Dengan model limbah emulsi minyak-air yang lebih sederhana maka pengaruh spesifik minyak terhadap kinerja membran dapat diketahui.

METODE PENELITIAN

Umpan emulsi minyak-air dibuat dengan mendispersikan fase minyak (bensin/premium, minyak pelumas dan solar) sebagai fasa terdispersi, fase kontinu aquades serta Tween 80 sebagai emulsifier. Konsentrasi minyak dalam pembuatan emulsi adalah 200 mg/l dengan konsentrasi surfaktan 0,1% (w/w). Fase minyak didispersikan dalam fase kontinu menggunakan *IKA Manual Ultra Turax Homogenizer* dengan kecepatan 21.200 rpm selama 2 menit.

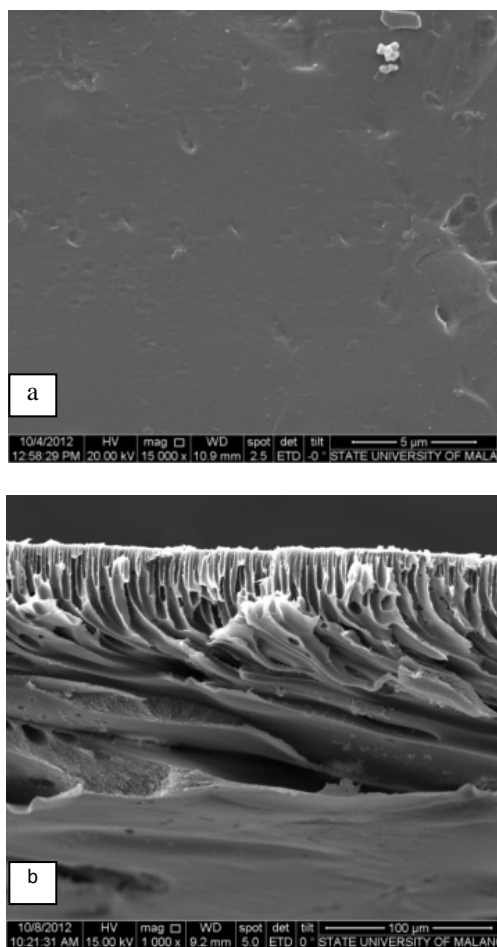
Membran ultrafiltrasi yang digunakan adalah *flat sheet Polyethersulfone* dengan ukuran pori nominal 10 kDa dan luas permukaan 0,00138 m² (NADIR *Filtration*, Jerman). Membran tersebut dipasang pada modul *dead end* ultrafiltrasi. Untuk mengetahui karakteristik membran, dilakukan analisis terhadap morfologi membran dengan *Scanning Electron Microscope* (FEI type Inspek-550) dan permeabilitas membran. Permeabilitas pada ultrafiltrasi menggambarkan laju filtrasi per unit area filtrasi (fluks) tiap unit beda tekanan.

Sebelum melakukan evaluasi kinerja dengan menggunakan model emulsi, membran dikompaksi dengan tekanan 1 Bar selama 180 menit. Uji performansi membran ultrafiltrasi dilakukan dengan mengoperasikan membran pada tekanan 1 Bar selama 120 menit, dengan pengukuran fluks permeat tiap 5 menit. Pengukuran fluks dilakukan dengan menghitung volume dan waktu yang diperlukan permeat untuk melewati membran. Analisis rejeksi dihitung dari konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) menggunakan HANA COD Meter dan *total oil content* (menggunakan *Gas Chromatography*) pada permeat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Membran

Pengujian permeabilitas menghasilkan permeabilitas membran sebesar 17,32 l/m².jam.bar dan sesuai dengan permeabilitas untuk membran ultrafiltrasi sebesar 10-50 l/m².jam.bar (Mulder, 1996). Analisis morfologi permukaan membran dan struktur penampang membran menggunakan SEM dapat dilihat pada Gambar 1a dan 1b. Gambar 1a menunjukkan struktur permukaan membran yang halus dengan beberapa pori terbuka. Analisa struktur pori pada penampang membran (Gambar 1b) menunjukkan bahwa membran tersebut merupakan membran asimetrik. Membran asimetrik adalah membran yang mempunyai dua lapisan dengan lapisan yang sangat tipis pada bagian atas disebut dengan kulit yang berfungsi sebagai membran utama dan bagian bawahnya berupa lapisan yang lebih tebal dan berpori jauh lebih besar yang berfungsi sebagai penyangga (Notodarmodjo dkk., 2004).

