

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Air Payau

Air adalah zat atau unsur yang paling penting bagi semua bentuk kehidupan yang diketahui sampai saat ini di bumi, air merupakan zat cair yang tidak mempunyai rasa, warna dan bau (Etnize, 2010).

Air dapat berupa air tawar (*fresh water*), air payau dan 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. Air laut merupakan air yang berasal dari laut, memiliki rasa asin, dan memiliki kadar garam (salinitas) yang tinggi, dimana rata-rata air laut di lautan dunia memiliki salinitas sebesar 35. Hal ini berarti untuk setiap satu liter air laut terdapat 35 gram garam yang terlarut di dalamnya. Kandungan garam-garaman utama yang terdapat dalam air laut antara lain klorida (55%), natrium (31%), sulfat (8%), magnesium (4%), kalsium (1%), potasium (1%), dan sisanya (kurang dari 1%) terdiri dari bikarbonat, bromida, asam borak, strontium, dan florida, sedangkan air tawar merupakan air dengan kadar garam dibawah 0,5 ppt. (Zefrina, 2015)

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 panjang yakni 1000-10.000 mg/L dan secara terkarakterisasi oleh kandungan karbon organik rendah dan partikulat rendah ataupun kontaminan koloid (Dewi, 2011).

2.2 Karakteristik Air

2.2.1 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 dilaboratorium 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*)

Menurut Hartomo dan Widiatmoko (1994), total padatan terlarut merupakan ukuran jumlah total zat anorganik dan organik terlarut dalam air. 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). Air yang baik digunakan untuk keperluan rumah tangga adalah angka total solid di dalam air minum adalah 500-1500 mg/l. Apabila melebihi maka akan berakibat yaitu :

- a. Air tidak enak rasanya
- b. Rasa mual
- c. Terjadinya cardiac siseases toxaameia pada wanita hamil. (Sutrisno, dalam Destrina, 2015).

2.2.2 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).

2.3 Pengertian Air Minum

Air adalah salah satu kebutuhan pokok kehidupan bagi makhluk hidup yang ada di bumi untuk berlangsungnya proses metabolisme tubuh, baik bagi manusia atau bagi makhluk hidup lainnya.

Air minum adalah kebutuhan dasar manusia yang paling penting. Untuk menjamin kelangsungan hidup dan kualitas hidup manusia harus diperhatikan

kelestarian sumberdaya air. Namun tidak semua daerah mempunyai sumberdaya yang baik (*Said, 2008*).

Yang dimaksud air minum menurut Permenkes RI No. 492/Menkes/Per/IV/2010 tentang persyaratan kualitas air minum adalah air yang melalui proses pengolahan yang memenuhi syarat kesehatan dan dapat langsung diminum.

2.4 Syarat Air Minum Bagi Kesehatan

Air minum aman bagi kesehatan apabila memenuhi persyaratan fisika, mikrobiologis, kimiawi, dan radioaktif yang dimuat dalam parameter wajib dan parameter tambahan, berdasarkan Permenkes RI No. 492/Menkes/Per/IV/2010 tentang persyaratan kualitas air minum.

Secara umum syarat-syarat kualitas air minum, terdiri dari:

1. Syarat fisika; air bebas dari pencemaran dalam arti kekeruhan, warna, rasa, dan bau.
2. Syarat kimia; air minum tidak boleh mengandung zat kimia yang beracun sehingga dapat mengganggu kesehatan, estetika, dan gangguan ekonomi.
3. Syarat bakteriologi; air yang dipengaruhi sebagai air bebas dari kuman penyakit, dimana termasuk bakteri, protozoa, virus, cacing, dan jamur.
4. Syarat radioaktif; air minum yang bebas dari sinar alfa dan beta yang dapat merugikan kesehatan.

Tabel 1. Parameter Wajib Persyaratan Kualitas Air Minum

No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar maksimum yang diperbolehkan
a. Fisika			
	Bau		Tidak berbau
	Total Zat Padat Terlarut (TDS)	mg / l	500
	Kekeruhan	NTU	5
	Rasa		Tidak berasa
	Suhu	⁰ C	Suhu udara \pm 3
	Warna	TCU	15
b. Kimia Anorganik			
	Aluminium	mg / l	0,2
	Besi	mg / l	0,3
	Kesadahan	mg / l	500
	Khlorida	mg / l	250
	Mangan	mg / l	0,4
	pH		6,5 – 8,5
	Seng	mg / l	3
	Sulfat	mg / l	250
	Tembaga	mg / l	2
	Amonia	mg / l	1,5

Sumber: PERMENKES RI, 2010

2.5 Pengolahan Air Payau

2.5.1 Unit *Pre-Treatment*

2.5.1.1 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.

