

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Air

Air merupakan bagian dari ekosistem secara keseluruhan. Keberadaan air disuatu tempat yang berbeda membuat air bisa berlebih dan bisa berkurang sehingga dapat menimbulkan berbagai persoalan. Untuk itu, air harus dikelola dengan bijak dengan pendekatan terpadu secara menyeluruh. Terpadu berarti keterkaitan dengan berbagai aspek. Untuk sumber daya air yang terpadu membutuhkan keterlibatan dari berbagai pihak (Robert J. Kodoatie, 2008). Menurut ilmu kimia, air adalah substansi kimia yang memiliki rumus H_2O yang merupakan satu molekul air tersusun atas dua atom hidrogen (H) dan oksigen(O).

Pada kondisi standar, air memiliki sifat tidak berwarna, tidak berbau dan tidak berasa. Zat kimia di dalam air merupakan suatu pelarut, memiliki kemampuan melarutkan banyak zat kimia lainnya, seperti garam, gula, asam, beberapa jenis gas dan banyak macam molekul organik.

Air bersih dibutuhkan dalam pemenuhan kebutuhan manusia untuk melakukan segala kegiatan sehingga perlu diketahui bagaimana air dikatakan bersih dari segi kualitas dan bisa digunakan dalam jumlah yang memadai dalam kegiatan sehari-hari manusia. Ditinjau dari segi kualitas, ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi, diantaranya kualitas fisik yang terdiri atas bau, warna dan rasa, kualitas kimia yang terdiri atas pH, kesadahan dan sebagainya serta kualitas biologi dimana air terbebas dari mikroorganisme penyebab penyakit. Agar kelangsungan hidup manusia dapat berjalan lancar, air bersih juga

harus tersedia dalam jumlah yang memadai sesuai dengan aktifitas manusia pada tempat tertentu dan kurun waktu tertentu (Gabriel 2001).

2.2 Air Sumur

Air sumur adalah air yang berasal dari dalam tanah, air tersebut didapatkan dengan cara menggali tanah sehingga akan terbentuk sumur. Air sumur merupakan salah satu sumber air yang bermanfaat untuk kebutuhan sehari-hari bagi masyarakat dan biasanya mengandung bahan-bahan metal terlarut seperti Na, Mg, Ca, dan Fe (Wikipedia, 2013).

2.3. Air Bersih

Air bersih adalah air sehat yang dipergunakan untuk kegiatan manusia dan harus bebas dari kuman-kuman penyebab penyakit, bebas dari bahan-bahan kimia yang dapat mencemari air bersih tersebut. Air merupakan zat yang mutlak bagi setiap makhluk hidup dan kebersihan air adalah syarat utama bagi terjaminnya kesehatan (Dwijosaputro, 1981). Berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1405/menkes/sk/xi/2002 tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran dan industri terdapat pengertian mengenai air bersih yaitu air yang dipergunakan untuk keperluan sehari-hari dan kualitasnya memenuhi persyaratan kesehatan air bersih sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku dan dapat diminum apabila dimasak.

Dalam pemenuhan kebutuhan air bersih manusia biasanya memanfaatkan sumber-sumber air yang berada di sekitar permukiman baik itu air alam, maupun setelah mengalami proses pengolahan terlebih dahulu. Menurut Sugiharto (1983) tempat sumber air dibedakan menjadi tiga yaitu :

1. Air hujan, air angkasa dan dalam wujud lainnya dapat berupa salju;
2. Air permukaan, air yang berada di permukaan bumi dapat berupa air sungai, air danau, air laut;
3. Air tanah, terbentuk dari sebagian dari air hujan yang jatuh ke permukaan dan sebagian meresap ke dalam tanah melalui pori-pori/celah-celah dan akar tanaman serta bertahan pada lapisan tanah membentuk lapisan yang mengandung air tanah (aquifer), air tanah yang disebut air tanah dalam atau artesis, artinya air tanah yang letaknya pada dua lapisan tanah yang kedap air, ada yang sifatnya tertekan dan yang tidak tertekan. Air tanah dangkal artinya terletak pada aquifer yang dekat dengan permukaan tanah dan fluktuasi volumenya sangat dipengaruhi oleh adanya curah hujan.

Di Indonesia, sebagian besar masyarakat (khususnya di daerah pedesaan) menggunakan air tanah untuk memenuhi kebutuhan air bersihnya. Mereka menggunakan sarana sumur gali untuk mengambil air tanah ini. Sumur gali merupakan sarana air bersih yang paling sederhana dan sudah lama dikenal masyarakat. Sesuai dengan namanya, sumur gali dibuat dengan menggali tanah sampai pada kedalaman lapisan tanah yang kedap air pertama. Air sumur (hal ini

bergantung pada lingkungan), pada umumnya lebih bersih dari air permukaan karena air yang merembes ke dalam tanah telah disaring oleh lapisan tanah yang dilewatinya (Dwijosaputro, 1981).

Karakteristik utama yang membedakan air tanah dari air permukaan adalah pergerakan yang sangat lambat dan waktu tinggal (residence time) yang sangat lama, dapat mencapai puluhan bahkan ratusan tahun. Karena pergerakan yang sangat lambat dan waktu tinggal yang lama tersebut, air tanah akan sulit untuk pulih kembali jika mengalami pencemaran (Efendi, 2003).

2.4 Air Minum

Menurut Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 492/MENKES/PER/IV/2010, air minum adalah air yang melalui proses pengolahan atau tanpa proses pengolahan yang memenuhi syarat kesehatan dan dapat langsung diminum. Menurut Permendagri No. 23 tahun 2006 tentang Pedoman Teknis dan Tata Cara Pengaturan Tarif Air Minum pada Perusahaan Daerah Air Minum, Departemen dalam Negeri Republik Indonesia, air minum adalah air yang melalui proses pengolahan atau tanpa pengolahan yang memenuhi syarat kesehatan dan dapat langsung diminum.

