

KAJIAN OPTIMALISASI PROSES *REVERSE OSMOSIS* MENGUNAKAN *PRE-TREATMENT* UNTUK DESALINASI AIR PAYAU: *LITERATURE REVIEW*

Gina Lova Sari
Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang
ginalovasari@gmail.com¹

ABSTRACT

Reverse osmosis (RO) is a desalination technology that is able to separate water, salt, and particles up to 95%. However, the weakness of the RO process is fouling, which can reduce the effectiveness. This paper aim is to describe a techniques for avoiding fouling using pre-treatment to reduce the pollution load and operational costs. The pre-treatment process uses brackish water from beach wells which was processed using microfiltration technology as further pre-treatment.

Keywords: Beach Wells, Brackish Water, Desalination, Microfiltration, Reverse Osmosis

ABSTRAK

*Reverse osmosis (RO) merupakan teknologi desalinasi air laut yang memiliki kemampuan pemisahan air, garam, dan partikel cukup tinggi, mencapai 95%. Namun, dalam aplikasinya proses RO berpotensi mengalami *fouling* yang dapat menurunkan efektivitasnya. Makalah ini bertujuan untuk memberikan tinjauan mengenai upaya menghindari *fouling* untuk mengoptimalkan RO dengan melakukan *pre-treatment* sehingga beban dan biaya operasional berkurang. *Pre-treatment* dapat dilakukan dengan pemilihan air payau yang mengandung sedikit garam dan partikel sebagai air baku. Air payau dengan kualitas baik dapat diperoleh dari sumur pantai yang selanjutnya diproses menggunakan teknologi mikrofiltrasi sebagai upaya *pre-treatment* lanjutan.*

Kata Kunci: Air payau, Desalinasi, Mikrofiltrasi, *Reverse Osmosis*, Sumur Pantai

PENDAHULUAN

Proses desalinasi air laut yang dimanfaatkan untuk mengatasi krisis air bersih telah banyak dilakukan di berbagai negara. Proses desalinasi bertujuan untuk menghilangkan garam, mineral, dan partikel lain dari air laut guna menghasilkan air bersih sehingga dapat dimanfaatkan (Alimah dan Parapak, 2008). Beberapa peneliti melaporkan bahwa pengembangan teknologi desalinasi yang dilakukan mengarah pada teknologi membran melalui proses RO (Said, 2003; Lubis dkk., 2007; Al-Mashharawi dkk., 2012; Valavala dkk., 2011; Lau dkk., 2014).

RO mampu menyisihkan berbagai ion dan zat terlarut dalam air baku hingga 95% dengan konsumsi energi yang rendah (Said, 2003; Bismo, 2006). Namun, efektivitas RO berpotensi menjadi kurang optimal akibat terjadinya *fouling* yaitu deposisi partikel pada permukaan atau pori membran. Penyebab utama terjadinya *fouling* adalah penumpukan partikulat, adhesi dan pertumbuhan mikroba, adsorpsi senyawa organik, dan terbentuknya kerak. Kondisi tersebut dipengaruhi oleh air laut yang mengandung garam, logam berat, silika, karbonat, posfat, sulfat, dan bahan organik (Bismo, 2006; Alimah dan Parapak, 2008; Lazarova dkk., 2008; Sun dkk., 2013). Menurut Sutrisno (2002); Indriastoni dan Kustini (2012), air laut mengandung garam sebanyak 3% sehingga salinitas dan konduktivitasnya tinggi.

Fouling mengakibatkan umur pakai membran menjadi lebih pendek, dimana menyebabkan frekuensi pencucian dan penggantian membran meningkat, serta meningkatkan biaya operasional (Bartak dkk., 2012; Missimer dkk., 2013). Guna menghindari kedua hal tersebut maka sebelum diolah menggunakan RO, air baku khususnya air laut harus melalui pengolahan awal (*pre-treatment*) sehingga beban pengolahan menjadi lebih rendah (Lau dkk., 2014; Hashlamon dkk., 2015).