Faktor – faktor yang mempengaruhi koagulasi :

1. Pemilihan bahan kimia

Untuk melaksanakan pemilihan bahan kimia, perlu pemeriksaan terhadap karakteristik air baku yang akan diolah, yaitu :

a. Suhu, dimana suhu yang rendah memberikan efek yang merugikan terhadap efisiensi semua proses pengolahan. Semakin rendah temperatur, maka membutuhkan waktu kontak yang lebih lama karena mempengaruhi pembentukan flok-flok agar cepat mengendap di bak pengendap.

b. pH, pada kondisi ekstrim baik tinggi maupun rendah, pH dapat berpengaruh terhadap koagulasi karena sifat kimia koagulan yang tergantung pada pH. pH optimum bervariasi tergantung jenis koagulan yang digunakan, namun umumnya pH maksimal adalah 7,5.

c. Alkalinitas yang rendah membatasi reaksi ini dan menghasilkan koagulasi yang kurang baik, pada kasus demikian mungkin memerlukan penambahan alkalinitas ke dalam air, melalui penambahan bahan kimia alkali/basa kapur atau soda abu).

d. Kekeruhan, dimana semakin rendah kekeruhan maka semakin sukar pembentukan flok. Semakin sedikit partikel, semakin jarang terjadi tumbukan antar partikel/flok, oleh karena itu makin sedikit kesempatan flok berakumulasi.

e. Warna, dimana berindikasi kepada senyawa organik, dimana zat organik bereaksi dengan koagulan menyebabkan proses koagulasi terganggu selama zat organik tersebut berada di dalam air baku dan proses koagulasi semakin sukar tercapai.

2. Penentuan dosis optimum koagulan

Untuk memperoleh koagulasi yang baik, dosis optimum koagulan harus ditentukan. Dosis optimum mungkin bervariasi sesuai dengan karakteristik dan

seluruh komposisi kimiawi di dalam air baku, tetapi biasanya dalam hal ini fluktuasi tidak besar, hanya pada saat-saat tertentu dimana terjadi perubahan kekeruhan yang drastis (waktu musim hujan/banjir) perlu penentuan dosis optimum berulang-ulang.

Koagulan adalah bahan kimia yang ditambahkan untuk mendestabilisasi partikel koloid dalam air limbah agar flok dapat terbentuk. Senyawa koagulan adalah senyawa yang mempunyai kemampuan mendestabilisasi koloid dengan cara menetralkan muatan listrik pada permukaan koloid sehingga koloid dapat bergabung satu sama lain membentuk flok dengan ukuran yang lebih besar sehingga mudah mengendap.

Waktu penambahan bahan-bahan kimiawi pengkondisi dan koagulan terbukti sangat penting dan biasanya sangat menentukan keefektifan performa unit sedimentasi, filtrasi dan kualitas air akhir. Koagulan berbasis besi cenderung lebih mahal pada basis dosis ekuivalen per kilogramnya. Koagulan-koagulan ini juga mengambil lebih banyak alkalinitas sehingga cenderung menurunkan pH air yang diolah lebih besar. Sebagian berpendapat bahwa koagulan berbasis besi menghasilkan flok dengan bentuk yang membuatnya lebih sulit untuk mengendap.

Koagulan ini sangat korosif dan ketika terjadi tumpahan atau kebocoran akan meninggalkan noda karat yang berwarna merah darah (Gebbie, dalam Destrina, 2015).

Beberapa bahan kimia yang sering digunakan untuk proses koagulasi di antaranya:

1) PAC (*Poly Aluminium Chloride*)

PAC adalah polimer aluminium yang merupakan jenis koagulan baru sebagai hasil riset dan pengembangan teknologi pengolahan air. Sebagai unsur dasarnya adalah aluminium dan aluminium ini berhubungan dengan unsur lain membentuk unit yang berulang dalam suatu ikatan rantai molekul yang cukup panjang. Dengan demikian PAC menggabungkan netralisasi dan kemampuan menjembatani partikel-partikel koloid sehingga koagulasi berlangsung lebih

efisien. PAC memiliki rumus kimia umum $Al_nCl_{(3nm)}(OH)_m$, dimana yang paling umum dalam pengolahan air adalah $Al_{12}Cl_{12}(OH)_{24}$.



