

PENYISIHAN KANDUNGAN ANTISCALANT SODIUM HEXAMETAPHOSPHATE PADA LIMBAH KONSENTRAT REVERSE OSMOSIS MENGGUNAKAN MEMBRAN NANOFILTRASI

Hilda Inaya Ilma*), Titik Istirokhatun **), Heru Susanto***)

Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. H. Soedarto, SH Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

Email : hildainayailma12@gmail.com

Abstrak

Desalinasi merupakan proses pengolahan air laut menjadi air bersih menggunakan membran reverse osmosis (Greenlee et al., 2010). Pada prosesnya desalinasi menghasilkan air dengan kemurnian garam yang tinggi dan menghasilkan limbah baru sekitar 15-60 % yang dikenal dengan limbah reverse osmosis (Ren et al, 2011). Limbah dari proses seawater reverse osmosis (SWRO) mengandung konsentrasi TDS 68.130 mg/l, Ca^{2+} 961 mg/l, Mg^{2+} 2940 mg/l, Cl^- 42.500 mg/l, Na^+ 17.000 mg/l, HCO_3^- 267 mg/l, SO_4^{2-} 6420 mg/l dan residu kimia dari proses pre-treatment reverse osmosis (Zhang et al, 2015). Limbah reverse osmosis berpotensi untuk menghasilkan kadar garam murni dengan konsentrasi garam tinggi, namun mengandung residu bahan kimia, salah satunya yaitu antiscalant yang digunakan untuk mencegah peristiwa scaling di atas permukaan membran reverse osmosis (Darton et al, 2000). Oleh karena itu perlu dilakukan penyisihan sebelum di buang ke lingkungan agar sesuai baku mutu. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh kinerja membran yaitu fluks dan rejeksi, serta pengaruh sodium alginat sebagai model polisakarida dalam limbah konsentrat reverse osmosis terhadap tekanan dan variasi konsentrasi antiscalant sodium hexametaphosphate. Penelitian ini dilakukan pada tekanan 4, 5 dan 6 bar, dengan konsentrasi 2 ppm, 4 ppm dan 6 ppm sodium hexametaphosphate. Kemudian nilai rejeksi dianalisa menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 400 nm. Hasil menunjukkan bahwa konsentrasi 2 ppm tekanan 4 bar efektif dalam penyisihan sodium hexametaphosphate. Hal ini dibuktikan dengan nilai relative fluks dan rejeksi yang menunjukkan nilai paling optimum yaitu 99,20 % dengan konsentrasi setelah filtrasi 0,01 ppm sehingga memenuhi baku mutu fosfat sesuai Kepmen LH No.51 tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut. Sedangkan pengaruh penambahan adanya Natural Organic Matter (NOM) menurunkan nilai fluks dan rejeksi pada membran sehingga berpengaruh terhadap kinerja membran. Hal ini didukung dengan hasil SEM dan FTIR yang telah dilakukan.

Kata Kunci: Antiscalant, Sodium Hexametaphosphate, Sodium Alginat, Nanofiltrasi

Abstract

[Removal of Antiscalant Sodium Hexametaphosphate From Concentratate Reverse Osmosis Waste Using Nanofiltration Membrane Technology]. Desalination is a process that removes minerals from saline water. On desalination process is producted water of high purity salt, but produces wastewater around 15-60%. Waste from the process of seawater reverse osmosis (SWRO) contains high concentrations of TDS 68.130 mg/l, Ca^{2+} 961 mg/l, Mg^{2+} 2940 mg/l, Cl^- 42.500 mg/l, Na^+ 17.000 mg/l, HCO_3^- 267 mg/l, SO_4^{2-} 6420 mg/l and chemical residues from pre-treatment process of reverse osmosis (Zhang et al, 2015). Reverse osmosis concentrate

has the potential to produce high levels of pure salt with high salt concentrations, but contain chemical residues, one of which is used antiscalant to prevent scaling events on the surface of the reverse osmosis membrane (Darton et al, 2000). The purpose of this study to determine the effect of membrane performance is flux and rejection, as well as the effect of sodium alginate as a model polysaccharide in reverse osmosis concentrate to pressure and varying concentrations of sodium hexametaphosphate antiscalant. This research was conducted at a pressure of 4, 5 and 6 bar, with a concentration of 2 ppm, 4 ppm and 6 ppm sodium hexametaphosphate. The rejection were analyzed using UV-Vis Spectrophotometer with a wavelength of 400 nm. The results showed that the concentration of 2 ppm effective pressure of 4 bar in the allowance for sodium hexametaphosphate. This is evidenced by the relative value of the flux and rejection that show the most optimum value is 99.20% with 0.01 ppm concentration after filtration to meet the quality standards appropriate phosphate Kepmen LH 51 of 2004 on Sea Water Quality Standard. While the influence of the addition of the Natural Organic Matter (NOM) decreases the value of the flux and rejection of the membrane so that the effect on membrane performance. This is supported by the results of SEM and FTIR has been done.

Keyword: Antiscalant, Sodium Hexametaphosphate, Sodium Alginate, Nanofiltration

1. Latar Belakang

Desalinasi merupakan proses pengolahan air laut menjadi air bersih menggunakan membran *reverse osmosis* (Greenlee et al., 2010). Pada prosesnya desalinasi menghasilkan air dengan kemurnian garam yang tinggi dan menghasilkan limbah baru sekitar 15-60 % yang dikenal dengan limbah *reverse osmosis* (Ren et al, 2011). Limbah dari proses *seawater reverse osmosis* (SWRO) mengandung konsentrasi TDS 68.130 mg/l, Ca^{2+} 961 mg/l, Mg^{2+} 2940 mg/l, Cl^- 42.500 mg/l, Na^+ 17.000 mg/l, HCO_3^- 267 mg/l, SO_4^{2-} 6420 mg/l dan residu kimia dari proses pre-treatment *reverse osmosis* (Zhang et al, 2015). Limbah *reverse osmosis* berpotensi untuk menghasilkan kadar garam murni dengan konsentrasi garam tinggi, namun mengandung residu bahan kimia, salah satunya yaitu antiscalant yang digunakan untuk mencegah peristiwa *scaling* di atas permukaan membran *reverse osmosis* (Darton et al, 2000).

Penggunaan antiscalant merupakan salah satu cara pengendalian *scaling* sehingga diharapkan dapat memperpanjang umur membran, mempertahankan *recovery* dan *permeat*, serta sebagai *preventive treatment* (Butt et al., 1997). Pada prinsipnya, *antiscalant* diinjeksikan pada umpan dengan *dosing pump* sesuai kebutuhan sehingga mampu memecah kristal dan mencegah proses kristalisasi di atas permukaan membran. Jenis-jenis *antiscalant* yang biasa digunakan untuk treatment *reverse osmosis* ini antara lain *polyacrylic acid*, *carboxylic acids*, *polyphosphates*, *phosphonate*, *anion polymer*, *sodium hexametaphosphate*, dan *trisodium phosphat* (Mccool et al., 2012). Dari beberapa jenis antiscalant tersebut, *sodium hexametaphosphate* merupakan jenis antiscalant yang paling sering digunakan dan efektif untuk mencegah *scaling* (Oh et al., 2009 ; El- Khalek et al, 2013). Menurut El-Khalek et al. (2013), konsentrasi *sodium hexametaphosphate* yang efektif sebagai antiscalant sekitar 1-5 ppm.

Sodium hexametaphosphate memiliki berat molekul 612 g/mol dengan rumus struktur $(\text{NaPO}_3)_6$, kepadatan $2,48 \text{ g/cm}^3$, titik lebur 550°C , dan titik didih 1500°C (Amjad *et al.*, 1993). *Sodium Hexametaphosphate* merupakan campuran dari *metaphosphate* yang banyak memiliki ikatan polimer, bersifat larut dalam air dan pelarut organik, tidak berbau, memiliki pH 5,5-7,7. Namun demikian, menurut (Meerganz, 2005) *sodium hexametaphosphate* bersifat toksik, menimbulkan panas pada badan air, merusak karang, *eutrofikasi*, dan akumulasi logam berat. Selain itu, *sodium hexametaphosphate* menyebabkan iritasi pada selaput lendir jika terhirup, kerusakan usus jika tertelan, iritasi saluran pencernaan, mual, diare, mempengaruhi sistem saraf dalam dosis yang tinggi, gangguan jantung, dan penurunan tekanan darah (Science lab, 2013)

Salah satu alternatif pengolahan limbah *reverse osmosis* diantaranya *intermediate concentrate demineralization* (McCool *et al.*, 2012), *iron coated waste filtration sand* (Boels *et al.*, 2010), dan membran distilasi (Matar *et al.*, 2014). *Intermediate concentrate demineralization* dan *iron coated waste filtration sand* mampu memisahkan kadar antiscalant dalam limbah konsentrat *reverse osmosis*, namun menghasilkan lumpur, membutuhkan

