

Membran Reverse Osmosa Dalam Proses Desalinasi Air Laut

oleh:
Robiatun

Reverse Osmosis membrane in the sea water desalination process

Abstract :

Through Reverse Osmose (RO) process sea water diffuses into clean water by high pressure treatment more than its osmotic pressure. The advantages of the application of RO membrane in the desalination system are its wide range of capacity as well as more efficient cost of construction and energy, especially compared with MSF system, whereas its disadvantages mainly a low purity of clean water (600 ppm as TDS) produced and the process is much depend on the temperature, chemical compound and microorganisms in the sea water.

Intisari:

Air laut melalui proses Reverse Osmosa (RO) akan berdifusi menghasilkan air tawar dengan pemberian tekanan lebih tinggi dari tekanan osmosenya. Beberapa keuntungan penggunaan membran RO dalam sistem desalinasi adalah rentang kapasitas yang luas serta biaya konstruksi dan energi lebih efisien, terutama bila dibandingkan dengan sistem penguapan Multi Stage Flash (MSF), sementara kelemahannya antara lain rendahnya kemurnian air tawar yang dihasilkan (600 ppm sebagai Total Disolved Solid/TDS) dan prosesnya sangat tergantung pada suhu, senyawa kimia serta mikroorganisme yang ada didalam air laut.

PENDAHULUAN

Air merupakan kebutuhan yang sangat vital bagi kehidupan manusia. Peningkatan kegiatan pembangunan akan meningkatkan pula kebutuhan akan air untuk menunjang produksi. Disisi lain terdapat masalah peningkatan jumlah penduduk yang diikuti dengan peningkatan kebutuhan jumlah air. Dengan demikian persediaan sumber daya air menjadi hal yang strategis dalam pengelolaan lingkungan hidup dan pembangunan nasional yang berkelanjutan. Air pada umumnya mengandung kontaminan tertentu yang mengakibatkan air tersebut

tidak dapat dimanfaatkan secara langsung untuk suatu keperluan. Tujuan dari pengolahan air adalah untuk mendapatkan air bersih dengan cara menghilangkan atau menguraikan kontaminan dalam air, agar sifat-sifatnya sebagai polutan hilang dan air tersebut dapat dimanfaatkan sesuai dengan keperluannya (2). Tingkat pengolahan air tergantung dari kondisi awal air serta persyaratan yang diinginkan. Sistem pengolahan konvensional untuk memisahkan kontaminan air antara lain dengan menggunakan proses koagulasi, flotasi, filtrasi maupun pengendapan (10). Sistem ini memerlukan waktu yang lama serta lahan yang luas disamping sisa bahan kimia yang digunakan untuk koagulasi serta lumpur yang dihasilkan,

*) Staf Peneliti Balai Besar Kimia dan Kemasan

akan menimbulkan problem baru. Penelitian dan pengembangan teknologi untuk mencapai kualitas air lebih baik, lebih murah, fasilitas lebih kecil dan pengoperasian lebih mudah sangat penting. Salah satu sistem untuk mengolah air yang mempunyai unjuk kerja tinggi yaitu Teknologi dengan menggunakan membran (2). Saat ini pemakaian membran telah meluas pada beberapa bidang meliputi industri logam, makanan, biokimia, kesehatan serta pengolahan air dan air limbah.

TEKNOLOGI MEMBRAN

Pembuatan membran dalam skala industri pertama kali dilakukan oleh Sartorius Werke GmbH, Jerman pada tahun 1950. Membran yang diproduksi adalah jenis membran Ultra Filtrasi. Namun demikian terobosan terbesar dalam bidang teknologi membran dalam industri baru dimulai pada tahun 1960, setelah pengembangan membran berstruktur asimetrik oleh Loeb

dan Soerirajan.(6). Untuk mengakomodir dan memfasilitasi perkembangan teknologi membran di Indonesia, maka pada tahun 1996 didirikanlah kelompok studi Iptek membran ITB yang dipelopori oleh IG Wenten. Sejak saat itu, perkembangan membran di Indonesia semakin pesat (6). Istilah membran berasal dari bahasa latin "membrana" yang berarti potongan kain. Membran didefinisikan sebagai lapisan tipis (film) yang fleksibel, pembatas antara 2 fase yang bersifat permiabel.

Berdasarkan cara pemakaiannya, membran dapat digolongkan yaitu : (6,7).

