



Sistem Desalinasi Membran Reverse Osmosis (RO) untuk Penyediaan Air Bersih

Linda A. Yoshi¹, I Nyoman Widiasta^{2*}

Program Studi Teknik Kimia, FT, UNDIP, Jln. Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang 50275

*E-mail: widiasta@undip.ac.id

Abstract

Development of tourism has an impact on the water demand. The amount of clean water is not comparable of requirement. The other alternatives needed to get clean water of water sources and technologies. One of technology that can be used is desalination and water source can be used sea water and brackish water. Desalination technology is divided into two: thermal processes and membrane processes. Currently, reverse osmosis membrane separation is more favorable than thermal process. Desalination costs are more affected by plant capacity and energy consumption. The greater plant will be cheaper than smaller plant. In addition to these two factors, desalination cost is affected by the place where the RO desalination plant is installed. The cost of desalination at each country will be different even though the cost of desalination in Indonesia has not been recorded properly.

Keywords: Desalination, Reverse Osmosis, Desalination Costs, Potable Water

Pendahuluan

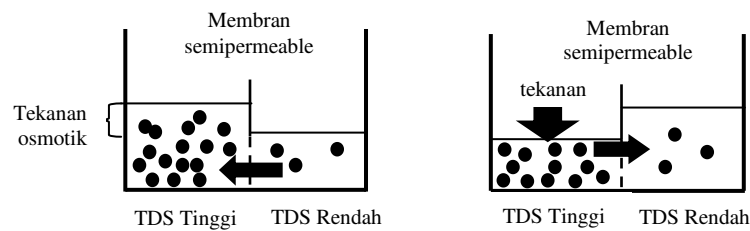
Perkembangan pariwisata terutama di Indonesia memberikan dampak kepada persediaan air bersih. Air bersih saat ini masih berasal dari air tanah dan air sungai (Karagiannis dan Soldatos, 2008; Khawaji *et al*, 2008). Kedua sumber tersebut tidak mencukupi permintaan. Jumlah air laut yang melimpah dan air payau yang cukup memadai sangat baik dimanfaatkan untuk air bersih tetapi proses pengurangan kadar garam (*Total Dissolved Solid*) dibutuhkan. Salah satu caranya adalah desalinasi (Malaeb dan George, 2011). Desalinasi berfungsi untuk memproduksi air bersih dengan menghilangkan padatan terlarut dan ion sehingga menghasilkan air tawar (Fritzmann *et al*, 2007; Ghobeity dan Mitsos, 2014). Proses desalinasi menggunakan membran reverse osmosis lebih banyak digunakan dibanding proses thermal karena biaya yang lebih murah baik biaya kapital maupun operasi. Berkembangnya penggunaan desalinasi RO berdampak pada biaya desalinasi RO semakin turun (Lapunte, 2012). Penurunan biaya dipengaruhi oleh karakteristik membran RO yang semakin baik, penurunan konsumsi energi (Jaber dan Ahmed, 2004; Lapunte, 2012), dan kapasitas plant yang semakin besar (Lapunte, 2012; Wittholz *et al*, 2008). Penurunan konsumsi energi diakibatkan oleh penggunaan energi recovery. Proses desalinasi dengan kapasitas plant yang kecil (< 5.000 m³/hari) memberikan biaya yang lebih besar dibanding kapasitas menengah (5.000-60.000 m³/hari) dan kapasitas besar (>60.000 m³/hari) (Avlonitis *et al*, 2003; Greenlee *et al*, 2009). Selain itu biaya juga dipengaruhi oleh lokasi plant dimana nilai setiap parameter ekonomi berbeda di setiap tempat seperti interest, harga listrik, dan tenaga.

Fundamental Reverse Osmosis

Osmosis adalah peristiwa difusi dari air yang melewati membran semipermeable dari suatu solution dengan kadar salinitas (TDS) yang rendah ke tinggi, sedangkan Reverse Osmosis adalah perpindahan air atau larutan dari konsentrasi tinggi (TDS tinggi) ke konsentrasi rendah (TDS rendah) yang dipisahkan oleh membran semipermeable (Into *et al*, 2004). Perbandingan proses Osmosis dan Reverse Osmosis ditunjukkan pada Gambar 1. Proses RO dapat berlangsung apabila tekanan hidrostatik pada larutan konsentrasi tinggi lebih besar daripada tekanan osmotiknya (Fritzmann *et al*, 2007; Khawaji *et al*, 2008; Charcosset, 2009).

