

## Pengaruh Lingkungan Ionik Terhadap Fouling Adsorptif Senyawa Organik pada Membran Ultrafiltrasi

**Heru Susanto<sup>\*</sup>, Pravasta Revi Santika dan Ratih Pratamasari**

Jurusan Teknik Kimia, Fak. Teknik, Universitas Diponegoro  
Jln. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, 50239, Telp/Fax: (024)7460058  
E-mail: heru.susanto@undip.ac.id

### Abstrak

*Reverse osmosis (RO) telah menjadi teknologi alternatif yang menjanjikan sebagai pengganti teknologi desalinasi berbasis termal untuk konversi air laut menjadi air tawar. Namun, permasalahan fouling yang disebabkan oleh senyawa organik dapat menurunkan kinerja membran. Membran ultrafiltrasi (UF) telah diusulkan sebagai unit pretreatment untuk mengurangi peristiwa fouling pada membran RO. Namun, studi spesifik tentang perilaku fouling larutan organik salinitas tinggi pada membran ultrafiltrasi belum banyak dilakukan. Makalah ini menyajikan studi fouling organik pada salinitas tinggi dengan menggunakan alginat, humic acid dan protein (BSA) sebagai model foulant. Pada penelitian ini digunakan membran komersial polyethersulfone 50 kDa. Perilaku fouling dipelajari dengan mengamati fouling adsorptif dan fouling pada ultrafiltrasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perilaku fouling larutan organik pada salinitas tinggi berbeda dengan pada medium air.*

**Kata kunci:** *Fouling, Ultrafiltrasi, Fouling Organik, Salinitas Tinggi*

### 1. Pendahuluan

Seiring dengan krisis air yang semakin terjadi, desalinasi air laut merupakan salah satu alternatif solusi yang terus dikembangkan. Secara umum, desalinasi air laut dapat dilakukan dengan teknologi berbasis termal atau dengan menggunakan teknologi membran. RO merupakan teknologi berbasis membran yang sering digunakan untuk proses desalinasi air laut. Pada penggunaannya, permasalahan yang kerap muncul pada membran RO adalah *fouling* – peristiwa menumpuknya zat terlarut pada permukaan membran atau di dalam pori membran – yang disebabkan oleh senyawa-senyawa organik. *Fouling* menyebabkan terjadinya penurunan fluks, peningkatan frekuensi pencucian, penurunan umur membran dan penurunan kualitas produk yang dihasilkan. Oleh karena itu pengendalian *fouling* merupakan langkah yang sangat penting. Metode pengendalian *fouling* sangat bergantung pada mekanisme *fouling* yang terjadi. Penyebab dan pencegahan *fouling* membran sangatlah dipengaruhi oleh air umpan yang diolah. Salah satu pengendalian *fouling* yang dapat dilakukan untuk mengurangi terjadinya *fouling* membran adalah dengan pretreatment terhadap umpan sebelum masuk membran (Baker, 2000; Cheryan, 1998). Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penempatan membran UF sebelum RO dapat mengurangi terjadinya *fouling* organik dan dapat meningkatkan kinerja membran RO.

Ultrafiltrasi merupakan proses membran dengan menggunakan membran (asimetrik) berukuran pori sekitar 2 - 100 nm, memiliki *driving force* sebesar 1 - 7 bar dan mekanisme pemisahannya menggunakan mekanisme *sieving*. UF memisahkan makromolekul berdasarkan perbedaan ukuran molekul dan biasanya dibedakan oleh berat molekulnya. Penggunaan membran UF sebagai pretreatment RO di satu sisi dapat mengurangi *fouling* pada membran RO dan meningkatkan kinerja, di sisi lain *fouling* yang terjadi pada membran UF sendiri perlu mendapat perhatian. Studi tentang *fouling* pada membran UF telah banyak dilakukan, mulai dari studi mekanisme *fouling*, karakterisasi foulant, dan teknik/metode pengendalian *fouling* (Comstock et al., 1991; Psoch dan Schiewer, 2006; Srijaroonrat et al., 1999, de Bruijn et al., 2002; de Baros et al., 2003; Huisman et al., 2000, Alper, 2002; Koh et al., 2006; Shon et al., 2004; Susanto dan Widiasta, 2009; Susanto et al., 2009). Namun, studi spesifik *fouling* pada lingkungan salinitas tinggi seperti air laut belum banyak dilakukan.

