

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Akuades dan Akuabides

2.1.1 Pengertian Akuades dan Akuabides

Akuades merupakan air hasil penyulingan yang bebas dari zat-zat pengotor sehingga bersifat murni dalam laboratorium. Akuades berwarna bening, tidak berbau, dan tidak memiliki rasa. Akuades biasa digunakan untuk membersihkan alat-alat laboratorium dari zat pengotor (Petrucci, 2008).

Akuades merupakan pelarut yang jauh lebih baik dibandingkan hampir semua cairan yang umum dijumpai. Senyawa yang segera melarut di dalam aquades mencakup berbagai senyawa organik netral yang mempunyai gugus fungsional polar seperti gula, alkohol, aldehida, dan keton. Kelarutannya disebabkan oleh kecenderungan molekul aquades untuk membentuk ikatan hidrogen dengan gugus hidroksil gula dan alkohol atau gugus karbonil aldehida dan keton (Lehninger, 1988). Maka, aquades juga dikenal sebagai pelarut universal.

Akuades berada dalam kesetimbangan dinamis antara fase cair dan padat di bawah tekanan dan temperatur standar yaitu pada tekanan 100 kPa (1 bar) dan temperatur 273,15K (0°C). Dalam bentuk ion, aquades dapat dideskripsikan sebagai asosiasi (ikatan) antara sebuah ion hidrogen (H⁻) dengan sebuah ion hidroksida (OH⁺) (Suryana, 2013).

Rumondor dan Porotu'o (2014) mengemukakan bahwa aquades merupakan air yang melalui proses pengolahan yang memenuhi standar medis dan kimiawi. Aquades aman bagi kesehatan apabila telah memenuhi persyaratan fisika, mikrobiologis, kimiawi dan radioaktif.

Dalam penelitian Petrucci (2008), diketahui bahwa akuades adalah air hasil penyulingan (diuapkan dan disejukkan kembali) memiliki kandungan murni H₂O. Akuades juga memiliki rumus kimia yaitu H₂O yang berarti dalam 1 molekul terdapat 2 atom hidrogen kovalen dan atom oksigen tunggal.

Sedangkan akuabides adalah air yang diperoleh dengan dua kali penyulingan (Medicalcorner24, 2019).

Umumnya, akuades dan/atau akuabides dapat diolah dari bahan baku berupa air yang diperoleh dari sumber-sumber berikut.

1. Air suling dari air sumur
2. Air suling dari mata air pegunungan
3. Air suling dari air tadah hujan

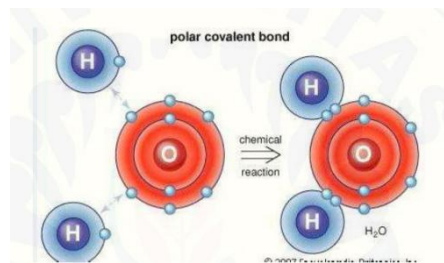
2.1.2 Karakteristik Akuades dan Akuabides

Beberapa karakteristik penting dari aquades diberikan dalam uraian berikut. Achmad (2004) mengemukakan bahwa air mempunyai konstanta dielektrik yang sangat tinggi sehingga berpengaruh besar terhadap sifat-sifat zat terlarutnya. Hal ini mengakibatkan banyak sekali senyawa ionik berdisosiasi dalam aquades. Selain itu, aquades memiliki kapasitas kalor yaitu $1 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{C}^{-1}$.

Aquades memiliki tegangan permukaan sebesar $7,2 \times 10^{-2} \text{ N/m}$ (25°C) yang membuat aquades memiliki sifat membasahi suatu bahan secara baik (*higher wetting ability*). Tegangan permukaan yang tinggi juga memungkinkan terjadinya prinsip kapilaritas yaitu kemampuan untuk bergerak atau mengalir dalam pipa kapiler (pipa berlubang kecil) sehingga dapat membawa nutrisi dari dalam tanah ke jaringan tumbuhan (akar, batang, dan daun) (Effendi, 2003).

Baik aquades maupun akuabides merupakan substansi kimia dengan rumus kimia H_2O , satu molekul air tersusun atas dua atom hidrogen yang terikat secara kovalen pada satu atom oksigen yang berberat molekul $18,02 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ (Suryana, 2013).

