

Karakterisasi dan Analisa Kinerja Membran Selulosa Asetat untuk penyisihan Ion Logam Cr³⁺ dan Cd²⁺ dalam air dengan Proses Ultrafiltrasi

Characterization and Performance Analysis of Cellulose Acetate Membranes for Metal Ions Removal of Cr³⁺ dan Cd²⁺ in Water by Ultrafiltration Process

Safiah¹ dan Sri Mulyati^{2*}

¹ Mahasiswa Magister Teknik Kimia, Program Pascasarjana, Universitas Syiah Kuala

²Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala Keterangan.

*E-mail: sri.mulyati@unsyiah.ac.id

Terima draft: 21 Mei 2018; Terima draft revisi: 8 Juli 2018; Disetujui: 18 Agustus 2018

Abstrak

Membran selulosa asetat telah dibuat dengan metode inversi fasa dengan penambahan aditif Poletilen Glikol (PEG) ke dalam larutan cetak membran. Pengaruh penambahan aditif PEG dengan variasi berat molekul (2 kDa, 6 kDa dan 20 kDa) dipelajari terhadap karakteristik dan kinerja membran. Penambahan aditif PEG meningkatkan fluks air murni, hidrofilitas, dan kekasaran membran. Kecenderungan yang sama juga diperoleh terhadap peningkatan berat molekul PEG yang ditambahkan ke dalam larutan cetak membran. Nilai fluks air murni meningkat dari 45 L/m².jam (membran CA murni) ke 59,8 L/m².jam (CA PEG_{20kDa}). Hidrofilitas membran meningkat dengan menurunnya nilai *water contact angle* dari 63,75° untuk membran CA murni ke 55,58° untuk membran CA_{PEG 20kDa}. Kekasaran membran meningkat dari 6,27 ± 0,34 nm ke 9,8 ± 0,40 nm. Penambahan aditif PEG ke dalam larutan cetak membran menyebabkan rejeksi terhadap ion logam Cr³⁺ dan Cd²⁺ menurun. Hal ini disebabkan aditif PEG merupakan agen pembentuk pori yang menyebabkan zat terlarut (ion logam Cr³⁺ dan Cd²⁺) lebih mudah melewati membran.

Kata kunci: selulosa asetat, Poletilen Glikol, fluks, rejeksi, Ion logam Cr³⁺, Ion logam Cd²⁺

Abstract

Cellulose acetate membrane was prepared by phase inversion technique with the addition of Polyethylene Glycol (PEG) as additive into casting solution. The effect of addition of PEG with variation molecular weight (2 kDa, 6 kDa and 20 kDa) was studied on membrane characteristics and performance. The addition of PEG enhanced the pure water flux, hydrophilicity, and membrane roughness. The experimental result also showed a linear trend of the increasing PEG molecular weight to the casting solution. The pure water flux of original CA membrane was increased from 45 to 59.8 L/m².hr after the addition of PEG 20 kDa. Furthermore, water contact angle (WCA) analysis showed the improvement of CA membrane hydrophilicity indicating by decreasing value of WCA from 63.75 to 55.58° for CA/PEG 20 kDa membrane. The roughness of the membrane also increased from 6.27 ± 0.34 nm to 9.8 ± 0.40 nm. However, filtration performance of Cr³⁺ and Cd²⁺ ions showed declining rejection by the presence of PEG. It might be due to the increasing of membrane porosity after addition of PEG as a pore-forming agents and allowed more particles pass through the membrane.

Keywords: cellulose acetate, Polyethylene Glycol, fluxes, rejection, ion of Cr³⁺, ion of Cd²⁺

1. Pendahuluan

Air merupakan sumber daya yang sangat penting bagi pengembangan kehidupan manusia. Namun, hampir satu milyar penduduk di dunia tidak memiliki akses air yang siap untuk diminum (Ho, 2003). *World Water Council* memperkirakan bahwa pada tahun 2030 hampir empat milyar penduduk dunia akan kekurangan air bersih. Berkurangnya akses air yang mudah dan

aman di berbagai wilayah dunia dipengaruhi oleh berbagai faktor diantaranya adalah perubahan iklim di dunia dan akibat dari polusi (Van Rooijen, dkk., 2010). Selain itu lebih 80 % air yang telah digunakan tidak dikumpulkan dan tidak diolah kembali.