2.5 Karakteristik Air

2.5.1 Karakteristik Air Berdasarkan Parameter Fisik

Karakteristik air berdasarkan parameter fisik terdiri dari:

a. Suhu

Suhu air maksimum yang diizinkan oleh Kementerian Kesehatan RI NO.416/MENKES/PER/IX/1990 adalah 300C. Penyimpangan terhadap ketetapan ini akan mengakibatkan:

- Meningkatnya daya/tingkat toksisitas bahan kimia atau bahan pencemaran dalam air.
- Pertumbuhan mikroba dalam air.

b. Warna

Banyak air permukaan khususnya yang berasal dari daerah rawa rawa seringkali berwarna sehingga tidak dapat diterima oleh masyarakat baik untuk keperluan rumah tangga maupun keperluan industri, tanpa dilakukannya pengolahan untuk menghilangkan warna tersebut. Bahan-bahan yang menimbulkan warna tersebut dihasilkan dari kontak antara air dengan reruntuhan organis yang mengalami dekomposisi.

c. Bau

Air yang memenuhi standar kualitas harus bebas dari bau. Biasanya bau disebabkan oleh bahan-bahan organik yang dapat membusuk serta senyawa kimia lainnya fenol. Air yang berbau akan dapat mengganggu estetik.

d. Rasa

Biasanya rasa dan bau terjadi bersama-sama, yaitu akibat adanya dekomposisi bahan organik dalam air. Seperti pada bau, air yang memiliki rasa juga dapat mengganggu estetika.

e. Kekeruhan

Air dikatakan keruh apabila air tersebut mengandung begitu banyak partikel bahan yang tersuspensi sehingga memberikan warna/rupa yang berlumpur dan kotor. Bahan-bahan yang menyebabkan kekeruhan ini meliputi tanah liat, lumpur, bahan organik yang tersebar dan partikel-partikel kecil lain yang tersuspensi.

2.5.2 Karakteristik Air Berdasarkan Parameter Kimia

a. Derajat Keasamaan (pH)

pH merupakan salah satu faktor yang sangat penting mengingat pH dapat mempengaruhi pertumbuhan mikroba di dalam air. Sebagian besar mikroba di dalam air akan tumbuh dengan baik pada pH 6,0-8,0 pH juga akan menyebabkan perubahan kimiawi di dalam air. Menurut standar kualitas air, pH yang baik yaitu berkisar 6,5-9,2. Apabila pH kecil dari 6,5 atau lebih besar dari 9,2 maka akan menyebabkan korosifitas pada pipa-pipa air yang dibuat dari logam dan dapat mengakibatkan beberapa senyawa kimia berubah menjadi racun yang dapat mengganggu kesehatan manusia.

b. Total Solid

Tingginya angka total solids merupakan bahan pertimbangan dalam menentukan sesuai atau tidaknya air untuk penggunaan rumah tangga. Air yang baik digunakan untuk keperluan rumah tangga adalah dengan angka total solid di dalam air minum adalah 500-1500 mg/l. Apabila melebihi dari standar yang telah ditentukan maka akan berakibat :

- Air tidak enak rasanya
- Rasa mual
- Terjadinya cardiac diseases serta toxaemia pada wanita-wanita hamil

c. Jumlah Kesadahan (Total Hardness)

Kesadahan adalah merupakan sifat air yang disebabkan oleh adanya ion-ion (kation) logam valensi dua. Ion-ion ini mampu bereaksi dengan sabun membentuk kerak air. Kation-kation penyebab utama dari kesadahan Ca^{++} , Mg^{++} , Sr^{++} , Fe^{++} dan Mn^{++} . Kesadahan total adalah kesadahan yang disebabkan oleh Ca^{++} dan Mg^{++} secara bersama-sama. Standar kualitas menetapkan kesadahan total adalah 5-10 derajat jerman. Apabila kesadahan kurang dari 5 derajat jerman maka air akan menjadi lunak. Jika lebih dari 10 derajat jerman maka akan mengakibatkan :

- Kurangnya efektifitas sabun
- Menyebabkan lapisan kerak pada alat dapur
- Sayur-sayuran menjadi keras apabila dicuci dengan air ini

d. Zat Organik

Adanya zat organik di dalam air disebabkan karena air buangan dari rumah tangga, industri, kegiatan pertanian dan pertambangan. Zat organik di dalam air dapat ditentukan dengan mengukur angka permangantnya ($KmnO_4$). Di dalam standar kualitas, ditentukan maksimal angka permangantnya 10mg/l. Penyimpangan standar kualitas tersebut akan mengakibatkan:

- Timbulnya bau tak sedap
- Menyebabkan sakit perut

e. Kimia Anorganik

Kimia anorganik terdiri atas :

1. Calcium (Ca)

Adanya Ca dalam air sangat dibutuhkan dalam jumlah tertentu, yaitu untuk pertumbuhan tulang dan gigi. Sedangkan bila telah melewati ambang batas, kalsium dapat menyebabkan kesadahan, kesadahan dapat berpengaruh secara ekonomis maupun terhadap kesehatan yaitu efek korosif dan menurunnya efektifitas dari kerja sabun. Standar yang ditetapkan DEPKES sebesar 75-200 mg/l. Sedangkan WHO interregional water study group adalah sebesar 75-150 mg/l.

2. Tembaga (Cu)

Ukuran batas ada atau tidaknya tembaga adalah 0,05-1,5 mg/l. Dalam jumlah kecil Cu sangat diperlukan untuk pembentukan sel darah merah, sedangkan dalam jumlah yang besar

dapat menyebabkan rasa yang tidak enak di lidah, disamping dapat menyebabkan kerusakan pada hati.

3. Sulfida (S₂ atau H₂S)

H₂S sangat beracun dan berbau busuk, oleh karena itu zat ini tidak boleh terdapat dalam air minum. Dalam jumlah besar dapat menimbulkan atau memperbesar keasaman air sehingga menyebabkan korosifitas pada pipa pipa logam.

4. Amonia (NH₃)

Bahan ini sangat berbau yang sangat menusuk hidung atau baunya sangat tajam sehingga tidak boleh sama sekali dalam air minum.

5. Magnesium (Mg)

Efek yang ditimbulkan oleh Mg sama dengan kalsium yaitu menyebabkan terjadinya kesadahan. Dalam jumlah kecil Mg dibutuhkan oleh tubuh untuk pertumbuhan tulang, sedang dalam jumlah yang lebih besar dari 150 mg/l dapat meyebabkan rasa mual

6. 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 :

- Merusak dinding usus.
- Rasa tidak enak dalam air, pada konsentrasi lebih dari 2 mg/l
- Menimbulkan bau dan warna dalam air

7. Cadmium (Cd)

Dalam standar kualitas ditetapkan konsentrasi maksimal 0,01 mg/l. Apabila cadmium melebihi standar, maka cadmium tersebut akan terakumulasi dalam jaringan tubuh sehingga mengakibatkan penyakit ginjal, gangguan lambung, kerapuhan tulang, mengurangi hemoglobin darah dan pigmentasi.

8. Mangan (Mn)

Tubuh manusia membutuhkan mangan rata-rata 10 mg/l sehari yang dapat dipenuhi dari makanan. Tetapi mangan bersifat toksis terhadap alat pernafasan. Standar kualitas menetapkan: kandungan mangan di dalam air 0,05-05 mg/l.