Sumber: [Wiratama](#) (2014)

Gambar 1. *Poly Aluminium Chloride (PAC)*

PAC memiliki rantai polimer yang panjang, muatan listrik positif yang tinggi dan memiliki berat molekul yang besar, PAC memiliki koefisien yang tinggi sehingga dapat memperkecil flok dalam air yang dijernihkan meski dalam dosis yang berlebihan. PAC lebih cepat membentuk flok dari pada koagulan biasa, hal ini dikarenakan PAC memiliki muatan listrik positif yang tinggi sehingga PAC dapat dengan mudah menetralkan muatan listrik pada permukaan koloid dan dapat mengatasi serta mengurangi gaya tolak menolak elektrostatis antar partikel sampai sekecil mungkin yang memungkinkan partikel – partikel koloid tersebut saling mendekat (gaya tarik menarik kovalen) dan membentuk gumpalan / massa yang lebih besar (Malhotra, 1994, dalam Agustina, 2016).

Pada penggunaannya, PAC tidak keruh bila digunakan berlebih, sedangkan koagulan utama (seperti aluminium sulfat, besi klorida dan ferrosulfat) bila dosis berlebihan akan membuat air keruh, akibat dari flok yang berlebihan. Maka penggunaan PAC dibidang penjernihan air lebih praktis, dimana PAC lebih cepat membentuk flok daripada koagulan biasa.

Sifat – sifat PAC :

- a. Titik beku = $-18^{\circ}C$
- b. Boiling point = $178^{\circ}C$

c. Rumus empiris = $(Al_2(OH)_{6-n})_m$ dengan $1 < n < 5$ dan $m < 10$

d. Specific gravity = 1,19 (20°C) (Oktania, 2005, dalam Destrina, 2015).

Beberapa keunggulan yang dimiliki PAC dibanding koagulan lainnya adalah :

1. PAC dapat bekerja di tingkat pH yang lebih luas, dengan demikian tidak diperlukan pengoreksian terhadap pH, terkecuali bagi air tertentu.

2. Kandungan belerang dengan dosis cukup akan mengoksidasi senyawa karboksilat rantai siklik membentuk alifatik dan gugusan rantai hidrokarbon yang lebih pendek dan sederhana sehingga mudah untuk diikat membentuk flok.

3. Kadar khlorida yang optimal dalam fasa cair yang bermuatan negatif akan cepat bereaksi dan merusak ikatan zat organik terutama ikatan karbon nitrogen yang umumnya dalam struktur ekuatik membentuk suatu makromolekul terutama gugusan protein, amina, amida dan penyusun minyak dan lipida.

4. PAC tidak menjadi keruh bila pemakaiannya berlebihan, sedangkan koagulan yang lain (seperti alumunium sulfat, besi klorida dan fero sulfat) bila dosis berlebihan bagi air yang mempunyai kekeruhan yang rendah akan bertambah keruh. Jika digambarkan dengan suatu grafik untuk PAC adalah membentuk garis linier artinya jika dosis berlebih maka akan didapatkan hasil kekeruhan yang relatif sama dengan dosis optimum sehingga penghematan bahan kimia dapat dilakukan. Sedangkan untuk koagulan selain PAC memberikan grafik parabola terbuka artinya jika kelebihan atau kekurangan dosis akan menaikkan kekeruhan hasil akhir, hal ini perlu ketepatan dosis.

5. PAC mengandung suatu polimer khusus dengan struktur polielektrolite yang dapat mengurangi atau tidak perlu sama sekali dalam pemakaian bahan pembantu, ini berarti disamping penyederhanaan juga penghematan untuk penjernihan air.

6. Kandungan basa yang cukup akan menambah gugus hidroksil dalam air sehingga penurunan pH tidak terlalu ekstrim sehingga penghematan dalam penggunaan bahan untuk netralisasi dapat dilakukan.

7. PAC lebih cepat membentuk flok daripada koagulan biasa ini diakibatkan dari gugus aktif aluminat yang bekerja efektif dalam mengikat koloid yang

ikatan ini diperkuat dengan rantai polimer dari gugus polielektrolite sehingga gumpalan floknya menjadi lebih padat, penambahan gugus hidroksil kedalam rantai koloid yang hidrofobik akan menambah berat molekul, dengan demikian walaupun ukuran kolam pengendapan lebih kecil atau terjadi over-load bagi instalasi yang ada, kapasitas produksi relatif tidak terpengaruh.

Aplikasi PAC pada dasarnya dibagi menjadi 2 bagian, yaitu :

- a. Pada pemrosesan air permukaan untuk keperluan air bersih, air minum dan air untuk proses industri (PDAM, industri kertas, industri textile, industri baja, industri kayu, dll).
- b. Pada pemrosesan limbah cair industri, antara lain : industri pulp dan kertas, industri textile, industri gula, industri makanan, dan lain – lain.