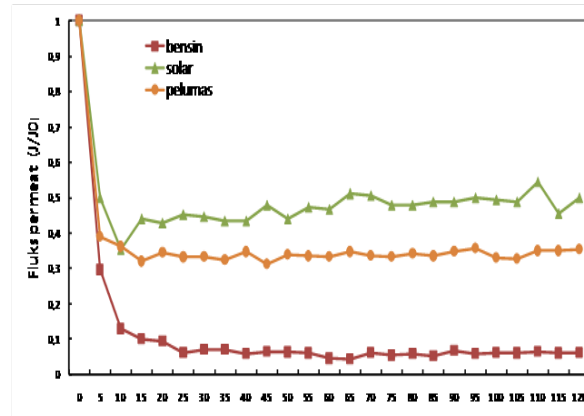


Gambar 1. Hasil SEM membran *polyethersulfone* (a) permukaan (b) melintang

Profil Fluks

Profil normalisasi fluks dinyatakan sebagai perbandingan antara fluks yang diperoleh (J) dengan fluks awal (J₀), (J/J₀) pada berbagai jenis minyak (bensin, minyak pelumas dan solar) dapat dilihat pada

Gambar 2. Setelah proses ultrafiltrasi 5 menit, nilai fluks (J/J₀) cenderung turun. Hal ini disebabkan adanya adsorpsi dan atau deposisi konvektif tetes minyak di permukaan membran yang pada akhirnya akan membentuk *cake formation* (Chen dkk., 2009). Pada tekanan konstan, pengaruh *membrane fouling* dan konsentrasi polarisasi dapat diamati berdasarkan penurunan fluks permeat dengan bertambahnya waktu. Dalam penelitian ini, pengaruh konsentrasi polarisasi diabaikan karena ukuran tetes emulsi yang cukup besar (1-100 μm), sehingga *membrane fouling* disebabkan oleh adsorpsi dan atau deposisi tetes minyak pada permukaan membran atau di dalam pori membran (Chen dkk., 2009).



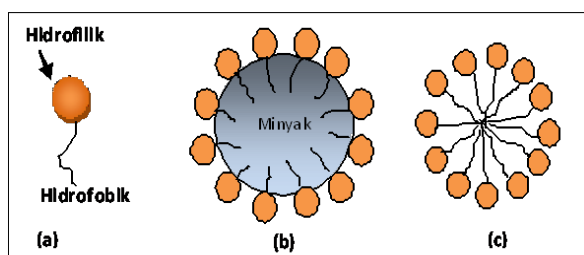
Gambar 2. Pengamatan fluks membran UF pada TMP 1 bar pada emulsi minyak yang berbeda

Dari Gambar 2 terlihat bahwa fluks stabil setelah dua puluh menit filtrasi. Fluks untuk umpan emulsi bensin terlihat relatif stabil pada kisaran fluks (J) 5,79 l/ m².jam (J₀= 95,77 l/ m².jam), sedangkan fluks untuk emulsi solar pada kisaran fluks (J) 7,63 l/m².jam (J₀= 16,06 l/m².jam) dan emulsi minyak pelumas pada kisaran fluks (J) 23,73 l/m².jam (J₀=70,21 l/m².jam). Besarnya nilai fluks permeat dipengaruhi oleh ukuran tetes emulsi (Cumming dkk., 2000).

