

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Air

Air adalah zat atau materi atau unsur yang penting bagi semua bentuk kehidupan yang diketahui sampai saat ini di bumi. Air dapat berubah wujud dapat berupa zat cair atau sebutannya “air”, dapat berupa benda padat yang disebut “es”, dan dapat pula berupa gas yang dikenal dengan nama “uap air”. Perubahan fisik bentuk air ini tergantung dari lokasi dan kondisi alam. Ketika dipanaskan sampai 100°C maka air berubah menjadi uap dan pada suhu tertentu uap air berubah kembali menjadi air. Pada suhu yang dingin di bawah 0°C air berubah menjadi benda padat yang disebut es atau salju.

Air dapat juga berupa air tawar (*fresh water*) dan dapat pula berupa air asin (air laut) yang merupakan bagian terbesar di bumi ini. Di dalam lingkungan alam proses, perubahan wujud, gerakan aliran air (di permukaan tanah, di dalam tanah, dan di udara) dan jenis air mengikuti suatu siklus keseimbangan dan dikenal dengan istilah siklus hidrologi (Kodoatie dan Sjarief, 2010).

Air tawar adalah air dengan kadar garam dibawah 0,5 ppt (Nanawi, 2001). Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengendalian Kualitas Air dan Pengendalian Kualitas Pencemaran, Bab I Ketentuan Umum pasal 1, menyatakan bahwa : “Air tawar adalah semua air yang terdapat di atas dan di bawah permukaan tanah, kecuali air laut dan air fosil.”, sedangkan menurut Undang-Undang RI No. 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air (Bab I, Pasal 1), butir 2 disebutkan bahwa “Air adalah semua air yang terdapat pada, di atas, ataupun di bawah permukaan tanah, termasuk dalam pengertian ini air permukaan, air tanah, air hujan, dan air laut yang berada di darat.”. Butir 3 menyebutkan “Air tanah adalah air yang terdapat dalam lapisan atau batuan di bawah permukaan tanah.”. Karakteristik kandungan dan sifat fisis air tawar sangat bergantung pada tempat sumber mata air itu berasal dan juga teknik pengolahan air tersebut.

Air payau atau *brackish water* adalah air yang mempunyai salinitas antara 0,5 ppt - 17 ppt. Air ini banyak dijumpai di daerah pertambakan, *estuary* yaitu pertemuan air laut dan air tawar serta sumur-sumur penduduk di pulau-pulau kecil atau pesisir yang telah terintrusi air laut. Sebagai perbandingan, air tawar mempunyai salinitas Ca, Mg, dan Na. Air payau yang mengandung Na melebihi batas, misalnya lebih besar dari 200 ppm, jika dikonsumsi dalam waktu yang lama dapat mengganggu kesehatan. Demikian pula jika air tersebut digunakan untuk menyiram tanaman misalnya sayuran, maka hasil panen yang diperoleh berkurang jika dibandingkan dengan hasil penyiraman air tawar. Jumlah penurunan hasil panen tergantung dari besaran salinitas air dan jenis tanaman. Untuk keperluan industri, adanya NaCl dan $MgCl_2$ dalam air yang melebihi batas akan menyebabkan korosi pada pipa-pipa dan peralatan proses.

Air laut adalah air yang berasal dari laut atau samudera yang memiliki kandungan garam – garaman sebanyak 3,5 %. Kandungan lain yang dapat ditemukan dalam air laut adalah kalsium, magnesium, sodium, sulfat dan potasium. Selain itu juga terdapat banyak kandungan gas-gas yang terlarut, bahan-bahan organik serta partikel tak larut. Air laut banyak menyimpan kadar garam-garaman yang dapat bermanfaat bagi kesehatan diantara kadar garam-garaman utama yang dijumpai pada asinnya air laut antara lain : Klorida 55 %, Natrium 31%, Magnesium 4%, Sulfat 8%, Potasium 1%, Kalsium 1%, dan kandungan lain yang nilainya kurang dari 1 persen yaitu asam borat, bromida, bikarbonat florida dan strontium.

Air dapat digolongkan menjadi beberapa jenis, yaitu :

1. Air Atmosfer

Air atmosfer adalah air yang dalam keadaan murni sangat bersih tetapi karena adanya pengotoran udara yang disebabkan oleh kotoran – kotoran industri / debu, maka secara kualitas belum memenuhi standar baku mutu air karena masih banyak mengandung zat-zat tersuspensi. Air atmosfer termasuk air lunak contohnya air hujan atau air salju.

2. Air Permukaan

Air permukaan yaitu air yang berada diatas permukaan tanah, contohnya

air gunung, mata air, dan sebagainya. Umumnya air permukaan ini mendapat pengotoran selama pengalirannya, misalnya oleh lumpur, daun – daun, limbah rumah tangga dan limbah industri. Pengotoran yang terjadi berbeda – beda tergantung pada daerah yang dilaluinya.

3. Air Tanah

Air tanah secara kualitas cukup baik karena secara alamiah telah tersaring baik secara fisik dan bakteriologis oleh lapisan – lapisan tanah. Tetapi air tanah ini masih banyak mengandung garam – garam mineral. Air tanah ini bisa didapatkan dengan mengebor tanah yang kedalamannya 15 – 50 meter. Ada juga hanya dengan menggali tanah 5 – 15 meter yang disebut dengan air sumur.

2.2 Kebutuhan Air

Air merupakan salah satu kebutuhan pokok makhluk hidup termasuk manusia. Dalam kehidupan sehari-hari keberadaan air sangatlah penting. Karena keberadaannya yang sangat penting, maka keberadaan dan penggunaannya perlu dijaga dengan baik. Irianto (2004) mengemukakan bahwa kebutuhan air yang dimasukan dalam tubuh tergantung dari jumlah air yang dikeluarkan tubuh. Air yang dimasukan dalam tubuh dapat berupa air minum, makanan, dan buah-buahan. Pengeluaran air dari tubuh sebagai bentuk sisa metabolisme atau karena penyakit tertentu. Penderita penyakit muntah berak (Cholera) akan mengeluarkan banyak cairan dari dalam tubuh. Kekurangan cairan dari dalam tubuh dapat menyebabkan dehidrasi yang dapat mengakibatkan kematian. Air di dalam tubuh memiliki fungsi antara lain yaitu :

- (a) Membantu proses pencernaan yang memungkinkan terjadinya reaksi biokimia dalam tubuh,
- (b) Menjaga kerja alat tubuh tidak terganggu,
- (c) Membuang zat sisa dari dalam tubuh serta menjaga suhu tubuh agar tetap normal.

