

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

1.1. Air Kemasan

Kementerian Perindustrian Republik Indonesia melalui Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 96/M-INDN/PER/12/2011 mendefinisikan Air Kemasan atau juga dapat disebut Air Minum Dalam Kemasan (AMDK), yaitu air yang telah diproses, tanpa bahan pangan lainnya dan bahan tambahan pangan, dikemas, serta aman untuk diminum. Air minum dalam kemasan yang aman, harus memenuhi persyaratan air minum dalam kemasan yang telah ditetapkan.

Persyaratan kualitas air minum mineral kemasan sebagaimana yang telah ditetapkan Kementerian Kesehatan Republik Indonesia melalui Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010 tentang persyaratan kualitas air minum, meliputi persyaratan bakteriologis, kimiawi, dan fisik. Syarat mutu Air mineral sesuai Tabel 1 di bawah ini :

Tabel 1. Parameter pada persyaratan kualitas air minum menurut Permenkes RI Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010

No.	Jenis Parameter	Satuan	Kadar maksimum yang diperbolehkan
1	Parameter yang berhubungan langsung dengan kesehatan		
	a. Parameter Mikrobiologi		
	1) E.Coli	Jumlah per 100 ml sampel	0
	2) Total Bakteri Koliform	Jumlah per 100 ml sampel	0
	b. Kimia an-organik		
	1) Arsen	mg/l	0,01
	2) Flourida	mg/l	1,5
	3) Total Kromium	mg/l	0,05
	4) Kadmium	mg/l	0,003
	5) Nitrit	mg/l	3
	6) Nitrat	mg/l	50
	7) Sianida	mg/l	0,07
	8) Selenium	mg/l	0,01

No.	Jenis Parameter	Satuan	Kadar maksimum yang diperbolehkan
2	Parameter yang tidak langsung berhubungan dengan kesehatan		
	a. Parameter Fisik		
	1) Bau		Tidak Berbau
	2) Warna	TCU	15
	3) Total zat padat terlarut (TDS)	mg/l	500
	4) Kekeruhan	NTU	5
	5) Rasa		Tidak Berasa
	6) Suhu	°C	Suhu udara + 3
	b. Parameter Kimiawi		
	1) Aluminium	mg/l	0,2
	2) Besi	mg/l	0,3
	3) Kepadatan	mg/l	500
	4) Chlorida	mg/l	250
	5) Mangan	mg/l	0,4
	6) pH	mg/l	6,5 – 8,5
	7) Seng	mg/l	3
	8) Sulfat	mg/l	250
	9) Tembaga	mg/l	2
	10) Amonia	mg/l	1,5

Sumber : SK Permenkes Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010

1.2. Jenis-Jenis Air Kemasan

Perusahaan produsen air kemasan terkemuka yaitu Nestlé Waters yang berbasis di Stamford, Connecticut, Amerika Serikat mengklasifikasikan jenis-jenis air kemasan. Berikut beberapa jenis-jenis air kemasan berdasarkan tipe-tipe air minum yang dijual dipasaran (Nestlé, 2019).

1. Air kemasan bersumber dari mata air

Mata air berasal dari formasi bawah tanah dan secara alami harus mengalir ke permukaan bumi. Air dikumpulkan di permukaan atau, seperti beberapa merek Nestlé Waters, melalui lubang bor yang memungkinkan akses ke air di bawah tanah. Ketika ditarik untuk pembotolan, mata air perlu mempertahankan karakter asli dan alami yang mendefinisikan arti sesungguhnya mata air yaitu sumber air murni. Sumber dipantau dengan cermat untuk konsistensi, kualitas, dan keamanan yang ketat.

2. Air kemasan bersumber dari air murni

Air murni telah diolah dengan proses khusus untuk menghilangkan kotoran. Sumber air yang akan dimurnikan (Sumber air sumur atau PDAM kota) dan jenis prosedur pemurnian dapat bervariasi seperti distilasi, deionisasi, *reverse osmosis*, dan penyaringan adalah beberapa perlakuan proses pemurnian standar yang dapat memenuhi standar hukum regulasi lembaga yang ditunjuk pemerintah dalam hal ini Badan Pengawas Obat dan Makanan.

3. Air kemasan berkarbonasi

Air berkarbonasi menjadi semakin populer di AS. Air berkarbonasi yang tersedia di rak-rak toko adalah hasil dari karbonasi yang ditambahkan atau melalui mata air yang mengandung karbonasi. Umumnya, label dagang menyebutkan sumber air, misalnya: "mata air berkilau" atau "air mineral berkilau." Air berkarbonasi sekilas mirip soda, namun tanpa kalori. Air kemasan bersoda dapat diberi label sebagai air minum berkilau, air mineral berkilau atau air mata air bersoda.

4. Air kemasan mineral

Air kemasan mineral berasal dari sumber air bawah tanah, mirip dengan mata air namun hanya bisa disebut "air mineral" jika memiliki minimum 250 PPM total padatan terlarut (TDS). TDS adalah mineral dan sejumlah kecil bahan organik terlarut dalam air. Setelah dikemas dalam botol, level TDS harus tetap sama. Mineral tidak dapat ditambahkan secara artifisial. Jika kandungan TDS air mineral di bawah 500 ppm, maka pihak produsen akan mencantumkan "kandungan mineral rendah" pada label produk mereka.

1.3. Air Minum Kemasan Beroksigen

Air Minum Beroksigen adalah minuman yang telah dicampurkan atau memiliki kandungan oksigen terlarut dalam air. Hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa kadar oksigen dalam air minum beroksigen dapat mencapai 10 kali lipat kadar oksigen jenuh pada air yang tanpa melalui proses penambahan oksigen. Air secara alamiah sudah mengandung oksigen sebanyak 10 ppm. Pada suhu lebih rendah, kadar oksigen dapat meningkat hingga maksimal 30 ppm.

Air kemasan beroksigen dalam kemasan sesungguhnya adalah air murni yang diberi tambahan oksigen dengan cara memberikan tekanan dan suhu tertentu,

namun oksigen terlarut dalam air tidak dapat bertahan lama. Oksigen mampu menembus botol kemasan plastik sekalipun (polimer) yang berpori halus sekali pun, oleh karena itu kandungan oksigen terlarut dalam air kemasan yang dibeli dengan harga yang relatif mahal akan kembali menjadi air minum biasa kembali sehingga dianjurkan jangan terlalu lama menyimpan air beroksigen.

Minuman beroksigen adalah air minum penambah oksigen yang dibuat secara khusus dengan tekanan dan suhu tertentu yang memungkinkan air itu mampu menangkap oksigen lebih banyak. Berkat kemajuan teknologi pangan, oksigen kini tak lagi hanya dapat dihirup, akan tetapi oksigen sekarang dapat suplai melalui sistem pencernaan (Pakdaman, 1967).

Oksigenasi air merupakan suatu proses penambahan oksigen ke dalam air. Penambahan ini menggunakan prinsip kelarutan oksigen dalam air (*dissolved oxygen*). Kelarutan oksigen dalam air bergantung pada interaksi antara molekul gas oksigen dengan molekul air (Pakdaman, 1967).

Oksigenasi air memiliki beberapa fungsi sebagai berikut:

- Produksi air sebagai terapi dalam penyembuhan beberapa penyakit .
- Mengurangi jumlah nitrat dalam air dibutuhkan untuk metabolisme beberapa mikroorganisme tertentu dalam air.
- Memberikan pengaruh terhadap perkembangan bakteri probiotik bagi tubuh.

