

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

1.1. Air Minum

Air minum adalah air yang telah melalui proses pengolahan ataupun tanpa proses pengolahan yang memenuhi syarat kesehatan dan dapat langsung diminum. Penyediaan air minum adalah kegiatan yang dilakukan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat dalam menyediakan air minum agar mendapatkan kehidupan yang sehat, bersih, dan produktif (Joko, 2010).

Menurut Permenkes RI Nomor 492/Menkes/Per/I/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air minum, air minum adalah air yang melalui proses pengolahan atau tanpa proses pengolahan yang melalui syarat dan dapat langsung diminum. Air minum harus terjamin dan aman bagi kesehatan. Air minum adalah air yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan hidrasi pada tubuh manusia. Hal ini dikarenakan tubuh manusia sebagai besarnya diliputi oleh cairan, sehingga kekurangan air atau yang dikenal dehidrasi dimungkinkan dapat menurunkan fungsi-fungsi dari tubuh itu sendiri. Akan tetapi air yang dibutuhkan tubuh bukanlah air sembarangan. Terdapat beberapa persyaratan yang mesti dipenuhi agar air yang dapat dikonsumsi tersebut benar-benar layak dan aman (Susanti, 2010).

Untuk keperluan air minum, rumah tangga, dan industri, secara umum dapat digunakan sumber air yang berasal dari air sungai, mata air, danau, sumur, dan air hujan yang telah dihilangkan zat-zat kimianya, gas beracun, atau kuman-kuman yang berbahaya bagi kesehatan. Sumber air yang dapat kita manfaatkan pada dasarnya digolongkan sebagai berikut :

1. Air permukaan

air permukaan merupakan badan air yang mudah sekali dicemari terutama oleh kegiatan manusia, oleh karena itu mutu air permukaan dipakai sebagai bahan baku air bersih. Sumber-sumber air yang termasuk dalam kelompok air permukaan adalah air yang berasal dari sungai, danau, laut, lautan dan sebagainya (Kusnoputanto, 1986).

2. Air hujan

Air hujan merupakan penyubliman awan/uap air menjadi air murni yang ketika turun dan melalui udara akan melalui benda-benda yang terdapat di udara, benda-benda yang terlarut dari udara tersebut yaitu gas O₂, CO₂, N₂, juga zat-zat renik dan debu. Dalam keadaan murni, air hujan sangat bersih, tetapi setelah mencapai permukaan bumi, air hujan tidak murni lagi karena ada pengotoran udara yang disebabkan oleh pengotoran industri/debu dan sebagainya. Maka untuk menjadikan air hujan sebagai sumber air minum hendaklah menampung air hujan terlebih dahulu jangan pada saat hujan mulai turun karena masih banyak mengandung kotoran (Sutrisno, 1996).

3. Air tanah

Air tanah mengalami proses filtrasi secara alamiah. Proses-proses yang telah dialami air hujan tersebut, di dalam perjalanannya ke bawah tanah membuat air tanah menjadi lebih baik dan lebih murni dibandingkan dengan air permukaan. Secara praktis air tanah adalah air bebas polutan karena berada di bawah permukaan tanah. Tetapi tidak menutup kemungkinan bahwa air tanah dapat tercemar oleh zat-zat yang mengganggu kesehatan (Sutrisno, 1996).

Air tanah tersebut terbagi atas 3 bagian yaitu :

a. Air tanah dangkal

Terjadi karena daya proses peresapan air permukaan tanah, lumpur akan tertahan demikian pula dengan sebagian bakteri sehingga air tanah akan jernih. Air tanah ini bisa dimanfaatkan sebagai sumber air minum melalui sumur-sumur dangkal. Dari segi kualitas agak baik sedangkan kuantitasnya kurang cukup dan tergantung pada musim.

b. Air tanah dalam

Ditinjau dari segi kualitas pada umumnya lebih baik dari air tanah dangkal sedangkan kuantitasnya mencukupi tergantung pada keadaan tanah dan sedikit dipengaruhi oleh perubahan musim.

c. Mata air

Mata air adalah tempat dimana air tanah keluar ke permukaan tanah. Berdasarkan munculnya ke permukaan air tanah terbagi atas 2 yaitu :

- Mata air (*graviti spring*) yaitu air mengalir dengan gaya berat sendiri. Pada lapisan tanah yang permukaan tanah yang tipis, air tanah tersebut menembus lalu keluar sebagai mata air.
- Mata air artesis berasal dari lapisan air yang dalam posisi tertekan. Air artesis berusaha untuk menembus lapisan rapat air dan keluar ke permukaan bumi.

1.2. Kualitas Air Minum

Persyaratan kualitas air minum sebagaimana yang telah ditetapkan melalui Permenkes RI nomor 492/MENKES/PER/IV/2010 tentang syarat-syarat dan pengawasan kualitas air minum, meliputi persyaratan bakteriologis, kimiawi, radioaktif dan fisik. Air minum tidak diperbolehkan mengandung bakteri *coliform* dan *Escherichia coli* (PerMenkes, 2010).

Penurunan kualitas air yang terjadi ada yang disebabkan tercemarnya air sumur oleh bakteri golongan *Coliform* yang diakibatkan dari kepadatan penduduk, buruknya sistem pembuangan limbah masyarakat, pembuatan *wc*, *septic tank* dan sumur resapan yang kurang memenuhi persyaratan dengan baik ditinjau dari kualitas maupun tata letaknya terhadap sumber pencemar (Randa, 2012).