2. Metodologi dan Bahan Penelitian

2.1 Bahan dan Alat

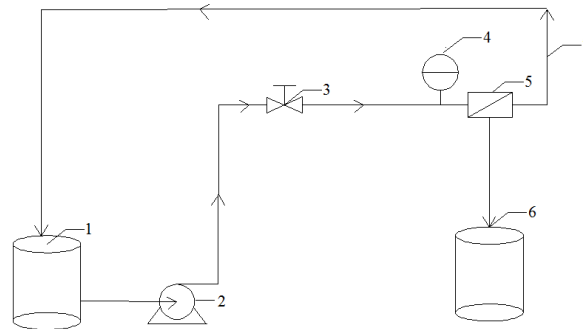
Pada penelitian ini, *sodium hexametaphosphate* digunakan sebagai model antiscalant, dan sodium alginat digunakan sebagai model polisakarida. Bahan-bahan tersebut dibeli dari local, Semarang, Indonesia. NaCl digunakan untuk limbah konsentrat sintetik dan dibeli di PT. Unichem Candi Industri, Indonesia. Sedangkan untuk uji *spectrophotometer* Uv-Vis digunakan KH_2PO_4 ,

ambahan bahan kimia yang cukup besar, biaya operasional yang tinggi dan kualitas permeat yang dihasilkan rendah karena kadar antiscalant belum tersisihkan sepenuhnya (McCool *et al.*, 2012), sedangkan membran distilasi hanya fokus pada *recovery* air garam tanpa memisahkan kadar antiscalant (Matar *et al.*, 2014).

Oleh karena itu, metode yang tepat sangat dibutuhkan untuk menyisihkan antiscalant dalam limbah *reverse osmosis* yaitu menggunakan teknologi membran. Hal ini karena penyisihan antiscalant dengan membran tidak membutuhkan biaya yang tinggi dan lebih cepat dalam proses filtrasi, sehingga diharapkan antiscalant *sodium hexametaphosphate* aman untuk kesehatan lingkungan dan memenuhi baku mutu kadar fosfat berdasarkan Kepmen LH No.51 tahun 2004 sebesar $0,015 \text{ mg/l}$. Hasil pengolahan limbah SWRO ini juga diharapkan dapat dikonsumsi oleh manusia karena mengandung kadar garam yang tinggi. Pada penelitian ini, membran NF270 digunakan untuk memisahkan *sodium hexametaphosphate* dari limbah SWRO. Pemilihan membran ini didasarkan pada material dan ukuran pori membran komposit *polyamide* sebesar 180 Da yang diharapkan mampu menyisihkan antiscalant *sodium hexametaphosphate* dengan berat molekul 612 g/mol (612 Da).

$(\text{NH}_4)_6\text{M}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$, NH_4VO_3 , HCl, H_2SO_4 dan NaOH yang dibeli dari Merck KGaA, Jerman. Membran NF270 yang digunakan terbuat dari *polyamide* dan memiliki ukuran pori 180 Da. Membran ini dibeli di Dow FilmtecTM Membranes, USA.

Alat filtrasi membran nanofiltrasi dibuat sendiri dengan skematik yang dapat dilihat pada gambar 1. Alat ini terdiri dari tangki umpan (1), pompa (2), valve (4), pressure gauge (5), module membran (6), Tangki permeat (7) retentate.



Gambar 1 Rangkaian Unit Filtrasi Membran

2.2 Larutan Limbah Konsentrat Reverse osmosis Sintetik

Pada penelitian ini, limbah konsentrat *reverse osmosis* dibuat secara sintetik dengan menggunakan NaCl konsentrasi 60.000 ppm. *Sodium hexametaphosphate* dengan konsentrasi 2 mg/l, 4 mg/l, dan 6 mg/l dan/atau sodium alginat dengan konsentrasi 100 ppm ditambahkan ke dalam larutan garam. Larutan umpan ini dipompa menuju membran NF270 dengan tekanan bervariasi 4 bar, 5 bar, dan 6 bar.

2.3 Analisa

2.3.1 Analisa Fluks Membran Nanofiltrasi

Pengujian fluks diawali dengan memotong membran diameter 4,2 cm² untuk selanjutnya dilakukan kompaksi selama 30 menit dengan tekanan 1 bar di atas tekanan operasi. Kemudian, uji fluks awal (J_0) dilakukan dengan larutan umpan aquadest selama 15 menit dan uji fluks (J) dengan

2.3.3 Analisa Rejeksi Antiscalant *Sodium Hexametaphosphate*

Pada penelitian ini uji parameter *Sodium Hexametaphosphate* dilakukan dengan metode kurva standart menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 400 nm sesuai dengan *Standart Methode for Examination of Water and Waste Water* (APHA, 1998). Kurva standar dibuat menggunakan larutan standar

umpan larutan konsentrat sintetik. Suhu yang digunakan 25-27°C. Nilai fluks dihitung dengan persamaan (1)

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

Dengan J adalah nilai fluks (L/m².jam), T adalah waktu, V adalah volume permeat, dan A adalah luas permukaan membran. Sedangkan perhitungan persen rejeksi garam menggunakan persamaan (2).

$$R = \left(1 - \frac{C_p}{C_f}\right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2)$$

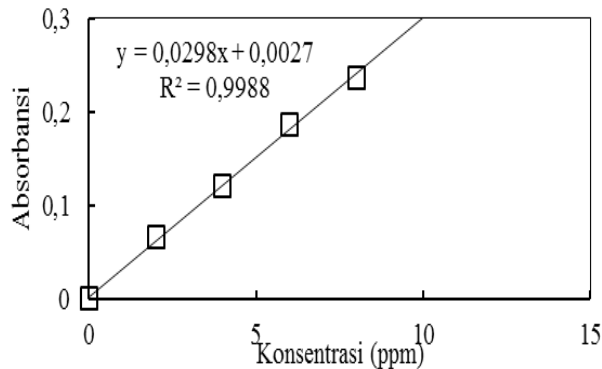
2.3.2 Analisa Total Dissolve Solid (TDS)

Pada penelitian ini uji Total Dissolve Solid (TDS) dilakukan untuk mengetahui kadar salinitas garam dalam limbah konsentrat *reverse osmosis* dengan menggunakan TDS meter (HM Digital USA).

KH₂PO₄ dengan konsentrasi 2 ppm, 4 ppm, 6 ppm, 8 ppm, dan 10 ppm dengan penambahan larutan *vanadat molibdat*. Uji rejeksi ini untuk mengetahui kadar fosfat dalam *sodium hexametaphosphate* sesuai dengan Kepmen LH No.51 tahun 2004 tentang Baku Mutu Air laut sebesar 0,015 mg/l. Kurva standart *sodium hexametaphosphate* dapat dilihat pada gambar 2. Kurva tersebut menunjukkan

hubungan linear antara konsentrasi fosfat dan absorbansi yang dinyatakan dengan persamaan 2, dimana, y adalah absorbansi dan x adalah konsentrasi.

$$y = 0,0298x + 0,0027 \quad \dots\dots\dots(3)$$



Gambar 2 Kurva Standar Fosfat KH_2PO_4

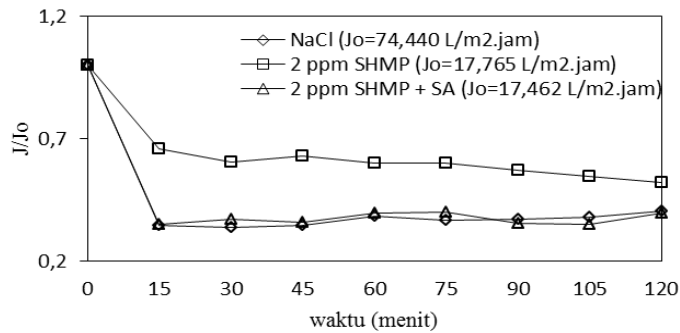
2.3.4 Karakteristik Fouling membran

Karakteristik fouling membran dilakukan dengan Uji SEM (JOEL tipe JSM – 6701F, Jepang) dengan perbesaran 1000x, 3000x, 7500x, dan 10.000x untuk mengetahui morfologi permukaan membran akibat *fouling*. Prinsip kerja SEM dengan melewati berkas elektron primer dengan energi kinetik 1-25 kV sehingga mengenai sampel membran. Setelah mengenai membran elektron tersebut direfleksikan atau dipancarkan (Mulder, 1996). Sedangkan Uji FTIR (Perkin Elmer Spectrum Version 10.4.00, United Kingdom) dilakukan untuk mengetahui gugus fungsional pada permukaan membran. Prinsip kerja FTIR adalah penyerapan resonansi secara selektif yang dihasilkan oleh ikatan kelompok fungsional tertentu ketika bereksitasi dengan adanya sinar *infra red* (Baudry et al., 2012)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh NaCl terhadap Kinerja Membran dalam Limbah Konsentrat *Reverse Osmosis*

Pada penelitian ini, akan dianalisa pengaruh NaCl terhadap Kinerja Membran dalam limbah *reverse osmosis* pada tekanan 4 bar. Larutan umpan dilakukan dengan 3 kali perlakuan, perlakuan pertama larutan umpan mengandung NaCl 60.000 ppm, perlakuan kedua larutan umpan mengandung NaCl 60.000 ppm + 2 ppm *sodium hexametaphosphate* (SHMP) dan perlakuan ketiga larutan umpan mengandung NaCl 60.000 ppm + 2 ppm *sodium hexametaphosphate* (SHMP) +100 ppm *sodium alginate* (SA). Gambar 1 menunjukkan nilai relative fluks NaCl dalam limbah konsentrat *reverse osmosis* terhadap waktu filtrasi pada tekanan 4 bar.



