

PENGENDALIAN SCALING PADA MEMBRAN REVERSE OSMOSIS DENGAN MENGGUNAKAN LARUTAN EDTA

Haga Kaporina (L2C606020) dan M. Dimas Arrief Hidayat (L2C606029)

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jln. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, 50239, Telp/Fax: (024)7460058

Pembimbing: Dr. Tutuk Djoko Kusworo, S.T., MEng

Abstrak

Pembentukan kerak (scaling) pada permukaan membran berupa kerak kalsium karbonat, kalsium sulfat, silika dan atau magnesium silikat merupakan permasalahan utama pada aplikasi sistem membran reverse osmosis (RO) pada proses pemurnian air. Scaling pada sistem RO umumnya dikontrol dengan melakukan pretreatment terhadap air umpan seperti softening atau dengan membatasi tingkat recovery, dimana proses-proses tersebut tidak praktis apabila diaplikasikan pada sistem RO. Penelitian ini bertujuan untuk melihat kemungkinan metode penambahan antiscalant dapat diaplikasikan untuk menghambat terjadinya scaling pada sistem RO. Variabel tetap penelitian ini dilakukan dengan menggunakan satu unit membran spiral wound jenis TW 30-1812-75 yang dioperasikan dengan tekanan operasi 3 bar. Variabel berubah yang digunakan konsentrasi EDTA 0,2 gr/ml dan 0,4 gr/ml dan konsentrasi CaCO_3 di umpan yaitu 1000, 1500, 2000 ppm. Hasil penelitian menunjukkan setelah pembentukan scaling terhadap membran RO kemudian dilakukan penambahan antiscalant dengan menggunakan larutan EDTA terjadi kenaikan laju alir permeat. Hal ini menandakan bahwa penambahan antiscalant ini dimungkinkan untuk meningkatkan kinerja dari sistem membran RO.

Kata kunci: reverse osmosis, antiscalant, EDTA, scaling

Abstract

Scaling on the membrane surface of the crust of calcium carbonate, calcium sulfate, silica and magnesium silicate is the main problem in membrane system application of reverse osmosis (RO) water purification process. Scaling in RO system are generally controlled by pretreatment of feed water such as softening or by limiting the level of recovery, where these processes are not practical when applied to the RO system. This research is aimed to look at the possibility of adding antiscalant method can be applied to prevent the occurrence of scaling in RO system. Fixed variable of this research conducted using a spiral wound membrane unit type TW 30-1812-75 operated with the operating pressure of 3 bars. Variables used to change the concentration of EDTA 0.2 g/ml and 0.4 g/ml and the concentration of CaCO_3 in the feed that is 1000, 1500, 2000 ppm. Result of this research showed the formation of scaling on RO membranes and the addition antiscalant using EDTA solution increases the permeate flow rate. This indicates that the addition of antiscalant is possible to improve the performance of RO membrane system.

Key Words: reverse osmosis, antiscalant, EDTA, scaling

1. Pendahuluan

Air adalah salah satu komponen penting yang menunjang kehidupan manusia. Semakin meningkatnya populasi penduduk, terjadi peningkatan konsumsi air bersih. Selain itu, peningkatan standar kehidupan dan aktivitas industri menuntut standar kualitas air bersih yang lebih baik. Akan tetapi, peningkatan kebutuhan tersebut berkebalikan dengan ketersediaan air bersih, salah satu teknologi pemurnian air adalah menggunakan membran *reverse osmosis* (Daigger, 2008).

Perkembangan pesat dalam industri membran RO menuntut perbaikan teknologi ke arah kesempurnaan, yaitu meminimalkan kelemahan-kelemahan yang dapat menurunkan kinerja membran. Salah satu kelemahan membran RO adalah terjadinya *scaling*. *Scaling* didefinisikan sebagai proses terbentuknya lapisan oleh komponen-komponen non organik pada permukaan membran. *Scaling* yang terjadi pada permukaan membran RO dapat mengurangi efisiensi proses yaitu mengurangi fluks pada permeat (produk) dan mengurangi rejeksi garam-garam yang terkandung pada umpan. Selain itu, *scaling* juga dapat menyebabkan kerusakan membran dan akhirnya mengurangi ketahanan serta memperpendek umur membran (Mustofa, 2007).

