

INTEGRASI PENYINARAN DENGAN SINAR UV PADA PROSES INVERSI FASE UNTUK PEMBUATAN MEMBRAN NON-FOULING

Addina Pradita Nur, Dini Karunia Sari, Heru Susanto*)

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang, 50275, Telp/Fax: (024)7460058

Abstrak

Fouling merupakan masalah serius yang dapat mengurangi kinerja membran. Oleh karena itu penyediaan membran dengan fouling rendah (non-fouling) merupakan hal penting yang harus dilakukan. Pembuatan membran non-fouling dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu modifikasi permukaan membran setelah dibuat (post-modification) dan dengan pencampuran (blending) selama proses pembuatan. Namun, pada modifikasi permukaan membutuhkan langkah tambahan, sedangkan pada metode blending, modifikasi yang dihasilkan kurang stabil karena hanya bercampur tanpa ada suatu ikatan kimia. Makalah ini mempresentasikan pembuatan membran Ultrafiltrasi (UF) dari Polieter sulfon (PES) dengan mencampur polietilen glikol (PEG) sebagai aditif dan disinari sinar ultraviolet (UV) sehingga akan terbentuk membran non-fouling yang stabil. Secara umum percobaan yang dilakukan meliputi pembuatan larutan casting, diikuti dengan penyinaran menggunakan sinar UV sebelum direndam dalam air selama satu hari dan dikeringkan. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi PEG, photo-inisiator benzophenon, jenis sinar UV, dan lama penyinaran. Karakterisasi membran dilakukan dengan pengukuran permeabilitas air murni, penampakan permukaan membran dengan scanning electron microscope (SEM) dan menentukan gugus fungsi pada membran dengan FTIR. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penyinaran dengan sinar UV dan PEG mempunyai pengaruh signifikan terhadap karakteristik dan kinerja membran.

Kata kunci: membran, PES, PEG, Sinar UV, non-fouling

Abstract

Fouling is a serious problem that can reduce the performance of the membrane. Therefore the provision of a membrane with low fouling (non-fouling) is an important thing to do. Non-fouling membrane preparation can be done in two ways, namely modification of the membrane surface after it is created (post-modification) and with mixing (blending) during the manufacturing process. However, the surface modification requires an additional step, while the blending method, produced modification is less stable because there is only mixed without a chemical bond. This paper presents the process of Ultrafiltration membrane (UF) of polyether sulfone (PES) by mixing polyethylene glycol (PEG) as an additive and exposed to ultraviolet (UV) that will form a non-fouling membranes are stable. In general, the experiment was conducted on the preparation of the solution casting, followed by irradiation with UV light before it immersed in water for one day and dried. The research was carried out by varying the concentration of PEG, photo-initiator benzophenon, type of UV rays, and long irradiation. Characterization of membrane permeability measurements made with pure water, the appearance of the membrane surface with a scanning electron microscope (SEM) and determine the functional groups on the membrane by FTIR. The results showed that irradiation with UV light and the PEG has a significant influence on the characteristics and performance of the membrane.

Keywords: membrane, PES, PEG, UV rays, non-fouling

1. PENDAHULUAN

Membran merupakan lapisan tipis di antara dua fase yang bersifat selektif (semi permeabel) dan berfungsi mengatur perpindahan komponen pada dua kompartemen yang berdekatan tersebut. Salah satu jenis membran yang banyak digunakan di industri adalah membran ultrafiltrasi (UF). UF adalah proses membran dengan gaya dorong (*driving force*) proses pemisahan adalah beda tekanan antara sisi umpan dan permeat. UF biasanya digunakan untuk proses pemurnian dan pemisahan makromolekul atau suspensi dengan ukuran partikel yang sangat halus. Ukuran pori membran dinyatakan dalam *molecular wight cut off* (MWCO) yang didefinisikan sebagai massa molar molekul penguji dengan lebih dari 90% ditahan/direjeksi oleh membran.

Pembuatan membran UF dapat dilakukan dengan beberapa cara, meliputi *Non-solvent Induced Phase Separation* (NIPS), *Vapor Induced Phase Separation* (VIPS), *Evaporation Induced Phase Separation* (EIPS), dan *Thermally Induced Phase Separation* (TIPS). Cara yang paling banyak digunakan adalah NIPS yaitu dengan memasukkan proto membran ke dalam bak yang berisi non-solvent.

Membran UF telah banyak diaplikasikan di industri pangan, pengolahan limbah cair, dll. Akan tetapi pada pemisahan dengan membran, masalah utama yang sering muncul adalah timbulnya *fouling*. *Fouling* ini akan mengurangi kinerja membran. Beberapa penelitian mengenai pembuatan membran non-*fouling* telah dilakukan, seperti dengan memodifikasi permukaan membran komersial. Akan tetapi pada metode ini diperlukan langkah tambahan untuk menghasilkan membran yang diinginkan (Susanto dkk, 2007). Metode lain yang sudah dilakukan adalah dengan *blending*, yaitu dengan menambahkan langsung agen anti-*fouling* pada saat pembuatan membran. Cara ini memiliki kelemahan yaitu membran yang dihasilkan modifikasinya tidak stabil (Wang dkk, 2006). Oleh karena itu di dalam penelitian ini akan dibuat suatu membran non-*fouling* yang tidak memerlukan langkah tambahan tetapi modifikasinya stabil.

