



Profil Filtrasi Larutan Sodium Alginat pada Modul Tunggal *Cross-flow* Membran *Polyethersulfone*

The Filtration Profile of Sodium Alginate Solution on Single Cross-flow Filtration Module of Polyethersulfone Membrane

Suffriandy Satria¹, Fachrul Razi², Nasrul Arahman^{2*}

¹Program Magister Teknik Kimia, Universitas Syiah Kuala

²Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syech Abdurrauf 7 Darussalam Banda Aceh 23111

*E-mail: nasrular@unsyiah.ac.id

Abstrak

Kajian penurunan dan rekoveri fluks pada proses ultrafiltrasi larutan *natural organic matter* dengan membran *polyethersulfone* telah dilakukan. Larutan *sodium alginate* digunakan sebagai model NOM dalam air, dan profil filtrasinya dipelajari berdasarkan waktu operasi. Proses filtrasi menggunakan modul *cross-flow* dengan konfigurasi aliran filtrasi *pressure driven outside*. Profil permeabilitas larutan Sodium Alginat (SA) pada membran *polyethersulfone* telah diamati dengan berbagai perlakuan, diantaranya efek keberadaan ion logam Ca^{2+} dan Mg^{2+} serta pengaruh pH larutan (kondisi asam, basa dan netral). Membran *polyethersulfone* (PES) dengan tambahan Aerosol OT digunakan untuk mengetahui kinerjanya. *Flux recovery ratio* (FRR) merupakan salah satu indikator untuk mengetahui sifat *fouling* yang terbentuk pada permukaan membran. Secara umum larutan SA dalam kondisi asam memiliki nilai FRR terkecil, sedangkan sampel dalam kondisi basa memiliki nilai FRR terbesar. Perolehan fluks larutan SA dengan penambahan ion Mg^{2+} lebih besar dibandingkan dengan penambahan ion Ca^{2+} . Larutan SA pada kondisi pH basa menghasilkan penurunan nilai fluks lebih kecil dibandingkan pada pH asam dan netral. Rejeksi partikel SA tertinggi diperoleh pada kondisi asam menggunakan membran PES Aerosol OT yaitu sebesar 46,88%.

Kata kunci: membran *hollow-fiber*, ultrafiltrasi, natrium alginat, *flux recovery ratio*.

Abstract

The study on flux reduction and recovery in the ultrafiltration of natural organic matter by polyethersulfone membran had been done. Sodium alginate (SA) solution was used as a model of NOM in water, and its filtration performance was investigated based on operation time. Cross-flow filtration module with pressure driven outside configuration was used in this work. The permeability profile of SA solution on polyethersulfone membran had been observed with several treatments condition, such as effects of the presence of metal ions Ca^{2+} and Mg^{2+} and the effect of pH of solution (acidic, basic and neutral). Polyethersulfone (PES) Membran with Aerosol OT as additive was used to determine its performance. Flux recovery ratio (FRR) was one of indicator to determine the fouling property which was formed in membran surface. Generally, the SA solution in acidic conditions had the lowest FRR value, while the solution in alkaline conditions had the greatest FRR value. The achievement of SA solution flux with the addition of Mg^{2+} ion was greater than the addition of Ca^{2+} ion. On the other hand, the SA solution at alkaline pH conditions resulted in a lower flux decreased than those at acid and neutral pH condition. The SA solution at alkaline pH conditions filtrated in this work brought about in decreased flux, and the value was lower than the acid and neutral pH. The highest solute rejection was obtained up to 46,88% in case of the solution under acidic condition using PES Aerosol OT membrane.

Keywords: hollow-fiber membrans, ultrafiltration, sodium alginate, flux recovery ratio.

1. Pendahuluan

Pada proses pemisahan dengan teknologi membran, *fouling* merupakan salah satu masalah yang sering terjadi. *Fouling* yang terjadi berdampak langsung terhadap usia pakai membran, dimana akan berpengaruh terhadap peningkatan biaya operasional. Berdasarkan jenisnya ada beberapa zat yang

dapat menyebabkan *fouling* pada membran yaitu zat anorganik seperti tanah liat, silika dan garam; makhluk hidup berupa mikroorganisme (Hashino dkk., 2011); serta zat organik baik yang alami maupun sintesis (Motsa dkk., 2014).