Sumber utama polusi air berasal dari limbah domestik, limbah industri dan limpasan kegiatan pertanian. Jenis pencemar yang sangat berbahaya dalam sistem lingkungan

hidup yaitu logam berat karena bersifat toksik, *non-biodegradable*, dapat terakumulasi dan jumlahnya meningkat dalam rantai makanan melalui pembuangan air limbah. Oleh sebab itu sangat penting untuk mengontrol kontaminasi logam berat yang masuk ke lingkungan (Kim dan Lee 2003, Sudha dkk., 2014). Kromium dan kadmium termasuk dalam enam belas polutan yang berbahaya dan beracun yang bersifat karsinogen yang dapat menyebabkan penyakit yang serius bagi manusia (Shankar, 2009).

Beberapa metode telah digunakan untuk menghilangkan logam kromium dan kadmium dalam air diantaranya dengan proses adsorpsi (Zhou, dkk., 2016), presipitasi flotasi (Abyaneh, dkk., 2016), elektrokoagulasi dan elektroflokulasi (Aoudj, dkk., 2015), dan *freeze desalination* (Melak, dkk., 2016). Dalam banyak aplikasi, proses membran bersaing dengan proses pemisahan konvensional. Proses membran memiliki beberapa keuntungan diantaranya tidak menggunakan bahan kimia, konsumsi energi yang relatif rendah, prosesnya sederhana, mudah diintegrasikan dengan proses lain, serta mudah dalam pengoperasian. Penggunaan membran sebagai proses pemisahan logam berat meningkat secara cepat dalam beberapa dekade terakhir (Maher, dkk., 2014). Meskipun membran anorganik banyak digunakan untuk proses pemisahan sekarang ini, namun kebanyakan dari produsen membran masih membuat membran dari bahan berbasis polimer (Miao, dkk., 2013).

Sejak Loeb and Sourirajan memperkenalkan metode inversi fasa, sejumlah besar peneliti telah mempelajari tentang mekanisme pembentukan membran. Proses inversi fasa secara presipitasi imersi dikenal sebagai teknik untuk membuat membran asimetrik, khususnya membran untuk proses ultrafiltrasi (Mulder, 2012). Beberapa parameter telah diselidiki menyangkut mekanisme pembentukan membran terhadap morfologi dan kinerja membran untuk proses pemisahan membran diantaranya adalah pengaruh konsentrasi polimer di dalam larutan *casting*, tipe dari pasangan pelarut, dan non pelarut ketebalan membran, dan penambahan aditif.

Penambahan aditif sebagai komponen ketiga ke dalam larutan cetak membran merupakan salah satu teknik yang penting di dalam pembuatan membran. Dalam hal ini aditif berperan sebagai agen pembentuk pori yang

meningkatkan proses permeasi. Pada prinsipnya senyawa aditif dapat berupa senyawa organik atau anorganik. Sifat volatilitas yang lebih rendah dibandingkan dengan pelarut serta kemampuan aditif tersebut larut dalam media gel merupakan syarat untuk suatu senyawa dijadikan sebagai aditif. Penambahan aditif seperti Polietilen Glikol (PEG) telah dilakukan untuk meningkatkan sifat hidrofilisitas dari membran dan meningkatkan difusivitas zat terlarut melalui membran (Liu, dkk., 2013). Disamping itu penambahan aditif PEG juga dapat meningkatkan karakteristik membran yaitu ukuran pori, fluks dan rejeksi terhadap protein (Arthanareeswaran, dkk., 2004). Sintesis membran dengan variasi berat molekul PEG 200 Da, PEG 400 Da dan PEG 600 Da telah dilakukan untuk meningkatkan kinerja membran polietersulfon (Idris, dkk., 2007). Untuk membran selulosa asetat penambahan aditif PEG dilakukan masih pada satu macam berat molekul yaitu PEG dengan berat molekul 6 kDa (Saljoughi dan Mohammadi 2009).

Dalam penelitian ini akan dilakukan pembuatan membran Selulosa Asetat dengan penambahan aditif PEG dengan beberapa variasi berat molekul yaitu PEG_{2kDa}, PEG_{6kDa} dan PEG_{20kDa}. Pengaruh variabel proses tersebut akan ditinjau terhadap karakteristik dan kinerja membran terhadap penyisihan Ion logam Cr³⁺ dan Cd²⁺.