Menurut dokter dan ahli kesehatan manusia wajib minum air putih delapan gelas per hari. Tumbuhan dan binatang juga mutlak membutuhkan air. Semua

organisme yang hidup tersusun dari sel-sel yang berisi air sedikitnya 60% dan aktivitas metabolisme mengamil tempat di larutan air (Enger dan Smith, 2009). Tanpa air keduanya akan mati. Sehingga dapat dikatakan air merupakan salah satu sumber kehidupan. Dengan kata lain air merupakan zat yang paling esensial dibutuhkan oleh makhluk hidup. Dapat disimpulkan bahwa untuk kepentingan manusia dan kepentingan komersial lainnya, ketersediaan air dari segi kualitas maupun kuantitas mutlak diperlukan.

Di Amerika Serikat ditentukan 600 liter per kapita per hari (Linsley dan Franzini, 1985). Di Indonesia diperlukan air berkisar 100 – 150 liter/orang /hari. Kebutuhan air minimal untuk daerah pedesaan menurut standar WHO adalah sebesar 60 liter/orang/hari (Sanropie, 1984). Menurut Irianto (2004) setiap hari selama 24 jam manusia membutuhkan asupan air sekitar 2,5 liter.

Standar kelayakan kebutuhan air bersih adalah 49,5 liter/kapita/hari. Badan dunia UNESCO sendiri pada tahun 2002 telah menetapkan hak dasar manusia atas air yaitu sebesar 60 ltr/org/hari. Direktorat Jenderal Cipta Karya Departemen Pekerjaan Umum membagi lagi standar kebutuhan air minum tersebut berdasarkan lokasi wilayah.

- a. Pedesaan dengan kebutuhan 60 liter/per kapita/hari.
- b. Kota Kecil dengan kebutuhan 90 liter/per kapita/hari.
- c. Kota Sedang dengan kebutuhan 110 liter/per kapita/hari.
- d. Kota Besar dengan kebutuhan 130 liter/per kapita/hari.
- e. Kota Metropolitan dengan kebutuhan 150 liter/per kapita/hari.

Dalam menentukan kualitas air harus berpedoman pada baku mutu air. Menurut **PERMENKES No. 416/MENKES/PER/IX/1990** disebutkan bahwa baku mutu air adalah kadar zat atau bahan pencemar yang terdapat dalam air untuk tetap berfungsi sesuai dengan golongan peruntukan air tersebut. Berdasarkan peruntukan tersebut, air dibagi menjadi lima golongan yaitu: (Anindya, 2011)

1. Golongan A, air pada sumber air yang dapat digunakan sebagai air minum secara langsung tanpa pengolahan terlebih dahulu.

2. Golongan B, yaitu air yang dapat digunakan sebagai baku untuk diolah menjadi air minum dan keperluan rumah tangga lainnya.
3. Golongan C, yaitu air yang dapat dipergunakan untuk keperluan perikanan dan peternakan.
4. Golongan D, yaitu air yang dapat dipergunakan untuk kepentingan pertanian dan dapat dimanfaatkan untuk usaha diperkotaan, industri, dan listrik tenaga air.
5. Golongan E, yaitu air yang tidak dapat digunakan untuk keperluan tersebut pada peruntukan air golongan A, B, C, dan D.

2.3 Standar Kualitas Air Bersih

Standar kualitas air adalah ketentuan-ketentuan yang biasa dituangkan dalam bentuk pernyataan atau angka yang menunjukkan persyaratan yang harus dipenuhi agar air tersebut tidak menimbulkan gangguan kesehatan, penyakit, gangguan teknis dan gangguan dalam segi estetika (Sanropie, 1984). Secara kimia standar kualitas air bersih dibagi ke dalam lima bagian, yaitu :

- (a) Di dalam air minum tidak boleh terdapat zat-zat yang beracun,
- (b) Tidak ada zat yang menimbulkan gangguan kesehatan,
- (c) Tidak mengandung zat-zat kimia yang melebihi batas tertentu sehingga bisa menimbulkan gangguan teknis,
- (d) Tidak boleh mengandung zat-zat kimia yang melebihi batas tertentu sehingga bisa menimbulkan gangguan ekonomi.

Standar air bersih menurut Departemen Kesehatan (DEPKES) dan SNI berdasarkan UU Kesehatan Republik Indonesia No. 173/Men.Kes/Per/VII/1997 ialah :

1. Syarat fisik, antara lain :
 - a. Air harus bersih dan tidak keruh
 - b. Tidak berwarna apapun
 - c. Tidak berasa apapun
 - d. Tidak berbau apaun
 - e. Suhu antara 10-25⁰C (sejuk)

- f. Tidak meninggalkan endapan.
- 2. Syarat kimiawi, antara lain :
 - a. Tidak mengandung bahan kimiawi yang mengandung racun
 - b. Tidak mengandung zat-zat kimiawi yang berlebihan
 - c. Cukup yodium
- 3. Syarat mikrobiologi, antara lain :
 - Tidak mengandung kuman-kuman penyakit seperti disentri, tipus, kolera, dan bakteri patogen penyebab penyakit.

2.4 Karakteristik Air Payau

Air payau adalah larutan yang mengandung beberapa jenis zat terlarut, seperti garam-garam, yang jumlahnya rata-rata 3 sampai 4,5 % (Said, 2008). Air payau adalah campuran antara air tawar dan air laut (air asin). Jika kadar garam yang dikandung dalam satu liter air adalah antara 0,5 sampai 30 gram, maka air ini disebut air payau. Namun jika konsentasi garam melebihi 30 gram dalam satu liter air disebut air asin (Darmawansa, 2009). Air payau adalah campuran antara air tawar dan air laut (air asin). Air payau merupakan air yang terbentuk dari pertemuan antara air sungai dan air laut serta mempunyai ciri khusus secara fisik, kimia dan biologis. Dari ciri-ciri fisik air payau berwarna coklat kehitaman, dari segi kimia terutama sudah mengandung kadar garam dibanding air tawar, dari ciri biologis (Putra, 2013).