Parameter yang berhubungan langsung dengan kesehatan :

1. Parameter mikrobiologi

Pada parameter ini, air tidak boleh mengandung kuman-kuman penyakit seperti disentri, tipus, kolera, dan bakteri patogen penyebab penyakit seperti *E. Coli* dan lain lain.

2. Parameter Kimia An-organik

Parameter kimia an-organik meliputi kandungan arsen, flouride, total kromium, kadmium, nitrit, nitrat, sianida dan selenium dalam air.

Parameter yang tidak langsung berhubungan dengan kesehatan :

1. Parameter fisik

Adapun syarat fisik dari air minum meliputi :

- a. Keekeruhan
- b. Warna
- c. Bau

- d. Rasa
- e. Temperatur
- f. Total zat pada (TDS)

2. Parameter kimiawi

Parameter kimiawi ikut berperan dalam penentuan kualitas air, adapun parameter kimiawi air antara lain :

a. pH

Ph menunjukkan tingkat keasaman pada air yang ditunjukkan dengan skala 0 sampai dengan 14. pH merupakan salah satu faktor yang sangat penting mengingat pH dapat memengaruhi pertumbuhan mikroba di dalam air. Sebagian besar mikroba akan tumbuh dengan baik pada pH 6,0 – 8,0 oH juga akan menyebabkan perubahan kimiawi di dalam air. Menurut standar kualitas air, menilai pH pada air yaitu 6,5 – 9,2. Apabila pH lebih kecil dari 6,5 atau lebih besar dari 9,2 maka akan menyebabkan korosifitas dan dapat mengakibatkan beberapa senyawa kimia berubah menjadi racun yang dapat mengganggu kesehatan manusia (Totok, 1987).

b. Kesadahan

Terdapat dua macam kesadahan, yaitu kesadahan sementara dan kesadahan non karbonan (permanen). Kesadahan sementara akibat keberadaan kalsium dan magnesium bikarbonat yang dihilangkan dengan memanaskan air hingga mendidih atau menambahkan kapur dalam air. Kesadahan non karbonat disebabkan oleh sulfat dan karbonat, klorida dan nitrat dari magnesium dan kalsium disamping besi dan alumunium. Konsentrasi kalsium dalam air minum yang lebih rendah dari 75 mg/l dapat menyebabkan penyakit tulang rapuh. Batas maksimum kesadahan yang diperbolehkan menurut Permenkes RI Nomor 492 yaitu sebesar 500 mg/l.

c. Besi

Air yang mengandung besi akan berwarna kuning dan menyebabkan rasa logam besi dalam air, serta dapat menimbulkan korosi pada bahan yang terbuat dari metal. Batas maksimal besi yang diperbolehkan terkandung dalam air minum menurut Permenkes RI Nomor 492 yaitu sebesar 0,3 mg/l.

d. Aluminium

Batas Maksimal yang terkandung dalam air minum menurut Permenkes RI Nomor 492 sebesar 0,2 mg/l.

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
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) Kesadahan	Mg/l	500
	4) Chlorida	Mg/l	250
	5) Mangan	Mg/l	0,4
	6) Ph	-	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, 2019

2.2.1 Proses Pengolahan Air Minum Secara Sederhana

1. Pengotor yang terdapat pada air pada umumnya terdiri dari:

- a. Benda-benda besar dan kecil yang terapung
- b. Pasir dan lumpurkasar
- c. Lumpur halus berbentuk koloid
- d. Organisme
- e. Mikroorganisme patogen
- f. Zat-zat kimia,dll.

2. Proses Pengolahan Air

a. Penampungan air baku

Air baku adalah air yang belum diproses atau sudah diproses menjadi air bersih yang memenuhi persyaratan mutu sesuai Peraturan Kesehatan untuk diolah menjadi produk air minum. Air baku yang diambil dari sumbernya diangkut dengan menggunakan tangki penampung (*reservoir*). Tangki pengangkutan digunakan khusus untuk air minum, mudah dibersihkan, mempunyai manhole, pengisian dan pengeluaran air melalui kran, selang dan pompa yang dipakai bongkar muat air baku harus diberi penutup baik, disimpan dengan aman dan dilindungi dari kemungkinan kontaminasi, dan dilakukan pembersihan, sanitasi dan desinfeksi bagian luar dan dalam minimal tiga bulan sekali.

b. Filter Catridge

Filter catridge 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. (Hartomo dan Widiatmoko, 1994).

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).

c. Desinfeksi

Desinfeksi dimaksudkan untuk membunuh bakteri patogen. Desinfeksi air minum adalah membunuh bakteri patogen (bakteri yang dapat menimbulkan

bibit penyakit yang ada dalam air tersebut, desinfeksi dapat dilakukan dengan cara penyinaran UV (*Ultraviolet*) dengan panjang gelombang 254 nm (Sutrisno, 2010).

d. Pengisian

Wadah air minum yang digunakan harus disanitasi dengan air ozon (air yang mengandung ozon). Dalam pengisian air minum dilakukan dalam tempat yang higienis.