Natural Organic Matter (NOM) merupakan zat organik yang banyak terdapat di alam. Zat ini

biasanya terdiri dari protein, lemak, unsur hara (asam humik) dan lain-lain. NOM merupakan salah satu penyebab yang paling utama terbentuknya *fouling* pada membran (Chang dkk., 2015). Hashino dkk. (2011) telah melakukan kajian tentang efek NOM terhadap terbentuknya *fouling* pada membran *hollow fiber* jenis CAB (*cellulose acetate butyrate*).

Natrium alginat merupakan salah satu zat organik alam (NOM) yang banyak terdapat pada limbah industri dan air laut, dimana SA merupakan salah satu foulant yang merupakan golongan polisakarida (Hashino dkk., 2011). Dalam hal filtrasi dengan menggunakan membran, zat ini dapat menimbulkan *fouling* dengan efek yang bervariasi tergantung pada kondisi operasi (Charfi dkk., 2015).

Berdasarkan sifat kepolaran zat, *fouling* dibagi menjadi dua jenis yaitu *reversible fouling* dan *irreversible fouling* (Charfi dkk., 2015). *Backwash* atau proses pencucian merupakan suatu langkah pembersihan membran sehingga efektifitas kerja membran bisa lebih baik. *Reversible fouling* biasanya terjadi akibat adanya polarisasi konsentrasi pada permukaan membran dan dapat dihilangkan dengan proses *backwashing* dengan air bersih (murni) dan penyemprotan udara. Sedangkan *irreversible fouling* terjadi akibat adanya difusi partikel pada pori-pori membran dimana untuk memulihkannya tidak cukup hanya dengan menggunakan air biasa atau udara melainkan perlu penambahan bahan kimia (proses kimia) seperti penambahan larutan asam, larutan basa atau larutan oksidator. *Fouling* pada membran disebabkan karena adanya akumulasi partikel di permukaan membran atau ada yang terperangkap diporinya (Vargas dkk., 2008).

NOM biasanya tidak terdapat tunggal di alam melainkan berikatan dan membentuk senyawa lain. Salah satunya adalah keberadaan ion logam seperti kalsium, aluminium, mangan, natrium dan besi. Hal ini diakibatkan karena zat tersebut dapat membentuk suatu senyawa kompleks yang dapat merubah sifat-sifat senyawa tunggalnya. Hao dkk. (2011) mempelajari fenomena penyebab *fouling* dengan mengkombinasikan asam humik dengan beberapa ion logam (Ca^{2+} , Fe^{3+} , Mg^{2+} dan Na^+) untuk mengetahui dampaknya terhadap permeabilitas, rejeksi serta penurunan fluks pada membran *hollow fiber* jenis *polyethersulfon* (PES). Penurunan relatif permeabilitas J/J_0 lebih cepat terjadi pada penambahan ion logam jika dibandingkan dengan larutan asam humik murni. Penambahan ion logam juga secara umum meningkatkan nilai

rejeksi, terutama pada penambahan ion Ca^{2+} dan Fe^{3+} . Pemilihan bahan baku membran berpengaruh terhadap sifat dan karakteristik membran yang dihasilkan. Sifat kepolaran bahan mempengaruhi sifat hidrofilisitas membran, di mana sifat ini berpengaruh terhadap kemampuan filtrasi zat tertentu (Garcia-Ivars dkk., 2015), lamanya umur membran, serta nilai fluks dan rejeksi yang dihasilkan (Xu dkk., 2015).

Pada kajian ini dipelajari lebih dalam tentang fenomena *fouling* pada proses filtrasi, bentuk *fouling*, kondisi yang mempengaruhi dan sifat *fouling* yang terbentuk (*reversible* atau *irreversible*). Untuk itu pada penelitian ini digunakan membran dengan bahan polimer *Polyethersulfone* dengan penambahan aditif, kemudian mengamati efek filtrasi dengan menggunakan SA serta mengkaji pengaruh efek ion logam serta pH (asam, basa dan netral) terhadap sampel, sehingga diketahui seberapa besar pengaruhnya pada proses terjadinya *fouling* membran dengan mengamati rejeksi, penurunan fluks, dan nilai FRR.

2. Metodologi Penelitian

2.1 Alat dan Bahan

Natrium alginat (SA) diperoleh dari Wako Pure Chemical Industries, Ltd. (Osaka, Japan), kalsium klorida ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), natrium hidroksida (NaOH) dan Magnesium sulfat ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) diperoleh dari E. Merck KGaA, 64271 Darmstadt, Germany. Asam sulfat (H_2SO_4) dari Mallincrodt baker, Inc. Paris Kentucky 40361. Sedangkan aquades diambil dari Badan Penelitian dan Pengembangan Industri BARISTAND Kementerian Perindustrian Republik Indonesia Kota Banda Aceh.