Kinerja membran ditentukan oleh fluks dan rejeksi. Fluks adalah laju volumetrik permeate per satuan luas membrane (L/m²/hr) sedangkan rejeksi adalah kemampuan suatu membrane untuk menahan suatu komponen tertentu. Kemampuan rejeksi membran reverse osmosis tergantung kepada muatan ionik, berat molekul, derajat disosiasi, percabangan rantai, derajat hidrasi, dan polaritas. Parameter proses fluks permeate dan rejeksi membran dipengaruhi oleh tekanan, temperatur, recovery, konsentrasi solut, dan pH (Fritzmann *et al*, 2007; Greenlee *et al*, 2009)





Gambar 1. Perbandingan Proses Osmosis dan Reverse Osmosis

Pretreatment

Masalah terbesar dalam proses desalinasi RO adalah terjadinya fouling dan scaling (Etouneyet al, 2002; Mallaeb dan George, 2011) sehingga proses pretreatment sangat diperlukan sebelum melewati membran RO (Al-Wazzan, 2002). Sekarang ini, pretreatment menggunakan membran lebih banyak digunakan dibanding konvensional (Knops et al, 2007; Khawaji et al, 2008). Membran yang biasa digunakan adalah membran mikrofiltrasi (MF), ultrafiltrasi (UF), dan nanofiltrasi (NF). Perbedaan ketiga membran tersebut terletak pada ukuran pori dan karakteristik kontaminan yang akan dihilangkan. Masing-masing membran mempunyai karakteristik dan kelebihan yang berbeda. Ditinjau dari ukuran pori, NF akan lebih baik digunakan dibanding MF dan UF. Dari segi O&M lebih dipilih membran MF dan UF. Sejauh ini membran UF banyak digunakan untuk proses pretreatment karena fluks permeate yang lebih tinggi dan ukuran pori yang lebih kecil dibanding MF. Proses pretreatment menggunakan membran tidak terlepas terjadinya fouling dan scaling seperti halnya di proses RO sehingga penambahan koagulan dan antiscalant diperlukan pada air umpan sebelum masuk ke membran UF (Mohammed et al, 2006; Vince et al, 2008; Greenlee et al, 2009; Mezher et al, 2011; Karabellas dan Siotopoulos, 2015; Shenvi et al, 2015)

Sumber Air Baku

Sumber air baku desalinasi RO lebih banyak menggunakan dua sumber air yaitu air laut dan air payau. Sumber air laut untuk Sea Water Reverse Osmosis (SWRO) berasal dari *beach wells* dan *surface water* (*open seawater intake*) (Shahabi et al, 2015). TDS air dari *beach wells* lebih rendah dibanding dari *surface water* karena air *beach wells* diambil langsung dari air bawah tanah. Pertama kali plant RO menggunakan *surface water* dan mengalami masalah fouling pada membran sehingga mulai beralih ke *beach wells*. Semakin berkembang penggunaannya, air baku kembali menggunakan *surface water* (Kim et al, 2009). TDS air laut di setiap Negara mempunyai konsentrasi yang berbeda-beda sekitar 35.000 g/L dan mencapai 45.000 mg/L.

Sumber air yang kedua adalah air payau. Air payau adalah air tanah yang tercampur dengan air laut sehingga konsentrasi garam pada air tanah akan meningkat. Kandungan kontaminan atau ion didalam air payau tidak jauh berbeda dengan air laut hanya konsentrasi dari ion yang membedakan. Konsentrasi kontaminan air payau lebih rendah dibanding air laut yang ditunjukkan pada tabel 1 dan 2 sehingga TDS air payau juga akan lebih rendah sekitar 1.000-10.000 mg/L.

Tabel 1. Komposisi air laut
 (Al Wazzan et al, 2002; Jaber, 2004;
 Greenlee et al, 2009; Lapunte, 2012)

Komponen	Simbol	Konsentrasi (mg/L)
Kalsium	Ca	410-693
Magnesium	Mg	303-1.550
Barium	Ba	0,01-0,05
Strontium	Sr	5-13
Boron	B	4-5,3
Natrium	Na	2.462-12.000
Klorida	Cl	70-23.000
Kalium	K	39-390
Besi	Fe	<0,02-0,05
Mangan	Mn	<0,01-0,05
Silika	Si	0,04-8
Sulfat	SO ₄	2.400-3.016
Bromida	Br	65
Fluorida	F	1,4-2,15
Bikarbonat	HCO ₃ ⁻	120-152
Nitrat	NO ₃	35-50
Derajat Keasaman	pH	8,1