1.3. Air Minum Kemasan

Menurut SNI 01-3553-2006 air minum dalam kemasan merupakan air baku yang sudah diproses, dikemas dan aman untuk mencakup air mineral dan juga air demineral. Air minum dalam kemasan, dimana sumber air yang digunakan untuk air kemasan mineral berasal dari mata air pengunungan, untuk air kemasan non mineral biasanya dapat juga digunakan dengan sumber mata air tanah / mata air pengunungan (Susanti, 2010).

Menurut Permenperin 96/2011, air permukaan adalah air tawar yang terdapat di atas permukaan tanah yang dapat berupa mata air, air sumur, air sungai, atau air danau. Air permukaan sangat rentan terhadap kontaminasi cemaran mikroba yang berasal dari *faeses* utamanya air sungai. Permenperin 96/2011 membolehkan penggunaan air permukaan sebagai air baku untuk AMDK.

Penggunaan air sungai sebagai air baku untuk AMDK sangat rentan terhadap cemaran baik kimia, fisika maupun cemaran biologi, karena air sungai mengandung cemaran *E. coli* (Angeline, 2015)

Hampir seluruh sungai utama di Indonesia tidak dapat digunakan langsung sebagai sumber air bersih, karena tercemar oleh limbah cair domestik dan industri, sampah domestik, pemakaian air berlebihan, dan penataan fungsi lahan yang tidak baik (Hendrawan, 2005).

WHO (*World Health Organization*) menyarankan untuk menghindari penggunaan air sungai sebagai sumber air baku untuk air minum jika kualitas airnya tidak baik, hal ini untuk menurunkan resiko dan mencegah potensi masalah pada proses pengolahan selanjutnya (Solomon, *et al.*, 1998; Swancara, 2007; Von Gunten, 2003; WHO, 2011).

Pembuatan instalasi air minum dalam kemasan (AMDK) dengan teknologi RO (*Reverse Osmosis*) amat tepat, sebab memiliki keunggulan (Nanang, 2012) diantaranya :

1. Memiliki standar kualitas air international dengan ukuran filter/membran yang sangat halus 1/10000 mikron yang mampu membuang seluruh pencemaran kimia, bakteri maupun virus.
2. Dengan mengkonsumsi air minum yang murni dari hasil mesin *reverse osmosis*, maka kesehatan dan fungsi ginjal di dalam tubuh dapat tetap terjaga dengan baik.
3. Dapat menjaga kesehatan tubuh kita dari beberapa penyakit yang cukup berbahaya seperti : gula darah (diabetes), darah tinggi (hipertensi), asam urat, gangguan fungsi ginjal, gagal ginjal maupun batu ginjal (kerusakan ginjal dapat terjadi kerana terdapatnya logam-logam berat yang banyak bersifat toksik/racun dan pengendapan pada ginjal). Sehingga dapat digunakan sebagai terapi Kesehatan terhadap penyakit tertentu.
4. Dilakukannya tahapan proses analisa air baku sebelum pemasangan filter yang digunakan disesuaikan dengan kondisi/masalah air sehingga dilakukan proses filterisasi sesuai dengan output yang diinginkan.
5. Mampu membuang zat polutan berbahaya hingga air menjadi murni 99,9 %.
6. Baik untuk digunakan sebagai terapi air & Memiliki nilai ekonomis yang tinggi dibandingkan membeli air minum kemasan dan isi ulang.

Air minum dalam kemasan dikemas dalam berbagai bentuk wadah 19 liter atau galon, 1500 ml/600 ml (botol), 240 ml /220 ml (cup) (Susanti,2010).

Proses air minum dalam Kemasan harus melalui proses tahapan baik secara klinis maupun secara hukum, secara higines klinis biasanya disahkan menurut peraturan pemerintah melalui departemen badan balai pengawasan obat dan makanan (Badan POM RI) baik dari segi kimia, fisika, microbiologi, dll.

Tabel 2. Pengujian Awal Air Minum Dalam Kemasan (AMDK)

Parameter	Satuan	IBWA (2015)	Menkes (2010)	WHO (2011)	Air Mineral (SNI3553:2015)	AirDemineral (SNI6241:2015)
<i>Total Coliform</i>	Jml/250 ml	0	0	0	TTD	TTD
<i>E. Coli</i>	Jml/ 100 ml	0	0	0	-	-
ALT awal	Koloni/ ml	-	-	-	1×10^2	1×10^2
ALT Akhir	Koloni/	-	-	-	1×10^5	1×10^5
<i>Pseudomonas A</i>	Koloni/ 250ml	-	-	-	TTD	TTD

Ket :

IBWA = *International Bottled Water Association*

WHO = *World Health Organization*

ALT = Angka Lempeng Total

Menkes = Menteri Kesehatan

TTD = Tidak Terdeteksi

Menurut SNI 3553-2006 air mineral merupakan air minum dalam kemasan yang mengandung mineral dalam jumlah tertentu tanpa menambahkan mineral, sedangkan air demineral merupakan air minum dalam kemasan yang diperoleh melalui proses pemurnian secara destilasi, deionisasi, *reverse osmosis* atau proses setara (CAC/RCP 331985).

Pseudomonas aeruginosa bukan merupakan flora alamiah pada air mineral, umumnya berasal dari tinja, tanah, air dan selokan. *Pseudomonas aeruginosa* menyebabkan terjadinya infeksi pada sistem pernafasan (pneumonia), saluran kemih, dermatitis, bakterimia, infeksi tulang dan persendian (Mena dan Gerba, 2011; WHO, 2011).