Penelitian ini menggabungkan kedua metode sehingga diperoleh membran non-*fouling* yang modifikasinya stabil dalam satu tahapan proses, dengan proto membran disinari dengan sinar UV sebelum dilakukan proses kogulasi.

2. METODE PENELITIAN

Bahan

Polimer PES Ultrason E 6020P dibeli dari BASF (Ludwigshafen, Jerman) sebelum digunakan, dikeringkan terlebih dahulu pada suhu 120 °C minimal 4 jam. N-methyl-2-pyrrolidone (NMP) sebagai solvent dibeli dari Merck. Polyethylene glycol (PEG) dibeli dari Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Steinheim, Jerman. Benzophenone dibeli dari Fluka Analytical, USA. Kalium dihidrogen fosfat (KH_2PO_4) dan dinatrium hidrogen fosfat dihydrate ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) sebagai larutan buffer dibeli dari Fluka Chemie AG, Jerman. Bovine serum albumin (BSA) dibeli dari ICN Biomedicals, Inc. (California, US). Gas Nitrogen dibeli dari Rejo Makmur, Semarang, Indonesia. Aquadest dengan sistem RO dari MeR-C Undip digunakan untuk keseluruhan penelitian.

Pembuatan Membran

Pembuatan membran PES diawali dengan pembuatan larutan polimer (casting) yang terdiri dari polimer PES, PEG, BP dan NMP. Membran dibuat dengan komposisi PES dan PEG tetap yaitu 13% dan 5%, BP 0,2%, NMP sebagai pelarut dan aquades sebagai non-solvent. Pencetakan membran menggunakan metode inversi fase yaitu dengan cara mencetak membran diatas plat kaca kemudian disinari sinar UV dengan variasi waktu selama 0, 5, 10, 15, dan 30 menit kemudian dimasukkan ke dalam bak koagulasi selama 1 jam dilanjutkan di bak koagulasi yang berbeda selama 24 jam. Membran dikeringkan dengan oven suhu 40 – 50 °C selama 24 jam.

Karakterisasi Membran

Pengukuran fluks air murni

Pengukuran nilai fluks air murni dilakukan dengan menggunakan sistem filtrasi *dead end* (dengan model sel Amicon 8010). Percobaan ini dilakukan dengan mengisi aquadest 10 ml ke dalam sel Amicon dan diputar pada putaran tetap 300 rpm. Tekanan dinaikkan sedikit demi sedikit hingga tekanan menjadi 3 bar. Kemudian, ditunggu selama 30 menit. Volume fluks ditampung sebanyak 3 kali pengukuran dalam variabel waktu 5 menit. Hasil pengukuran tersebut ditimbang untuk mengetahui volumenya. Hasil pengukuran volume tersebut akan digunakan dalam perhitungan fluks dengan menggunakan rumus:

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

Scanning Electron Microscopy (SEM)

Karakterisasi membran menggunakan SEM digunakan untuk mengetahui struktur morfologi membran yang dibuat. Melalui analisis SEM dapat diketahui penampang melintang dan permukaan membran dengan perbesaran tertentu. Alat yang digunakan adalah merk FEI tipe inspek-170.

FTIR (Fourier Transform Infrared)

Analisis FTIR pada membran digunakan untuk mengetahui adanya gugus fungsi yang terdapat di dalam membran. Alat yang digunakan adalah merk Shimadzu tipe IRPrestige-21.

Uji Kinerja Membran

Fouling Adsorptif

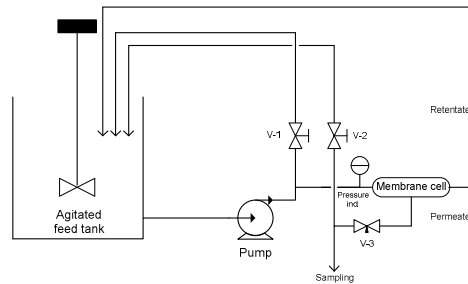
Pengukuran dilakukan dengan memasukkan membran ke dalam sel Amicon seperti pada saat pengukuran fluks air murni setelah didapatkan volume fluks, sel amicon beserta membran dicuci dengan

aquadest lalu diisi dengan larutan BSA dalam buffer pH 5 dan pH 8 diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 3 jam. Kemudian membran dan Amicon dicuci dengan aquadest. Setelah itu dilakukan pengukuran volume fluks kembali sebanyak 3 kali pengukuran dalam variabel waktu 5 menit. Untuk mengetahui pengaruh interaksi membrane solute digunakan parameter penurunan fluk relatif (RFR).

$$RFR (\%) = \frac{J_a - J_a}{J_a} \times 100 \quad (2)$$

Ultrafiltrasi

Pengukuran dilakukan dengan alat filtrasi aliran silang (Gambar 1). Kompaksi terlebih dahulu dengan aquadest selama 30 menit pada tekanan 1 atm, lalu mengukur volume fluks aquadest selama 10 menit. Setelah proses kompaksi, aquadest diganti dengan larutan BSA pH 5. Pengukuran fluks dilakukan dengan mengukur volume larutan BSA pH 5 setiap 10 menit selama 2 jam. Penentuan rejeksi membran dilakukan dengan menentukan konsentrasi larutan BSA yang ditampung pada menit ke 0, 40, 80 dan 120 dengan menggunakan spektrofotometer.



