

APLIKASI TEKNOLOGI *REVERSE OSMOSIS*
UNTUK PEMURNIAN AIR SKALA RUMAH TANGGA

D. Ariyanti, I N. Widiasta *)

Abstract

Initially, commercially available reverse osmosis (RO) systems were intended to use on ships for producing fresh water during long voyages. After the time, many developments have been conducted especially in membrane element and system configuration. Such developments allow RO systems to be applied for home use with normal plumbing in households. A basic reverse osmosis system consists of a pressurized source of water, a membrane system, and hoses of pipes that carry off and separate clean water and drain water. There are four types of household RO system, i.e.: undersink, whole house, multi family, farm and ranch. If a water quality problem is due to several different contaminants, RO may be the most cost-effective method for their removal.

Key words: Reverse osmosis, Household reverse osmosis, Water treatment systems

Pendahuluan

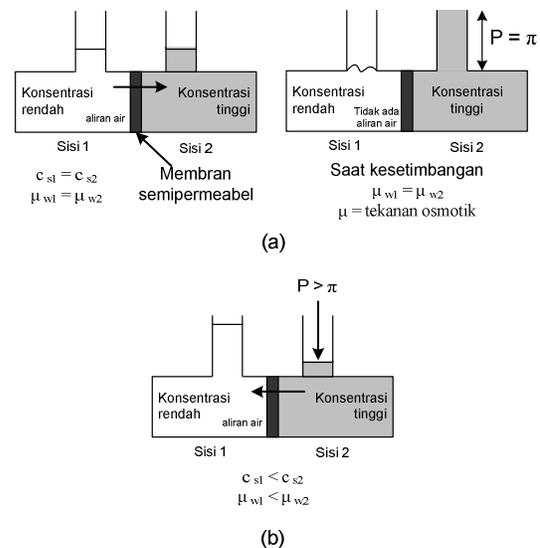
Sistem *reverse osmosis* (RO) komersial pada awalnya dimaksudkan untuk memenuhi kebutuhan air bersih di kapal laut yang sedang berlayar dalam jangka waktu lama. Sistem ini menggunakan pompa bertekanan tinggi untuk mendorong air melewati membran dan memisahkannya dari komponen-komponen yang tidak diinginkan. Saat pertama kali diluncurkan, sistem RO menggunakan membran yang cukup tebal serta diperlukan tempat yang luas untuk instalasi peralatannya [1]. Namun seiring perkembangan membran yang semakin pesat, terutama pada elemen dan sistem konfigurasi yang digunakan, sistem RO kini telah dapat diaplikasikan pada skala rumah tangga. Selain itu, penggunaan jenis membran yang sangat tipis dan instalasi peralatan yang tidak lagi memerlukan tempat luas, turut mendukung sistem RO menjadi sistem yang umum digunakan untuk proses pemurnian air skala rumah tangga [1, 2].

Sebagai sistem pemurnian air skala rumah tangga, RO telah terbukti sangat efektif mengatasi permasalahan kualitas air dibandingkan metode pemurnian yang lain seperti karbon aktif, *water softener*, distilasi, UV, dan netralisasi [3, 4]. Sistem RO dapat memisahkan komponen-komponen yang tidak diinginkan seperti komponen organik, non organik, bakteri, virus, partikulat, serta ion atau garam terlarut. Sistem RO juga dikenal sebagai media filter yang memiliki pori paling kecil dibandingkan filter-filter yang lain yaitu 0.0001 mikron [5]. Beberapa riset dan paten tentang keefektifan sistem RO dengan berbagai macam desain dan konfigurasi turut mendukung perkembangan sistem RO skala rumah tangga [6-12].

Reverse osmosis

Reverse osmosis adalah kebalikan dari fenomena osmosis. Osmosis merupakan fenomena pencapaian kesetimbangan antara dua larutan yang memiliki perbedaan konsentrasi zat terlarut, dimana kedua larutan ini berada pada satu bejana dan dipisahkan

oleh lapisan semipermeabel. Kesetimbangan terjadi akibat perpindahan pelarut dari larutan yang memiliki konsentrasi zat terlarut rendah ke larutan yang memiliki konsentrasi zat terlarut tinggi. Saat kesetimbangan konsentrasi dicapai maka terdapat perbedaan tinggi larutan yang dapat didefinisikan sebagai tekanan osmosis seperti yang terlihat pada Gambar 1.a [13].