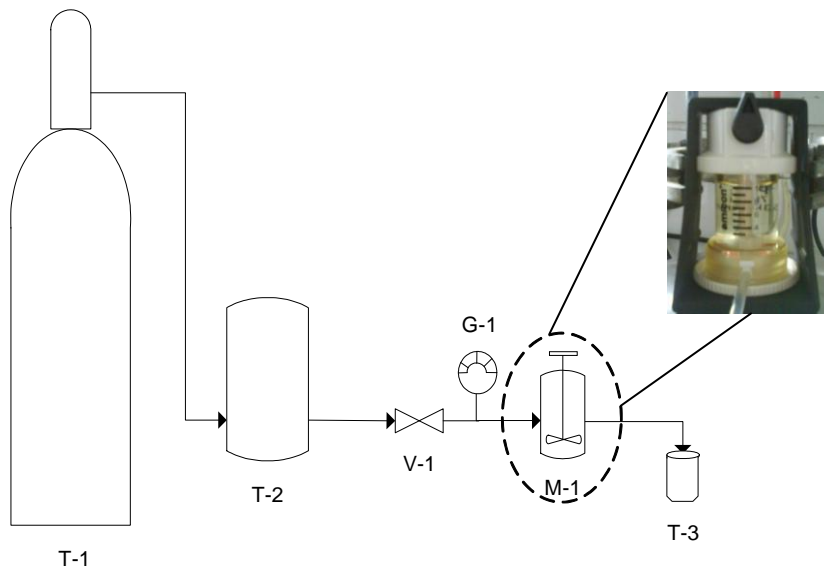
Air laut mengandung berbagai material seperti garam-garaman, bahan-bahan organik dan partikel-partikel tersuspensi. Terlebih, pada saat musim penghujan aliran air dari darat yang menuju laut membawa komponen-komponen yang kompleks dan bermacam-macam. Garam-garaman utama yang terdapat pada air laut adalah NaCl, CaCl<sub>2</sub>, CaSO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub>, dll.

Penelitian ini mempresentasikan studi *fouling* organik pada membran UF dengan kondisi salinitas tinggi. Sebagai model senyawa organik digunakan humic acid sebagai *natural organic matter* (NOM), alginat (polisakarida), dan *bovine serum albumin*, BSA (Protein).

## 2. Bahan dan Metode Penelitian

Pada penelitian ini digunakan membran UF komersial Polyethersulfon (PES) Ultrafiltrasi (UF) komersial dari Sartorius AG, Jerman. Ukuran pori-pori membran PES UF ini adalah 50 kDa. Senyawa organik yang digunakan sebagai model foulant organik adalah bovine serum albumin (BSA) (dari Agdia), alginat dan humic acid (dari Sigma-Aldrich). Penambahan garam untuk memberikan lingkungan ionik dilakukan dengan penambahan NaCl, CaCl<sub>2</sub>, CaSO<sub>4</sub>, dan MgSO<sub>4</sub> (dari Merk), ke dalam larutan foulant organik di atas.

Penelitian dilakukan dengan menggunakan unit filtrasi dead end berpengaduk (Amicon cell 8010) dari Millipore. Gambar 1 menunjukkan skematik rangkaian alat penelitian.



G-1 : Pressure Gauge  
T-2 : Penampung feed

M-1 : Amicon  
T-3 : Beaker glass

T-1 : Tabung gas nitrogen  
V-1 : Valve/katub

Gambar 2. Rangkaian alat penelitian menggunakan metode filtrasi dead-end berpengaduk