- ❖ Membran Mikro Filtrasi (MF)
- ❖ Membran Ultra Filtrasi (UF)
- ❖ Membran Nano Filtrasi (NF)
- ❖ Membran Reverse Osmosa (RO)

Tabel 1 dan 2 menunjukkan beberapa jenis membran dan penggunaannya yang didasarkan pada tekanan operasi, ukuran partikel dan bahan yang dipisahkan.

Tabel. 1: Ukuran Partikel Dan Metode Pemisahan

Klasifikasi	Komponen	Komponen Larut			Komponen Suspensi			
	Daerah	Ion	Molekul	Molekul Tinggi	Partikel		Partikel kasar	
Ukuran Partikel (μm)		0,001	0,01	0,1	1	10	100	1.000
Bahan Yang Dipisahkan		Ion Garam Laut THM	Molekul FM Dari THM	Molekul Tinggi Virus Bakteri	Basillus Crypstosporidium Algae / Protozoa Lumpur Pasir Tanah Liat			
Metoda Pemisahan		UF			MF		Pengendapan	
		RO			NF		Filtrasi	

Sumber : Kawasaki, RO membrane technology and application 2003 (7).

Dari data Tabel. 1, dapat diketahui bahwa pengolahan air secara konvensional (pengendapan dan filtrasi) hanya dapat memisahkan partikel dan partikel kasar saja, sedang ion, molekul dan molekul tinggi tidak dapat dipisahkan, serta bahan yang dapat dipisahkan juga terbatas.

yang dapat dipisahkan berupa garam terlarut, virus, bakteri, trihalometan, dan tanah liat. Membran Ultrafiltrasi ini digunakan dalam industri makanan, farmasi, pengolahan air, tenaga nuklir dan lain-lain. Tekanan operasi yang digunakan sebesar < 3 bar.

Tabel. 2 : Jenis Membran Dan Tekanan Operasi Yang Digunakan

Nama Membran	Ukuran Partikel / BM Yang Ditolak Membran	Tekanan Operasi (Bar)
Mikro Filtrasi	> 0,01 μm	Suck Method > 0,6 Pressure Method < 2
Ultra Filtrasi	1.000 – 300.000	Suck Method > 0,6 Pressure Method < 3
Nano Filtrasi	Maksimum Beberapa Ratus	2 – 15
Reverse Osmosa	Beberapa Puluhan	Desalinasi > Air Laut 50 – 70 > Air Payau 4 - 40

Sumber : Kawasaki, *RO membrane technology and application*, 2003 (7).

• Membran Mikro Filtrasi

Adalah membran yang dapat memisahkan komponen terlarut dan tersuspensi dengan ukuran 0.1 sampai 10 μm . Bahan yang dapat dipisahkan berupa garam terlarut, virus, bakteri, protozoa, koloni basillus, trihalometan yang mudah menguap dan tanah liat. Membran Mikrofiltrasi ini digunakan dalam industri medis, farmasi untuk membuat air steril, dalam makanan minuman untuk menghilangkan yeast, fungi dan kekeruhan. Tekanan operasi yang digunakan sebesar < 2 bar.

• Membran Ultra Filtrasi

Adalah membran yang dapat memisahkan komponen terlarut dan tersuspensi dengan ukuran 0.01 sampai 1 μm atau ekuivalen BM nya sebesar 1000 - 300.000. Bahan

• Membran Nano Filtrasi

Adalah membran yang formula dasarnya mirip membran RO tetapi mekanisme operasinya mirip membran UF. Jadi membran NF itu merupakan gabungan antara membran RO dan UF. Membran Nanofiltrasi digunakan untuk memisahkan komponen terlarut dan tersuspensi dengan BM maksimum beberapa ratus. Bahan yang dapat dipisahkan berupa virus, trihalometan dan garam terlarut. Tekanan operasi yang digunakan sebesar 2-15 bar.

• Membran Reserve Osmosa

Adalah membran semipermeabel yang dapat memisahkan air tawar dari larutan garam dengan menggunakan tekanan lebih tinggi dari tekanan osmosa larutan -

garam. Membran RO dapat memisahkan komponen terlarut dengan ukuran 0,001 sampai 0,01 μm atau partikel – partikel yang memiliki Berat Molekul rendah atau puluhan. Jika air tawar dan air garam dipisahkan oleh membran semipermeabel, maka air tawar akan mendifusi membran dan mengencerkan larutan garam.