Gambar 1. Skema fenomena osmosis dan *reverse osmosis* [13]

Prinsip dasar *reverse osmosis* adalah memberi tekanan hidrostatik yang melebihi tekanan osmosis larutan sehingga pelarut dalam hal ini air dapat berpindah dari larutan yang memiliki konsentrasi zat terlarut tinggi ke larutan yang memiliki konsentrasi zat terlarut rendah seperti yang terlihat pada Gambar 1.b. Prinsip *reverse osmosis* ini dapat memisahkan air dari komponen-komponen yang tidak diinginkan dan dengan demikian akan didapatkan air dengan tingkat kemurnian yang tinggi [13].

*) Staf Pengajar Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Peristiwa perpindahan dalam *reverse osmosis* dapat didekati dengan teori *solution-diffusion*, model membran berpori (*preferential sorption capillary model*), atau fenomena termodinamik irreversibel [14]. Diantara tiga teori ini, yang banyak digunakan untuk menjelaskan bagaimana proses *reverse osmosis* dapat memisahkan antara garam dan air adalah teori *solution-diffusion* yang mengasumsikan bahwa baik zat terlarut (garam) maupun pelarut (air) terlarut secara homogen pada permukaan membran dan masing-masing akan berdifusi melewati membran. Kecepatan difusi garam dan air melalui membran RO bergantung pada gradien potensial kimia yaitu perbedaan konsentrasi dan tekanan antara dua sisi membran. Dengan demikian, perbedaan kelarutan dan diffusivitas garam dan air di fasa membran sangat menentukan laju perpindahan (fluks permeat) dan derajat pemisahan (selektivitas).

Secara empirik, laju perpindahan air melalui membran semipermeabel dalam proses *reverse osmosis* dapat dinyatakan dengan hubungan berikut:

$$J_{\text{air}} = W(P - \pi) \dots\dots\dots(1)$$

dalam hubungan ini, J_{air} adalah fluks air melalui membran RO, W adalah permeabilitas membran RO, P adalah tekanan hidrostatik, dan π adalah tekanan osmosis. Besarnya tekanan osmosis, π , berbanding lurus dengan konsentrasi garamnya. Sementara itu, laju perpindahan zat terlarut (garam) berbanding lurus dengan gradien konsentrasi melintasi membran (yaitu perbedaan konsentrasi antara sisi umpan dan sisi permeat):

$$J_{\text{solut}} = K(C_f - C_p) \dots\dots\dots(2)$$

dalam hubungan ini, J_{solut} adalah fluks zat terlarut (garam) melalui membran RO, K adalah konstanta yang ditentukan oleh material dan ketebalan membran. Persamaan (1) dan (2) menunjukkan bahwa laju perpindahan air merupakan fungsi tekanan operasi, sedangkan laju perpindahan garam tidak. Oleh karena itu, penurunan konsentrasi garam pada konsentrat dan peningkatan tekanan operasi akan meningkatkan kemurnian permeat [14].

Membran Reverse osmosis

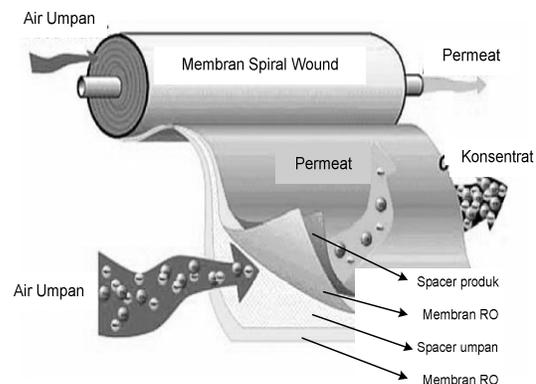
Membran semipermeabel pada aplikasi *reverse osmosis* terdiri dari lapisan tipis polimer pada penyangga berpori (*fabric support*). Membran untuk kebutuhan komersial harus memiliki sifat permeabilitas yang tinggi terhadap air. Selain itu, membran juga harus memiliki derajat semipermeabilitas yang tinggi dalam arti laju transportasi air melewati membran harus jauh lebih tinggi dibandingkan laju transportasi ion-ion yang terlarut dalam umpan. Membran juga harus memiliki ketahanan (stabil) terhadap variasi pH dan suhu. Kestabilan dari sifat-sifat tersebut dalam periode waktu dan kondisi tertentu dapat didefinisikan sebagai umur membran yang biasanya berkisar antara 3-5 tahun. Terdapat dua jenis polimer yang dapat digunakan sebagai membran *reverse osmosis*: selulosa asetat (CAB) dan komposit poliamida (CPA). Kedua jenis material