Secara umum *scaling* biasanya dihubungkan dengan karakteristik air umpan. Sumber-sumber air seperti air sungai, danau, waduk, air tanah, dan air payau, mengandung senyawa non organik penyebab *scaling*, antara lain CaCO_3 yang memiliki nilai terbesar, CaSO_4 dan SiO_2 . Beberapa jenis air tanah dan komposisi kimianya dapat dilihat pada tabel.

Tabel 1. Beberapa jenis air tanah dan kandungan ion-ion utama

Jenis Air Tanah					
Parameter (mg/L)	Magmatic Rock	Sand Stone	Carbonate Rock	Gypsum	Rock Salt
Na^{2+}	5-15	3-30	2-100	10-40	Hingga 1000
K^+	0,2-1,5	0,2-5	Hingga 1	5-10	Hingga 100
Ca^{2+}	4-30	5-40	40-90	Hingga 100	Hingga 1000
Mg^{2+}	2-6	0-30	10-50	Hingga 70	Hingga 1000
Fe^{2+}	Hingga 3	0,1-5	Hingga 0,1	Hingga 0,1	Hingga 2
Cl^-	3-30	5-20	5-15	10-50	Hingga 1000
NO^-	0,5-5	0,5-10	1-20	10-40	Hingga 1000
HCO_3^-	10-60	2-25	150-300	50-200	Hingga 1000
SO_4^{2-}	1-20	10-30	5-50	Hingga 100	Hingga 1000
SiO_3	Hingga 40	10-20	3-8	10-30	Hingga 30

(Mustofa, 2007)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektifitas pencucian membran Reverse Osmosis menggunakan EDTA (etylene diamine tetra acetic acid).

2. Bahan dan Metode Penelitian (atau Pengembangan Model bagi yang Simulasi/Permodelan)

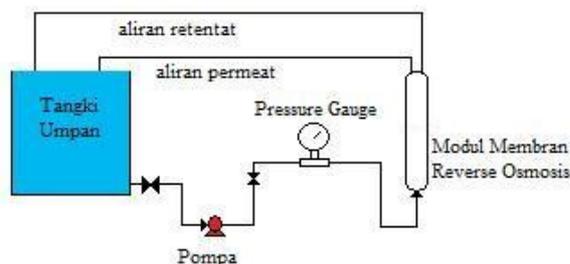
2.1 Bahan

Bahan yang digunakan sebagai umpan pada penelitian ini adalah aquadest dicampur dengan CaCO_3 . Bahan pencuci membrannya adalah EDTA dan NaOH

2.2 Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, untuk umpan yang digunakan adalah aquadest yang telah dicampur CaCO_3 , diukur laju alir permeat pagi dan sore, mengukur *turbidity* umpan dan permeat setiap hari, serta mengukur *turbidity* umpan yang disimpan. Ketika penurunan laju alir terjadi secara tajam maka dilakukan pencucian dengan cara tangki umpan dibersihkan dan disiapkan untuk pencucian dan pembilasan modul membran *reverse osmosis*. Untuk pencucian membran *reverse osmosis* menggunakan larutan EDTA (konsentrasi 0,2 gr/ml dan 0,4 gr/ml) dan larutan NaOH. Pencucian membran *reverse osmosis* menggunakan larutan EDTA dengan konsentrasi 0,2 gr/ml, digunakan EDTA sebanyak 20 gram dilarutkan dalam 1 liter aquadest setelah itu dipanaskan hingga suhu mencapai 40 °C kemudian ditambahkan ke dalam tangki umpan, membran dijalankan. Kemudian cleaning agent dipompa, melewati membran *reverse osmosis* dimana aliran permeat dan retentat dikembalikan ke dalam tangki umpan. Untuk interval waktu pencucian membran *reverse osmosis* adalah 5 menit, 15 menit, 30 menit, 45 menit, 60 menit, 75 menit dan 90 menit sesuai dengan variabel bebas yang telah ditentukan. Setelah pencucian telah selesai maka dilanjutkan dengan pembilasan dengan menggunakan aquadest sebanyak 10 liter, aquadest dipompa melewati membran *reverse osmosis* dengan tekanan sebesar 3 Bar dan (suhu) kamar. Aliran retentat dan umpan dipisahkan pada tempat yang berbeda. Aliran dihentikan ketika air dalam tangki habis kemudian matikan pompa. Setelah itu dilakukan pengukuran laju alir yang dijalankan pada tekanan 3 Bar dan (suhu) kamar dimana pengukuran dilakukan setelah kondisi steady state atau tunak. Sedangkan untuk larutan EDTA dengan konsentrasi 0,4 gr/ml, dengan menggunakan EDTA sebanyak 40 gram dengan cara yang sama sedangkan cara pencucian dan pembilasan sama seperti yang telah disebutkan diatas. Untuk pencucian membran *reverse osmosis* dengan menggunakan larutan NaOH, digunakan NaOH sebanyak 10