Tabel 2. Komposisi air payau
 (Greenlee et al, 2009; Shahabi et al, 2015)

Komposisi	Simbol	Konsentrasi (mg/L)
Kalsium	Ca	162-456
Magnesium	Mg	58-194
Barium	Ba	<0,10
Strontium	Sr	26,4
Natrium	Na	451,13-2.482
Klorida	Cl	14-9.443
Kalium	K	27,24-110,1
Sulfat	SO ₄	384-1766
Nitrat	NO ₃	10-23
Bikarbonat	HCO ₃	146-260
Kalsium karbonat	CaCO ₃	13-48

Desain Sistem

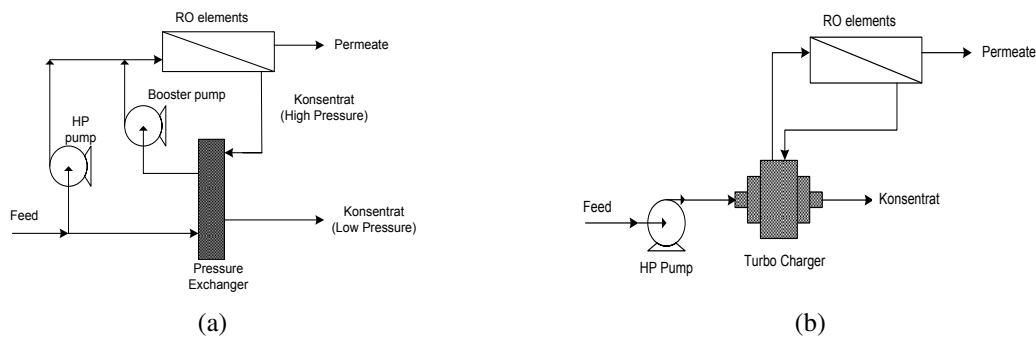
Desain sistem desalinasi RO memperhitungkan berbagai aspek yaitu karakteristik air baku, kapasitas plant, kualitas air produk, biaya kapital, dan biaya operasi dan perawatan (O&M) (Khawaji *et al*, 2008). Pada tabel 3 ditunjukkan parameter operasi BWRO dan SWRO. TDS air payau yang lebih rendah akan mempengaruhi parameter operasi BWRO yang lebih rendah dibanding SWRO (Jaber dan Ahmed, 2009).

Perbedaan desain sistem antara SWRO dan BWRO terletak pada pemilihan sistem recovery dan jumlah stage yang digunakan. TDS air laut yang besar menyebabkan kebutuhan tekanan untuk sistem pemompaan sekitar 55-80 bar (Kim *et al*, 2009). Untuk mengurangi kebutuhan energi, sistem desain SWRO ditambahkan sistem ERD (*Energi Recovery Device*). Energi recovery dikembangkan untuk membantu merecover energi hidraulik yang dibawa oleh aliran konsentrat. Sebelum ditambahkan energi recovery kebutuhan energi sebesar 6-8 kWh/m³ dan berkurang menjadi 4-5 kWh/m³ bahkan mencapai 2 kWh/m³ (Khawaji *et al*, 2008; Malaeb dan George, 2011). Pemilihan energi recovery dapat dibagi menjadi dua macam yaitu turbo charger dan pressure exchanger (PX) yang ditunjukkan pada Gambar 2. Apabiladitinjau dari segi biaya, penggunaan turbo charger akan lebih murah dibanding PX (Avlonitis *et al*, 2003; Drax dan Matan, 2014). Energi recovery sistem menggunakan PX masih membutuhkan *High Pressure Circulation Pump* sehingga biaya untuk investasi maupun O&M akan lebih besar.