Pseudomonas aeruginosa dapat bertahan hidup dan tumbuh pada air mineral, sehingga dijadikan indikator kontaminasi pada air baku atau selama proses produksi (CAC/RCP 331985).

Angka lempeng total merupakan bagian dari flora alamiah pada air mineral dan digunakan sebagai indikator pengelolaan proses. Peningkatan angka lempeng total di atas batas yang ditentukan menunjukkan penurunan kebersihan, stagnasi atau pembentukan biofilm (CAC/RCP 33-1985).

Coliform merupakan kelompok bakteri yang mempunyai karakteristik biokimia dan pertumbuhan yang berhubungan dengan kontaminasi *faecal*. Namun demikian *coliform* dalam air minum bukan berarti adanya kontaminasi

faecal, karena *coliform* juga terdapat pada air yang tidak terkontaminasi oleh *faecal* misalnya *klebsilia*, *entero bacter*, dan *setro bacter*. Adanya *coliform* mengindikasikan kebersihan dan integritas sistim distribusi serta potensi terbentuknya *biofilm* (Medema et al., 2003).

Tabel 3. Data Persyaratan Kimia (Air Minum Dalam Kemasan) AMDK

Parameter	IBWA, 2015 (mg/l)	WHO,2011 (mg/l)	Menkes (mg/l)	Air Mineral (mg/l)	Air Demineral (mg/l)
Arsen	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Flourida	1,4	1,5	1,5	1,0	-
Total Kromium	0,05	0,05	0,05	0,05	-
Kadmium	0,005	0,003	0,003	0,003	0,003
Nitrit(NO ₂ ⁻)	1	0,2	3	0,1	-
Nitrat(NO ₃ ⁻)	10	50	50	44	-
Sianida	0,1	0,07	0,07	0,05	-
Selenium	0,01	0,01	0,01	0,01	-
Aluminim	0,2	0,2	0,2	-	-
Besi (Fe)	0,3	-	0,3	0,1	-
Kesadahan	-	-	500	-	-
Klorida	250	-	250	250	-
Mangan	0,05	0,4	0,4	0,05	-
Ph	6,5-8,5/5-7,0	6,5-8,5	6,5-8,5	6,0-8,5	5,0-7,5
Seng	5	5	3	-	-
Sulfat	250	-	250	200	-
Tembaga	1	2	2	0,5	0,5
Amonium	-	-	-	0,15	-
Barium	1	0,7	0,7	0,7	-
Boron	-	0,5	0,5	2,4	-
Timbal	0,005	0,01	0,01	0,005	0,005
Raksa	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
KMNO ₄	-	-	10	1,0	-
Klor bebas	0,1	0,5	5	0,1	-
T. organik	-	-	-	-	0,5
carbon Perak	0,025	-	-	0,025	0,025
Bromat	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Kadar CO ₂ bebas	-	-	-	3000-5890	3000-5890
O ₂ terlarut awal	-	-	-	min 40,0	min 40,0
O ₂ terlarut akhir	-	-	-	min 20,0	min 20,0

Ket :

IBWA = *International Bottled Water Association*

WHO = *World Health Organization*

Menkes = Menteri Kesehatan

Tabel 4. Data Persyaratan Fisika Air Minum Dalam Kemasan (AMDK)

Parameter	IBWA	Permenkes	Air Mineral (SNI3553:2015)	AirDemineral (SNI6241:2015)
Bau	3 T.O.N	Tak berbau	Tak berbau	Tak berbau
Warna	5 unit	15 TCU	5 PT Co	5 PT Co
TDS (mg/l)	500	500	500	500
Kekeruhan (NTU)	0,5	5	1,5	1,5
Rasa	-	Tak berasa	Normal	Normal
Suhu (°C)	-	Suhu udara \pm 3	-	-

Ket :

IBWA = *International Bottled Water Association*

Permenkes = Peraturan Menteri Kesehatan

1.4. RO (*Reverse Osmosis*)

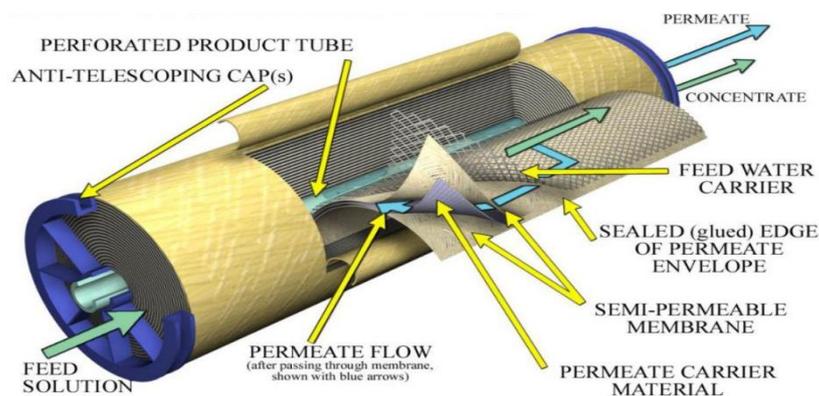
Reverse osmosis (RO) adalah sebuah metode filtrasi yang mampu menyisihkan banyak jenis molekul dan ion besar dari larutan dengan memberikan tekanan pada larutan yang berada pada salah satu sisi membran selektif (Mulder, 1996).