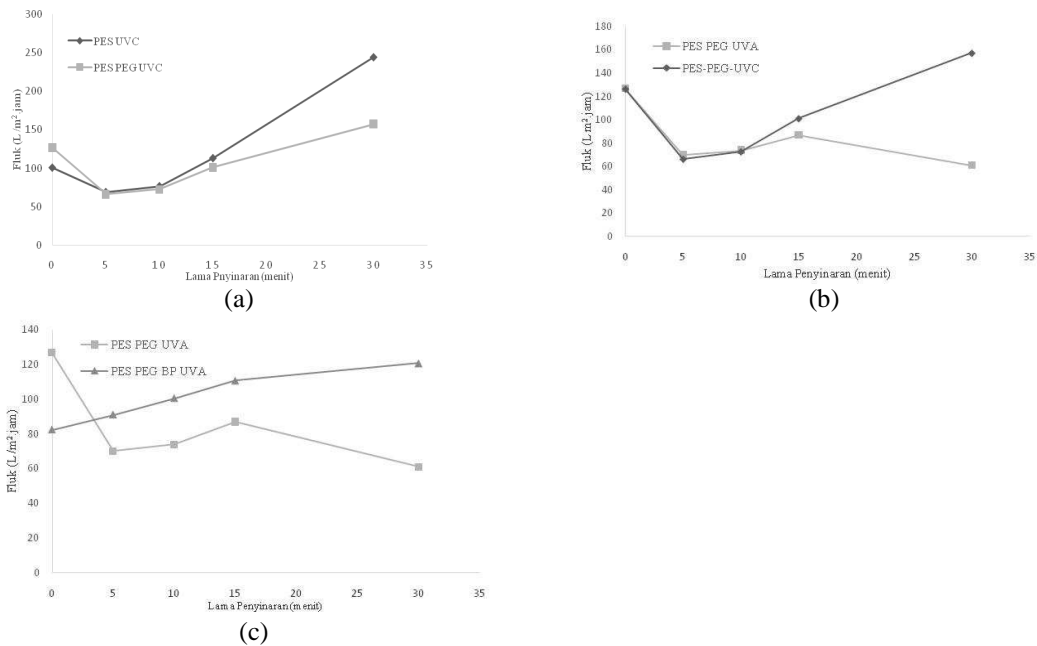
Gambar 1. Rangkaian Alat Uji Ultrafiltrasi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Membran

Uji Fluks Air Murni

Uji fluks dilakukan untuk mengukur kinerja membran. Pengukuran fluks membran dilakukan dengan sel Amicon dengan aliran *deadend* untuk mengukur laju alir permeat per satuan luas per satuan waktu. Hasil pengukuran disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh Lama Penyinaran terhadap Fluks Air Murni. (a) Pengaruh Penambahan PEG. (b) Pengaruh Jenis Sinar UV. (c) Pengaruh Penambahan Benzophenone.

Gambar 2 menunjukkan bahwa fluk membran yang disinari UV selama 5 menit cenderung turun dibandingkan dengan besar fluk pada membran yang tidak disinari UV. Hal ini dikarenakan adanya jeda waktu antara membran setelah dicetak dan sebelum dimasukkan ke dalam bak koagulasi (*delayed demixing*) yang menyebabkan terbentuknya membran non pori (Mulder, 1996). Membran yang disinari sinar UV mulai menit ke-5, fluks membran cenderung naik seiring lamanya waktu penyinaran. Peristiwa ini dikarenakan membran yang disinari dengan sinar UV akan terjadi pemotongan rantai polimer (*chain scission*) dan proses ikatan silang (*crosslinking*) (Susanto,dkk 2006). Proses pemotongan rantai polimer akan banyak terjadi pada suhu rendah, sedangkan proses ikatan silang akan banyak terjadi pada suhu tinggi. Karena terjadi pemotongan rantai polimer, maka pori-pori membran semakin terbentuk dan fluksnya pun semakin besar. *Chain scission* yang lebih besar terjadi pada membran PES-PEG-UVA yang menyebabkan terjadinya ikatan antara PES dan PEG sehingga pori membran kembali mengecil dan fluksnya kembali menurun.