Prediksi ukuran tetes berdasarkan kecepatan *creaming* menunjukkan bahwa emulsi bensin mempunyai ukuran tetes paling kecil. Fluks emulsi bensin paling rendah karena ukuran tetes emulsi bensin paling kecil. Kestabilan emulsi dipengaruhi oleh ukuran tetesnya. Makin besar ukuran tetes maka makin mudah suatu emulsi mengalami destabilisasi. Ukuran tetes yang besar akan mudah mengalami flokulasi dimana dua atau lebih tetes fase dispersi berkumpul bersama membentuk agregat. Flokulasi menyebabkan jumlah droplet menurun karena meningkatnya ukuran partikel, sehingga meningkatkan laju pengapungan (*creaming*). Selain itu, pembesaran massa tetes akan meningkatkan *coalescence* yang pada akhirnya mempercepat proses sedimentasi (Leal-Calderon dkk., 2007). Oleh karena itu, emulsi dengan ukuran tetes yang kecil bersifat lebih stabil dibandingkan dengan ukuran tetes yang besar. Emulsi

yang stabil akan lebih sulit dipisahkan dibandingkan dengan emulsi yang tidak stabil.

Pada proses filtrasi emulsi minyak dalam air, distribusi ukuran tetesan minyak emulsi umpan akan mempengaruhi deformasi dan perpindahan tetesan minyak, baik di permukaan maupun saat melewati pori membran. Selain itu sifat hidrofilik suatu membran juga merupakan faktor penting dalam tingkat keberhasilan filtrasi minyak (Ochoa dkk., 2003). Penetrasi molekul minyak melalui membran dipengaruhi oleh ukuran tetes minyak pada permukaan membran. Tetesan minyak yang lebih besar pada permukaan membran akan memberikan kontribusi untuk penetrasi minyak yang lebih besar (Kong and Li, 1999). Dalam penelitian ini, digunakan umpan emulsi minyak air yang distabilkan dengan surfaktan. Surfaktan dalam umpan emulsi minyak dalam air (O/W) dapat berbentuk bebas, terikat dengan tetes dan dalam bentuk misel seperti ditunjukkan Gambar 3a, 3b dan 3c.



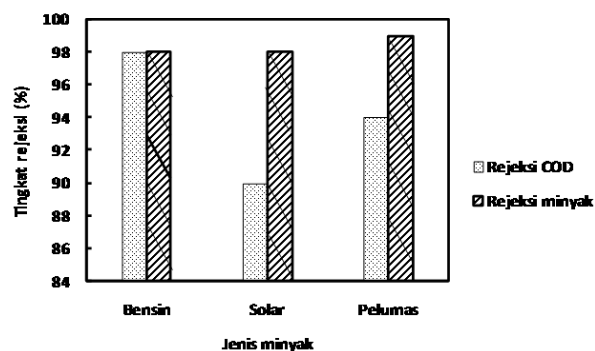
Gambar 3. Surfaktan pada emulsi minyak dalam air (a) dalam bentuk bebas (b) terikat dengan tetes (c) dalam bentuk misel.

Adanya surfaktan dalam umpan juga berpengaruh dalam penurunan fluks membran (Jönsson dan Jönsson, 1991). Pengujian membran ultrafiltrasi untuk memisahkan aquadest-surfaktan Tween 80 menunjukkan terjadi penurunan J/J_0 yang tinggi. Profil fluks menunjukkan penurunan dari J/J_0 awal sebesar 1 menjadi 0,376 dalam waktu 30 menit. Sedangkan ultrafiltrasi emulsi minyak-air tanpa surfaktan menghasilkan nilai J/J_0 sebesar 0.76 dalam waktu 30 menit. Penurunan fluks karena adanya surfaktan dapat disebabkan oleh polarisasi konsentrasi yang disebabkan oleh misel yang tertahan pada membran (Sourirajan dan Sirianni, 1966, Bhattacharaya dkk., 1978). Penurunan fluks juga dikaitkan dengan adsorpsi molekul surfaktan dalam pori-pori membran (Fane dkk., 1985). Jönsson dkk. (1997) menjelaskan bahwa penurunan fluks karena nonionik surfaktan pada membran hidrofilik disebabkan karena :

1. Adanya polarisasi konsentrasi yang ditimbulkan oleh misel yang tertahan pada membran.
2. Adsorpsi karena interaksi hidrofilik antara membran hidrofilik dengan bagian hidrofilik pada surfaktan (pada Tween 80, bagian hidrofilik adalah polyethoxylated sorbitan dan bagian hidrofobik adalah asam oleat).