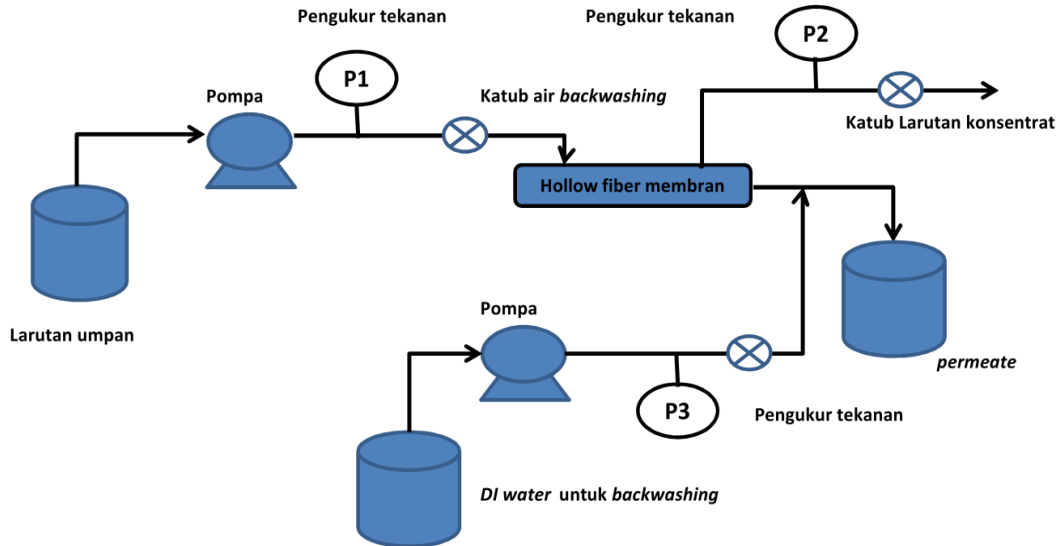
Membran yang digunakan dalam penelitian ini berbentuk *hollow-fiber* yang tersusun dari polimer *polyethersulfone* (PES), aditif Aerosol OT dan pelarut N-Methyl-2-pyrrolidone (NMP). Spesifikasi membran dapat dilihat pada Tabel 1. Peralatan utama yang digunakan adalah berupa rangkaian paket ultrafiltrasi yang terdiri dari modul filtrasi cross-flow, pompa peristaltik, dan pengukur tekanan (pressure gauge). Peralatan analisa berupa timbangan digital, pH meter, scanning electron microscopy (SEM), dan spectrophotometer UV-Vis.

2.2 Pembuatan Larutan Sampel

Natrium alginat (SA) digunakan sebagai sampel sumber *foulant* dalam air. Padatan SA dilarutkan sebanyak 50 mg dalam 1 liter aquadest untuk mendapatkan SA dengan konsentrasi 50ppm.

Tabel 1. Spesifikasi membran.

Komposisi Membran (% Berat)			Dimensi Membran (mm)			Water Contact Angle (°)
Polimer	Pelarut	Aditif	Panjang Membran	Diameter Luar	Diameter Dalam	
Polyethersulfone (PES), 18%	n-methyl- 2- pyrrolidone (NMP), 77%	Aerosol OT, 5%	140,00	3,00	1,00	52,70

**Gambar 1.** Diagram alir proses filtrasi

Konsentrasi ion Ca^{2+} dari CaCl_2 dan ion Mg^{2+} dari Mg_2SO_4 masing-masing dibuat 0,125 mM untuk mempelajari efek ion logam pada proses filtrasi SA. Sedangkan larutan NaOH dan H_2SO_4 dibuat dengan konsentrasi 0,1 M untuk ditetaskan pada sampel SA untuk memvariasikan pH (4, 7 dan 10).

2.3 Uji Sifat Morfologi Membran

Struktur morfologi membran dapat ditentukan dengan menggunakan alat *scanning electron microscopy* (SEM-JSM 6360 LA, JEOL, Ltd. Japan). Sampel membran dengan panjang 5 cm dikeringkan secukupnya untuk dipasang pada tube metal. Sampel membran selanjutnya dilapisi dengan serbuk emas. Sampel dimasukkan dalam ruang vakum, kemudian keseluruhan sampel disinari elektron dengan bantuan anoda. Selanjutnya sampel memantulkan elektron baru yang akan ditangkap oleh detector, sehingga hasil pantulan dapat ditampilkan pada monitor.