Air payau mempunyai ciri-ciri antara lain berwarna kuning, derajat keasaman (pH) 7-9, salinitas 0,5-30 ppm, kesadahan lebih dari 500 mg/l, zat padat terlarut (TDS) 1500 – 6000 ppm, kandungan logam Fe 2 – 5 ppm dan kandungan Mn 2 – 3 ppm. Air payau memiliki kadar air 95,5 %-96,5 % dimana sisanya 3,3 %-4,5 % terdiri dari berbagai macam mineral yang melarut (Mudiat, 1996).

2.5 Membran

Membran didefinisikan sebagai suatu media berpori berbentuk seperti tabung atau film tipis, bersifat semipermeable yang berfungsi untuk memisahkan material berdasarkan ukuran dan bentuk molekul, menahan

komponen dari umpan yang mempunyai ukuran lebih besar dari pori-pori membran dan melewatkan komponen yang memiliki ukuran yang lebih kecil. Larutan yang mengandung komponen tertahan disebut *konsentrat* dan larutan yang mengalir disebut *Permeat*. Filtrasi menggunakan membran selain berfungsi sebagai sarana pemisahan juga berfungsi sebagai sarana pemekatan dan pemurnian dari suatu larutan yang dilewatkan (Mulder, 1996).

Transportasi pada membran terjadi karena adanya *driving force* yang dapat berupa konveksi atau difusi dari masing – masing molekul, adanya tarik menarik antar muatan komponen atau konsentrasi larutan, dan perbedaan suhu atau tekanan (Pabby et al, 2009). Proses pemisahan dengan membran yang memakai gaya dorong berupa beda tekan umumnya dikelompokkan menjadi empat jenis, diantaranya : *Mikrofiltrasi*, *Ultrafiltrasi*, *Nanofiltrasi* dan *Reverse Osmosis*.

2.5.1 Proses Pemisahan dengan Membran

Proses ini dapat tercapai karena membran mempunyai kemampuan untuk memindahkan atau memisahkan suatu komponen dari suatu campuran umpan dengan lebih mudah dari komponen lain. Hal ini disebabkan perbedaan sifat fisika dan kimia antara membran dengan komponen yang dapat dilewatkan.

Pemisahan dengan membran dilakukan dengan mengalirkan *feed* ke dalam membran kemudian akan terpisah sesuai *driving force* yang digunakan. Pemisahan ini terjadi karena adanya gaya dorong berupa beda gaya gerak listrik, temperatur, konsentrasi dan tekanan. Pemisahan dengan membran menghasilkan dua aliran yaitu permeat dan retentat. Permeat merupakan hasil pemisahan yang diinginkan sedangkan retentat merupakan hasil sisa. (Pabby et al, 2009).

2.5.2 Klasifikasi Membran

Berdasarkan fungsinya membran dikelompokkan menjadi :

1. Mikrofiltrasi

Mikrofiltrasi merupakan pemisahan partikel berukuran *micron* atau *submicron*. Bentuknya lazim berupa cartridge, gunanya untuk

menghilangkan partikel dari air yang berukuran 0,04 sampai 100 mikron. Asalkan kandungan padatan total terlarut tidak melebihi 100 ppm. *Filtrasi cartridge* merupakan filtrasi mutlak, artinya partikel padat akan tertahan.

Spesifikasi Membran Mikrofiltrasi :

- Membran yang digunakan : *asimetric porous membrane*
- Ketebalan : 10-150 μm
- Ukuran pori : 0,05 – 10 μm
- Driving force : tekanan (<2 Bar)
- Prinsip pemisahan : mekanisme *Sieving*
- Bahan membrane : *polymeric, ceramic*

Aplikasi dalam industri :

- Sterilisasi dingin dari minuman dan bahan – bahan farmasi
- Penjernihan jus buah, wine, dan beer
- Pengolahan limbah
- Fermentasi kontinyu
- Pemisahan emulsi minyak dan air

2. Ultrafiltrasi

Membran ultrafiltrasi dibuat dengan mencetak polimer selulosa acetate (CA) sebagai lembaran tipis. Membran ultrafiltrasi adalah teknik proses pemisahan menggunakan membran untuk menghilangkan berbagai zat terlarut BM (berat molekul) tinggi, aneka koloid, mikroba sampai padatan tersuspensi dari air larutan. Membran semipermeabel dipakai untuk memisahkan makromolekul dari larutan. Ukuran dan bentuk molekul terlarut merupakan faktor penting.

Fluks maksimum bila membrannya anisotropic, ada kulit tipis rapat dan pengemban berpori. Membran selulosa acetate (CA) mempunyai sifat pemisahan yang bagus namun sayangnya dapat dirusak oleh bakteri dan zat kimia, rentan pH. Adapula membran dari polimer polisulfon, akrilik, juga polikarbonat, PVC, poliamida, piliviniliden fluoride, kopolimer AN-VC, poliasetal, poliakrilat, kompleks polielektrolit, PVA ikat silang. Juga dapat

dibuat membrane dari keramik, aluminium oksida, zirconium oksida, dan lainnya.

Spesifikasi Membran Ultrafiltrasi :

- Membran yang digunakan : asimetrik porous membrane
- Ketebalan : 150 μm
- Ukuran pori : 1 - 100 μm
- Driving force : tekanan (1 – 10 bar)
- Prinsip pemisahan : mekanisme Sieving
- Bahan membrane : *polymeric* (Misal: polysulfoone, polyacrilonitrile),
ceramic (Misal: zirconium oxide, oxide).

Aplikasi dalam Industri :

- Industri produk susu sapi (susu, keju, whey)
- Industri makanan (potato starch, protein)
- Metalurgi (emulsi air dan minyak, electropaint recovery)
- Tekstil (zat warna indigo)
- Industri farmasi (enzim, antibiotic, pyrogen)
- Pengolahan limbah

3. Nanofiltrasi

Proses nanofiltrasi merejeksi kesadahan, menghilangkan bakteri dan virus, menghilangkan warna karena zat organik tanpa menghasilkan zat kimia berbahaya seperti hidrokarbon terklorinasi. Nanofiltrasi cocok bagi air padatan total terlarut rendah, dilunakkan dan dihilangkan organiknya.

