

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Air Payau

Perairan payau adalah suatu badan air setengah tertutup yang berhubungan langsung dengan laut terbuka, dipengaruhi oleh gerakan pasang surut, dimana air laut bercampur dengan air tawar dari buangan air daratan, perairan terbuka yang memiliki arus serta masih terpengaruh oleh proses-proses yang terjadi di darat (Pangesti, 2013).

Menurut Soedjono (dalam Yusuf dkk, 2009), air payau terjadi karena intrusi air asin ke air tawar. Hal ini dikarenakan adanya degradasi lingkungan. Pencemaran air tawar juga dapat terjadi karena fenomena air pasang naik. Saat air laut meluap, masuk ke median sungai. Kemudian terjadi pendangkalan di sekitar sungai sehingga air asin ini masuk ke dalam air tanah dangkal dan menjadi payau.

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 konsentrasi garam melebihi 30 gram dalam satu liter air disebut air asin (Suprayogi, dalam Darmawansa, 2014).

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 terutama terdapatnya ikan- ikan air payau. (Putra, 2013). Air payau dapat memiliki range kadar TDS yang cukup tinggi yakni 1000-10.000 mg/L dan secara terkarakterisasi oleh kandungan karbon organik rendah dan partikulat rendah ataupun kontaminan koloid (Dewi, 2011).

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).

2.2 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 apapun
 - 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.

2.3 Karakteristik Air

2.3.1 Karakteristik Air Berdasarkan Parameter Fisik

Karakteristik air berdasarkan parameter fisik terdiri dari:

a. Warna

Warna air sebenarnya terdiri dari warna asli dan warna tampak. Warna asli atau *true color* adalah warna yang disebabkan oleh substansi terlarut. Warna pada air di laboratorium diukur berdasarkan warna standar yang telah diketahui konsentrasinya. Intensitas warna ini dapat diukur dengan satuan unit standar yang dihasilkan oleh dua mg/l platina. Standar yang ditetapkan di Indonesia besarnya maksimal lima unit (Sutrisno, dalam Destrina, 2015).

b. Kekeruhan

Kekeruhan di dalam air disebabkan oleh adanya zat tersuspensi, seperti lumpur, zat organik, plankton dan zat-zat halus lainnya. Kekeruhan merupakan sifat optis dari suatu larutan, yaitu hamburan dan absorpsi cahaya yang melaluinya. Kekeruhan dengan kadar semua jenis zat suspensi tidak dapat dihubungkan secara langsung, karena tergantung juga kepada ukuran dan bentuk butiran (Amalia, 2014).

c. Total Padatan Terlarut (*Total Dissolved Solid*)

TDS (*Total Dissolved Solid*) adalah jumlah padatan terlarut yang terdapat dalam air. Padatan terlarut diakibatkan oleh bahan pelarut dari air yang padat, cairan, dan gas (Yusuf dkk, 2009).

2.3.2 Karakteristik Air Berdasarkan Parameter Kimia

a. Derajat keasamaan (pH)

pH merupakan istilah yang digunakan untuk menyatakan intensitas keadaan asam atau basa suatu larutan. Standar kualitas air minum dalam pH ini yaitu bahwa pH yang lebih kecil dari 6,5 dan lebih besar dari 9,2 akan menyebabkan korosivitas pada pipa-pipa air yang dibuat dari logam dan dapat mengakibatkan beberapa senyawa kimia berubah menjadi racun yang dapat mengganggu kesehatan manusia. (Sutrisno, dalam Destrina, 2015).