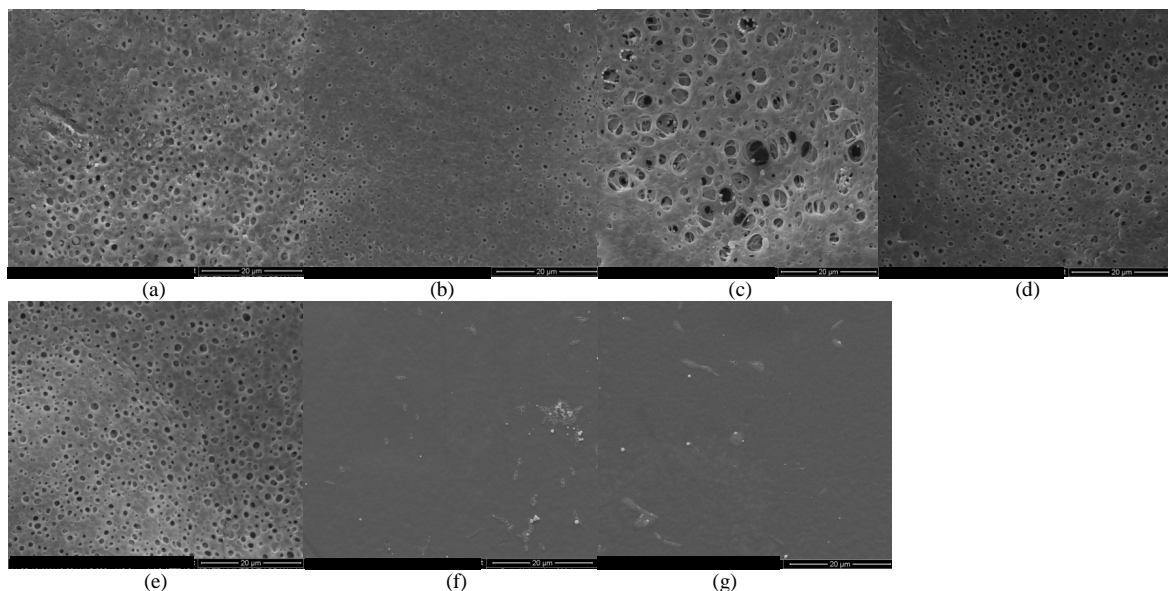
Gambar 2(a) menunjukkan bahwa membran tanpa sinar UV yang ditambahkan PEG memiliki fluks lebih besar dibandingkan dengan membran tanpa PEG karena PEG mempunyai fungsi sebagai pembentuk pori membran sehingga dapat menggasilkan pori lebih banyak dan fluk membrannya menjadi besar. Akan tetapi setelah disinari dengan sinar UV, fluks membran dengan PEG menurun bahkan berada di bawah fluks membran tanpa PEG. Hal ini dikarenakan pada membran PES mengalami degradasi yang menyebabkan fluksnya terus meningkat, tetapi pada membran PES-PEG terbentuk radikal bebas yang menyebabkan terjadinya ikatan silang antara PES dan PEG yang menyebabkan kembali mengecilnya pori membran dan fluksnya turun.

Gambar 2(b) menunjukkan bahwa fluks membran yang disinari sinar UV A lebih rendah daripada UV C karena UV C dengan panjang gelombang yang lebih pendek dari UV A memberikan energi yang lebih besar. Dengan energi yang lebih besar, maka proses inisiasi yang terjadi semakin besar yang menyebabkan pori bertambah dan fluks lebih besar (Peeva, 2011). Pada menit ke-30, membran dengan UV A besar fluksnya menurun sedangkan pada membran dengan UV C fluksnya tetap naik, hal ini karena pada UV C energi untuk inisiasi masih cukup melebihi untuk proses *cross scission* yang bergantung terhadap suhu, sedangkan pada UV A tidak.

Pada gambar 2(c) Menunjukkan bahwa dengan menambahkan benzophenone, fluks membran menjadi semakin naik karena dengan penambahan benzophenone yang berfungsi sebagai fotoinisiator yang mempercepat pembentukan radikal bebas sehingga menyebabkan pori membran menjadi terbuka dan fluksnya meningkat.

Scanning Electron Microscopy (SEM)

Analisa SEM digunakan untuk mengetahui struktur morfologi membran, besar pori dan jumlah pori. Hasilnya berupa foto penampakan melintang dan permukaan menggunakan mikroskop elektron.



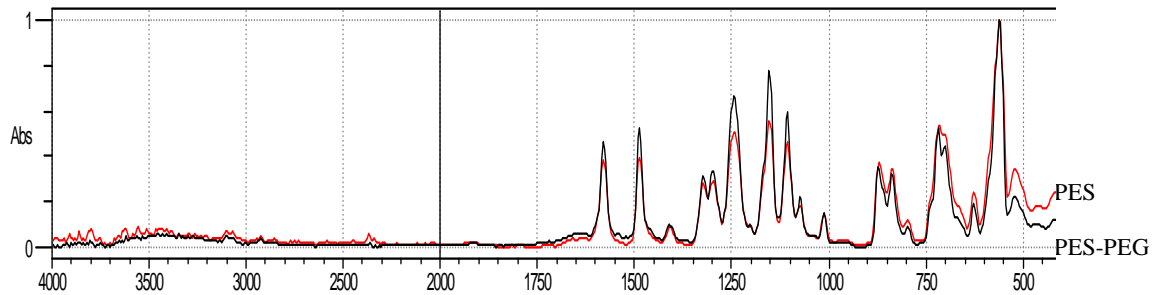
Gambar 3. Hasil Penampakan Permukaan Membran dari Uji SEM. (a) PES-UVC (15). (b) PES-UVA (15). (c) PES-PEG-UVC (15). (d) PES-PEG-UVA (15). (e) PES-PEG-BP-UVA (15). (f) PES. (g) PES-PEG.

Gambar 3 menunjukkan bahwa pori terbesar terdapat pada membran PES-PEG-UVC(15). Akan tetapi fluks terbesar pada membran tersebut terdapat pada PES-PEG. Hal ini dikarenakan distribusi pori PES-PEG lebih merata daripada membran yang lain. Sedangkan membran dengan pori terkecil terdapat pada membran PES.