2. Metodologi

2.1. Bahan dan Alat

Selulosa asetat (CA) dengan berat molekul 30.000 g/mol diperoleh dari *Wako Chemical Japan* digunakan sebagai polimer utama dalam larutan cetak membran. N,N-dimetilformamida (DMF) disuplai dari *Merck* digunakan sebagai pelarut. Air distilat digunakan sebagai non pelarut. Polietilen Glikol (PEG) yang diperoleh dari *Merck* dengan berat molekul 2kDa, 6kDa dan 20kDa digunakan sebagai aditif. *Chromium nitrate*, Cr(NO₃)₃.9H₂O dan *Cadmium sulfate hydrate*, 3CdSO₄.8H₂O digunakan sebagai sampel artifisial untuk pengujian kinerja membran. Alat yang digunakan adalah seperangkat peralatan ultrafiltrasi, timbangan analitik, pelat kaca, peralatan gelas (pipet ukur, gelas ukur, Erlenmeyer), *magnetic stirrer*, motor pengaduk, *casting knife*, bak koagulasi, gas bertekanan, dan *stop watch*.

2.2. Pembuatan Membran

Membran CA dibuat dengan teknik inversi fasa. Aditif PEG dengan variasi berat molekul 2 kDa, 6 kDa dan 20kDa ditambahkan ke dalam larutan homogen CA yang dilarutkan dengan DMF, selanjutnya diaduk sampai bercampur sempurna. Larutan homogen tersebut dicetak menjadi film di atas pelat kaca menggunakan *casting knife* dengan ketebalan 300 μm . Selanjutnya membran tersebut dimasukkan ke bak koagulasi yang berisi non pelarut (air distilat) untuk proses presipitasi imersi. Proses ini dilakukan sampai membran terlepas dari pelat kaca. Selanjutnya dilakukan proses annealing. Komposisi larutan cetak membrane yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi larutan cetak membran CA/PEG

Membran	CA (%w)	PEG (%w)	DMF (%w)
CA murni	17,5	0	82,5
CAPEG 2kDa	17,5	7,5	75
CAPEG 6kDa	17,5	7,5	75
CAPEG 20kDa	17,5	7,5	75

2.3. Karakterisasi Membran

Karakterisasi terhadap membran yang dilakukan adalah pengujian fluks air murni, hidrofilitas, uji morfologi membran, dan uji gugus fungsi permukaan membran.

Fluks air murni dilakukan dengan cara melewatkan air distilat melewati membran yang ditempatkan di dalam modul ultrafiltrasi. Secara detail pengujian ini telah dijelaskan pada paper sebelumnya (Arahman, 2017).

Hidrofilitas membran diuji dengan mengukur water contact angle dari permukaan membran. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan *water contact angle meter*. Sebanyak 0,5 mL air distilat diteteskan ke atas permukaan membran menggunakan *microsyringe*. Setiap membran dilakukan pengukuran secara acak lebih kurang 10 kali kemudian nilai rata-rata dari pengukuran tersebut dihitung sebagai nilai *water contact angle* dari permukaan membran.

Morfologi permukaan membran diukur menggunakan *Atomic Force Microscopy* (AFM, SII NanoTechnology Inc., SPA400). Permukaan luar membran dicitrakan dalam area pemindaian 1 m x 1 m. Setelah sepuluh

kali, kekasaran rata-rata (Ra) diperoleh menggunakan *software Spicel 32*.

Untuk mengamati perubahan struktur kimia pada membran CA dengan dan tanpa penambahan aditif PEG pengukuran *The Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared* (ATR-FTIR) dilakukan dengan menggunakan FTIR-8100A *Fourier Transform Infrared Spectrophotometer* (Shimadzu Co., Japan). Sampel membran dikeringkan pada temperatur ruangan dengan menggunakan desikator selama dua jam. Selanjutnya sampel ditempatkan di atas sample *holder*. Data absorbansi diukur pada interval bilangan gelombang 400 - 4000 cm^{-1} .

