

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 rekovery fluks pada proses ultrafiltrasi larutan *natural organic matter* (NOM) 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* (PDO). 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 (NOM) by *polyethersulfone* membran has 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* (PDO) configuration was used in this work. The permeability profile of SA solution on *polyethersulfone* membran has 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 is used to determine its performance. *Flux recovery ratio* (FRR) is one of indicator to determine the *fouling* property which is formed in membran surface. Generally, the SA solution in acidic conditions has the lowest FRR value, while the solution in alkaline conditions has the greatest FRR value. The achievement of SA solution flux with the addition of Mg^{2+} ion is greater than the addition of Ca^{2+} ion. On the other hand, the SA solution at alkaline pH conditions resulted in a lower flux decrease than 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 is 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

Dalam suatu proses pemisahan dengan menggunakan 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 dipermukaan membran atau ada yang terperangkap diporinya (Vargas dkk., 2008).

NOM biasanya tidak terdapat tunggal dalam melainkan berikatan dan membentuk senyawa lain. Salah satunya adalah keberadaan ion logam seperti kalsium, aluminium, mangan, natrium dan besi, yang secara umum dapat berpengaruh terhadap sifat fouling dari NOM. Hal ini diakibatkan karena kedua 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 hidrofilitas membran, dimana 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).

Aplikasi proses pemisahan dengan menggunakan teknologi membran, biasanya kondisi proses dioperasikan pada tekanan rendah / *low pressure membran* (LPMs) dan tekanan tinggi / *high pressure membran* (HPMs). LPMs meliputi *microfiltration* (MF) dan *ultrafiltrasi* (UF) berpori besar, dimana kondisi operasi pada tekanan relatif rendah (TMPs), dengan kisaran kurang dari 100-200 kPa. Sedangkan yang termasuk kondisi HPMs yaitu (UF) berpori kecil, nanofiltrasi (NF) dan *reverse osmosis* (RO), dioperasikan pada kondisi relative tinggi TMPs (> 200 kPa) (Guo dkk., 2012).

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

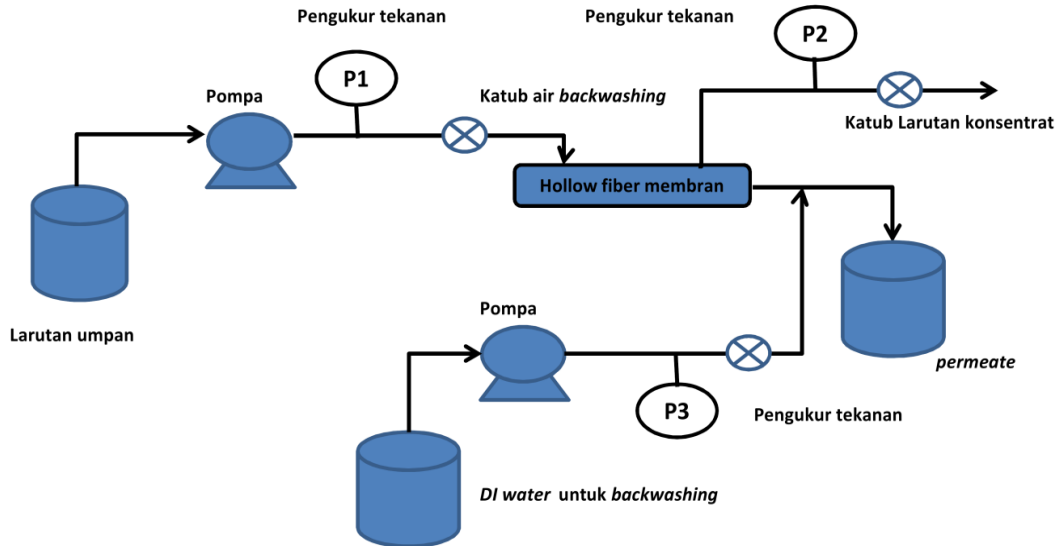
2.1. Alat dan bahan

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 Magnesiumsulfat ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) diperoleh dari E. Merck KGaA, 64271 Darmstadt, Germany. Asam sulfat (H_2SO_4) dari Mallinckrodt 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 telah dipreparasi sebelumnya. Membran *Polyethersulfone* (PES) yang terdiri dari aditif Aerosol OT dengan komposisi *Polyethersulfone*, aditif Aerosol OT, dengan pelarut *N-Methyl-2-pyrrolidone* (NMP), dimana spesifikasinya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi membran.