Reverse osmosis merupakan suatu metode pemurnian air melalui membran semi permeable dimana suatu tekanan tinggi (50-60 psi) diberikan melampaui tarikan osmosis sehingga akan memaksa air melewati proses osmosis terbalik dari bagian yang memiliki kepekatan tinggi kebagian dengan kepekatan rendah. 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 proses filtrasi membran. Mekanisme utama pemisahan partikel-partikel asing dalam air pada proses filtrasi membran adalah pemisahan 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*. Membran *reverse osmosis* menghasilkan air murni hingga 99%. Dengan diameternya lebih kecil dari 0,0001 mikron sama dengan penyaring micron berfungsi membuang kotoran, bahan mikro, bakteri, virus dan sebagainya (Annisa, 2009).

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. Membran ini dirancang untuk memungkinkan air hanya untuk melewati melalui lapisan padat, sementara mencegah bagian dari zat terlarut (seperti ion logam). 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 cosmetic (Ananto dkk, 2013:2).

Jenis modul membran antara lain *plate-end-frame*, *tubular*, *spiral-wound*, dan *hollow fiber*. Saat ini banyak Instalasi Pemurnian Air dengan osmosa balik menggunakan spiral-wound membran, hal ini dikarenakan adanya pengembangan dalam berbagai material polimer, konduktivitas tinggi, memiliki kemampuan rejeksi yang tinggi serta memiliki ketahanan yang tinggi terhadap *fouling* (Bick, 2000). Berikut pada gambar 1 merupakan gambaran membran *spiral wound*.



Gambar 1. Membran RO (*Reverse Osmosis*) *Spiral Wound*

Sumber : Anonim, 2016.

Faktor yang dapat mempengaruhi kinerja membran, yaitu karakteristik membran yang merupakan material membran, tekanan operasi karena sangat berpengaruh terhadap fluks yang dihasilkan serta kemampuan rejeksi membran, pH umpan, periode operasi membran, konsentrasi umpan, temperatur, serta kadar *suspended solid* dalam air umpan (Rahmadyanti, 2004).

Selain beberapa faktor tersebut, ada faktor lain yang juga berpengaruh terhadap kinerja membran terhadap fluks yang dihasilkan dan kemampuan rejeksi membran, yaitu adanya mekanisme polarisasi konsentrasi dalam membran dan efek donnan potensial. Istilah polarisasi konsentrasi digunakan untuk

menggambarkan adanya akumulasi zat terlarut yang tertahan pada permukaan membran dimana konsentrasi zat terlarut tersebut jauh lebih tinggi dibandingkan dengan larutan umpan yang masuk (Bhattacharyya dalam Ho, 1992).

Tabel 5. Perbandingan *Reverse Osmosis*, 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.

Jenis-jenis membran *reverse osmosis* terbagi menjadi 2, yaitu:

1. CTA (*Cellulose Triacetate*) membran

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

2. TFC (*Thin Film Composite*) membran

Membran *reverse osmosis* terbuat dari bahan *poly amide*. TFC (*Thin Film Composite*) membran yang mempunyai daya saring membran 0.01 – 0.1 μm 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 TFC (*Thin Film Composite*) :

- Mampu menghilangkan senyawa-senyawa yang dapat menyebabkan penyakit.
- Mudah dioperasikan dan energi rendah.

- Dapat dioperasikan pada air dengan asam dan basa tinggi (pH 2-11) dan suhu maksimal 45⁰C dan tahan terhadap TDS yang tinggi (Hartono, 2006).

Keuntungan metode *reverse osmosis* berdasarkan kajian ekonomi antara lain:

1. Untuk umpan dengan padatan terlarut total di bawah 400 ppm, *reverse osmosis* merupakan perlakuan yang murah.
2. 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.
3. 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.

- Faktor-faktor yang mempengaruhi proses pemisahan

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kinerja membran adalah:

1. Laju Umpan

Laju permeat meningkat dengan semakin tingginya laju alir umpan. Selain itu, laju alir yang besar juga akan mencegah terjadinya *fouling* pada membran. Namun energi yang dibutuhkan untuk mengalirkan umpan akan semakin besar.

2. Tekanan Operasi

Laju permeat secara langsung sebanding dengan tekanan operasi yang digunakan terhadap permukaan membran. Semakin tinggi tekanan operasi, maka permeat juga akan semakin tinggi.

3. Temperatur Operasi

Laju permeat akan meningkat seiring dengan peningkatan temperatur. Namun temperatur bukanlah variabel yang dikontrol. Hal ini perlu diketahui untuk dapat mencegah terjadinya penurunan fluks yang dihasilkan karena penurunan temperatur operasi.

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, 2011).

Secara empirik, laju perpindahan air melalui membran semipermeabel dalam proses reverse osmosis dapat dinyatakan dengan hubungan berikut :

$$J_{air} = W(P - \pi) \dots\dots\dots(1)$$

Dalam hubungan ini, J_{air} adalah fluks air melalui membran RO, W adalah permeabilitas membran RO, P adalah tekanan hidrostatis, dan π adalah tekanan osmosis. Besarnya tekanan osmosis berbanding lurus dengan konsentrasi garamnya. Sementara ini, laju perpindahan zat terlarut (garam) berbanding lurus dengan gradien konsentrasi melintasi membran (yaitu perbedaan konsentrasi antara sisi umpan dan sisi permeat). (Ariyanti, 2011).

$$J_{solut} = K(C_f - C_p) \dots\dots\dots(2)$$

Dalam hubungan ini, J_{solut} adalah fluks zat terlarut (garam) melalui membran RO, K adalah konstanta yang ditentukan oleh material dan ketebalan membran. persamaan (2) dan (3) menunjukkan bahwa laju perpindahan air merupakan fungsi tekanan operasi, sedangkan laju perpindahan garam tidak. Oleh karena itu, penurunan konsentrasi garam pada konsentrat dan peningkatan tekanan operasi akan meningkatkan kemurnian permeat (Ariyanti, 2011).