Tujuan penambahan oksigen ke dalam air yaitu mempermudah penguraian atau penghilangan kadar logam berat serta zat kimiawi lainnya yang terkandung dalam air. Pada kondisi normal, oksigen diserap oleh paru-paru melalui sistem pernafasan. Selain itu, tubuh manusia dapat menangkap oksigen dari pencernaan melalui difusi.

Air oksigen sebagai produk air mineral atau air minum yang telah diperkaya dengan oksigen. Hal ini berarti bahwa kandungan oksigen dalam air tersebut juga akan masuk ke dalam aliran darah dan memberikan pengaruh yang positif untuk kesehatan tubuh. Berikut beberapa pengaruh air oksigen bagi tubuh (Juliarti, 2018).

1. Mendorong Proses pembentukan energi

Tubuh manusia memerlukan manfaat oksigen untuk membentuk energi yang dilepaskan dalam darah, baik dari makanan maupun

minuman. Proses pelepasan energi dengan bantuan oksigen inilah yang disebut dengan respirasi aerobik. Jadi mengkonsumsi air beroksigen diharapkan mampu membantu tubuh memenuhi jumlah oksigen dalam darah sehingga bisa mendorong pembentukan energi yang lebih cepat.

2. Menjaga kekebalan tubuh

Berbagai jenis penyakit bisa menyerang sistem kekebalan tubuh akibat infeksi dari bakteri, parasit, virus, kuman dan berbagai sumber penyakit lain. Oksigen yang terdapat dalam air beroksigen mampu membantu tubuh untuk memproduksi antibodi yang bisa menyerang sumber penyakit dalam tubuh. Pengkonsumsian air beroksigen membantu tubuh menyerap oksigen lebih banyak sehingga tubuh menjadi lebih sehat dan sistem kekebalan tubuh yang baik karena aliran darah yang sehat dan kebutuhan oksigen tercukupi, air beroksigen bahkan dipercaya mampu meningkatkan produksi bakteri baik dalam tubuh yang ikut membantu memerangi bakteri jahat.

3. Pendamping makanan bagi tubuh

Manfaat air oksigen atau air yang diolah dengan diperkaya oksigen akan membantu tubuh menghasilkan energi dengan lebih cepat. Bahkan jika dibandingkan dengan jenis minuman khusus berenergi yang dirancang untuk mendorong produksi energi. Tubuh dan aliran darah hanya membutuhkan oksigen untuk menghilangkan rasa lelah dan kurang konsentrasi akibat kekurangan oksigen.

4. Membantu memperlancar metabolisme

Berbagai jenis makanan dan minuman yang dikonsumsi masuk ke dalam tubuh memang sangat penting bagi kesehatan, tetapi jika proses pencernaan tidak berjalan dengan baik maka tentu akan sangat merepotkan dan membebani kinerja organ tubuh. Jika hal ini terjadi secara terus menerus dalam jangka waktu yang lama, maka dikhawatirkan potensi penyakit akan lebih mudah muncul. Air yang kaya dengan kandungan oksigen akan mendorong sistem pencernaan karena bisa membantu melancarkan proses metabolisme dalam tubuh. Air

beroksigen juga bisa membantu menetralsir berbagai bahan makanan yang sebenarnya tidak diperlukan oleh tubuh untuk dikeluarkan.

1.3.1. Kelarutan Oksigen dalam Air

Kelarutan oksigen dalam air atau *dissolved oxygen* (DO) merupakan kadar oksigen yang terlarut dalam air. Pada temperatur 0-2 °C kelarutan oksigen sekitar 30 ppm, sedangkan kelarutan CO₂ bisa mencapai 1700 ppm. Jika DO menurun sampai 3-5 ppm maka makhluk hidup air akan stress dan mati. DO dipengaruhi oleh dua faktor utama yaitu faktor biotik dan faktor abiotik. Faktor biotik dipengaruhi oleh tumbuhan, tanaman, dan alga yang ada di dalam perairan tersebut. Faktor biotik ini memengaruhi kelarutan oksigen baik dekomposisi oksigen oleh mikrobial, pengurangan kontak antara air dan udara serta kemampuan fotosintesis faktor biotik. Namun pengolahan air mensyaratkan air domestik dan air minum bebas dari mikroba serta alga. Oleh karena itu, faktor biotik perlu dieleminasi dalam penentuan DO di pengolahan air (Wetzel, 2001).

Sedangkan faktor abiotik yang memengaruhi kelarutan oksigen meliputi temperatur, tekanan, dan salinitas air.

- Efek temperatur

Kelarutan oksigen dalam air berkurang ketika temperatur meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur maka kelarutan oksigen semakin berkurang (Saputro, 2015).

- Efek salinitas air

Salinitas air menunjukkan konsentrasi garam yang terlarut dalam air. Kelarutan air akan berkurang secara eksponensial seiring kenaikan level salinitas air yang menunjukkan bahwa tekanan dan temperatur yang sama, air laut memiliki kelarutan oksigen yang lebih rendah (berkisar 20%) daripada air permukaan (Wetzel, 2001).

- Efek tekanan

Kelarutan oksigen akan meningkat seiring peningkatan tekanan. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi tekanan, kelarutan oksigen dalam air meningkat begitu pula sebaliknya. Tekanan semakin tinggi membuat molekul gas terpaksa masuk ke dalam larutan yang mengakibatkan jumlah fasa uap

berkurang dan jumlah fasa cair bertambah. Tekanan ini berkaitan dengan tekanan atmosferik dan tekanan hidrostatik.

Kelarutan oksigen berkurang sekitar 10% setiap peningkatan 1 m kedalaman air akibat pengaruh tekanan hidrostatik. Hal ini berakibat pada kelarutan oksigen pada kondisi jenuh di kedalaman 3 m (sebagai contoh) mengakibatkan kelarutan oksigen hanya 70% disbanding kelarutan oksigen di permukaan air. (Wetzel, 2001)

1.3.2. Metode Oksigenasi Air

Proses oksigenasi air dibagi menjadi dua cara yaitu oksigenasi natural dan oksigenasi buatan. Oksigenasi Natural meliputi difusi secara langsung dari udara dan hasil fotosintesis makhluk hidup dalam air. Sedangkan, oksigenasi buatan meliputi aerasi, injeksi oksigen dan injeksi ozon. Di oksigenasi natural, oksigen dapat masuk ke dalam air secara alami dengan berdifusi secara langsung dengan udara dan hasil dari fotosintesis tumbuhan dalam air. Kadar oksigen dalam air ini berkisar 4 - 6 ppm. Kadar oksigen dalam air tersebut cukup untuk berjalannya kehidupan di dalam air (Saputro, 2015).

Air hasil pemurnian secara *Mikro-Ultra Filtrasi* diinjeksi dengan oksigen dan disterilisasi dengan sinar ultra violet untuk menjamin air bebas dari cemaran mikroba. Setelah itu, air didinginkan terlebih dahulu untuk meningkatkan kelarutan oksigen dalam air. Oksigen yang digunakan adalah oksigen dengan tingkat kemurnian 99,6% yang biasa digunakan di rumah sakit (Saputro, 2015).

Proses selanjutnya adalah pengemasan. Setelah diberi oksigen, air ini dimasukkan ke dalam botol PET (*Poly Ethylene Terephthalate*) yang dirancang tebal dan langsung ditutup supaya kandungan oksigennya tetap terjaga. Botol didesain berwarna biru muda dengan volume 350 ml. Tutup botol akan dirancang khusus, yaitu berlapis ganda pada bagian dalam sehingga dapat menahan kebocoran oksigen (Saputro, 2015).

