

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penyebaran Daerah Pesisir

Luas wilayah laut propinsi Riau adalah sekitar 7.885,80 km². Wilayah ini berbatasan langsung dengan kabupaten Rokan Hilir, Bengkalis, Siak, Pelalawan, Indragiri Hilir dan kota Dumai. Luas wilayah laut pada masing-masing daerah disajikan dalam Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2. 1 Luas Daerah Pesisir di Propinsi Riau

No.	Kabupaten/ Kota	Luas Wilayah Laut (km ²)
1	Rokan Hilir	966,30
2	Bengkalis	3.711,00
3	Siak	156,80
4	Pelalawan	575,50
5	Indragiri Hilir	1.979,00
6	Dumai	497,20

Sumber: Riau Dalam Angka, 2005

2.2 Karakteristik Air Payau

Secara kualitatif, beberapa karakteristik air payau diantaranya [www.lennetch.com, 2007]:

1. Memiliki kandungan garam sampai dengan 15.000 ppm
2. Memiliki kesadahan yang cukup tinggi
3. Kemungkinan mengandung padatan tersuspensi

2.3 Standar Kualitas Air

Pemerintah telah menetapkan peraturan mengenai baku mutu air minum melalui Permenkes No.907/MENKES/SK/VII/2002 dengan kriteria baku mutu air ditampilkan pada Tabel 2.2 berikut.



Tabel 2. 2 Kriteria Baku Mutu Air Minum

No	Parameter Analisis	Satuan	Baku Mutu
FISIKA			
1	Bau	-	-
2	Zat Padat Terlarut (TDS)	mg/L	1000
3	Kekeruhan	NTU	5
4	Rasa	-	-
5	Temperatur	°C	Suhu udara, $\pm 3^{\circ}\text{C}$
6	Warna	TCU	15
7	Daya hantar listrik	$\mu\text{S/cm}$	-
KIMIA			
1	Besi (Fe)	mg/L	0,3
2	Fluorida (F)	mg/L	1,5
3	Kesadahan (CaCO_3)	mg/L	500
4	Klorida (Cl)	mg/L	250
5	Mangan (Mn)	mg/L	0,1
6	Natrium (Na)	mg/L	200
7	Nitrat (sebagai NO_3)	mg/L	50
8	Nitrit (sebagai NO_2)	mg/L	3
9	PH	-	6,5-8,5
10	Sulfat (SO_4)	mg/L	250
11	Kalium (K)	mg/L	-
12	CO_2 agresif	mg/L	-
13	Keasaman pp (asiditas)	mg/L	-
14	Kelindian mo (alkalinitas)	mg/L	-
15	Daya pengikat Chlor	mg/L	-
KIMIA ORGANIK			
16	Zat organik (KMnO_4)	mg/L	-

2. 4 Pengolahan Air Payau

2. 4. 1 Teknologi Konvensional

Teknologi konvensional yang umum digunakan dalam pengolahan air payau meliputi koagulasi, flokulasi, sedimentasi dan filtrasi. Koagulasi dan flokulasi biasanya dilakukan dengan menambahkan zat kimia seperti alum, *lime* dan tawas ke dalam air payau. Sedimentasi biasanya dilakukan pada bak-bak penampungan. Sedangkan filtrasi biasanya dilakukan dengan saringan pasir dan bebatuan.

Teknologi konvensional yang telah dilakukan selama ini tidak mampu sepenuhnya mengolah air payau dengan sempurna. Kandungan garam yang cukup

tinggi dalam air payau menyebabkan hasil pengolahan masih mengandung kadar garam diatas batas kadar garam yang ditetapkan pemerintah pada PP No. 82 tahun 2001. Selain itu, pada teknologi ini banyak zat kimia yang ditambahkan serta tidak dapat mengkoagulasikan zat organik dengan berat molekul rendah..

2. 4. 2 Pengolahan Air Payau dengan Teknologi Membran

Teknologi membran telah tumbuh dan berkembang secara dinamis sejak pertama kali dikomersialkan oleh Sartorius-Werke di Jerman pada tahun 1927, khususnya untuk membran mikrofiltrasi [Dep. Teknik Kimia ITB, 2006]. Beberapa keunggulannya yakni kebutuhan energi yang rendah, masalah korosi peralatan yang minimum dan pergantian serta instalasi yang mudah berintegrasi dengan sistem yang ada.