2.4 Proses Filtrasi

Uji kinerja membran dilakukan dengan menggunakan modul filtrasi *crossflow* dengan aliran out-in (Gambar 1.). Larutan SA

digunakan sebagai umpan yang dilewatkan pada membran *hollow-fiber* dari bagian dinding luar ke arah dalam dengan tekanan 1 bar. Filtrasi sampel dilakukan bertahap setiap satu jam, dilanjutkan *backwashing*, filtrasi air murni dan diulang berkelanjutan sebanyak empat kali. Variasi sampel juga dilakukan dengan penambahan ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} , serta pengaruh pH (asam dan basa).

Permeat fluks (J_p) adalah jumlah volume permeat yang diperoleh persatuan waktu dan satuan luas permukaan membran ($\text{L/m}^2\cdot\text{jam}$), untuk menghitung nilai permeat fluks dapat menggunakan Persamaan (1)

$$J_p = \frac{V}{A \times \Delta t} \quad (1)$$

Dimana V adalah laju alir permeate (liter), A dan Δt masing-masing merupakan luas permukaan membran (m^2) dan waktu filtrasi (jam) (Hao dkk., 2011). Perhitungan *Flux recovery ratio* (FRR) adalah menghitung rasio perbandingan fluks air murni terhadap fluks air murni setelah *backwashing* (Li dkk., 2014), digunakan Persamaan 2.

$$\text{FRR} = \left(\frac{J_{w2}}{J_{w1}} \right) \times 100\% \quad (2)$$

Dimana J_{w1} merupakan fluks air murni ($L/m^2 \cdot jam$), J_{w2} adalah fluks air murni setelah *backwashing*. Perhitungan koefisien permeabilitas (L_p) merupakan volume suatu specimen atau konstituen untuk melewati membran pada tekanan tertentu. Persamaan matematika untuk mengetahui harga koefisien permeabilitas membran terhadap air menggunakan Persamaan 3., Dimana Δp merupakan perubahan tekanan (bar).

$$L_p = \frac{J_{w1}}{\Delta p} \quad (3)$$

Perhitungan koefisien rejeksi (R) yang merupakan gambaran dari selektifitas membran digunakan untuk mengetahui kemampuan membran dalam menahan partikel tertentu yang ingin dipisahkan dalam suatu larutan (Persamaan 4.) C_p adalah konsentrasi permeat (ppm) dan C_0 merupakan konsentrasi umpan (ppm) (Han dkk., 2013)

$$R = \left(1 - \frac{C_p}{C_0}\right) \times 100\% \dots \dots \dots (4)$$

3. Hasil dan Pembahasan

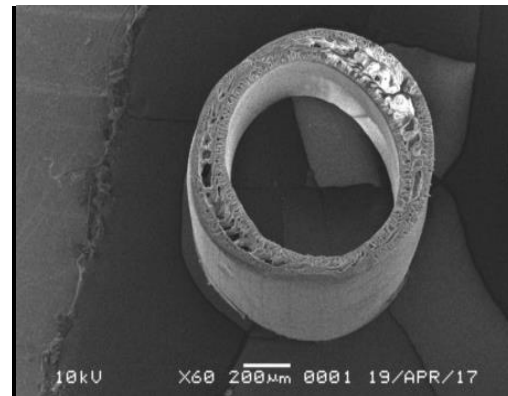
3.1. Morfologi Membran

Hasil uji SEM untuk membran PES Aerosol OT dapat dilihat pada Gambar 2. Dimana terlihat bahwa struktur pori pada potongan penampang melintang, dapat dijelaskan bahwa membran yang dihasilkan berbentuk asimetrik yang terdiri dari dua lapisan. Pada lapisan luar (permukaan membran) terbentuk *dense layer* dan lapisan dalam membentuk pori yang nantinya akan memberikan tahanan pada proses filtrasi yang disebut dengan resistansi membran (R_m) (Naze-midashtarjandi dkk., 2017).