Rumus kimia pada aquades ditunjukkan oleh Gambar 1 sebagai berikut:



(Sumber: Petrucci, 2008)

Gambar 1. Struktur kimia pada aquades

Adanya ikatan hidrogen inilah yang menyebabkan akuades dan akuabides mempunyai sifat - sifat penting yang dapat diamati pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Sifat - sifat penting pada akuades

Sifat	Efek dan Kegunaan
Pelarut yang sangat baik	Transport zat- zat makanan dan bahan buangan yang dihasilkan proses biologi
Konstanta dielektrik paling tinggi di antara cairan murni lainnya	Kelarutan dan ionisasi dari senyawa ini tinggi dalam larutannya
Transparan terhadap cahaya tampak dan sinar yang mempunyai panjang gelombang lebih besar dari untraviolet	Tidak berwarna, mengekibatkan cahaya yang dibutuhkan untuk fotosintesis mencapai kedalaman tertentu
Tegangan permukaan lebih tinggi daripada cairan lainnya	Faktor pengendali dalam fisiologi; membentuk fenomena tetes dan permukaan
Bobot jenis tertinggi dalam bentuk cairan (fasa cair) pada 4oC	Air beku (es) mengapung, sirkulasi vertical menghambat stratifikasi badan air
Panas penguapan lebih tinggi daripada lainnya	Menentukan transfer panas dan molekul air antara atmosfer dan badan air
Kapasitas kalor lebih tinggi dibandingkan dengan cairan lain kecuali ammonia	Stabilitas dari temperatur organisme dan wilayah geografis
Panas laten dan peleburan lebih tinggi daripada cairan lain kecuali ammonia	Temperatur stabil pada titik beku

Sumber: (Achmad, 2004).

Akuades juga memiliki sifat - sifat fisika di antaranya viskositas yaitu 1,002 centipoise pada 20°C. Sementara pada temperatur yang sama dengan aquades, aquabides memiliki viskositas dinamis sebesar 0,952 mPa.s (*Safety Data Sheet Regulation* EC No.1907, 2006)

2.1.3 Standar Kualitas Aquades dan Aquabides

Beberapa organisasi telah menetapkan standar kualitas untuk *purified water*, seperti akuades dan aquabides berdasarkan penggunaan yang dimaksudkan. Standar kualitas yang dapat dijadikan sebagai acuan untuk memproduksi akuades dan akuabides antara lain adalah ASTM (*American Society for Testing and Materials*) D1193-99e1, NCCLS (*National Committee for Clinical Laboratory Standards*), ISO (*International Organization for Standardization*), EP (*European Pharmacopoeia*), USP (*United States Pharmacopoeia*).

Standar akuades berdasarkan ASTM D1193-99e1 dapat diamati pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. ASTM D1193-99e1 (*American Society for Testing and Materials Standard Specification for Reagent Water*)

Parameter	Type I	Type II	Type III	Type IV
<i>Electrical Conductivity Max. ($\mu\text{S}/\text{cm}$ at 25°C)</i>	0,056	1,0	4,0	5,0
<i>Electrical Resistivity ($M\Omega\text{-cm}$ at 25°C)</i>	18,2	1,0	0,25	0,2
<i>pH at 25°C</i>	-	-	-	5,0 - 8,0
<i>TOC max. ($\mu\text{g}/\text{L}$)</i>	10	50	200	n/a
<i>Sodium max. ($\mu\text{g}/\text{L}$)</i>	1	5	10	50
<i>Total Silica max. ($\mu\text{g}/\text{L}$)</i>	3	3	500	n/a
<i>Chlorides max. ($\mu\text{g}/\text{L}$)</i>	1	5	10	50
<i>Endotoxins IU/ml</i>	< 0.03	< 0.25	-	-

Berdasarkan Tabel 2, parameter uji bagi akuades dan akuabides dapat disesuaikan dengan *Type I* yang memiliki konduktivitas dan resistivitas berturut-turut sebesar 0,056 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dan 18,2 $M\Omega\text{cm}$ pada suhu kamar. Sementara itu, pada Tabel 3 di bawah ini dapat diamati standar aquades berdasarkan NCCLS.