Selektivitas Membran

Selektivitas merupakan kemampuan membran untuk menahan atau merejeksi suatu spesi tertentu. Dalam penelitian ini, kinerja membran ultrafiltrasi ditentukan dari kemampuan rejeksi terhadap kadar minyak dan COD. Gambar 4 menunjukkan tingkat rejeksi minyak dan rejeksi kandungan organik yang dinyatakan dalam *Chemical Oxygen Demand* (COD).

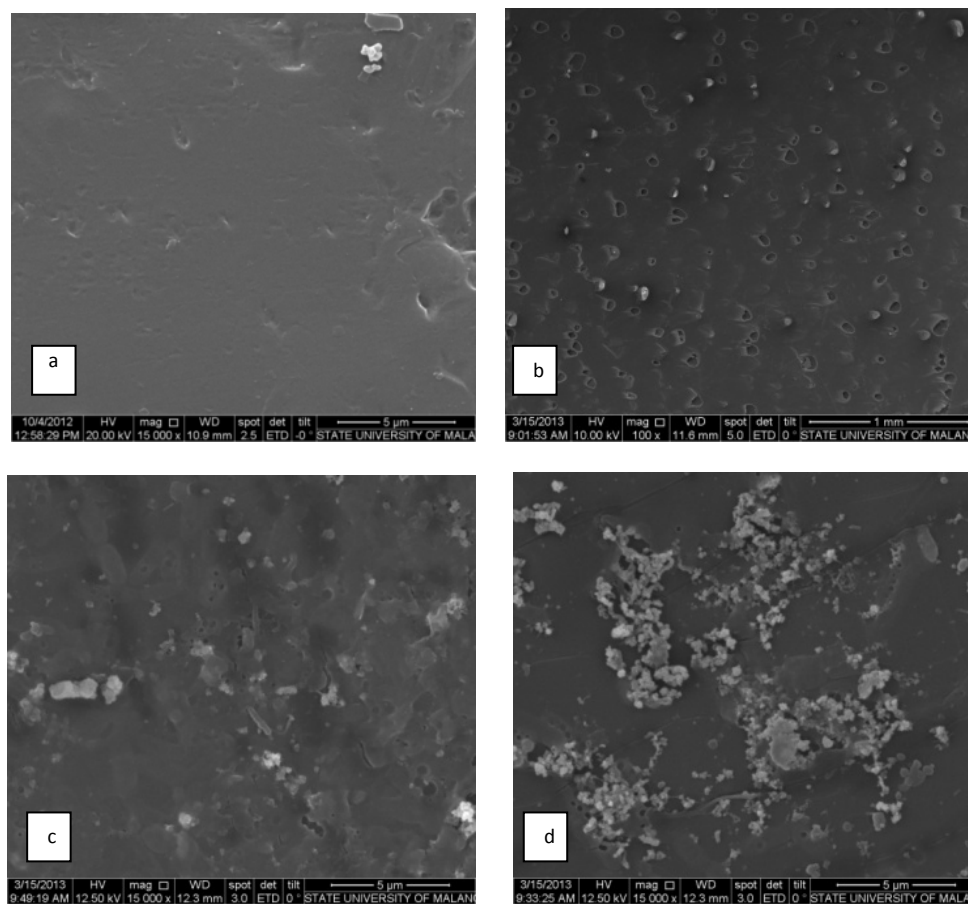


Gambar 4. Tingkat rejeksi COD dan minyak untuk berbagai jenis emulsi minyak

Pada Gambar 4 untuk umpan emulsi bensin, membran mampu merejeksi COD sebesar 98% dan minyak 98%. Sedangkan untuk umpan emulsi minyak pelumas tingkat rejeksi COD sebesar 94% dan minyak 99% dan untuk umpan emulsi solar, membran dapat merejeksi COD sebesar 90% dan merejeksi minyak sebesar 98%. Rejeksi minyak untuk emulsi bensin, pelumas dan solar relatif sama karena konsentrasi awal minyak sama sebesar 200 mg/l dan konsentrasi minyak pada permeat sebesar 3,69 mg/l untuk emulsi bensin, 1,27 mg/l untuk emulsi pelumas dan 2,43 mg/l untuk emulsi solar. Sedangkan rejeksi COD berada pada nilai 98%-90% untuk emulsi bensin, pelumas dan solar. Kadar awal COD untuk emulsi bensin, pelumas dan solar sebesar 5750 mg/l, 3900 mg/l dan 2400 mg/l dengan kadar COD pada permeat untuk emulsi bensin, solar dan pelumas sebesar 81 mg/l, 228 mg/l dan 230 mg/l. Dalam filtrasi umpan berupa emulsi minyak-air, tetesan minyak yang melewati membran dapat berubah bentuk dan memberikan tekanan terhadap pori membran. Deformasi tetes minyak yang melewati pori membran akan mempengaruhi efisiensi total dari proses separasi karena tetesan minyak mengkontaminasi permeat (Sutrisna, 2010).

Analisis Fouling

Analisa hasil SEM pada membran secara kualitatif untuk menjelaskan indikasi fouling pada membran. *Fouling* yang terjadi oleh umpan yang berupa emulsi minyak dapat disebabkan oleh minyak dan juga surfaktan. Gambar 5 menunjukkan hasil SEM permukaan membran setelah digunakan untuk pemisahan umpan emulsi minyak-air.



Gambar 5. Hasil SEM membran (a) membran baru (b) membran *fouling* emulsi bensin (c) membran *fouling* emulsi pelumas (d) membran *fouling* emulsi solar.