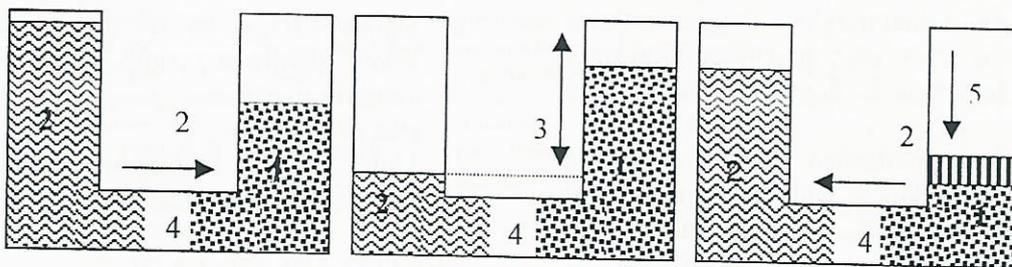
Peristiwa itu disebut peristiwa osmosa (Gambar 1 a) (1,4,5).

Gerakan air berhenti jika diberikan perbedaan tekanan tertentu. Peristiwa ini disebut keseimbangan osmosa. Perbedaan tekanannya disebut tekanan osmosa air garam. Untuk air laut besarnya kira-kira 23 bar.(2)Jika pada air garam diberi tekanan lebih tinggi dari tekanan osmosa, maka air dalam air garam didorong menuju air tawar melalui membran semi permeabel, peristiwa ini disebut reverse osmosa. Prinsip inilah yang digunakan untuk menghasilkan air tawar dari air garam dengan menjalankan operasi diatas secara terus menerus (2)

Keterangan Gambar :

1. = Larutan air garam
2. = Air tawar
3. = Tekanan Osmosa
4. = Membran semi Permiabel
5. = Tekanan operasi

Besarnya tekanan osmosa dari suatu larutan tergantung pada jenis larutan serta konsentrasinya. Berikut dapat dilihat nama larutan serta tekanan osmosanya (Tabel.3) (1,9). Dari tabel 3 dapat diketahui bahwa larutan NaCl (Garam) dengan konsentrasi 1000mg / l dan suhu 25 $^{\circ}\text{C}$ mempunyai tekanan osmosa 11.4 bar. Air laut yang mengandung garam 35000 mg / l tekanan osmosanya lebih besar dari 11.4 bar. Untuk memisahkan garam dari air laut dengan konsentrasi tersebut diperlukan tekanan minimal 3 kali lipat tekanan osmosa larutan (6). Membran semi permeabel dirakit dalam suatu alat yang kompak, yang disebut modul reverse osmosa. Untuk desalinasi air laut, terutama menggunakan modul -



Gb.1a.Peristiwa osmosa

Gb.1b.Keseimbangan osmosa

Gb.1c.Reverse osmosa

Gambar. 1 : Peristiwa Osmosa dan Peristiwa Reverse Osmosa

Tabel. 3 : Tekanan Osmosa Larutan pada Konsentrasi 1.000 mg / l dan Suhu 25 °C

No.	Larutan	Tekanan Osmosa (bar)
1.	NaCl	11,4
2.	NaHCO ₃	12,8
3.	Na ₂ SO ₄	6
4.	MgSO ₄	8,6
5.	MgCl ₂	9,7
6.	CaCl ₂	8,3
7.	Gula / sukrosa	1,05
8.	Dekstrin / dekstroza	2

Sumber: Taniguchi, *Membrane separation*, 1992

lilit spiral atau serat berlekuk. (8). Bahan membran yang banyak digunakan sekarang ini adalah sintetik polimer bukan lagi selulosa asetat. (8). Bahan membran yang tahan terhadap mikroorganisme yaitu : polivinil alkohol, akrilonitril, poliamida, polisulfon dan lain-lain. Sekarang ini banyak dikembangkan membran anorganik yang dipertimbangkan lebih baik dari membran organik yang tahan panas, bahan kimia, dan lain-lain. Membran anorganik ini terbuat dari keramik, logam, dll (8). Beberapa ke-unggulan dan kelemahan dari aplikasi membran secara umum.(4) Dibandingkan dengan proses-proses lainnya teknologi membran memiliki beberapa keunggulan utama antara lain :

- Proses pemisahan dengan membran dapat dilakukan pada kondisi normal sehingga tidak merusak bahan yang akan dipisahkan.
- Untuk melakukan pemisahan tidak diperlukan kehadiran zat-zat tambahan untuk mengekstrak, mengadsorpsi. Oleh karena itu teknologi membran dapat dikatakan sebagai teknologi bersih yang tidak menambahkan zat-zat lain yang sebenarnya malah lebih mengotori lingkungan.