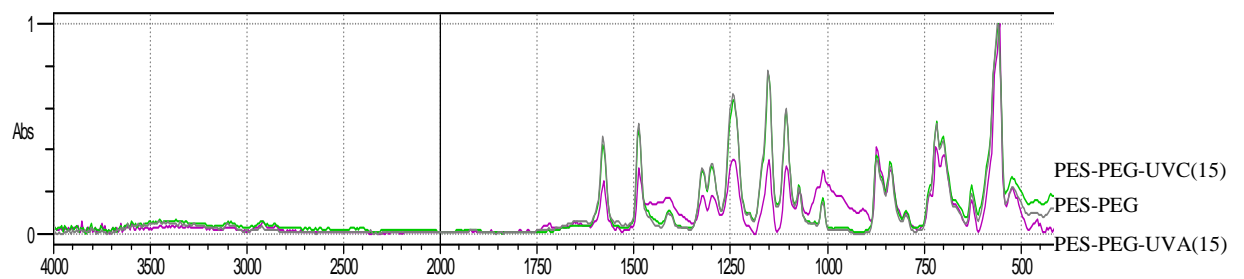
Namun fluks membran PES-PEG-UVA(15) lebih kecil daripada membran PES, ini disebabkan distribusi pori membran PES lebih merata daripada PES-PEG-UVA(15).

FTIR (Fourier Transform Infrared)

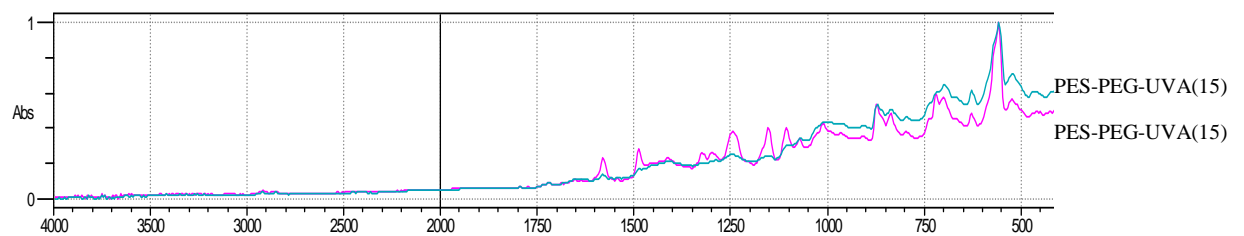
Analisis FTIR pada membran digunakan untuk mengetahui adanya gugus fungsi yang terdapat di dalam membran. Pada Gambar 4.6, 4.7 dan 4.8 ditunjukkan hasil karakterisasi membran dengan FTIR untuk pengaruh penambahan PEG, penyinaran sinar UV dan penambahan Benzophenone.



Gambar 4. Pengaruh PEG terhadap Karakterisasi FTIR pada Membran



Gambar 5. Pengaruh Sinar UV terhadap Karakterisasi FTIR pada Membran



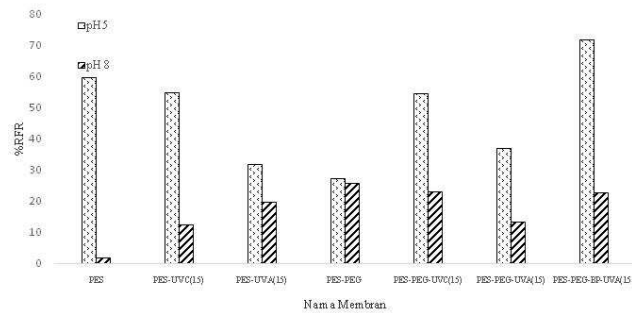
Gambar 6. Pengaruh Penambahan BP terhadap Karakterisasi FTIR pada Membran

Gambar 4.6, 4.7 dan 4.8 menunjukkan bahwa semua membran menunjukkan adanya gelombang khas dari PES, yaitu, ikatan aromatik pada sekitaran 1578 dan 1485cm^{-1} dari cincin benzena dan ikatan C-C dan ikatan-aromatik eter sekitar 1242cm^{-1} . Namun tidak ada perbedaan berupa pergeseran panjang gelombang pada senyawa kimia yang terdapat pada membran yang ditambah PEG (PES-PEG). Hal tersebut dikarenakan adanya tumpang tindih ikatan dari ikatan terkuat dari PEG dengan ikatan-ikatan dari PES. Memang, peningkatan yang signifikan dalam transmisi di $\sim 1105\text{cm}^{-1}$, karena intensitas ikatan C-O dari PEG dan ini menunjukkan adanya aditif dalam polimer pembuatan membran. Dari perbandingan absorbansi pada panjang gelombang 1105cm^{-1} menunjukkan perbedaan 0,78. Ini membuktikan adanya PEG pada membran PES-PEG.