2.4. Kinerja Membran

Evaluasi kinerja membran dilakukan dengan mengukur rejeksi dari Ion logam Cr^{3+} dan Cd^{2+} yang terkandung dalam air. *Chromium nitrate*, $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ dan *Cadmium sulfate hydrate*, $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ digunakan sebagai sampel senyawa artifisial dari ion logam Cr^{3+} dan Cd^{2+} . Larutan yang mengandung ion logam Cr^{3+} dan Cd^{2+} dibuat dengan cara melarutkan senyawa $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ atau senyawa $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ke dalam air distilat. Larutan yang mengandung ion logam Cr^{3+} dan Cd^{2+} dengan konsentrasi 20 ppm dilewatkan melalui membran dengan tekanan 1,75 bar. Filtrasi dilakukan selama dua jam. Konsentrasi ion logam Cr^{3+} dan Cd^{2+} dianalisis dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS). Persentasi rejeksi dihitung menggunakan Persamaan 1.

$$\text{Rejeksi (\%)} = \left(\frac{C_F - C_P}{C_F} \right) \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

C_F : konsentrasi ion logam yang terdapat di dalam sampel umpan (ppm)

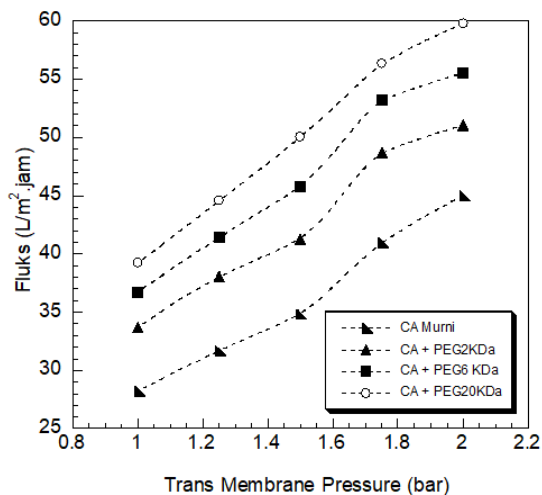
C_P : konsentrasi ion logam yang terdapat di dalam sampel permeat (ppm)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengaruh Berat Molekul Aditif PEG terhadap Fluks Air Murni

Permeabilitas air murni merupakan salah satu karakteristik yang penting untuk membran ketika diterapkan pada aplikasi proses yang sebenarnya. Permeabilitas air murni mencerminkan ukuran pori, distribusi ukuran pori dan morfologi membran (Ma, dkk., 2011, Mulyati (a), dkk., 2018). Pengaruh berat molekul PEG terhadap fluks

air murni ditunjukkan pada Gambar 1. Fluks air murni meningkat seiring meningkatnya berat molekul PEG yang ditambahkan ke dalam larutan cetak membran. Fluks air murni dari membran tanpa penambahan aditif (CA_{murni}) hanya mencapai $45 \text{ L/m}^2 \cdot \text{jam}$. Fluks air murni maksimum diperoleh sebesar $59,8 \text{ L/m}^2 \cdot \text{jam}$ pada membran CA yang dimodifikasi dengan PEG_{20kDa}. Hal ini dikarenakan PEG merupakan aditif yang bersifat hidrofilik. Adanya aditif PEG ini menyebabkan afinitas antara larutan cetak membran dengan non pelarut (air distilat) di bak koagulasi meningkat sehingga mempercepat laju difusi air ke dalam permukaan membran. Hal ini memfasilitasi proses inversi fasa. Selain itu kehadiran PEG dalam larutan cetak membran mendorong pembentukan jaringan polimer berpori dan agregat misel, sehingga membran yang terbentuk memiliki porositas yang tinggi dan ukuran pori yang besar (Mohammadi dan Saljoughi, 2009, Bai, dkk., 2012). Data fluks air murni digunakan untuk mengukur koefisien permeabilitas membran (L_p). Nilai L_p ini dapat menentukan porositas dan mengidentifikasi stabilitas membran. Semakin tinggi nilai L_p menunjukkan bahwa membran memiliki porositas tinggi (Hamzah, 2014).



Gambar 1. Pengaruh berat molekul PEG terhadap fluks air murni

Nilai koefisien permeabilitas (L_p) diperoleh dari nilai kemiringan (*slope*) fluks air murni terhadap *Trans Membrane Pressure* (TMP). Menurut Mulder, nilai koefisien permeabilitas dapat digunakan untuk menentukan katagori membran yang dihasilkan. Untuk katagori membran ultrafiltrasi nilai L_p ini pada range $10 - 50 \text{ L/m}^2 \cdot \text{jam} \cdot \text{bar}$ (Mulder, 2012). Nilai koefisien permeabilitas (L_p) dari membran ditunjukkan pada Tabel 2. Dari hasil yang

diperoleh, semua membran baik membran CA_{murni} ataupun membran dengan penambahan PEG termasuk dalam katagori ultrafiltrasi.