1.4. Oksigen Terlarut

Oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen = DO*) dibutuhkan oleh semua jasad hidup untuk pernapasan, proses metabolisme atau pertukaran zat yang kemudian menghasilkan energi untuk pertumbuhan dan pembiakan. Disamping itu, oksigen juga dibutuhkan untuk oksidasi bahan-bahan organik dan anorganik dalam proses

aerobik. Sumber utama oksigen dalam suatu perairan berasal dari suatu proses difusi dari udara bebas dan hasil fotosintesis organisme yang hidup dalam perairan tersebut (Salmin, 2000). Kecepatan difusi oksigen dari udara, tergantung dari beberapa faktor, seperti kekeruhan air, suhu, salinitas, pergerakan massa air dan udara seperti arus, gelombang dan pasang surut. Kadar oksigen dalam air laut akan bertambah dengan semakin rendahnya suhu dan berkurang dengan semakin tingginya salinitas. Pada lapisan permukaan, kadar oksigen akan lebih tinggi, karena adanya proses difusi antara air dengan udara bebas serta adanya proses fotosintesis (Odum, 1971).

Keperluan organisme terhadap oksigen relatif bervariasi tergantung pada jenis, stadium dan aktifitasnya. Kandungan oksigen terlarut (DO) minimum adalah 2 ppm dalam keadaan normal dan tidak tercemar oleh senyawa beracun (*toksik*). Kandungan oksigen terlarut minimum ini sudah cukup mendukung kehidupan organisme (Swingle, 1968). Idealnya, kandungan oksigen terlarut tidak boleh kurang dari 1,7 ppm selama waktu 8 jam dengan sedikitnya pada tingkat kejenuhan sebesar 70 % (Huet, 1970).

Oksigen memegang peranan penting sebagai indikator kualitas perairan, karena oksigen terlarut berperan dalam proses oksidasi dan reduksi bahan organik dan anorganik. Selain itu, oksigen juga menentukan jenis biologi yang dilakukan oleh organisme aerobik atau anaerobik. Dalam kondisi aerobik, peranan oksigen adalah untuk mengoksidasi bahan organik dan anorganik dengan hasil akhirnya adalah nutrisi yang pada akhirnya dapat memberikan kesuburan perairan. Dalam kondisi anaerobik, oksigen yang dihasilkan akan mereduksi senyawa-senyawa kimia menjadi lebih sederhana dalam bentuk nutrisi dan gas. Karena proses oksidasi dan reduksi inilah maka peranan oksigen terlarut sangat penting untuk membantu mengurangi beban pencemaran pada perairan secara alami maupun secara perlakuan aerobik yang ditujukan untuk memurnikan air buangan industri dan rumah tangga (Salmin, 2005).

Sebagaimana diketahui bahwa oksigen berperan sebagai pengoksidasi dan pereduksi bahan kimia beracun menjadi senyawa lain yang lebih sederhana dan tidak beracun. Disamping itu, oksigen juga sangat dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk pernapasan. Organisme tertentu, seperti mikroorganisme, sangat berperan

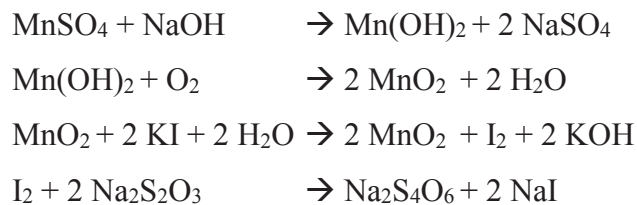
dalam menguraikan senyawa kimia beracun menjadi senyawa lain yang lebih sederhana dan tidak beracun. (Salmin, 2005).

1.5. Analisis Oksigen Terlarut

Oksigen terlarut dapat dianalisis atau ditentukan dengan 2 macam cara, yaitu :

1. Metoda titrasi dengan cara WINKLER

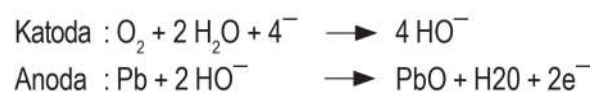
Metode ini ditemukan oleh Ludwig Wilhelm Winkler pada tahun 1888 sebagai materi disertasinya. Prinsipnya dengan menggunakan titrasi iodometri. Sampel yang akan dianalisis terlebih dahulu ditambahkan larutan $MnSO_4$ dan $NaOH - KI$, sehingga akan terjadi endapan MnO_2 . Dengan menambahkan H_2SO_4 atau HCl maka endapan yang terjadi akan larut kembali dan juga akan membebaskan molekul iodium (I_2) yang ekuivalen dengan oksigen terlarut. Iodium yang dibebaskan ini selanjutnya dititrasi dengan larutan standar natrium tiosulfat ($Na_2S_2O_3$) dan menggunakan indikator larutan amilum (kanji). Reaksi kimia yang terjadi dapat dirumuskan sebagai berikut :



Sumber : Winkler, 1888

2. Metoda elektrokimia

Cara penentuan oksigen terlarut dengan metoda elektrokimia adalah cara langsung untuk menentukan oksigen terlarut dengan alat DO meter. Prinsip kerjanya adalah menggunakan probe oksigen yang terdiri dari katoda dan anoda yang direndam dalam larutan elektrolit. Pada alat DO meter, probe ini biasanya menggunakan katoda perak (Ag) dan anoda timbal (Pb). Secara keseluruhan, elektroda ini dilapisi dengan membran plastik yang bersifat semi permeable terhadap oksigen (Salmin, 2005). Reaksi kimia yang akan terjadi adalah (Salmin, 2005) :



Aliran reaksi yang terjadi tersebut tergantung dari aliran oksigen pada katoda. Difusi oksigen dari sampel ke elektroda berbanding lurus terhadap konsentrasi oksigen terlarut (Salmin, 2005).

Penentuan oksigen terlarut (DO) dengan cara titrasi berdasarkan metoda WINKLER lebih analitis apabila dibandingkan dengan cara alat DO meter. Hal yang perlu diperhatikan dalam titrasi iodometri ialah penentuan titik akhir titrasinya, standarisasi larutan tiosulfat dan pembuatan larutan standar kalium dikromat yang tepat. Dengan mengikuti prosedur penimbangan kalium bikromat dan standarisasi tiosulfat secara analitis, akan diperoleh hasil penentuan oksigen terlarut yang lebih akurat. Sedangkan penentuan oksigen terlarut dengan cara DO meter, harus diperhatikan suhu dan salinitas sampel yang akan diperiksa (Salmin, 2005).

Peranan suhu dan salinitas ini sangat vital terhadap akurasi penentuan oksigen terlarut dengan cara DO meter. Disamping itu, sebagaimana lazimnya alat yang digital, peranan kalibrasi alat sangat menentukan akurasinya hasil penentuan. Berdasarkan pengalaman di lapangan, penentuan oksigen terlarut dengan cara titrasi lebih dianjurkan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat. Alat DO meter masih dianjurkan jika sifat penentuannya hanya bersifat kisaran (Salmin, 2005).

1.6. Membran dalam Pengolahan Air

Membran didefinisikan sebagai suatu media berpori, berbentuk film tipis, bersifat semipermeabel yang berfungsi untuk memisahkan partikel dengan ukuran molekuler (spesi) dalam suatu sistem larutan. Spesi yang memiliki ukuran yang lebih besar dari pori membran akan tertahan sedangkan spesi dengan ukuran yang lebih kecil akan lolos menembus pori membran (Kesting, 1985).

Membran didefinisikan sebagai suatu media berpori, berbentuk film tipis, bersifat semipermeabel yang berfungsi untuk memisahkan partikel dengan ukuran molekuler (spesi) dalam suatu sistem larutan. Spesi yang memiliki ukuran yang lebih besar dari pori membran akan tertahan sedangkan spesi dengan ukuran yang lebih kecil akan lolos menembus pori membran (Kesting, 1985).