2) Alumminium Sulfat ($Al_2(SO_4)_3$)

Alum merupakan salah satu koagulan yang paling lama dikenal dan paling luas digunakan. Alum padat akan langsung larut di dalam air, tetapi larutannya bersifat korosif terhadap aluminium, besi dan beton sehingga tangki-tangki dari bahan tersebut membutuhkan lapisan pelindung. Alum juga membentuk koloidal $Al(OH)_3$ yang dapat mengadsorpsi zat-zat warna atau zat-zat pencemar seperti detergen dan pestisida. Ketika ditambahkan ke dalam air, alum bereaksi dengan air menghasilkan ion-ion bermuatan positif. Ion-ion bermuatan +4 tetapi secara tipikal bermuatan +2 (bivalen). Ion-ion bivalen 30-60 kali lebih efektif dalam menetralkan muatan-muatan partikel dibanding ion-ion yang bermuatan +1 (monovalen) (Rosiariawari, dalam Destrina, 2015).

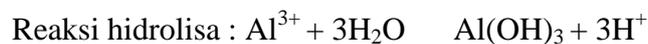
Alum atau tawas merupakan bahan koagulan, yang paling banyak digunakan karena bahan ini paling ekonomis (murah), mudah didapatkan di pasaran serta mudah penyimpanannya (Budi, dalam Ramadhani, 2013).



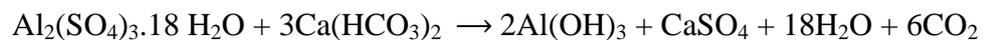
Sumber: Anonim (2011)

Gambar 2. Aluminium Sulfat

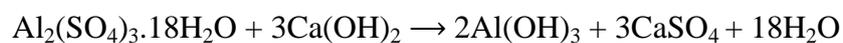
Bila larutan alum ditambahkan ke dalam air yang akan diolah terjadi reaksi sebagai berikut :



Aluminium sulfat memerlukan alkalinitas (seperti kalsium bikarbonat) dalam air agar terbentuk flok:



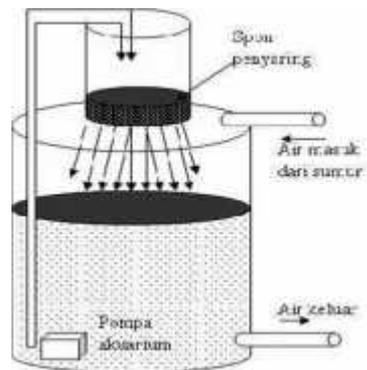
Bila alkalinitas alumnya kurang, perlu dilakukan penambahan Ca(OH)_2



2.5.1.2 Aerasi

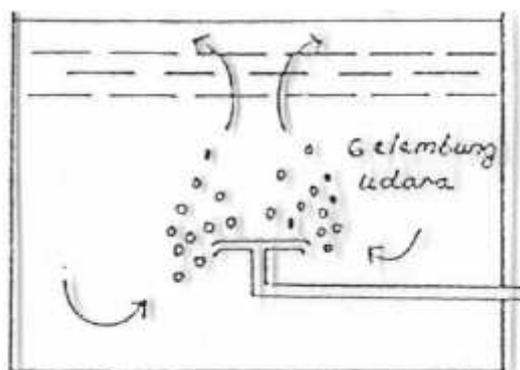
Aerasi merupakan suatu system oksigenasi melalui penangkapan O_2 dari udara pada air olahan yang akan diproses. Pemasukan oksigen ini bertujuan agar O_2 di udara dapat bereaksi dengan kation yang ada di dalam air olahan. Reaksi kation dan oksigen menghasilkan oksidasi logam yang sukar larut dalam air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

Proses aerasi terutama untuk menurunkan kadar besi (Fe) dan magnesium (Mg). Kation Fe^{2+} atau Mg^{2+} bila disebarkan ke udara akan membentuk oksida Fe_3O_3 dan MgO . Contoh macam-macam aerasi seperti aerasi menggunakan system gravitasi pada Gambar 3, aerasi menggunakan penambahan udara ke dalam air pada Gambar 4, aerasi dengan penyemprotan air dari atas dapat dilihat pada Gambar 5 (Darmayanto, 2009).