Salah satu upaya *pre-treatment* yang dapat dilakukan penyaringan awal guna mendapatkan air laut dengan kandungan garam dan partikel lain yang rendah (Valavala dkk., 2011). Upaya ini dapat dilakukan dengan memanfaatkan penyaringan alami oleh lapisan tanah dan batuan di

sekitar pantai yang menghasilkan air payau. Air payau merupakan air yang terbentuk karena intrusi air laut kemudian bercampur dengan air tanah dangkal. Missimer dkk. (2013); dan Bartak dkk. (2012) menyatakan bahwa semakin dekat jarak sumur dengan garis pantai maka nilai konduktivitasnya akan semakin tinggi. Oleh karena itu, air payau dianggap tidak layak konsumsi tetapi dapat dimanfaatkan sebagai air baku proses desalinasi yang lebih baik daripada air laut.

Air payau dengan kualitas yang baik dapat diperoleh menggunakan teknologi *intake* yang tepat (Alimah dan Parapak, 2008; Missimer dkk., 2013). Pemahaman mengenai teknologi tersebut menjadi hal penting untuk keberhasilan desalinasi air payau menjadi air bersih. Oleh karena itu, makalah ini bertujuan untuk memberikan tinjauan mengenai teknik *intake* dan *pre-treatment* RO berdasarkan pada literatur dan aplikasi yang telah diterapkan.

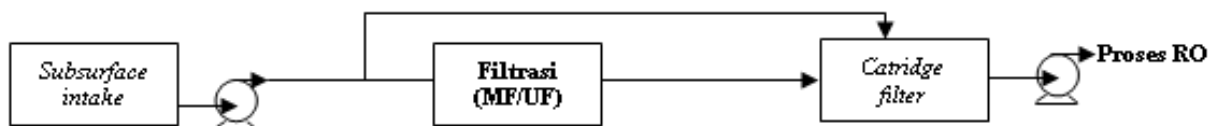
METODE PENELITIAN

Pendekatan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah *systematic review* berbasis kualitatif menggunakan metode meta-sistesis. Menurut Lewin (2008), metode meta-sintesis merupakan proses integrasi data dengan cara merangkum berbagai hasil penelitian sehingga didapatkan pemahaman yang mendalam dan menyeluruh. Sumber literatur adalah semua publikasi kualitatif terkait dengan teknologi *intake* dan teknik *pre-treatment* untuk desalinasi air menggunakan RO.