b. Salinitas

Salinitas adalah tingkat keasinan atau kadar garam terlarut dalam air. Salinitas air payau menggambarkan kandungan garam dalam suatu air payau. Garam yang dimaksud adalah berbagai ion yang terlarut dalam air termasuk garam dapur (NaCl). Pada umumnya salinitas disebabkan oleh 7 ion utama yaitu: natrium (Na^+), kalium (K^+), kalsium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), Klorida (Cl^-), sulfat (SO_4^{2-}) dan bikarbonat (HCO_3^-). Salinitas dinyatakan dalam satuan gram/kg atau promil (‰) (Yusuf, 2009). Air di kategorikan sebagai air payau bila konsentrasi garamnya 0,05 sampai 3% atau menjadi *saline* bila konsentrasinya 3 sampai 5%. Lebih dari 5% disebut *brine*.

c. Besi (Fe)

Besi adalah metal berwarna putih keperakan, liat dan dapat dibentuk. Di alam didapat sebagai hematit. Di dalam air minum Fe menimbulkan rasa, warna (kuning), pengendapan pada dinding pipa, pertumbuhan bakteri besi dan kekeruhan. Besi dibutuhkan oleh tubuh dalam pembentukan hemoglobin. Di dalam standar kualitas ditetapkan kandungan besi di dalam air sebanyak 0,1 -1,0 mg/l. Jika dalam jumlah besar Fe dapat menyebabkan:

1. Merusak dinding usus.
2. Rasa tidak enak dalam air, pada konsentrasi lebih dari 2 mg/l
3. Menimbulkan bau dan warna dalam air (Diba, 2015)

d. Mangan (Mn)

Mangan mampu menimbulkan keracunan kronis pada manusia hingga berdampak menimbulkan lemah pada kaki dan otot, muka kusam dan dampak lanjutan bagi manusia yang keracunan Mangan (Mn), bicaranya lambat dan hiperrefleksi (Pahlevi, dalam Amalia, 2014). Mangan mempunyai warna putih-kelabu dan menyerupai besi. Mangan adalah logam keras dan sangat rapuh, bisa dileburkan dan disatukan walaupun sulit, tetapi sangat mudah untuk mengoksid mangan. Logam mangan dan ion-ion biasanya mempunyai daya magnet yang kuat (Amalia, 2014). Tubuh manusia membutuhkan mangan rata-rata 10 mg/l sehari yang dapat dipenuhi dari makanan. Tetapi Mangan bersifat toxis terhadap alat pernafasan. Standar kualitas menetapkan: kandaungan mangan di dalam air 0,05-05 mg/l (Diba, 2015).

2.4 Pengolahan Air Payau

2.4.1 Koagulasi

Koagulasi merupakan proses penggumpalan partikel koloid dikarenakan penambahan bahan kimia sehingga partikel-partikel tersebut bersifat netral dan membentuk endapan dengan gaya gravitasi. Menurut Ebeling dan Ogden (dalam Destrina, 2015), koagulasi merupakan proses menurunkan atau menetralkan muatan listrik pada partikel-partikel tersuspensi. Muatan-muatan listrik yang sama pada partikel-partikel kecil dalam air menyebabkan partikel-partikel tersebut saling menolak sehingga membuat partikel-partikel koloid kecil terpisah satu sama lain dan menjaganya tetap berada dalam suspensi. Proses koagulasi berfungsi untuk menetralkan atau mengurangi muatan negatif pada partikel sehingga mengijinkan gaya tarik Van Der Waals untuk mendorong terjadinya agregasi koloid dan zat-zat tersuspensi halus untuk membentuk *microfloc*.

Untuk menjamin proses koagulasi yang efisien pada dosis bahan kimia yang minimal maka koagulant harus dicampur secara cepat dengan air, dengan pengaduk yang cepat zat pengendap akan terbagi rata didalam air sebelum pengendapan selesai.

2.4.2 Aerasi

Aerasi merupakan suatu system oksigenasi melalui penangkapan O_2 dari udara pada air olahan yang akan diproses. Pemasukan oksigen ini bertujuan agar O_2 di udara dapat bereaksi dengan kation yang ada di dalam air olahan. Reaksi kation dan oksigen menghasilkan oksidasi logam yang sukar larut dalam air sehingga dapat mengendap (Darmayanto, 2009).