membran ini memiliki perbedaan yang cukup signifikan pada proses pembuatannya, kondisi operasi dan kinerjanya seperti yang terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Jenis membran RO [15]

Batasan	Membran selulosa asetat	Lapisan tipis membran komposit
pH	pH 2-8	pH 2-11
Temperatur	5°C-30°C	5°C-50°C
Ketahanan terhadap serangan bakteri	Lemah	Sangat kuat
Ketahanan terhadap klorin	0-1 ppm	0-0.1 ppm
Rejeksi terhadap garam saat 60 psi	85-92%	94-98%
Rejeksi terhadap nitrat saat 60 psi	30-50%	70-90%
Cost relatif	Rendah	Tinggi

Pada aplikasi *reverse osmosis*, konfigurasi modul membran yang digunakan yaitu *spiral wound*. Konfigurasi yang lain yaitu *hollow fiber*, tubular dan *plate and frame* tidak terlalu banyak digunakan pada aplikasi *reverse osmosis*, hanya diaplikasikan pada industri makanan serta sistem khusus.

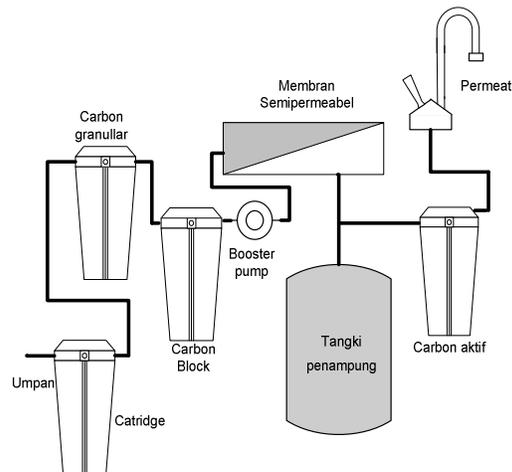


Gambar 2. Modul membran spiral wound [16]

Pada konfigurasi *spiral wound* (Gambar.2) dua buah lembaran membran dipisahkan oleh saluran kolektor permeat dan membentuk daun (*leaf*). Perakitannya adalah dengan dilem pada tiga sisi dan sisi yang keempat (dekat pipa berlubang) dibiarkan terbuka sebagai saluran permeat keluar. Kemudian material yang digunakan sebagai *feed/brine spacer* disatukan dengan *leaf*. Beberapa lembaran *leaf* kemudian digulung mengelilingi tabung permeat plastik. Tabung ini merupakan tabung berlubang yang berfungsi untuk mengumpulkan permeat dari *leaf*. Elemen membran *spiral wound* yang digunakan dalam industri memiliki panjang ± 100-150 cm (40-60 in) dan diameter ± 10-20 cm (4-8 in). Sementara itu, RO untuk rumah tangga memiliki panjang 25-100 cm dengan diameter 5-10 cm. Air umpan/ brine mengalir pada elemen secara aksial masuk melalui *feed spacer* lalu keluar melalui keluaran *brine* secara paralel menuju permukaan membran.

Desain Sistem Reverse osmosis

Aplikasi sistem *Reverse osmosis* (RO) terdiri dari air umpan yang diberi tekanan, sistem RO, dan sistem pemipaan yang membawa air yang telah dimurnikan dari konsentrasinya secara terpisah [1]. Beberapa sistem RO juga dilengkapi oleh *pre-filter*, *booster pump*, *post-filter*, tangki bertekanan untuk menyimpan produk, dan kran dari bahan *stainless steel* atau plastik seperti pada Gambar 4 [17].