HASIL DAN PEMBAHASAN

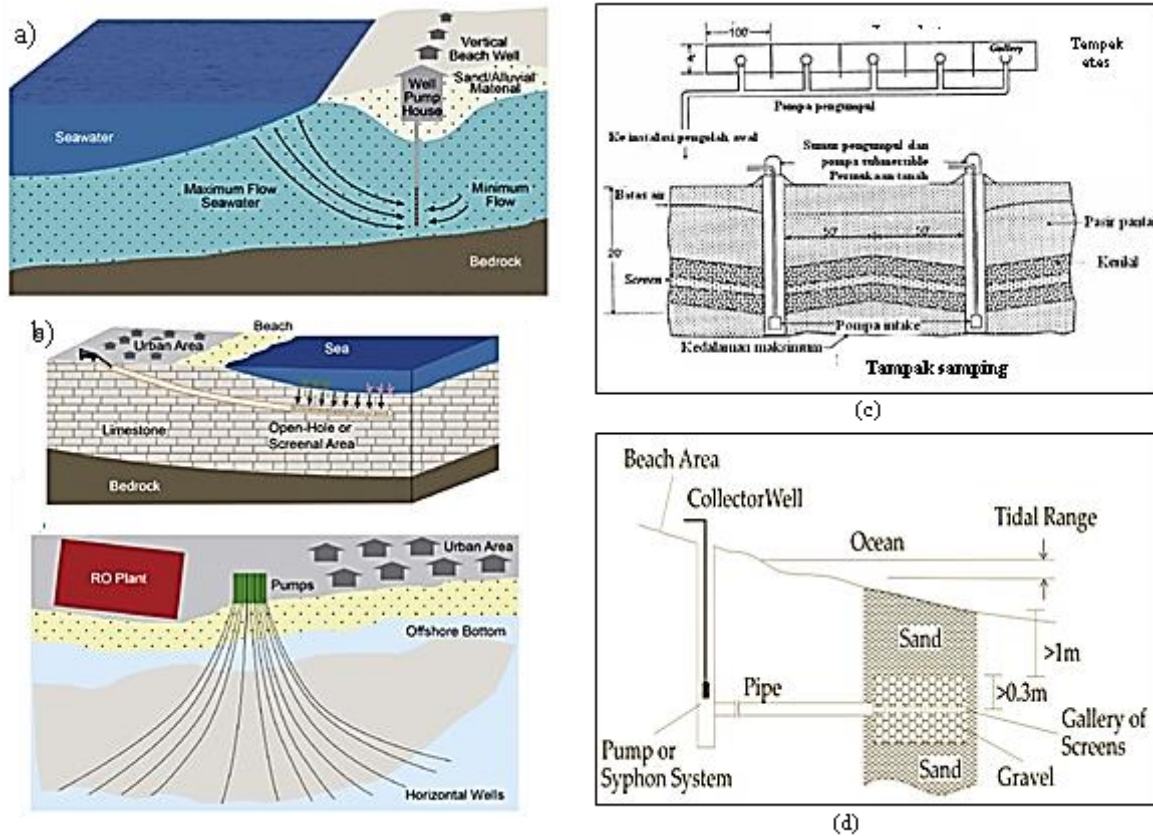
Teknologi *Intake* Air Payau

Air payau dapat ditemukan pada bagian bawah dasar laut yang berjarak dekat dengan garis pantai (*subsurface intake*). Secara geologis, pada lokasi tersebut terdapat pasir dan batuan yang mampu menjadi sistem filtrasi alami sehingga kualitasnya berpotensi lebih baik dibandingkan air laut (Alimah dan Parapak, 2008; Missimer dkk., 2013). Kondisi ini sesuai dengan pernyataan Al-Mashharawi dkk. (2012) dan Missimer dkk. (2013) bahwa *subsurface intake* dapat mengurangi *silt density index* (SDI) sebesar 75-90%, menyisihkan bakteri hingga 90%, menghilangkan alga, mereduksi bahan organik yang menjadi penyebab terjadinya *fouling*. Filtrasi alami oleh *subsurface intake* mampu menurunkan biaya operasional hingga 5-30% karena mengurangi penggunaan bahan kimia dan energi pada proses *pre-treatment*. Bahkan air dari *subsurface intake* dapat langsung masuk ke dalam proses RO tanpa *pre-treatment* (Gambar 1).



Gambar 1. Diagram Proses *Pretreatment* Sebelum *Reverse Osmosis*
(Sumber: Missimer dkk., 2013)

Kapasitas air yang dapat diambil dari *subsurface intake* cukup besar mencapai 18.927 m³/hari (Alimah dan Parapak, 2008). Teknologi yang diterapkan dalam *subsurface intake* ada 3 yaitu sumur pantai (*beach well*), *infiltration gallery*, dan *seabed filtration system* yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. (a) Sumur Pantai Vertikal, (b) Sumur Pantai Horizontal, (c) *Infiltration Gallery*, (d) *Seabed Filtration System*
 (Sumber: Alimah dan Parapak, 2008; Bartak dkk., 2012; Missimer dkk., 2013)

Karakteristik dari ketiga teknologi *intake* dapat dilihat pada Tabel 1. Tabel 1 menunjukkan bahwa teknologi *intake* yang direkomendasikan adalah sumur pantai karena biayanya yang lebih murah dan kapasitas air yang dihasilkan besar. Sumur pantai telah dimanfaatkan beberapa negara seperti Spanyol, Oman, Malta, dan Mesir dengan jumlah masing-masing sebanyak 30, 28, 18, dan 15 unit. Penentuan lokasi sumur pantai sangat penting karena harus berada pada titik pertemuan air laut dengan air tawar. Studi hidrogeologi secara detail diperlukan untuk menentukan lokasi sumur pantai. Mardyanto dkk. (1999) dalam penelitiannya melaporkan bahwa air payau masih ditemukan pada sumur yang berjarak 2 km dari garis pantai.