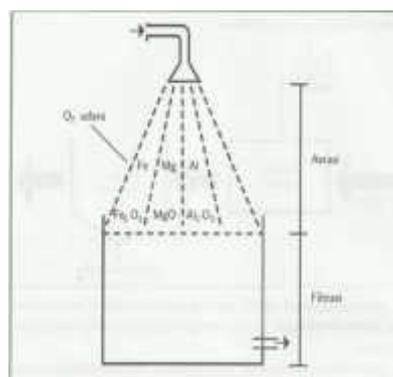
Sumber : <http://bapelkescikarang.or.id/>

Gambar 3. Aerasi Menggunakan Sistem Gravitasi



Sumber : <http://bapelkescikarang.or.id/>

Gambar 4. Aerasi Menggunakan Penambahan Udara Ke Dalam Air



Sumber : <http://bapelkescikarang.or.id>

Gambar 5. Aerasi Dengan Penyemprotan Air Dari Atas

2.5.1.3 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. Penyaringan ini merupakan proses pemisahan antara padatan atau koloid dengan cairan, dimana prosesnya bisa dijadikan sebagai proses awal (*primary treatment*) dikarenakan juga air olahan yang akan disaring berupa cairan yang mengandung butiran halus atau bahan-bahan yang larut dan menghasilkan endapan, maka bahan-bahan tersebut dapat dipisahkan dari cairan melalui filtrasi (Kusnaedi, dalam Destrina, 2015).

Menurut Wijaya (dalam Destrina, 2015), pemilihan bahan penjernih air yang menggunakan cara penyaringan akan menentukan baik tidaknya hasil penjernihan air yang akan kita gunakan. Bahan penyaring adalah suatu material yang digunakan untuk menyerap berbagai kotoran, zat kimia, dan polutan lain yang ada di dalam air. 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. Dimana masing-masing bahan tersebut memiliki fungsi masing-masing, diantaranya :

- a. Ijuk: berfungsi sebagai penyaring kotoran halus pada air
- b. Pasir: berfungsi untuk mengendapkan kotoran halus yang belum tersaring
- c. Arang: berfungsi untuk menghilangkan bau dan rasa yang ada pada air
- d. Kerikil: berfungsi sebagai penyaring kotoran-kotoran pada air dan membantu proses aerasi

Selain bahan alami, bahan penyaring ada yang buatan atau hasil rekayasa, dimana beberapa bahan buatan yang dapat digunakan untuk menyaring air adalah sebagai berikut:

- a. Pasir aktif biasanya berwarna hitam dan digunakan untuk menyaring air sumur bor dan sejenisnya.
- b. Resin *softener* berguna untuk menurunkan kandungan kapur dalam air.
- c. Resin kation biasa digunakan untuk industri air minum, baik usaha air minum isi ulang maupun pabrik air minum dalam kemasan.
- d. Pasir *zeolit* berfungsi untuk penyaringan air dan mampu menambah oksigen dalam air.
- e. Pasir *mangan* berwarna merah dan digunakan untuk menurunkan kadar zat besi atau logam berat dalam air.
- f. Pasir *silika* digunakan untuk menyaring lumpur, tanah, dan partikel besar atau kecil dalam air dan biasa digunakan untuk penyaringan tahap awal.
- g. Karbon aktif atau arang aktif adalah jenis *karbon* yang memiliki luas permukaan yang besar sehingga dapat menyerap kotoran dalam air dan dapat menghilangkan klorin bebas dan senyawa organik yang menyebabkan bau, rasa dan warna dalam air.

2.5.1.3.1 Filter Dual Media (Filter Mangan Zeolit-Silika)

Khumyahd (dalam Rahmawati, 2013:5) menjelaskan bahwa media filter yang biasa digunakan dalam pembuangan mangan adalah filter dual media (antrasit di atas saringan pasir). Media ini memberikan kelebihan-kelebihan yaitu pada gradasi, bertambahnya tampungan endapan, selisih tinggi tekanan air antara inlet dengan outlet (head loss) yang rendah, dan kualitas hasil yang baik, selain itu juga sederhana dan ekonomis. Pada filter dual media, media dengan ukuran lebih besar dan berat jenis lebih kecil ditempatkan di atas media yang lebih kecil dengan berat jenis lebih besar. Partikel flok yang lebih besar diserap dan tertahan di lapisan permukaan media atas, sedangkan material yang lebih kecil akan ditahan lapisan di bawahnya.

Jika ingin diperoleh keuntungan maksimal dari filter dual media, menurut

Degremont (dalam Rahmawati, 2009:4) sebaiknya digunakan 1/3 pasir dan 2/3 antrasit atau material lain yang lebih ringan dari pasir, dari kedalaman total filter.

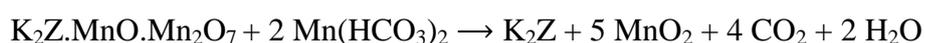
Filter dual media yang digunakan terdiri dari mangan zeolit atau karbon aktif sebagai antrasit, yang merupakan media filter pada lapisan atas, sedangkan lapisan bawahnya adalah pasir silika.

