



PENYISIHAN KANDUNGAN ANTISCALANT (*DISODIUM ETHYLENEDIAMINETETRAACETATE*) PADA LIMBAH KONSENTRAT REVERSE OSMOSIS DENGAN TEKNOLOGI MEMBRAN NANOFILTRASI

Mega Nurrahma Dewi^{*)}, Titik Istirokhatun^{**)}, Heru Susanto^{**)}

Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. H. Soedarto, SH Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

Email : meganur1994@gmail.com

Abstrak

Limbah konsentrat reverse osmosis (RO) mengandung air garam tingkat tinggi, senyawa antiscalant, dan zat organik yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan dan gangguan kesehatan. Air garam yang terdapat pada konsentrat RO berpotensi untuk diolah lebih lanjut menjadi garam dapur. Namun, potensi tersebut terhambat karena adanya senyawa antiscalant berkonsentrasi tinggi yang dapat menimbulkan gangguan kesehatan. Teknologi membran dinilai lebih efektif untuk mengolah konsentrat RO. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh konsentrasi antiscalant, tekanan operasi, dan penambahan zat organik terhadap kinerja membran dengan menggunakan limbah konsentrat RO sintetik. Sodium chloride (NaCl) sebagai model air garam, Disodium ethylenediaminetetraacetate (Na_2EDTA) sebagai model antiscalant dan sodium alginate sebagai model zat organik. NaCl dengan konsentrasi 60.000 ppm, Na_2EDTA dengan konsentrasi 740 ppm, 1120 ppm, 1490 ppm, dan sodium alginate dengan konsentrasi 100 ppm ditambahkan ke dalam air suling. Kemudian, larutan umpan tersebut dipompa melewati membran NF270 pada tekanan (4,5,6) bar. Hasil menunjukkan bahwa NF270 pada konsentrasi 740 ppm dan tekanan 4 bar efektif dalam menyisihkan antiscalant. Hal ini dibuktikan dengan nilai relative fluks dan rejeksi antiscalant pada konsentrasi dan tekanan tersebut lebih tinggi dibandingkan tekanan dan konsentrasi lainnya. Rejeksi tertinggi yang dihasilkan 96,4% untuk campuran NaCl dan Na_2EDTA dengan nilai TDS 48.000 ppm serta 99,4%, untuk campuran NaCl, Na_2EDTA , dan SA dengan tekanan 4 bar.

Kata Kunci : Limbah konsentrat RO, Na_2EDTA , NF270

Abstract

[Removal of Antiscalant (Disodium Ethylenediaminetetraacetate) from Concentrate Reverse Osmosis Waste with Nanofiltration Membrane Technology]. Reverse osmosis (RO) concentrated waste containing high levels of salt, antiscalant compounds, and organic substances which can cause environmental pollution and health problems. Brine water in RO concentrate has the potential processed into salt. However, this potential is hampered because of the high concentration antiscalant compounds can cause health problems. Membrane technology is more effective to process RO concentrated. This study aimed to analyze the influence of antiscalant concentration, operating pressure, and the addition of organic matter to the performance of the membrane using synthetic wastewater RO concentrate. Sodium chloride (NaCl) as a model brine, Disodium ethylenediaminetetraacetate (Na_2EDTA) as a model antiscalant and sodium alginate as a model of organic substances. NaCl with a concentration of 60.000 ppm, Na_2EDTA at a concentration of 740 ppm, 1120 ppm, 1490 ppm, and sodium alginate with a concentration of 100 ppm was added into distilled water. Then, the feed solution

is pumped through a membrane NF270 at a pressure of (4,5,6) bar. The results showed that the NF270 at a concentration of 740 ppm and a pressure of 4 bar effective at removal antiscalant. This is evidenced by the relative value of the flux, rejection antiscalant in the concentration is higher than the pressure and concentration of others. The highest rejection generated 96.4% for the mixture of NaCl and Na₂EDTA with a value of 48,000 ppm TDS and 99.4%, for a mixture of NaCl, Na₂EDTA, and SA with a pressure of 4 bar.

Keyword : RO concentrated waste, Na₂EDTA, NF270

PENDAHULUAN

Teknologi membran Reverse Osmosis (SWRO) sebagai salah satu teknologi pengolahan air laut yang menghasilkan limbah yaitu konsentrat reverse osmosis (RO) sebesar (15-60)% yang mengandung garam dengan konsentrasi tinggi dan senyawa kimia yang biasanya digunakan sebagai pretreatment RO (Zhang *et al.*, 2015). Konsentrasi garam yang tinggi dalam konsentrat RO berpotensi untuk dilakukan pengolahan lebih lanjut menjadi garam murni, akan tetapi pengolahan tersebut terhambat karena adanya senyawa kimia pretreatment RO yang dapat membahayakan lingkungan dan kesehatan apabila diolah menjadi garam murni. Senyawa kimia pretreatment RO tersebut merupakan *antiscalant*.

Penggunaan *antiscalant* merupakan salah satu cara pengendalian *scaling*, (Tzotzi *et al.*, 2007). Menurut Sweity *et al.* (2014), *antiscalant* dan limbah konsentrat RO biasanya langsung dibuang ke lingkungan. Dari semua jenis *antiscalant*, Na₂EDTA merupakan *antiscalant* yang sering digunakan dalam proses SWRO karena memiliki reaktivitas kimia yang baik untuk memecah *scaling* (Ang and Elimelech., 2009). Menurut Sweity *et al.* (2014) dan Maskooki *et al.* (2010), konsentrasi Na₂EDTA yang efektif sebagai *antiscalant* sekitar 1, 2, dan 3 mM. Menurut Meronda (2008) Na₂EDTA yang terbuang dalam konsentrat RO memberikan dampak terhadap lingkungan dan kesehatan.