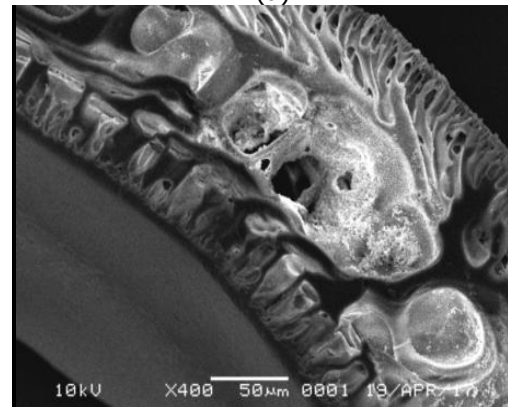
3.2. Fluks Air

Uji filtrasi dilakukan untuk mengetahui besarnya fluks. Fluks air murni dihitung dari besarnya volume air yang melewati luas area membran per satuan waktu. Filtrasi air murni dilakukan menggunakan aquades pada tekanan tetap (1 bar) dan permeat diambil setiap 10 menit dan diukur volumenya. Pada proses filtrasi membran, secara umum fluks air mengalami penurunan sampai kondisi konstan. Penurunan fluks air bukan disebabkan karena adanya zat pengotor (*foulant*), melainkan akibat adanya kompaksi tekanan yang kemungkinan menutup sebagian pori-pori. Dimana hal ini disebabkan karena adanya struktur pori yang tidak seragam sehingga arah aliran mengakibatkan perubahan struktur pori sampai bentuk tertentu dan fluks

dikatakan konstan (Garcia-Ivars dkk., 2015). Untuk pola penurunan fluks air dapat dilihat pada Gambar 3.



(a)



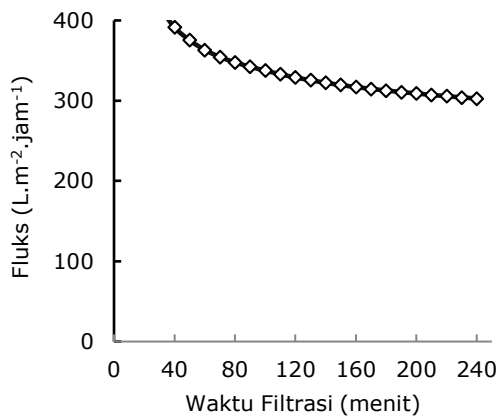
(b)

Gambar 2. Struktur permukaan dan pori penampang melintang membran PES Aerosol OT. (a) pembesaran 60 kali (b) pembesaran 400 kali

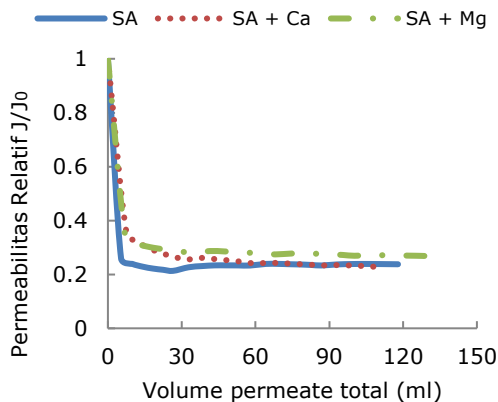
3.3. Pengaruh Ion Logam

Fouling pada membran merupakan permasalahan utama yang timbul pada proses filtrasi, berbagai faktor penyebab fouling terus dipelajari dan dikembangkan. Penurunan fluks filtrasi merupakan salah satu akibat dari terbentuknya fouling pada membran, keberadaan zat organik pada sampel air merupakan salah satu jenis foulant pada proses filtrasi.

Terbentuknya struktur lapisan fouling pada permukaan membran dapat dipengaruhi oleh kondisi kimia seperti derajat keasaman, dan kekuatan ion dan kondisi fisika (permeate fluks, kecepatan aliran, dan tekanan osmosis) (Motsa dkk., 2014). Pada penelitian ini ditinjau beberapa faktor yang mempengaruhi proses filtrasi SA yaitu pengaruh keberadaan ion logam (Ca^{2+} dan Mg^{+}) dan derajat keasaman.



Gambar 3. Penurunan fluks air murni terhadap waktu operasi.



Gambar 4. Hubungan permeabilitas relatif terhadap volume permeat, pengaruh ion logam.

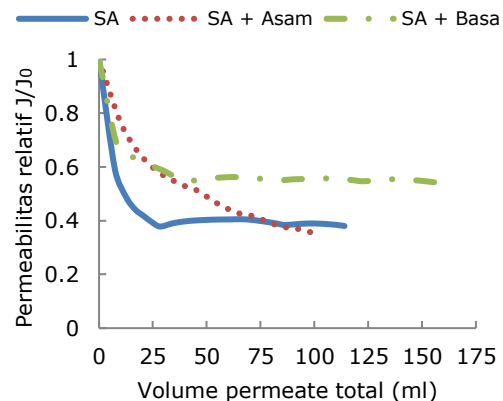
Ion logam merupakan salah satu zat yang dapat mempengaruhi proses filtrasi, selain sifatnya yang mampu berikatan dengan senyawa dalam umpan masuk, ion logam juga dapat berikatan langsung dengan permukaan membran. Secara keseluruhan penambahan ion logam Ca^{2+} dan Mg^{2+} tidak terlalu mempengaruhi penurunan fluks yang signifikan pada proses filtrasi SA (Gambar 4). Pada filtrasi SA ketika awal filtrasi terjadi penurunan fluks permeate yang sangat signifikan sementara pada menit selanjutnya terlihat fluks yang relatif konstan.