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

**Gambar 1.** Diagram alir proses filtrasi

Beberapa peralatan utama yang digunakan adalah pompa peristaltik, modul filtrasi *cross-flow*, pengukur tekanan (*pressure gauge*), timbangan digital, spatula, erlenmeyer, pH meter dan beberapa alat lainnya.

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. 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 diteteskan 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)*, dimana sampel dimasukkan dalam ruang vakum, kemudian keseluruhan sampel disinari dengan elektron dengan bantuan anoda, selanjutnya sampel akan memantulkan electron baru yang akan di tangkap oleh detector, sehingga hasil pantulan dapat ditampilkan pada monitor.

2.4. Proses Filtrasi

Uji kinerja membran pada penelitian ini 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 ($\text{L}/\text{m}^2 \cdot \text{jam}$), untuk menghitung nilai permeat fluks dapat menggunakan persamaan (1)

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

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.

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

Dimana J_{w1} , merupakan fluks air murni ($L/m^2.jam$), 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)

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

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.) dimana 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

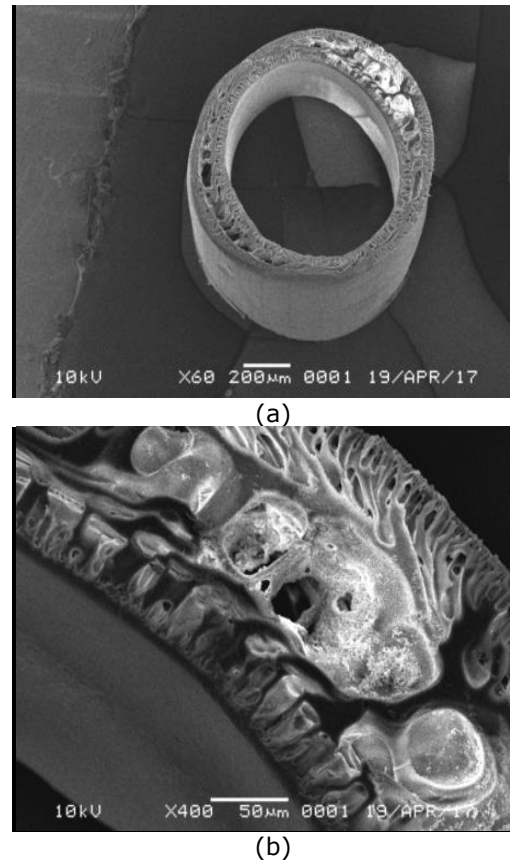
3.1. Morfologi Membran

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) (Nazemidashtarjandi 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.



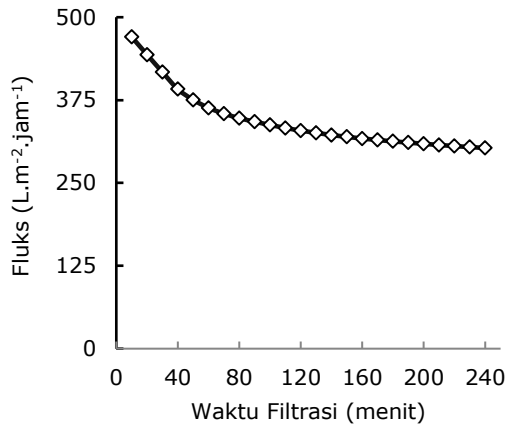
Gambar 2. Struktur permukaan dan pori penampang melintang membran PES Aerosol OT. (a) pembesaran 60 kali (b) pembesaran 400 kali