Penyinaran Sinar UV dan Penambahan Benzophenone juga tidak menunjukkan panjang gelombang baru. Hal ini dikarenakan fungsi sinar UV sebagai pembentuk radikal bebas dan fungsi Benzophenone sebagai photoinisiator tidak merubah struktur kimia didalam membran. Ikatan yang tumpang tindih tersebut didukung oleh Belfer et al (2000) dan Susanto dan Ulbricht (2009)

Uji Kinerja Membran Uji Fouling Adsorptif

Pengukuran fluks membran dilakukan menggunakan sel amicon. Tahap awal dilakukan pengujian fluks dengan air murni pada sel amicon, lalu dilakukan pengukuran fluks kembali setelah membran direndam dalam larutan BSA pH 5 dan pH 8 sambil dilakukan pengadukan pada sel Amicon. Membran yang dilakukan uji *fouling adsorptif* ini adalah membran yang disinari UV selama 15 menit dan membran tanpa disinari UV.



Gambar 7. Profil Besar Persen RFR pada Setiap Membran

Pada Gambar 4 menunjukkan bahwa pada saat kondisi pH 5 menghasilkan persen RFR yang lebih tinggi dari pH 8. Larutan BSA mempunyai titik isoelektrik pada pH 4,7. Oleh karena itu larutan BSA pH 5 berada pada kondisi netral, sedangkan larutan BSA pH 8 bermuatan negatif. Semakin bermuatan negatif suatu larutan maka gaya tolak-menolak antara permukaan membran dan larutan akan semakin besar, sehingga menghasilkan *fouling adsorptif* yang lebih rendah daripada kondisi larutan pH 5.

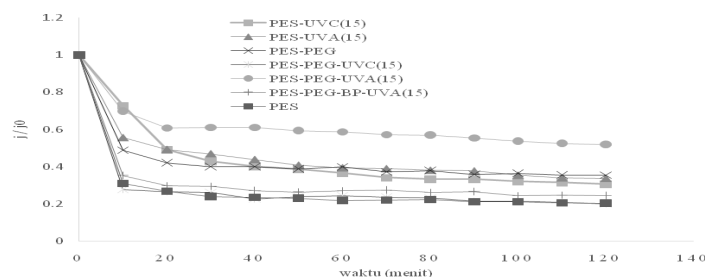
Gambar 4 juga menunjukkan bahwa *fouling adsorptif* pada membran yang ditambah PEG lebih kecil daripada membran tanpa PEG. Tingkat *fouling adsorptif* pada membran dengan ukuran pori yang lebih besar terjadi lebih kuat dibandingkan pada membran dengan ukuran pori yang lebih kecil. Dengan kemungkinan terjadi *fouling* internal dan eksternal juga akan lebih besar untuk pori yang lebih besar (Susanto, 2007). Fenomena tersebut terjadi pada pH 5. Ketika membran berinteraksi pada pH 8 maka gaya tolak menolak akan lebih besar ditambah sifat hidrofilik PEG yang membuat PES menjadi hidrofilik juga akan membuat *fouling adsorptif* membran yang ditambah PEG lebih kecil dibandingkan membran dengan PES saja.

Sinar UV disini berfungsi sebagai pembentuk radikal bebas yang akan berikatan dengan monomer yang lain. Dalam hal ini PES dan PEG akan sama-sama membentuk radikal bebas dan kedua polimer ini akan menjadi bermuatan sehingga akan sama-sama berikatan membentuk ikatan antara PES dan PEG (mekanisme polimerisasi). Dengan adanya ikatan ini, maka PEG tidak hanya bercampur, tetapi juga terjadi ikatan kimia yang menjadikan membran menjadi lebih stabil dan lebih tahan terhadap *fouling*.

Pada membran yang ditambahkan benzophenone mempunyai persen RFR yang tinggi dibandingkan dengan membran yang tanpa benzophenone. Hal ini disebabkan karena fungsi benzophenone disini adalah sebagai zat tambahan yang bersifat hidropobik, oleh karena itu sifat PES yang hidrofobik bertemu dengan benzophenone yang hidropobik juga akan menambah sifat hidropobik pada membran walaupun ada PEG yang bersifat hidrofilik. Maka membran tidak banyak menyerap air sehingga banyak protein yang tertahan pada membran yang menyebabkan *fouling* tinggi dan fluks menjadi menurun.

Uji Ultrafiltrasi

Uji ultrafiltrasi dilakukan dengan menggunakan alat filtrasi aliran arus silang tekanan 1 bar, mengukur volume permeat selama 10 menit sebagai j_0 . Setelah itu aquadest diganti dengan larutan BSA dalam buffer pH 5 (pH yang paling berpengaruh dalam penurunan fluks dibanding pH 8) dan kembali dialirkan ke membran dengan tekanan 1 bar dan permeat ditampung setiap 10 menit selama 2jam.