Air yang masuk ke dalam sumur pantai melewati sistem filtrasi alami sehingga partikulat, bakteri, alga, dan bahan organik lain dari air laut dapat disisihkan. Mekanisme filtrasi yang terjadi melalui proses adsorpsi, degradasi, dan dilusi (Bartak dkk., 2012; Missimer dkk., 2013). Kerikil dalam desain sumur pantai (lihat Gambar 2) juga membantu proses filtrasi karena berfungsi sebagai penyaring partikel-partikel dalam air payau sebelum masuk ke dalam pipa. Pipa yang digunakan dalam konstruksi sumur pantai menggunakan jenis *fiber glass* atau PVC. Penyaring dan pompa berbahan baja (*stainless steel*) untuk menghindari korosi akibat salinitas air payau (Bartak dkk., 2012). Tabel 2 menunjukkan perbedaan kualitas air laut dengan air payau dari sumur pantai.

Tabel 1. Teknologi-Teknologi Berbasis *Subsurface Intake*

Teknologi	Debit air laut (m ³ /hari)	Faktor penting	Keterangan
Sumur pantai vertikal	379-3.785	Terdapat akuifer <i>phreatic</i> yaitu lapisan tanah di bawah <i>water table</i> dengan ketebalan minimum 45,72 m yang poriporinya jenuh dengan air tanah. Filtrasi yang terjadi memanfaatkan pasir pantai.	Biaya lebih murah dibandingkan sumur pantai horizontal
Sumur pantai horizontal	1.893-18.927		Biaya lebih mahal dibandingkan sumur pantai vertikal
<i>Infiltration gallery</i>	757-7.571	Diperuntukkan pada lokasi dengan kondisi hidrogeologi yang kurang baik	Biaya lebih mahal sekitar 15-20% dibanding sumur pantai (1 unit <i>infiltration gallery</i> membutuhkan 6 unit sumur pantai)
<i>Seabed filtration system</i>	<18.927	Konstruksi dilakukan di dasar laut yang berombak	Biaya lebih mahal hingga 2 kali lebih besar dari sistem <i>beach well</i>

(Sumber: Pankratz, 2004; Alimah dan Parapak, 2008; Bartak dkk., 2012)

Tabel 2. Karakteristik Air Laut dan Air Payau dari Sumur Pantai

Jenis Air	TDS (mg/L)	Kekeruhan (NTU)	SDI	DOC (mg/L)	Kandungan humus (mg/L)	Polimer organik (mg/L)	Alga		Total bakteri (sel/mL)
							<i>Prochlorococcus sp</i>	<i>Synechococcus sp</i>	
Air laut	55,4	0,9	16,5	0,54	520	222	4400	113.040	995.310
Air sumur pantai	54,3	0,6	0,82	0,10	85	1	<100	<100	3.270

(Sumber: Missimer dkk., 2013)

Menurut Bartak dkk. (2012), kualitas air payau yang dihasilkan oleh sumur pantai bisa lebih baik daripada yang disajikan dalam Tabel 2. Penulis yang sama menyatakan bahwa sumur pantai mampu menyediakan air baku RO berkualitas baik dengan nilai SDI 0,3-1,0. Kondisi air tersebut dapat langsung diproses menggunakan RO, mengingat syarat nilai SDI adalah 2,0-5,0. Pernyataan tersebut juga didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Jamaluddin dkk. (2005), yang melaporkan bahwa penggunaan sumur pantai di Laut Merah, mampu mereduksi kandungan TOC, DOC, karbohidrat, dan protein secara berurutan sebesar 68%, 51-69%, 73%, dan 100% di instalasi pengolahan air laut.