Tabel 3. *National Committee for Clinical Laboratory Standards (NCCLS)*

Parameter	Type I	Type II	Type III
<i>Bacteria (CFU/ml)</i>	< 10	< 1000	NA
<i>pH</i>	NA	NA	5,0 - 8,0
<i>Resistivity ($M\Omega\text{.cm}$ @ 25°C)</i>	> 10*	> 1	> 0,1
<i>Silica (mg/L)</i>	< 0,05	< 0,1	< 1
<i>Total Solids (mg/L)</i>	0,1	1	5
<i>Total Oxidisable Organic Carbon (mg/L)</i>	< 0,05	< 0,2	< 1
<i>Particulate matter</i>	< 0.2 μm		

**Type I resistivity is measured in line*

Tabel 3 di atas menunjukkan bahwa total padatan yang terlarut dalam air *Type I* adalah 0,1 mg/L. Nilai tersebut lebih kecil dibandingkan air *Type II* dan *III*. Hal itu menandakan akuades tergolong sebagai air *Type I* yang mengandung sedikit mineral. Lalu, dapat diamati pula standar akuades berdasarkan ISO 3639 pada Tabel 4 di halaman berikut..

Tabel 4. ISO 3696 *Water for analytically laboratory use*
Specification and test methods

Parameter	Degree 1	Degree 2	Degree 3
<i>pH at 25°C</i>	N/A	N/A	5,0 - 7,5
<i>Electrical conductivity ($\mu\text{S}/\text{cm}$ 25°C, max).</i>	0,1	1,0	5,0
<i>Oxidizable matter. Oxigen (O) (content mg/L. max)</i>	N/A	0,08	0,4
<i>Absorbance at 254 nm and 1 cm optical path length. Absorbance units, max.</i>	0,001	0,01	<i>Not specified</i>
<i>Residue after evaporation at 110°C mg/kg, max</i>	N/A	1	2
<i>Silica content (SiO₂) (mg/L., max)</i>	0,01	0,02	<i>Not specified</i>

Kandungan silika (SiO₂) maksimum di dalam air *Degree 1* diketahui sebesar 0,01 mg/L pada Tabel 4 yang sebetulnya terbilang cukup tinggi dibandingkan parameter uji kandungan silika yang terdapat dalam Tabel 2 dan 3 yang masing-masing bernilai 3 $\mu\text{g}/\text{L}$ dan <0,05 mg/L

Adapun, beberapa *Pharmacopoeia* telah menetapkan persyaratan air untuk keperluan farmasi. Di antaranya yang paling terkenal adalah USP (*United States Pharmacopoeia*) dan EP (*European Pharmacopoeia*). Farmakope juga menetapkan kriteria kemurnian berupa kandungan mikrobiologis dan pirogen terhadap air steril dan air untuk injeksi yang menggunakan akuabides. Kriteria tersebut dapat diamati pada Tabel 5.

Tabel 5. *Pharmacopoeia*

Parameter	EP	USP
<i>Nitrates</i>	<0,2 ppm	-
<i>Heavy Metals</i>	<0,1 ppm	-
<i>TOC</i>	<500 $\mu\text{g}/\text{L}$ C	<500 $\mu\text{g}/\text{L}$ C
<i>Conductivity</i>	<1,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ at 20°C	<1.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ at 25°C
<i>Bacteria</i>	<100 CFU/ml	<100 CFU/ml

Dalam Tabel 5 di atas diketahui bahwa konduktivitas yang harus dimiliki oleh air steril dan pro injeksi yang berasal dari akuabides berdasarkan kriteria kemurnian dari Badan Kefarmasian Eropa dan Amerika berturut-turut adalah <1,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (20°C) dan <1,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (25°C).

Selain itu, pada Tabel 6 di bawah ini dapat diamati taraf kemurnian air menurut A.J Hartono (1994).

Tabel 6. Taraf Kemurnian Air (*Lorch*)

Parameter	Satuan	Grade I	Grade II	Grade III	Grade IV
Konduktivitas	$\mu\text{S/cm}$	0,055	0,055	2-1	5-2
Resistivitas (25°C)	$\text{M}\Omega/\text{cm}$	18	18	0,5-1	0,2-0,5
Oksigen terlarut	ppm	LD	<0,1	N/A	N/A
TSS	ppm	LD	LD	<0,05	<0,05
pH	-	7	6,5-7	5,8-8,5	4-8,5
Bakteri	Koloni/100 ml	0	<6	N/A	N/A
SiO ₂	ppm	<0,002	<0,005	<0,05	LD
TDS	ppm	<0,002	<0,005	<0,05	<0,05
CO ₂	ppm	LD	LD	1,0	LD