Pada filtrasi sampel SA dengan penambahan ion terlihat fluks yang terus menerus mengalami penurunan, hal ini disebabkan karena penambahan kation dapat menurunkan sifat muatan SA, dimana hal ini berhubungan dengan kekuatan tarik antara partikel SA dengan permukaan membran sehingga menyebabkan terbentuknya fouling pada permukaan membran (Chang dkk., 2016). Sementara untuk penurunan fluks sampel SA

untuk penambahan ion Ca^{2+} lebih besar dibandingkan dengan penambahan ion Mg^{2+} . Hal ini mungkin disebabkan karena sifat dari kation Ca^{2+} yang memiliki sifat istimewa terhadap gugus karboksilat sehingga terbentuk agregat dengan ukuran molekul yang lebih besar. Selain itu larutan SA akan berbentuk gel dengan penambahan konsentrasi Ca^{2+} berlebih. Walaupun sebenarnya tidak ada korelasi langsung antara penambahan kation terhadap penurunan fluks, namun penambahan kation dapat merubah sifat elektrositas partikel dan ukuran partikel sampel (Motsa dkk., 2014). Sementara volume permeat terbesar diperoleh pada filtrasi sampel SA + Mg^{2+} dan yang terkecil pada sampel dengan penambahan ion Ca^{2+} .

3.4. Pengaruh pH Larutan

Derajat keasaman merupakan salah satu kondisi kimia yang mempengaruhi terbentuknya *fouling* pada membran disamping pengaruh ion logam. Dari Gambar 5. terlihat bahwa penurunan permeabilitas signifikan terjadi pada kondisi pH asam. Hal ini disebabkan karena pada kondisi asam ($\text{pH} < 3,5$) SA cenderung membentuk endapan sedangkan pada kondisi $\text{pH} < 5$ SA memiliki sifat viskositas yang cukup tinggi (Qomarudin dkk., 2015).

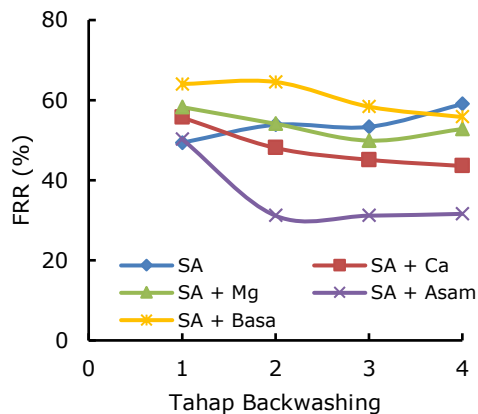


Gambar 5. Hubungan permeabilitas relatif terhadap volume permeat, pengaruh derajat keasaman.

Sementara pada sampel SA pada pH basa, nilai J/J_0 diperoleh penurunan yang lebih kecil bahkan cenderung stabil dan menghasilkan permeat dalam jumlah yang lebih besar jika dibandingkan dengan pH netral dan asam. Hal ini disebabkan karena pH mempengaruhi sifat viskositas SA secara umum, dimana semakin tinggi pH (antara 5 – 10) maka sifat viskositas SA semakin encer yang disebabkan karena pada pH tinggi terjadi degradasi β -eliminatif pada larutan SA (Xu dkk., 2016).

3.5. Flux Recovery Ratio (FRR)

Penentuan nilai FRR bertujuan untuk mengetahui efektifitas kerja membran setelah dilakukan *backwashing*. Proses *backwashing* pada membran hanya mampu untuk mengembalikan fungsi membran dari fouling yang bersifat *reversible* sehingga penurunan fluks membran disebabkan karena ireversibel fouling. Untuk itu diperlukan data fluks air murni pada saat awal filtrasi dan setelah *backwashing* setiap tahap filtrasi. Data perhitungan nilai FRR dari hasil penelitian dapat dilihat pada Gambar 6.