Na₂EDTA dapat memicu timbulnya eutrofikasi dan apabila masuk ke dalam tubuh manusia dalam jumlah berlebihan dapat mengakibatkan tubuh kekurangan Ca dan mineral lainnya. Hal ini dikarenakan Na₂EDTA sangat efektif dalam mengikat ion logam salah satunya ion *calcium*.

Beberapa proses pengolahan konsentrat RO yang telah dilakukan belum efisien dalam menyisihkan *antiscalant* Na₂EDTA. Penggunaan membran dinilai lebih efektif dalam penyisihan *antiscalant* dalam konsentrat RO. Pada penelitian ini, membran NF270 digunakan untuk memisahkan Na₂EDTA dari limbah *reverse osmosis* konsentrat. Pemilihan membran ini didasarkan pada material dan ukuran pori membran di mana komposit polyamide memiliki kisaran pH dan temperatur yang lebih luas, bersifat hidrofilik sehingga dapat mengurangi terjadinya *fouling* (Susanto, 2011) dan ukuran pori membran sebesar 180 Da. Dengan demikian, membran NF270 diharapkan mampu menyisihkan *antiscalant* Na₂EDTA 372,24 g/mol (372,24 Da) dari limbah konsentrat RO yang mengandung garam NaCl 58,44 g/mol.. Tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis pengaruh konsentrasi Na₂EDTA dalam konsentrat RO terhadap kinerja membran (fluks dan rejeksi Na₂EDTA)
2. Menganalisis pengaruh tekanan operasi terhadap kinerja membran (fluks dan rejeksi Na₂EDTA)

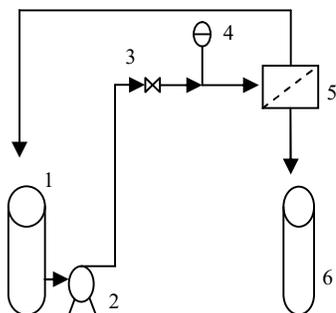
3. Menganalisis pengaruh NOM (*Natural Organic Matter*) terhadap (*fluks* dan *rejeksi antiscalant*) (Na_2EDTA).
4. Menganalisis karakteristik morfologi dan gugus fungsi pada permukaan membran.

METODOLOGI PENELITIAN

Bahan dan Alat

Pada penelitian ini, NaCl digunakan sebagai model air garam, Na_2EDTA digunakan sebagai model *antiscalant*, dan *sodium alginate* digunakan sebagai model polisakarida. NaCl digunakan sebagai limbah konsentrat sintetik yang dibeli dari PT. Unichem Candi Industri, Indonesia. Na_2EDTA dibeli di Merck KGaA, Germany, dan *sodium alginate* dibeli dari lokal Semarang, Indonesia. Sedangkan untuk uji spektrofotometer UV-Vis digunakan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan HCL 37%, masing-masing dibeli di Merck KGaA, Germany. Membran NF270 yang digunakan terbuat dari polyamide dan memiliki ukuran pori 180 Da. Membran yang digunakan dibeli di Dow Filmtec™ 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 (3), pressure gauge (4), housing membrane (5), Tangki permeat (6).



Gambar 1. Skematik alat filtrasi

Larutan Limbah Konsentrat RO Sintetik

Pada penelitian ini, limbah konsentrat RO dibuat secara sintetik dengan menggunakan NaCl (sebagai model air garam dalam air laut) dengan konsentrasi 60.000 ppm, Na_2EDTA (sebagai model *antiscalant*) dengan variasi konsentrasi 740 ppm, 1120 ppm, 1490 ppm, dan/atau *sodium alginate* dengan konsentrasi 100 ppm (sebagai model material organik) untuk selanjutnya larutan umpan dipompa menuju membran NF270 dengan tekanan bervariasi 4 bar, 5 bar, dan 6 bar.

Analisa

Analisa Fluks Membran Nanofiltrasi

Pengujian fluks diawali dengan memotong membran diameter $4,2 \text{ cm}^2$ 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 umpan larutan konsentrat sintetik. Suhu yang digunakan $25\text{-}27^\circ\text{C}$. Nilai fluks dihitung dengan persamaan (1)

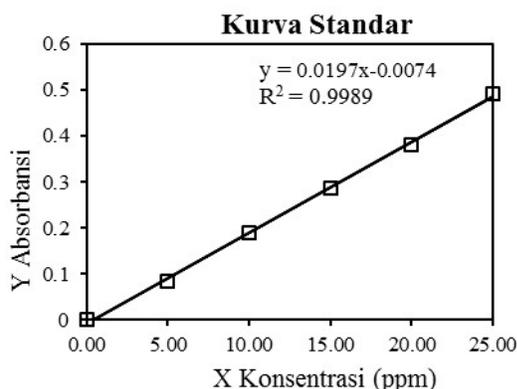
$$J = \frac{V}{A \times t} \dots\dots\dots (1)$$

Dengan J adalah nilai fluks dengan satuan ($\text{L}/\text{m}^2 \cdot \text{jam}$), V adalah volume permeat dengan satuan liter, A adalah luas permukaan membran dengan satuan m^2 , dan t adalah waktu operasi dengan satuan jam.

Analisa Rejeksi *Antiscalant* Na_2EDTA

Pada penelitian ini uji parameter Na_2EDTA dilakukan dengan metode kurva standart menggunakan spektrofotometer UV-Vis (*Genesys 10S UV-Vis, USA*) dengan panjang gelombang 263 nm. Kurva standar dibuat menggunakan larutan standar Na_2EDTA dengan konsentrasi 5 ppm, 10 ppm, 15 ppm, 20 ppm, dan 25 ppm yang sebelumnya labu ukur (10 ml) telah terisi 1 ml larutan besi (III) klorida dengan konsentrasi 500 ppm dalam 0.1 M HCL.