Hasil SEM membran pada Gambar 5 menunjukkan bahwa membran sebelum digunakan terlihat bersih tanpa ada *foulant* (Gambar 5a) sedangkan membran setelah digunakan menunjukkan adanya *foulant* pada permukaan membran (Gambar 5b, 5c dan 5d). Pada ultrafiltrasi emulsi minyak-air yang distabilisasi dengan surfaktan, baik minyak maupun surfaktan merupakan *foulant* yang menyebabkan *fouling*. Pada permukaan membran terjadi interaksi antara membran hidrofilik dengan bagian hidrofilik dari surfaktan. Selain itu adanya *foulant* minyak pada permukaan membran akan menyebabkan bagian hidrofobik surfaktan berinteraksi dengan *foulant* minyak. Setelah dilakukan filtrasi dengan umpan emulsi bensin (Gambar 5b), menunjukkan adanya *foulant* berupa partikel kecil yang terdeposisi pada permukaan membran terlihat tertutup oleh *foulant* yang membentuk lapisan gel. Hal tersebut dapat disebabkan karena ukuran tetes emulsi bensin yang lebih kecil dibandingkan dengan ukuran tetes emulsi minyak pelumas dan solar sehingga *foulant* minyak dapat masuk di sela-sela bagian hidrofobik dari surfaktan dan sebagian masuk ke dalam pori membran, sehingga yang terlihat adalah *foulant* surfaktan. Dengan demikian, mekanisme *fouling* yang mungkin terjadi pada filtrasi emulsi bensin adalah *pore blocking*. Sebaliknya, pada filtrasi

umpan emulsi minyak pelumas dan solar (Gambar 5c dan 5d), terlihat bahwa ada 2 jenis *foulant* yang terdeposisi pada permukaan membran, yaitu lapisan gel dan terlihat beberapa partikel kecil diatas lapisan gel tersebut. Ukuran tetes emulsi minyak pelumas dan solar yang besar menyebabkan *foulant* minyak teradsorpsi di atas bagian hidrofobik dari surfaktan dan terlihat sebagai lapisan kedua di atas lapisan gel *foulant* surfaktan. Semakin lama *foulant* minyak akan menumpuk dan membuat lapisan gel yang lebih tebal sehingga *foulant* terdeposisi pada permukaan gel. Untuk ultrafiltrasi emulsi pelumas dan solar, mekanisme *fouling* yang mungkin terjadi adalah *gel/cake formation*.