- Tidak diperlukan banyak energi karena pemisahan tidak dilakukan berdasar kesetimbangan fase.
- Disain sederhana, tidak memerlukan ruang yang luas, tidak memerlukan banyak peralatan. Tambahan
- Mudah untuk dioperasikan.
- Efisiensi pemisahannya tinggi.

Disamping keunggulan-keunggulan yang telah diuraikan diatas, proses membran ini juga memiliki kelemahan antara lain :

- a. Bahan membran sensitif terhadap suhu, pH dan ketahanan mekanik.
- b. Semakin tinggi jumlah air yang melewati membran seringkali berakibat menurunnya garam yang dipisahkan atau sebaliknya.
- c. Unjuk kerja membran terganggu karena adanya kontaminan.

DESALINASI AIR LAUT

Air laut adalah suatu larutan yang mengandung 95,5-96,5% air dan sisanya 4,5-3,5% berupa mineral terlarut atau garam garam. Desalinasi air laut adalah mengeluarkan air tawar dari air laut. Untuk mengeluarkan air tawar dari air laut dapat dilakukan dengan proses pe-

ngupan, elektrodialisa dan reverse osmose. (1,8,9) Proses penguapan untuk menghasilkan air tawar dari air laut sudah dilakukan sejak zaman dahulu kala. Proses ini memisahkan kandungan air dari air laut dengan menggunakan perubahan fase air. Jenis proses penguapan meliputi Multi Stage Flash (MSF), Multi Effect Evaporation (MEE), Multi Vapor Compression (MVC). Reverse osmosis dikembangkan untuk desalinasi air laut karena hemat energi. Sedang metode elektro dialisa dikembangkan untuk desalinasi air payau. Elektrodialisa terdiri 2 tipe ion membran selektif. Satu dari tipe membran yang membiarkan lewatnya ion

positif atau kation dan ion lainnya membiarkan lewatnya ion negatif atau anion. Jika aliran listrik diberikan pada sel elektrolit tersebut, membran kation akan membiarkan lewatnya ion Na (+) dan membran anion akan membiarkan lewatnya ion khlorida (-) sehingga dihasilkan air tawar diantara membran tersebut. Jumlah aliran listrik yang diperlukan tergantung pada jumlah garam yang akan dihilangkan. Tabel. 4 menunjukkan perbandingan karakteristik beberapa proses desalinasi air laut.(3). Dari tabel 4 dapat diketahui bahwa dibanding dengan proses desalinasi yang lain ternyata proses RO mempunyai ke-

Tabel 4 : Perbandingan karakteristik beberapa proses desalinasi air laut

Proses desalinasi	Multi Stage Flash (MSF)	Multi Effect Evaporation (MEE)	Multi Vapor Compression (MVC)	Reverse Osmose (RO)	Electrodialysis (ED)
Penggunaan	Kapasitas Medium- besar	Kapasitas kecil -medium	Kapasitas kecil - medium	Kapasitas kecil - besar	Kapasitas kecil medium untuk air sungai /payau
Kemurnian air (sebagai TDS)	<25 ppm	<25 ppm	<25 ppm	600ppm	300 ppm
Karakteristik	Tak terpengaruh oleh komponen air laut. Pengurangan biaya operasi dengan menggunakan bahan yang kualitas rendah dan kapasitas besar. Unjuk kerjanya tinggi	Biaya konstruksi dan energi lebih baik dari MSF. Perlu dicegah terbentuknya kerak pada permukaan alat penukar panas	Biaya konstruksi dan energi lebih baik dari MSF. Perlu pemanasan pada awal operasi	Biaya konstruksi dan energi lebih baik dari MSF. Unjuk kerja membran mudah terpengaruh oleh suhu, senyawa kimia dan mikroorganisme dari air laut, sehingga perlu perlakuan pendahuluan yang baik. Perlu RO dua tingkat jika untuk kemurnian pemisahan.	Perlu tenaga listrik untuk ionisasi garam dalam air. Metode ini tidak cocok untuk air laut yang mempunyai konsentrasi garam tinggi.