9. Air Raksa (Hg)

Raksa merupakan logam berbentuk cair dalam suhu kamar yang bersifat toksis. Di dalam standar ditetapkan sebesar 0,001 mg/l. Jika dalam air terdapat air raksa lebih dari standar, akan menyebabkan:

- Keracunan sel-sel tubuh
- Kerusakan ginjal, hati dan syaraf
- Keterbelakangan mental dan cerebral polcy pada bayi

10. Seng (Zn)

Satuan yang dipergunakan adalah mg/l dengan batas antara 1,0 sampai 15 mg/l. Zn dapat menyebabkan hambatan pada pertumbuhan anak. Akan tetapi apabila jumlahnya besar dapat menimbulkan rasa pahit dan sepat pada air minum.

11. Arsen

Arsen dapat diperbolehkan dalam air paling banyak sebesar 0,05 mg/l. Jika dalam jumlah yang banyak dapat menyebabkan gangguan pada sistem pencernaan, kanker kulit, hati dan saluran empedu.

12. NO₃

Batas maksimum NO₃ dalam air minum adalah sebesar 20mg/l. Jumlah nitrat yang besar cenderung berubah menjadi nitrit, yang dapat bereaksi langsung dengan hemoglobine yang dapat menghalangi perjalanan oksigen di dalam tubuh.

13. Sulfat

Kadar yang dianjurkan 200-400 mg/l, apabila jumlahnya besar dapat bereaksi dengan ion natrium atau magnesium dalam air sehingga membentuk garam natrium sulfat atau magnesium sulfat yang dapat menimbulkan rasa mual.

f. Kimia organik

Kimia organic terdiri atas:

a. Aldrin dan Dieldrin

Aldrin dan dieldrin dapat terjadi disebabkan karena biokumulasi pada organisme air yang dimakan manusia dan menimbulkan kanker dan mutasi.

b. Benzen

Benzen dapat menimbulkan rasa, warna atau bau tidak sedap.

c. Chlordane (Total Isomer)

Chlordane merupakan insektisida. Penyakit yang ditimbulkan hyperexytasi, konvulsi, anemia, trombochytopenia, agranulocytosis.

d. Heptachlor dan Hepachlorepoxide

Meskipun tidak menimbulkan keracunan akut tetapi terjadi akumulasi dalam rantai makanan dan bersifat carcinogenic.

2.5.3 Karakteristik Air Berdasarkan Parameter Mikrobiologis

Bakteri yang paling banyak digunakan sebagai indikator sanitasi adalah *E. coli*, karena bakteri ini adalah bakteri komensal pada usus manusia, umumnya bukan patogen penyebab penyakit sehingga pengujiannya tidak membahayakan dan relative tahan hidup di air sehingga dapat dianalisis keberadaannya di dalam air yang notabene bukan merupakan medium yang ideal untuk pertumbuhan bakteri. Keberadaan *E. coli* dalam air atau makanan juga dianggap memiliki korelasi tinggi dengan ditemukannya patogen pada pangan.

E.coli adalah bakteri Gram negatif berbentuk batang yang tidak membentuk spora yang merupakan flora normal di usus. Meskipun demikian, beberapa jenis *E.coli* dapat bersifat patogen, yaitu serotipe-serotipe yang masuk dalam golongan *E.coli* Enteropatogenik, *E.coli* Enteroinvasif, *E. coli* Enterotoksigenik dan *E.coli* Enterohemoragik . Jadi adanya *E. coli* dalam air minum menunjukkan bahwa air minum tersebut pernah terkontaminasi kotoran manusia dan mungkin dapat mengandung patogen usus. Oleh karenanya standar air minum mensyaratkan *E. coli* harus absen dalam 100 ml.

Berbagai cara pengujian *E. coli* telah dikembangkan, tetapi analisis konvensional yang masih banyak dipraktikkan adalah dengan 4 tahap analisis yang memerlukan waktu 5-7 hari. Empat tahap analisis tersebut adalah Uji Pendugaan dengan metode MPN (*most probable number*), Uji penguat pada medium selektif, Uji lengkap dengan medium *lactose broth*, serta Uji Identifikasi dengan melakukan reaksi IMViC (indol, methyl red, Vogues-Praskauer, dan citrate). Jadi untuk dapat menyimpulkan *E. coli* berada pada air atau makanan diperlukan seluruh tahapan pengujian di atas. Apabila dikehendaki untuk mengetahui serotipe dari *E. coli* yang diperoleh untuk memastikan apakah *E.coli* tersebut patogen atau bukan maka dapat dilakukan uji serologi. Meskipun demikian, beberapa serotipe patogen tertentu seperti O157:H7 yang ganas tidak dapat diuji langsung dengan pengujian 4 tahap ini dan memerlukan pendekatan analisis khusus sejak awal.

Karena uji *E. coli* yang kompleks, maka beberapa standar, misalnya Standar Nasional Indonesia (SNI), mensyaratkan tidak adanya coliform dalam 100 ml air minum. Coliform adalah kelompok bakteri Gram negatif berbentuk batang yang pada umumnya menghasilkan gas jika ditumbuhkan dalam medium laktosa. Salah satu anggota kelompok coliform adalah *E. coli* dan karena *E. coli* adalah bakteri coliform yang ada pada kotoran manusia maka *E. coli* sering disebut sebagai coliform fekal. Pengujian koliform jauh lebih cepat jika dibandingkan dengan uji *E. coli*, karena hanya memerlukan Uji penduga yang merupakan tahap pertama uji *E. coli* 4 tahap diatas. Jika terdapat coliform dalam air minum atau makanan maka ada kemungkinan air atau makanan itu mengandung *E. coli*, tetapi mungkin juga tidak mengandung *E. coli* karena bakteri-bakteri bukan patogen dan bukan asal usus dari genus *Enterobacter* dan beberapa *Klebsiella* juga menghasilkan uji koliform positif. Jika ingin diketahui apakah coliform tersebut merupakan coliform fekal atau *E. coli* maka uji tersebut dapat dilanjutkan dengan uji 4 tahap di atas. Akan tetapi jika uji penduga tidak menunjukkan adanya coliform, maka tidak perlu dilakukan uji 4 tahap di atas.

2.6 Karakteristik Air Minum

Air minum adalah air yang digunakan untuk konsumsi manusia. Menurut Departemen Kesehatan, syarat-syarat air minum adalah tidak berasa, tidak berbau, tidak berwarna, tidak mengandung

mikroorganisme yang berbahaya dan tidak mengandung logam berat. Air minum adalah air yang melalui proses pengolahan ataupun tanpa proses pengolahan yang memenuhi syarat kesehatan dan dapat langsung diminum. (Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 907 Tahun 2002).