KESIMPULAN

Membran ultrafiltrasi telah digunakan untuk pemisahan model emulsi minyak-air. Model limbah emulsi minyak-air terdiri dari fase terdispersi berupa bensin, pelumas dan solar. Fasa kontinu adalah air, sedangkan surfaktan adalah sebagai mediator. Minyak pelumas, bensin dan solar digunakan untuk mewakili limbah kilang minyak bumi yang berasal dari tangki-tangki distilasi serta limbah dari operasi mesin-mesin industri pada *utility plant*. Pengujian kinerja membran ultrafiltrasi dilakukan dengan mengetahui profil fluks dan rejeksi (COD dan *total oil content*). Profil fluks

emulsi bensin, minyak pelumas dan solar menunjukkan bahwa penurunan fluks bensin yang tertinggi. Hal ini disebabkan karena ukuran tetes emulsi bensin yang paling kecil dan kestabilan emulsi dipengaruhi oleh ukuran tetesnya. Makin kecil ukuran tetesnya, maka emulsi tersebut semakin stabil dan lebih sulit dipisahkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa membran *polyethersulfone* yang digunakan mampu merejeksi COD sebesar 98% dan minyak sebesar 98% untuk umpan emulsi bensin (konsentrasi COD permeat sebesar 81 mg/l dan *total oil content* sebesar 3,69 mg/l). Untuk emulsi minyak pelumas, 94% COD dan 99% minyak dapat direjeksi (konsentrasi COD pada permeat 228 mg/l dan *total oil content* pada permeat 1,27 mg/l). Sedangkan untuk umpan emulsi minyak solar, rejeksi COD sebesar 90% dan rejeksi minyak sebesar 98% (konsentrasi COD pada permeat 230 mg/l dan *total oil content* pada permeat 2,43 mg/l).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional yang telah membiayai penelitian ini melalui Progam Penelitian BOPTN Fundamental DIPA Undip No DIPA-023.04.2.189815/2013 tanggal 05 Desember 2012.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmadun, F., Pandashteha, A., Abdullaha, L.C., Biaka, R.A., Madaenic, S.S., and Abidin, Z.Z., (2009), Review of Technologies for Oil and Gas Produced Water Treatment, *J. of Hazardous Materials* 170, pp. 530-551.

Bhattacharayya, D., Jumawan, Jr., A.B., Grieves, R.B., and Witherup, S.O., (1978), Ultrafiltration of Complex Wastewaters: Recycling for Nonpotable Use, *Journal of Water Pollut. Control Fed.*, (50), pp. 846-861.

Chen, W., Peng, J., Su, Y., Zheng, L., Wang, L., and Jiang, Z., (2009), Separation of oil/water emulsion using Pluronic F127 Modified Polyethersulphone Ultrafiltration Membranes, *Separation and Purification Technology*, 66, pp. 591-597.

Chakrabarty, B., Ghoshal, A.K., and Purkait, M.K., (2010), Cross-flow Ultrafiltration of Stable Oil-in-Water Emulsion Using Polysulfone Membrane, *Chemical Eng. Journal*, 165, pp. 447-456.

Coelho, A., Castro, A.V., Dezotti, M., and Sant'Anna Jr., G.L., (2006), Treatment of Petroleum Refinery Sourwater by Advanced Oxidation Processes, *Journal of Hazardous Material*, 137, pp.178-184.

Cumming, I.W., Holdich, R.G., and Smith, I.D., (2000), The Rejection of Oil by Microfiltration of A Stabilized Kerosene/Water Emulsion, *Journal of Membrane Science*, 169, pp. 147-155.