1.4.1. Membran *Reverse Osmosis*

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 dari pori membran akan lolos menembus pori membran (Kesting, RE, 2000).

Komponen Dasar dari Sistem *Reverse Osmosis*

1. *Cold Water Line Valve*: Valve untuk penghubung ke air dingin tempat sumber air dalam sistem *Reverse Osmosis*.
2. *Pre-Filter*: Air dari jalur sumber air masuk ke pre-filter terlebih dahulu. Dalam sistem *Reverse Osmosis*, bisa jadi lebih dari 1 pre-filter yang digunakan untuk

melindungi membran RO. Pre-filter ini akan menyaring partikel-partikel besar yang dapat membuat menyumbat sistem, seperti tanah, butir pasir, dan sedimen. Pada pre-filter ini juga diaplikasikan filter karbon untuk menghilangkan klorin yang dapat merusak membran RO.

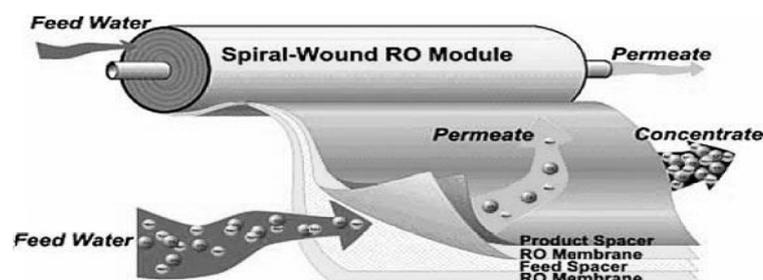
3. Membran *Reverse Osmosis*: Membran ini adalah jantungnya sistem *reverse osmosis*. Membran RO semipermeable didesain untuk menghilangkan berbagai kontaminan yang merusak kesehatan maupun penampilan air. Setelah menembus membran, air didorong ke tanki penyimpanan air.
4. Tanki penyimpanan: Tanki penyimpanan standar dapat menampung 2-4 galon air. Pada tanki terdapat bladder menuju komponen selanjutnya untuk menjaga air senantiasa ditekan ke dalam tanki saat sudah penuh.
5. Post-Filter: Setelah air meninggalkan tanki penyimpanan RO, air menuju komponen post-filter, biasanya berupa filter karbon, yang gunanya untuk menghilangkan sisa air atau bau.
6. *Automatic Shut Off Valve* (SOV): Untuk menjaga air, sistem RO memiliki katup yang mati secara otomatis. Saat tanki penyimpanan telah penuh, *the automatic shut off valve* menutup untuk menghentikan air masuk ke membran dan menghalangi arus menuju pembuangan. Saat air ditarik dari keran RO, tekanan dalam tanki menuru, dan katup ini membuka kembali.
7. *Check Valve*: Katup ini terletak pada ujung rumah membran RO. Katup ini menjaga agar tidak terjadi arus balik dari air penyimpanan RO menuju membran kembali, yang dapat menyobek membran RO.
8. Pengatur Arus: Air yang mengalir menuju membran RO diatur menggunakan pengatur arus.
9. Keran RO: Sebuah unit RO memiliki keran sendiri, yang biasa diinstal pada keran dapur. Beberapa daerah memiliki aturan perpipaan yang mengharuskan adanya keran dengan gap udara.
10. Pipa pembuangan: Pipa ini adalah untuk membuang limbah yang memiliki ketidakmurnian dan kontaminan setelah difiltrasi oleh membran RO.

Membran semi permeabel 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 (Ariyanti, 2011).

Reverse osmosis umumnya digunakan untuk memisahkan bahan yang mempunyai berat molekul rendah atau bahan-bahan organik dari larutan, contohnya proses desalinasi air laut. Pori membran yang digunakan sangat kecil mendekati dense, maka mekanisme pemisahan yang terjadi tidak berdasarkan ukuran molekul tetapi lebih berdasarkan pada *solution-diffusion*. Hal inilah yang membedakan dengan proses makrofiltrasi dan ultrafiltrasi. Umumnya besar tekanan yang diterapkan minimal 3 kali lipat dengan tekanan osmosis larutan (Wenten, 2000).

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 (*Reverse Osmosis*), hanya diaplikasikan pada industri makanan serta sistem khusus (Ariyanti, 2011).



Gambar 2. Modul Membran *Spiral Wound*

Sumber: Perth Seawater Desalination Plant, Seawater Reverse Osmosis (SWRO)

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 (Ariyanti, 2011).