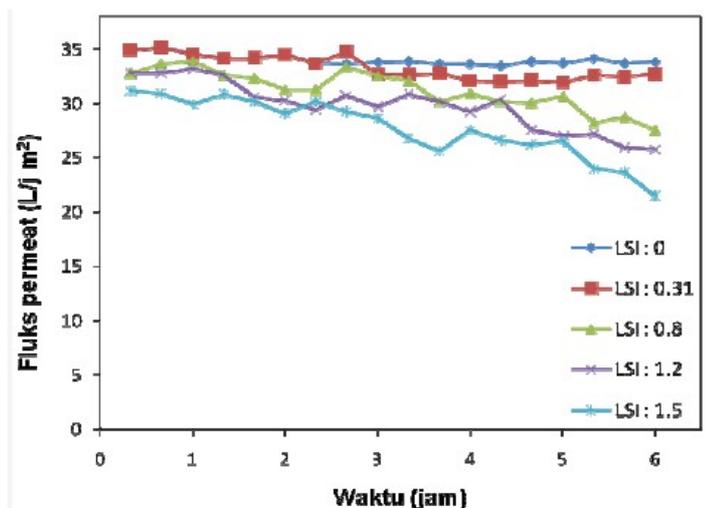
gram dengan cara yang sama. untuk pencucian dan pembilasan sama seperti pada pencucian dan pembilasan membran *reverse osmosis* dengan menggunakan larutan EDTA.