Kurva standart Na₂EDTA dapat dilihat pada Gambar 2. Kurva tersebut menunjukkan hubungan linier antara konsentrasi Na₂EDTA dan absorbansi yang dinyatakan dengan persamaan 2, dimana y adalah absorbansi dan x adalah konsentrasi.



Gambar 2. Kurva Standar Na₂EDTA

$$y = 0,0197x - 0,0074 \dots \dots \dots (2)$$

Sedangkan perhitungan persen rejeksi Na₂EDTA menggunakan persamaan (3)

$$R = \left(1 - \frac{C_p}{C_f}\right) \times 100\% \dots \dots \dots (3)$$

Dengan :

- R = Koefisien rejeksi (%)
- C_p = Konsentrasi zat terlarut dalam permeat
- C_f = Konsentrasi zat terlarut dalam umpan

Analisa Total Dissolve Solid (TDS)

Pada penelitian ini uji parameter TDS dilakukan untuk mengetahui kadar salinitas garam dalam permeat konsentrat RO dengan menggunakan TDS meter (HM Digital USA). Berikut merupakan Metode pengujian TDS dengan TDS meter :

1. Menyiapkan larutan yang akan diuji dan menempatkannya pada gelas ukur 100 ml
2. Menekan tombol on/off pada TDS meter
3. Memasukkan elektroda TDS meter ke dalam larutan yang akan diuji
4. Menunggu hingga nilai TDS yang dihasilkan stabil.

Karakteristik Fouling membran

Karakteristik Struktur Kimia Membran

FTIR (*Fourier Transform-Infrared Spectroscopy*) digunakan untuk menganalisa struktur kimia membran. Jenis FTIR yang digunakan yaitu Perkin Elmer Spectrum Version 10.4.00, United Kingdom.

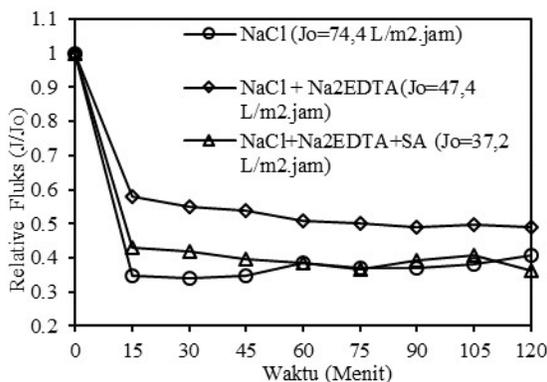
Karakteristik Morfologi Membran

SEM (*Scanning Electron Microscopy*) digunakan untuk menganalisa morfologi membran. SEM yang digunakan yaitu jenis JEOL JSM-6510LA SEM, Japan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Larutan Tunggal Garam (NaCl) terhadap Kinerja Membran (Relative Fluks)

Pada penelitian ini larutan garam (NaCl) dengan konsentrasi 60.000 ppm difiltrasi menggunakan membran NF270 pada tekanan 4 Bar. Kemudian hasil relative fluks tersebut dibandingkan dengan hasil relative fluks larutan campuran NaCl 60.000 ppm dan *antiscalant* Na₂EDTA, dan larutan campuran NaCl 60.000 ppm, *antiscalant* Na₂EDTA 740 ppm, dan *sodium alginate* (SA) 100 ppm.



Gambar 3. Perbandingan profil relative fluks terhadap waktu filtrasi pada larutan tunggal NaCl, larutan campuran NaCl dan Na₂EDTA, NaCl dan SA

Keberadaan senyawa NaCl dalam larutan umpan mempengaruhi kinerja

membran. Larutan tunggal NaCl memiliki relative fluks yang lebih rendah dibandingkan dengan larutan campuran NaCl dan Na₂EDTA (Gambar 3). Hal ini dapat dijelaskan karena keberadaan senyawa NaCl dapat menyebabkan terjadinya *fouling*. Fenomena *fouling* yang disebabkan oleh senyawa NaCl dapat dijelaskan berdasarkan mekanisme interaksi elektrostatik antara senyawa NaCl dengan membran. Interaksi elektrostatik tersebut berkaitan dengan polarisasi konsentrasi garam NaCl. Polarisasi konsentrasi adalah akumulasi ion yang direjeksi saat proses pemisahan yang membentuk lapisan pada permukaan membran akibat tingginya konsentrasi di permukaan membran (Ariyanti, 2009). Sedangkan apabila dibandingkan dengan keberadaan SA pada larutan umpan relative fluks antara larutan tunggal NaCl dan larutan campuran NaCl, Na₂EDTA, dan SA tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Hal ini dapat diartikan *fouling* yang terjadi dengan penambahan SA juga menunjukkan penurunan relative fluks. Pengaruh adanya SA pada konsentrat RO dapat dilihat pada subab selanjutnya.

Pengaruh Konsentrasi Antiscalant (Na₂EDTA) 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 (J₀). Sedangkan rejeksi dihitung dengan mengukur konsentrasi zat terlarut dalam permeat dan umpan dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Pada penelitian ini Na₂EDTA dengan konsentrasi 2mM (740 ppm), 3mM (1120 ppm), dan 4mM (1490 ppm) dicampur dengan 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

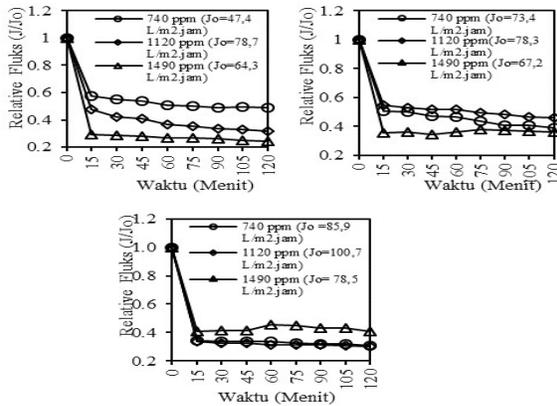
Na₂EDTA pada berbagai variasi tekanan operasi.