Gambar 3. Profil relative fluks terhadap waktu filtrasi pada variasi konsentrasi larutan umpan mengandung 2 ppm SHMP dan 2 ppm SHMP + SA

Larutan umpan yang mengandung 60.000 ppm NaCl memberi pengaruh terhadap penurunan fluks membran. Hal ini dapat dibuktikan dengan penurunan relative fluks pada larutan tunggal dengan kandungan NaCl. Fouling inorganik NaCl diatas permukaan membran terjadi secara *pore blocking*, hal ini karena interaksi antara ion positif Na^+ dan muatan negatif dari membran sehingga menimbulkan *cake layer formation* (Jarusuthirak *et al.*, 2007). Peristiwa *fouling* yang terjadi pada penelitian ini diawali dengan polarisasi konsentrasi akibat rejeksi garam-garam terlarut (NaCl) pada saat proses filtrasi berlangsung dan pada keadaan tertentu, garam-garam tersebut akan mengalami supersaturasi yang diikuti oleh pembentukan inti kristal dan pertumbuhan kristal (Wang *et al.*, 2005) sehingga menyebabkan penurunan fluks membran.

Pada larutan umpan garam dengan penambahan antiscalant *sodium*

hexametaphosphate, nilai relative fluks meningkat jika dibandingkan dengan larutan umpan NaCl dan larutan umpan yang mengandung 2 ppm *sodium hexametaphosphate* dan sodium alginat. Hal ini terjadi karena antiscalant *sodium hexametaphosphate* dapat mencegah proses kristalisasi garam diatas permukaan membran akibat rejeksi NaCl (Darton *et al.*, 2000). Kadar antiscalant *sodium hexametaphosphate* yang efektif dalam memecah kristal garam menurut (El-Khalek *et al.*, 2013) yaitu 1-5 ppm.

Pada larutan umpan garam yang mengandung *sodium hexametaphosphate* dan sodium alginat nilai fluks cenderung menurun. Hal ini dapat dijelaskan bahwa terdapat pengaruh interaksi antara komponen *ionic* dalam larutan umpan garam yaitu Na^+ yang berpengaruh terhadap *fouling* karena adsorpsi sodium alginat (Wu Jinjian *et al.*, 2014).

Tabel 1. Persen Rejeksi Kadar Garam dalam Limbah Konsentrat Reverse Osmosis

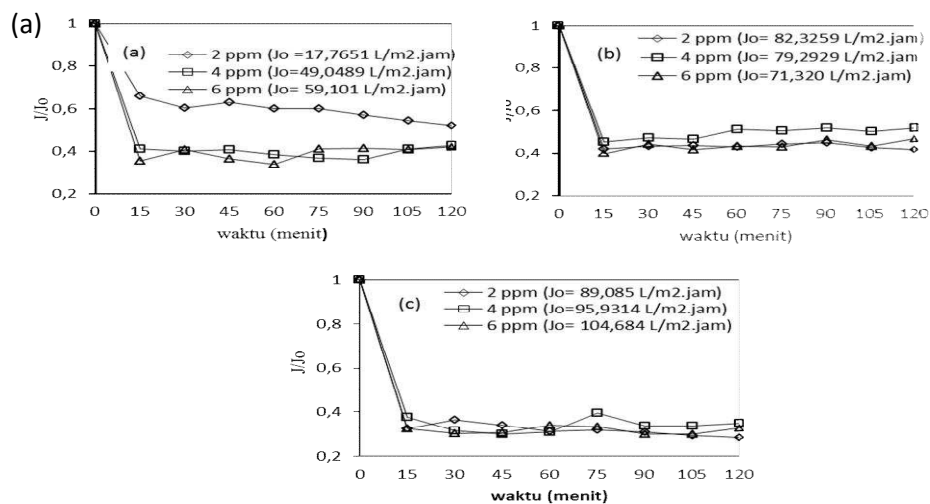
Konsentrasi Umpan SHMP + SA	Konsentrasi Umpan Garam (ppm)	Tekanan Operasi (Bar)	Konsentrasi Akhir	% R
2 ppm SHMP	60.000	4	47.900	20,2
2 ppm SHMP + 100 ppm SA	60.000	4	48.300	19,5

Perhitungan nilai rejeksi larutan umpan garam dalam limbah konsentrat *reverse osmosis* diuji menggunakan TDS meter. Hasil rejeksi menunjukkan nilai % rejeksi larutan umpan garam yang mengandung 2 ppm *sodium hexametaphosphate* 20,2 % dan % rejeksi larutan umpan garam 2 ppm *sodium hexametaphosphate* dan 100 ppm sodium alginat yaitu 19,5 %. Hasil rejeksi yang kecil ini dipengaruhi oleh kinerja membran nanofiltrasi secara *sieving mechanism/size exclusion* yaitu pemisahan berdasarkan ukuran pori, sehingga ukuran partikel larutan umpan yang lebih besar dari ukuran pori membran akan tertahan pada permukaan membran dan ukuran partikel yang lebih kecil dari membran akan lolos melewati membran (Wang, *et al.*, 2007). NaCl memiliki berat molekul 58,44 g/mol sedangkan ukuran pori atau *Molecular Weight Cut Off* (MWCO) membran NF270 Polyamide adalah 180 Da = g/mol yang artinya berat molekul senyawa NaCl lebih kecil daripada pori membran NF270 sehingga NaCl lolos dari permukaan membran. Hasil penelitian ini sesuai dengan

penelitian (Kaya *et al.*, 2015) yang menunjukkan bahwa nilai rejeksi garam pada pre treatment *reverse osmosis* mencapai 20,8 %.

3.2 Pengaruh Konsentrasi Antiscalant *Sodium Hexametaphosphate* dalam Limbah Konsentrat *Reverse Osmosis* terhadap Kinerja Membran

Kinerja membran ditentukan oleh parameter nilai fluks dan rejeksi. Relative fluks dihitung dengan membandingkan nilai fluks permeat (J) dan nilai fluks awal (J_0). Sedangkan rejeksi ditentukan dengan menghitung nilai konsentrasi permeat sebelum dan sesudah filtrasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Pada penelitian ini *sodium hexametaphosphate* dengan konsentrasi 2, 4, dan 6 ppm ditambahkan ke dalam larutan NaCl 60.000 ppm untuk selanjutnya difiltrasi menggunakan membran NF270 pada tekanan 4, 5, dan 6 bar. Gambar 4 menunjukkan nilai relative fluks terhadap waktu filtrasi selama 120 menit dengan berbagai konsentrasi *sodium hexametaphosphate* pada berbagai variasi tekanan operasi.



Gambar 4 Profil relative fluks terhadap waktu filtrasi pada variasi konsentrasi *Sodium Hexametaphosphate* dengan tekanan (a) 4 bar, (b) 5 bar, dan (c) 6 bar.

Konsentrasi antiscalant *sodium hexametaphosphate* berpengaruh terhadap relative fluks membran. Pada tekanan 4 bar, semakin tinggi konsentrasi antiscalant *sodium hexametaphosphate* maka penurunan relative fluks semakin tajam kecuali pada konsentrasi 4 dan 6 ppm memiliki nilai relative fluks hampir sama (gambar 4a). Hal ini dapat dijelaskan karena interaksi antara larutan umpan yang mengandung senyawa *sodium hexametaphosphate* dengan membran. Pada penelitian ini larutan umpan *sodium hexametaphosphate* memiliki pH = 6. Pada pH 6, *sodium hexametaphosphate* bermuatan positif sedangkan membran bermuatan negatif karena berada di atas titik isoelektriknya yaitu pH 4,2. Hal ini sesuai dengan penelitian (Simon et al., 2012) yang menyatakan jika permukaan dan pori membran akan bermuatan negatif apabila berada pada range pH 4.4-8.3. Interaksi antara senyawa *sodium hexametaphosphate* bermuatan positif dan membran bermuatan negatif ini akan menimbulkan gaya tarik menarik antara *sodium hexametaphosphate* dan membran sehingga membentuk *electrical double layer* dan mengakibatkan *sodium hexametaphosphate* terdeposit di atas permukaan membran. Sehingga menjadi foulant tersendiri dan menurunkan fluks membran (Schutte et al., 2015; Singh et al., 2005; Andreola et al., 2004).