Gambar 1. Rangkaian alat penelitian

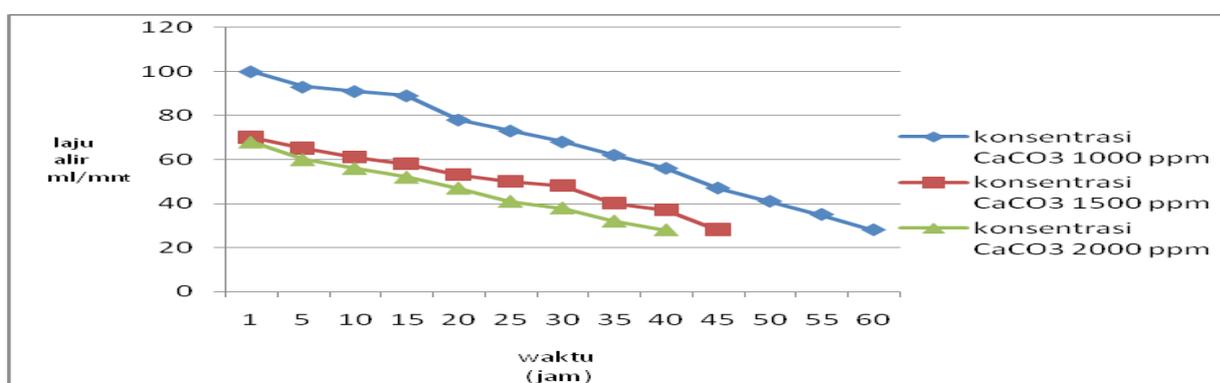
3. Hasil dan Pembahasan

Fouling atau *scaling* merupakan permasalahan umum yang selalu ditemukan dalam proses membran. *Fouling* atau *scaling* dapat mengurangi laju alir pada permeat dan rejeksi material yang tidak diinginkan yang terkandung pada umpan, serta dapat meningkatkan tekanan operasi dan menyebabkan kerusakan pada membran hingga pada akhirnya mengurangi ketahanan serta memperpendek umur membran. Akibatnya foulant ini akan mengurangi efektivitas dan laju alir membran (lihat gb.1). menunjukkan bahwa air umpan yang memiliki nilai LSI = 0 mengalami tren fluks yang relatif stabil terhadap waktu. Hal yang sama terlihat pada air umpan yang memiliki nilai LSI = 0,31. Penurunan fluks permeat yang terjadi pada variasi nilai LSI tersebut selama proses operasi berlangsung hanya berkisar 3-6%. Penurunan fluks yang tidak signifikan berkisar 5-8% lebih dikarenakan oleh proses *membrane conditioning* yang masih terjadi (Tzotzi, 2007). Gambar 4.1 juga memperlihatkan adanya penurunan fluks permeate pada air umpan yang memiliki nilai LSI 0,8; 1,2 dan 1,5. Fluks permeat air umpan LSI 0,8 mengalami penurunan sekitar 16%, begitu juga untuk LSI 1,2 dan 1,5 masing-masing mengalami penurunan 21,23%; 31,28% dari fluks awal. Berdasarkan metode Langelier Saturation Index (LSI), air umpan yang memiliki nilai LSI positif menunjukkan adanya potensi *scaling*, sedangkan nilai yang mendekati nol merupakan keadaan netral yang memungkinkan adanya *scaling* apabila terdapat interfensi dari luar system (Tzotzi, 2007). Pada penelitian ini terlihat air umpan dengan nilai LSI 0,8 s/d 1,5 mengalami penurunan fluks permeat yang signifikan. Kecenderungan ini menunjukkan bahwa fenomena *scaling* pada permukaan membran RO pertama kali terjadi pada air umpan yang memiliki kisaran nilai LSI 0,31-0,8. Hal yang serupa dinyatakan oleh Tzotzi pada penelitian tentang *scaling* pada membran RO dan NF, bahwa *scale* (kerak) pertama kali terbentuk saat larutan *bulk* mencapai rasio supersaturasi 2,5 (LSI = 0,8) atau rasio supersaturasi pada permukaan membran mencapai nilai 4 (LSI =1,1) (Tzotzi, 2007)



Gambar 1 Grafik laju alir permeat vs waktu pengamatan pada operasi membran RO dengan nilai LSI yang bervariasi

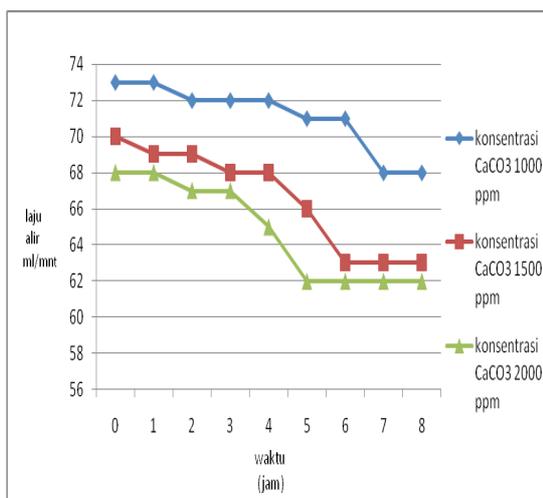
Untuk pengaruh konsentrasi larutan umpan CaCO_3 pada laju alir membran *reverse osmosis* dapat dilihat pada gambar 2 yang menunjukkan bahwa air umpan yang memiliki nilai konsentrasi $\text{CaCO}_3 = 0$ mengalami tren laju alir yang relatif stabil terhadap waktu. Penurunan laju alir permeat mulai terjadi pada air umpan yang memiliki konsentrasi CaCO_3 1000 ppm; 1500 ppm dan 2000 ppm. Pada penelitian ini terlihat air umpan dengan konsentrasi CaCO_3 1000 s/d 2000 ppm mengalami penurunan laju alir permeat yang signifikan. Dari grafik dibawah ini terlihat laju alir permeate dengan larutan umpan CaCO_3 pada konsentrasi yang berbeda akan menurun seiring bertambahnya waktu operasi mikrofiltrasi. Laju alir permeate menurun seiring bertambahnya waktu ini dikarenakan semakin lama waktu operasi mikrofiltrasi, semakin banyak pengotoran *scaling* yang terjadi pada membran. *Scaling* ini semakin lama akan semakin meningkat, hingga menutup pori-pori membran, yang membuat kerja membran menjadi semakin berat dan menghasilkan penurunan jumlah permeat yang dihasilkan (Mustofa, 2007)