Prinsip kerja membran adalah memisahkan zat terlarut dengan berat molekul kecil dan memisahkan larutan cair yang mengandung zat organik dalam jumlah yang kecil. Pada proses ini, membran akan *permeable* terhadap air tetapi tidak terhadap garam dan senyawa dengan berat molekul besar. Akibatnya, membran hanya dilalui oleh pelarut, sedangkan zat terlarut berupa garam maupun zat organik akan ditolak [Scott, 1995]. Semakin besar ukuran pori membran maka semakin besar pula ukuran senyawa yang dapat melewati membran.

2. 5 Klasifikasi Membran

Secara umum membran diklasifikasikan berdasarkan parameter-parameter seperti gaya dorong (*driving force*), mekanisme, struktur membran dan material penyusunnya.

2. 5. 1 Klasifikasi berdasarkan daya dorong (*driving force*)

1. Mikrofiltrasi (MF)

Membran Mikrofiltrasi (MF) digunakan untuk memisahkan partikel, termasuk bakteri dan ragi dari larutan. Membran ini mempunyai ukuran pori yang lebih besar dari Ultrafiltrasi (UF). MF dapat menahan koloid besar dan partikel berukuran lebih besar dari 10 μm . Aplikasi membran MF juga dapat diterapkan

pada sterilisasi minuman dan farmasi, klarifikasi juice, *recovery* logam dalam bentuk koloid, pengolahan limbah cair ataupun fermentasi kontinu. Membran ini umumnya berstruktur simetrik dan beroperasi pada tekanan antara 0,1 - 2 bar dengan batasan fluks lebih besar dari 50 L/m².jam.bar (Mulder, 1996).

2. Ultrafiltrasi (UF)

Ultrafiltrasi (UF) merupakan membran makroporos yang hanya dapat menahan koloid, partikel, semua jenis mikroorganisme seperti bakteri dan virus atau makromolekul yang berukuran 0,001 – 0,02 μm , tetapi dapat dilewati zat terlarut, seperti kation dan anion sederhana. Pori-porinya dapat terdeteksi dengan alat SEM dan kebanyakan berbentuk asimetrik, berukuran 1 - 100 μm . Tekanan yang diperlukan relatif besar antara 1 - 10 bar dengan batasan fluks mencapai 10 - 50 L/ m².jam.bar (Mulder, 1996).

Umumnya membran ini digunakan untuk memisahkan bahan berupa makromolekul dari larutan.. Membran ini dapat juga digunakan untuk memisahkan senyawa dengan berat molekul tinggi dari senyawa dengan berat molekul rendah, seperti industri makanan, pengolahan susu, industri farmasi, tekstil, industri kimia, industri kertas, kulit dan pengolahan limbah cair.

3. Nanofiltrasi

Disebut juga dengan membran *softening*, sebab banyak digunakan dalam proses pelunakan air. Selektivitas atau kemampuan pemisahannya berada antara RO dan UF, yakni hanya dapat dilewati oleh senyawa berukuran dibawah 1 μm . Oleh karena itu, nanofiltrasi banyak digunakan untuk mengendalikan jumlah senyawa organik dalam proses pengolahan air minum. Membran ini dapat merejeksi ion-ion divalen dan sedikit ion monovalen. Range tekanan operasi membran nanofiltrasi adalah 5 - 20 bar dengan batasan fluks mencapai 1,4 - 12 L/ m². jam. bar [Mulder, 1996].

4. Reverse Osmosis

Reverse osmosis (RO) umumnya digunakan untuk memisahkan bahan-bahan dengan berat molekul rendah atau garam-garam organik dari larutan. Teknologi membran *reverse osmosis* merupakan teknologi desalinasi yang ramah

lingkungan dan tidak memerlukan lahan yang luas. Contoh penerapan *reverse osmosis* dapat dilihat pada desalinasi air laut. Pada proses ini, membran *reverse osmosis* akan menahan komponen-komponen lain selain pelarut. Atau dengan kata lain, membran ini bersifat permeabel terhadap air, tetapi tidak untuk garam dan senyawa yang memiliki berat molekul yang lebih besar.