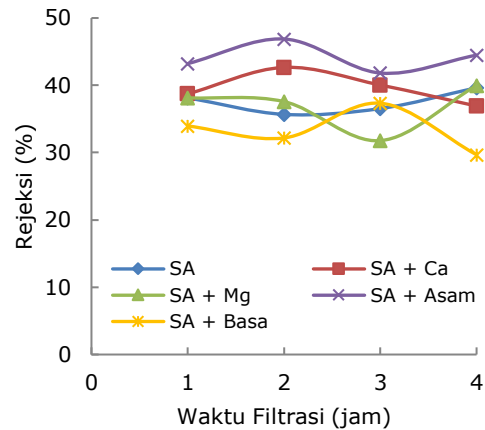
Gambar 6. Perubahan FRR setiap tahap *backwashing*

Membran yang digunakan untuk berbagai variasi sampel, terlihat bahwa sampel SA dalam kondisi asam cenderung menunjukkan penurunan FRR secara signifikan. Hal ini disebabkan karena kemungkinan terbentuknya *irreversible fouling* yang membentuk ikatan pada permukaan membran sehingga untuk melakukan pembersihan membran (*backwashing*) tidak cukup dengan menggunakan air murni melainkan diperlukan bahan tambahan yang dapat mendegradasi fouling yang terbentuk (Chang dkk., 2015). Sementara pada sampel lain tidak terlihat penurunan FRR yang sangat signifikan hal ini disebabkan karena *fouling* yang terbentuk masih dapat dibersihkan dengan menggunakan air murni, dan fouling yang terbentuk bersifat *reversible*.

3.6. Koefisien Rejeksi

Koefisien rejeksi (R) merupakan kemampuan membran untuk menahan partikel sehingga permeat yang diperoleh memiliki konsentrasi yang diinginkan. Perhitungan koefisien rejeksi menggunakan Persamaan 4, dimana diperlukan nilai konsentrasi larutan

umpan dan konsentrasi permeat yang diukur dengan menggunakan *UV spectrophotometry*.



Gambar 7. Koefisien rejeksi sampel SA dengan berbagai variasi sampel terhadap waktu operasi

Secara keseluruhan nilai koefisien rejeksi untuk filtrasi sampel SA dengan perlakuan asam pada membran cenderung lebih tinggi dibandingkan sampel lainnya (Gambar 7). Hal ini disebabkan karena pada kondisi asam viskositas SA sangat tinggi sehingga memperbesar tahanan terhadap rejeksi partikel SA. Kemungkinan lain juga dapat disebabkan karena partikel SA telah mengalami pengendapan sehingga konsentrasi sampel menurun sebelum proses filtrasi (Chang dkk., 2016).

Kecendrungan yang sama juga terjadi pada sampel SA dengan variasi ion logam Ca^{2+} . Hal ini disebabkan karena penambahan ion Ca^{2+} dapat menyebabkan larutan SA membentuk gel sehingga dapat menambah tekanan akibat *cake* yang terbentuk pada permukaan membran. Namun secara umum rejeksi untuk SA dengan kondisi basa memiliki koefisien rejeksi relatif lebih kecil. Hal ini dapat terjadi akibat sifat SA yang memiliki viskositas lebih kecil sehingga partikel SA dapat melewati membran dengan mudah dibandingkan variasi sampel yang lain (Katsoufidou dkk., 2008).

4. Kesimpulan

Dari kajian filtrasi larutan SA dengan membran *hollow-fiber* menggunakan modul *cross-flow* untuk pengaruh ion logam, diperoleh penurunan fluks permeat untuk filtrasi SA dengan penambahan Ca^{2+} lebih besar dibandingkan penambahan Mg^{2+} . Untuk variasi pH larutan SA, filtrasi sampel pada kondisi asam diperoleh penurunan fluks permeat yang sangat signifikan jika dibandingkan sampel pada kondisi basa. Secara kese-

luruhan nilai FRR terendah diperoleh dari filtrasi sampel pada kondisi asam, sementara FRR terbesar diperoleh pada sampel dengan kondisi basa. Sedangkan untuk koefisien rejeksi terbesar diperoleh pada filtrasi larutan SA pada kondisi asam.