Gambar 4. Desain sistem reverse osmosis [17]

Pre-filter berfungsi untuk memisahkan padatan-padatannya yang terlarut dalam air umpan seperti partikulat, klorin dan komponen lain penyebab *fouling*. Sistem *pre-filter* biasanya berupa sedimen filter, karbon aktif, penambahan antiscalant atau kombinasi dari ketiganya.

Booster pump dipasang pada sistem RO biasanya berfungsi untuk meningkatkan tekanan. Dengan peningkatan tekanan, *booster pump* mampu untuk meningkatkan rejeksi dan laju alir produk.

Membran RO merupakan inti dari sistem, sehingga pemilihan jenis, dan modul membran menjadi sangat penting dalam desain. Membran RO dibuat dari selulosa asetat, selulosa triasetat, atau resin poliamida. Ketiganya memiliki keunggulan dan kelemahan yang spesifik. Sedangkan untuk modul membran, pada sistem rumah tangga modul yang dipilih biasanya modul jenis *spiral wound*.

Laju alir melewati membran yang dikontrol oleh ketebalan membran, ukuran pori, dan perbedaan tekanan. Batasan pada teknis pengoperasiannya juga sangat penting untuk diperhatikan. Laju alir akan meningkat seiring peningkatan tekanan, namun tekanan yang besar dapat merusak (merobek) membran sehingga komponen yang semula akan dipisahkan dari air akan terikut sebagai produk. Ketebalan membran juga bervariasi, semakin tipis membran maka laju alir produk akan semakin meningkat, akan tetapi memilih membran yang tipis juga beresiko pada ketahanan membran.

Post-filter merupakan penanganan setelah air melewati membran RO. Fungsinya adalah untuk menghilangkan bau, rasa yang tidak diinginkan. *Post-filter* biasanya berupa karbon aktif yang dengan mudah dapat mengadsorpsi komponen penyebab bau dan rasa yang tidak diinginkan.

Tangki penampung digunakan untuk menampung produk setelah proses karena proses pemisahan membran merupakan proses yang lambat. Beberapa jenis tangki penampung seperti tangki penampung bertekanan dan yang tidak bertekanan digunakan sesuai dengan kebutuhan.

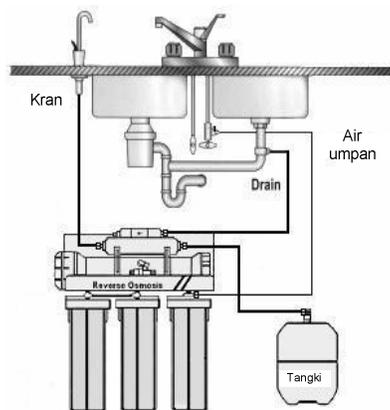
Terdapat pula beberapa alat tambahan yang digunakan untuk mempertahankan kinerja membran RO yaitu unit *autoflush* yang berfungsi untuk meminimalisasi fenomena *fouling* dan *scaling*. *Fouling* merupakan perubahan morfologi membran secara *irreversibel* yang disebabkan oleh interaksi fisik dan/atau kimia spesifik antara membran dengan berbagai komponen yang ada dalam cairan umpan, antara lain koloid, partikel halus, minyak, mikroorganisme, oksida logam, dan silika. Sedangkan *scaling* adalah presipitasi kristal garam di permukaan membran seperti CaCO_3 , CaSO_4 , BaSO_4 , SrSO_4 , CaF_2 , dan Mg(OH)_2 [18]. Pada instalasi RO skala besar, minimalisasi *fouling* dan *scaling* umumnya menggunakan senyawa penghambat kerak (sering disebut sebagai *antiscalant* atau *scale inhibitor*), sedangkan pada RO skala rumah tangga umumnya menggunakan proses *pre-treatment* atau *autoflush*.

Beberapa desain dan konfigurasi sistem RO dengan kelebihan masing-masing telah dipatenkan seperti, sistem RO reguler untuk instalasi rumah tangga [6]; sistem RO instalasi rumah tangga yang dilengkapi dengan filter sedimen sebagai unit *pre-filter* [7]; sistem RO instalasi rumah tangga yang dilengkapi dengan filter sedimen sebagai unit *pre-filter* dan karbon aktif sebagai *post-filter* [8]; sistem RO instalasi rumah tangga yang dapat menyediakan air bersih secara kontinu tanpa menghasilkan limbah [9]; sistem RO instalasi rumah tangga dengan desain dan konfigurasi yang lebih efisien dibandingkan dengan desain yang lain [10]; sistem RO skala rumah tangga yang dilengkapi dengan sistem pembuangan *drain* secara langsung [11]; sistem RO instalasi rumah tangga dilengkapi sistem *backwashable* [12].