Sumber : Anonymous, Desalination Technology, 1994

unggulan yaitu dapat digunakan untuk kapasitas kecil sampai besar dan biaya konstruksi serta energi lebih baik dari sistem MSF. Kelemahannya yaitu kemurnian airnya lebih rendah dibandingkan dengan proses yang lain (kira-kira 600 ppm) dan unjuk kerja membran mudah terpengaruh oleh suhu, senyawa kimia dan mikroorganisme dari air laut sehingga perlu dilakukan perlakuan pendahuluan. Pada prinsipnya proses pengolahan air laut menjadi air bersih dengan menggunakan membran RO dilakukan melalui proses :

- Perlakuan pendahuluan dan
- Pemisahan garam

❖ Perlakuan Pendahuluan

Tujuan perlakuan pendahuluan adalah menghilangkan komponen yang tersuspensi dan terlarut serta bahan kontaminan lainnya yang ada di dalam air laut. Hal ini disebabkan karena bahan tersebut akan mengurangi efisiensi fungsi membran. Air yang digunakan perlu diolah sedemikian sehingga aman untuk melewati membran. (11) Jenis perlakuan pendahuluan yang dilakukan tergantung pada asal air laut yang dipisahkan garamnya yaitu penyaringan, disinfeksi, koagulasi, filtrasi, pengaturan pH atau penambahan bahan penghambat penyebab terbentuknya kerak yang disebabkan adanya kalsium karbonat dan sulfat dan lain-lain. (4) selanjutnya dilakukan filtrasi lagi untuk memisahkan partikel ukuran lebih besar dari 10 μ menggunakan cartridge.

❖ Pemisahan Garam

Air yang dipisahkan oleh membran akan keluar sebagai air tawar dan sisanya berupa air yang mengandung garam, air -

garam ini dapat dibuang ke laut. Ion-ion dalam air laut dapat dihilangkan lebih dari 99,5 %, sedang koloid dan bakteri dapat dihilangkan lebih dari 99,9 %. Penggunaan tekanan tinggi akan menghasilkan fluks lebih besar. Tekanan maksimum umumnya 68 bar, tekanan rata-rata 27 - 41 bar, umumnya tekanan didesain sebesar 41 bar. (4) Dengan kenaikan suhu, fluks menjadi lebih tinggi, umumnya suhu air ditolerir 21-29 °C. Suhu sampai dengan 38 °C akan mempercepat kerusakan membran dan tidak dapat ditolerir untuk waktu lama. (6,8,10) Sedang pH tinggi atau rendah akan menghidrolisa membran selulosa triasetat, pada umumnya pH antara 5 - 7. (8). Umur membran dapat turun drastis apabila mengandung bahan yang tidak diinginkan dalam air yang masuk ke membran RO, misalnya phenol, bakteri, fungi, pH dan suhu yang kurang sesuai. Pada umumnya membran dapat digunakan selama 2 tahun dengan penurunan efisiensi fluks. (8). Pemisahan garam dari air laut dapat dihitung dengan mengukur padatan total terlarutnya (TDS). Besarnya garam yang dapat dipisahkan dihitung dengan (4) TDS air yang dihasilkan.

$$\text{Pemisahan garam} = 1 - \frac{\text{TDS air yang dihasilkan}}{\text{TDS air yang diolah}} \times 100\%$$

Disamping itu, persentase jumlah air bersih yang dihasilkan (recovery) dapat dihitung dengan rumus dibawah ini (4).

$$\text{Recovery} = \frac{Q_p}{Q_f} \times 100\%$$

Qp : aliran air yang dihasilkan (m³ / hari)
Qf : aliran air yang diolah (m³ / hari)

Makin tinggi persentase recovery, makin besar air garam yang menjadi air bersih. Persentase recovery umumnya, 40%. Recovery dapat ditingkatkan dengan melakukan desalinasi 2 tingkat..(7) Air tawar yang keluar dari membran RO biasanya diolah lebih lanjut atau dikondisikan untuk penggunaan tertentu. Penambahan mineral atau kalsium karbonat untuk memberikan rasa dan flavor, pengaturan pH untuk melindungi sistem distribusi air, pembersihan yang bebas klorin, penghilangan gas biasanya digunakan untuk pengolahan air minum. Agar membran tahan lama, tidak cepat rusak perlu dilakukan pembersihan dengan pencucian. Bahan kimia untuk pencucian membran disiapkan secara otomatis atau manual. Interval pencucian tergantung pada kualitas air yang diolah dan unjuk kerja sistem pengolahan pendahuluan. Pada umumnya pencucian sekali dalam beberapa bulan sudah cukup. Dalam pengoperasian membran RO, apakah telah dilakukan perlakuan pendahuluan atau tidak, pada umumnya akan