Proses membran melibatkan umpan (cair dan gas), dan gaya dorong (*driving force*) akibat perbedaan tekanan (ΔP), perbedaan konsentrasi (ΔC) dan perbedaan

energi (ΔE). Proses pemisahan dengan membran dapat terjadi karena adanya gaya dorongan ($\Delta \rho$) yang mengakibatkan adanya perpindahan massa melalui membran. Berdasarkan fungsinya membran dibagi menjadi tujuh macam, yaitu membran yang digunakan pada proses reverse osmosis, ultrafiltrasi, mikrofiltrasi, dialisa, dan elektrodialisa (Wenten dkk, 2010).

Keunggulan membran dibandingkan dengan pengolahan secara konvensional dalam pengolahan air minum antara lain yaitu memerlukan energi yang lebih rendah untuk operasi dan pemeliharaan, desain dan konstruksi untuk sistem dengan skala kecil, peralatannya modular sehingga mudah discaleup dan tidak butuh kondisi ekstrim (temperatur dan pH tinggi). Walaupun demikian, membran mempunyai keterbatasan seperti terjadinya fenomena polarisasi konsentrasi, fouling, yang menjadi pembatas bagi volume air terolah yang dihasilkan dan juga keterbatasan umur membran (Wenten, 1996).

1.6.1. Struktur membran berdasarkan jenis pemisahan

1.6.1.1. Berdasarkan Morfologi

Dilihat dari segi morfologinya, membran dapat digolongkan dalam dua golongan (Kesting, 1985) yaitu :

a. Membran Asimetrik

Membran asimetrik adalah membran yang terdiri dari lapisan tipis yang merupakan lapisan aktif dengan lapisan pendukung dibawahnya. Ukuran dan kerapatan pori pada membran asimetrik tidak seragam, dimana ukura pori dibagian kulit lebih kecil dibanding bagian pendukung. Ketebalan lapisan tipis antara 0,2 – 1,0 μm dan lapisan pendukung sub-layer yang berpori degan ukuran antara 50-150 μm .

b. Membran Simetrik

Membran simetrik adalah membran yang mempunyai ukuran dan kerapatan pori yang seragam disemua bagian, tidak mempunyai lapisan kulit. Ketebalan membran simetrik berkisar antara 10-200 μm . Pada membran ultrafiltrasi terdiri dari struktur asimetrik dengan lapisan kulit yang rapat pada suatu permukaan. Struktur demikian mengakibatkan solut didalam umpan tertahan dipermukaan membran dan mencegah terjadinya penyumbatan didalam pori.

1.6.1.2. Berdasarkan Kerapatan Pori

Dilihat dari segi kerapatan pori, membran dapat digolongkan dalam dua golongan (Kesting, 1985) yaitu :

a. Membran tak berpori (rapat)

Membran rapat yang dimaksud disini adalah membran yang memiliki kulit yang rapat dengan ukuran pori mulai dari 0,001 μm bahkan dengan kerapatan yang lebih rendah. Membran ini sering digunakan untuk memisahkan campuran yang memiliki molekul-molekul berukuran kecil dengan BM yang rendah, sebagai contoh gas dan penguapan. Permeabilitas dan selektivitas membran ini ditentukan oleh sifat serta jenis polimer yang digunakan.

b. Membran berpori

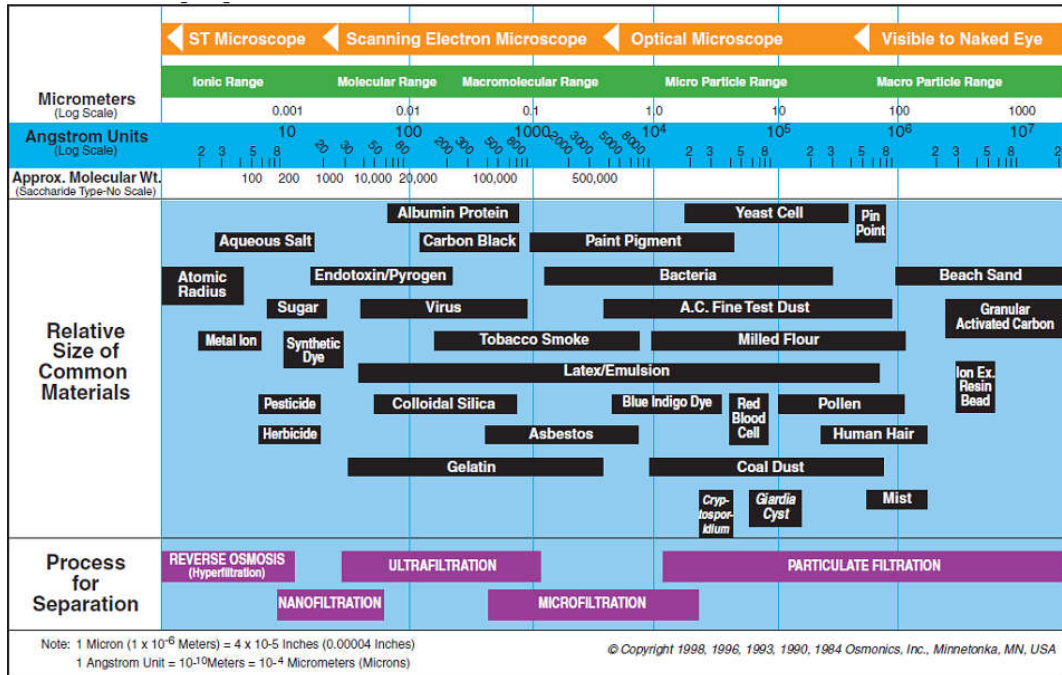
Membran ini mempunyai ukuran lebih besar dari 0,001 μm dan kerapatan pori yang lebih tinggi. Membran berpori ini sering digunakan untuk proses ultrafiltrasi, mikrofiltrasi dan filtrasi partikulat. Selektivitas membran ini ditentukan oleh sifat serta jenis polimer yang digunakan.

1.6.1.3. Berdasarkan Teknologi Membran dan Fungsi

Teknologi membran merupakan teknologi post-treatment yang masih terus mengalami perkembangan seiring kemajuan teknologi. Terlebih dengan perkembangan teknologi material yang selalu berusaha memproduksi bahan filter membran yang semakin optimum penggunaannya.

Secara sederhana, teknologi membran adalah proses filtrasi dengan media membran. Media filter konvensional yang sudah lazim diketahui dan digunakan adalah media pasir. Semakin kecil celah media filter yang dipakai, maka semakin banyak pula partikel yang tertahan, dengan kata lain kualitas air yang dihasilkan akan semakin baik (BRPAM DKI, 2014).

Secara umum, teknologi membran ini terbagi menjadi 4 golongan besar yaitu (berturut-turut dari yang memiliki pori besar ke pori terkecil) : Mikrofiltrasi, Ultrafiltrasi, Nanofiltrasi dan Reverse Osmosis. Berikut gambaran partikel yang mampu dipisahkan dengan teknologi membran pada gambar 1 berikut.



Gambar 1. Partikel-partikel yang mampu dipisahkan oleh teknologi membran (Badan Regulator PAM DKI, 2014)

Semakin kecil pori suatu membran, maka tentu saja akan membuat harga membran akan semakin mahal, dan tentu saja akan semakin bertambah energi yang digunakan untuk memompa air melewati media membran tersebut.