Walaupun air dari sumber alam dapat diminum oleh manusia, terdapat risiko bahwa air ini telah tercemar oleh bakteri (misalnya *Escherichia coli*) atau zat-zat berbahaya. Bakteri dapat dibunuh dengan memasak air hingga 100°C, namun banyak zat berbahaya, terutama logam, yang tidak dapat dihilangkan dengan cara ini. Saat ini terdapat krisis air minum di berbagai negara berkembang di dunia akibat jumlah penduduk yang terlalu banyak dan pencemaran air (Wikipedia).

2.7 Proses Pengolahan Air

2.7.1 Filtrasi

Filtrasi merupakan proses pemisahan antara padatan / koloid dengan suatu cairan. Untuk 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.

Digunakannya media filter atau saringan 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. Dan penyaringan ini merupakan proses pemisahan antara padatan atau koloid dengan cairan, dimana prosesnya bisa dijadikan sebagai proses awal. Dikarenakan juga karena 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. Apabila air olahan mempunyai padatan yang ukuran seragam maka saringan yang digunakan adalah *single medium*. Jika ukuran beragam maka digunakan saringan *dual medium* atau *three medium* (Kusnaedi, 1995).

Pada pengolahan air baku dimana proses koagulasi tidak perlu dilakukan, maka air baku langsung dapat disaring dengan saringan jenis apa saja termasuk pasir kasar. Karena saringan kasar mampu menahan material tersuspensi dengan penetrasi partikel yang cukup dalam, maka saringan kasar mampu menyimpan lumpur dengan kapasitas tinggi. Karakteristik filtrasi dinyatakan dalam kecepatan hasil filtrat. Masing-masing dipilih berdasarkan pertimbangan teknik dan ekonomi dengan sasaran utamanya, yakni menghasilkan filtrat yang murah dengan kualitas yang tetap tinggi.

2.7.2 Membran

Membran sudah sangat familiar digunakan untuk pengolahan air bersih, minum dan air buangan di Negara maju, seperti Amerika, Jepang, Singapura, Jerman dll. Hali ini dikarenakan penggunaan membrane sangat ramah lingkungan. Membrane merupakan sekat yang bersifat selektif permeable yang bias memisahkan dua fasa. Pada dasarnya pemisahan membrane adalah berdasarkan ukuran partikelnya. Selain itu membrane juga dapat didefinisikan sebagai suatu media berpori berbentuk seperti tabung atau film tipis, bersifat semipermeabel (Widianto, Tri. Teknologi Membran dan Filtrasi)

Ditinjau dari bahannya membran terdiri dari bahan alami dan bahan sintetis. Bahan alami adalah bahan yang berasal dari alam misalnya pulp dan kapas, sedangkan bahan sintetis dibuat dari bahan kimia, misalnya polimer.

Membran berfungsi memisahkan material berdasarkan ukuran dan bentuk molekul, menahan komponen dari umpan yang mempunyai ukuran lebih besar dari pori-pori membran dan melewatkan komponen yang mempunyai ukuran yang lebih kecil. Larutan yang mengandung komponen yang tertahan disebut konsentrat dan larutan yang mengalir disebut permeat. Filtrasi dengan menggunakan membrane selain berfungsi sebagai sarana pemisahan juga berfungsi sebagai sarana pemekatan dan

pemurnian dari suatu larutan yang dilewatkan pada membrane tersebut. Beberapa keunggulan teknologi membran:

- Pemisahan dapat dilakukan secara continue
- Konsumsi energi umumnya relatif rendah
- Proses membran dapat dengan mudah digabungkan dengan proses pemisahan lainnya (*hybrid processing*)
- Pemisahan dapat dilakukan dengan kondisi operasi yang dapat diatur
- Tidak memerlukan bahan tambahan
- Pemakaiannya mudah diadaptasikan karena material penyusun membran yang bervariasi

Kekurangan teknologi ini antara lain adalah fluks dan selektivitas, karena pada proses pemisahan menggunakan membran umumnya fenomena yang terjadi adalah fluks berbanding terbalik dengan selektivitas. Semakin tinggi fluks sering kali berakibat menurunnya selektivitas, dan sebaliknya. Sedangkan yang diinginkan dalam proses pemisahan berbasis membran adalah mempertinggi fluks dan selektivitas. Proses pemisahan dengan membran yang memakai gaya dorong berupa beda tekan umumnya dikelompokkan menjadi empat jenis, diantaranya *Mikromembran*, *Ultramembran*, *Nanomembran* dan *Reverse Osmosis*.

a. Karakteristik Membran

1. Kandungan Air

Kandungan air merupakan tingkat kemampuan membran untuk menyerap air, yang dapat ditentukan dengan persamaan :

$$H = \frac{W_{mb} - W_{mk}}{W_{mb}} \times 100\%$$

Dimana :

W_{mb} : Berat Membran Basah (gr)

W_{mk} : Berat Membran Kering (gr)

H : Kandungan Air (%)

2. Ukuran dan Jumlah Pori

Pada proses menggunakan membran, ukuran dan jumlah pori merupakan faktor yang harus dipertimbangkan. Ukuran pori akan menentukan sifat Selektifitas membran yaitu kemampuan dari membran untuk menahan molekul-molekul zat terlarut, sehingga tidak ada yang lolos menembus pori membran. Sedangkan jumlah pori menentukan sifat Permeabilitas membran yaitu kemudahan membran untuk melewatkan molekul - molekul air, dimana jika Permeabilitas membran yang dihasilkan tinggi, maka membran layak digunakan (Mulder, 1995).

3. Ketebalan Membran

Merupakan salah satu karakteristik membran yang diukur untuk mengetahui laju permeasi membran.

4. Luas Membran

Dibuat disesuaikan dengan alat yang digunakan, dimana pengukuran panjang dan lebar membran dapat dengan manual.

b. Kinerja Membran

Kinerja membrane atau efisiensi membrane dapat ditentukan oleh dua parameter, yaitu fluks dan rejeksi. (Mulder, 1996).