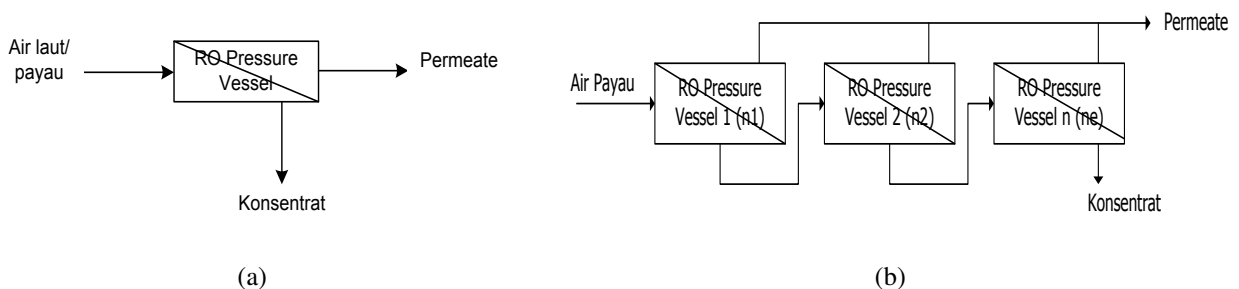
Perbedaan sistem desain yang kedua adalah jumlah stage. Sistem desain SWRO biasanya hanya menggunakan single stage sedangkan BWRO dapat menggunakan single maupun multi stage (Gambar 3) (Elzanati dan Sharif, 2004) dan lebih banyak menggunakan double stage bertujuan untuk menaikkan recovery.

Tabel 3. Kisaran parameter operasi SWRO dan BWRO (Al Wazzan *et al*, 2002; Ettouney *et al*, 2002; Avlonitis *et al*, 2003; Fritzmann *et al*, 2007; Greenlee *et al*, 2009)

Parameter	SWRO	BWRO
RO permeat flux (L/m ² .h)	12-15 (open water intake) 15-17 (beach well)	12-45 (ground water)
Tekanan hidrostatik (bar)	55-80	6-30
Penggantian membran	20% per tahun Setiap 2-5 tahun	5% per tahun Setiap 5-7 tahun
Recovery (%)	30-45	75-90
pH	5,5-7	5,5-7
Persen rejeksi (%)	99,4-99,7	95-99



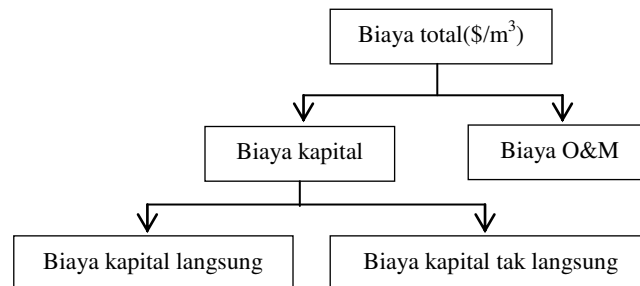
Gambar 2. Skematik sederhana proses desalinasi dengan *Energi Recovery Device* (a) Pressure Exchanger energi recovery sistem, (b) Turbo Charger energi recovery sistem (Avlonitis *et al*, 2003; Fritzmann *et al*, 2007)



Gambar 3. (a) Rangkaian proses desalinasi SWRO dan BWRO single stage (b) Desain proses desalinasi BWRO multi stage (Into *et al*, 2004; Vince *et al*, 2008; Drak dan Matan, 2014; Ghobeity dan Mitsos, 2014)

Biaya Desalinasi

Faktor terbesar dalam mengambil suatu keputusan adalah biaya. Pada umumnya biaya desalinasi RO dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu kualitas dan jenis air umpan, kapasitas plant, karakteristik dan lokasi plant, energi, tanah, tenaga, umur plant, dan interest (suku bunga) (Ettouney *et al*, 2002; Ryan dan Khaled, 2002; Reddy dan Ghaffour, 2007; Karagiannis dan Soldatos, 2008). Umur plant, energi, dan suku bunga memberikan dampak yang besar pada harga satuan produk air desalinasi RO ($\$/m^3$) dibandingkan faktor lainnya (tenaga dan bahan kimia) (Ettouney *et al* 2002; Avlonitis *et al*, 2003; Vince *et al*, 2008). Apabila nilai faktor tersebut naik, maka biaya produksi akan naik dan *feasibility* plant akan turun. Biaya total desalinasi RO tersaji pada Gambar 4. Biaya total atau *total water cost* (TWC) dihitung dari total biaya produksi dibagi dengan jumlah air yang diproduksi, dan tidak termasuk biaya transportasi atau distribusi (Knops, 2007; Shahabiet *al*, 2015) sehingga harga satuan produk tergantung oleh kapasitas plant (Ettouney *et al*, 2002) yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Bagan biaya produksi air (Ettouney *et al*, 2002; Mathioulakis *et al*, 2007; Vince *et al*, 2008)