Reverse osmosis dikenal juga sebagai proses hiperfiltrasi, sebab tekanan yang dibutuhkan untuk melewati umpan lebih besar dari tekanan osmosis umpan sebelum umpan dilewatkan melalui membran. Umumnya tekanan operasi yang diperlukan minimal tiga kali lipat dari tekanan osmosis larutannya, yakni berkisar antara 10 - 100 bar dengan batasan fluks sebesar 0,05 - 1,4 L/ m². jam. bar [Mulder,1996].

5. Dialisis

Dialisis adalah peristiwa pergerakan molekul dengan cara difusi dari konsentrasi tinggi menuju konsentrasi rendah melalui membran semipermeabel [Pierce Biotechnology Inc., 2004]. Hanya molekul-molekul yang berukuran sangat kecil yang dapat melewati pori-pori membran ini. Molekul yang mampu melewati membran kemudian akan mencapai kesetimbangan. Setelah dicapai kesetimbangan, maka tidak akan ada lagi pergerakan dari molekul-molekul. Hal ini dikarenakan molekul yang masuk maupun keluar membran dialisis telah mencapai laju yang sama. Substansi yang memiliki ukuran pori sangat kecil dibandingkan ukuran pori membran akan mencapai tingkat kesetimbangan lebih cepat dibandingkan dengan substansi yang berukuran lebih kecil dari pori-pori membran [Pierce Biotechnology Inc., 2004].

Kinerja membran ini dipengaruhi oleh volume larutan penyangga dialisis, komposisi larutan penyangga dialisis, jumlah perubahan larutan penyangga, waktu, temperatur dan ukuran partikel terhadap ukuran pori-pori [Pierce Biotechnology Inc., 2004]. Membran ini umumnya digunakan untuk memisahkan garam dan *microsolute* dari larutan yang mengandung makromolekul. Contohnya dalam proses cuci darah.

6. Elektrodialisis

Digunakan untuk memisahkan bahan-bahan yang mengandung muatan dari larutannya. Pemisahan dilakukan dengan menggunakan gaya dorong yang diperoleh dari beda potensial listrik. Membran yang digunakan adalah membran penukar ion yang disusun secara berselang-seling diantara elektroda. Variasi proses dapat dilakukan dengan mengubah posisi elektroda, yakni anoda menjadi katoda dan sebaliknya. Proses ini disebut *electrodialysis reversal*. Utamanya proses ini digunakan dalam *desalting* larutan ionik, pemisahan asam amino dari larutan dan proses klor-alkali.

2. 5. 2 Klasifikasi berdasarkan mekanisme pemisahan

1. Pemisahan berdasarkan perbedaan bentuk atau ukuran partikel di dalam umpan

Contoh utamanya adalah mikrofiltrasi, ultrafiltrasi dan dialisis. Membran yang digunakan adalah membran berpori yang dikategorikan atas:

1. Makroporos (ukuran pori > 50 nm)
2. Mesoporos (ukuran pori 2-50 nm)
3. Mikroporos (ukuran pori < 2 nm)

2. Pemisahan berdasarkan perbedaan kelarutan dan difusivitas dari material di dalam membran

Contohnya yakni operasi *Gas Permeation (GP)*, Pervaporasi (PV) dan *Reverse Osmosis (RO)*. Membran yang digunakan termasuk kategori *dense membrane* atau *non porous membrane*.

3. Pemisahan yang didasarkan pada beda potensial listrik suatu zat (*electro chemical effect*)

Contohnya elektrodialisis (ED). Membran yang digunakan biasanya disebut *ion exchange membran*.

2. 5. 3 Klasifikasi berdasarkan struktur membran

1. Membran isotropik, yaitu membran yang memiliki ukuran pori sama antara lapisan atas dan lapisan bawah.

2. Membran anisotropik, yaitu membran yang ukuran porinya tidak sama antara bagian atas dan bagian bawah. Lapisan atas sangat tipis dan memiliki ukuran pori sangat kecil, yang berfungsi sebagai membran utama, sedangkan bagian bawahnya berupa lapisan yang lebih tebal dan berpori jauh lebih besar yang berfungsi sebagai *support*. Membran ini dibagi lagi menjadi membran asimetrik dan membran komposit.