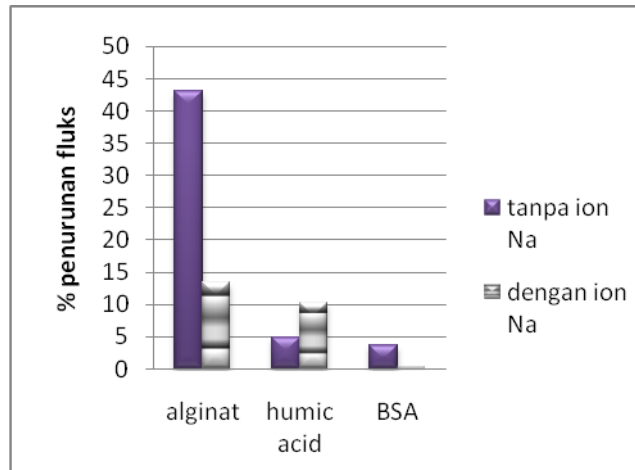
Pengamatan adsorptif fouling dilakukan dengan mengontakkan membran (segar) dengan larutan *foulant*. Pertama-tama, membran dikompaksi dengan melakukan filtrasi air murni pada tekanan 4,5 bar selama 0,5 jam. Setelah itu tekanan diturunkan sampai 3 bar dan fluks air murni diukur ( $J_o$ ). Sel membran kemudian diisi dengan larutan foulant dan dikontakkan selama 3 jam. Selanjutnya, larutan *foulant* diganti dengan air murni untuk proses pembilasan selama 1 menit. Fluks air murni pada membran setelah adsorptif fouling kemudian diukur kembali ( $J_{ads}$ ). Evaluasi adsorptif fouling dilakukan dengan membandingkan fluks air sebelum dan setelah adsorptif fouling dan dikuantifikasi dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Penurunan fluks} = \frac{J_o - J_{ads}}{J_o} \times 100 \quad (1)$$

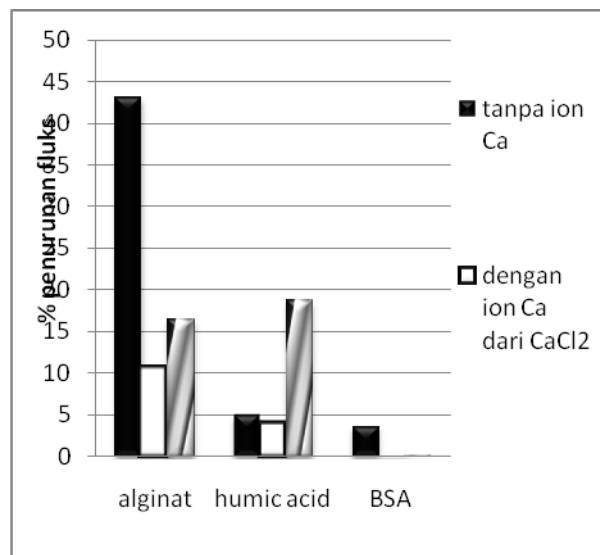
dengan,  $J_o$  dan  $J_{ads}$  berturut-turut adalah permeabilitas air murni pada membran segar dan pada membran setelah adsorptif fouling. Percobaan dilakukan dengan menggunakan alginat, BSA dan humic acid.

## 3. Hasil dan Pembahasan

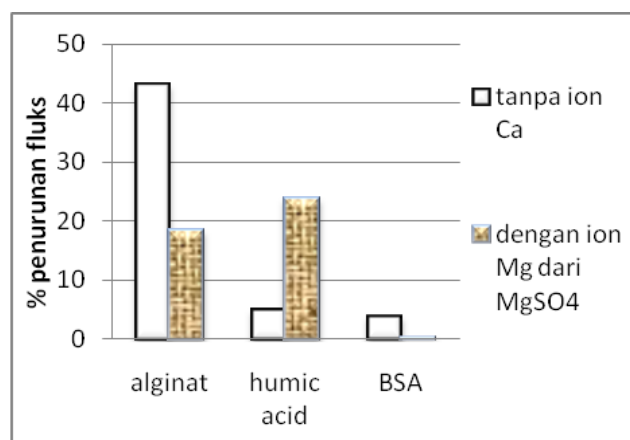
Untuk mengetahui pengaruh lingkungan ionik berbagai jenis garam yang terdapat dalam air laut ditambahkan ke dalam larutan foulant. Hasil percobaan disajikan pada Gambar 2-4.



Gambar 2. Pengaruh penambahan ion Na<sup>+</sup> dari NaCl pada foulan organik.



Gambar 3. Pengaruh penambahan ion Ca<sup>2+</sup> dari CaCl<sub>2</sub> dan CaSO<sub>4</sub> pada foulan organik.