Konsentrasi *antiscalant* Na₂EDTA berpengaruh terhadap relative fluks membran. Pada tekanan 4 Bar, semakin tinggi konsentrasi antiscalant Na₂EDTA maka relative fluks akan semakin rendah (Gambar 4a). Hal ini dapat dijelaskan karena semakin tinggi konsentrasi antiscalant akan mempengaruhi *threshold effect* dari kinerja antiscalant dalam memecah foulant, sehingga terjadi peningkatan foulant oleh senyawa Na₂EDTA pada permukaan membran.

Sebagai akibatnya, foulant yang terbentuk meningkatkan polarisasi konsentrasi di atas permukaan membran sehingga terjadi penurunan relative fluks. Pernyataan ini disampaikan oleh Oh *et al.* (2009). Menurut Ang *et al.* (2009), konsentrasi 2mM (740 ppm) Na₂EDTA efektif untuk mencegah *fouling*, dimana pada konsentrasi tersebut senyawa Na₂EDTA dapat bereaksi dengan baik dengan senyawa penyebab *fouling*. Dengan demikian konsentrasi diatas 2mM (740 ppm) pada tekanan 4 bar tidak efektif dalam mencegah *fouling* sehingga relative fluks cenderung menurun. Penurunan relative fluks tidak hanya disebabkan oleh fenomena *threshold effect* tetapi juga berdasarkan karakteristik fisik dari senyawa Na₂EDTA tersebut. Menurut Niu *et al.* (2015) peningkatan konsentrasi EDTA akan meningkatkan kekasaran permukaan membran karena penyumbatan senyawa EDTA (polutan organik) pada permukaan membran. Zhao *et al.* (2015) dan Hau *et al.* (2013) juga mengatakan peningkatan konsentrasi Na₂EDTA menyebabkan peningkatan viskositas larutan dan konsentrasi polarisasi garam pada permukaan membran. Sebagai akibatnya, suatu senyawa akan semakin terhambat untuk melewati permukaan membran.

Namun, pada tekanan 5 Bar dan 6 Bar, relative fluks tertinggi terjadi pada

konsentrasi 3mM (1120 ppm) dan 4mM (1490 ppm) (Gambar 4b dan 4c). Hal ini terjadi karena semakin tinggi konsentrasi *antiscalant* terjadi peningkatan viskositas larutan sehingga dibutuhkan transport hidrodinamik (tekanan) yang lebih tinggi untuk menaikkan relative fluks. Pernyataan ini disampaikan oleh Zhao *et al.* (2015) dan Nguyen *et al.* (2015).



Gambar 4. Profil relative fluks terhadap waktu filtrasi pada variasi konsentrasi Na₂EDTA dengan tekanan (a) 4 Bar (b) 5 Bar (c) 6 Bar

Pengaruh Tekanan Operasi terhadap Kinerja Membran

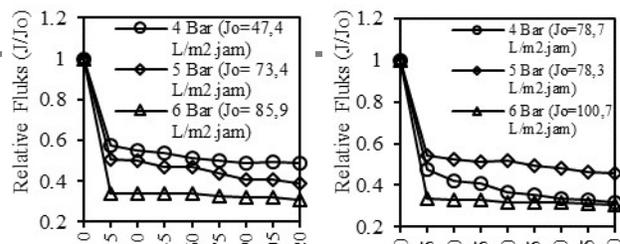
Pada penelitian ini, pengaruh tekanan operasi terhadap kinerja membran dianalisa pada berbagai konsentrasi Na₂EDTA. Gambar 5 menunjukkan profil relative fluks terhadap waktu filtrasi pada berbagai variasi tekanan dalam penyisihan Na₂EDTA dari limbah konsentrat RO.

Pada konsentrasi 740 ppm, semakin tinggi tekanan maka relative fluks semakin rendah (Gambar 5a). Kinerja *antiscalant* dipengaruhi oleh transport hidrodinamik dari tekanan operasi. Tingginya tekanan akan mengganggu kinerja *antiscalant* dalam memecah foulant, sehingga foulant terakumulasi diatas permukaan membran, sebagai akibatnya terjadi penurunan relative fluks. Pernyataan ini disampaikan oleh Oh *et*

al. (2009). Menurut Alzahrani *et al.* (2013) peningkatan tekanan operasi akan meningkatkan penurunan fluks yang disebabkan karena deposit foulant (dalam penelitian ini Na₂EDTA). Penurunan fluks dapat dikaitkan dengan mekanisme konveksi yang berpotensi menimbulkan adsorpsi foulant-foulant pada dinding pori membran ketika tekanan operasi meningkat.

Pada konsentrasi 1120 ppm dan 1490 ppm, relative fluks tertinggi terjadi pada tekanan 5 dan 6 Bar. Hal ini mendukung pengaruh konsentrasi pada subab sebelumnya yang menyatakan semakin tinggi konsentrasi *antiscalant* terjadi peningkatan viskositas larutan sehingga dibutuhkan transport hidrodinamik (tekanan) yang lebih besar untuk menaikkan relative fluks (Zhao *et al.*, 2015 and Nguyen *et al.*, 2015).