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.

Mangan zeolit berfungsi sebagai katalis dan pada waktu yang bersamaan besi dan mangan yang ada dalam air teroksidasi menjadi bentuk ferri oksida dan mangandioksida yang tak larut dalam air (Widayat, 2007:86).

Reaksi:



Reaksi penghilangan besi dan mangan dengan mangan zeolit merupakan reaksi dari Fe^{2+} dan Mn^{2+} dengan oksida mangan tinggi (higher mangan oxide). Filtrate yang terjadi mengandung ferri-oksida dan mangan-dioksida yang tak larut dalam air dapat dipisahkan dengan pengendapan dan penyaringan. Selama proses berlangsung kemampuan reaksinya makin lama makin berkurang dan akhirnya menjadi jenuh. Untuk regenerasinya dapat dilakukan dengan menambahkan larutan KMnO_4 ke dalam mangan zeolit yang telah jenuh tersebut sehingga akan terbentuk lagi mangan zeolit ($\text{K}_2\text{Z.MnO.Mn}_2\text{O}_7$) (Widayat, 2007:87).



Sumber: Anonim (2014)

Gambar 6. Mangan Zeolit

b. Pasir Silika

Pasir silika adalah pasir lepas berwarna bening sedikit kekuningan dengan bentuk rata-rata bersudut tanggung. 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).



(a)



(b)

Sumber: Anonim (2016)

Gambar 7. (a) Pasir Silika Halus dan (b) Pasir Silika Kasar

2.5.1.3.2 Cartridge Filter

Menurut Hartomo dan Widiatmoko (1994), filter cartridge merupakan filtrasi mutlak. Artinya, partikel padat akan tertahan. Gunanya untuk menghilangkan partikel dari air bersih yang sebelumnya telah diberi perlakuan, yang berukuran 0,04 sampai 100 mikron, asalkan kandungan TDS tidak melebihi 100 ppm.

Filter ini merupakan penyaring pelengkap untuk menjamin bahwa air yang akan masuk ke proses penyaringan osmosa balik benar-benar memenuhi syarat air baku bagi sistem osmosa balik. Alat ini mempunyai media penyaring dari bahan sintesis selulosa. Alat ini juga berbentuk silinder dengan tinggi sekitar 25 cm dan diameter sebesar 12 cm (Said, 2008:476).

Menurut Widayat (2007:87), unit proses dilengkapi dengan cartridge filter dengan ukuran 0,1 μm , sehingga secara keseluruhan produk air dari unit pengolahan pendahuluan diharapkan mempunyai kualitas yang dipersyaratkan, yaitu kekeruhan < 5 NTU, Fe dan Mn $< 0,1$ ppm, dan chloride $< 0,01$ ppm.



Sumber: Anonim (2016)

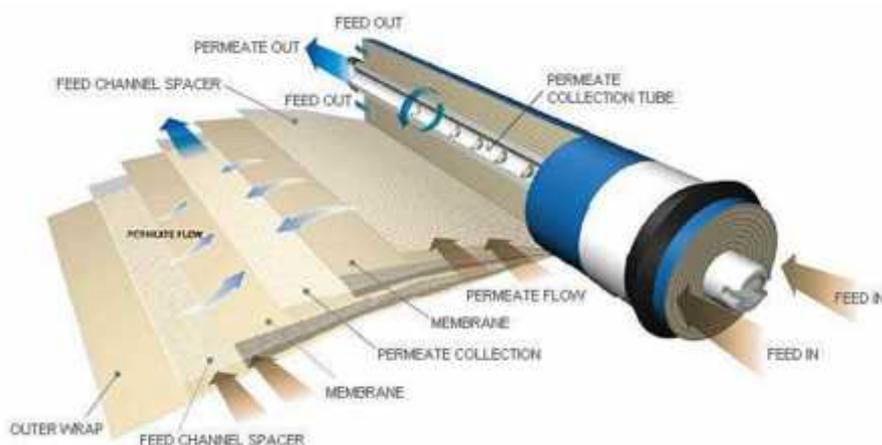
Gambar 8. Cartridge Filter (Membran Mikrofiltrasi)

2.5.2 Unit *Reverse Osmosis* (RO)

2.5.2.1 Teori *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: Anonim (2016)

Gambar 9. Membran RO Spiral Wound

Membran yang digunakan untuk *Reverse Osmosis* memiliki lapisan padat dalam matriks polimer - baik kulit membran asimetris atau lapisan interfisial 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).