1. Fluks Volume (J_v)

Didefinisikan sebagai zat yang dapat menembus membran tiap satuan luas membran persatuan waktu. Dimana fluks dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$J_v = \frac{V}{A \cdot t}$$

Dimana :

J_v : Fluks Volume

A : Luas Permukaan

V : Volume Permeat

t : Waktu Proses

2. Rejeksi

Rejeksi menunjukkan besarnya kandungan garam yang tertahan pada permukaan membran yang tidak menembus membran dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$R = \left(1 - \frac{C_p}{C_f}\right) \times 100\%$$

Dimana :

R : Rejeksi (%)

Cp : Konsentrasi Solute dalam Permeat (ppm)

Cf : Konsentrasi Solute dalam Umpan (ppm)

Jika koefisien rejeksi yang diperoleh cukup besar, maka air bersih yang dihasilkan cukup murni (Mulder, 1996).

c. Faktor- Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Membran

Pembuatan membran mempunyai spesifikasi khusus tergantung untuk apa membran tersebut digunakan dan spesifikasi apa produk yang diharapkan. Beberapa faktor yang mempengaruhi dalam penggunaan membran diantaranya sebagai berikut (A.J. Hartomo) :

a. Ukuran Molekul

Ukuran molekul membran sangat mempengaruhi kinerja membran. Pada pembuatan mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi mempunyai spesifikasi khusus. Sebagai contoh untuk membran protein kedele yang dihidrolisis menggunakan ukuran membrane 5000 MWCO, 10.000 MWCO dan 50.000 MWCO.

b. Bentuk Molekul

Bentuk dan konfigurasi macromolekul mempunyai efek pada kekuatan ion, temperature dan interaksi antar komponen. Perbedaan bentuk ini khusus pada kondisi dibawah permukaan

membrane. Hal ini dapat terlihat dalam penggunaan membrane pada protein dan dextrin.

c. Bahan Membran

Perbedaan bahan membran akan berpengaruh pada hasil rejection dan distribusi ukuran pori. Sebagai contoh membrane dari polysulfone dan membrane dari selulosa asetat, kedua membran ini menunjukkan rendahnya deviasi antara kedua membrane dan ini mempunyai efek pada tekanan membran. Selain itu mempunyai efek pada tingkat penyumbatan (fouling) pada membrane.

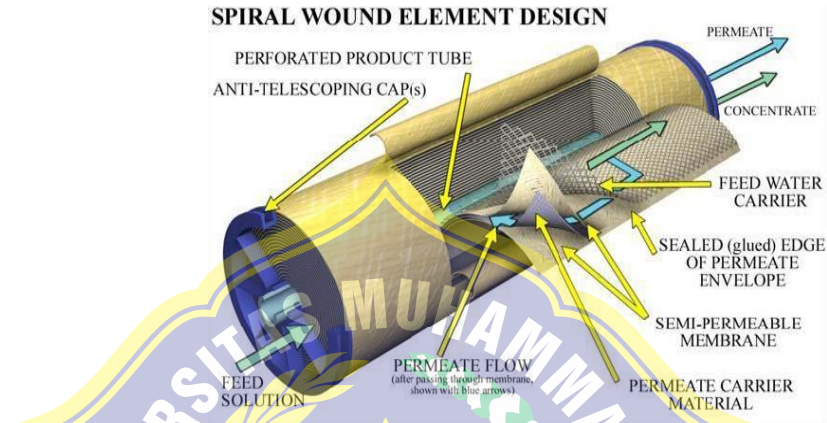
d. Karakteristik Larutan

Pada umumnya berat molekul larutan garam dan gula mempunyai berat molekul yang kecil dari ukuran pori membran. Karakteristik larutan ini mempunyai efek pada permeability membrane.

e. Parameter operasional

Jenis parameter yang digunakan pada operasional umumnya terdiri dari tekanan membran, permukaan, temperature dan konsentrasi serta parameter tambahan adalah : pH, ion strength dan polarisasi. Jenis parameter yang digunakan pada operasional umumnya terdiri dari tekanan membran, permukaan membran, temperature dan konsentrasi serta parameter tambahan adalah : pH, kekuatan ion dan polarisasi.

Membran memiliki bagian-bagian yang dapat dilihat pada dibawah ini:



Gambar 2.1 Bagian-bagian membran

Teknik pemisahan menggunakan membran umumnya berdasarkan ukuran partikel dan berat molekul dengan gaya dorong berupa beda tekan, medan listrik, dan beda konsentrasi. Proses pemisahan dengan membran yang memakai gaya dorong berupa beda tekan umumnya dikelompokkan menjadi tiga jenis, diantaranya *Mikromembran*, *Ultramembran*, dan *Reverse Osmosis*.

Tabel 2.1 Perbandingan *Reverse Osmosis* (RO), Ultrafiltrasi, dan Mikrofiltrasi

Reverse Osmosis (RO)	Ultrafiltrasi (UF)	Mikrofiltrasi (MF)
Perlu perlakuan koloid	Beroperasi pada air berkoloid	Cepat fouling karena koloid
Tekanan tinggi (10-30 Bar)	Tekanan rendah (1-6 Bar)	Tekanan rendah (2-6 Bar)
Energi tinggi	Energi rendah	Energi rendah
Recovery rendah (50-80 %)	Recovery hingga 95%	Recovery 100%
Toleransi PH 2-11	Toleransi PH 1-13	Toleransi PH 1-13
Suhu operasi maksimal 40°C	Suhu sampai 80°C	Dapat dengan suhu tinggi

Sumber : Hartomo. A.J 2006

2.7.3 Membran *Reverse Osmosis*

Reverse Osmosis atau RO adalah perpindahan air melalui satu tahap ketahap berikutnya yakni bagian yang lebih encer ke bagian yang lebih pekat. Teknologi *reverse osmosis* banyak dimanfaatkan manusia untuk berbagai keperluan, salah satunya adalah untuk teknologi pengolahan air minum. Salah satu ciri utama *reverse osmosis system* adalah dengan adanya membran (semipermeable membrane).

Proses *reverse osmosis* menggunakan tekanan tinggi agar air bisa melewati membran, di mana kerapatan membran reverse osmosis ini adalah 0,0001 mikron (satu helai rambut dibagi 500.000 bagian). Jika air mampu melewati membrane *reverse osmosis*, maka air inilah yang akan digunakan, tapi jika air tidak bisa melewati membran semipermeable maka akan terbuang pada saluran khusus. Sebelum melewati membran, proses kerja sistem

reverse osmosis melalui beberapa tahap penyaringan antara lain cartridge (sedimen), karbon blok, karbon granular. Perbedaan yang paling jelas sistem *reverse osmosis* dengan pengolahan air yang lain adalah sistem *reverse osmosis* ada 2 hasil karena air yang memiliki kepekatan di atas 15 ppm akan terbuang menjadi limbah dan pengolahan lain 1 hasil.