Biaya kapital dibagi menjadi biaya kapital langsung (*direct cost*) dan tak langsung (*indirect cost*) (Atikol and Aubar, 2005; Lapunte, 2012). Biaya kapital langsung (*direct cost*) terdiri dari tanah, sumur (*well supply*), peralatan proses, *auxiliary equipment*, bangunan, membran, penghilangan konsentrat. Untuk biaya kapital tak langsung (*indirect cost*) terdiri dari biaya pengangkutan dan asuransi, pengeluaran tambahan konstruksi, *Owner's cost*, kontingen. Biaya kapital tak langsung diambil dari prosentase biaya kapital langsung dan biasanya untuk plant kecil tidak memerlukan biaya kapital tak langsung. Biaya operasi dan perawatan dibutuhkan lebih dari umur plant berjalan. Biaya operasi mencakup semua biaya selama plant beroperasi dan komisioning. Biaya ini terdiri dari dua bagian yaitu biaya tetap (*fixed cost*) dan biaya variabel (*variable cost*) (Khawaji *et al*, 2008). *Fixed cost* terdiri dari biaya asuransi dan amortisasi. Biaya asuransi sebesar 0,5% dari total biaya kapital sedangkan amortisasi berhubungan dengan pembayaran bunga tiap tahun untuk biaya langsung maupun tak langsung dan tergantung pada nilai bunga dan umur plant. Rata-rata nilai amortisasi sekitar 5% atau antara 5-10%. Biaya *variable cost* terdiri dari upah pekerja, biaya untuk energi, penggantian membran, bahan kimia, perawatan *spare parts*, dan *miscellaneous item* (Ettouney *et al*, 2002).

Tabel 4. Biaya desalinasi air laut (Jaber and Ahmed, 2004; Li *et al*, 2006; Greenlee *et al*, 2009; Lapunte, 2012; Keseime *et al*, 2013; Shahabi *et al*, 2015)

Tahun	Harga air ($\$/m^3$)
1988	1,57-3,55
1989	1,31-1,94
1990	1,30
1991	1,34-1,62
1992	1,51
1997	1,46
1998	0,72
2001	0,83
2003	0,55-0,81
2004	0,50-2,33
2005	0,53
2006	0,043-0,237
2008	0,55
2009	0,53-1,5
2012	0,83-0,9
2013	0,035
2015	0,5-1,2

Tabel 5. Biaya desalinasi RO di beberapa Negara di Dunia (Al Wazzan, 2002; Alvonitis, 2003; Atikol, 2005; Lamei, 2008, Sahabi *et al*, 2015)

Tempat	Kapasitas (m^3 /hari)	Biaya ($\$/m^3$)
Cyprus	1.000	0,86
Egypt	500-5.000	1,08-1,12
Greece	50-10.000	0,94
Kuwait	19	0,776
Oia	180-400	0,13-0,29
Ios	500	0,12
Ithaky	600	0,11
Syros	580	0,04
Mykonos	500	0,13
Asia	1.200-18.000	0,81-0,93



Berdasarkan analisis ekonomi dari tahun ke tahun harga air desalinasi ($\$/m^3$) baik BWRO maupun SWRO telah mengalami penurunan. Hal ini disebabkan oleh kapasitas plant yang semakin besar walaupun biaya kapital akan naik, penggunaan energi recovery, karakteristik membran yang semakin baik (Ettouney *et al*, 2002; Rayan dan Khaled, 2002; Dore, 2005; Reddy dan Ghaffour, 2007; Karagiannis dan Soldatos, 2008; Greenlee *et al*, 2009; Avlonitis *et al*, 2013). Pada tahun 1988 harga air desalinasi BWRO berkisar antara \$ 0,32-0,44 per m^3 , tahun 2004 turun menjadi \$ 0,22-0,28 per m^3 (Dore, 2005) dan tahun 2009 menjadi \$0,134/ m^3 (Greenlee *et al*, 2009). Demikian halnya untuk SWRO. Pada tabel 4 tersaji biaya desalinasi SWRO yang diteliti oleh Jaber and Ahmed, 2004; Li *et al*, 2006; Greenlee *et al*, 2009; Lapunte, 2012; Keseime *et al*, 2013; Shahabi *et al*, 2015. Penelitian lain juga dilakukan oleh Ghaffour *et al* tahun 2015 bahwa pada pertengahan tahun 70an harga air desalinasi air laut $\$>2$ per m^3 dan tahun 2012 turun menjadi $\$ <1$ per m^3 . Biaya desalinasi air laut akan lebih tinggi empat sampai lima kali biaya desalinasi air payau yang disebabkan oleh kontaminan air laut yang hampir sepuluh kali lebih besar sehingga proses pretreatment lebih kompleks (Dore, 2005; Greenlee *et al*, 2009)