Proses aerasi terutama untuk menurunkan kadar besi (Fe) dan magnesium (Mg). Kation Fe^{2+} atau Mg^{2+} bila disemburkan ke udara akan membentuk oksida Fe_3O_3 dan MgO . Contoh macam-macam aerasi seperti aerasi menggunakan system gravitasi.

2.4.3 Filtrasi

Filtrasi merupakan proses pemisahan antara padatan/koloid dengan suatu cairan. Penyaringan air olahan yang mengandung padatan dengan ukuran seragam dapat digunakan saringan medium tunggal, sedangkan untuk penyaringan air yang

mengandung padatan dengan ukuran yang berbeda dapat digunakan tipe saringan multi medium. Media *filter* atau saringan digunakan karena merupakan alat filtrasi atau penyaring memisahkan campuran solida liquida dengan media porous atau material porous lainnya guna memisahkan sebanyak mungkin padatan tersuspensi yang paling halus. Bahan penyaring dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu bahan alami dan bahan buatan. Bahan-bahan penyaring alami maupun buatan yang biasanya digunakan adalah ijuk, pasir silika, arang/*carbon active*, kerikil, pasir, zeolit, dan resin kation.

a. Mangan Zeolit

Menurut Said (2008:475), filter mangan zeolit berfungsi untuk menyerap zat besi atau mangan yang belum sempat teroksidasi. Media filter yang digunakan adalah mangan zeolit (manganese greensand) yang berdiameter sekitar 0,3 – 0,5 mm. Dengan menggunakan unit ini, maka kadar besi dan mangan, serta beberapa logam lain yang masih terlarut dalam air dapat dikurangi sampai $< 0,1$ mg/l.

b. Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan bahan adsorpsi dengan permukaan lapisan yang luas dengan bentuk butiran (*granular*) atau serbuk (*powder*). Kontaminan dalam air terserap karena tarikan dari permukaan karbon aktif lebih kuat dibandingkan dengan daya kuat yang menahan di dalam larutan. Senyawa-senyawa yang mudah terserap karbon aktif umumnya memiliki nilai kelarutan yang lebih kecil dari karbon aktif. Kontaminan dapat masuk ke dalam pori karbon aktif dan terakumulasi didalamnya, apabila kontaminan terlarut di dalam air dan ukuran pori kontaminan lebih kecil dibandingkan dengan ukuran pori karbon aktif (Anggraini, 2014).

c. Pasir Silika

Pasir silika adalah pasir lepas berwarna bening sedikit kekuningan dengan bentuk rata-rata bersudut tumpul. Silika memiliki formula kimia SiO_2 dan ketahanan terhadap cuaca yang tinggi. Pasir silika digunakan sebagai bahan filter terutama untuk proses penyaringan oleh rongga-rongga antar butiran-butirannya (Rahmawati, 2009:6).

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 pengembangan 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, whyen)
- 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 osmosisi 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 interfisial)

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 : $< 2 \mu\text{m}$
- 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

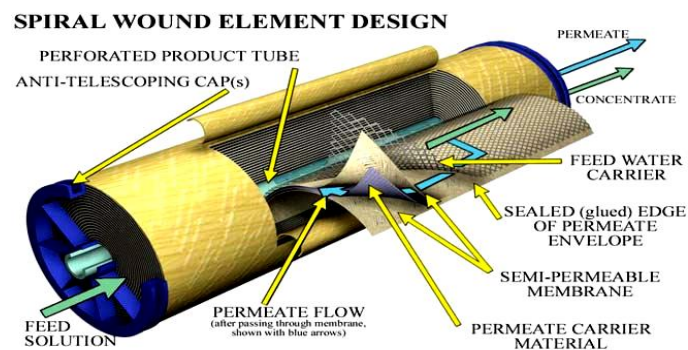
Mikrofiltrasi	Ultrafiltrasi	Nanofiltrasi	Reverse Osmosis
Ketebalan : 10 – 150 μm	Ketebalan : 150 μm	Ketebalan : 150 μm (sublayer), 1 μm (toplayer)	Ketebalan : 150 μm (sublayer), 1 μm (toplayer)
Ukuran pori : 0,05 – 10 μm	Ukuran pori : 1 – 100 μm	Ukuran pori : $< 2 \mu\text{m}$	Ukuran pori : $< 2 \mu\text{m}$
<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	Aplikasi industri : industri produk susu sapi, makanan,	Aplikasi industri : desalinasi air payau, pelunakan air, penghilangan	Aplikasi industri : desalinasi air payau dan air laut, pemekatan jus,