Tabel 2. Koefisien Permeabilitas Air murni (L_p)

Membran	$L_p(\text{L/m}^2 \cdot \text{jam} \cdot \text{bar})$	Tipe membran
CA_{murni}	17,104	Ultrafiltrasi
$CA_{\text{PEG 2kDa}}$	18,16	Ultrafiltrasi
$CA_{\text{PEG 6kDa}}$	19,732	Ultrafiltrasi
$CA_{\text{PEG 20kDa}}$	21,124	Ultrafiltrasi

3.3. Pengaruh Berat Molekul Aditif PEG terhadap Hidrofilisitas Membran

Hidrofilisitas merupakan salah satu parameter penting dalam proses permeasi dengan membran dan mempunyai korelasi yang sangat dekat dengan fluks air murni. *Water contact angle* sering digunakan untuk menggambarkan hidrofilisitas dari permukaan membran. Secara umum apabila membran memiliki hidrofilisitas yang tinggi maka nilai *water contact angle*nya rendah.

Water contact angle dari semua membran dengan berat molekul aditif PEG yang berbeda disajikan pada Tabel 3. Seperti terlihat pada tabel tersebut penambahan aditif PEG ke dalam larutan cetak membran menghasilkan penurunan nilai *water contact angle*. Hal ini membuktikan bahwa penambahan aditif ini membuat permukaan membran menjadi lebih hidrofilik. Selain itu dari hasil yang diperoleh terlihat bahwa peningkatan berat molekul PEG juga meningkatkan hidrofilisitas membran. Hal ini dikarenakan penambahan berat molekul menyebabkan molekul PEG terperangkap di dalam matrik membran karena mobilitas PEG menjadi lambat ketika dipresipitasi ke dalam bak koagulasi (Ma, dkk., 2011).

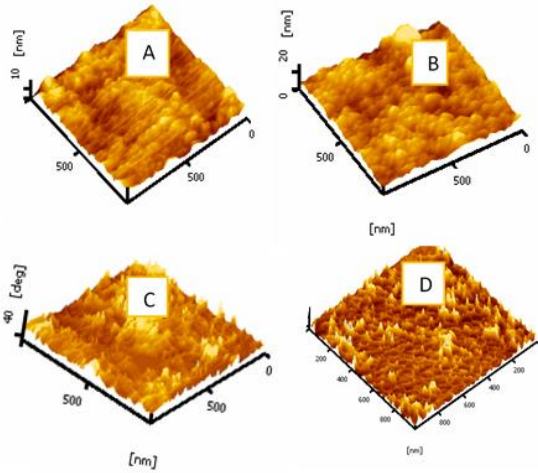
Tabel 3. *Water contact angle* membran

Membran	Water Contact Angle ($^{\circ}$)
CA_{murni}	63,75
$CA_{\text{PEG 2kDa}}$	59,93
$CA_{\text{PEG 6kDa}}$	57,00
$CA_{\text{PEG 20kDa}}$	55,58

3.2. Pengaruh Berat Molekul Aditif PEG terhadap Morfologi Membran

Atomic force microscopy (AFM) merupakan teknik karakterisasi mikroskopi yang digunakan untuk mengobservasi dan

mengkarakterisasi berbagai permukaan material. Teknik ini juga telah digunakan untuk mengkarakterisasi berbagai membran dengan perbedaan *Molecular Weight Cut Off* (MWCO) dan material membran (Idris, dkk., 2007). Gambar 2 memperlihatkan analisis AFM dari membran CA dengan dan tanpa aditif PEG. Seperti terlihat pada Gambar 2 tersebut bahwa permukaan membran berubah dengan penambahan aditif PEG ke dalam larutan cetak membran.



Gambar 2. Morfologi membran selulosa asetat dengan dan tanpa penambahan aditif PEG, A. Membran CA_{murni}, B. Membran CA+PEG_{2kDa}, C. Membran CA+PEG_{6kDa}, dan D. Membran CA+PEG_{20kDa}

Kekasaran rata-rata dari membran CA tanpa penambahan aditif adalah $6.27 \pm 0,34$. Kekasaran semakin meningkat dengan penambahan aditif PEG. Peningkatan berat molekul PEG meningkatkan kekasaran dari permukaan membran. Kekasaran permukaan membran yang ditambahkan aditif PEG 2kDa, 6 kDa dan 20 kDa adalah berturut-turut $8,4 \pm 0,70$, $9,54 \pm 0,40$ dan 9.8 ± 0.40 nm.