Proses pemisahan dengan membran dapat terjadi karena adanya gaya dorong dari pompa yang mengakibatkan adanya perpindahan massa melalui membran (Wenten, 1996)

1.6.2. Mikro Filtrasi

Mikrofiltrasi mempunyai prinsip kerja yang sama dengan ultrafiltrasi, hanya berbeda pada ukuran molekul yang akan dipisahkan. Pada mikrofiltrasi ukuran molekul yang akan dipisahkan 0,1-10 μm , karena itu proses mikrofiltrasi sering digunakan untuk menahan partikel-partikel dalam larutan suspensi (Mulder, 1996).

Ukuran partikel yang dapat dihilangkan dengan proses mikro filtrasi berkisar antara 0.1 sampai 7 μm . Aliran melalui membran mikropori dapat terjadi dengan menggunakan yang tekanan rendah, tetapi umumnya untuk aplikasi pengolahan air minum atau air limbah dilakukan dengan memberikan sedikit tekanan untuk meningkatkan produksi (*fluks*). Membran mikro filtrasi dapat menyaring atau menghilangkan partikel dengan ukuran sampai 0,1 – 0,2 μm (Bergman, 2005). Dalam hal ini mikro filtrasi dapat digunakan untuk menghilangkan kekeruhan, *alga*,

bacteria, cysta giardia, oocysta cryptosporodium dan seluruh material padatan. Mikro filtrasi sering juga digunakan untuk menghilangkan padatan tersuspensi atau koloid di dalam air limbah.

1.6.3. Ultra Filtrasi

Ultrafiltrasi adalah proses membran yang sifatnya berada di antara mikrofiltrasi dan nanofiltrasi. Ukuran pori membran yang digunakan berkisar antara 0,05 μm hingga 1 μm . Semua garam terlarut dan molekul yang lebih kecil akan melewati membran, sedangkan koloid, protein, kontaminan mikrobiologi, molekul organik berukuran besar akan tertahan. Ada dua produk dari ultrafiltrasi yaitu permeat yang mengandung komponen yang kecil yang sanggup melewati membran dan retentat yang mengandung endapan yang tertahan (Mulder, 1996)

Ultrafiltrasi (UF) merupakan proses pemisahan menggunakan membran dengan ukuran pori-pori berkisar antara 0,1-0,01 μm (mikron). Biasanya, membran UF akan menghilangkan kotoran dari zat yang mempunyai berat molekul tinggi, material koloid, serta molekul polimer organik atau anorganik. Zat organik dengan berat molekul rendah dan ion ion seperti natrium, kalsium, magnesium klorida, serta sulfat tidak dapat dipisahkan oleh membran UF karena hanya zat dengan berat molekul tinggi yang dapat dihilangkan atau dipisahkan, maka perbedaan tekanan osmotik di permukaan membran UF diabaikan (Said, 2009).

Ultrafiltrasi, seperti reverse osmosis, adalah proses pemisahan secara aliran lintas (*cross-flow*). Air yang akan diolah dialirkan secara tangensial ke sepanjang permukaan membran, sehingga menghasilkan dua aliran. Aliran air yang masuk dan meresap melalui membran disebut aliran air olahan (*permeate*). Jumlah dan kualitas air olahan akan tergantung pada karakteristik membran, kondisi operasi, serta kualitas air bakunya. Aliran lainnya yaitu aliran air buangan (*reject*) atau disebut *concentrate*, dimana di dalam aliran air buangan mengandung zat atau kotoran yang telah dipisahkan oleh membran sehingga konsentrasinya menjadi lebih pekat. Oleh karena itu di dalam pemisahan secara aliran silang (*cross-flow*), membran itu sendiri tidak bertindak sebagai kolektor ion, molekul, atau koloid tetapi hanya bertindak sebagai penghalang (Said, 2009).

Selama proses penyaringan dengan menggunakan filter konvensional, media penyaring atau filter cartridge, hanya menghilangkan padatan tersuspensi dengan

menjebak kotoran dalam pori-pori media filter. Oleh karena itu filter ini bertindak sebagai deposit dari padatan tersuspensi dan harus sering dibersihkan atau diganti. Filter konvensional umumnya digunakan untuk pengalihan awal sebelum proses pengolahan dengan sistem membran, yaitu untuk menghilangkan padatan tersuspensi yang relatif besar, sedangkan proses penyaringan dengan membran digunakan untuk menghilangkan partikel dan padatan terlarut.

Membran ultrafiltrasi (UF) memiliki peranan penting pada pengolahan air, baik air baku menjadi air minum maupun pengolahan air limbah. Hal ini disebabkan ukuran pori membran yang sangat kecil untuk bisa menahan (*mereject*) partikel-partikel kecil berukuran makromolekul hingga virus sekalipun dari larutan. Membran ini cocok diterapkan untuk memisahkan senyawa berberat molekul tinggi dari senyawa berberat molekul rendah atau memisahkan makromolekul dan koloid dari larutannya. Tekanan kerja yang dibutuhkan relatif besar yaitu 1-10 bar. Bahan ini terbuat dari selulosa diasetat dan selulosa triasetat. (Nasrul, 2002).

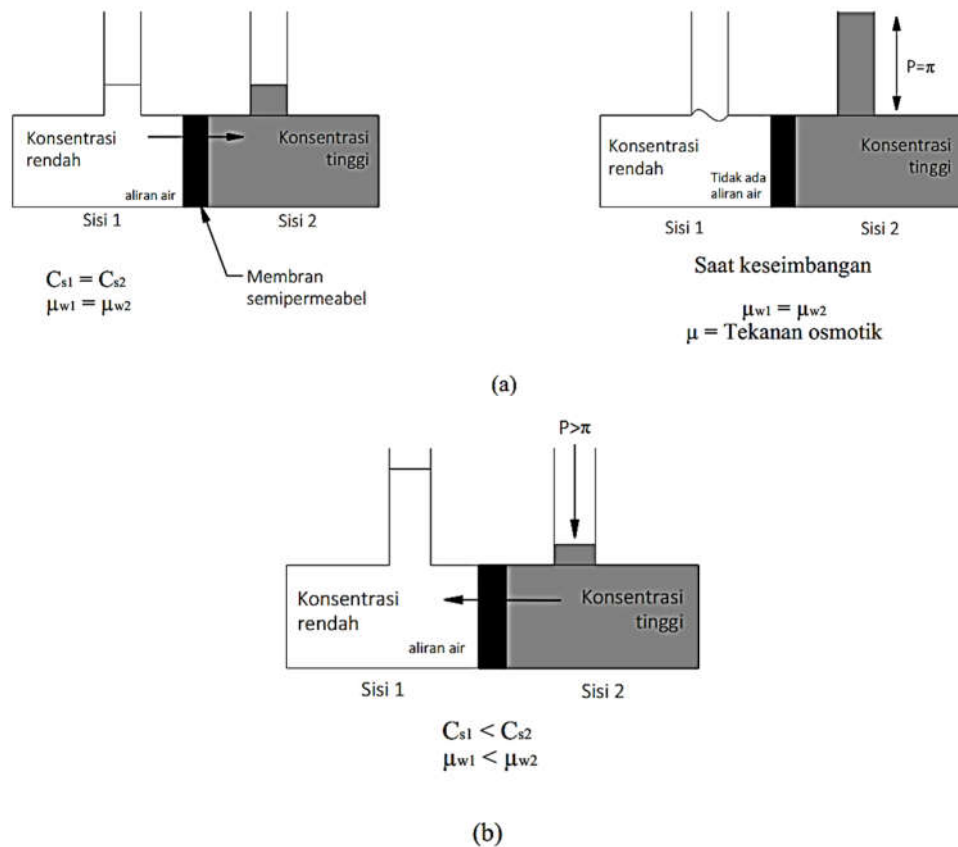
Proses ultrafiltrasi dalam beberapa aplikasi, tidak menggunakan filtrasi awal (*prefilter*) sehingga modul ultrafiltrasi digunakan untuk memisahkan padatan tersuspensi atau material emulsi koloid. Berbagai bahan telah digunakan untuk membran ultrafiltrasi secara komersial, tetapi yang paling banyak dipakai adalah *polysulfone* dan selulosa asetat (Said, 2009).