buah, dll.	metalurgi, tekstil, farmasi, dll.	polutan, retensi zat warna, dll.	gula dan susu, produksi <i>ultrapure water</i> .
------------	-----------------------------------	----------------------------------	--

Sumber : Hartomo. A.J, 2006

2.6 Unit Reverse Osmosis (RO)

Reverse Osmosis adalah suatu metode pemurnian air melalui membran semi permeable di mana suatu tekanan tinggi (50-60 psi) diberikan melampaui tarikan osmosis sehingga akan "memaksa" air melewati proses osmosis terbalik dari bagian yang memiliki kepekatan tinggi ke bagian dengan kepekatan rendah. Selama proses ini terjadi, kotoran dan bahan yang berbahaya akan dibuang sebagai air yang tercemar. Molekul air dan bahan mikro yang lebih kecil dari pori-pori *Reverse Osmosis* akan melewati pori-pori membran dan hasilnya adalah air yang murni. Proses ini mirip dengan proses filtrasi membran. Mekanisme utama pemisahan partikel-partikel asing dalam air dan air pada proses filtrasi membran adalah pemisahan atau eksklusi berdasarkan ukuran partikel. Perbedaannya adalah, proses *Reverse Osmosis* melibatkan mekanisme difusi sehingga efisiensi pemisahan partikel tergantung kadar partikel nondominan dalam larutan, tekanan dan rasio dari water flux rate (rasio aliran air). Membran *Reverse Osmosis* menghasilkan air murni 99,99%. Diameternya lebih kecil dari 0,0001 mikron (500.000 kali lebih kecil dibandingkan dengan sehelai rambut), sama dengan penyaring micron, berfungsi membuang kotoran, bahan mikro, bakteri, virus dan sebagainya (Annisaa, 2009)



Sumber : Soedjono, 2012

Gambar 1. Membran RO Spiral Wound

Membran yang digunakan untuk *Reverse Osmosis* memiliki lapisan padat dalam matriks polimer - baik kulit membran asimetris atau lapisan interfasial dipolimerisasi dalam membran tipis film komposit dimana pemisahan terjadi. Dalam kebanyakan kasus, membran ini dirancang untuk memungkinkan air hanya untuk melewati melalui lapisan padat, sementara mencegah bagian dari zat terlarut (seperti ion garam). Proses ini mensyaratkan bahwa tekanan tinggi akan diberikan pada sisi konsentrasi tinggi membran, biasanya 2-17 bar (30-250 psi) untuk air tawar dan payau, dan 40-82 bar (600-1200 psi) untuk air laut, yang memiliki sekitar 27 bar (390 psi) [3] tekanan osmotik alam yang harus diatasi. Proses ini terkenal karena penggunaannya dalam desalinasi (menghilangkan garam dan mineral lainnya dari air laut untuk mendapatkan air tawar), namun sejak awal 1970-an itu juga telah digunakan untuk memurnikan air segar untuk aplikasi medis, industri, dan domestic (Ananto dkk, 2013:2).

2.6.1 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).