Kriteria unjuk kerja membran bisa dilihat dari derajat impermeabilitas, yaitu seberapa baik membran menolak aliran dari larutan pekat dan dari derajat permeabilitasnya, yaitu berapa mudahnya material murni melalui aliran menembus membran. Membran selulosa astat merupakan bahan membran yang baik dari segi impermeabilitas dan permeabilitasnya. Bahan membrane lainnya yaitu etyl-cellulose, polyvinyl alcohol, methyl polymetharcylate dan sebagainya.

Beberapa sistem reverse-osmosis yang sering dipergunakan, yaitu:

1. Tubular, dibuat dari keramik, karbon atau beberapa jenis plastik berpori. Bentuk tubular ini mempunyai diameter bagian dalam (*inside diameter*) yang bervariasi antara 1/8" (3,2mm) sampai dengan sekitar 1" (25,4mm).
2. *Hollow fibre*
3. *Spiral wound*
4. *Plate and frame*

Pada proses pemisahan menggunakan RO, membran akan mengalami perubahan karena memampat dan menyumbat (fouling). Pemampatan atau fluks merosot itu serupa dengan perayapan plastik/logam ketika terkena beban tegangan kompresi. Makin besar tekanan dan suhu biasanya membran makin mampat dan menjadi tidak reversible. Normalnya membran bekerja pada suhu 21-35 derajat Celcius. Fouling membran dapat diakibatkan oleh zat-zat dalam air baku seperti kerak, pengendapan koloid, oksida logam, bahan organik dan silika. Oleh sebab itu cairan yang masuk ke proses reverse-osmosis harus terbebas dari partikel-partikel besar agar tidak merusak membran. Pada prakteknya, cairan sebelum masuk ke proses reverse-osmosis dilakukan serangkaian pengolahan terlebih dahulu, biasanya dilakukan pretreatment dengan koagulasi dan flockulasi yang dilanjutkan dengan adsorpsi karbon aktif dan mikrofiltrasi.

Pada suatu saat membran akan mengalami kotor, akibat dari adanya material material yang tidak bisa lewat. Hal ini yang menyebabkan tersumbatnya membran. Kotoran yang terbentuk gumpalan kotoran, kerak atau hasil proses hidrolisa. Untuk mengembalikan kondisi semula dilakukan pembersihan dengan menggunakan larutan pembersih yang khusus. Bahan ini bisa melarutkan kotoran tetapi tidak merusak membran yang biasanya terbuat dari enzim. Proses pencucian

dilakukan dengan meresirkulasi larutan pencuci ke membran selama kurang lebih 45 menit.

Dibandingkan dengan sistem pengolahan air minum seperti sistem ultra violet, perebusan, sedimentasi, ozonisasi dan pengolahan air minum lainnya, teknologi pengolahan air sistem *reverse osmosis* adalah sistem pengolahan air minum terbaik untuk menghasilkan air minum bersih, steril dan sehat. Kelebihan air hasil dari sistem *reverse osmosis* adalah bebas dari semua bahan pencemar air seperti virus, bakteri, bahan kimia dan logam berat. Dengan kualitas air yang baik maka sistem *reverse osmosis* memberikan jawaban atas tingginya pencemaran air sekarang ini, sekaligus mampu memenuhi kebutuhan akan air bersih dan sehat. Keuntungan metode *reverse osmosis* berdasarkan kajian ekonomi antara lain:

- Untuk umpan dengan padatan terlarut total di bawah 400 ppm, *reverse osmosis* merupakan perlakuan yang murah.
- Untuk umpan dengan padatan terlarut total di atas 400 ppm, dengan perlakuan awal penurunan padatan terlarut total sebanyak 10% dari semula, *reverse osmosis* lebih menguntungkan dari proses deionisasi.
- Untuk umpan dengan konsentrasi padatan terlarut total berapapun, disertai dengan kandungan organik lebih dari 15 g/l, *reverse osmosis* sangat baik untuk praperlakuan proses deionisasi.

- *Reverse osmosis* sedikit berhubungan dengan bahan kimia sehingga lebih praktis.

Jenis – jenis membran reverse osmosis terbagi menjadi 2, yaitu:

1. CTA membran - triasetat selulosa

Membran ini memiliki daya saring yang lebih rendah di bandingkan dengan membran *Thin Film Composite* (TFC) karena pada membran ini membutuhkan proses awal untuk air umpan dan juga pada membran ini lebih rentan terkena bakteri.

2. Thin film composite TFC membrane (Film Tipis Komposit)

Membran *reverse osmosis* terbuat dari bahan *Poly Amide*. Membran TFC yang mempunyai daya saring membran $0.01 - 0.1 \mu\text{m}$ berfungsi menyaring bahan dalam air seperti: bakteri, virus penyebab penyakit, desinfektan penyebab iritasi pada rongga mulut dan sesak napas, zat peluntur yang menyebabkan inflamasi rongga mulut, senyawa kimia beracun (*potassium chlorate*, *cyanide bromide*) penyebab gangguan ginjal, zat pewarna penyebab gangguan liver, syaraf dan ginjal, garam penyebab darah tinggi, logam berat (arsenik, plumbum, kadmium, merkuri, tembaga, seng, besi) penyebab

gangguan syaraf, ginjal, kelenjar, sistem pencernaan dan darah.

Kelebihan Membran Thin Film Composite (TFC) :

- Mampu mennghilangkan senyawa–senyawa yang dapat menyebabkan penyakit.
- Mudah dioperasikan & energy rendah
- Dapat dioperasikan pada Air dengan Asam dan Basa tinggi (PH 2 – 11) dan suhu maksimal 45°C & tahan terhadap TDS yang tinggi.

Tabel 2.2 Perbandingan Jenis Membran Reverse Osmosis (RO)