Tekanan operasi rendah sehingga cukup untuk mencapai tingkat fluks yang tinggi dari membran ultrafiltrasi. Fluks membran UF didefinisikan sebagai jumlah air yang disaring atau diproduksi per satuan luas permukaan membran per satuan waktu. Umumnya fluks dinyatakan sebagai galon per meter persegi per hari (GPD) atau sebagai meter kubik per meter persegi per hari. Membran ultrafiltrasi (UF) dapat memiliki fluks sangat tinggi tetapi dalam banyak aplikasi praktis fluks bervariasi antara 50 sampai 200 GPD pada tekanan operasi sekitar 50 psig. Sedangkan, membran reverse osmosis (RO) hanya memproduksi antara 10-30 GPD pada 200-400 psig (Said, 2009).

1.6.4. *Reverse Osmosis*

Reverse osmosis adalah kebalikan dari fenomena osmosis. Osmosis merupakan fenomena pencapaian kesetimbangan antara dua larutan yang memiliki perbedaan konsentrasi zat terlarut, dimana kedua larutan ini berada pada satu bejana

dan dipisahkan oleh lapisan semipermeabel. Keseimbangan terjadi akibat perpindahan pelarut dari larutan yang memiliki konsentrasi zat terlarut rendah ke larutan yang memiliki konsentrasi zat terlarut tinggi. Saat keseimbangan konsentrasi dicapai maka terdapat perbedaan tinggi larutan yang dapat didefinisikan sebagai tekanan osmosis seperti yang terlihat pada Gambar 1 berikut (Ariyanti dan Widiyasa, 2011)



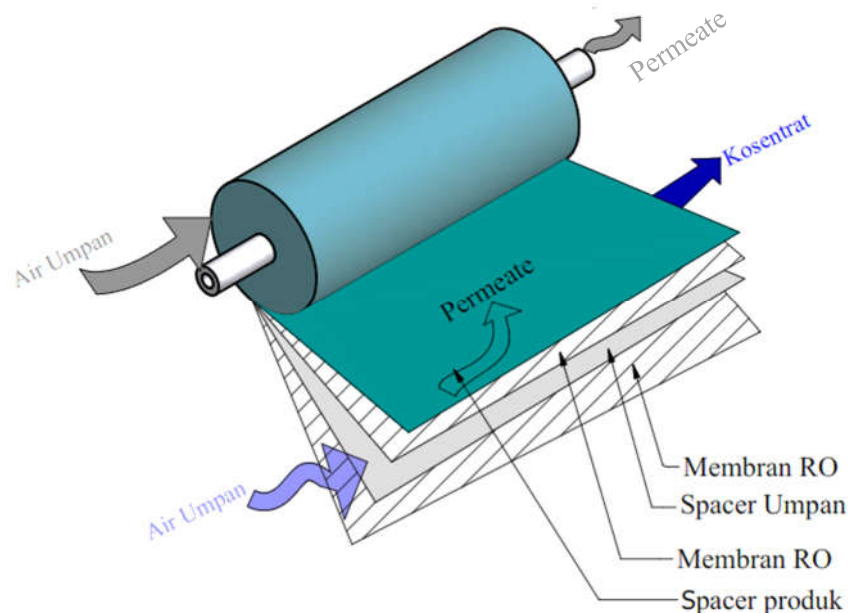
Gambar 2. Skema fenomena osmosis (a) dan *reverse osmosis* (b) (Ariyanti dan Widiyasa, 2011)

Prinsip dasar *reverse osmosis* adalah memberi tekanan hidrostatis yang melebihi tekanan osmosis larutan sehingga pelarut dalam hal ini air dapat berpindah dan larutan yang memiliki konsentrasi zat terlarut tinggi ke larutan yang memiliki konsentrasi zat terlarut rendah. Prinsip *reverse osmosis* ini dapat memisahkan air dari komponen-komponen yang tidak diinginkan dan dengan demikian akan didapatkan air dengan tingkat kemurnian yang tinggi (Ariyanti dan Widiyasa, 2011).

Membran semipermeabel pada aplikasi *reverse osmosis* terdiri dari lapisan tipis polimer pada penyangga berpori (*fabric support*). Membran untuk kebutuhan

komersial harus memiliki sifat permeabilitas yang tinggi terhadap air. Selain itu, membran juga harus memiliki derajat semipermeabilitas yang tinggi dalam arti laju transportasi air melewati membran harus jauh lebih tinggi dibandingkan laju transportasi ion-ion yang terlarut dalam umpan. Membran juga harus memiliki ketahanan (stabil) terhadap variasi pH dan suhu. Kestabilan dari sifat-sifat tersebut dalam periode waktu dan kondisi tertentu dapat didefinisikan sebagai umur membran yang biasanya berkisar antara 3-5 tahun.

Pada aplikasi RO, konfigurasi modul membran yang digunakan yaitu *spiral wound*. Konfigurasi yang lain yaitu *hollow fiber*, *tubular* dan *plate* dan *frame* tidak terlalu banyak digunakan pada aplikasi RO, hanya diaplikasikan pada industri makanan serta sistem khusus. Berikut gambaran modul membran yang dijelaskan oleh gambar 2 dibawah.



Gambar 3. Modul membran *spiral wound*
(Ariyanti dan Widiassa, 2011)

Pada konfigurasi *spiral wound* dua buah lembaran membran dipisahkan oleh saluran kolektor permeat dan membentuk daun (leaf). Perakitannya adalah dengan dilem pada tiga sisi dan sisi yang keempat (dekat pipa berlubang) dibiarkan terbuka sebagai saluran permeat keluar. Kemudian material yang digunakan sebagai *feed/brine spacer* disatukan dengan *leaf*. Beberapa lembaran leaf kemudian digulung mengelilingi tabung permeat plastik. Tabung ini merupakan tabung berlubang yang berfungsi untuk mengumpulkan permeat dari leaf. Elemen

membran *spiral wound* yang digunakan dalam industri memiliki panjang 100-150 cm dan diameter 10-20 cm. Sementara itu, RO untuk rumah tangga memiliki panjang 25-100 cm dengan diameter 5-10 cm. Air umpan (*brine*) mengalir pada elemen secara aksial masuk melalui feed spacer lalu keluar melalui keluaran brine secara paralel menuju permukaan membran.

1.6.5. Tipe Membran *Reverse Osmosis*

1.6.5.1. Berdasarkan Material Penyusun

1) Membran *Cellulose Acetate* (CA)

Menurut sejarah, membran asimetri dibentuk dengan menuangkan film tipis larutan berbasis aseton dari polimer selulosa asetat, yang dikembangkan oleh Loeb dan Sourirajan pada tahun 1962 dan merupakan membran RO pertama yang layak secara komersial. Membran selulosa asetat yang dihasilkan memiliki struktur asimetri dengan lapisan permukaan padat dengan ukuran 0.1 - 0.2 μm yang berguna untuk mereduksi kandungan garam dalam produk air yang dihasilkan. Membran lainnya yang berukuran tebal 100-200 μm dan berfungsi menyokong lapisan permukaan tipis secara mekanis. Lapisan tebal ini berongga dan berpori dengan permeabilitas air yang tinggi. Rejeksi garam dan fluks air selulosa asetat dapat ditentukan dengan variasi temperatur dan durasi tahap pendinginan.