2. 6 *Reverse Osmosis*

2. 6. 1 Prinsip Dasar *Reverse Osmosis*

Reverse osmosis atau osmosa balik merupakan kebalikan proses osmosis, yaitu peristiwa Bergeraknya air dari larutan garam menuju air murni akibat pemberian tekanan pada larutan garam, dimana tekanan yang diberikan lebih besar dari tekanan osmotik larutan garam tersebut [Cath. Y., Tzahi *et al*, 2006]. Apabila tekanan tersebut tidak diberikan, maka air akan bergerak melalui membran dari air murni ke arah larutan garam secara alami [www.zenon.com, 2007]. Fenomena ini disebut osmosis (Gambar 2.1). Pergerakan air dari air murni ke arah larutan garam disebabkan oleh adanya perbedaan potensial kimia antara dua bagian tersebut. Potensial kimia air lebih besar daripada potensial kimia larutan garam, sehingga air bergerak dari air murni menuju larutan garam. Pergerakan air ini akan berhenti apabila kesetimbangan potensial kimia antara dua bagian telah tercapai (Gambar 2.2). Pada keadaan kesetimbangan, perbedaan tekanan antara dua bagian cairan pada sisi membran sama dengan tekanan osmotik larutan garam. Jadi, besarnya tekanan yang harus diberikan pada bagian larutan garam untuk menghentikan aliran atau fluks air murni adalah sebesar tekanan osmotiknya. Apabila tekanan yang diberikan pada bagian larutan garam lebih besar daripada tekanan osmotiknya, maka arah aliran air akan berbalik. Peristiwa inilah yang disebut *reverse osmosis* (RO) atau hiperfiltrasi (Gambar 2.3).

Membran *reverse osmosis* (RO) umumnya digunakan untuk memisahkan zat terlarut dengan berat molekul kecil (seperti larutan NaCl) [Pinnau *et al*, 2005]. Namun, membran ini juga dapat digunakan untuk memisahkan zat terlarut dengan

berat molekul besar (seperti zat organik) dalam konsentrasi yang kecil. Pada proses ini, membran akan *permeable* terhadap air tetapi tidak terhadap garam dan spesi dengan berat molekul besar. Akibatnya, membran hanya dilalui oleh pelarut sedangkan zat terlarut berupa garam maupun zat organik akan ditolak. Permeat yang dihasilkan memiliki kandungan garam yang lebih rendah dibandingkan dengan umpan sebelum dilewatkan melalui membran tersebut.

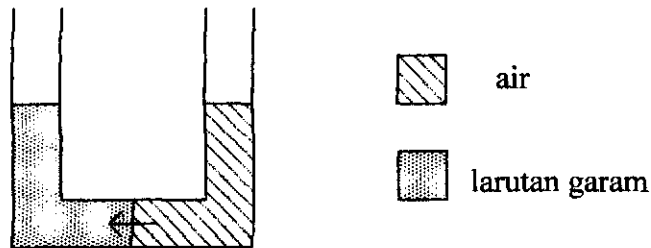
Membran *reverse osmosis* banyak digunakan pada proses desalinasi air laut dan air payau [Mulder, 1996]. Penelitian tentang pengolahan air dengan menggunakan membran *reverse osmosis* tekanan rendah telah dilakukan oleh Indah Nurhayati (2005). Penelitian tersebut dilakukan dengan menggunakan seperangkat peralatan *reverse osmosis* yang terdiri dari modul membran *spiral wound*, pompa, tangki umpan, indikator tekanan dan katup pengatur tekanan operasi. Sampel yang digunakan adalah air payau sintetis (NaCl dengan konsentrasi 1.000 – 4.000 ppm) dan sampel air payau asli dari sumur di daerah Kenjeran, Jawa Timur. Dari hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa tekanan operasi, konsentrasi NaCl umpan, TDS umpan dan jenis sampel berpengaruh terhadap fluks dan rejeksi membran *reverse osmosis* pada desalinasi air payau.