Tipe Aplikasi

Aplikasi sistem RO skala rumah tangga dapat dibagi menjadi beberapa tipe sesuai dengan kapasitas dan penggunaannya, yaitu tipe *undersink*, *whole house*, *multi family*, dan *farm and ranch* [19]. Tipe *Undersink* merupakan sistem RO yang didesain untuk memenuhi kebutuhan air minum dalam rumah. Tipe ini biasanya dipasang dibawah wastafel yang terdapat didapur seperti yang terlihat pada Gambar 5. Kapasitas produksi dari tipe *undersink* berkisar antara 95-378 kemasan galon/hari.

Sistem yang digunakan pada tipe *undersink* terdiri dari 1-2 metode *pre-filter* yang berfungsi memisahkan padatan yang berukuran 1-20 mikron, RO yang akan memisahkan air dari ion, garam dan mineral yang terlarut, *post-filter*, serta tangki penampung.



Gambar 5. Sistem RO tipe *undersink* [20]

Tipe *Whole House* didesain untuk memenuhi kebutuhan air didalam sebuah rumah tangga, seperti air minum, air untuk memasak, air untuk mandi, dsb. Tipe ini lebih besar dibandingkan tipe *undersink*.

Sistem yang diterapkan pada tipe *whole house* meliputi *pre-filter* seperti karbon aktif, dan penambahan antiscalant, unit RO, tangki penampung serta *re-pressurization system* yang memudahkan proses pemurnian air seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Sistem RO tipe *whole house* [21]

Sistem yang digunakan pada tipe *multi family* dan *Farm and Ranch* sama dengan tipe *whole house*. Perbedaannya terletak pada kapasitas dan skala produksinya. Tipe *multi family* biasanya digunakan pada kompleks apartemen yang kecil (\pm 4 rumah) dan tipe *farm and ranch* biasanya digunakan untuk memenuhi kebutuhan air untuk banyak rumah atau kebutuhan air di peternakan dengan kapasitas 7-37 L/menit seperti pada Gambar 7.

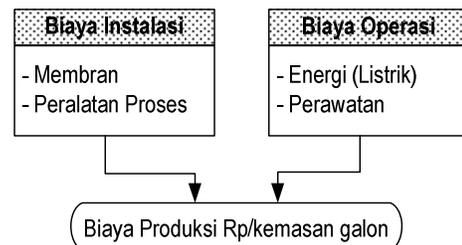


Gambar 7. Sistem RO tipe *farm and ranch* [22]

Analisa Ekonomi

Biaya yang dibutuhkan dalam instalasi maupun pengoperasian sistem RO skala rumah tangga sangat bervariasi. Sampai saat ini belum ada metode analisa ekonomi baku yang ditetapkan untuk menganalisa biaya yang dibutuhkan.

Pada paper ini, dikemukakan suatu metode analisa ekonomi yang dapat digunakan untuk menghitung biaya produksi/kemasan galon produk yang dihasilkan oleh sistem RO skala rumah tangga seperti yang terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Struktur analisa ekonomi sistem RO skala rumah tangga

Biaya instalasi meliputi biaya pembelian membran dan peralatan proses lainnya, sedangkan biaya operasi merupakan biaya yang diperlukan setelah sistem RO terpasang dan siap digunakan. Biaya operasi meliputi kebutuhan listrik dan biaya perawatan peralatan seperti penggantian *catridge*, *carbon granular*, *carbon block* dan *post carbon*.