2) Membran Komposit Film Tipis --- Poliamida (PA)

Membran film tipis komposit poliamida terdiri atas sebuah lapisan berpori dan sebuah lapisan film tipis dimana lapisan saling menyilang dengan rapat. Membran film tipis komposit poliamida dibentuk dari lapisan utama berpori yang umumnya terbuat dari Polisulfon. Lapisan film tipis yang rapat dihubungkan oleh senyawa aromatik poliamida yang terbuat dari reaksi polimerisasi polifungsional amina seperti *m*-phenylenediamine dengan sebuah asam klorida polifungsional tri-mesoyl chloride.

Prosedur pembuatan membran ini memungkinkan optimalisasi pada sifat-sifat lapisan penyangga dan lapisan perejeksi garam. Membran ini

dicirikan oleh fluks air dan rejeksi garam yang lebih tinggi dari membran selulosa asetat.

1.6.6. Tipe Aplikasi

Aplikasi sistem RO skala rumah tangga dapat dibagi menjadi beberapa tipe sesuai dengan kapasitas dan penggunaannya, yaitu tipe *undersink*, *whole house*, *milti family*, dan *farm and ranch*.

1. Tipe *Undersink*

Tipe *undersink* merupakan sistem RO yang didesain untuk memenuhi kebutuhan air minum dalam rumah. Tipe ini biasanya dipasang dibawah wastafel yang terdapat di dapur. Kapasitas produksi dari tipe undersink berkisar antara 95-378 kemasan galon/hari. Sistem yang digunakan pada tipe undersink terdiri dari 1-2 metode *pre-filter* yang berfungsi memisahkan padatan yang berukuran 1-20 mikron. RO yang akan memisahkan air dari ion, garam, dan mineral yang terlarut, post-filter, serta tangki penampung (Ariyanti dan Widiassa, 2011).

2. Tipe *Whole House*

Tipe ini didesain untuk memenuhi kebutuhan air di dalam sebuah rumah tangga. Seperti air minum, air untuk memasak, air untuk mandi, dsb. Tipe ini lebih besar dibandingkan tipe undersink. Sistem yang diterapkan pada tipe *whole house* meliputi *pre-filter* seperti karbon aktif, dan penambahan anticalant, unit RO, tangki penampung serta *re-pressurization system* yang memudahkan proses pemurnian air (Ariyanti dan Widiassa, 2011).

3. Tipe *Farm and Ranch*

Pada tipe ini, sistem yang digunakan sama dengan tipe *whole house*. Perbedaannya terletak pada kapasitas dan skala produksinya. Tipe *farm and ranch* biasanya digunakan untuk memenuhi kebutuhan air untuk banyak rumah atau kebutuhan air di peternakan dengan kapasitas 7-37 L/menit (Ariyanti dan Widiassa, 2011).

1.7. Desinfeksi UV

1.7.1. Mikroorganisme Yang Hidup Pada Air

Mikroorganisme merupakan organisme atau makhluk hidup yang berukuran sangat kecil yang sebagian besar kasat mata dan membutuhkan alat bantu seperti

mikroskop untuk membantu melihatnya. Tanpa kita sadari, mikroorganisme ada di sekeliling kita tidak terkecuali di air. Sebagian besar dari mereka mungkin tidak terlalu berbahaya terhadap manusia, namun ada beberapa yang dapat membahayakan kesehatan tubuh manusia (PT Bintang Sarana Medika, 2019). Berikut merupakan contoh mikroorganisme yang biasa hidup di dalam air :

- *Salmonella enterica*, yaitu satu genus bakteri yang disebut penyebab utama penyakit bawaan makanan di seluruh dunia. Pada umumnya bakteri ini biasa ditemukan di bagian organ pencernaan pada manusia dan hewan. Biasanya, bakteri ini tidak berkembang biak dan tumbuh di air. Tetapi hal ini dapat menjadikan bahwa air yang terdapat bakteri salmonella sudah terkontaminasi dengan kotoran manusia atau binatang. Penyakit yang disebabkan oleh bakteri *Salmonella enterica* seperti Flu Perut atau Gastroenteritis, Sepsis, Demam Tifoid atau Gejala tifus.
- *Cryptosporidium* adalah genus protozoa yang dapat menyebabkan penyakit pencernaan seperti diare pada manusia. Kondisi tersebut dikenal sebagai cryptosporidiosis atau serangan diare yang melumpuhkan. *Cryptosporidium* adalah organisme yang paling sering terisolasi pada pasien HIV positif yang mengalami diare. Bakteri ini dapat ditemukan di air, makanan, tanah atau pada permukaan, pada tangan yang telah terkontaminasi dengan kotoran manusia atau binatang yang sudah terinfeksi dengan bakteri *Cryptosporidium*. Penyakit yang disebabkan oleh bakteri *Cryptosporidium* seperti diare, kram perut, dehidrasi, pusing-pusing, muntah, demam dan kurang berat badan.
- *Anabaena* merupakan salah satu genus *cyanobacteria* atau yang biasa disebut sebagai *blue-green algae* yang tumbuh secara alami di air. *Anabaena* hidup di semua waduk air tawar di seluruh dunia, terutama di Australia, Eropa, Asia, Selandia Baru, dan Amerika Utara. Di Australia, bakteri air tawar *Anabaena* telah ditemukan memproduksi *saxitoxins*, sejenis neurotoksin yang dapat menyebabkan penyumbatan pernapasan, yang diikuti dengan kematian. Untungnya, *cyanobacteria* ini adalah salah satu mikroorganisme yang mudah disaring dari air minum. Penyakit yang

disebabkan oleh bakteri *Anabaena* seperti masalah pencernaan, masalah sistem saraf hingga masalah pada hati.

- *Cyclospora cayetanensis* merupakan mikroorganisme yang dapat ditemukan pada tumbuhan atau air yang telah terkontaminasi dengan kotoran, terutama kotoran manusia. Manusia yang sudah terinfeksi oleh bakteri ini akan mengeluarkan feses yang terjangkit dengan bakteri non-efektif ini, yang nantinya feses akan mengkontaminasi daerah disekitarnya sehingga bakteri ini dapat tumbuh dan efektif. Penyakit yang disebabkan oleh bakteri *Cyclospora* seperti diare, pusing dan mual, penurunan berat badan, kram perut, perut kembung, badan lemas
- *Escherichia coli* atau biasa disingkat E. coli, adalah bakteri yang umum ditemukan di bawah usus organisme berdarah panas (endotermik). Kebanyakan *strain* E. coli tidak berbahaya, tetapi beberapa *serotipe* dari bakteri ini dapat menyebabkan keracunan makanan yang serius pada manusia dan diare akibat kontaminasi makanan. Strain berbahaya ini merupakan bagian dari flora normal usus, dan bisa mendapatkan memberi keuntungan untuk tubuh dengan memproduksi vitamin K2, dan mencegah pembentukan bakteri patogen dalam usus. Penyakit yang disebabkan oleh bakteri E. Coli seperti diare berdarah, kram perut dan muntah-muntah
- *Naegleria fowleri* adalah organisme yang biasanya ditemukan di air tawar hangat seperti kolam, danau, sungai, dan sumber air panas. Tidak ada catatan bahwa organisme ini hidup di air asin. Bakteri ini tidak dapat menginfeksi manusia jika air yang terdapat bakteri *Naegleria fowleri* diminum. Bakteri ini menginfeksi manusia jika air masuk melalui hidung, yang nantinya akan bergerak ke otak dan merusak jaringan otak. Penyakit yang disebabkan oleh bakteri *Naegleria fowleri* seperti sakit kepala, demam, pusing, muntah-muntah hingga kejang-kejang, halusinasi dan koma
- *Legionella pneumophila* adalah bakteri dari genus *Legionella*. *L. pneumophila* adalah bakteri patogen manusia utama di grup ini dan merupakan agen penyebab legionellosis atau penyakit

legiuner. Legionellosis adalah istilah medis untuk infeksi pernapasan akut yang disebabkan oleh spesies dari bakteri aerobik milik genus *Legionella*. Lebih dari 90% kasus legionellosis disebabkan oleh *Legionella pneumophila*. Penyakit yang disebabkan oleh bakteri *Legionella pneumophila* memiliki gejala yang mirip dengan penyakit pneumonia seperti batuk-batuk, nafas pendek, demam, sakit otot, sakit kepala.

