















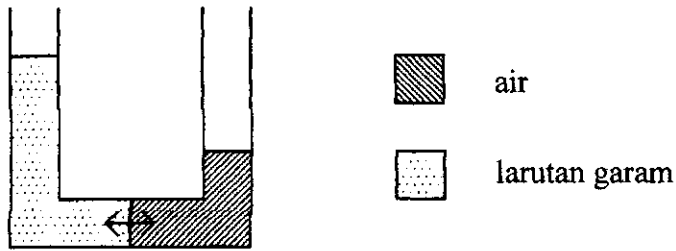






Ilustrasi:

larutan garam

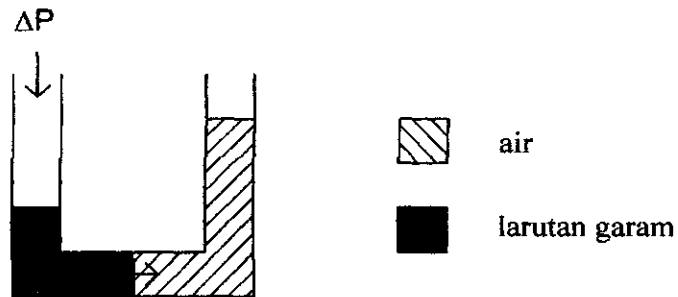


**Gambar 2. 2 Keseimbangan**

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 &amp; 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> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Meneliti pengaruh pH terhadap umur membran</li> <li>• Dehidrasi membran secara <i>impeirment</i> menggunakan gliserin dan surfaktan</li> </ul>
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	<i>Dow Chem., DuPont, Fluid System</i>	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 <sup>0</sup> 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

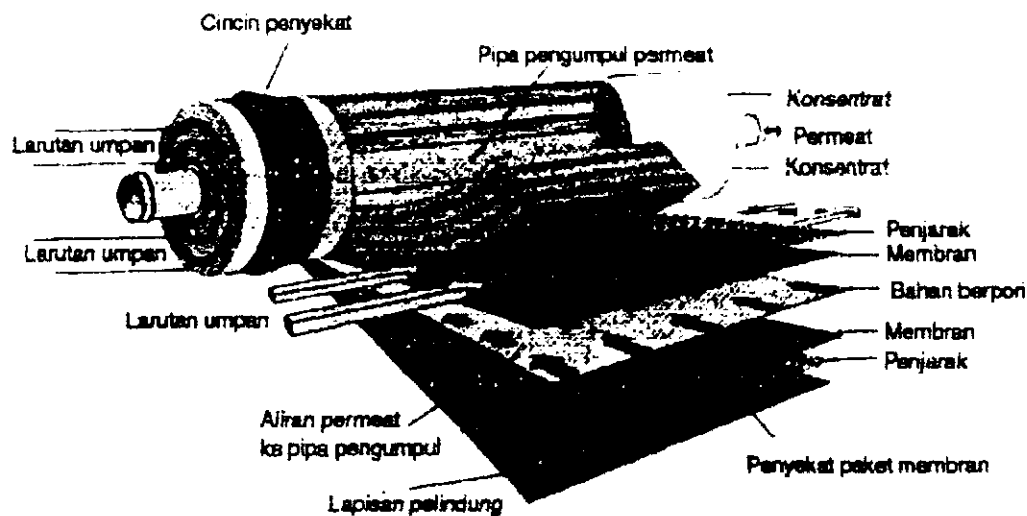
Sumber: Parekh, 1988

#### 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*)**

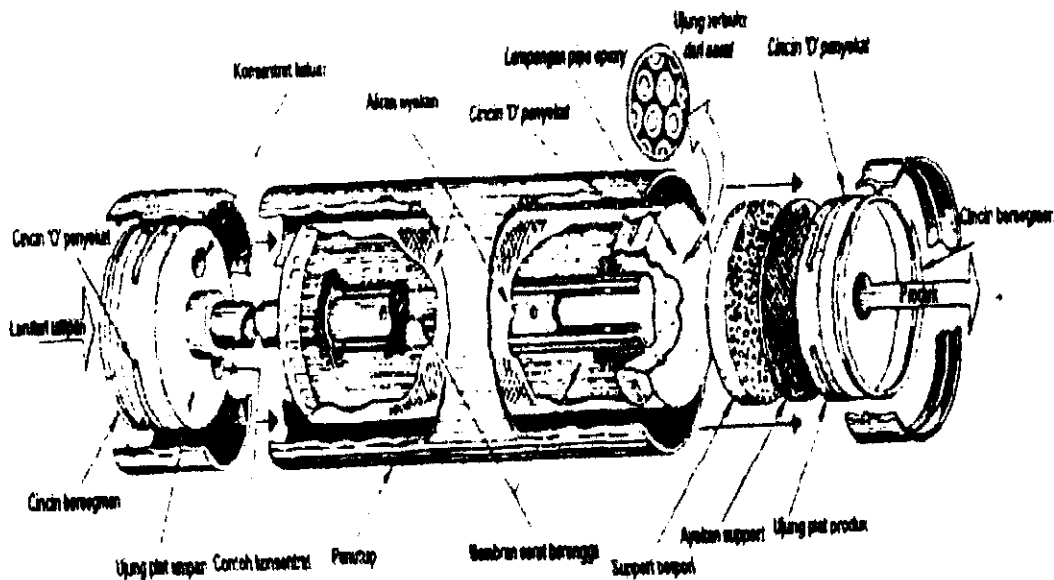
(Andi Eka Dharma, 2006)

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

tekanan di sepanjang rongga serat dapat berkurang karena aliran permeat



**Gambar 2. 5 Desain Modul Membran Serat Berongga (*HollowFiber*)**

(Andi Eka Dharma, 2006)

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

Di dalam praktek industri, membran poliamida dan modul lilit spiral (*spiral wound*) lebih banyak dipakai. Membran komposit poliamida lebih dipilih karena mempunyai rejeksi garam yang tinggi, stabilitas biologi dan kimia yang tinggi dan umur membran yang lama. Demikian juga halnya dengan disain modul lilit spiral. Disain 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, dapat mereduksi efek polarisasi, memberikan laju alir permeat yang tinggi dan mampu meningkatkan rejeksi garam [Parekh, 1988]. Berikut tabel perbandingan penggunaan membran dan modul membran pada skala industri.



**Tabel 2. 6 Pemakaian Membran *Reverse Osmosis***

<b>Keterangan</b>	<b>Trend</b>
Disain Membran <ul style="list-style-type: none"><li>• Serat Berongga</li><li>• Lilit Spiral (<i>Spiral Wound</i>)</li></ul>	Menurun Meningkat
Tipe Membran <ul style="list-style-type: none"><li>• Selulosa Asetat</li><li>• Komposit Poliamida</li></ul>	Stabil Meningkat

*Sumber: Parekh, 1988*