terjadi pengotoran terhadap membran. Kecepatan pengotoran bervariasi tergantung pada kondisi operasi, perlakuan pendahuluan yang sudah dilakukan dll. Pemeliharaan membran perlu dilakukan dengan mengeluarkan bahan pengotornya atau menambahkan bahan kimia anti kerak. Untuk memperbaiki unjuk kerja membran RO, membran agar disemprot dengan air bersih pada waktu tidak dioperasikan untuk menghilangkan air laut dan garam yang tersisa. Karena jika air laut tetap ada dalam membran akan terjadi pengendapan. Walau pengendapannya sangat kecil endapan tadi akan bertindak sebagai inti untuk terbentuknya pengendapan lebih lanjut. Untuk mendapatkan air tawar dari air laut dengan menggunakan membran RO, dalam tahun 1989 telah dioperasikan di Saudi Arabia dan Bahrain dengan kapasitas masing-masing 56800 m³/ hari dan 45000 m³/ hari . Selanjutnya diikuti di beberapa negara seperti Trinidad, Spanyol, Malta, Jepang, dan Cyprus (tabel 5) (7)

Tabel 5. Contoh Penggunaan RO untuk menghasilkan air tawar dan air laut di beberapa negara

No	Negara	Lokasi	Kapasitas m ³ /hari	Jumlah	Tahun
1	Trinidad	Trinidad	136000	8	2002
2	Saudi Arab	Yanbu RO 2	128000	15	1998
3	Saudi Arab	Al Jubail	91000	15	2000
4	Saudi Arab	Jeddah RO1	56800	10	1989
5	Saudi Arab	Jeddah RO2	56800	10	1994
6	Spanyol	Marbella	56400	10	1999
7	Malta	Penbroke	54000	10	1994
8	Bahrain	Aldur	45000	8	1989
9	Spanyol	Bi Mallorca	42000	6	1998
10	Jepang	Okinawa	40000	8	1997
11	Cyprus	Dhekelia	40000	8	1998

Sumber : Kawasaki, *RO Membrane Technology and Application*, 2003

KESIMPULAN

1. Didalam proses desalinasi air laut Membran Reverse Osmosa berperan sebagai membran semipermeabel yang dapat memisahkan komponen terlarut dengan ukuran $0,001\mu\text{m}$ sampai dengan $0,01\mu\text{m}$ atau partikel-partikel yang memiliki berat molekul rendah atau puluhan saja.
2. Untuk mendapatkan air tawar dari air laut menggunakan membran RO, umumnya harus dilakukan perlakuan pendahuluan karena bahan kontaminan didalam air laut tersebut, akan menyebabkan berkurangnya efisiensi dan merusakkan membran RO.

PUSTAKA

1. Anonymous, Various Process Of Seawater Desalination, Sasakura Engineering Co Ltd
2. Anonymous, 1994, Desalination Technology, Water Re-Use Promotion Center
3. Anonymous, 1995, New Advanced Water Treatment Technology And Applicability For Water Re-Use , Water Re-Use Promotion Center, Tokyo, Japan
4. Anonymous, 1995, Industrial Water, Supplement Engineering Aspects Of Reverse Osmosis Plants, Water Re-Use Promotion Center, Tokyo, Japan.
5. Anonymous, 1995, Industrial Water, Supplement Various Processes Of Sea Water Desalination, Water Re-Use Promotion Center, Tokyo, Japan
6. Anonymous, 2002, Buku Petunjuk Pengoperasian Peralatan Reverse Osmosis, GDP Filter, Filtration And Separation System, Bandung
7. Kawasaki, 2003, RO Membrane Technology and Application, Water Re-Use Promotion Center, Presented in the-Third World Water Forum, February 5 , 2003, Bangkok - Thailand
8. Taniguchi and Abdul Rahman Abany, 1992, RO Desalination, Literature Survey No.5, R / 4. Selection of Membrane, Japan International Cooperation Agency and Saline Water Conversion Corporation
9. Taniguchi Yoshio, 1993, Desalting activities utilizing membrane technology in Japan Kurita Central Laboratories, Kurita Water Industries Ltd

-----0000000000000000-----