2.6.2 Pengolahan Reverse Osmosis

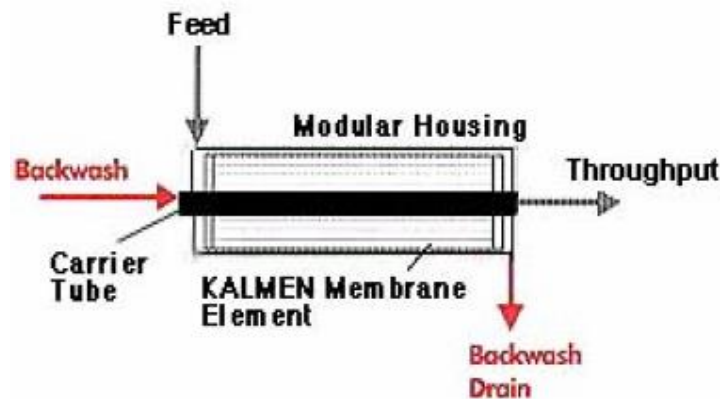
Pada sistem desalinasi dengan menggunakan membrane RO, air pada larutan garam dipisahkan dari garam terlarutnya dengan mengalirkannya melalui membran water-permeable. Permeate dapat mengalir melalui membran akibat adanya perbedaan tekanan yang diciptakan antara umpan bertekanan dan produk, yang memiliki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

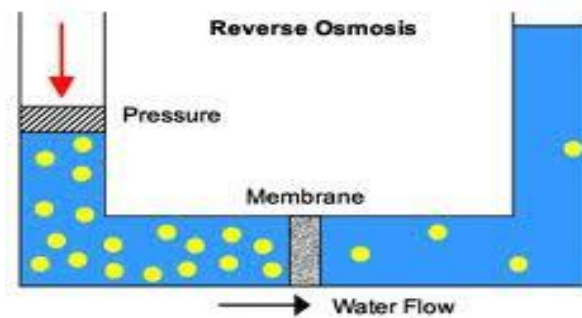
2.6.3 Prinsip Kerja Reverse Osmosis

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 membrane 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 membrane semi permeable. Itulah alasan kenapa pada mesin *reverse osmosis* modern, membrane semi permeable dan pompa tekanan tinggi (*high pressure pump*) menjadi komponen utama yang harus ada.



Sumber : Dhany, 2015

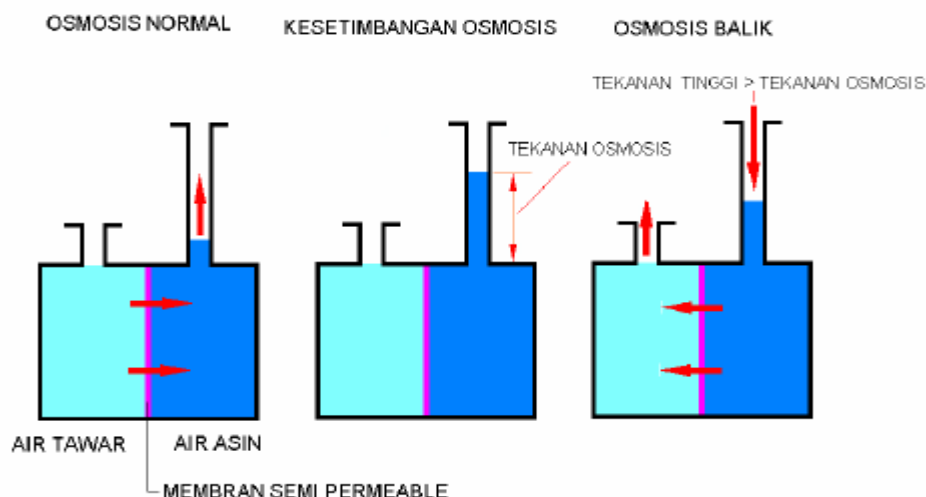
Gambar 3. Proses Reverse Osmosis

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 $< 0,1$ mg/L, pH harus dikontrol agar tidak terjadi pergerakan 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 *repaid sand 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 konsentrasi $<0,1$ 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 $0,5$ μm .

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 dipisahkan (*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)

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

2.7.1 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).

2.7.2 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.