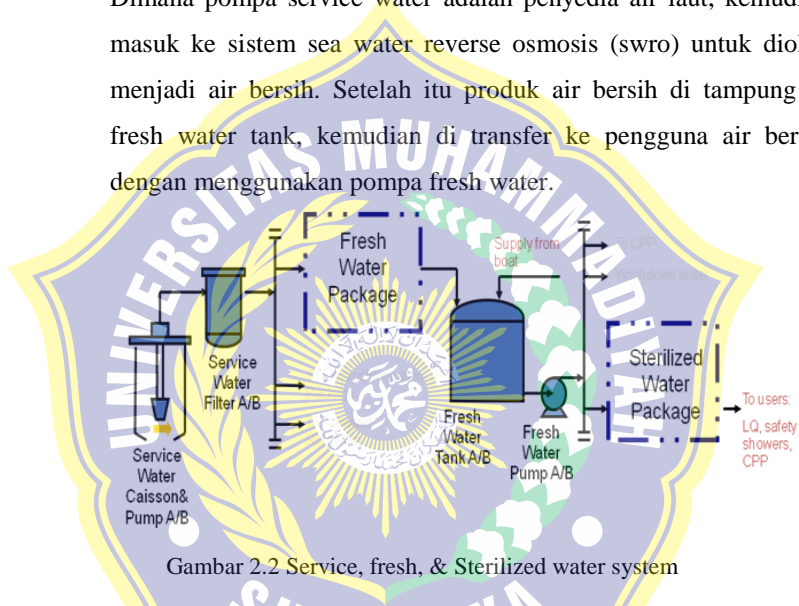
Jenis Membran	(TCA)	(TFC)
Penolakan Organik	L	H
Penolakan Organik Berat	M	H
Molekul Rendah	M	H
Fluk Air	4-8	2-11
Toleransi pH	Mak 35°C	Mak 45°C
Stabilitas Temperatur	H	L
Ketahanan Oksidan Bebas	H	L
Mis : Chlorin	H	L
Kecendrungan Pematatan	L	H
Biodegradasinya	H	L
Biaya	L	H

Keterangan : H = High, L = Low, M = Medium

2.8 Proses Pengolahan Air Bersih di PT. XYZ

2.8.1 Sistem Layanan dan pengolahan Air Bersih (Service, fresh, & Sterilized water system)

Ini adalah proses dari pengolahan air bersih mulai dari air laut. Dimana pompa service water adalah penyedia air laut, kemudian masuk ke sistem sea water reverse osmosis (swro) untuk diolah menjadi air bersih. Setelah itu produk air bersih di tampung di fresh water tank, kemudian di transfer ke pengguna air bersih dengan menggunakan pompa fresh water.

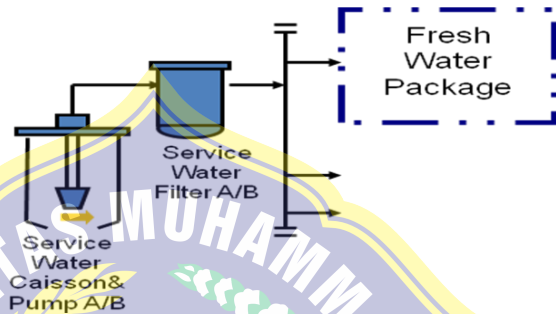


Gambar 2.2 Service, fresh, & Sterilized water system

2.8.2 Service Water Pump (Pompa Layanan Air)

Pompa angkat air laut digunakan untuk mengirimkan air laut dari posisi rendah. Pompa pengangkat air laut ini sangat populer di industri lepas pantai laut. Air laut adalah cairan penting dalam proses platform produksi minyak lepas pantai karena digunakan di

banyak sirkuit, seperti pendinginan dan reinjeksi ke dalam sumur, dan juga digunakan untuk pemadam kebakaran, desalinasi dan tujuan lainnya.

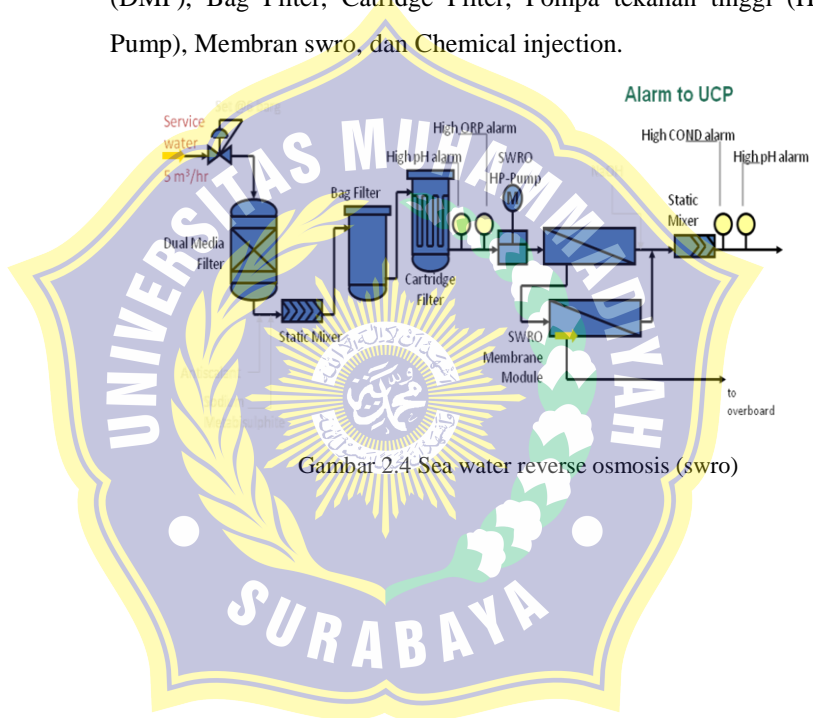


Gambar 2.3. Service water system

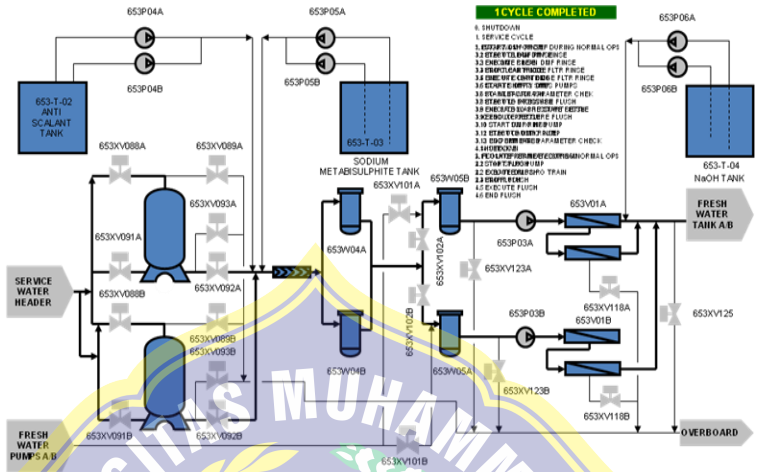
- Service Water Pump
 - Electrical motor driven Pump, FLOWSERVE model 60-WUJ-2R
 - Capacity : 27 m³/hr (2x100%)
 - Discharge pressure 12 barg (@discharge flange)
- Service Water Filter
 - ISLIP Flow Controls Inc. model B150FSBDW1
 - Remove particle >100 microns, manual backwashable
 - Capacity : 27 m³/hr (2x100%)

2.8.3 Sea Water Reverse Osmosis (swro)

swro ini adalah unit pengolahan air bersih di PT.XYZ, dimana air laut setelah melewati service water filter kemudian masuk ke unit swro untuk di olah menjadi air bersih. Dimana di dalam unit ini terdapat beberapa komponen, antara lain Dual Media Filter (DMF), Bag Filter, Catridge Filter, Pompa tekanan tinggi (HP Pump), Membran swro, dan Chemical injection.