LD : *Limit Detection*

2.1.4 Parameter Fisika dan Kimia Aquades dan Aquabides yang Akan Diamati

Parameter fisika dan kimia yang akan diamati dari akuades dan akuabides antara lain adalah sebagai berikut:

1. Total Padatan Terlarut (TDS)

Total Padatan Terlarut (TDS) menunjukkan banyaknya partikel padat yang terdapat di dalam air. Padatan ini terdiri dari senyawa organik dan anorganik yang larut dalam air (Tati, 2013).

Bahan padatan keseluruhan ditentukan dengan menguapkan contoh air dan menimbang sisanya yang telah kering. Bahan padat terapung didapatkan dengan menyaring contoh air. Perbedaan bahan padat keseluruhan dan bahan padat terapung merupakan bahan padat terlarut (Tati, 2013).

2. Konduktivitas

Konduktivitas atau daya hantar listrik merupakan bilangan yang menyatakan kemampuan larutan cair untuk menghantarkan listrik.

Kemampuan tersebut bergantung pada eksistensi ion, total konsentrasi ion, valensi konsentrasi relatif ion, dan suhu pengukuran. Tingginya konduktivitas di dalam air akan mengubah rasa air dari payau hingga asin (Tati, 2013).

3. pH (Derajat Keasaman)

pH menyatakan intensitas keadaan asam atau basa suatu larutan yang ditentukan oleh konsentrasi ion H^+ (Tati, 2013).

Nilai pH aquabides umumnya 7-8 didapat dengan potensiometer yang mengukur potensial listrik yang dibangkitkan oleh ion-ion H^+ atau dengan bahan celup penunjuk warna, misalnya *methyl orange* atau *phenolphthalein* (Tati, 2013).

Pengukuran pH juga dapat menggunakan pH meter, kertas lakmus, dan kalorimeter. pH meter menggunakan elektroda yang sangat sensitif terhadap kegiatan ion dan mengubahnya menjadi sinyal arus listrik (Tati, 2013).

4. Resistivitas

Resistivitas, sebagaimana yang terdapat dalam ASTM B 193-95 *Standard Test Method for Resistivity of Electrical Conductor Materials*, merupakan tahanan listrik suatu bahan terhadap satuan panjang dan luas penampang atau satuan berat bahan tersebut. Besaran resistivitas dinyatakan dengan satuan Ωcm (ASM International, 2000).

2.2 Proses Pembuatan Akuades dan Akuabides

Proses pembuatan akuades/akuabides dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu resin penukar ion, elektrodialisis, distilasi konvensional, transfer membran, *flash evaporation*, dan *reverse osmosis* (Montgomery, 2005). Metode lainnya yaitu dengan mengkombinasikan sistem filtrasi dan pertukaran ion (*ion exchange*), sistem filtrasi dengan RO, dan sistem filtrasi dengan metode distilasi sebagaimana rancang bangun alat pembuatan akuades dan akuabides yang tengah dan telah dilakukan yang kemudian akan dibahas dalam Tugas Akhir (TA) ini.

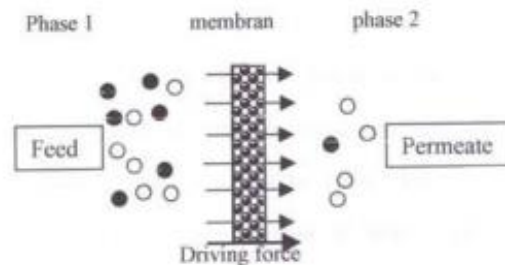
Berikut adalah teknologi atau sistem pemurnian air beserta definisi dan perkembangannya secara umum.

2.2.1 Teknologi Membran

Salah satu teknologi pemurnian air yang banyak digunakan di negara-negara maju adalah teknologi membran.

Kata membran berasal dari Bahasa Latin *membrana* yang berarti potongan kain. Saat ini istilah membran didefinisikan sebagai lapisan tipis (*film*) yang fleksibel sebagai pembatas antara dua fasa yang bersifat semipermeabel. Membran dapat berupa padatan atau cairan yang berfungsi sebagai media pemisahan yang selektif berdasarkan perbedaan koefisien difusifitas, muatan listrik dan perbedaan kelarutan (Wenten, 1999).