3.3. Profil Fouling; Pengaruh ion logam

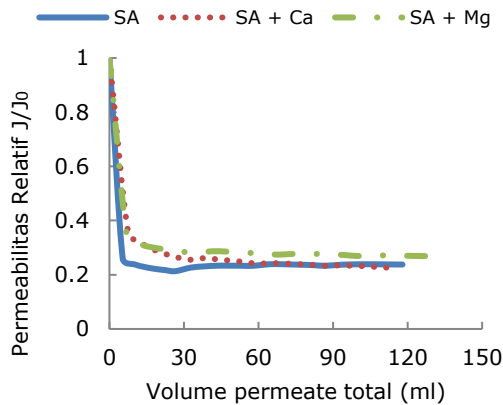
Fouling pada membran merupakan permasalahan utama yang timbul pada proses filtrasi, berbagai faktor penyebab fouling terus dipelajari dan dikembangkan. Penurunan fluks filtrasi merupakan salah satu akibat dari terbentuknya fouling pada membran, keberadaan zat organik pada sampel air merupakan salah satu 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^{2+}) dan derajat keasaman.



Gambar 3. Penurunan fluks air murni terhadap waktu operasi.

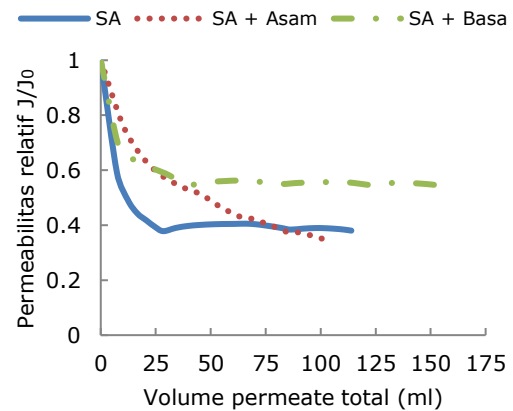


Gambar 4. Hubungan permeabilitas relatif terhadap volume permeat, pengaruh ion logam.

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 (Matsuyama dkk., 2011). 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+} .



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

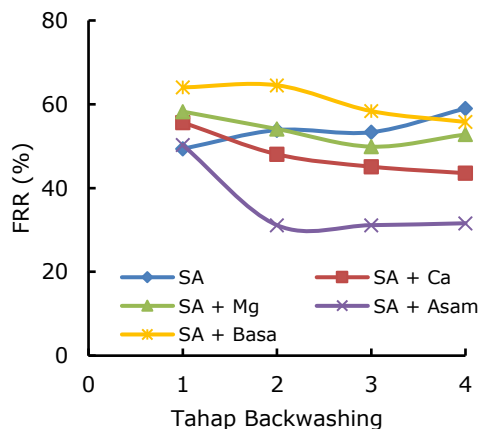
3.4. Profil Fouling; Pengaruh pH larutan

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). Sementara pada sampel SA pada pH basa, nilai J/Jo 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.

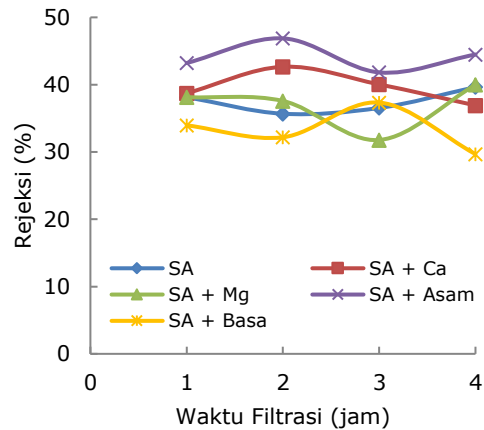


Gambar 6. Perubahan FRR setiap tahap *backwashing*

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). Begitu juga dengan SA dengan variasi ion logam Ca^{2+} dimana 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 keseluruhan 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. (2015) 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. (2015) 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., Hirami, 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 TiO_2 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*.