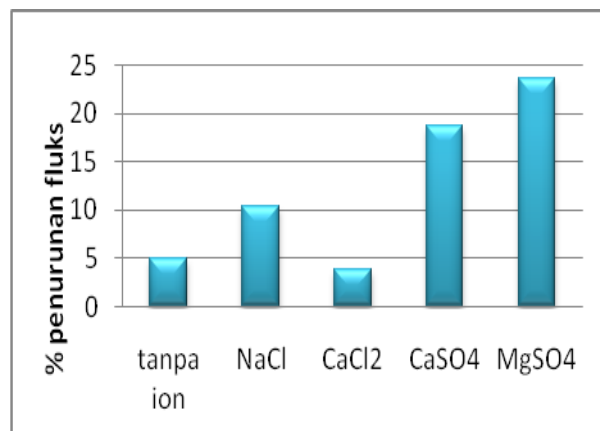


Gambar 4. Pengaruh penambahan ion Mg<sup>2+</sup> dari MgSO<sub>4</sub> pada foulan organik.

Hasil percobaan menunjukkan bahwa penambahan ion-ion pada larutan organik menghasilkan fouling adsorptif yang berbeda jika dibandingkan tanpa adanya ion. Kalsium merupakan kation divalen utama yang terdapat di alam, yang dikenal mampu berinteraksi dan membentuk kompleks dengan fungsional grup carboxylic dari

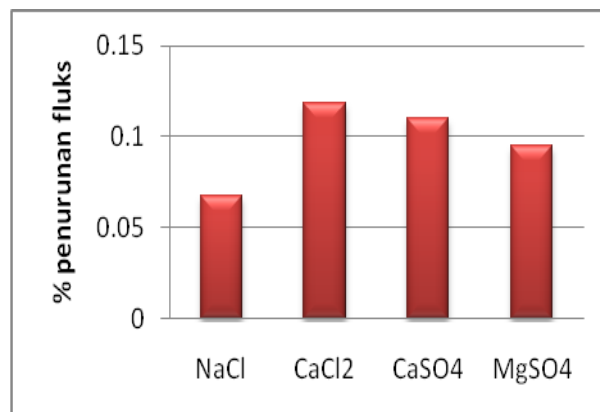
molekul organik (Ang dan Elimelech, 2007). Prinsip dari sifat gelling alginat adalah memiliki sifat mengikat ion yang selektif. Ikatan selektif alginat adalah pada alkali tanah dan ion logam, seperti  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$ . Ikatan tersebut mampu meningkatkan komponen rantai guluronate. Selektivitas alginat untuk kation multivalent bergantung pada komposisi ionic dari alginat gel, karena gaya tarik menarik terhadap ion meningkat dengan meningkatnya kandungan ion di dalam gel (Skjåk-Bræk, 1989; Sangyoun, 2006). Jadi, Ca-alginat gel memiliki gaya tarik menarik yang lebih tinggi terhadap ion  $\text{Ca}^{2+}$  dari pada larutan Na-alginat yang menyebabkan penurunan fouling Ca-alginat lebih besar dibandingkan dengan Na-alginat (Gambar 2 dan Gambar 3). Pada foulant alginat dalam kondisi ionik, penurunan fluks terbesar terjadi karena kehadiran ion  $\text{Mg}^{2+}$ . Hal ini mirip pada studi pada bioreaktor membran (Arabi dan Nakhla, 2009).

Keberadaan ion pada larutan humic acid dapat meningkatkan terjadinya fouling adsorptif kecuali ion  $\text{Ca}^{2+}$ . Gambar 5 menunjukkan pengaruh kehadiran garam pada penurunan fluks akibat fouling adsorptif humic acid. Dari hasil tersebut tampak bahwa ion  $\text{Mg}^{2+}$  menyebabkan penurunan fluks terbesar pada foulant humic acid. Dapat dilihat pula pada Gambar 5, kehadiran ion  $\text{Ca}^{2+}$  dari  $\text{CaCl}_2$  justru menurunkan terjadinya fouling (dibandingkan dengan tanpa ion), namun kehadiran  $\text{Ca}^{2+}$  dari  $\text{CaSO}_4$  menaikkan terjadinya fouling. Hal ini mengindikasikan bahwa jenis anion juga mempengaruhi tingkat fouling adsorptif yang terjadi.



Gambar 5. Pengaruh kondisi ionik terhadap penurunan fluks pada foulant humic acid.

Berbeda dengan humic acid, keberadaan  $\text{CaCl}_2$  pada larutan BSA justru meningkatkan terjadinya fouling (Gambar 6). Secara keseluruhan, kehadiran ion pada larutan BSA meningkatkan fouling adsorptif yang terjadi. Hal yang sama juga terjadi pada studi Mo dkk (2008), dimana fouling yang terjadi karena keberadaan ion  $\text{Ca}^{2+}$  lebih kuat dibandingkan dengan keberadaan ion monovalen ( $\text{Na}^+$ ) karena muatan positif yang lebih besar dan kemampuan membentuk jembatan ionik yang menyebabkan lapisan fouling lebih padat.