2.5.2.2 Prinsip Kerja Reverse Osmosis (RO)

Suatu *membrane* (selaput) yang memungkinkan lewatnya hanya jenis-jenis molekul tertentu disebut *membrane semi permeable*. Sebuah membran semi-permeable, seperti halnya membran yang tersusun dari dinding-dinding sel atau seperti susunan sel pada kantung kemih, bersifat selektif terhadap benda-benda yang akan melaluinya. Umumnya membran ini sangat mudah untuk dilalui oleh air karena ukuran molekulnya yang kecil; tapi juga mencegah kontaminan-kontaminan lain yang mencoba melaluinya.

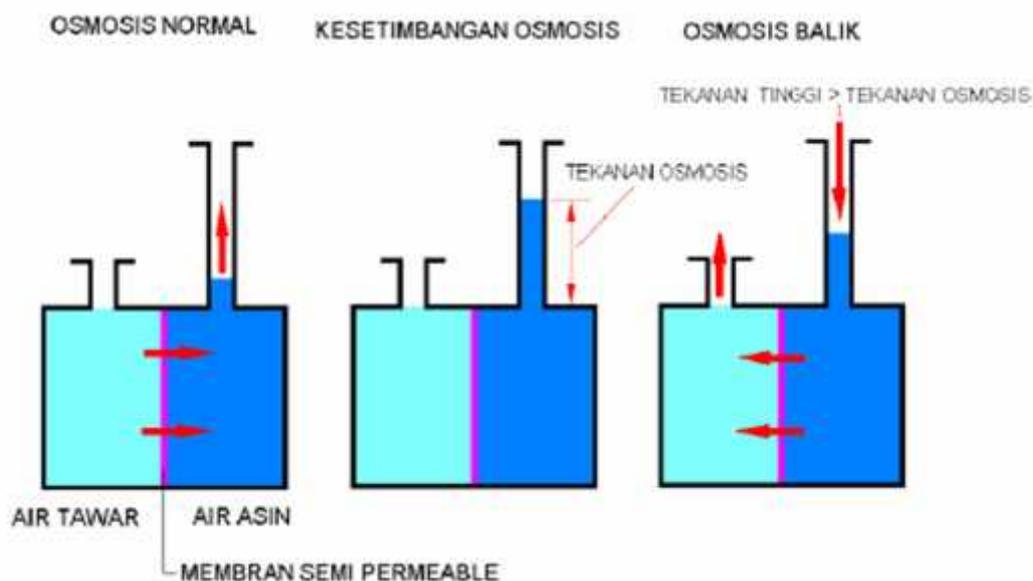
Apabila dua buah larutan dengan konsentrasi encer dan konsentrasi pekat dipisahkan oleh *membrane semi permeable*, maka larutan dengan konsentrasi yang encer akan terdifusi melalui membrane semi permeable tersebut masuk ke dalam larutan yang pekat sampai terjadi kesetimbangan konsentrasi. Phenomena tersebut dikenal sebagai proses osmosis.

Daya penggerak (*driving force*) yang menyebabkan terjadinya aliran/difusi air tawar kedalam air asin melalui *membrane semi permeable* tersebut dinamakan tekanan osmosis. Apabila pada suatu sistem osmosis tersebut, diberikan tekanan yang lebih besar dari tekanan osmosisnya, maka aliran air tawar akan berbalik yakni dari air asin ke air tawar melalui membrane *semi permeable*, sedangkan garamnya tetap tertinggal di dalam larutan garamnya sehingga menjadi lebih pekat. Proses tersebut dinamakan osmosis balik atau *Reverse Osmosis* (Said, 2008).

Proses *Reverse Osmosis* menggerakkan air dari konsentrasi kontaminan yang tinggi (sebagai air baku) menuju penampungan air yang memiliki konsentrasi kontaminan sangat rendah. Dengan menggunakan air bertekanan tinggi di sisi air baku, sehingga dapat menciptakan proses yang berlawanan (*reverse*) dari proses alamiah osmosis. Dengan tetap menggunakan membran *semi-permeable* maka hanya akan mengijinkan molekul air yang melaluinya dan membuang bermacam-macam kontaminan yang terlarut. Proses spesifik

yang terjadi dinamakan ion eksklusi, dimana sejumlah ion pada permukaan membran sebagai sebuah pembatas mengijinkan molekul-molekul air untuk melaluinya seiring melepas substansi-substansi lain.

Prinsip dasar proses osmosis dan proses osmosis balik tersebut dapat dilihat pada Gambar 11.