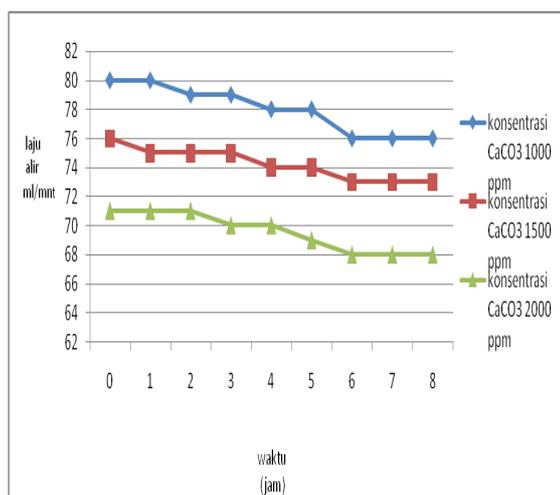
Gambar 2 Grafik laju alir permeat vs waktu pengamatan pada operasi membran *reverse osmosis* dengan konsentrasi CaCO_3 yang bervariasi.

Pencucian membran dilakukan ketika telah terbentuk *scaling* dalam membran *reverse osmosis* yang ditandai dengan menurunnya laju alir permeate yang diakibatkan oleh *scaling*. Pada grafik (dari gambar 3.a dan

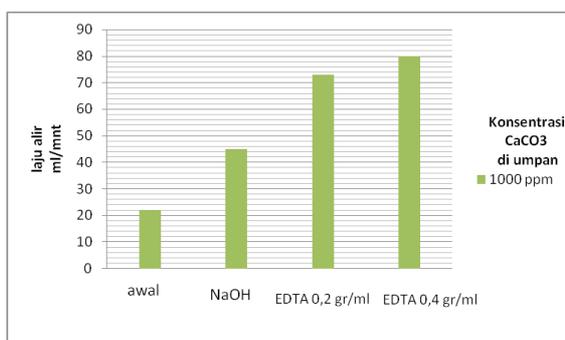
3.b) terlihat dengan tidak adanya *scaling* menyebabkan laju alir akan terlihat konstan dengan tekanan yang tetap. (dari gambar 3.a dan 3.b) juga terlihat efektifitas pencucian akan naik seiring dengan meningkatnya konsentrasi reagent pencuci. Hal ini ditandai dengan naiknya laju alir permeate setelah dilakukan pencucian. Pada percobaan ini juga dilakukan pencucian dengan menggunakan larutan NaOH (lihat gambar 3.c) disini terlihat bahwa larutan EDTA lebih cocok digunakan sebagai larutan pencuci membran *reverse osmosis* bila dibandingkan dengan larutan NaOH. Hal ini dapat diketahui ketika sebuah membran dicuci menggunakan larutan NaOH, tidak terjadi kenaikan laju alir permeate yang berarti, namun ketika digunakan larutan pencuci EDTA konsentrasi 0,2 gr/ml, larutan permeate naik dari 22 ml/ menit menjadi 73 ml/menit, dan larutan pencuci EDTA konsentrasi 0,4 gr/ml, laju alir permeate naik dari 22 ml/ menit menjadi 80 ml/menit.



Gambar 3.a Grafik Pengaruh konsentrasi EDTA 0,2 gr/ml vs konsentrasi CaCO₃ yang bervariasi terhadap proses pencucian membran *reverse osmosis*

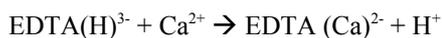


Gambar 3.b Grafik Pengaruh konsentrasi EDTA 0,4 gr/ml vs konsentrasi CaCO₃ yang bervariasi terhadap proses pencucian membran *reverse osmosis*