Tabel 1 menunjukkan rejeksi Na₂EDTA sebagai *antiscalant* dalam konsentrat RO dengan menggunakan membran nanofiltrasi. Membran nanofiltrasi dapat menyisihkan Na₂EDTA sebesar (96-97)% dengan rata-rata penyisihan sebesar 96% pada tekanan operasi 4-6 Bar selama 2 jam waktu operasi. Hal ini sesuai dengan penelitian Suarez *et al.* (2013) dan Zhao *et al.* (2015) yang mengatakan bahwa tingkat rejeksi senyawa Na₂EDTA pada membran nanofiltrasi berkisar antara (93-95)%.



Gambar 5. Profil relative fluks terhadap waktu filtrasi pada berbagai tekanan dengan konsentrasi Na₂EDTA (a) 740 ppm (b) 1120 ppm (c) 1490 ppm

Tabel 1 Konsentrasi umpan dan permeat Na₂EDTA

Konsentrasi awal Na ₂ EDTA (ppm)	4 bar		5 bar		6 bar	
	ppm	% R	ppm	% R	ppm	% R
740	26,4	96,4	23,9	96,8	21,3	97,1
1120	26,4	97,6	49,2	95,6	41,6	96,3
1490	34,7	97,7	31,5	97,9	72,1	95,2

Konsentrasi *antiscalant* Na₂EDTA berpengaruh terhadap rejeksi membran. Pada tekanan 4 Bar, semakin tinggi konsentrasi *antiscalant* Na₂EDTA maka rejeksi akan semakin tinggi (Tabel 1). Hal ini dapat dijelaskan karena semakin tinggi konsentrasi *antiscalant* akan mempengaruhi *threshold effect* dari kinerja *antiscalant* dalam memecah foulant, sehingga terjadi peningkatan deposit Na₂EDTA pada permukaan membran. Sebagai akibatnya, deposit Na₂EDTA pada permukaan

membran akan meningkatkan rejeksi senyawa Na₂EDTA tersebut (Niu *et al.*, 2015 and Zhao *et al.*, 2015). Pada tekanan 4 Bar, rejeksi terendah berada pada konsentrasi 740 ppm. Hal ini dapat dijelaskan karena kemampuan senyawa Na₂EDTA dalam mencegah foulant mengakibatkan pengurangan penumpukan partikel pada permukaan membran.

Selain itu senyawa Na₂EDTA merupakan senyawa hidrofilik yang mudah larut dalam air sehingga ketika relative fluks tinggi senyawa tersebut akan cenderung terbawa oleh air untuk melewati permukaan membran sehingga rejeksinya turun. Hal yang sama terjadi pada tekanan 5 Bar dan 6 Bar, dimana rejeksi terendah berada pada relative fluks yang tinggi.

Berdasarkan analisis pengaruh konsentrasi dan tekanan operasi terhadap kinerja membran fluks dan rejeksi. Konsentrasi 740 ppm dan tekanan operasi 4 bar merupakan konsentrasi dan tekanan optimum dalam merejeksi *antiscalant*. Hal ini dapat dijelaskan pada konsentrasi 740 ppm memiliki relative fluks lebih tinggi dibandingkan konsentrasi 1120 ppm dan 1490 ppm dan rejeksi lebih tinggi dibandingkan konsentrasi 1120 ppm yang memiliki relative fluks tertinggi pada tekanan 5 bar dan konsentrasi 1490 ppm yang memiliki relative fluks tertinggi pada tekanan 6 bar.

Konsentrasi 740 ppm dan tekanan operasi 4 bar selanjutnya dilakukan pengujian *Total Dissolved Solid* (TDS). Hasil TDS menunjukkan pada konsentrasi 740 ppm dan tekanan operasi 4 bar didapatkan hasil sebesar 48.000 ppm yang artinya tingkat rejeksi garam NaCl pada konsentrasi tersebut sebesar 20% dan senyawa NaCl yang melewati permukaan membran sebesar 80%.

Pengaruh Penambahan *Sodium Alginate* (SA) terhadap Kinerja Membran

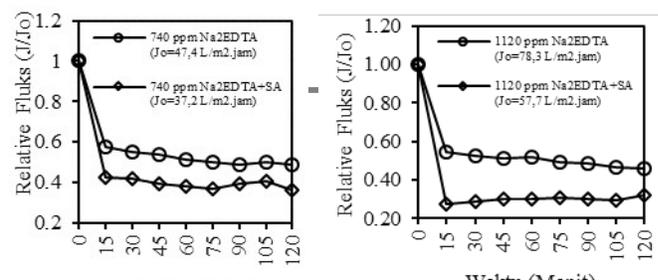
Pada penelitian ini, SA (sebagai model polisakarida) dengan konsentrasi 100 ppm ditambahkan ke dalam larutan umpan NaCl 60.000 ppm dan *antisalant* Na₂EDTA untuk selanjutnya difiltrasi menggunakan membran nanofiltrasi. Gambar 6 menunjukkan grafik hubungan relative fluks terhadap waktu filtrasi selama 120 menit pada penambahan SA ke dalam larutan umpan yang mengandung *antisalant* Na₂EDTA dan NaCl pada relative fluks tertinggi.

Penambahan Sodium Alginate (SA) pada konsentrasi *antisalant* Na₂EDTA berpengaruh terhadap relative fluks membran. Penambahan SA untuk ketiga konsentrasi menghasilkan relative fluks yang lebih rendah dibandingkan dengan sebelum penambahan SA. Pada konsentrasi 740 ppm, 1120 ppm, dan 1490 ppm Na₂EDTA tekanan 4 bar, 5 bar, dan 6 bar, penambahan SA akan menyebabkan penurunan relative fluks (Gambar 7 a,b,c).