Sedangkan pada konsentrasi 2 ppm *sodium hexametaphosphate* nilai relative fluks paling efektif. Hal ini karena semakin tinggi konsentrasi antiscalant akan mempengaruhi *threshold effect* dari kinerja antiscalant dalam memecah *scaling* (El-Khalek et al., 2013) sehingga yang seharusnya memecah kristal justru membentuk kristal antiscalant. Sebagai akibatnya, kristal antiscalant yang terbentuk meningkatkan polarisasi konsentrasi di atas permukaan membran sehingga terjadi penurunan fluks (Oh et al., 2009).

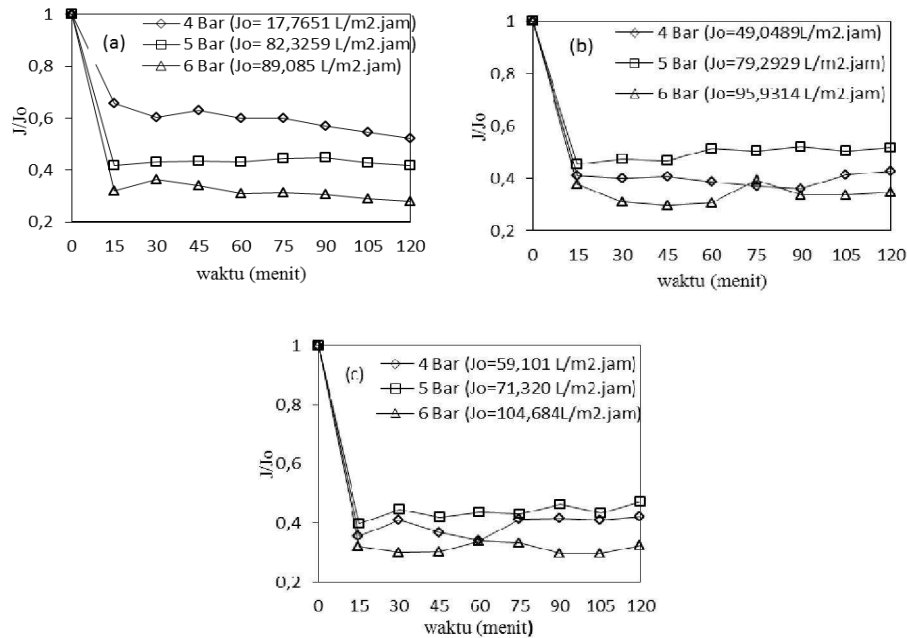
Pada tekanan 5 bar, relative fluks tertinggi terjadi pada konsentrasi 4 ppm (gambar 4b). Hal ini terjadi karena semakin tinggi konsentrasi antiscalant membutuhkan transport hidrodinamik yang lebih tinggi untuk memecah *scaling* (Oh et al., 2009). Pada tekanan 6 bar, semakin tinggi konsentrasi antiscalant tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap relative fluks (gambar 4c). Hal ini dapat dijelaskan bahwa *sodium hexametaphosphate* mempunyai sifat mudah larut dalam air sehingga cenderung hidrofilik (Andreola et al., 2004), akibatnya partikel *sodium hexametaphosphate* banyak tertahan di atas permukaan membran. Sedangkan menurut (Kalliapan et al., 2005), tekanan yang besar akan meningkatkan *hydrodinamic* sehingga banyak partikel *sodium hexametaphosphate* terdeposit karena sifat hidrofilisitas yang lebih dominan. Dengan demikian, peningkatan konsentrasi *sodium hexametaphosphate* tidak berpengaruh terhadap relative flux pada tekanan tinggi.

Kristal. (Darton et al., 2000) menjelaskan mekanisme antiscalant dalam mencegah *scaling* dimulai dengan *threshold effect*, *crystal distortion effect* dan *dispersancy*. Kation (Na^+) dan anion (Cl^-) merupakan salah satu formasi pembentuk *scaling* di atas permukaan membran. Pada kondisi tertentu ketika larutan telah jenuh (*threshold effect*) dan mencapai keadaan supersaturasi NaCl akan membentuk kristal, peran antiscalant yaitu dengan menginterfensi pembentukan kristal sehingga bentuk struktur kristal tidak beraturan (*crystal distortion effect*), selanjutnya antiscalant akan membentuk selaput bermuatan disekeliling kristal, akibatnya kristal saling tolak menolak dan menurunkan kemampuannya untuk membentuk kerak (*dispersancy*). Dari fenomena ini dapat dilihat bahwa peran

antisclant sangat penting untuk mencegah
3.3 Pengaruh tekanan terhadap Kinerja membran dalam penyisihan *sodium hexametaphosphate* dari Limbah Konsentrat Reverse Osmosis

Pada penelitian ini, pengaruh tekanan operasi terhadap kinerja membran dianalisa pada berbagai konsentrasi *sodium*

scaling diatas permukaan membran. *hexametaphosphate*. Gambar 7 menunjukkan nilai relative fluks terhadap waktu filtrasi pada berbagai variasi tekanan dalam penyisihan *sodium hexametaphosphate* dari limbah konsentrat *reverse osmosis*.



Gambar 7 Profil relative fluks terhadap waktu filtrasi pada berbagai tekanan dengan konsentrasi *sodium hexametaphosphate* (a) 2 ppm, (b) 4 ppm, dan (c) 6 ppm.

Pada konsentrasi 2 ppm, semakin tinggi tekanan maka penurunan fluks semakin tajam dan penyisihan *sodium hexametaphosphate* optimal pada tekanan 4 bar (gambar 7a). Hal ini sesuai dengan penelitian Oh *et al.* (2009) yang menyatakan bahwa penyisihan antisclant *sodium hexametaphosphate* dipengaruhi oleh transport hidrodinamik dari tekanan operasi dan kecepatan *crossflow*.

Pada konsentrasi 4 ppm, penyisihan *sodium hexametaphosphate* optimum pada tekanan 5 bar dan terjadi penurunan fluks

pada tekanan 4 dan 6 bar (gambar 7b). Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi *sodium hexametaphosphate* maka tekanan yang dibutuhkan semakin besar untuk menyisihkan *sodium hexametaphosphate*. Fenomena ini dijelaskan oleh Oh *et al.*, (2013). Kenaikan tekanan operasi ini tergantung pada konsentrasi zat yang akan disisihkan (Kalliapan *et al*, 2005).

Pada konsentrasi 6 ppm, penurunan fluks tekanan 6 bar lebih tajam dibandingkan tekanan 4 dan 5 bar. Hal ini

telah dijelaskan pada pembahasan sebelumnya bahwa kenaikan transport hidrodinamik mempengaruhi proses penyisihan antiscalant (Oh *et al*, 2013), namun karena dimungkinkan pengaruh hidrofilisitas dari *sodium hexametaphosphate* lebih kuat daripada transport hidrodinamik membran maka penurunan fluks terjadi. Sedangkan konsentrasi antiscalant 6 ppm pada tekanan 4 dan 5 bar tidak memberikan pengaruh secara signifikan karena relative fluks cenderung sama. Hal ini dapat dijelaskan karena kenaikan konsentrasi antiscalant yang digunakan yaitu 6 ppm sehingga dibutuhkan tekanan operasi yang lebih besar untuk proses penyisihan (Kalliapan *et al*, 2005). Secara umum penurunan fluks yang

ditunjukkan gambar 7 terjadi karena deposisi padatan tersuspensi dan konsentrasi polarisasi senyawa *sodium hexametaphosphate* di atas permukaan membran.

Tabel dibawah ini menunjukkan nilai rejeksi fosfat dalam penyisihan *sodium hexametaphosphate* dari limbah *reverse osmosis* konsentrat. Pada konsentrasi 2 ppm, nilai rejeksi optimum pada tekanan 4 bar. Pada konsentrasi 4 ppm, nilai rejeksi optimum pada tekanan 5 bar. Sedangkan pada konsentrasi 6 ppm, nilai rejeksi optimum pada tekanan 5 bar. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi *sodium hexametaphosphate* maka dibutuhkan tekanan yang lebih besar untuk proses penyisihan.