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2 berikut ini.



(Sumber: Wenten, 1999)

Gambar 2. Pemisahan Partikel oleh Membran

Pengelompokkan membran dapat dilakukan atas dasar berbagai hal. Berdasarkan material dasar yang digunakan, membran dapat dikelompokkan menjadi membran polimer, *liquid membrane*, membran padatan (keramik) dan membran penukar ion (Scott, 1995). Adapun berdasarkan konfigurasinya, membran dapat dikelompokkan menjadi membran lembaran, lilitan spiral (*spiral wound*), tubular, dan emulsi. Dan berdasarkan ukuran pori, membran dapat dikelompokkan menjadi mikrofiltrasi, ultrafiltrasi, dan nanofiltrasi (Wenten, 1999). Berikut penjelasan mengenai macam-macam membran berdasarkan ukuran pori tersebut.

2.2.1.1 Mikrofiltrasi

Membran mikrofiltrasi (MF) mengalami perkembangan yang sangat cepat pada 40-50 tahun terakhir ini. Membran MF dikomersilkan pertama kali pada tahun 1927 oleh Sartorius Werke di Jerman. Membran MF dapat dengan mudah

dibedakan dari membran lain seperti *reverse osmosis* (RO) dan ultrafiltrasi (UF) yaitu berdasarkan partikel yang dapat dipisahkannya. Membran mikrofiltrasi dapat dibuat dari berbagai macam material, baik organik maupun anorganik. Membran anorganik banyak digunakan karena ketahanannya pada suhu tinggi dan zat kimia.

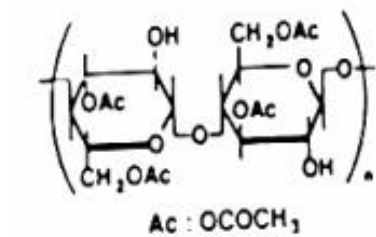
Membran MF memiliki ukuran pori antara 0,05-10 μm dan ketebalan antara 10-150 μm . Membran *Polyolefin* (PE) adalah salah satu jenis terpenting dari material polimer (Mahardani & Kusuma, 2010). Beberapa keuntungan dari membran polyolefine adalah:

1. Tidak mengeluarkan gas yang berbahaya apabila dibakar
2. Terdiri dari beberapa ukuran diameter pori, dari 0,05-0,5 μm , yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,3 μm dan 0,1 μm .
3. Tidak terdegradasi oleh larutan asam maupun basa.
4. Membran *polyolefine* mudah untuk dibersihkan dan tidak mudah robek.

2.2.1.2 Ultrafiltrasi

Membran ultrafiltrasi (UF) memiliki peranan penting pada pengolahan atau pemurnian air, seperti air limbah sebagai bahan baku menjadi air minum. Hal ini disebabkan ukuran pori membran yang sangat kecil untuk bisa menahan (*mereject*) partikel-partikel kecil berukuran makromolekul dan mikromolekul dari air. Membran ini dapat 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 umumnya terbuat dari selulosa diasetat dan selulosa triasetat. Peningkatan kandungan *acetyl* memberikan stabilitas kimia dan rejeksi yang baik terhadap padatan terlarut berupa mineral, akan tetapi juga dapat menyebabkan penurunan fluks (Nasrul, 2002). Gambar 3 memperlihatkan struktur kimia dari selulosa asetat.



(Sumber: Rautenbach, 1989)

Gambar 3. Struktur Kimia Selulosa Asetat

Ada beberapa keuntungan selulosa asetat dan derivatnya sebagai material membran (Mahardani & Kusuma, 2010) yaitu:

1. Sifatnya merejeksi fluks dan garam yang tinggi, kombinasi yang jarang ada pada material membran lainnya.
2. Relatif mudah untuk manufaktur.
3. Bahan mentahnya merupakan sumber yang dapat diperbarui (*renewable*).

Selain memiliki keuntungan, juga ada kerugiannya yaitu:

1. Memiliki range temperatur yang sempit.

Temperatur maksimum adalah 30°C. Temperatur yang tinggi akan mempercepat degradasi. Yang tidak menguntungkan dari hal tersebut adalah perolehan fluks (karena temperatur tinggi menyebabkan difusitas semakin tinggi dan viskositas menjadi lebih rendah, keduanya menyebabkan fluks lebih banyak) dan sanitasi karena keadaan ini menghasilkan keadaan kondusif bagi pertumbuhan mikroba.