Harga air desalinasi akan memberikan hasil yang berbeda disetiap tempat walaupun dibangun pada tahun yang sama. Hal ini disebabkan oleh perbedaan nilai parameter ekonomi disetiap tempat, seperti faktor interest atau suku bunga, harga listrik, biaya tenaga, pajak air, kapasitas dan umur plant (Wittholz *et al*, 2008). Pada tabel 5 ditunjukkan biaya air desalinasi di beberapa Negara dengan kapasitas yang berbeda sedangkan data biaya desalinasi untuk Negara Indonesia masih belum tercatat dengan baik.

Kesimpulan

Desalinasi Reverse Osmosis telah menjadi teknologi desalinasi primadona untuk mendapatkan air bersih dan menggeser teknologi desalinasi thermal. Sistem desain desalinasi SWRO menggunakan single stage dan BWRO menggunakan single atau double stage. Proses desalinasi RO memerlukan sistem pretreatment untuk mengurangi terjadinya fouling dan scaling. Proses ini lebih banyak menggunakan membran yaitu membran ultrafiltrasi. Semakin berkembangnya desalinasi RO, biaya desalinasi juga semakin turun. Penurunan disebabkan oleh karakteristik membran RO dan air yang semakin baik, penurunan konsumsi energi, dan kapasitas plant desalinasi yang semakin besar. Biaya desalinasi di setiap Negara akan memberikan hasil yang berbeda, hal ini disebabkan oleh perbedaan nilai parameter ekonomi sedangkan di Indonesia sendiri masih diperlukan studi lanjutan untuk mendapatkan data biaya desalinasi yang baik.

Daftar Notasi

- $C_{f,i}$ = Konsentrasi komponen i dalam umpan (mol)
 $C_{p,i}$ = Konsentrasi komponen i dalam produk (mol)
 R = konstanta gas ideal ($J.K^{-1}.mol^{-1}$)
 T = temperature (K)
 V_b = volume molar air (M)
 x_w = fraksi mol air
 C = konsentrasi ion (M)

Daftar Pustaka

- Al-Wazzan, Y., Safar M., Ebrahim, S., Burney, N., and Mesri, A. Desalting of subsurface water using spiral wound reverse osmosis (RO) system: technical and economic assessment. *Desalination* 2002; 143: 21-28
- Avlonitis, S. A., Kourumbas, K., and Vlachakis, N. Energy consumption and membrane replacement cost for seawater RO desalination plants. *Desalination* 2003; 157: 151-158.
- Charcosset, C. A review of membrane processes and renewable energies for desalination. *Desalination* 2009; 245: 214-231
- Dore, M. H. I. Forecasting the economics costs of desalination technology. *Desalination* 2005; 172: 207-214.
- Drak, A. and Matan, A. Energy recovery consideration in brackish water desalination. *Desalination* 2014; 339: 34-39.
- Elzanati, E. and Sherif, E. Development of a locally designed and manufactured small-scale reverse osmosis desalination system. *Desalination* 2004; 165: 133-139.
- Ettouney, H. M., El-Desseouky, H. T., Faibish, R. S., and Gowin, P. J. Evaluating the economics of desalination. *Heat transfer* 2002; 32-39.
- Fritzmann, C., J., Löwenberg, T., Wintgens, and T., Melin. State-of-the-art of reverse osmosis desalination, *Desalination* 2007; 216: 1-76.
- Ghobeity, A. and Mitsos, A. Optimal design and operation of desalination systems new challenges and recent advances. *Chemical Engineering* 2014; 6: 61-68.