Sifat rejeksinya khas terhadap tipe ion-ion dwivalen lebih cepat dihilangkan daripada yang ekavalen, sesuai saat membrane itu diproses, formulasi bak pembuat, suhu, waktu annealing, dan lain-lain. Formulasi dasarnya mirip osmosis balik tetapi mekanisme operasionalnya mirip ultrafiltrasi. Jadi nanofiltrasi itu gabungan antara osmosis balik dan ultrafiltrasi.

Spesifikasi Membran Nanofiltrasi :

- Membran yang digunakan : komposit membrane

- Ketebalan : sublayer = 150 μm , toplayer = 1 μm
- Ukuran pori : < 2 μm
- Driving force : tekanan (10 – 25 bar)
- Prinsip pemisahan : solution-diffusion
- Bahan membrane : polyamide (polimerisasi interfasia)

Aplikasi dalam industri :

- Desalinasi air payau
- Penghilangan mikropolutan
- Pelunakan air
- Pengolahan air limbah
- Retensi dari zat warna (industri tekstil)

4. Osmosis Balik (RO)

Membran RO dibuat dari berbagai bahan seperti *selulosa asetat (CA)*, *poliamida (PA)*, *poliamida aromatic*, *polieteramida*, *polieteramina*, *polieterurea*, *polifelilene oksida*, *polifenilen bibenzimidazol*, dan lainnya. Membran komposit film tipis terbuat dari berbagai bahan polimer untuk substratnya ditambah polimer lapisan fungsional di atasnya. Membran mengalami perubahan karena terjadi *fouling* (tersumbat). Makin besar tekanan dan suhu, biasanya membran makin mampat. Normalnya, membran bekerja pada suhu 21 – 35 $^{\circ}\text{C}$. *Fouling* membran itu diakibatkan oleh zat-zat dalam air baku misalnya kerak, pengendapan koloid, oksida logam, organik dan *silica*.

Spesifikasi Membran Reverse Osmosis :

- Membran yang digunakan : asimetrik atau komposit membrane
- Ketebalan : *sublayer* : 150 μm , toplayer : 1 μm
- Temperature : 40 $^{\circ}\text{C}$
- Ukuran pori : < 2 μm
- Driving force : tekanan, air payau : 15 – 25 bar, air laut : 40 – 80 bar
- Prinsip pemisahan : solution-diffusion
- Bahan membrane : selulosa triasetat, aromatic polyamide, polyamide,

dan polyetherurea (polimerisasi interfisial).

Aplikasi dalam industri :

- Desalinasi air payau dan air laut
- Pemekatan jus, gula, dan susu
- Produksi *ultrapure water* (industri elektronik)

Tabel 1. Perbandingan Klasifikasi Membran Berdasarkan Fungsinya

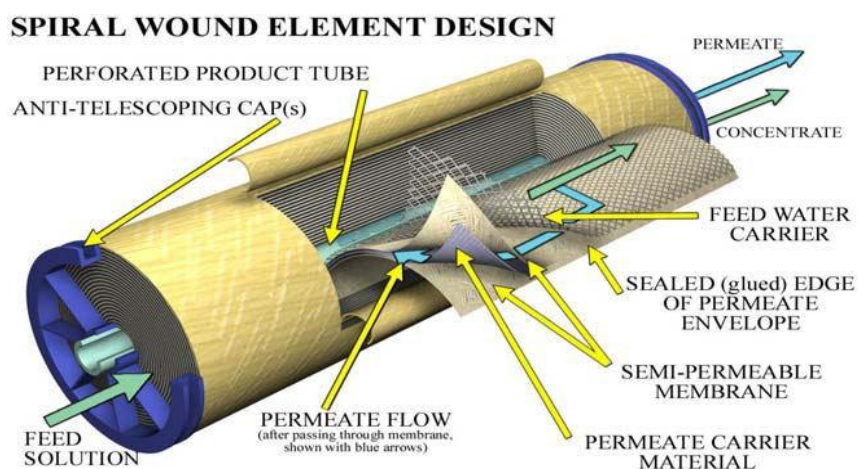
Mikrofiltrasi	Ultrafiltrasi	Nanofiltrasi	Reverse Osmosis
Ketebalan : 10 – 150 μm	Ketebalan : 150 μm	Ketebalan : 150 μm (sublayer), 1 μm (toplayer)	Ketebalan : 150 μm (sublayer), 1 μm (toplayer)
Ukuran pori : 0,05 – 10 μm	Ukuran pori : 1 – 100 μm	Ukuran pori : <2 μm	Ukuran pori : <2 μm
<i>Driving force</i> : <2 bar	<i>Driving force</i> : 1 - 10 bar	<i>Driving force</i> : 10 - 25 bar	<i>Driving force</i> : 15 – 25 bar (air payau), 40 – 80 bar (air laut)
Prinsip : mekanisme sieving	Prinsip : mekanisme sieving	Prinsip : Solution - diffusion	Prinsip : Solution - diffusion
Fungsi : menghilangkan partikel dari air yang berukuran 0,04 – 100 mikron	Fungsi : memisahkan zat terlarut BM tinggi, aneka koloid, mikroba sampai padatan tersuspensi di dalam larutan	Fungsi : merejeksi kesadahan, menghilangkan bakteri dan virus, menghilangkan warna karena zat organik tanpa menghasilkan zat kimia berbahaya	Fungsi : merejeksi kadar garam, menghilangkan partikel dari air sampai ukuran terkecil, menghilangkan bakteri dan virus.
Aplikasi industri : pemisahan emulsi minyak dan air, pnjernihan jus buah, dll.	Aplikasi industri : industri produk susu sapi, makanan, metalurgi, tekstil, farmasi, dll.	Aplikasi industri : desalinasi air payau, pelunakan air, penghilangan polutan, retensi zat warna, dll.	Aplikasi industri : desalinasi air payau dan air laut, pemekatan jus, gula dan susu, produksi <i>ultrapure water</i> .

Sumber : Hartomo. A.J, 2006

2.5.3 Sejarah Membran Reverse Osmosis

Pada 1784, seorang ahli fisika dari Prancis bernama *Jean Antoine Nollet* menemukan suatu kejadian yang saat ini dikenal sebagai Osmosis, yaitu sebuah kejadian dimana air mengalir melewati membran semi permeable. Air tersebut mengalir dari keadaan air yang encer (*solute water*) menuju kepada keadaan air yang pekat sampai keseimbangannya atau disebut juga equilibriumnya, tercapai.