Gambar 6. Pengaruh kondisi ionik terhadap penurunan fluks pada foulant BSA.

#### 4. Kesimpulan

Studi pengaruh lingkungan ionik terhadap fouling adsorptive telah dilakukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keberadaan ion menghasilkan fouling adsorptif yang berbeda dengan tanpa kehadiran ion. Pengaruh ion terhadap fouling adsorptif sangat tergantung pada jenis foulant organik dan jenis ion yang ditambahkan.

#### Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi yang telah membiayai pelaksanaan penelitian ini melalui prgram Hibah Unggulan Stratgis Nasional (No. 428.2/H7.2/PG/2009).

#### Daftar Pustaka

- Alper, H. Protection of crossflow membranes from organic fouling, US Patent 6491822, 2002.
- Ang, W.S, Elimelech, M., , "Protein (BSA) fouling of reverse osmosis membranes: Implications for wastewater reclamation", *J. Membr. Sc.*, 296 (2007) 83.
- Baker, R.W., "*Membrane Technology and Applications*", McGraw-Hill, New York, (2000).
- Cheryan, M.. *Ultrafiltration and microfiltration handbook*, Technomic Publishing Company Inc., Pennsylvania. 1998
- Comstock, D.L.; Hagen, R.D. Method and apparatus for enhancing the flux rate of cross-flow filtration systems, US Patent 5047154, 1991.
- Koh, C.K.; Ahn, W.Y.; Clark, M.M. Selective adsorption of natural organic foulants by polysulfone colloids: Effect on ultrafiltration fouling, *J. Membr. Sci.* 281 (2006) 472.
- Mo, H., Tay, K. G., Ng, H. Y., Fouling of reverse osmosis membrane by protein (BSA) : Effects of pH, calcium, magnesium, ionic strength and temperature, *J. Membr. Sci.* 315 (2008) 28.
- Psoch, C.S.; Schiewer, S. Anti-fouling application of air sparging and backflushing for MBR, *J. Membr. Sci.* 283 (2006) 273.
- Shon, H.K.; Vigneswaran, S.; Kim, I.S.; Cho, J.; Ngo, H.H. Effect of pretreatment on the fouling of membranes: application in biologically treated sewage effluent, *J. Membr. Sci.* 234 (2004) 111.
- Srijaroonrat, P.; Julien, E.; Aurelle, Y. Unstable secondary oil/water emulsion treatment using ultrafiltration: fouling control by backflushing, *J. Membr. Sci.* 159 (1999) 11.
- de Baros, S.T.D.; Andrade, C.M.G.; Mendes, E.S.; Peres, L. Study of fouling mechanism in pineapple juice clarification by ultrafiltration, *J. Membr. Sci.* 215 (2003) 213.
- Huisman I H, Prádanos P, Hernández A, The effect of protein-protein and protein-membrane interactions on membrane fouling in ultrafiltration, *J. Membr. Sci.* 179 (2000) 79.
- de Bruijn, J.; Vanegas, A.; Borquez, R. Influence of crossflow ultrafiltration on membrane fouling and apple juice quality, *Desalination* 148 (2002) 131.
- Arabi, S., Nakhla, G., Impact of magnesium on membrane fouling in membrane bioreactors, *Sep. Purif. Technol.*, 67 (2009) 319..
- Lee, S, Ang, W. S., Elimelech, M., Fouling of reverse osmosis membranes by hydrophilic organic matter : implications for water reuse, *Desalination* 187, (2006) 313.
- Skjåk-Bræk, G.,Grasdalen, H., Draget, K.I. dan Smidsrød, O., "*Inhomogenous calcium alginates beads, in: Biomedical and biotechnological Advances in Industrial Polysaccharides*", New York: Gordon and Breach. 1989
- Susanto, H. and Widiassa, IN. 2009. Ultrafiltration fouling of amylose solution: behavior, characterization and mechanism, *J. Food. Eng.* 95, 423.
- Susanto, H., Arafat, H., Jansen, E.M.L. and Ulbricht, M. 2009. Ultrafiltration of polysaccharides-protein mixtures: Elucidation of fouling mechanisms and fouling control by membrane surface modification, *Sep. Sci. Technol.* 63, 558.