Tabel 2 Persen Rejeksi Kadar Fosfat dalam *Sodium Hexametaphosphate* Pada Tekanan 4 Bar

Konsentrasi SHMP (ppm)	Tekanan Operasi (Bar)	Absorbansi	Konsentrasi Awal	Konsentrasi Akhir	% R
2	4	0,003	1,25	0,01	99,20
4	4	0,006	2,02	0,11	94,53
6	4	0,013	2,56	0,34	86,50

Tabel 3 Persen Rejeksi Kadar Fosfat dalam *Sodium Hexametaphosphate* Pada Tekanan 5 Bar

Konsentrasi SHMP (ppm)	Tekanan Operasi (Bar)	Absorbansi	Konsentrasi Awal	Konsentrasi Akhir	% R
2	5	0,007	1,25	0,24	88,47
4	5	0,004	2,02	0,47	97,84
6	5	0,004	2,56	0,04	98,30

Tabel 4 Persen Rejeksi Kadar Fosfat dalam *Sodium Hexametaphosphate* Pada Tekanan 6 Bar

Konsentrasi SHMP (ppm)	Tekanan Operasi (Bar)	Absorbansi	Konsentrasi Awal	Konsentrasi Akhir	% R
2	6	0,004	1,25	0,04	96,51
4	6	0,007	2,02	0,17	92,87
6	6	0,009	2,56	0,04	91,74

Penyisihan *sodium hexametaphosphate* dengan membran NF270 menggunakan tekanan sebagai *driving force* (Dasilva dkk., 2007) terjadi dengan mekanisme pengayakan, dimana membran akan memisahkan larutan/umpan karena perbedaan ukuran pori. Berat molekul *sodium hexametaphosphate* adalah 612 g/mol (612 Da) (El Khalek *et al*, 2013) dan ukuran membran NF270 180 Da, sehingga secara teoritis *sodium hexametaphosphate* akan tertahan pada permukaan membran dikarenakan berat molekulnya lebih besar dibanding dengan pori membran.

Pada penelitian ini konsentrasi antiscalant *sodium hexametaphosphate* sebelum dan sesudah filtrasi dihitung dengan spektrofotometer UV-Vis, selanjutnya dihitung nilai % rejeksi yang dihasilkan. Tabel diatas menunjukkan nilai % rejeksi konsentrasi antiscalant *sodium hexametaphosphate* terhadap variasi konsentrasi dan tekanan operasi. Tingkat rejeksi yang dihasilkan membran NF270 dalam penyisihan antiscalant *sodium hexametaphosphate* rata-rata mencapai $\pm 93\%$, nilai rejeksi yang tinggi ini menunjukkan bahwa membran NF270 terbukti mampu menyisihkan kadar antiscalant *sodium hexametaphosphate*.

Pada tabel dapat dilihat bahwa nilai rejeksi optimum konsentrasi 2 ppm pada tekanan 4 bar sebesar 99,20 %, konsentrasi 4 ppm pada tekanan 5 bar sebesar 97,84% dan

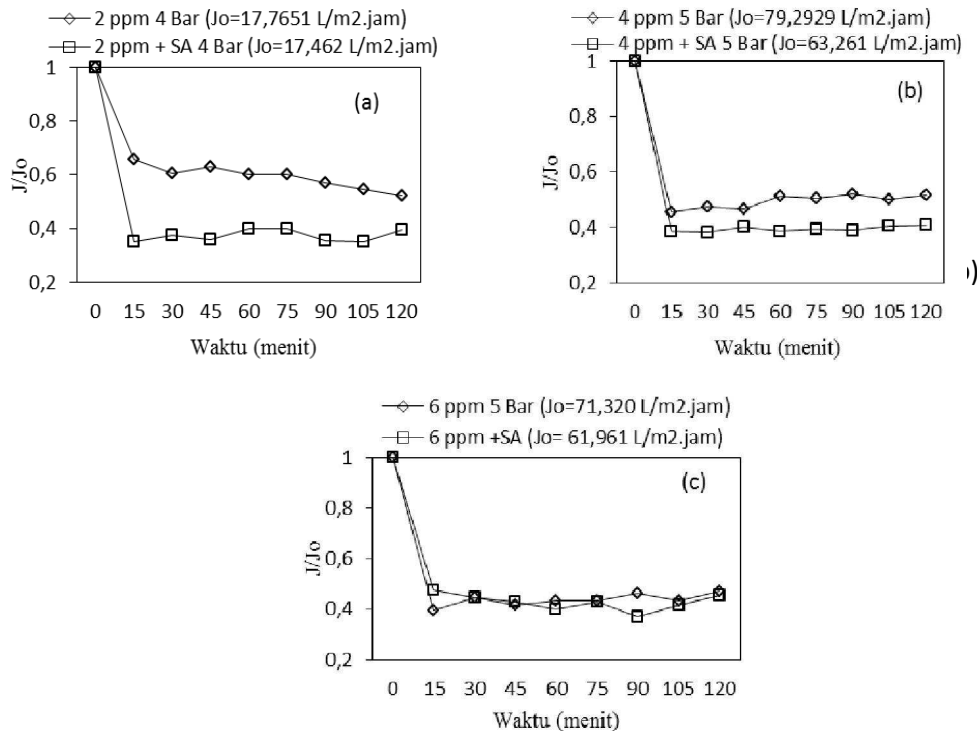
3.4 Pengaruh Penambahan Sodium Alginat terhadap Kinerja Membran dalam penyisihan *sodium hexametaphosphate*

Pada penelitian ini, sodium alginat sebagai model polisakarida ditambahkan ke dalam larutan umpan yang mengandung *sodium hexametaphosphate* dan NaCl untuk

konsentrasi 6 ppm pada tekanan 5 bar sebesar 98,30 %. Hal ini dapat dijelaskan bahwa pada konsentrasi 2 ppm dan 4 ppm *sodium hexametaphosphate* efektif untuk mencegah *fouling* inorganik akibat konsentrasi NaCl diatas permukaan membran (Darton *et al*, 2000).

Pengujian hasil rejeksi dilakukan menggunakan *spektrofotometer uv-vis* dengan penambahan larutan vanadat molibdat untuk mengetahui kadar fosfat yang terkandung pada antiscalant *sodium hexametaphosphate*. Kadar Fosfat harus disisihkan sehingga aman untuk lingkungan dan memenuhi baku mutu air laut sesuai dengan peraturan Kepmen LH No.51 tahun 2004 sebesar 0,015 mg/l. Kadar fosfat yang terkandung di dalam *sodium hexametaphosphate* adalah 60-65 %, hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan untuk konsentrasi *sodium hexametaphosphate* 2 ppm, 4 ppm dan 6 ppm berturut turut yang mengandung kadar fosfat 1,25 ppm; 2,02 ppm; dan 2,56 ppm. selanjutnya dilakukan penyisihan dengan membran NF270 selama 120 menit untuk menurunkan kadar fosfat, sehingga diperoleh nilai seperti pada table. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pada konsentrasi 2 ppm *sodium hexametaphosphate* telah memenuhi baku mutu kadar fosfat sesuai dengan peraturan Kepmen LH No.51 tahun 2004 yaitu 0,01 ppm.

selanjutnya difiltrasi menggunakan membran nanofiltrasi. Gambar 8 menunjukkan grafik hubungan relative fluk terhadap waktu filtrasi selama 120 menit dengan penambahan sodium alginat ke dalam larutan umpan yang mengandung *sodium hexametaphosphate* dan NaCl pada tekanan optimum.



Gambar 8 Perbandingan Profil relative fluks terhadap waktu *sodium hexametaphosphate* dengan dan tanpa penambahan sodium alginat (a) 2 ppm 4 bar (b) 4 ppm 5 bar (c) 6 ppm 5 bar

Keberadaan sodium alginat berpengaruh terhadap relative fluks membran. Pada konsentrasi 2 ppm dan 4 ppm *sodium hexametaphosphate* tekanan 4 bar dan 5 bar, penambahan sodium alginat akan menyebabkan penurunan fluks, gambar 8 (a) dan gambar 8 (b). Hal ini dapat dijelaskan bahwa terdapat pengaruh interaksi antara komponen *ionic* dalam larutan umpan garam yaitu Na^+ yang berpengaruh terhadap *fouling* karena adsorpsi sodium alginat (Wu Jinjian *et al*, 2014). Interaksi ini menyebabkan tingkat adsorpsi kimia di atas permukaan membran menjadi tinggi sehingga menyumbat pori membran dan berpengaruh terhadap kinerja membran. Sedangkan pada konsentrasi 6 ppm tekanan 5 bar, penambahan sodium alginat tidak memberikan pengaruh yang

signifikan (gambar 8c). Hal ini dapat dijelaskan bahwa pada konsentrasi 6 ppm *sodium hexametaphosphate* tidak bekerja secara efektif sebagai antiscalant, sehingga tidak dapat mencegah proses pengkristalan dan justru meningkatkan fenomena *fouling* (El-Khalek *et al*, 2013). Selain itu karena sifat *sodium hexametaphosphate* yang mudah larut dalam pelarut organik, maka *sodium hexametaphosphate* dan sodium alginat akan berinteraksi membentuk lapisan gel sehingga terjadi peningkatan akumulasi *fouling* diatas permukaan membran (Andreola *et al*, 2004).