Dua ratus tahun kemudian, sekitar tahun 1950-an, para ilmuwan memodifikasi kejadian tersebut untuk menciptakan sistem *Reverse Osmosis* yang pertama kalinya. Hal ini dilakukan dengan dasar pemikiran, air yang pekat tersebut diberi tekanan tertentu (dapat berbentuk tekanan ataupun mesin *vaccum*) agar berkontak dengan membran semipermeable yang ada, sehingga air dapat menembus dinding semi permeable tersebut. Kandungan yang menyebabkan kepekatan air tersebut dapat tertahan di dinding, sehingga menghasilkan air bersih yang telah tersaring atau dengan kata lain, air bisa dilewatkan menembus membran yang sangat tipis sekalipun, dengan cara diberi tekanan, dan dapat menyaring partikel kecil seperti kadar garam. Permeabilitas merupakan ukuran kecepatan dari suatu spesi atau konstituen menembus membran. Membran memiliki bagiannya masing – masing yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Sumber : Soedjono, 2012

Gambar 1. Bagian – bagian Membran

Modul *Spiral Wound* merupakan modul membran yang terdiri dari susunan dua atau lebih lembar membran *flat* yang ditumpuk bersamaan dan masing – masing dilapisi pada bagian tepinya kemudian dililitkan pada sebuah pipa bersama – sama dengan *spacer* pada bagian sisi umpan membran yang memisahkan lapisan atas dua membran *flat* dan berfungsi untuk membangkitkan turbulensi aliran. Pipa pada bagian tengah berfungsi sebagai penampung aliran permeat dan mengalirkannya sebagai produk. Cara kerja modul *spiral wound* yaitu umpan bertekanan dimasukkan melalui sisi membran dan kemudian permeat dikumpulkan melalui sisi lainnya. Permeat mengalir ke dalam poket membran yang tertutup dan dikumpulkan dalam pipa pengumpul (Wenten, 1999).

2.6 Karakteristik Membran Reverse Osmosis

Reverse osmosis adalah suatu proses pembalikan dari proses osmosis. Osmosis adalah proses perpindahan larutan dari larutan dengan konsentrasi zat terlarut rendah menuju larutan dengan konsentrasi zat terlarut lebih tinggi sampai terjadi kesetimbangan konsentrasi. Osmosis merupakan suatu fenomena alami, tetapi aliran larutan dapat diperlambat, dihentikan, dan bahkan dapat dibalikkan (hal ini dikenal dengan istilah “Reverse Osmosis”). Reverse osmosis dilakukan dengan cara memberikan tekanan pada bagian larutan dengan konsentrasi tinggi menjadi melebihi tekanan pada bagian larutan dengan konsentrasi rendah. Sehingga larutan akan mengalir dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah. Proses perpindahan larutan terjadi melalui sebuah membran yang semipermeabel dan tekanan yang diberikan adalah tekanan hidrostatik (Sumber : Shun Dar Lin, 2001).

2.7 Pengolahan Reverse Osmosis

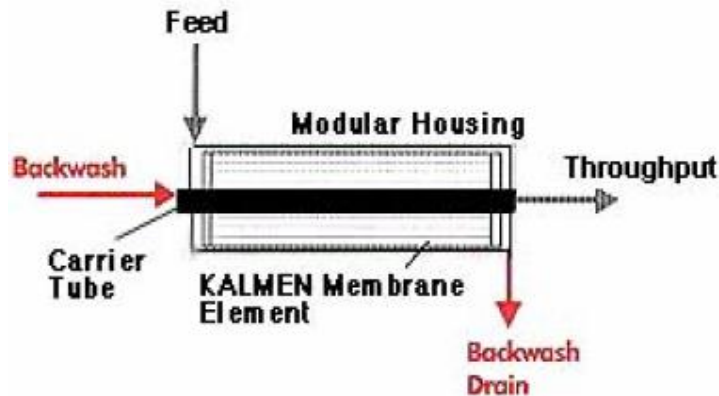
Pada sistem desalinasi dengan menggunakan membrane RO, air pada larutan garam dipisahkan dari garam terlarutnya dengan mengalirkannya melalui membran water-permeable. Permeate dapat mengalir melalui membran akibat adanya perbedaan tekanan yang diciptakan antara umpan bertekanan dan produk,

yang memiliki tekanan dekat dengan tekanan atmosfer. Sisa umpan selanjutnya akan terus mengalir melalui sisi reaktor bertekanan sebagai brine. Proses ini tidak melalui tahap pemanasan ataupun perubahan fasa.

Reverse osmosis (Osmosis terbalik) adalah sebuah istilah teknologi yang berasal dari osmosis. Osmosis adalah sebuah fenomena alam dalam sel hidup di mana molekul *solvent* (biasanya air) akan mengalir dari daerah berkonsentrasi rendah ke daerah berkonsentrasi tinggi melalui sebuah membran semi permeabel. Membran semi permeabel ini menunjuk ke membran sel atau membran apa pun yang memiliki struktur yang mirip atau bagian dari membran sel. Gerakan dari *solvent* berlanjut sampai sebuah konsentrasi yang seimbang tercapai di kedua sisi membran.

Reverse osmosis adalah sebuah proses pemaksaan sebuah *solvent* dari sebuah daerah konsentrasi *solute* tinggi melalui sebuah membran ke sebuah daerah *solute* rendah dengan menggunakan sebuah tekanan melebihi tekanan osmotik. Dalam istilah lebih mudah, *reverse osmosis* adalah mendorong sebuah *solute* melalui filter yang menangkap *solute* dari satu sisi dan membiarkan pendapatan *solvent* murni dari sisi satunya.

Reverse osmosis merupakan suatu metode pembersihan melalui membran semi permeable. Pada proses membran, pemisahan air dari pengotornya didasarkan pada proses penyaringan dengan skala molekul, dimana suatu tekanan tinggi diberikan melampaui tarikan osmosis sehingga akan memaksa air melalui proses osmosis terbalik dari bagian yang memiliki kepekatan tinggi ke bagian yang mempunyai kepekatan rendah. Selama proses tersebut terjadi, kotoran dan bahan yang berbahaya akan dibuang sebagai air tercemar (limbah). Molekul air dan bahan mikro yang berukuran lebih kecil dari *Reverse Osmosis* akan tersaring melalui membran. Di dalam membran *Reverse Osmosis* tersebut terjadi proses penyaringan dengan ukuran molekul, yakni partikel yang molekulnya lebih besar daripada molekul air misalnya molekul garam, besi dan lainnya, akan terpisah dan dalam membran osmosis balik harus mempunyai persyaratan tertentu, misalnya kekeruhan harus nol, kadar besi harus $<0,1>$. Skema dalam proses desalinasi dengan menggunakan metode *Reverse Osmosis* dapat dilihat pada gambar 2.