Sumber: Said, 2008

Gambar 10. Prinsip dasar proses osmosis balik (*Reverse Osmosis*)

Pemisahan air dari pengotornya pada proses membrane tidak memungkinkan untuk memisahkan seluruh garam dari air laut atau air asin, karena akan membutuhkan tekanan yang sangat tinggi. Air laut atau air asin dipompa dengan tekanan tinggi ke dalam suatu membrane osmosis balik yang mempunyai dua buah pipa keluaran, yakni pipa keluaran untuk air tawar yang dihasilkan dan pipa keluaran untuk air garam yang telah dipekatkan. Tekanan operasi pada sistem osmosis balik adalah sebesar $5,3 - 24,6 \text{ kg/cm}^2$ ($75 - 350$ Psi). Sistem osmosis balik yang bekerja pada tekanan rata-rata sebesar $17,6 \text{ kg/cm}^2$ (250 Psi) dapat diklasifikasikan sebagai unit tekanan rendah. Unit tekanan tinggi mempunyai tekanan rata-rata di atas $24,6 \text{ kg/cm}^2$ (Said, 2008).

2.6 Proses Desalinasi Air Payau dengan *Reverse Osmosis*

Di dalam membrane 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 membrane 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.

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

- 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.
- Recovery air lebih tinggi bila dibandingkan dengan desalinasi air laut
- Suhu umpan kadang-kadang sangat tinggi sehingga harus diturunkan terlebih dahulu agar tidak merusak modul (Wenten, dalam Dewi, 2012)

Efisiensi proses desalinasi air asin dengan sistem *Reverse Osmosis* cukup tinggi, yaitu 99,5 %. Pengolahan air payau dengan menggunakan sistem *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 (2005) membran osmosis balik air payau mampu mengolah air dengan kandungan TDS sampai 12000 ppm dan tekanan operasi sampai 10 kg/Cm^2 .

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	-	Relative
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

Tabel 3. Paduan Kualitas Air Hasil Pengolahan Sistem RO

Recovery		Air Perkotaan		Air Payau		Air Laut	
		75%		50%		30%	
Tekanan		40 Bar		40-50 Bar		60 Bar	
Parameter	Satuan	Air Baku	Air Hasil	Air Baku	Air Hasil	Air Baku	Air Hasil
Conduct	$\mu\text{S}/\text{cm}$	753	13	14190	193	48900	920
TDS	Ppm	665	6,0	898	104	34340	430
Na	Ppm	49	1,3	2368	39	9600	161
K	Ppm	5,8	0,1	80	2	34	0,8
Ca	Ppm	113	0,4	107	0,24	327	1,6
Mg	Ppm	10,6	0,04	294	0	1,360	3,4
Cl	Ppm	142	3,3	4,32	,48	6	20,21
SO4	Ppm	106	-	607	1	-	2590
Si	Ppm	25	0,3	0,3	-	0,1	-

Sumber: Rochem, dalam Indriatmoko, 1999.

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

2.6.1.1 Keunggulan Sistem *Reverse Osmosis* (RO)

a) Ukuran filter/membrane yang sangat halus 0,0001 mikron yang mampu membuang seluruh bahan pencemar air seperti kimia, biologis, fisik, bakteri, virus hingga logam berat.

b) Mampu membuang zat polutan berbahaya hingga air menjadi murni 99,9%. Hal ini polutan atau logam berat tidak dapat dihilangkan dengan sistem

pengolahan air minum yang lama misalnya pendidihan, ultra violet, ozonisasi dll.

c) Energi yang relatif hemat yaitu dalam hal pemakaian energinya. Konsumsi energi alat ini relatif rendah untuk instalasi kemasan kecil adalah antara 8-9 kWh/T (TDS 35.000) dan 9-11 kWh untuk TDS 42.000.

d) Hemat Ruang. Untuk memasang alat RO dibutuhkan ruangan yang cukup hemat.

e) Mudah dalam pengoperasian karena dikendalikan dengan sistem panel dan instrumen dalam sistem pengontrol dan dapat dioperasikan pada suhu kamar.

f) Kemudahan untuk memperbesar kapasitas (Indriatmoko, 1999).

2.6.1.2 Kekurangan Sistem *Reverse Osmosis* (RO)

Meskipun alat pengolah air sistem RO tersebut mempunyai banyak keuntungan akan tetapi dalam pengoperasiannya harus memperhatikan petunjuk operasi. Hal ini dimaksudkan agar alat tersebut dapat digunakan secara baik dan awet. Untuk menunjang operasional sistem RO diperlukan biaya perawatan. Biaya tersebut diperlukan antara lain untuk bahan kimia, bahan bakar, penggantian media penyaring, servis dan biaya operator (Indriatmoko, 1999).