Gambar 2.4 Sea water reverse osmosis (swro)



Gambar 2.5 Complete Sea water reverse osmosis (swro)

■ Fresh Water Package

- Package Vendor : METITO
- Capacity : 2 x 5 m³/hr (inlet), 2 x 1 m³/hr (outlet)

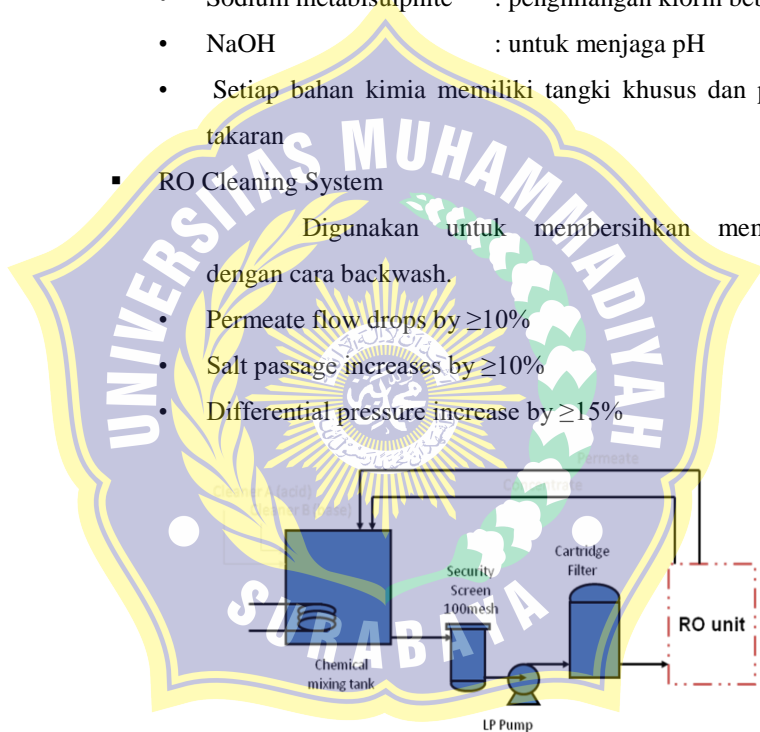
Komponen Utama :

■ Dual Media Filters (DMF)

- DMF : Antrasit dan Pasir, didukung oleh Kerikil, Untuk menghilangkan materi yang tersuspensi dan kekeruhan dalam air laut
- Kapasitas : 5 m³/hr (2x100%, 1 duty 1 standby)
- Tingkat Filtrasi : 200 micron

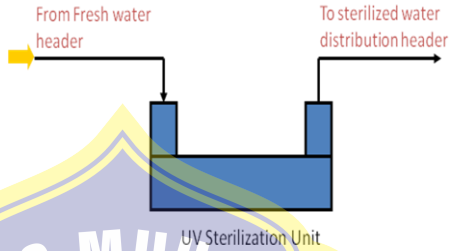
- Operasi P / T : 5 barg / 30 °C
- Bag Filters
 - Bag Filter bekerja berdasarkan prinsip mikrofiltrasi, Air laut tersebut dimurnikan dalam kantong dengan melewati pori-pori permeabel kecil.
 - Kapasitas : 5m³/hr(2x100%,1duty1 standby)
 - Tingkat Filtrasi : 10 micron
 - Operasi P / T : 5 barg / 30 °C
- Cartridge Filters
 - Kapasitas : 5 m³/hr (2x100%, 1 duty 1 standby)
 - Tingkat Filtrasi : 5 micron
 - Operasi P / T : 5 barg / 30 °C
- SWRO HP-Pumps
 - Kapasitas : 5 m³/hr (2x100%, 1 duty 1 standby)
 - Type : axial piston
 - Motor rating : 15 kW
 - Suction/Discharge : 5 barg / 48 barg
- SWRO Membrane Module
 - Kapasitas : 1 m³/hr (2x100%, 1 duty 1 standby)
 - Recovery : 20%
 - Padatan terlarut : < 500 ppm
 - Inlet/Permeate P : 48 barg / 0.7 barg
 - Kontrol Parameter air umpan: pH, residu klorin bebas, kekeruhan, indeks kepadatan lumpur.

- Kontrol Parameter kualitas air penyerap: konduktivitas
- Chemicals
 - Antiscalant : untuk mencegah pengendapan garam larut (menghambat pembentukan kerak pada membran)
 - Sodium metabisulphite : penghilangan klorin bebas
 - NaOH : untuk menjaga pH
 - Setiap bahan kimia memiliki tangki khusus dan pompa takaran
- RO Cleaning System
 - Digunakan untuk membersihkan membrane dengan cara backwash.
 - Permeate flow drops by $\geq 10\%$
 - Salt passage increases by $\geq 10\%$
 - Differential pressure increase by $\geq 15\%$



Gambar 2.6 RO cleaning system

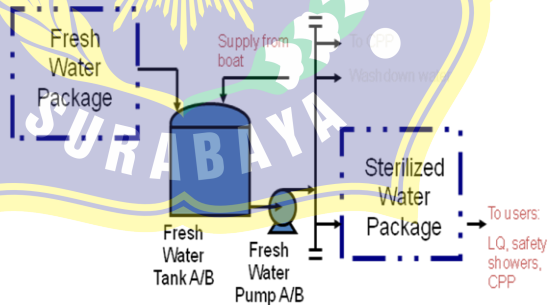
- UV Sterilization Package
 - Package Vendor : METITO
 - Kapasitas : 2 x 15 m³/hr(1 duty,1 standby)
 - Operasi P/T : 7 barg/ 30°C



Gambar 2.7 UV Sterilization Unit

2.8.4 Fresh Water Pump & Tank

Setelah melalui treatment di swro, kemudian produk di tampung di tangki penampungan air bersih untuk di distribusikan dengan pompa ke pengguna.



Gambar 2.8 Fresh water Tank & Pump

▪ Fresh Water Tank

- Kapasitas : 21 m³ (2x100%)

▪ Fresh Water Pump

- Manufacturer : FLOWSERVE
- Model : 50-32CPX-250
- Kapasitas : 25m³ (2x100%, 1duty1standby)
- Discharge P : 7 barg
- Motor Rating : 15 kW