Sumber : Putra, 2013

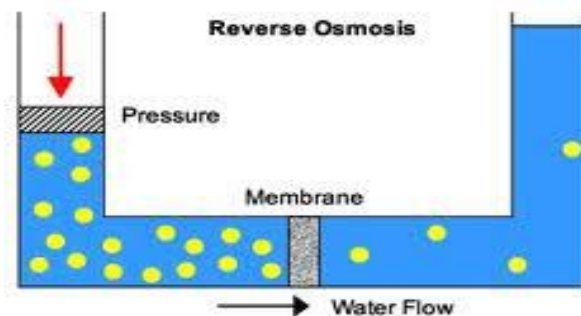
Gambar 2. Skema dalam Proses Desalinasi dengan Metode *Reverse Osmosis*

2.8 Prinsip Kerja Reverse Osmosis

Terdapat dua jenis larutan yang berbeda diletakkan secara berdampingan dan diantara kedua jenis larutan itu diletakkan membran semipermeable sebagai pembatas. Pada wadah sebelah kiri disebut *concentrated solution*, yaitu larutan dengan kadar garam tinggi. Sedangkan pada wadah sebelah kanan disebut *dilute solution*, yaitu larutan dengan kadar garam rendah. Fungsi membran semipermeable diletakkan ditengah kedua larutan tersebut untuk mencegah terjadinya pencampuran diantara kedua larutan tersebut. Membran semipermeable adalah membran yang bisa dilewati oleh molekul air tetapi tidak bisa dilewati molekul garam. Proses osmosis adalah proses mengalirnya molekul air dari larutan berkadar garam rendah (*dilute solution*) menuju ke larutan berkadar garam tinggi (*concentrated solution*).

Proses osmosis merupakan proses alamiah yang terjadi sebagai upaya untuk menyeimbangkan konsentrasi garam pada kedua sisi. Proses osmosis ini akan menyebabkan ketinggian permukaan air pada *concentrated solution* akan menjadi lebih tinggi daripada permukaan pada *dilute solution*. Secara alamiah air akan memberikan tekanan dari permukaan air yang lebih tinggi (*concentrated solution*) menuju ke permukaan air yang lebih rendah (*dilute solution*). Tekanan yang terjadi inilah biasa kita disebut sebagai *osmotic pressure*. Pada ketinggian air tertentu di *concentrated solution*), besarnya *osmotic pressure* ini akan menyebabkan proses osmosis berhenti.

Proses *reverse osmosis* pada prinsipnya adalah kebalikan proses osmosis. Dengan memberikan tekanan larutan dengan kadar garam tinggi (*concentrated solution*) supaya terjadi aliran molekul air yang menuju larutan dengan kadar garam rendah (*dilute solution*). Pada proses ini molekul garam tidak dapat menembus membran semipermeable, sehingga yang terjadi hanyalah aliran molekul air saja. Melalui proses ini, kita akan mendapatkan air murni yang dihasilkan dari larutan berkadar garam tinggi. Inilah prinsip dasar *reverse osmosis*. Berdasarkan penjelasan sederhana diatas, dalam proses *reverse osmosis* minimal selalu membutuhkan dua komponen yaitu adanya tekanan tinggi (*high pressure*) dan membran semi permeable. Itulah alasan kenapa pada mesin *reverse osmosis* modern, membran semi permeable dan pompa tekanan tinggi (*high pressure pump*) menjadi komponen utama yang harus ada.



Sumber : Dhany, 2015

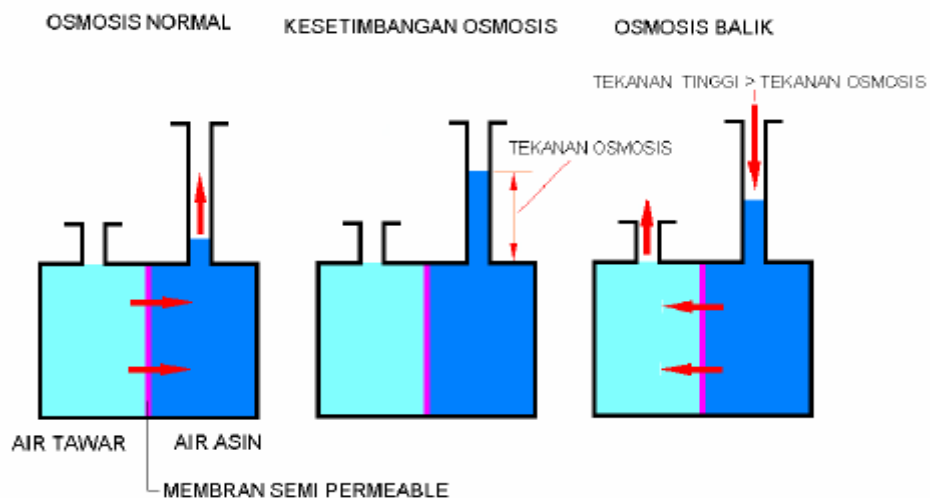
Gambar 3. Proses Reverse Osmosis

Proses dari teknologi *Reverse Osmosis* menggunakan membran semi-permeable yang diameternya lebih kecil dari 0.0001 mikron (500,000 kali lebih kecil dibandingkan dengan sehelai rambut atau sama dengan penyaring mikron, berfungsi membuang berbagai kotoran, bahan mikro, bakteri, virus dan sebagainya) dan diberikan tekanan tinggi agar proses penyaringan dapat berjalan. Proses ini dapat menghilangkan partikel garam dan partikel-partikel pencemar lainnya dimana ukuran dari partikel-partikel tersebut lebih besar dari membran *Reverse Osmosis*. Karena itu, *Reverse Osmosis* disebut sebagai metode pemurnian air yang paling efektif.