Daiminger, U., Nitsch, W. Plucinski, P., and Hoffmann, F., (1995), Novel techniques for oil/water separation, *Journal of Membrane Science*, 99, pp.197-203.

Deng, S., Yu, G., Jiang, Z., Zhang, R., and Ting, Y.P., (2005), Destabilization of oil Droplets in Produced Water from ASP Flooding, *Colloid Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects*, 252, pp.113-119.

Ekins, P., Vanner, R., and Firebrace, J., (2007), Zero Emissions of oil in Water from Offshore Oil and Gas Installations: economic and environmental implications, *J.Clean.Prod.*, 15, pp.1302-1315.

Fane, A.G., Fell, C.J.D., and Kim, K.J., (1985), The Effect of Surfactant Pretreatment on the Ultrafiltration of Proteins, *Desalination*, 53, pp. 37-55.

Honga, A., Fane, A.G., and Burford, R., (2003), Factors affecting membrane coalescence of stable oil-in-water emulsions, *Journal of Membrane Science*, 222, pp.19-39.

Jönsson, A. and Jönsson, B., (1991), The Influence of Nonionic and Ionic Surfactants on Hydrophobic and Hydrophilic Ultrafiltration Membrane, *Journal of Membrane Science*, 56, pp.49-76.

Jönsson, A.S., Lindau, J., Wimmerstedt, R., Brinck, J., and Jönsson, B., (1997), Influence of the Concentration of a Low-Molecular Organic Solute on the Flux Reduction of a Polyethersulphone Ultrafiltration Membrane, *Journal of Membrane Science*, 135, pp. 117-128.

Kong, J. and Li, K., (1999), Oil Removal from Oil-in-Water Emulsions Using PVDF Membrane, *Sep. Purif. Technol.*, pp. 83-93.

Leal-Calderon, F., Schmitt, V., and Bibette, J., (2007), *Emulsion Science: Basic Principles*, 2nd, Springer Science+Business Media, New York, USA.

Mulder, M., (1996), *Basic Principles of Membrane Technology*, Kluwer Academic Publisher, Netherlands.

Notodarmodjo, S., Mayasanthi, D., dan Zulkarnain, T., (2004), Pengolahan Limbah Cair Emulsi minyak dengan proses membran ultrafiltrasi dua-tahap aliran cross-flow, *Proc. ITB Sains & Tek.*, Vol. 36 A, No.1, pp. 45-62.

Ochoa, N.A., Masuelli, M., and Marchese, J., (2003), Effect of Hydrophilicity on Fouling of an Emulsified Oil Wastewater with PVDF/PMMA Membrane, *Journal of Membrane Science*, 226, pp. 203-211.

Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 19 Tahun 2010 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi

Usaha dan atau Kegiatan Minyak dan Gas Serta Panas Bumi.

Song, Y.C., Kim, I.S., and Koh, S.C., (1998), Demulsification of oily wastewater through a synergistic effect of ozone and salt, *Water Sci. Technol.*, 38 (4-5), pp. 247-253.

Sourirajan, S. and Sirianni, A.F., (1966), Membrane Separation Studies with Some Polyoxyethylated alkylphenols in Aqueous Solution, *Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev.*, 5 (1), pp. 30-34.

Srijaroonrat, P., Julien, E., and Aurelle, Y., (1999), Unstable Secondary Oil/Water Emulsion Treatment Using Ultrafiltration : Fouling Control by

Backflushing, *Journal of Membrane Science*, 159, pp.11-20.

Sutrisna, P.D., (2010), Pemisahan Emulsi Minyak dalam Air dengan Membrane Berslot Mode Operasi Dead end, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*, ISSN 1693-4393.

World Bank Group, (1998), *Pollution Prevention and Abatement Handbook*, Washington DC.

Zouboulis, A.I. and Avranas, A., (2000), Treatment of Oil-in Water Emulsions by Coagulation and Dissolved-air Flotation, *Colloid Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects*, 172 (1-3), pp. 153-161.