Secara ringkas terdapat tiga fenomena perpindahan massa pada membran yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

a. Osmosis

Bila membran semipermeabel ditempatkan di antara air dan larutan garam, maka air akan bergerak melalui membran ke arah larutan garam secara alami (lihat Gambar 2.1). Fenomena ini disebabkan oleh adanya perbedaan potensial kimia antara kedua bagian tersebut, dengan potensial kimia air (μ_a) lebih besar daripada potensial kimia larutan garam (μ_g). Fenomena ini disebut osmosis.

Ilustrasi:



Gambar 2. 1 Osmosis

b. Kestimbangan

Pergerakan air dari air murni ke larutan garam akan berhenti bila kesetimbangan potensial kimia telah tercapai . Pada keadaan kesetimbangan, perbedaan tekanan antara 2 bagian cairan di sisi membran sama dengan tekanan osmotik larutan garam.

Tekanan osmotik menurut persamaan Van't Hoff adalah sebagai berikut:

$$\pi_i = C_{Ai} R T \quad (2. 1)$$

Keterangan:

π_i = Tekanan osmotik komponen i

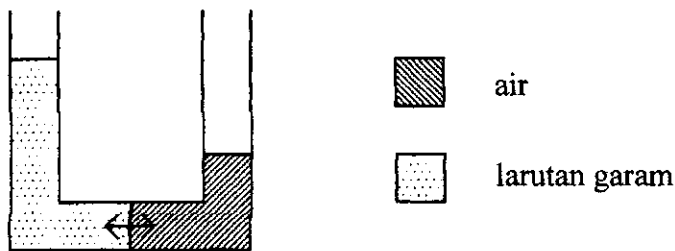
C_{Ai} = Konsentrasi zat terlarut komponen i

T = Temperatur

Jadi, besarnya tekanan yang harus diberikan pada bagian larutan garam untuk menghentikan aliran atau fluk air murni adalah sebesar tekanan osmotiknya.

Ilustrasi:

larutan garam

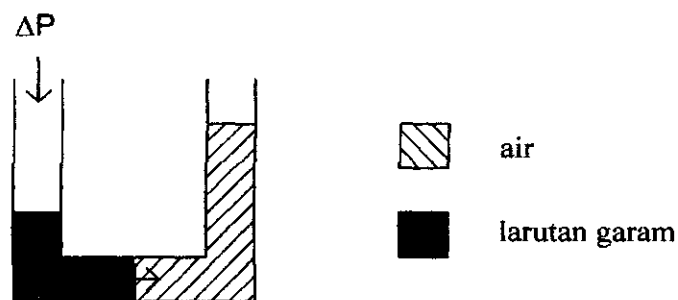


Gambar 2. 2 Keseimbangan

c. *Reverse Osmosis*

Apabila tekanan yang diberikan pada bagian larutan garam lebih besar daripada tekanan osmotiknya, maka arah aliran air akan berbalik (dari larutan garam ke air) seperti pada Gambar 2.3.

Ilustrasi:



Gambar 2. 3 Reverse Osmosis

Secara umum proses *reverse osmosis* dapat diklasifikasikan menjadi tiga, yakni *reverse osmosis* tekanan tinggi (50-100 bar), *reverse osmosis* tekanan rendah (15-40 bar) dan *loose reverse osmosis* (3-15 bar). *Reverse osmosis* tekanan tinggi dapat digunakan untuk proses-proses yang menghasilkan rejeksi sangat tinggi terhadap zat-zat anorganik (mencapai 99,9 % rejeksi NaCl) dan rejeksi menengah sampai tinggi dari zat organik dengan berat molekul rendah.

Rejeksi zat organik bergantung pada tipe polimer membran, struktur dan interaksi membran dengan zat terlarut. Rejeksi yang sangat tinggi diperlukan

untuk pengolahan umpan dengan konsentrasi garam sangat tinggi seperti air laut. Untuk konsentrasi umpan yang lebih rendah seperti air payau dapat digunakan membran RO tekanan rendah dengan rejeksi berkisar antara 90-99 % [Pinem, J.A, 2005].