Dalam penelitian ini selain diamati pengaruh sodium alginate terhadap fluks permeat, ingin pula diketahui pengaruh sodium alginat terhadap hasil rejeksi membran. Berikut hasil rejeksi dari

konsentrasi *sodium hexametaphosphate* alginat pada tekanan optimum.
tanpa dan dengan penambahan sodium

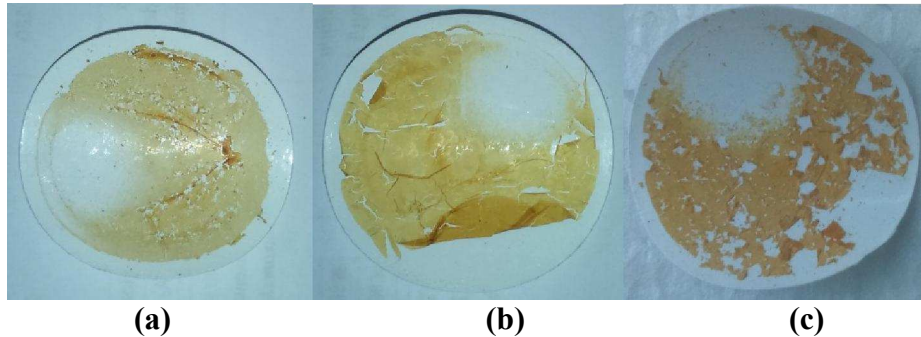
Tabel 5 Persen Rejeksi Kadar Fosfat dalam *sodium hexametaphosphate* (SHMP) dengan dan tanpa Sodium Alginat (SA)

Konsentrasi SHMP (ppm)	Tekanan Operasi (Bar)	% R SHMP tanpa SA	%R SHMP +SA
2	4	99,20	99,20
4	5	97,84	91,21
6	5	98,30	95,67

Dari tabel 5 dapat dilihat bahwa penambahan sodium alginat konsentrasi 2 ppm tekanan 4 bar nilai rejeksinya sama dengan tanpa penambahan sodium alginat, sedangkan pada konsentrasi 4 ppm dan 6 ppm terjadi penurunan nilai rejeksi. Hal ini dapat dijelaskan karena sifat senyawa *sodium hexametaphosphate* yang mudah terhidrolisis dalam larutan. Pada penelitian ini pH *sodium hexametaphosphate* berada pada kondisi asam sehingga terurai menjadi *sodium trimetaphosphate* dan *sodium orthophosphate*. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Wazer (1958). *Sodium trimetaphosphate* mempunyai berat molekul 306 gr/mol, sedangkan *sodium orthophosphate* memiliki berat molekul 164 gr/mol (Wazer, 1958). Berat molekul *sodium orthophosphate* berada di bawah berat molekul membran nanofiltrasi *polyamide* yaitu 180 Da, sehingga *sodium orthophosphate* akan lolos dari permukaan membran dan terjadi penurunan nilai rejeksi. Namun hasil penelitian ini berbeda dengan hasil penelitian (Listiarini *et al.*, 2011) yang menyatakan jika penambahan sodium alginat akan meningkatkan *fouling* dan rejeksi membran. Sebab penambahan sodium alginat hanya meningkatkan *fouling*

membran namun tidak menaikkan nilai rejeksi. Hal ini bisa terjadi karena variasi konsentrasi dan karakterisasi *feed* yang berbeda untuk setiap pengujian dalam penelitian (Zazouli *et al.*, 2009). Beberapa penelitian menjelaskan tentang mekanisme penurunan rejeksi atau rejeksi yang hampir sama dari mikropolutan dengan adanya NOM. Ketiadaan ikatan antara mikropolutan dengan NOM sebagai alasan tidak berubahnya tingkat rejeksi (Munari *et al.*, 2013). NOM sering muncul dalam air dan mempengaruhi mikropolutan dalam penyisihannya dengan nanofiltrasi. NOM dapat menyebabkan penyisihan meningkat, menurun atau tidak mempengaruhi sama sekali (Plakas dan karabelas., 2011).

Tingginya konsentrasi garam yang digunakan dalam larutan umpan mendukung terjadinya konsentrasi polarisasi alginat di permukaan membran, yaitu dengan pemampatan *electrical double layer* yang terbentuk dipermukaan molekul alginat dan membran. Dengan begitu pengaruh muatan pada keduanya akan berkurang. Selanjutnya, interaksi antara membran dan molekul alginat akan meningkat karena gaya tolak menolak elektrostatis antar molekul alginat-membran (Ven *et al.*, 2007 dan Lee *et al.*, 2006).

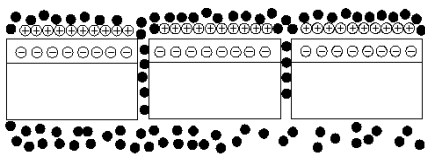
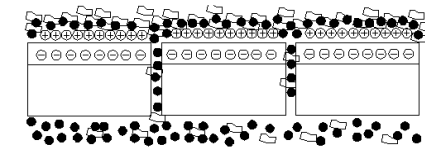
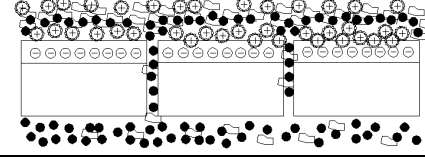


Gambar 9 Hasil Filtrasi Permukaan Membran NF270 (a) 2 ppm + sodium alginat 4 bar (b) 4 ppm + sodium alginat 5 bar (c) 6 ppm + sodium alginat 5 bar

Pada gambar 9 dapat dilihat jika terdapat pengaruh sodium alginat pada hasil filtrasi membran, sodium alginat akan membentuk lapisan menyerupai gel ketika kondisi basah di atas permukaan membran dan menjadi *layer* ketika kondisi membran kering. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Wu Jinjian *et al.*, 2014) dan didukung oleh hasil SEM pada gambar 11 (c). Sedangkan untuk pembentukan *layer* sodium alginat di permukaan membran terjadi karena pengaruh interaksi ionik dalam umpan garam terhadap kesetimbangan adsorpsi

alginat dengan kekuatan ion. Kemampuan alginat dalam air antara lain dapat meningkatkan viskositas dan membentuk gel, selain itu menurut (Ven *et al.*, 2008) mekanisme pembentukan gel dengan ion monovalen disebabkan oleh terjadinya *chelation* (masuknya ion logam kedalam struktur molekul organik).

Di bawah ini disajikan ilustrasi penyisihan antiscalant *sodium hexametaphosphate* dengan dan tanpa penambahan sodium alginat pada larutan umpan yang mengandung NaCl 60 gr.

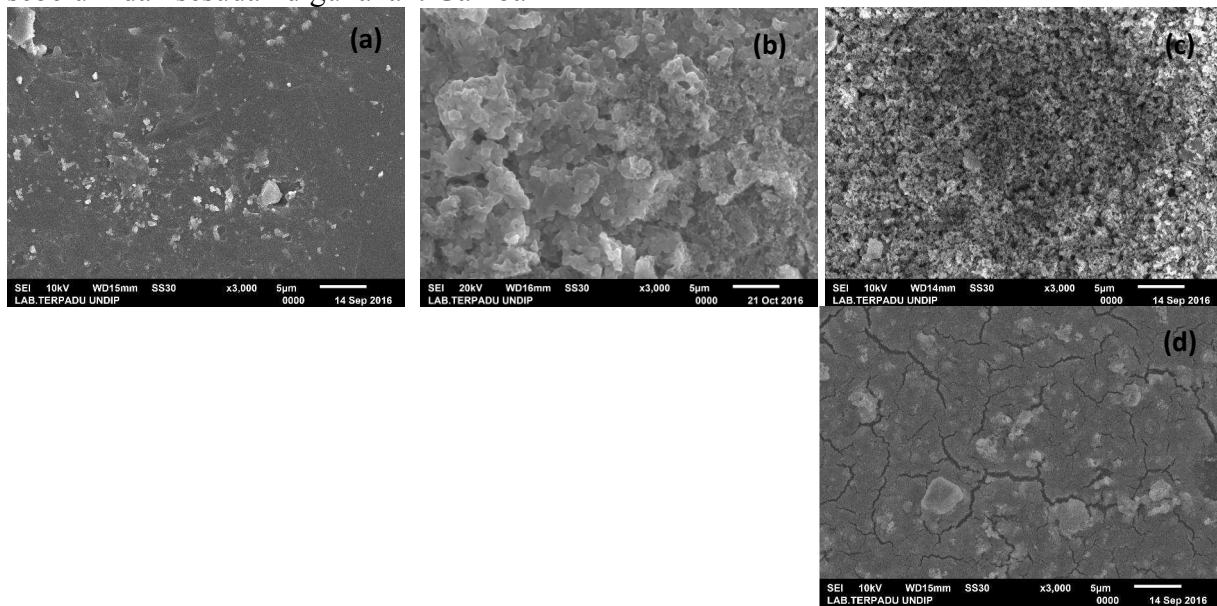
Larutan Feed	NaCl 60 gr	
Tanpa Antiscalant <i>Sodium Hexametaphosphate</i>		⊖ Membran (-) ⊕ Na (+) ● NaCl
Dengan Antiscalant <i>Sodium Hexametaphosphate</i>		⊖ Membran (-) ⊕ Na (+) ● NaCl □ SHMP
<i>Antiscalant Sodium Hexametaphosphate</i> + Sodium Alginat		⊖ Membran (-) ⊕ Na (+) ● NaCl □ SHMP ○ Alginat ⊕ Na(+) + Alginat

Gambar 10 Ilustrasi Fenomena Fouling dengan dan tanpa Antiscalant + Sodium Alginat pada Larutan Umpan NaCl 60 gr

3.5 Membrane Surface Morphology

Analisa SEM bertujuan untuk mengetahui struktur morfologi membran sebelum dan sesudah digunakan. Gambar 11

menunjukkan hasil SEM membran dari sebelum dan sesudah filtrasi menggunakan *sodium hexametaphosphate*.