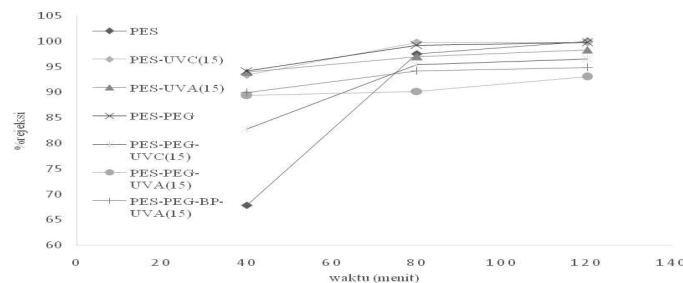


Gambar 8. Profil Besar j/j_0 pada Setiap Membran Selama Waktu Ultrafiltrasi

Pada Gambar 5 menunjukkan bahwa selama 2 jam pada setiap membran mengalami penurunan fluks dari waktu ke waktu. Hal ini dikarenakan pada saat awal proses filtrasi belum ada kumpulan partikel di permukaan membran. Setelah semakin lama semakin banyak partikel yang tertahan di permukaan membran yang membentuk penumpukan partikel (*cake*). Pengaruh kumpulan partikel pada permukaan membran pada awalnya cukup signifikan. Bertambahnya waktu filtrasi membuat perpindahan material *foulant* pada permukaan membran semakin berkurang sehingga pengaruhnya terhadap penurunan fluks juga berkurang. Adanya kompresi dari lapisan *cake* yang terbentuk memberikan penurunan fluks yang mempunyai selisih sedikit pada interval waktu selanjutnya. Setelah 30 menit operasi, penurunan fluks yang besar menunjukkan ketebalan lapisan *cake* yang terbentuk sudah mulai konstan. Fluks stabil setelah 30 menit filtrasi. Fluks pada membran PES adalah yang terendah. Sedangkan fluks tertinggi terdapat pada membran PES-PEG-UVA(15). Hal ini karena PES mempunyai sifat hidrofobik atau tidak suka terhadap air. Sehingga air yang melewati membran sedikit sehingga fluks rendah. Sedangkan pada membran PES-PEG-UVA(15) sifat PES menjadi hidrofilik atau suka terhadap air ditambah pengaruh UV sebagai pembentuk pori maka membran akan banyak menyerap air dan fluks menjadi tinggi.

Persen Rejeksi

Salah satu yang menunjukkan kinerja suatu membran adalah persen rejeksinya. Oleh karena itu perlu dilakukan uji rejeksi. Permeat yang diuji diambil dari permeat pada uji ultrafiltrasi. Untuk mengetahui rejeksi digunakan spektrofotometer.



Gambar 9. Profil Persen Rejeksi pada Proses Ultrafiltrasi

Gambar 6 menunjukkan bahwa setiap membran memiliki persen rejeksi yang meningkat setiap waktu. Persen rejeksi dihitung dari hasil filtrasi pada menit ke 0, 40, 80, dan 120 dengan menggunakan spektrofotometri. Kemampuan rejeksi yang paling besar terlihat dari awal waktu sampai akhir terdapat pada membran PES. Kemampuan rejeksi membran tergantung pada keadaan membran. PEG sebagai pembentuk pori menyebabkan kemampuan rejeksi membran semakin menurun. Penambahan benzophenone juga mengurangi persen rejeksi, karena fungsi benzophenone sebagai pembentuk radikal bebas yang memperbesar ukuran pori sehingga kemampuan rejeksi menjadi menurun.

4. KESIMPULAN

Membran UF non-*fouling* dapat dihasilkan dengan metode inversi fase, dimana penambahan PEG, lama penyinaran sinar UV, dan penambahan inisiator berpengaruh terhadap pembentukan pori membran. Semakin lama penyinaran sinar UV maka pori membran yang terbentuk akan semakin besar karena adanya proses pemotongan rantai polimer yang banyak terjadi pada suhu rendah, sedangkan proses ikatan silang yang banyak terjadi pada suhu tinggi. Pada uji *fouling adsorptif* besarnya pH berpengaruh terhadap jenis muatan larutan, penambahan PEG dapat meningkatkan sifat hidrofilik membran, penyinaran UV menghasilkan ikatan radikal bebas yang membuat PEG tidak hanya bercampur, tetapi juga terjadi ikatan kimia yang menjadikan membran menjadi lebih stabil dan lebih tahan terhadap *fouling*, penambahan benzophenone menambah sifat hidrofobik membran. Sehingga didapatkan persen RFR paling tinggi adalah membran PES-PEG-BP-UVA(15). Pada uji Ultrafiltrasi semakin lama permukaan membran akan terdapat tumpukan partikel (*cake*) yang akan konstan sehingga membuat fluks turun dan pada menit ke-30 akan cenderung konstan (sedikit kenaikan atau penurunan). Fluks pada membran PES adalah yang terendah. Sedangkan fluks tertinggi terdapat pada membran PES-PEG-UVA(15). Hal ini karena PES mempunyai sifat hidrofobik. Sedangkan pada membran PES-PEG-UVA(15) sifat PES menjadi hidrofilik atau suka terhadap air ditambah pengaruh UV sebagai pembentuk radikal bebas. Kemampuan rejeksi yang paling besar terlihat dari awal waktu sampai akhir terdapat pada membran PES. Kemampuan rejeksi membran tergantung pada keadaan membran. PEG sebagai pembentuk pori menyebabkan kemampuan rejeksi membran semakin menurun. Dari hasil SEM dapat dibuktikan bahwa penambahan PEG dan Sinar UV dapat mempengaruhi besar pori membran dimana pori terbesar terdapat pada membran PES-PEG-UVC(15).



UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai oleh Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Ditjen DIKTI.