Pretreatment Proses Reverse Osmosis

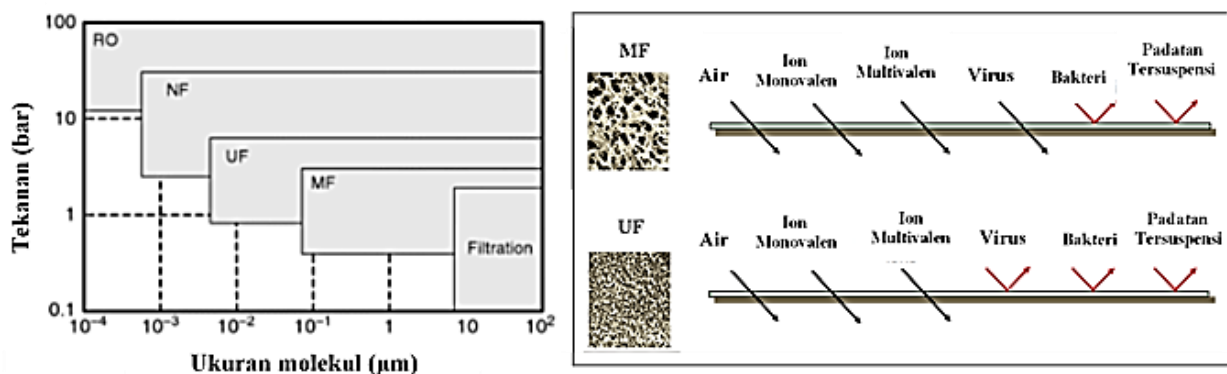
Air baku untuk proses RO memiliki beberapa persyaratan yaitu kekeruhan tidak terdeteksi (nol), kadar Fe < 0,1 mg/L dan SDI maksimal sebesar 5. Nilai pH juga harus dikontrol untuk menghindari pergerakan kalsium yang dapat membentuk kerak (Said, 2003; Bartak dkk. 2012). Apabila nilai tersebut dibandingkan dengan karakteristik air payau sumur pantai pada Tabel 2, maka nilai kekeruhan masih jauh berada diatas syarat yang ditentukan yaitu 0,6. Oleh karena itu, masih diperlukan *pre-treatment* untuk menurunkan tingkat kekeruhan air payau (Sun dkk., 2013; Hashlamon dkk., 2015).

Menurut Gabelich dkk., 2004; Jamaly dkk. (2014); Hashlamon dkk. (2015), *pre-treatment* RO terbagi menjadi 2 metode yaitu konvensional (koagulasi-flokulasi, sedimentasi, dan filtrasi) dan non konvensional (mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi). Metode konvensional menggunakan koagulan dan desinfektan untuk mempercepat proses pemisahan air dengan garam dan membunuh bakteri-bakteri yang tidak diperlukan (Al-Mashharawi dkk., 2012; Lau dkk., 2014). Penggunaan koagulan dan desinfektan akan menghasilkan produk samping yang membutuhkan pengolahan lanjutan. Lebih lanjut Knops dkk. (2007) melaporkan bahwa biaya *pre-treatment* menggunakan metode konvensional lebih tinggi hingga 2,0-7,0% dibandingkan non-konvensional.

Mikrofiltrasi (MF) dan Ultrafiltrasi (UF)

Beberapa peneliti menyatakan bahwa MF dan UF merupakan teknologi *pretreatment* yang efektif dan efisien, serta layak untuk diaplikasikan (AMTA, 2005; Lazarova dkk., 2008; Valavala dkk., 2011; Hashlamon dkk., 2015). Menurut Hashlamon dkk. (2015), MF dan UF memiliki efisiensi tinggi dengan tekanan rendah sehingga lebih baik dibandingkan pengolahan konvensional.