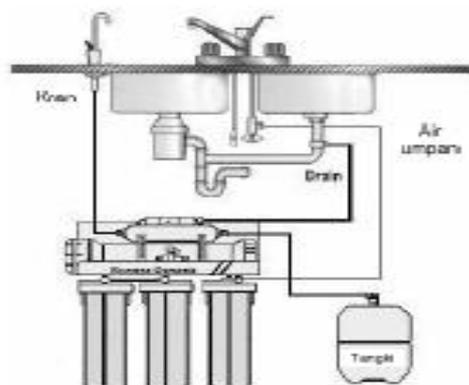
membran *spiral wound* yang digunakan tangga memiliki panjang 25-100 cm dengan diameter 5-10 cm. Air umpan/brine mengalir pada elemen secara aksial masuk melalui *feed spacer* lalu keluar melalui keluaran brine secara paralel menuju permukaan membran (Ariyanti, 2011).

1.4.2. Tipe Aplikasi

Aplikasi sistem RO (*Reverse Osmosis*) skala rumah tangga dapat dibagi menjadi beberapa tipe sesuai dengan kapasitas dan penggunaannya, yaitu tipe *undersink*, *whole house*, *milti family*, dan *farm and ranch* (Ariyanti, 2011).

1. Tipe Undersink

Tipe *undersink* merupakan sistem RO (*Reverse Osmosis*) 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 (*Reverse Osmosis*) yang akan memisahkan air dari ion, garam, dan mineral yang terlarut, post-filter, serta tangki penampung (Ariyanti, 2011).



Gambar 3. Sistem RO (*Reverse Osmosis*) Tipe *Undersink*
Sumber: www.airwaterpurifiers.com

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 (*Reverse Osmosis*), tangki penampung serta *re-pressurization system* yang memudahkan proses pemurnian air (Ariyanti, 2011).



Gambar 4. Sistem RO (*Reverse Osmosis*) Tipe *Whole House*
Sumber: www.cheyennearabians.com

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, 2011).

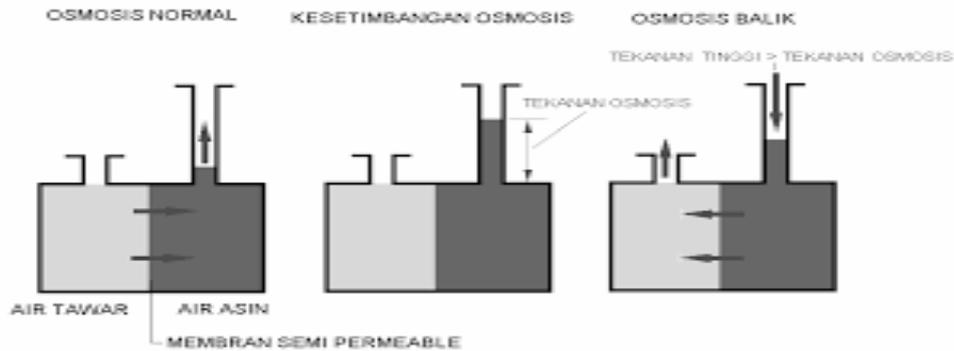


Gambar 5. Sistem RO (*Reverse Osmosis*) Tipe *Farm and Ranch*
Sumber: www.kochmembrane.com

1.4.3. Kinerja Membran

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 disisi air baku, sehingga dapat menciptakan proses yang berlawanan (*reverse*) dari proses alamiah *osmosis*. Prinsip dasar proses osmosis dan proses osmosis balik tersebut dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Prinsip Dasar Proses Osmosis Balik (*Reverse Osmosis*)
 Sumber: Said, 2008.

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

Fluks adalah jumlah volume permeat yang diperoleh pada operasi membran per satuan waktu dan satuan luas permukaan, Koefisien rejeksi adalah fraksi konsentrasi zat yang tidak menembus membran (Suprihanto Notodarmajo dan Anne Deniva, 2004).

Sebelum uji fluks suatu larutan, terlebih dahulu dilakukan kompaksi terhadap membran yang akan diuji. Kompaksi dilakukan dengan mengalirkan air melewati membran hingga diperoleh fluks air yang konstan. Penurunan fluks air akan terjadi karena adanya deformasi mekanik pada matriks membran akibat tekanan yang diberikan. pepadatan pori film terjadi saat terjadi proses deformasi, sehingga nilai fluks menjadi turun. Hasil uji fluks yang dialurkan terhadap tekanan dipakai untuk menentukan permeabilitas air (Mulder, 1996).

1. Fluks Volume

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

$$Jv = \frac{V}{A.t} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

J_v = fluks volume ($L/m^2 \cdot jam$)

V = volume permeat (L)

A = luas permukaan (m^2)

T = waktu proses (jam)

Permeabilitas ditentukan oleh persamaan 2.

$$J_v = L_p \cdot \Delta P \dots \dots \dots (2)$$

Dimana :

J_v = fluks air ($L/m^2 \cdot jam$)

L_p = Koefisien permeabilitas ($L/m^2 \cdot jam \cdot atm$)

ΔP = Perubahan tekanan

2. Penentuan Rejeksi

Selama konsentrasi sisi diniding umpan membran tetap, maka jumlah massa fluks garam yang melewati membran tetap pula. Sementara dengan kenaikan tekanan akan menyebabkan kenaikan fluks air yang melewati membran, dimana tekanan operasi merupakan *driving force* fluks pelarut, dengan demikian tekanan akan menyebabkan kenaikan fluks pelarut (air) sedangkan fluks zat terlarut (garam) adalah tetap sehingga akan menyebabkan rejeksi meningkat (Nurhayati dan Soedjono, 2005).