2. 6. 2 Perkembangan *Reverse Osmosis*

Teknologi *reverse osmosis* berkembang pesat seiring dengan perkembangan teknologi membran. Perkembangan teknologi *reverse osmosis* diawali dengan keberhasilan dan pengembangan pembuatan membran sintetik. Penelitian tentang *reverse osmosis* pertama kali dilakukan oleh Reid dan Breton pada tahun 1950. Mereka berhasil melakukan desalinasi dengan menggunakan membran selulosa asetat. Berikut rangkuman singkat perkembangan *reverse osmosis* dari tahun ke tahun.

Tabel 2. 3 Perkembangan *Reverse Osmosis*

Tahun	Pengembang	Keterangan
1867	Traube	Berhasil membuat membran buatan (<i>artificial membrane</i>)
1950	Reid dan Breton (Universitas Florida)	Menemukan teknik desalinasi dengan menggunakan membran selulosa asetat
1960	Loeb, Sourirajan dan Co. (Universitas California)	Mengembangkan pembuatan membran asimetrik
1961	Havens, Clark dan Dab Guy (<i>Havens Industries</i>)	Menemukan dan mengembangkan <i>tube fiberglass</i> berporos yang terdiri dari membran asimetrik
1961	McMahon dan Brown (<i>Dow Chemical</i>)	Mengembangkan membran <i>hollow fiber</i> selulosa triasetat dan <i>ball of twine</i> dari elemen membran
1961	<i>Office of Saline Water, Departement of Interior</i>	Mengembangkan <i>scale up</i> , modul dan sistem dari membran
1964	Havens, Clark dan Dab Guy (<i>Havens Industries</i>)	Mendemonstrasikan pabrik pengolahan air laut di <i>South Bay Plant of San Diego & Electric</i>
1964	Keilin (<i>Aeroject</i>)	Meneliti perilaku membran sebagai <i>swelling agent</i> pada membran selulosa asetat
1965	Manjikian (Univ. California)	Memperkenalkan larutan pelapis organik selulosa diasetat, formamid dan aseton

1965	Merten (<i>General Atomic</i>)	Mengembangkan persamaan untuk aliran fluida melalui membran selulosa asetat
1965	Losdale (<i>General Atomic</i>)	Meneliti membran asimetrik dengan menggunakan mikroskop elektron
1965	Sherwood dan Brian (<i>Institute Technology of Massachusets</i>)	Menentukan pengaruh dari lapisan pembatas (<i>boundary layer</i>)
1966	Marten, Vos dan Hatcher (<i>General Atomic</i>)	Meneliti pengaruh pH terhadap umur membran selulosa asetat
1966	Westmoreland dan Bray (<i>General Atomic</i>)	Mengembangkan modul membran <i>spiral wound</i>
1968	Marten, Lonsdale, Riley dan Vos (<i>General Atomic</i>)	• Meneliti pengaruh pH terhadap umur membran • Dehidrasi membran secara <i>impeirment</i> menggunakan gliserin dan surfaktan
1968	DuPont	Aplikasi modul <i>hollow fiber</i> dari nilon untuk <i>reverse osmosis</i> air payau
1969	Clark dan Guy (<i>Aqua Chem.</i>)	Melakukan desalinasi air laut dengan kapasitas 80.000 galon per hari untuk memenuhi kebutuhan Angkatan Bersenjata Amerika Serikat
1972	Cadote dan Rossel (<i>North Star Research</i>)	Mengembangkan membran komposit dengan metode kondensasi polimerisasi
1974	Ko, Callahan dan Coworkers	Analisis awal untuk pengembangan desalinasi dengan kapasitas 100 juta galon per hari
1975	Dow Chem., DuPont, Fluid System	Mengembangkan modul membran skala industri untuk teknologi dan penelitian pengolahan air
1977	Riley (<i>Fluid System</i>)	Mengembangkan modul membran <i>spiral wound</i>
1985	Clark (<i>Dow Chemical</i>)	Mengembangkan modul membran untuk kapasitas 50-100 juta galon per hari