Prinsip kerja MF dan UF untuk memisahkan air dan partikel menggunakan sistem difusi berbasis membran dan tekanan, tanpa koagulan sehingga mengurangi pembentukan *fouling* (Gambar 3). Prinsip kerja tersebut mampu memperpanjang umur membran hingga 6 bulan dari jadwal penggantian yang telah ditentukan (Moody dkk., 2007; Al-Mashharawi dkk., 2012; Jamaly dkk., 2014). Perbedaan MF dan UF terletak pada besar tekanan, ukuran pori, dan tipologi membrane sehingga efektivitasnya sangat bergantung pada jenis dan ukuran partikel yang ingin dihilangkan (Cipollina dkk., 2009).



Gambar 3. Karakteristik MF dan UF

(Sumber: Said, 2003; Cipollina dkk., 2009; Masduqi, 2012; Hashlamon dkk., 2015)

Proses pemisahan MF dan UF membutuhkan tekanan untuk mendorong air payau bergerak melewati membran. Air yang melewati membran telah dipisahkan dari kontaminannya, yang disebut *permeate*. Bersamaan dengan proses tersebut, kontaminan dalam air terbawa dan tersaring di permukaan membran sehingga terakumulasi, yang *retenate*. *Retenate* dapat diresirkulasi kembali sebagai air baku guna mencapai efisiensi pengolahan yang lebih baik (Cipollina dkk., 2009).

Gambar 3 menggambarkan bahwa perbedaan utama antara MF dan UF adalah tekanan dan ukuran pori seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Ukuran pori MF adalah 0,1 µm sehingga mampu menyisihkan partikel padat berukuran >500.000 dalton yang dioperasikan dengan tekanan 0,7-4,0 bar dan kecepatan aliran silang sebesar 3-6 m/detik (Cipollina dkk., 2009; Hashlamon dkk., 2015). Ukuran pori UF lebih kecil dibandingkan MF, yaitu <0,09 µm (Said, 2003; Cipollina dkk., 2009). UF mampu mengurangi kekeruhan dan memisahkan makromolekul dalam air dengan menyisihkan partikel berukuran 1.000-500.000 dalton pada tekanan 0,9-8,0 bar (Masduqi, 2012; Hashlamon dkk., 2015).

MF dan UF jika dibandingkan memiliki persentase penyisihan yang tidak berbeda jauh. Jamaly dkk. (2014) dalam makalahnya menyebutkan *permeate* UF memiliki SDI <3 dan kekeruhan <1 NTU. Nilai yang sama ditunjukkan oleh *permeate* dari MF. Hal ini menunjukkan bahwa tidak terlihat perbedaan yang signifikan antara MF dan UF. Pernyataan ini sejalan kajian Fritzmann dkk (2007). yang melaporkan bahwa tidak ditemukan perbedaan signifikan dalam penggunaan MF (0,1 µm) dan UF (100 kDa), karena terdapat *fouling* yang sama dalam *retenate*. Kondisi tersebut dipertegas oleh Al-Mashharawi dkk. (2012) yang melaporkan karakteristik *retenate* menggunakan MF dan UF (Tabel 3). Dengan demikian, aplikasi MF lebih disarankan untuk *pre-treatment* RO mengingat tekanan yang diperlukan lebih kecil dibandingkan UF.