Gambar 11. Perbandingan Hasil Uji SEM Membran NF270 perbesaran 3000 x (a) *fresh* membran (b) larutan garam 60.000 ppm (c) larutan umpan garam + 2 ppm antiscalant *sodium hexametaphosphate* (d) larutan umpan garam + 2 ppm antiscalant *sodium hexametaphosphate* + 100 ppm Sodium Alginat

Deposit *sodium hexametaphosphate* terlihat porous dan jelas di atas permukaan membran, sedangkan keberadaan sodium alginat mengakibatkan partikel *sodium hexametaphosphate* menjadi dense. Hal ini dapat dijelaskan bahwa penambahan antiscalant *sodium hexametaphosphate* akan mencegah pembentukan kristal di atas permukaan membran akibat polarisasi konsentrasi garam di atas permukaan membran. Fouling inorganik NaCl di atas permukaan membran terjadi secara *poor blocking*, hal ini karena interaksi antara ion positif Na^+ dan muatan negatif dari membran sehingga menimbulkan *cake layer formation* (Jarusuthirak *et al.*, 2007) seperti

(gambar 11b) dan ketika ada penambahan antiscalant *sodium hexametaphosphate* akan terjadi peristiwa *Crystal Distortion Effect* sehingga bentuknya tidak beraturan (gambar 11c). Hal ini terjadi karena antiscalant berperan dalam proses pencegahan *scaling* pada permukaan membran. Seperti yang dijelaskan (Darton *et al.*, 2000) salah satu tahap proses pencegahan *scaling* adalah *Crystal Distortion Effect* yaitu menginterferensi pembentukan kristal sehingga bentuk dan struktur kristal tidak beraturan sehingga menurunkan kemampuannya untuk membentuk kerak (*scale*) pada permukaan membran. Kemudian untuk gambar 11 (d) ketika

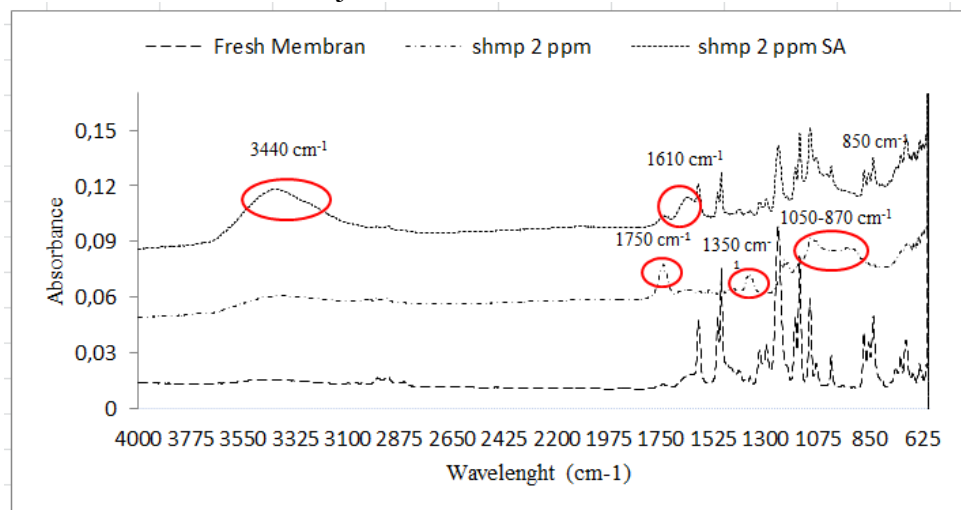
ditambahkan sodium alginat 100 mg/l ke dalam larutan umpan, maka akan terjadi peristiwa fouling yang ditandai dengan pembentukan gel diatas permukaan membran. Dari gambar dapat dilihat *fouling* terjadi akibat gel/cake layer formation. Menurut (Wu Jinjian *et al*, 2014), gel layer formation ini terjadi karena adanya

3.6 Fourier Transform-Infrared Spectroscopy

Karakterisasi fouling membran dapat dilihat dengan menggunakan metode FTIR untuk mengetahui gugus fungsi yang ada pada permukaan membran. Hasil uji FTIR

presipitasi solut organik pada permukaan membran. Sedangkan untuk pembentukan *layer* sodium alginat di permukaan membran terjadi karena pengaruh interaksi ionik dalam umpan garam terhadap kesetimbangan adsorpsi alginat dengan kekuatan ion.

untuk membran nanofiltrasi *polyamide* dengan umpan larutan antiscalant *sodium hexametaphosphate* dalam limbah *reverse osmosis* konsentrat dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12 Spektrum FTIR pada membran NF270 pada *fresh* membran, larutan antiscalant SHMP (*sodium hexametaphosphate*) dengan dan tanpa SA (*sodium alginat*)

Gambar 12 menunjukkan karakteristik fouling yang terjadi pada permukaan membran, yang ditandai dengan terjadinya pergeseran dari *peak* spektrum dan muncul *peak* spektrum baru. Dapat dilihat jika terdapat perbedaan spektrum membran NF270 pada *fresh* membrane dan larutan antiscalant *sodium hexametaphosphate* dengan sodium alginat (SA). Gugus fosfat di atas permukaan membran ditunjukkan dengan peak 1050-870 cm⁻¹. Hal ini sesuai dengan (Stuart, 2004) yang menyatakan bahwa pada peak 1050-870 cm⁻¹ mengandung ikatan gugus fungsi P-O.

Gugus fungsi ini menunjukkan bahwa senyawa fosfat dalam *sodium hexametaphosphate* tertahan diatas permukaan membran. Sedangkan kemunculan *peak* sodium alginat ditunjukkan pada 3440 cm⁻¹ dan 1636 cm⁻¹. Hal ini sesuai dengan penelitian (Brown dan Muri, 2005) yang menyatakan jika sodium alginat merupakan polimer alam dengan gugus aromatik (R-O-R) yang mengandung gugus -OH, -COOH, -C=C- dan -C=O. Peak 3440 cm⁻¹ berada dalam rentang bilangan gelombang (3500-3200 cm⁻¹) yang menunjukkan adanya gugus fungsi O-H,



peak 1636 cm^{-1} berada dalam rentang bilangan gelombang ($1760\text{-}1665\text{ cm}^{-1}$) yang menunjukkan adanya gugus karbonil (C=O) sebagai gugus aromatik, sedangkan peak 850 cm^{-1} berada dalam rentang bilangan gelombang ($830\text{-}750\text{ cm}^{-1}$) yang menunjukkan adanya gugus fungsi P-O-C. Secara umum, hasil pembacaan FTIR (gambar 12) mendukung hasil pengujian SEM (gambar 11) yang menunjukkan karakteristik fouling di atas permukaan membran.

4. Kesimpulan

Hasil menunjukkan bahwa konsentrasi 2 ppm tekanan 4 bar efektif dalam penyisihan

Acknowledgments

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Mer-C (*Membran Research Center*) yang telah membiayai penelitian ini.

sodium hexametaphosphate. Hal ini dibuktikan dengan nilai relative fluks dan rejeksi yang menunjukkan nilai paling optimum yaitu 99,20 % dengan konsentrasi setelah filtrasi 0,01 ppm sehingga memenuhi baku mutu fosfat sesuai Kepmen LH No.51 tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut. Sedangkan pengaruh penambahan adanya *Natural Organic Matter* (NOM) menurunkan nilai fluks dan rejeksi pada membran sehingga berpengaruh terhadap kinerja membran. Hal ini didukung dengan hasil SEM dan FTIR yang telah dilakukan.