DAFTAR NOTASI

J	= nilai fluks ($L \cdot m^{-2} \cdot jam^{-1}$)
t	= waktu (jam)
V	= volume permeat (L)
A	= luas permukaan membran (m^2)
%RFR	= <i>Relative water Flux Reduction</i> (parameter penurunan fluks relative)
Jo	= fluks awal
Ja	= fluks pada menit ke-

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadiannamini, Pejman; Li, Xianfeng; Goyens, Ward; Meesschaert, Boudewijn; Vankelecom, Ivo F.J. 2010." *Multilayered PEC nanofiltration membranes based on SPEEK/PDDA for anion separation*" *Journal of Membrane Science*, 360, 250-258
- Arthanareeswaran, G.; Mohan, D.; dan Raajenthiren, M.2010." *Preparation, characterization and performance studies of ultrafiltration membranes with polymeric additive*". *Journal of Membrane Science*, 350, 130-138
- Baker, Richard W.2004." *Membran Technology and Applications*".California:John Willey and Sons, Ltd
- Belfer, S., Fainchtein, R., Purinson, Y., Kedem, O. 2000. " *Surface Characterization by FTIR-ATR Spectroscopy of Polyethersulfone Membranes-Unmodified, Modified and Protein Fouled*". *J Membr. Sci.* 172: 113–124
- Cui, Aihua; Liu, Zhen; Xiao, Changfa; dan Zhang, Yufeng.2010." *Effect of micro-sized SiO₂-particle on the performance of PVDF blend membranes via TIPS*".*Journal of Membrane Science*, 360, 259-264
- Das, Susanta K.; Berry, K.J.; Jamie, Hedrick; Zand, Ali R.; dan Beholz, Lars G.2010." *Synthesis and performance evaluation of a polymer mesh supported proton exchange membrane for fuel cell applications*".*Journal of Membrane Science*, 350, 417-426
- Ghetti, Francesco; Checcucci, Giovanni; dan Bornman, Janet F. 2001." *Environmental UV Radiation: Impact on Ecosystems and Human Health and Predictive Models*".Pisa: Springer
- June, Philip S.; Kilduff, James E.; dan Belfort, Georges.2011." *Using co-solvents and high throughput to maximize protein resistance for poly(ethylene glycol)-grafted poly(ether sulfone) UF membranes*". *Journal of Membrane Science*, 370, 166-174
- Loh, Chun Heng; Wang, Rong; Shi, Lei; dan Fane, Anthony G.2011. " *Fabrication of high performance polyethersulfone UF hollow fiber membranes using amphiphilic Pluronic block copolymers as pore-forming additives*". *Journal of Membrane Science*, 380, 114-123
- Madaeni, Sayed Siavash; Amirinejad, Sedigheh; dan Amirinejad, Mehdi. 2011. " *Phosphotungstic acid doped poly(vinyl alcohol)/poly(ether sulfone) blend composite membranes for direct methanol fuel cells*".*Journal of Membrane Science*, 380, 132-137
- Mulder, Marcel.1996. " *Basic Principles of Membrane Technology*". London: Kluwer Academic Publisher
- Noble, R.D dan Stern, S.A.1995." *Membrane Separation Technology Principles and Application*".Amsterdam : Elsevier
- Nunes, S,P dan Peinemann, K.V.2001." *Membrane Technology in The Chemical Industry*".New York : Willey VCH
- Peeva, Polina Debromirova; Million, Nina; dan Ulbricht, Mathias. 2011. " *Factor Affecting the Sieving behavior of anti-fouling thin layer cross-linked Hydrogel Polyether Sulfone Composite Ultrafiltration Membranes*". *Journal of Membrane Science*, 390-391, 99-112
- Rahimpour, Ahmad; dan Madaeni, Sayed Siavash.2010." *Improvement of performance and surface properties of nano-porous polyethersulfone (PES) membrane using hydrophilic monomers as additives in the casting solution*". *Journal of Membrane Science*, 360, 371-379
- Sen, Suman Kumar dan Banerjee, Susanta.2010." *Gas transport properties of fluorinated poly(ether imide) films containing phthalimidine moiety in the main chain*".*Jornal of Membrane Science*, 350, 53-61
- Susanto, Heru. 2011. " *Teknologi Membran*". Semarang: UPT UNDIP press.
- Susanto, Heru; Balakrishnan, Malini; dan Ulbricht, Mathias.2007." *Via surface functionalization by photograft copolymerization to low-fouling polyethersulfone-based ultrafiltration membranes*".*Journal of Membrane Science*, 288, 157-167
- Susanto, Heru, S. Franzaka, M. Ulbricht. 2007, " *Dextran Fouling of Ultrafiltration causes, Extent and Consequences*", *Journal Membrane Science*



- Susanto, Heru., Ulbricht, M. 2009. “*Characteristics, Performance and Stability of Polyethersulfone Ultrafiltration Membranes Prepared by Phase Separation Method Using Different Macromolecular Additives*”. *J. Membr. Sci.* 327 :125-134.
- Yi, Shouliang; Su, Yi, dan Wan Yinhua.2010.” *Preparation and characterization of vinyltriethoxysilane (VTES) modified silicalite-1/PDMS hybrid pervaporation membrane and its application in ethanol separation from dilute aqueous solution*”. *Journal of Membrane Science*, 360. 341-351