Di dalam proses desalinasi air payau dengan sistem osmosis balik (RO), tidak memungkinkan untuk memisahkan seluruh garam dari air payau tersebut, karena

akan membutuhkan tekanan yang sangat tinggi sekali. Oleh karena itu pada kenyataannya, untuk menghasilkan air tawar maka air asin atau air payau dipompa dengan tekanan tinggi ke dalam satu modul membrane osmosis balik yang mempunyai dua buah outlet yakni outlet untuk air tawar yang dihasilkan dan outlet untuk air garam yang telah dipekatkan (*reject water*).

Di dalam membran RO tersebut terjadi proses penyaringan dengan ukuran molekul, yakni partikel yang molekulnya lebih besar daripada molekul air, misalnya molekul garam dan lainnya, akan terpisah dan akan terikut ke dalam air buangan (*brine/reject water*). Oleh karena itu air yang akan masuk ke dalam membran RO harus mempunyai persyaratan tertentu misalnya kekeruhan harus nol, kadar besi harus $< 0,1 \text{ mg/L}$, pH harus dikontrol agar tidak terjadi pengendapan kalsium dan lainnya (Said, 2008). Membran RO bertindak sebagai “*barrier*” yang bersifat semi permeabel yang dengan mudah melewati komponen secara selektif (pelarut, biasanya air) dan menghalangi zat terlarut secara parsial maupun keseluruhan. Air akan berpindah dari sisi umpan ke sisi permeat dengan proses difusi dengan tekanan sebagai *driving force* atau gaya dorong yang dibutuhkan agar membran dapat bekerja.



Sumber : Said, 2008

Gambar 4. Prinsip Dasar Membran *Reverse Osmosis*

Air baku (air payau) dipompa ke bak koagulasi-flokulasi untuk mengendapkan zat padat tersuspensi, selanjutnya di alirkan ke *repairsand filter*, selanjutnya ditampung di dalam bak penampung. Dari bak penampung air laut

dipompa ke *pressure filter* sambil diinjeksi dengan larutan kalium permanganat agar zat besi atau mangan yang larut dalam air baku dapat dioksidasi menjadi bentuk senyawa oksida besi atau mangan yang tak larut dalam air. Selain itu diinjeksikan larutan anti *scalant*, anti *biofouling* yang dapat berfungsi untuk mencegah pengkerakan serta membunuh mikroorganisme yang dapat menyebabkan *biofouling* di dalam membran RO. Dari *pressure filter*, air dialirkan ke saringan filter multi media agar senyawa besi atau mangan yang telah teroksidasi dan juga padatan tersuspensi (SS) yang berupa partikel halus, plankton dan lainnya dapat disaring.

Dengan adanya filter multi media ini, zat besi atau mangan yang belum teroksidasi dapat dihilangkan sampai konsentarsi $<0,1$ mg/l. Zat besi dan mangan ini harus dihilangkan terlebih dahulu karena zat-zat tersebut dapat menimbulkan kerak (*scale*) di dalam membran RO. Dari filter multimedia, air dialirkan ke filter penghilangan warna. Filter ini mempunyai fungsi untuk menghilangkan warna senyawa warna dalam air baku yang dapat mempercepat penyumbatan membran RO. Setelah melalui filter penghilangan warna, air dialirkan ke *filter cartridge* yang dapat menyaring partikel dengan ukuran $0,5\ \mu\text{m}$.

Setelah melalui *filter cartridge*, air dialirkan ke unit RO dengan menggunakan pompa tekanan tinggi sambil diinjeksi dengan zat anti kerak dan zat *anti biofouling*. Air yang keluar dari modul membran RO ada dua yakni air tawar dan air buangan garam yang telah dipekatkan (*reject water*). Selanjutnya air tawarnya dipompa ke tangki penampung sambil dibubuhi dengan khlorine dengan konsentrasi tertentu agar tidak terkontaminasi kembali oleh mikroba, sedangkan air garamnya dibuang lagi ke laut.

Di dalam membran RO terjadi proses penyaringan dengan ukuran molekul, yakni molekul yang lebih besar daripada molekul air, misalnya molekul garam, akan terpisah dan terikut ke dalam air buangan (*reject water*). Oleh karena itu air yang akan masuk ke dalam membran RO harus mempunyai persyaratan tertentu misalnya kekeruhan harus nol, kadar besi harus $< 0,1$ mg/l, pH harus dikontrol agar tidak terjadi pergerakan calcium dan lainnya.

Dalam proses filtrasi dengan menggunakan membran reverse osmosis, terdapat beberapa faktor-faktor yang saling berkaitan sehingga akan mempengaruhi pula kualitas air hasil filtrasi. Faktor-faktor tersebut adalah sebagai berikut :

1. Tekanan, Menurut Heitmann (1990), tekanan mempengaruhi laju alir bahan pelarut yang melalui membran itu. Laju alir meningkat dengan terus meningkatnya tekanan, dan mutu air olahan (permeate) juga semakin meningkat. Tekanan memegang peranan penting bagi laju permeate yang terjadi pada proses membran. Semakin tinggi tekanan suatu membran, maka semakin besar pula fluks yang dihasilkan permeate.
2. Temperatur/suhu, Standar temperatur yang digunakan dari 70 °F (21 °C), tetapi umumnya yang digunakan mulai dari 85 °F (29 °C).
3. Kepadatan/kerapatan membran, Semakin rapat membran, maka akan semakin baik air olahan yang dihasilkan.
4. *Flux* (fluks), Gerakan air yang terus menerus. Untuk menentukan fluks dapat diperoleh dengan menghitung laju alir permeate per satuan luas membran.
5. *Recovery Factor*, Semakin tinggi faktor perolehan maka semakin baik konsentrasi garam pada proses pengolahan air payau yang didapat. Umumnya factor recovery mempunyai batasan 75 – 95 %.
6. *Salt Rejection* (rejeksi garam-garaman), Garam rejeksi tergantung dari tipe dan karakteristik pemilihan membran. Namun juga sangat tergantung pada kondisi operasi, konsentrasi larutan umpan dan debit aliran. Nilai rejeksi merupakan angka mutlak. Umumnya nilai rejeksi dari 85 – 99,5% dengan 95% yang lebih sering digunakan.
7. Ketahanan Membran, Membran hanya dapat bertahan sebentar (akan cepat rusak) apabila terlalu banyak komponen – komponen yang tidak diinginkan ikut masuk di dalam air umpan, seperti bakteri, jamur, phenol, dan bahkan nilai pH terlalu tinggi/rendah. Biasanya membran dapat bertahan selama 2 tahun dengan perubahan pada efisiensinya.