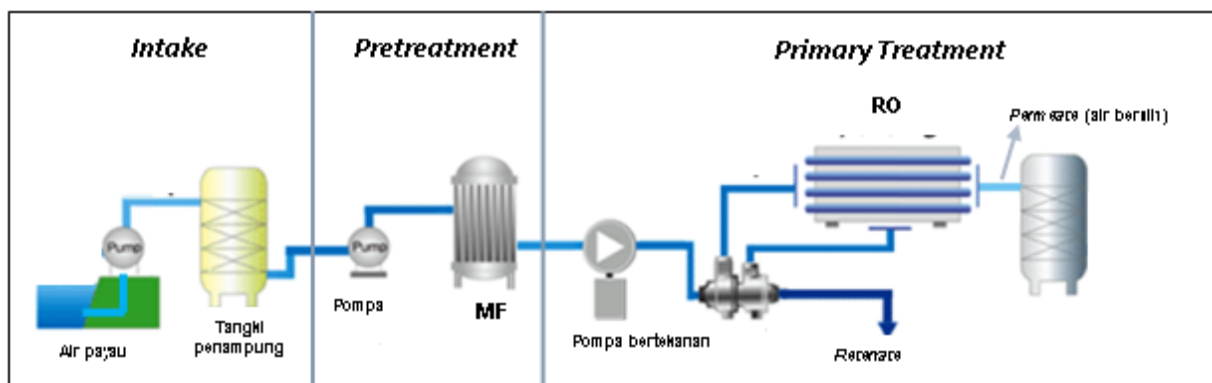
Tabel 3. Perbandingan Effluen Air dari Mikrofiltrasi dan Ultrafiltrasi

Jenis Air	SDI (%/menit)	Turbidity (NTU)	pH	Suhu (°C)	TOC (mg/L)
Air laut	11,9	0,6-0,8	7,8-8,4	20,2	1,9
UF 50 kDa	2,7	0,1	7,8	20,4	1,7
UF 100 kDa	2,9	0,1	7,7	22,6	1,8
MF 0,1 µm	1,9	0,2	7,8	24,0	1,7

(Sumber: Al-Mashharawi dkk., 2012)

Alur Pemanfaatan *Pre-treatment* dalam Proses *Reverse Osmosis*

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan, maka kinerja RO dapat dioptimalkan dengan penerapan beberapa *pre-treatment*, yaitu pemilihan sumur pantai sebagai teknologi *intake* sehingga dapat menghasilkan air payau berkualitas baik. Proses dilanjutkan dengan filtrasi menggunakan MF guna menyisihkan partikel dalam air payau sehingga dapat mengurangi potensi terjadinya *fouling*. Ilustrasi sederhana prosesnya dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Bagan Alir Desalinasi Air Payau
 (Diadaptasi dari Mortensen dkk., 2007)

KESIMPULAN

Upaya meminimalisir terjadinya *fouling* dalam RO dapat dilakukan dengan penggunaan air payau dari sumur pantai sebagai bahan baku. Syarat air baku RO adalah tingkat kekeruhan, Fe, dan SDI masing-masing adalah nol, <0,1 mg/L, dan 0-5. Jika nilai ketiga parameter tersebut masih belum sesuai, maka diperlukan *pre-treatment* lanjutan menggunakan teknologi MF.

DAFTAR PUSTAKA

Al-Mashharawi, S.K., Ghaffour, N., Al-Ghamdi, M., dan Amy, G.L., 2012, *Evaluating the Efficiency of Different Microfiltration and Ultrafiltration Membranes Used as pretreatment for Red Sea Water Reverse Osmosis Desalination*, *Desalination and Water Treatment*, Vol. 51, pp. 617-626.