Menunjukkan besarnya kandungan garam yang tertahan pada permukaan membran yang tidak menembus membran. Menghitung rejeksi garam ini dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$R = \left(1 - \frac{C_p}{C_f} \right) \times 100\% \dots \dots \dots (3)$$

Dimana :

R = rejeksi (%)

C_p = konsentrasi solute dalam permeat (ppm)

C_f = konsentrasi solute dalam umpan (ppm)

Jika koefisien rejeksi yang diperoleh cukup besar, maka air bersih yang dihasilkan cukup murni (Mulder, 1991).

1.5. Ultraviolet

Salah satu metode pengolahan air adalah dengan penyinaran sinar *ultraviolet* dengan panjang gelombang pendek yang memiliki daya inti mikroba

yang kuat. Cara kerjanya adalah dengan absorpsi oleh asam nukleat tanpa menyebabkan terjadinya kerusakan pada permukaan sel. Air dialirkan melalui tabung dengan lampu ultraviolet berintensitas tinggi, sehingga bakteri terbunuh oleh radiasi sinar *ultraviolet*, harus diperhatikan bahwa intensitas lampu *ultraviolet* yang dipakai harus cukup, untuk sanitasi air yang efektif diperlukan intensitas sebesar 30.000 MW sec/cm² (Micro Watt detik per sentimeter per segi).

Teknologi membran mempunyai potensi besar untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi proses produksi minuman isotonik. Namun, masih ada keraguan mengenai efektivitasnya dalam menurunkan aktivitas mikroorganisme. Teknologi *ultraviolet* merupakan teknologi yang semakin umum digunakan dalam purifikasi dan sterilisasi berbagai bahan seperti air minum, jus buah dan lain-lain. Namun, masih dibutuhkan penelitian-penelitian lebih lanjut pada jenis pangan yang spesifik, khususnya untuk melihat pengaruhnya terhadap nilai gizi dan aspek sensori pangan (Falguera *et al.*, 2011).

Radiasi sinar *ultraviolet* dapat membunuh semua jenis mikroba bila intensitas dan waktunya cukup, tidak ada residu atau hasil samping dari proses penyinaran dengan *ultraviolet*, namun agar efektif, lampu UV (*ultraviolet*) harus dibersihkan secara teratur dan harus diganti paling lama satu tahun. Air yang akan disinari dengan UV (*ultraviolet*) harus tetap melalui filter halus dan karbon aktif untuk menghilangkan partikel tersuspensi, bahan organik, Fe atau Mn jika konsentrasinya cukup tinggi.

Radiasi sinar UV (*ultraviolet*) dapat merusak biomolekul yang menyimpan sandi instruksi genetika pada mikroba atau *deoxyribonucleic acid* (DNA) mikroba. Pada panjang gelombang 254 nm sinar UV (*ultraviolet*) dapat menembus dinding sel mikroorganisme dan diabsorpsi oleh badan seluler sehingga dapat menghalangi replikasi DNA dan efektif menginaktivasi mikroorganisme. Sistem desinfeksi radiasi UV (*ultraviolet*) adalah sistem yang menggunakan lampu merkuri tekanan rendah yang tertutup dalam tabung *quartz*. Tabung dicelupkan dalam air yang mengalir dalam tanki sehingga air tersinari oleh radiasi UV (*ultraviolet*) dengan panjang gelombang 254 nm. Penggunaan yang terus-menerus menyebabkan lampu *quartz* harus dibersihkan secara teratur dengan pembersihan mekanik, kimiawi dan *ultrasonik* (Said Nusa, 2007).

1.6. Analisis Ekonomi

Analisis ekonomi ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran umum dari segi ekonomi mengenai pembuatan air minum kemasan dengan kapasitas 1.000 ml/hari. Adapun parameter kelayakan pembuatan air minum kemasan adalah sebagai berikut:

1) Keuntungan (Profitabilitas)

- *Annual Cash Flow* (ACF)

Annual Cash Flow (ACF) merupakan uang tunai yang tersedia setiap tahunnya.

2) Lama Waktu Pengembalian Modal

a) *Pay Out Time* (POT)

Pay Out Time (POT) merupakan jangka waktu pengembalian modal FCI (*Fixed Capital Investment*) beserta bunga TCI (*Total Capital Investment*).

Waktu pembayarandapat ditentukan menurut persamaan berikut:

$$POT = \frac{FCI + \text{Bunga TCI}}{ACF} \dots\dots\dots(4)$$

Ket :

POT = *Pay Out Time*

FCI = *Fixed Capital Investment*

TCL = *Total Capital Investment*

ACF = *Annual Cash Flow*

3) *Break Even Point*

Break Even Point menunjukkan persentase kapasitas produksi yang seharusnya dicapai agar seluruh modal yang diinvestasikan TPC (*Total Production Cost*) bisa kembali oleh SP (*Selling Price*), dengan kata lain BEP (*Break Even Point*) menunjukkan persentase kapasitas produksi saat TPC (*Total Production Cost*) dan SP (*Selling Price*) bernilai sama.

Nilai BEP (*Break Even Point*) secara matematis dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$BEP = \frac{\text{Fixed Cost}}{\text{Selling Price} - \text{Variable Cost}} \cdot 100 \% \dots\dots\dots(5)$$