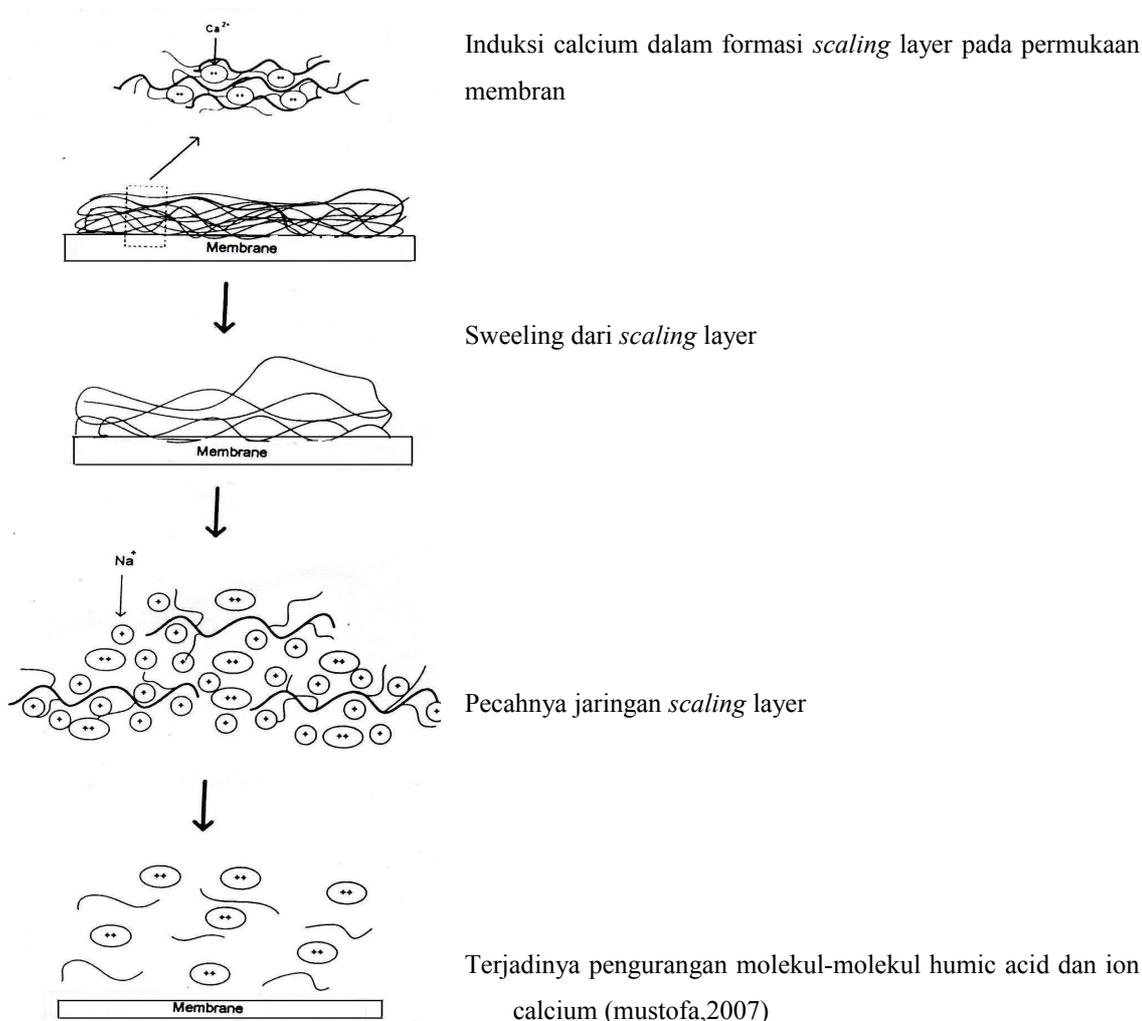


Gambar 3.c Grafik Perbandingan *reagent* larutan pencuci EDTA dengan larutan NaOH terhadap proses pencucian membran *reverse osmosis*

Pada pencucian ini dipilih EDTA karena mempunyai kemampuan yang baik untuk bereaksi dengan *scaling* yang menyumbat pori-pori membran dengan membentuk senyawa kompleks yang kemudian senyawa kompleks ini dapat didispersikan ke dalam larutan. *Chelating agent* ini menarik ion positif (+) dari struktur padatan pada *scaling*, kemudian membantu memecah *scaling* yang ada pada permukaan membran. Proses pencucian membran menggunakan larutan EDTA dapat dijelaskan dengan adanya pembentukan Ca-EDTA kompleks, karena EDTA merupakan *chelating agent* kuat untuk Ca²⁺. EDTA dapat menggantikan molekul-molekul *humic acid* yang terikat oleh Ca²⁺ dalam *scaling layer*. Reaksinya adalah sebagai berikut;