- American Membrane Technology Association (AMTA), 2005, *Importance of Feedwater Characterization on Membrane Pretreatment for Seawater Reverse Osmosis*, Pretreatment Solution.
- Bartak, R., Grischek, T., Ghodeif, K., dan Ray, C., 2012, *Beach Sand Filtration as Pre-Treatment for RO Desalination*, International Journal of Water Sciences, Vol. 1-10.
- Bismo, S., 2006, *Strategi Penerapan Teknologi untuk Penyediaan Air Bersih dan Pengolahan Limbah untuk Pemukiman Penduduk dan Industri*, Workshop BALITBANGDA JABAR, Bandung.
- Cipollina, A., Micale, G., Rizzuti, L., 2009, *Seawater Desalination: Conventional and Renewable Energy Processes*, Technology and Engineering, Springer Science and Business Media.
- Gabelich, C.J., Gerringer, F.W., Franklin, J.C., Cohen, Y., 2004, *Reverse Osmosis Pretreatment: Challenges with Conventional Treatment*, Membrane Treatment for Drinking Water and Reuse Applications, AWWA Annual Conference and Exposition.
- Hashlamon, A., Ahmad, A., Hong, L.C., 2015, *Pre-treatment Methods for Seawater Desalination and Industrial Wastewater Treatment: A Brief Review*, International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology, Vol. 1, pp. 422-428.
- Jamaly, S., Darwish, N.N., Ahmed, I., dan Hasan, S.W., 2014, *A Short Review on Reverse Osmosis Pretreatment Technologies*, Desalination, Vol. 354, pp. 30-38.
- Jamaluddin, A.T.M., Hassan, A.M., Reweli, A.A., dan Saeed, M.O., 2005, *Operation of Al-Birk Plant Introducing Beachwell Intake System*. Technical Report, Saline Water Desalination Research Institute, Al-Birk SWRO Plant.
- Knops, F., Hoof, S.V., Futselaar, H., dan Broen, L., 2007, *Economic Evaluation of a New Ultrafiltration Membrane for Pretreatment of Seawater Reverse Osmosis*, Desalination, Vol. 203, pp. 300–306.
- Lau, W.J., Goh, P.S., Ismail, A.F., dan Lai, S.O., 2014, *Ultrafiltration as a pretreatment for seawater desalination: A Review*, Membrane Water Treatment, Vol. 5, pp. 15-29.
- Lazarova, V., Gallego, S., Molina, V.G., dan Rouge, P., 2008, *Problems of OPERATION AND Main Reasons for Failure of Membranes in Tertiary Treatment Systems*, Water Science Technology, Vol. 57, pp. 1777-1784.
- Lewin, S., 2008, *Methods to Synthesis Qualitative Evidence Alongside a Cochrane Intervention Review*, London School of Hygiene and Tropical Medicine, London.
- Mardiyanto, M.A., Widodo, H.R.A., Sitowati, 1999, *Studi Inventarisasi Kualitas Air Tanah di Surabaya Timur dan Utara*, IPTEK Journal.
- Masduqi, A., 2012, *Membrane Process*. Handout Mata Kuliah Pengolahan Air Tingkat Lanjut, Jurusan Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Missimer, T., Ghaffour, N., Dehwah, A.H.A., Rachman, R., Maliva, R.G. dan Amy, G., 2013, *Subsurface Intakes for Seawater Reverse Osmosis Facilities: Capacity Limitation, Water Quality Improvement, and Economics*, Desalination, Vol. 322, pp. 37-51.
- Mortensen, E.R., Cath, T.Y., Brant, J.A., Dennet, K.E., dan Childress, A., 2007, *Evaluation of Membrane Processes for Reducing Total Dissolved Solids Discharged to the Truckee River*, Journal of Environmental Engineering, Vol. 133, pp. 1136-1144.
- Pankratz, T., 2004, *An Overview of Seawater Intake Facilities for Seawater Desalination*, CH₂M Hill, Inc., pp. 1-12.
- Said, N.I., 2003, *Aplikasi Teknologi Osmosis Balik untuk Memenuhi Kebutuhan Air Minum di Kawasan Pesisir atau Pulau Terpencil*. <http://www.portalgaruga.org>. Diakses tanggal 17 September 2019.
- Sun, W., Liu, J., Chu, H., dan Dong, B., 2013, *Pretreatment and Membrane Hydrophilic Modification to Reduce Membrane Fouling*, Membranes, Vol. 3, pp. 226-241.
- Valavala, R., Sohn, J., Han, J., Her, N., dan Yon, Y., 2011, *Pretreatment in Reverse Osmosis Seawater Desalination: A Short Review*, Environmental Engineering Research, Vol. 16, pp. 205-212.