1.7.2. Sterilisasi Air dari Bakteri

Sterilisasi air ini sangat diperlukan sebelum kita menggunakan air tersebut untuk diminum atau dimasak. Air yang belum disterilisasi mengandung banyak bakteri yang mungkin saja berbahaya bagi manusia, seperti contoh-contoh yang telah dibahas sebelumnya. Sterilisasi air ini memiliki berbagai cara. Mulai cara yang mudah dilakukan hingga membutuhkan teknologi yang mutakhir. Beberapa cara untuk mensterilisasi air dapat dijabarkan seperti dibawah ini:

- Merebus atau memasak air hingga mendidih

Merebus air hingga mendidih merupakan cara yang paling mudah dilakukan untuk mendapatkan air minum bebas dari kuman jamur, protozoa, spora, virus dan bakteri, namun masih banyak orang yang belum memahami lama waktu yang paling baik untuk mematikan kompor dari awal air mulai mendidih. Tentu saja tidak semua kuman penyakit akan mati jika belum cukup waktu dalam mendidihkan air minum.

Lama waktu yang baik mendidihkan air adalah selama 5 menit sampai 20 menit agar semua bakteri / kuman yang hidup di dalam air yang akan kita minum dapat mati, sehingga air minum yang akan kita konsumsi aman tidak menyebabkan gangguan kesehatan pada diri kita. Kendala terbesar dalam mendidihkan air terlalu lama adalah boros bahan bakar kompor.

- Menggunakan Tablet (Cairan Penjernih Air)

Tablet atau cairan penjernih air dapat dibeli di apotik, toko perlengkapan olahraga dan petualangan. Walaupun cara ini cukup ampuh untuk membunuh bakteri, tetapi cara ini memiliki efek samping yaitu menimbulkan rasa yang tidak enak pada air (rasa pahit). Tablet atau cairan yang biasa digunakan merupakan iodine ataupun klorin, yang keduanya ini dapat mensterilkan

dengan hasil yang sama. Kedua jenis penjernih ini merupakan jenis yang paling efektif jika air yang dijernihkan berada pada suhu sekitar 21°Celsius atau lebih. Namun perlu diperhatikan saat anda menggunakan tablet iodine atau pun tablet klorin perlu berkonsultasi dengan dokter agar mendapatkan dosis yang pas sehingga tidak menyebabkan keracunan.

- Menggunakan Filter air dan Sinar Ultraviolet (UV)

Cara ini merupakan cara terbaik dan aman untuk mensterilisasi air dari bakteri dan mikroorganisme. Dengan kombinasi antara filter air yang menyaring zat-zat berbahaya di dalamnya serta sinar UV (Ultraviolet) yang dapat membunuh mikroorganisme dan bakteri yang berbahaya bagi manusia.

Sterilisasi dengan metode Radiasi Sinar Ultraviolet merupakan metode yang biasa digunakan pada depot-depot pengisian air minum isi ulang karena penggunaan yang mudah dan tidak membutuhkan sumber daya yang lebih, hanya membutuhkan peralatan khusus seperti filter dan pemancar UV. Air umpan akan melewati melalui suatu pipa bersih untuk dipanaskan dengan sinar *Ultra violet* (UV). Sinar *ultra violet* (UV) dapat secara efektif menghancurkan virus dan bakteri. Sistem UV ini tergantung pada jumlah energi yang diserap sehingga dapat menghancurkan organisme yang terdapat pada air tersebut. Jika energi tidak cukup tinggi, maka material organisme genetik tidak dapat dihancurkan (Sutrisno, 2010).

Keuntungan menggunakan UV meliputi :

- Tidak beracun atau tidak berbahaya
- Menghancurkan zat pencemar organik.
- Menghilangkan bau atau rasa pada air.
- Memerlukan waktu kontak yang singkat (beberapa menit).
- Meningkatkan kualitas air karena gangguan zat pencemar organik.
- Dapat mematikan mikroorganisme *pathogenic*.
- Tidak mempengaruhi mineral di dalam air.

2.8 ***Break Event Point***

Menurut Prasetya dan Lukiastruti (2009) analisis *Break Even Point* adalah suatu analisis yang bertujuan untuk menemukan satu titik, dalam unit atau rupiah,

yang menunjukkan biaya sama dengan pendapatan. Titik tersebut dinamakan titik BEP. Dengan mengetahui titik BEP, analis dapat mengetahui pada volume penjualan, berapa perusahaan mencapai titik impasnya, yaitu tidak rugi, tetapi juga tidak untung sehingga apabila penjualan melebihi titik itu, maka perusahaan mulai mendapatkan untung.

Prawirosentono (2001) dalam bukunya *Manajemen Operasi* menyatakan analisis *Break Even Point Analysis* (BEP) merupakan titik produksi, dimana hasil penjualan sama persis dengan total biaya produksi. Dalam bukunya yang berjudul *Manajemen Operasi*, Herjanto (2008) menyatakan, analisis pulang pokok (*break-even analysis*) adalah suatu analisis yang bertujuan untuk menemukan satu titik dalam kurva biaya-pendapatan yang menunjukkan biaya sama dengan pendapatan. Titik tersebut disebut sebagai titik pulang pokok (*break even point*, BEP).

a. Komponen perhitungan *break even point*

Break even point membutuhkan komponen perhitungan dasar seperti berikut ini :

- *Fixed Cost*. Komponen ini merupakan biaya tetap atau konstan jika adanya tindakan produksi ataupun tidak sedang memproduksi. Contoh biaya ini adalah biaya tenaga kerja, biaya pembelian alat produksi, biaya penyusutan peralatan.
- *Variable Cost*. Komponen ini merupakan biaya per unit yang sifatnya dinamis tergantung dari tindakan, kapasitas dan volume produksinya. Jika produksi yang direncanakan meningkat, berarti *variable cost* pasti akan meningkat pula. Contoh biaya ini adalah biaya bahan baku, biaya listrik dll
- *Selling Price*. Komponen ini merupakan harga jual per unit barang atau jasa yang telah di produksi.

b. Rumus menghitung *break even point*

Perhitungan BEP dapat dilakukan dengan pendekatan Matematis dilakukan dengan dua cara, yaitu : atas dasar unit dan atas dasar rupiah.

- BEP unit, digunakan untuk menghitung berapa unit yang harus agar perusahaan tidak memperoleh laba atau menderita rugi.

- BEP mata uang, digunakan untuk menghitung berapa rupiah penjualan yang perlu diterima agar perusahaan tidak memperoleh laba atau menderita rugi.

Rumus yang digunakan untuk menghitung *break even point* menurut Mulyadi (2005) adalah sebagai berikut :

- BEP (Unit)
$$= \frac{FC}{(P-VC)}$$

- BEP (Rupiah)
$$= \frac{FC}{(1-\frac{VC}{P})}$$

Keterangan

FC : *Fixed Cost*

P : Harga jual per unit

VC : *Variable Cost*