Tabel 4. Kekasaran permukaan membran dengan dan tanpa aditif PEG

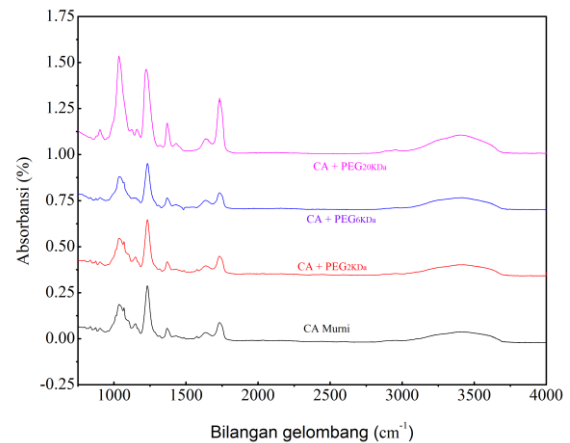
Membran	Kekasaran Rata-rata (nm)
CA murni	$6,27 \pm 0,34$
CA _{PEG 2kDa}	$8,4 \pm 0,70$
CA _{PEG 6kDa}	$9,54 \pm 0,40$
CA _{PEG 20kDa}	$9,8 \pm 0,40$

Kekasaran permukaan membran berpengaruh terhadap nilai *wettability* membran. Kenaikan kekasaran membran meningkatkan nilai *wettability* permukaan

membran. Hal ini dikarenakan sifat kimia dari sifat kimia dari permukaan membran itu sendiri. Apabila permukaan membran bersifat hidrofobik maka sifat ini akan meningkat dengan peningkatan kekasaran permukaan membran begitu juga sebaliknya (Wenzel dkk., 1936)

3.4. Analisis Gugus Fungsi Membran

Spektroskopi adalah metode yang digunakan untuk mengidentifikasi kandungan dasar polimer. *Attenuated total reflectance infrared spectroscopy* (ATR-FTIR) adalah metode yang paling umum digunakan untuk menganalisis kelompok fungsional dari polimer (Syawaliah, dkk., 2018). Gambar 3 menggambarkan spektrum FTIR dari membran CA dengan dan tanpa kehadiran PEG. Tidak terdapat perubahan yang signifikan terhadap spektrum dari membran CA_{murni} dengan membran CA yang dimodifikasi dengan PEG. Untuk semua sampel membran mengandung gugus hidroksil (O-H). Kelompok ini hadir di bilangan gelombang 3380 cm^{-1} . Pada bilangan gelombang 1750 cm^{-1} terdapat puncak serapan gugus karbonil (C=O). Kelompok alkana (C-H) muncul pada bilangan gelombang 1380 cm^{-1} . Kelompok C-O juga muncul di 1050 dan 1240 cm^{-1} . Dari hasil analisa ini secara fisio kimia belum terlihat interaksi antara polimer membran dengan aditif PEG.



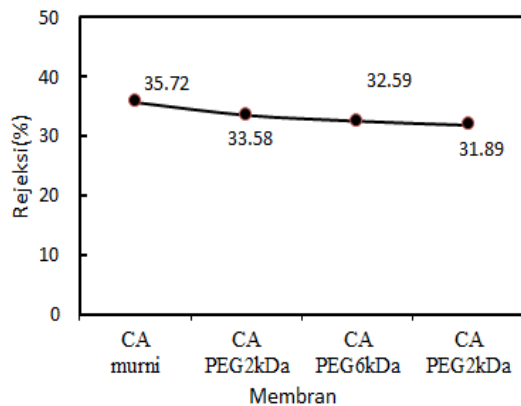
Gambar 3. Spektrum FTIR dari membran selulosa asetat murni dan membrane selulosa asetat yang dimodifikasi dengan PEG

3.5. Analisis Kinerja Membran

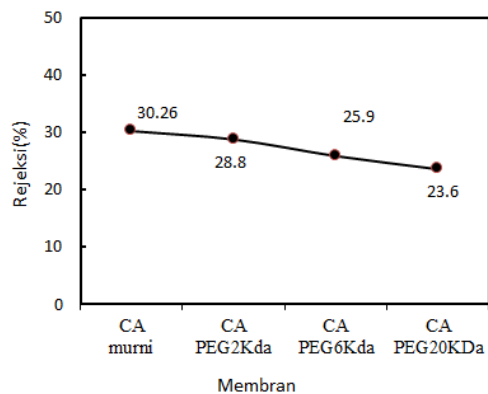
Derajat pemisahan (rejeksi) adalah parameter penting untuk menentukan kinerja membran (Arthanareeswaran and Staro, 2011). Gambar 4 dan 5 memperlihatkan persen rejeksi dari membran CA_{murni} dan