Sebagai konsekuensinya, molekul-molekul *humic acid* akan kehilangan kemampuan untuk berikatan antara kompleks intra-molekular dengan Ca^{2+} yang menyebabkan pecahnya jaringan struktur *scaling layer* pada permukaan membran. Untuk lebih jelasnya proses pemindahan *scaling* oleh larutan pencuci EDTA dapat kita lihat pada gambar di bawah ini



4. Kesimpulan

Scaling membran tidak dapat dihindari dan menjadi tantangan terberat dalam teknologi membran. *Scaling* membran inilah yang menyebabkan penurunan fluks dan mengurangi efektivitas membran. Salah satu cara untuk mengendalikan terbentuknya *scaling* adalah dengan proses pencucian. EDTA merupakan salah satu reagent pencuci membran yang terbukti cukup efektif untuk membentuk suatu senyawa kompleks dengan *scaling* yang menempel pada permukaan membran. Efektifitas pencucian dengan larutan EDTA juga akan meningkat seiring bertambahnya konsentrasi dari larutan EDTA. Larutan pencuci EDTA lebih cocok untuk menghilangkan *scaling* dibandingkan larutan pencuci NaOH dikarenakan efektifitas pencucian dengan larutan EDTA lebih tinggi jika dibandingkan dengan larutan pencuci NaOH.

Daftar Pustaka

Chen, K.R., 1999, “*Reverse Osmosis Drinking Water Treatment System with Backwashable Precise Prefilter Unit*”, US Patent 5958232

Daigger, G.T., 2008, “*New Approaches and Technologis for Wastewater Management*”, National Academy of Engineering Publications Vol. 38

Drak, A., Glucina, K., M., Hasson, D. Laine, J.M., Semiat, R., 2000,” *Laboratory Technique for Predicting The Scaling Propensity of RO Feed Waters.*”, Proceeding of the Conference on Membranes in Drinking and Industrial Water Production.

Fisher, A., Reiseg, J., Powell, P., Walker, M., 2007, *Reverse osmosis : How it Works.*, University of Nevada.

Hamrouni, B., Dhahbi, M., 2001, “*Thermodynamic Description of Saline Water-Prediction of Scaling Limits in Desalination Process*”. Vol 137, 275-284.

Lee, Sangyoup and Menachem Elimelech., 2006, “*Salt Cleaning of Organic-Fouled Reverse Osmosis Membranes*”, New Haven: Yale University.

Madaeni, Sayed Siavash, Toraj Mohammdi and Mansour Kazemi Mhogadam.,2000,”*Chemical Cleaning of Reverse Osmosis Membranes*”.Kermanshah : Razi University

Mulder, M., 1996, “*Basic Principles of Membrane Technology*”. 2nd edition., London, Kluwer Academic Publisher, 6, 448, 416-418,453-456.

Mustofa, G.M., 2007, “*The study of Pretreatment Options for Composite Fouling of Reverse osmosis Membrane Used in Water Treatment and Production*”. School of Chemical Science and Engineering University of South Wales.

Rahardianto, A., Shih, W.Y., 2006, “ *Diagnostic Characterization of Gypsum Scale Formation and Control in Reverse Osmosis Membrane Desalination Of Brackhish Water.*”, Journal of Membrane Science, Vol 279,655-668.

Singh, R., 2006, “ *Hybrid Membrane System for Water Purification: Technology System Design and Operations*”, Elsevier Science & Technology Books, 1-3, 87-88.

Stamatakis, E., Stubos, A., Palyvoz, J., Chatzichristos, C., Muller, J., 2005, “*An Improved Predictive Correlation for The Induction Time of CaCO₃ Scale Formation during Flow in Porous Media.*”, Journal of Membrane Science, Vol 279, 655-668.

Tzotzi, C., Pahiadaki, T., Yiantsios, S.G., Karabelas, A.J., Andritsos, N., 2007, “ *A Study ad CaCO₃ Scale Formation and Inhibition in RO and NF Membrane Processes.*”, Desalination, Vol 296, 171-184.

Wang, Y., 2005. "*Composite Fouling of Calcium Sulfate and Calcium Carbonate in Dynamic Seawater Reverse Osmosis Unit*". School of Chemical Engineering and Industrial Chemistry. University of New South Wales.

William, M.E., 2003, "*A Brief Review of Reverse Osmosis Membrane Technology*", EET Corporation and William Engineering Service Company.