Daftar Pustaka

- Chang, H., Liang, H., Qu, F., Shao, S., Yu, H., Liu, B. (2016) Role of backwash water composition in alleviating ultra filtration membrane fouling by sodium alginate and the effectiveness of salt backwashing, *Journal of Membrane Science*, 499, 429–441.
- Chang, H., Qu, F., Liu, B., Yu, H., Li, K., Shao, S., Liang, H. (2015) Hydraulic irreversibility of ultrafiltration membrane fouling by humic acid: Effects of membrane properties and backwash water composition, *Journal of Membrane Science*, 493, 723–733.
- Charfi, A., Yang, Y., Harmand, J., Ben Amar, N., Heran, M., Grasmick, A. (2015) Soluble microbial products and suspended solids influence in membrane fouling dynamics and interest of punctual relaxation and/or backwashing, *Journal of Membrane Science*, 475, 156–166.
- Garcia-Ivars, J., Iborra-Clar, M. I., Alcaina-Miranda, M. I., Mendoza-Roca, J. A., Pastor-Alcañiz, L. (2015a) Treatment of table olive processing wastewaters using novel photomodified ultrafiltration membranes as first step for recovering phenolic compounds. *Journal of Hazardous Materials*, 290, 51–59.
- Garcia-Ivars, J., Iborra-Clar, M.-I., Alcaina-Miranda, M.-I., Van der Bruggen, B. (2015b) Comparison between Hydrophilic and Hydrophobic metal nanoparticles on the phase separation phenomena during formation of asymmetric polyethersulphone membranes, *Journal of Membrane Science*, 493, 709–722.
- Han, B., Zhang, D., Shao, Z., Kong, L., Lv, S. (2013) Preparation and characterization of cellulose acetate-/carboxymethyl cellulose acetate blend ultrafiltration membranes. *Desalination*, 311, 80–89.
- Hao, Y., Moriya, A., Maruyama, T., Ohmukai, Y., Matsuyama, H. (2011) Effect of metal ions on humic acid fouling of hollow fiber ultrafiltration membrane. *Journal of Membrane Science*, 376(1-2), 247–253.
- Hashino, M., Hiram, K., Katagiri, T., Kubota, N., Ohmukai, Y., Ishigami, T., Matsuyama, H. (2011) Effects of three natural organic matter types on cellulose acetate butyrate microfiltration membrane fouling. *Journal of Membrane Science*, 379(1-2), 233–238.
- Hashino, M., Katagiri, T., Kubota, N., Ohmukai, Y., Maruyama, T. (2011) Effect of membrane surface morphology on membrane fouling with sodium alginate, *Journal of Membrane Science*, 366(1-2), 258–265.
- Katsoufidou, K., Yiantsios, S. G., Karabelas, A. J. (2008) An experimental study of UF membrane fouling by humic acid and sodium alginate solutions: the effect of backwashing on flux recovery, 220, 214–227.
- Li, X., Fang, X., Pang, R., Li, J., Sun, X., Shen, J., Wang, L. (2014) Self-assembly of TiO₂ nanoparticles around the pores of PES ultrafiltration membrane for mitigating organic fouling, *Journal of Membrane Science*, 467, 226–235.
- Motsa, M. M., Mamba, B. B., D’Haese, A., Hoek, E. M. V., Verliefde, A. R. D. (2014) Organic fouling in forward osmosis membranes: The role of feed solution chemistry and membrane structural properties, *Journal of Membrane Science*, 460, 99–109.
- Nazemidashtarjandi, S., Mousavi, S. A., Bastani, D. (2017) Preparation and characterization of polycarbonate-/thermoplastic polyurethane blend membranes for wastewater filtration. *Journal of Water Process Engineering*, 16, 170–182.
- Qomarudin, Q., Orbell, J. D., Ramchandran, L., Gray, S. R., Stewart, M. B., Vasiljevic, T. (2015) Properties of beta-lactoglobulin / alginate mixtures as a function of component ratio , pH and applied shear, *FRIN*, 71, 23–31.
- Vargas, A., Moreno-Andrade, I., Buitrón, G. (2008) Controlled backwashing in a membrane sequencing batch reactor

- used for toxic wastewater treatment. *Journal of Membrane Science*, 320 (1-2), 185-190.
- Xu, W. T., Zhao, Z. P., Liu, M., Chen, K. C. (2015) Morphological and hydrophobic modifications of PVDF flat membrane with silane coupling agent grafting via plasma flow for VMD of ethanol-water mixture, *Journal of Membrane Science*, 491, 110-120.
- Xu, X., Luo, L., Liu, C., Zhang, Z., McClements, D. J. (2016) Influence of electrostatic interactions on behavior of mixed rice glutelin and alginate systems: pH and ionic strength effects. *Food Hydrocolloids*, 63, 301-308.