CA yang dimodifikasi dengan aditif PEG terhadap penyisihan Ion logam Cr^{3+} dan Cd^{2+} . Sebanyak 100 mL sampel logam dialirkan melewati membran yang telah disiapkan dengan menggunakan peralatan ultrafiltrasi. Detail peralatan telah dijelaskan pada paper sebelumnya (Mulyati (b), dkk., 2018). Konsentrasi masing-masing umpan Ion logam Cr^{3+} dan Cd^{2+} adalah 20 ppm.

Hasil yang diperoleh menunjukkan persen rejeksi dari membran selulosa murni untuk Ion logam Cr^{3+} dan kadmium adalah 35,72 dan 30,26%. Konsentrasi masing-masing logam setelah dialirkan melalui membrane (konsentrasi di permeat) adalah 12,856 ppm untuk ion logam Cr^{3+} dan 13,948 ppm untuk ion logam Cd^{2+} . Bila dibandingkan dengan CA_{murni} penambahan aditif PEG ke dalam larutan *casting* rejeksi terhadap kedua logam menurun. Rejeksi juga menurun seiring dengan peningkatan berat molekul PEG yang ditambahkan ke dalam larutan *casting*. Hal ini dikarenakan aditif PEG merupakan agen pembentuk pori membran sehingga penambahan senyawa ini ke larutan cetak membran akan menyebabkan zat terlarut (*solute*) lebih mudah melewati membran (Mulyati(c) dkk., 2018).



Gambar 4. Rejeksi ion logam Cr^{3+}



Gambar 5. Rejeksi Ion logam Cd^{2+} .

4. Kesimpulan

Membran selulosa asetat telah dibuat dengan metode inversi fasa dan pengaruh penambahan aditif PEG dengan variasi berat molekul (2 kDa, 6 kDa dan 20 kDa) dipelajari terhadap karakteristik dan kinerja membran. Penambahan aditif PEG meningkatkan fluks air murni, hidrofilitas, dan kekasaran membran. Peningkatan berat molekul aditif PEG juga memberikan kecenderungan yang sama terhadap karakteristik membran yang dihasilkan. Rejeksi terhadap Ion logam Cr^{3+} dan Cd^{2+} menurun dengan penambahan dan peningkatan berat molekul PEG di dalam larutan cetak membran. PEG merupakan agen pembentuk pori yang menyebabkan zat terlarut dalam hal ini Ion logam Cr^{3+} dan Cd^{2+} lebih mudah melewati membran.

Daftar Pustaka

- Abyaneh, A. S., Fazaelpoor, M. H. (2016) Evaluation of rhamnolipid (RL) as a biosurfactant for the removal of chromium from aqueous solutions by precipitate flotation, *Journal of Environmental Management*, 165, 184-187.
- Aoudj, S., Khelifa, A., Drouiche, N., Belkada, R., Miroud, D. (2015) Simultaneous removal of chromium (VI) and fluoride by electrocoagulation-electroflotation: application of a hybrid Fe-Al anode, *Chemical Engineering Journal*, 267, 153-162.
- Arahman, N., Mulyati, S. (2017) Effects of PEG Molecular Weights on PVDF Membrane for Humic Acid-fed Ultrafiltration Process, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing, 180, 012129
- Arthanareeswaran, G., Thanikaivelan, P., Srinivasn, K., Mohan, D., Rajendran, M. (2004) Synthesis, characterization and thermal studies on cellulose acetate membranes with additive, *European Polymer Journal*, 40, 2153-2159.
- Bai, H., Zhou, Y., Wang, X., Zhang, L. (2012) The Permeability and Mechanical Properties of Cellulose Acetate Membranes Blended with Polyethylene glycol 600 for Treatment of Municipal Sewage, *Procedia Environmental Sciences*, 16, 346-351.