- Greenlee, L. F., Lawler, D. f., Freeman, B. D., Marrot, B., and Moulin, P. Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today's challenges. *Water research*2009;43: 2317- 2348.
- Into, M., Jonsson, A. S., and Lengden, G. Reuse of industrial wastewater following treatment with reverse osmosis. *Membrane science*2004; 242: 21-25.
- Jaber, I. S. and Ahmed, M. R. Technical and economic evaluation of brackish groundwater desalination by reverse osmosis (RO) process. *Desalination*2004; 165: 209-213.
- Karagiannis, I. C. and Soldatos, P. G. Water desalination cost literature: review and assessment. *Desalination*2008; 223: 448-456.
- Karabelas, A.J. dan Sioutopoulos, D. C. New insights into organic gel fouling of reverse osmosis desalination membranes. *Desalination* 2015; xxx: xxx-xxx
- Kesieme, U. K., Milne, N., Aral, H., Cheng, C. Y., and Duke, M. Economic analysis of desalination technologies in the context of carbon pricing, and opportunities for membrane distillation. *Desalination*2013; 323: 66-74.
- Khawaji, A. D., Ibrahim, K. K., and Jong, M. W. Advances in seawater desalination technologies. *Desalination*2008; 221: 47-69.
- Kim, M. Y., Seung, J. Kim., Yong, S. Kim., Sangho, Lee., I. S. Kim, and Joon, H. K. Overview of systems engineering approaches for a large-scale seawater desalination plant with a reverse osmosis network. *Desalination*2009; 238: 312-332.
- Knops, F., Stephan, V. H., Harry, F., Lute B. Economic evaluation of a new ultrafiltration membrane for pretreatment of seawater reverse osmosis. *Desalination*2007; 203: 300-306.
- Lamei, A., Zaag, P. V. D., and Münch, E. V. Basic cost equations to estimate unit production costs for RO desalination and long-distance piping to supply water to tourism-dominated arid coastal regions of Egypt. *Desalination*2008; 225: 1-12.
- Lapunte, E. Full cost in desalination: A case study the Segura River Basin. *Desalination*2012; 300: 40-45.
- Li, Y., Klausner, F., and Mei, R. Performance characteristics of the diffusion driven desalination process. *Desalination*2006; 196: 188-209.
- Malaeb, L. and George, M. A. Reverse osmosis technology for water treatment: State of the art review. *Desalination*2011; 267: 1-8.
- Mathioulakis, E. V., Belessiotis, and E., Delyannis. Desalination by using alternative energy: Review and state-of-the-art. *Desalination*2007; 203: 346-365.
- Mezher, T., Fath, H., Abbas, Z., and Khaled, A. Techno economic assessment and environmental impacts of desalination technologies. *Desalination*2011;266: 263-273.
- Mohamed, E. Sh., Papadakis, G., Mathioulakis, E., and Belessiotis, V. An experimental comparative study of the technical and economic performance of a small reverse osmosis desalination system equipped with an hydraulic energy recovery unit. *Desalination*2002; 194: 239-250.
- Rayan, M. A., and Khaled, I. Sea water desalination by reverse osmosis (case study). *Desalination*2002; 153: 245-251.
- Reddy, K. V. and Ghaffour. Overview of the cost of desalinated water and costing methodologies. *Desalination*2007; 205: 340-353.
- Shahabi, M. P., Adam, M., and Goen, Ho.. Environmental and economic assessment of beach well intake versus open intake for seawater reverse osmosis desalination. *Desalination*2015; 357: 259-266
- Shenvi, S. S., Isloor, A. M., and Ismail, A. F. A review on RO membrane technology: Developments and challenges. *Desalination*2015. xx: xx-xx
- Vince, F., Marechal, F., Aoustin, A., and Bréant, P. Multi-objective optimization of RO desalination plants. *Desalination*. 222: 96-118.
- Wittholz, M. K., O'Neill, B. K., Colby, C. B., and Lewis, D. Estimating the cost of desalination plants using a cost database, *Desalination*2008; 229: 10-20.





Lembar Tanya Jawab

Moderator : Ratna Frida Susanti (Universitas Parahyangan)

Notulen : Retno Ringgani (UPN "Veteran" Yogyakarta)

1. Penanya : Ratna Frida S. (Unpar)

Pertanyaan : Rencana studi lanjut penelitian?

Jawaban : Lebih spesifikasi di Indonesia dan tentang kelayakan biaya desalinasi.
2. Penanya : Yuliusman (UI Depok)

Pertanyaan : Kapasitas berapa yang cocok digunakan untuk sistem desalinasi dan tempat/daerah mana yang cocok untuk sistim ini?

Jawaban : Kapasitas kecil < 5000 m³/jam untuk Indonesia. Tempat yang cocok di daerah yang dekat dengan sumber air ataupun yang jauh (telah terjadinya kekeringan/kebutuhan air bersih) terutama industri .