Hal ini dapat dijelaskan karena ikatan carbocylate pada alginate memiliki kemampuan dalam membentuk gel yang kaya akan biomakromolekul sehingga berpotensi dalam pembentukan *fouling* pada permukaan membran. Pernyataan ini disampaikan oleh Jin *et al.*, (2009). Kemudian hal ini juga diperjelas dalam penelitian Simon *et al.* (2012), *fouling* zat organik pada membran terjadi pada dua fase, fase awal terjadi *pore blocking* yang mengakibatkan penurunan fluks secara cepat. Selanjutnya pada fase kedua, penurunan fluks terjadi secara bertahap yang menandakan telah terbentuknya lapisan *fouling* organik pada permukaan membran. *Fouling* yang terjadi karena adanya SA dalam konsentrat RO mengakibatkan terjadinya penurunan relative fluks. Tabel 2 menunjukkan rejeksi Na₂EDTA sebagai *antisalant* dalam konsentrat RO sebelum dan setelah penambahan SA. Pada konsentrasi Na₂EDTA 740 ppm tekanan 4

Bar, 1120 ppm tekanan 5 Bar, dan 1490 ppm tekanan 6 Bar, penambahan sodium alginate menyebabkan peningkatan rejeksi *antisalant* tersebut. Menurut Ang *et al.* (2009) adanya senyawa alginate dalam konsentrat RO akan menyebabkan terjadinya penurunan fluks karena gel yang terbentuk dari *sodium alginate* menyebabkan pembentukan layer pada permukaan membran. Gel layer yang terbentuk pada permukaan membran mengakibatkan peningkatan ukuran partikel yang menempel pada permukaan membran sehingga akan menghambat senyawa Na₂EDTA untuk melewati permukaan membran. Pernyataan ini disampaikan oleh Nguyen *et al.*, (2015). Hal ini diperkuat dengan penelitian (Zazouli *et al.*, 2009) yang mengatakan bahwa adanya NOM akan membentuk layer *fouling* pada permukaan membran yang dapat meningkatkan hambatan aliran permeal, sehingga dihasilkan peningkatan rejeksi. Selain itu, konsentrasi garam yang tinggi dalam larutan konsentrat RO mengakibatkan semakin padatnya adsorpsi layer NOM. Hal ini disebabkan karena terbentuk makromolekul antara NaCl dengan senyawa organik sehingga mengurangi ukuran pori membran dan mengakibatkan rejeksinya semakin besar (Ven *et al.*, 2008).

Berdasarkan analisis pengaruh adanya SA dalam konsentrat RO terhadap kinerja membran. Konsentrasi 740 ppm Na₂EDTA dan 100 ppm SA pada tekanan operasi 4 bar merupakan konsentrasi dan tekanan optimum dalam merejeksi *antisalant* dalam konsentrat RO. Hal ini dapat dijelaskan pada konsentrasi tersebut memiliki rejeksi tertinggi.



Gambar 6. Profil relative fluks terhadap waktu filtrasi pada konsentrasi Na₂EDTA dan Penambahan *sodium alginate* dengan tekanan (a) 4 Bar (b) 5 bar (c) 6 Bar
 Tabel 2 perbandingan tingkat rejeksi konsentrasi Na₂EDTA dengan dan tanpa penambahan SA (*sodium alginate*)

Konse ntrasi Na ₂ E DTA Awal (ppm)	Tek ana n (Bar)	Kons etras i Na ₂ E DTA Akhi r (ppm)	Rej eksi (%)	Konse ntrasi Na ₂ E DTA Akhir +SA (ppm)	Rej eksi (%)
740	4	26,4	96,4	4,3	99,4
1120	5	49,2	95,6	13,9	98,8
1490	6	72,1	95,2	36,2	97,6

Konsentrasi 740 ppm Na₂EDTA dan 100 ppm SA pada tekanan operasi 4 bar selanjutnya dilakukan pengujian *Total Dissolved Solid* (TDS). Hasil TDS menunjukkan pada konsentrasi tersebut didapatkan hasil TDS sebesar 50.000 ppm yang artinya tingkat rejeksi garam NaCl pada konsentrasi tersebut sebesar 16% dan

senyawa NaCl yang melewati permukaan membran sebesar 84%.

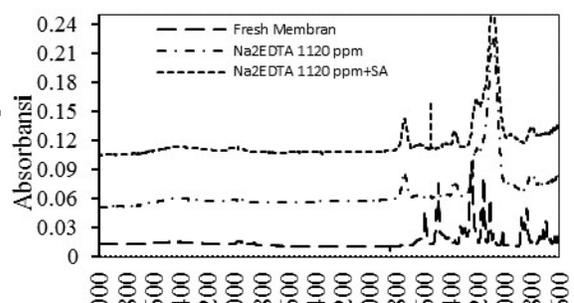
Karakteristik Membran pada Permukaan Membran Nanofiltrasi

Karakteristik Struktur Kimia Membran

Karakterisasi *fouling* membran dapat dilihat dengan menggunakan metode FTIR untuk mengetahui struktur kimia yang ada pada permukaan membran. Hasil uji FTIR untuk membran nanofiltrasi *polyamide* dengan umpan larutan *antiscalant* Na₂EDTA dalam limbah *reverse osmosis* konsentrat dapat dilihat pada Gambar 7.

Pada Gambar 7 terdapat perbedaan *peak* dari *fresh membrane* dengan membran setelah filtrasi. Pada panjang gelombang 1118 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus fungsi -COO⁻, panjang gelombang 1343 cm⁻¹ menunjukkan gugus fungsi C-H karena berada pada panjang gelombang 1300-1420 cm⁻¹ (Stuart, 2004). Menurut Lanigan *et al.* (2007) panjang gelombang 1300-1400 cm⁻¹ dan 3440 cm⁻¹ menunjukkan gugus fungsi karboksil yang terdapat pada senyawa Na₂EDTA. Panjang gelombang 1708 cm⁻¹ menunjukkan gugus fungsi C-H. dan gugus O-H karena berada pada panjang gelombang 1400-1650 cm⁻¹, dimana panjang gelombang tersebut menunjukkan adanya gugus fungsi dari senyawa Na₂EDTA (Stuart, 2004).