- Hamzah, S., Ali, N., Ariffin, M., Ali, A., Mohammad, A. (2014) High performance of polysulfone ultra-filtration membrane: Effect of polymer concentration, *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 9, 2543-2550.
- Ho, G. (2003) Small water and wastewater systems: pathways to sustainable development, *Water Science and Technology*, 48, 7-14.
- Idris, A., Zain, N. M., Noordin, M. Y. (2007) Synthesis, characterization and performance of asymmetric polyethersulfone (PES) ultrafiltration membranes with polyethylene glycol of different molecular weights as additives, *Desalination*, 207, 324-339.
- Liu, Y., Koops, G., Strathmann, H. (2003) Characterization of morphology controlled polyethersulfone hollow fiber membranes by the addition of polyethylene glycol to the dope and bore liquid solution, *Journal of Membrane Science*, 223, 187-199.
- Kim, I. C., Lee, K. H. (2003) Effect of various additives on pore size of polysulfone membrane by phase-inversion process, *Journal of Applied Polymer Science*, 89, 2562-2566.
- Maher, A., Sadeghi, M., Moheb, A. (2014) Heavy metal elimination from drinking water using nanofiltration membrane technology and process optimization using response surface methodology, *Desalination*, 352, 166-173.
- Ma, Y., Shi, F. Ma, J., Wu, M., Zhang, J., Gao, C. (2011) Effect of PEG additive on the morphology and performance of polysulfone ultrafiltration membranes, *Desalination*, 272, 51-58.
- Melak, F., Laing, G. D., Ambelu, A., Alemayehu E. (2016) Application of freeze desalination for chromium (VI) removal from water, *Desalination*, 377, 23-27.
- Miao, J., Zhang, L.C., Lin, H. (2013) A novel kind of thin film composite nanofiltration membrane with sulfated chitosan as the active layer material, *Chemical Engineering Science*, 87, 152-159.
- Mulder, J. (2012) *Basic principles of membrane technology*, Springer Science & Business Media.
- Mohammadi, T. and Saljoughi, E. (2009) Effect of production conditions on morphology and permeability of asymmetric cellulose acetate membranes, *Desalination*, 243, 1-7.
- Mulyati (a), S., Armando, M. A., Mawardi, H., Azmi, F. A., Pratiwi, W. P., Fadzlina, A., Akbar, R., Syawaliah (2018) Enhancement of polyether-sulfone (PES) membrane performance by modification with rice husk nanosilica for removal of organic matter in water, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 334, 012040.
- Mulyati (b), S., Aprilia, S., Safiah, Syawaliah, Armando, M.A., Mawardi, H (2018) The effect of poly ethylene glycol additive on the characteristics and performance of cellulose acetate ultrafiltration membrane for removal of Cr(III) from aqueous solution, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 352, 012051.
- Mulyati (c), S., Aprilia, S., Safiah, Syawaliah, Armando, M. A., Mawardi, H. (2018) The effect of poly ethylene glycol additive on the characteristics and performance of cellulose acetate ultrafiltration membrane for removal of Cr (III) from aqueous solution, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 352 (1), 012051
- Saljoughi, E., Mohammadi, T. (2009) Cellulose acetate (CA)/polyvinylpyrrolidone (PVP) blend asymmetric membranes: Preparation, morphology and performance, *Desalination*, 249, 850-854.
- Shankar, B. (2009) Chromium pollution in the groundwaters of an industrial area in Bangalore, India, *Environmental Engineering Science*, 26, 305-310.
- Sudha, P., Vinodhini, P., Sangeetha, K., Latha, S., Gomathi, T. Venkatesan, J. (2014) Fabrication of cellulose acetate-chitosan-Polyethylene glycol ultrafiltration membrane for chromium removal, *Der Pharm Lett*, 6, 37-46
- Syawaliah, Mulyati, S., Muzaitun, Mulyasari, R. (2018) Characterization of Polydopamine-Coated Polyethersulfone (PES) membrane for water purification, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 352 (1), 012052.

- Rooijen, D. J. V., Biggs, T.W., Smout, I., Drechsel, P. (2010) Urban growth, wastewater production and use in irrigated agriculture: a comparative study of Accra, Addis Ababa and Hyderabad, *Irrigation and Drainage Systems*, 24, 53-64.
- Wenzel, R.N. (1936) Resistance of solid surfaces to wetting by water, *Industrial & Engineering Chemistry*, 28, 988-994.
- Zhou, J., Wang, Y., Wang, J., Qiao W., Long, D., Ling L. (2016) Effective removal of hexavalent chromium from aqueous solutions by adsorption on mesoporous carbon microspheres, *Journal of Colloid and Interface Science*, 462, 200-207.