Sumber: Parekh, 1988

2. 6. 3 Material Membran

Membran *reverse osmosis* komersial yang pertama kali dibuat adalah membran selulosa asetat asimetrik. Membran ini dibuat oleh Loeb-Sourirajan melalui proses yang melibatkan pemisahan fasa atau proses inversi fasa [Pinnau et al, 2005]. Kelebihan membran ini adalah mudah dibuat serta tahan terhadap degradasi yang disebabkan oleh klorin dan zat-zat kimia lainnya. Akan tetapi, membran ini memiliki fluks dan tingkat rejeksi yang lebih rendah jika

dibandingkan dengan membran modern yang banyak digunakan saat ini [Pinnau et al, 2005].

Membran *reverse osmosis* dapat dibuat dari berbagai macam material polimer. Material-material polimer yang umum digunakan untuk pembuatan membran *reverse osmosis* adalah yang bersifat hidrofilik. Hal ini dikarenakan zat yang ingin dilewatkan adalah air murni. Material-material tersebut diantaranya adalah selulosa asetat (CA), poliamida (PA), poliakrilonitril dan lain sebagainya.

Membran komposit poliamida cukup stabil pada rentang pH yang lebih besar dibandingkan dengan membran selulosa asetat. Walaupun demikian, permukaan membran selulosa asetat lebih halus dan memiliki muatan permukaan yang kecil dibandingkan membran poliamida. Karena kenetralan permukaan dan ketahanan terhadap Cl_2 bebas, maka membran selulosa asetat umumnya memberikan unjuk kerja yang lebih stabil dibandingkan membran poliamida pada beberapa aplikasi dimana air umpan mempunyai potensi *fouling* yang tinggi, seperti air limbah dan air permukaan. Perbandingan sifat material lain dari membran selulosa asetat dan poliamida dapat dilihat pada Tabel 2. 4 berikut.

Tabel 2.4 Perbandingan Sifat Material Membran Selulosa Asetat dan Poliamida

Kriteria	Selulosa Asetat (CA)	Aromatik Poliamida (PA)
Rejeksi Garam	Rendah	Tinggi
Fluks	Tinggi	Rendah
Umur Membran	Tidak Tahan Lama	Tahan Lama
Kestabilan Kimia dan Biologi	Tidak Tahan	Tahan
Biaya	Murah	Mahal

Sumber: Parekh, 1988

Tabel 2. 5 Material Membran dan Karakteristiknya

Material	Rentang pH (25 ⁰ C)	Temperatur Maks. (°C) pada pH 7	Daya Tahan terhadap Klorin	Daya Tahan terhadap Pelarut
Selulosa Asetat	2-9	50	Cukup	Kurang
Polisulfon	0-14	80(100)	Cukup	Cukup
Politersulfon	0-14	80(100)	Baik	Cukup/Baik
<i>Sulphonated</i>	2-12	60(80)	Cukup	Kurang

<i>Polisulfon</i>				
<i>Polivivildinedfluoride</i>	1-12	80(100)	Sangat Baik	Baik
<i>Poliamida</i>	2-12	60	Kurang	Baik
<i>Poliakrilonitril</i>	2-12	60	Baik	Cukup
<i>Polyamideimide</i>	2-9	50	Kurang	Baik
<i>Polyimide</i>	2-3	50	Kurang	Sangat Baik
<i>Fluorocopolymer</i>	0-13	80(100)	Sangat Baik	Cukup/Baik
<i>Regenerated Cellulose</i>	1-12	60	Cukup	Baik