REFERENSI

- Acero. J.L., Benitez, F.J., Real, F.J., Garcia, C., 2008. *Removal of Phenyl-Urea Herbicides in Natural Waters by UF Membranes : Permeate Flux, Analysis of Resistances and Rejection Coefficients*. Journal of separation and purification technology 65, 322-330
- Almazan, J.E., Dondiz, E.M.R., Rajal, V.B., Vidaurre, E.F.C. 2015. *Nanofiltration of Glucose : Analysis of Parameters and Membrane Characterization*. Journal of Chemical Engineering Research and Design. 94, 485-493
- Amdjat (Ed). 1993. *Reverse Osmosis : Membrane Technology, Water Chemistry, Application*. New York, NY : Van Nostrand Reinhold Publishing Co
- Andreola, F., Castellini, E., Manfredini, T., Romagnoli, M., *The Role Of Sodium Hexametaphosphate In The Dissolution Process Of Kaolinite and Kaolin*. Journal of the Europe Ceramic Society 24, 2113-2124
- APHA 1998. *Standard Method for Examination of Water and Waste Water*, 20th Edition, Washington.
- Baker, R.W. 2004. *Membrane Technology and Applications 2nd Edition*. West Sussex : John Wiley & Sons, Ltd.
- Baudry, M.R., Gouttefangeas, F., Lannic, J.L., dan Rabiller, P. 2012. *Coupling Of SEM-EDX And FTIR-ATR To (Quantitatively) Investigate Organic Fouling On Porous Organic Composite Membranes*. Current Microscopy Contributions to Advances in Science and Technology (A. Méndez-Vilas, Ed.) FORMATEX
- Boels, L., Tervahauta, T., Witkamp, G.J. 2010. *Adsorptive Removal of Nitritotris (methylenephosphonic acid) Antiscalant from Membrane Concentrates by Iron-Coated Waste Filtration Sand*. Journal of Hazardous Materials (855-862).Netherlands : University of Technology.
- Brown, P.J. and muri, J.M. 2005. *Alginate Fibres*. In : Blackburn RS, Ed. *Biodegradable and Sustainable Fibres*. Woodhead Publishing Ltd, cambridge, pp : 89-109
- Butt, F.H., Rahman, F., Baduruthamal, U., 1997. *Evaluation Of SHMP and Advanced Scale Inhibitors For Control Of CaSO₄, SrSO₄, and CaCO₃ Scales In RO Desalination*. Desalination 109, 323-332
- Darton, E. G., 2000, *Scale Inhibition Techniques Used in membrane Systems*. PermaCare USA, Inc.
- Dasilva and Marta S.F. 2007. *Polyamide and Polyetherimide Organic Solvent Nanofiltration Membranes*. Thesis.UniversityOf Nova De Lisboa
- El-Khalek, D.E Abd., Abd, B.A., 2013. *Evaluation Of Sodium Hexametaphosphate as Scale and Corrosion Inhibitor In Cooling Water Using Electrochemical Technique*. Desalination 311, 227-233
- Gonzalez, Perez.,Urtiaga, A.M., Ibanez, R., Ortiz, I., 2012. *State Of The Art and Review On The Treatment Technologies Of Water Reverse Osmosis Concentrates*. Water Research 46, 267 -283
- Greenlee, L.F, Lawler, D.F., Freeman, B.D., Marrot, B., dan Moulin, P., 2010. *The Effect Of Antiscalant Addition On Calcium Carbonate Precipitation For A Simplified Synthetic Brackish Water Reverse Osmosis Concentrate*. Water Research 44, 2957-2969
- Greenlee, L.F, Testa, F., Lawler, D.F., Freeman, B.D., and Moulin, P.,

2011. *Effect Of Antiscalant Degradation Salt Precipitation and Solid / Liquid Separation Of RO Concentrate*. Journal Of membrane Science 366, 48-61
- Hoek, E. dan Elimelech, M.2003. *Cake Enhanced Concentration Polarization : A New Fouling Mechanism for Salt-Rejecting membrane*. California : University of California
- Jarusutthirak, Chalor., Mattaraj, Supatpong., Jiratananon, Ratana., 2007. *Influence of Inorganic Scalants and Natural Organic Matter on Nanofiltration Membrane Fouling*. Journal of Membrane Science 287, 138-145
- Kalliappan, S., Sathish, C., Nirmalakumar, N., *Recovery and Reuse of Water From Effluents of Cooling Tower*. Journal Indian Inst.Sci 85, 215-221
- Kaya, Cuneyt., Sert, Gokhan., Kabay, Nalan., Arda, Musseref., Yuksel, Mithat., Egemen, Ozdemir., 2015. *Pre-Treatment With Nanofiltration (NF) In Seawater*. Desalination 369, 10-17
- Lee, S., ang, W.S., and Elimelech, M. 2006. *Fouling Of RO Membrane By Hydrophilic Organic Matter Implication For Water Reuse*. Desalination 187, 313-321
- Listiarini, K., W. Chun. D.D. Sun, and J.O Leckie. 2011. *Fouling Mechanism and Resistance Analyses of System Containing Sodium Alginate, Calcium, Alum, and their Combination in Dead-End Fouling Nanofiltration Membran*. J. Membrane Sci.344:244-251
- Mccool, B., Rahardianto, A., Cohen, Y., 2012. *Antiscalant removal in accelerated desupersaturation of RO concentrate via chemically-enhanced seeded precipitation (CESP)*. Water Research.46, 4261-4271
- Meerganz, V.Medeazza, G.L., 2005. *“Direct” and Socially-Induced Environmental Impacts Of Desalination*. Desalination 185,57-70.
- Meneses, M., Pasqualino, J.C., Ce’spedes-Sa’nchez, R., Castells, F., 2010. *Alternatives For Reducing The Environmental Impact Of The Main Residue From A Desalination Plant*. Journal of Industrial Ecology 14 (3), 512-527.
- Mulder, M. 1996. *Basic Principles of Membrane Technology*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers
- Munari, A.D., Semiao, A.J.C., Ladislao, B.A., 2013. *Retention of pesticide Endosulfan by nanofiltration : Influence of organic matter-pesticide complexation and solute-membrane interactions*. Journal of water research 47, 3484-3496
- Oh, H.J., Choung, Y.K., Lee, S., Choi, J.S., Hwang, T.M., Kim, J.H., 2009, *“Scale Formation in Reverse osmosis Desalination: Model Development.”*, Desalination, Vol 238, 333-346.
- Plakas, K.V., Karabelas A.J., 2011. *Removal of Pesticides from Water by NF and RO membranes-A review*. Journal of desalination 287, 255-265
- Schutte, Therese., Niewersch, C., Wintgents, T., and Yuce, Suleyman. 2015. *Phosphorus Recovery From Sewage Sludge By Nanofiltration In Diafiltration Mode*. Published in Journal Of Membrane Science 480, 74-82
- Science Lab, 2013. *Sodium Hexametaphosphate MSDS*. New York N.Y., Van Nostrand Reinold
- Stuart, B. 2004. *Infrared Spectroscopy : Fundamental and Applications*. John Wiley & Sons, Ltd.
- Susanto, Heru. 2011. *Teknologi Membran*. Semarang : Badan Penerbit Universitas Diponegoro

- Tu, N.P. 2013. *Role Of Charge Effect During Membrane Filtration*. (Disertasi). Belgia : Universitiet Gent
- Tzotzi, C., Pahiadaki, T., Yiantsios, S.G., Karabelas, A.J., Andritsos, N., 2007, "A Study od CaCO₃ Scale Formation and Inhibition in RO and NF Membrane Processes.", *Desalination*, Vol 296, 171-184.
- Ven, W.J.C van de, Sant, K., Punt, I.G.M, Zwijinenburg, A., Kemperman, A.J.B., van der Meer, W.G.J., dan Wessling, M. 2008. *Hollow Fiber Dead-End Ultrafiltration: Influence Of Ionic Environment On Filtration Of Alginates*. *Journal of Membrane Science* 308 (2008) 218–229
- W.L, Ang, Mohammad, A.W., Benamor, A., Hilal, N., Leo, C.P., 2016. *Hybrid Coagulation–NF Membrane Process For Brackish Water Treatment: Effect Of Antiscalant On Water Characteristics and Membrane Fouling*. *Desalination* (2016) xxx.xxx
- Wu, Jinjian., Contreras, A.E., and Li, Qilin. 2014. *Studying The Impact of RO Membrane Surface Functional Groups on Alginate Fouling in Seawater Desalination*. *Journal of Membrane Science* 458. 120-127
- Zazouli, M.A., Susanto, H., Nasser, S., Ulbricht, M., 2009. *Influences of solution chemistry and polymeric natural organic matter on the removal of aquatic pharmaceutical residuals by nanofiltration*. *Journal of water research* 43, 3270-3280
- Zhang, Po., Philipp, Knotig., Stephan, Gray., Mikel, Duke. 2015. *Scale Reduction and Cleaning Techniques During Direct Contact Membrane Distillation Of Seawater Reverse Osmosis Brine*. *Desalination* 374, 2