Contoh analisa biaya untuk sistem RO tipe *undersink* pada aplikasi rumah tangga yang membutuhkan air 2 kemasan galon/hari dapat dilihat pada Tabel 2. dengan dasar perhitungan sebagai berikut:

- Umur alat proses = 3 tahun
- Umur membran = 3 tahun
- Penggantian *catridge*, dll =/300 kemasan galon air

Tabel 2. Contoh analisa ekonomi sistem RO

Macam Biaya	Unit	Harga
Membran dan peralatan proses	Rp	2.500.000,-
Listrik	Rp/3th	63.072,-
Perawatan	Rp	950.000,-
Total biaya/3tahun	Rp	3.513.072,-
Biaya operasi/L produk	Rp/gal	1.604,-

* 1 galon \approx 20L

Penutup

Sistem RO skala rumah tangga dapat secara efektif memisahkan berbagai macam komponen yang tidak diinginkan seperti komponen organik, non organik, bakteri, virus, ion terlarut dan partikulat. Dalam kasus-kasus umpan air yang memiliki beragam kontaminan, sistem RO secara ekonomis lebih unggul dibandingkan dengan metode pemurnian air yang lain. Selain itu analisa ekonomi menunjukkan bahwa pada instalasi sistem RO tipe undersink kapasitas 2gal/hari hanya membutuhkan biaya Rp. 1.604,- per galon air yang dihasilkan.

Daftar Pustaka

- Fisher, A., Reisig, J., Powell, P., Walker, M., 2007, Reverse osmosis (R/O): How it Works., University of Nevada.
- Singh, R., 2006, Hybrid Membrane Systems for Water Purification: Technology Systems Design and Operations., Elsevier Science & Technology Books, 1-3.
- Kamrin, M., Hayden, N., Christian, B., Bennack, D., D'Itri, F., 1999, Reverse osmosis for Home Drinking Water., Bulletin WQ24, Michigan University.
- Clemson Extension, 1990, Home Water Treatment Systems., Bulletin of Water Quality, The Clemson University Cooperative Extension Service.
- www.HomeWaterPurifiersAndFilters.com, Reverse osmosis (RO) Water Filters., diakses tanggal 1-06-2009: 10:00am.
- Gales, M.A., Magidson, S.I., Wistrand, J., Guy, D.B., 1988, Reverse osmosis Purifier., US Patent 4744895.
- Birdsong, T.E., Mork, S.O., Peace, S.L., 1992, Reverse osmosis System., US Patent 5132017.
- Whittier, S., 1992, High Flow Rate Reverse osmosis Water Filtration System for Home Use., US Patent 5078864.
- Kuepper, T.A., 1996, Zero Waste Effluent Desalination System., US Patent 5520816.
- Klein, K.C., 1997, Portable Reverse osmosis Water Purification Plant., US Patent 5632892.
- Bowman, D.E., 1997, Reject Water Drain Line Installation System and Apparatus for Under Sink Reverse osmosis Filter System., US Patent 5635058.
- Chen, K.R., 1999, Reverse osmosis Drinking Water Treatment System with Backwashable Precise Prefilter Unit., US Patent 5958232.
- William, M.E., 2003, A Brief Review of Reverse osmosis Membrane Technology., EET Corporation and Williams Engineering Services Company.
- Widiasa, I.N., Wenten, I.G., 2008, Pengaruh Perlakuan pH Umpan dan Recovery Factor Terhadap Fluks dan Karakteristik Permeat Reverse osmosis Air Tawar.
- 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.
- Anonym, 2009, Perth Seawater Desalination Plant, Seawater Reverse Osmosis (SWRO), Kwinana, Australia, www.water-technology.net, diakses tanggal 1-06-2009: 10:00am.
- Powell, G.M., Black, R.D., 1990, Reverse osmosis., Bulletin of Water Quality MF-884, Cooperative Extension Service, Kansas State University.
- Widiasa, I.N., Wenten, I.G., 2008, Studi Efektivitas Pencucian Membran Reverse osmosis Instalasi Air Minum Rumah Tangga
- www.HomeWaterPurifiersAndFilters.com, Residential Reverse osmosis Applications., diakses tanggal 1-06-2009: 10:00am.
- Anonym, 2009, Under Sink Kit for Your Water Purifier, www.airwaterpurifiers.com, diakses tanggal 1-06-2009: 10:00am.
- Anonym, 2009, Water Store/Bottled Water Filtration Systems, www.cheyennearabians.com, diakses tanggal 1-06-2009: 10:00am.
- Anonym, 2009, KMS Municipal Water Treatment Systems, www.kochmembrane.com, diakses tanggal 1-06-2009: 10:00am.