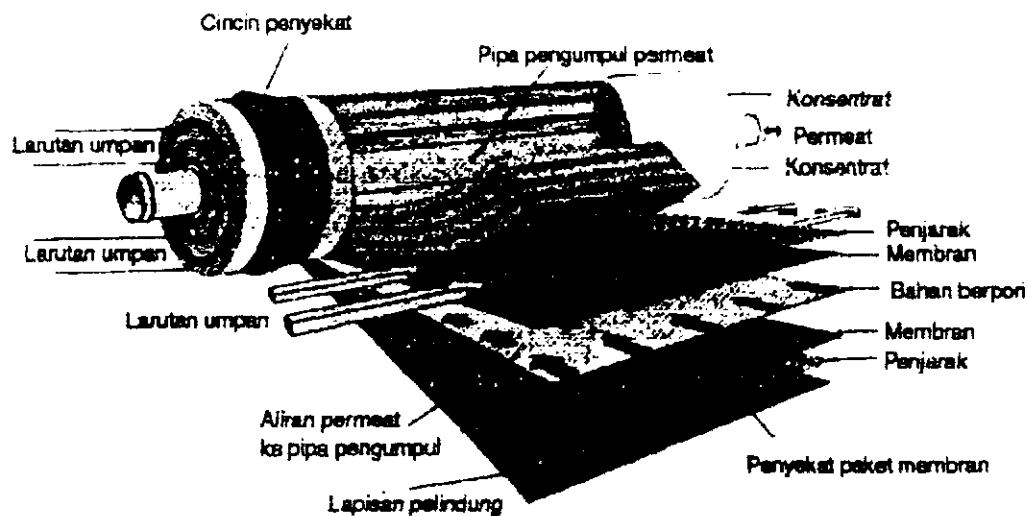
Sumber: Parekh, 1988

2. 6. 4 Modul Membran

Adapun jenis modul membran yang dipakai dalam sistem *reverse osmosis* yaitu modul lilit spiral dan modul serat berongga.

A. Modul Lilit Spiral (*Spiral Wound*)

Modul jenis ini terdiri dari dua lembar membran datar, penjarak umpan dan bahan berpori pengumpul permeat yang digulung membentuk silinder. Pada bagian tengah silinder terdapat pipa pengumpul permeat yang berfungsi untuk menampung aliran permeat dan mengalirkannya sebagai produk. Penjarak umpan merupakan suatu ayakan yang berfungsi untuk meningkatkan turbulensi aliran umpan pada permukaan membran. Dua lembar membran dan bahan berpori pengumpul permeat disatukan dengan lem, sedangkan penjarak umpan dibiarkan terbuka agar aliran umpan dapat masuk. Larutan umpan mengalir aksial sepanjang modul dalam celah yang terbentuk antara *spacer* dan membran. Skematik modul lilit spiral dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Desain Modul Membran Lilit Spiral (*Spiral Wound*)

(Andi Eka Dharma, 2006)

Modul membran lilit spiral (*spiral wound*) lebih banyak dipakai dalam industri. Desain modul lilit spiral ini lebih diminati karena mampu mengurangi terjadinya *fouling*. Keuntungan lain dari modul ini adalah instalasi yang kompak, biaya instalasi dan penggantian yang murah, mempunyai laju alir permukaan yang tinggi, mereduksi efek polarisasi, mempunyai permeat yang tinggi dan meningkatkan rejeksi garam [Mulder, 1996]. Kelemahan dari modul lilitan spiral adalah adanya resiko penyumbatan oleh partikel dikarenakan sempitnya jarak antara *spacer* dan adanya *dead space* antara ujung luar elemen spiral dengan bagian dalam *housing* silindris yang menimbulkan kesulitan dalam pembersihan sehingga mudah terkontaminasi oleh bakteri.

B. Modul Serat Berongga (*Hollow Fiber*)

Modul serat berongga merupakan bundel mampat ribuan serat halus yang diletakkan sejajar di sekitar inti distribusi air umpan. Untuk proses *reverse osmosis*, serat ditekan dari arah luar dan air produk mengalir melalui sisi dalam serat. Serat berongga dengan diameter yang sangat kecil mempunyai daya *self supporting* yang tinggi terhadap tekanan dari luar. Selanjutnya, penurunan

2. 6. 5 Membran dan Modul Membran dalam Aplikasi Industri

18

Tabel 2. 6 Pemakaian Membran *Reverse Osmosis*

Keterangan	Trend
Disain Membran • Serat Berongga • Lilit Spiral (<i>Spiral Wound</i>)	Menurun Meningkat
Tipe Membran • Selulosa Asetat • Komposit Poliamida	Stabil Meningkat

Sumber: Parekh, 1988