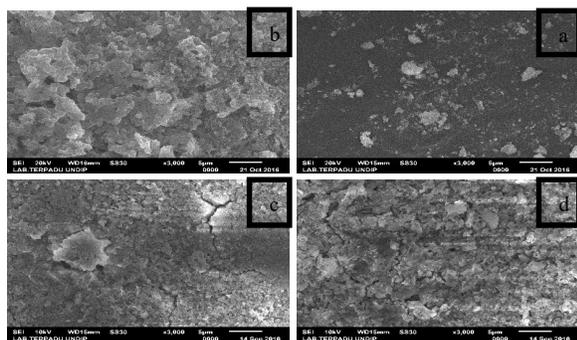
Sedangkan untuk *Sodium Alginate*, frekuensi IR ditunjukkan pada panjang gelombang 1542 cm⁻¹ yang menunjukkan adanya gugus fungsi C-H dan N-H yang terkandung dalam senyawa organik, dimana dalam penelitian ini *sodium alginate* direpresentasikan sebagai senyawa organik (Stuart, 2004). Menurut Xiao *et al.* (2014), pada panjang gelombang (1412-1645) cm⁻¹ menunjukkan gugus fungsi O-H dan COO⁻ yang terdapat pada senyawa *alginate*.



Gambar 7. Perbandingan hasil FTIR membran nanofiltrasi sebelum dan sesudah filtrasi

Karakteristik Morfologi Permukaan Membran

SEM (*Scanning Electron Microscopy*) digunakan untuk menganalisa morfologi membran. Gambar 8. merupakan hasil SEM dari membran NF270 baik sebelum dan setelah digunakan untuk menyisihkan larutan umpan yang mengandung NaCl, *antiscalant* Na₂EDTA, dan SA.



Gambar 8. Hasil SEM dari membran nanofiltrasi ; a] Membran Baru; b] Larutan tunggal NaCl 60.000 ppm c] Campuran (NaCl 60.000 ppm dan Na₂EDTA 740 ppm) ; d] Campuran (NaCl 60.000 ppm, Na₂EDTA 740 ppm, dan SA 100 ppm) dengan Perbesaran 3000x

Dari Gambar 8 tersebut terlihat perbedaan pada membran sebelum dan sesudah filtrasi yang menandakan adanya *fouling* yang berasal dari larutan umpan konsentrat RO. Pada *fresh membran* (Gambar 8a) belum terlihat adanya

fenomena *fouling* pada permukaan membran karena membran belum terkontaminasi, sedangkan pada Gambar 8b terdapat fenomena *fouling* yang disebabkan oleh senyawa NaCl yang ditunjukkan dengan sekumpulan molekul-molekul yang menumpuk pada permukaan membran. Gambar 8c menunjukkan peristiwa *fouling* yang disebabkan oleh senyawa NaCl berkurang karena adanya senyawa *antiscalant* Na₂EDTA yang berfungsi memecah *foulant* yang disebabkan oleh NaCl agar peristiwa kristalisasi tidak terjadi (Ang *et al.*, 2009). Pada Gambar 8d merupakan hasil uji SEM dengan penambahan zat organik yang dipresentasikan dengan *Sodium Alginate*. Interaksi antara SA dengan NaCl akan menyebabkan pembentukan molekul *alginate* yang lebih kompleks yang dapat dilihat pada Gambar 9d sehingga dapat meningkatkan kepadatan dari molekul-molekul *alginate* tersebut dengan menumpuknya *electrical double layer* makromolekul ketika berikatan dengan garam. Interaksi antara membran dan molekul *alginate* dapat menyebabkan *pore blocking* atau *pore narrowing* dan membentuk gel pada permukaan membran (Ven *et al.*, 2008). **KESIMPULAN**

1. Terdapat pengaruh konsentrasi Na₂EDTA terhadap relative fluks. Semakin tinggi konsentrasi Na₂EDTA, relative fluks semakin rendah pada tekanan 4 Bar, sedangkan pada tekanan 5 Bar dan 6 bar relative fluks tertinggi berada pada konsentrasi 1120 ppm dan 1490 ppm.
2. Terdapat pengaruh tekanan operasi terhadap relative fluks dan rejeksi. Semakin tinggi tekanan operasi, relative fluks semakin rendah pada konsentrasi 740 ppm, sedangkan pada konsentrasi 1120 ppm dan 1490 ppm relative fluks tertinggi berada pada tekanan 5 dan 6 bar. Rata-rata rejeksi Na₂EDTA dengan

menggunakan membran nanofiltrasi adalah (96-97)% dimana pada konsentrasi 2mM (740 ppm) dan tekanan 4 bar merupakan konsentrasi dan tekanan optimum untuk merejeksi Na₂EDTA.

3. Adanya *Sodium Alginate* dalam konsentrat RO mengakibatkan penurunan relative fluks dan meningkatkan rejeksi Na₂EDTA.
4. Karakterisasi SEM dan FTIR membuktikan terdapat peristiwa *fouling* yang disebabkan senyawa Na₂EDTA dan alginate pada permukaan membran.

SARAN

1. Penggunaan NF270 untuk penyisihan antiscalant Na₂EDTA sebaiknya disertai dengan pretreatment
2. Penelitian ini diperlukan penelitian lebih lanjut dalam skala pilot plant.