8. pH, pH pada membran yang sering digunakan memiliki batasan operasi antara 6 – 7,7.
9. Kekeruhan (*Turbidity*), *Reverse Osmosis* digunakan untuk memindahkan/menyinkirkan kekeruhan dari air umpan (air masuk).
10. Pengolahan awal (*Pretreatment*), *Pretreatment* merupakan proses awal agar membran tidak cepat rusak dan dapat tahan lebih lama. Selain itu pretreatment juga dilakukan agar partikel – partikel yang tidak diinginkan yang berat molekulnya lebih besar tidak ikut masuk ke dalam membran.
11. Pembersihan (*Cleaning*), Pembersihan pada membran tergantung dari jenis membran yang digunakan dan proses penggunaannya.

Proses *Reverse Osmosis* untuk desalinasi air payau memiliki beberapa karakteristik yang berbeda dengan desalinasi air laut, diantaranya :

1. Rancang bangun modul membran *Reverse Osmosis* untuk desalinasi air payau pada umumnya hanya terdiri dari satu tahap saja mengingat kadar garam umpan yang tidak terlalu tinggi.
2. *Recovery* air lebih tinggi bila dibandingkan dengan desalinasi air laut
3. Suhu umpan kadang-kadang sangat tinggi sehingga harus diturunkan terlebih dahulu agar tidak merusak modul (Wenten, 1999).

Efisiensi proses desalinasi air asin (air payau) dengan system *Reverse Osmosis* cukup tinggi, yaitu 99,5 %. Sehingga pada akhir proses akan dihasilkan air yang murni. Pengolahan air payau dengan menggunakan system *Reverse Osmosis* ini sangat dipengaruhi oleh kualitas air baku yang akan diolah, apabila air baku tidak memenuhi persyaratan sebagai air baku *Reverse Osmosis* seperti yang terdapat pada Tabel 2, maka Instalasi Pengolahan Air harus dilengkapi unit pengolahan awal (*Pretreatment*) dan setelah air baku memenuhi persyaratan dilanjutkan pada unit pengolahan lanjutan (*Treatment*), yaitu unit *reverse osmosis* (Widayat, 2007). Secara keseluruhan unit pengolahan air payau menjadi layak minum ini terdiri dari beberapa tahapan, antara lain dengan proses koagulasi, sedimentasi, filtrasi bertingkat (*filter* pasir, *filter* Mangan Zeolit dan *filter* Karbon aktif) dan *Reverse Osmosis*. Menurut Widayat (2007), membran

osmosis balik air payau mampu mengolah air dengan kandungan TDS sampai 12000 ppm dan tekanan operasi sampai 10 kg/Cm².

Masalah yang sering terjadi pada aplikasi membran RO adalah terjadinya *membrane fouling*. Membrane fouling adalah peristiwa menumpuknya zat terlarut pada permukaan membran atau di dalam pori membran, sehingga kinerja membran akan menurun. Apabila membran mengalami *fouling*, perlu dilakukan pencucian dengan larutan kimia atau penggantian membran.

Tabel 2. Standar Kualitas Air Baku untuk Air Umpan Unit *Reverse Osmosis*

No	Parameter	Satuan	Air baku
1	Warna	Pt. Co Scale	100
2	Bau	-	Relatif
3	Kekeruhan	NTU	20
4	Besi	mg/liter	2,0
5	Mangan	mg/liter	1,3
6	Khlorida	mg/liter	4000
7	Bahan Organik	mg/liter	40
8	TDS	mg/liter	12000

(Sumber: Widayat, 2007)

2.9 Keunggulan dan Kekurangan Sistem *Reverse Osmosis* (RO)

2.9.1 Keunggulan Sistem *Reverse Osmosis* (RO)

Keunggulan RO yang paling superior dibandingkan metode-metode pemisahan lainnya yaitu kemampuan dalam memisahkan zat-zat dengan berat molekul rendah seperti garam anorganik atau molekul organik kecil seperti glukosa dan sukrosa. Keunggulan lain dari RO ini yaitu tidak membutuhkan zat kimia, dapat dioperasikan pada suhu kamar, dan adanya penghalang absolut terhadap aliran kontaminan, yaitu membran itu sendiri. Selain itu, ukuran penyaringannya yang mendekati pikometer, juga mampu memisahkan virus dan bakteri.

Teknologi RO cocok digunakan dalam pemurnian air minum dan air buangan. Di bidang industri, teknologi RO dapat digunakan untuk memurnikan air umpan boiler. Selain itu, karena kemampuannya dalam memisahkan garam-

garaman, teknologi *reverse osmosis* cocok digunakan dalam pengolahan air asin/payau menjadi air tawar (desalinasi).

2.9.2 Kekurangan Sistem *Reverse Osmosis* (RO)

Meskipun alat pengolahan air sistem RO mempunyai banyak keuntungan akan tetapi dalam pengoperasiannya harus memperhatikan petunjuk operasi. Hal ini dimaksudkan agar alat tersebut dapat digunakan secara baik dan awet. Jika tidak ada observasi awal dan *control* akan menyebabkan *fouling* karena bahan – bahan tertentu pada permukaan membran seperti membran berkerak karena pengendapan garam terlarut dalam air karena konsentrasi air cukup pekat dan batas kelarutan terlampaui. Kerak dapat berupa kalsium karbonat atau sulfat, silika, dan kalsium klorida.

Selain itu air umpan harus diolah terlebih dahulu untuk menghilangkan partikulat-partikulat, Operasi RO membutuhkan material dan alat dengan kualitas standar yang tinggi, serta terdapat kemungkinan terjadi pertumbuhan bakteri yang menyebabkan penyumbatan pori dan kerusakan membran. Untuk itu, dibutuhkan biaya perawatannya lebih mahal dibandingkan dengan pengolahan secara konvensional untuk penggantian membran RO tersebut. Lalu, apabila tekanan yang masuk ke membran dibawah standar yang dibutuhkan, maka pengolahan akan berjalan lambat.