DAFTAR PUSTAKA

- Alzahrani, S., Mohammad, A.W., Hilal, N., Abdullah, P. and Jaafar, O., 2013. *Identification of foulants, fouling mechanisms and cleaning efficiency for NF and RO treatment of produced water. Separation and Purification Technology, 118*, pp.324-341
- Ang, W.S., Lee, S., Elimelech, M. 2009. *Chemical and Physical Aspects of Cleaning of Organic-Fouled Reverse Osmosis Membranes*. Journal of Membrane Science (198-210). USA : Departement of Chemical Engineering Yale University.
- Ariyanti, D. 2009. *Studi Metode Autoflush: Pengendalian Scaling pada Sistem Membran Reverse Osmosis Skala Rumah Tangga*. Jurnal Magister Teknik Kimia.Semarang:Universitas Diponegoro.
- Hau, N., Chen, S., Nguyen, N., Huang, K., Ngao, H., Guo, W. 2013. *Exploration of EDTA Sodium Salt as Novel Draw Solution in Forward Osmosis Process for Dewatering of High Nutrient Sludge*.Australia:University of Technology
- Jarusutthirak, C., Mattaraj, S. and Jiraratananon, R., 2007. *Influence of inorganic scalants and natural organic matter on nanofiltration membrane fouling*. *Journal of membrane science*, 287(1), pp.138-145.
- Jin, X., Huang, X., Hoek, E. 2009. *Role of Specific Ion Interactions in Seawater RO Membrane Fouling by Alginic Acid*. Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan. California : University of California.
- Maskooki, A., Mortazavi, S., Maskooki, A. 2010. *Cleaning of spiralwound ultrafiltration membranes using ultrasound and alkalinesolution of EDTA*. Journal of Desalination (63-69). Iran : Khorasan Science and Technology Park.
- Meronda, Rahma. 2008. *Bahan Tambahan Makanan Antioksidan dan Sekuesteran*. Jurnal Fakultas Farmasi. Makassar : Universitas Hassanudin
- Mulder, M. 1996. *Basic Principle of Membrane Technology*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers
- Nguyen, H., Nguyen, N.C., Chen, S., Ngo, H., Guo, W., Li, C. 2015. *A New Class of Draw Solutions for Minimizing Reverse Salt Flux to Improve Forward Osmosis*. Desalination. Journal of Science The Total Environment. Australia : University of Technology
- Niu, L., Zhang, X., Zhao, X., Hu, Hongying . 2015. *EDTA fouling in dead-end ultrafiltration of low level*



- radioactive wastewater. *Journal of Nuclear Engineering and Design* (276-282). China : Tsinghua University
- Oh Je, H., Kyoo Choung, Y., Lee, S., Seok Choi, J. 2009. *Scale Formation in Reverse Osmosis Desalination : Model Development*. *Journal of Desalination*. Korea : Gwangju Institute of Science and Technology.
- Simon, A., Price, W.E., dan Nghiem, L.D. 2012. *Changes in Surface Properties and Separation Efficiency of a Nanofiltration Membrane after Repeated Fouling and Chemical Cleaning Cycles*. *Journal of Separation and Purification Technology*. 113, 42-50.
- Stuart, B. 2004. *Infrared Spectroscopy : Fundamental and Applications*. John Wiley & Sons, Ltd
- Suarez, L., Diez, M., Garcia, R., Riera, F. 2013. *Recovery of Na₄EDTA from Aqueous Solutions Using Nanofiltration*. *Journal of Separation and Purification Technology* 118, 144-150. Spain : University of Oviedo.
- Susanto, Heru. 2011. *Teknologi Membran*. Semarang: UPT UNDIP Press.
- Sweity, A., Zere, T., David, I., Bason, S., Oren, Y., Ronen, Z., Herzberg, M. 2014. *Side Effects of antiscalants on biofouling of reverse osmosis Membranes in brackish water desalination*. *Journal of Membrane Science*
- Tzotzi, C., Pahiadaki, T., Yiantsios, S.G., Karabelas, A.J., Andritsos, N., 2007, "A Study of CaCO₃ Scale Formation and Inhibition in RO and NF Membrane Processes.", *Desalination*, Vol 296, 171-184. Greece : University of Thessaly
- Ven, W., Van't Sant, Punt, L., Kemperman, a. Der Meer, v. 2008. *Wessling. Hollow Fiber Dead-end Ultrafiltration: Influence of ionic environment on Filtration of Alginates*. *Journal of Membrane Science*. Netherland : University of Twente
- Wu, Jinjian., E, Alison., Contreras., Li, Qilin. 2013. *Studying The Impact of RO Membrane Surface Functional Groups in Alginate Fouling in Seawater Desalination*. *Journal of Membrane Science* (120-127). USA : Rice University
- Xiao, Q., Gu, X., Tan, S. 2014. *Drying Process of Sodium Alginate Films Studied by Two-Dimensional Correlation ATR-FTIR Spectroscopy*. Canada : University Concordia.
- Zhang, Po., Knotig, P., Gray, S., Duke, M. 2015. *Scale reduction and cleaning techniques during direct contact membrane distillation of seawater reverse osmosis brine*. *Journal of Desalination* (20-30). Australia : Victoria University, Melbourne.
- Zhao, Y., Ren, Y., Wang, X., Xiao, P., Tian, E., Wang, X., Li, J. 2015. *An Initial Study of EDTA Complex Based Draw Solutes in Forward Osmosis Process*. China : Institute of Green and Intelligent Technology
- Zazouli, M.A., Susanto, H., Nasser, S. and Ulbricht, M., 2009. *Influences of solution chemistry and polymeric natural organic matter on the removal of aquatic pharmaceutical residuals by nanofiltration*. *Water research*, 43(13), pp.3270-3280.