2. Memiliki range pH yang cukup pendek. Umumnya dibatasi pada pH antara 2-8 atau 3-6.
3. Resistensinya lemah terhadap klorin.

Pada keadaan kontinyu hanya tahan hingga konsentrasi 1 mg klorin/L. Oksidasi klorin terhadap selulosa asetat menyebabkan waktu operasi menjadi sangat sebentar.

4. Selulosa asetat mengalami creep atau fenomena pepadatan yang agak lebih besar dibandingkan dengan material lainnya yaitu secara gradual. Kehilangan properti membran (khususnya fluks) pada tekanan di atas waktu operasinya.

5. Selulosa asetat sangat *biodegradable* yaitu sangat rentan terhadap mikroba yang terdapat di alam.

Membran ini biasanya terbuat dari polimer dengan teknik yang digunakan dalam pembuatannya adalah teknik inversi fasa. Polimer yang umum digunakan antara lain terbuat dari polisulfon, polietersulfon, polivinilidin fluorida, poliakrilonitril, selulosa asetat, poliamida, polieter keton dan lain sebagainya. Selain polimer material organik, polimer dari material anorganik seperti alumina dan *zirconia* juga sering digunakan (Mulder, 1996).

Dari kedua sistem filtrasi berdasarkan pori, dapat diamati karakteristik masing-masing yang dimiliki oleh membran MF dan UF pada Tabel 7 di bawah ini.

Tabel 7. Karakteristik Membran Mikrofiltrasi dan Ultrafiltrasi

	Mikrofiltrasi		Ultrafiltrasi	
Kekuatan Dorong	Perbedaan hidrostatik	Tekanan	Perbedaan hidrostatik	tekanan
Mekanisme Pemisahan	Saringan		Saringan, difusi	
Struktur Operasi (Ukuran Pori)	Makropori (>50 nm)		Mikropori (< 2 nm)	
Range Operasi Tipikal (μm)	0,08-2,0		0,001-0,01	
Deskripsi Permeat	Air + Senyawa terlarut		Air + molekul sangat kecil, cairan ionik	
Konstituen Yang Direduksi	TSS, Protozoa, Cysts, Bakteri dan virus	Kekeruhan, Oocysts, Beberapa	Molekul-molekul kecil, kesadahan dan virus	
Mekanisme Pemisahan	Filtrasi		Filtrasi, difusi	

(Sumber:Wenten, 1999)

2.2.2 Sistem Penguapan

Dalam surat balasan yang ditujukan kepada Kapten Frank Luckel oleh *The Bureau of Ships* pada tanggal 25 Agustus 1950 demi menanggapi permintaannya atas informasi konversi air laut menjadi air bersih dalam skala besar untuk irigasi, diketahui bahwa metode penguapan merupakan cara yang tepat di antara metode-metode lain yang menjadi pertimbangan seperti pertukaran ion, radiasi surya, dan *ultrahigh frequency* yang dapat memurnikan air laut. Metode penguapan atau

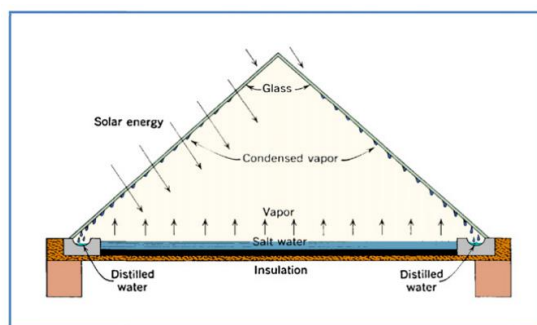
distilasi dinilai lebih praktis, murah, dan layak dimanfaatkan untuk skala besar (*US Congress, 1951*).

Kebutuhan air bersih (*fresh water*) dan air minum (*potable water*) yang terus meningkat seiring dengan bertambahnya populasi manusia di muka bumi itulah yang mendorong berbagai teknologi pengolahan dan pemurnian air dengan metode penguapan terus dikembangkan. Salah satu diantaranya adalah dengan memanfaatkan energi surya. Sistem penguapan air bertenaga surya tersebut diciptakan guna menanggapi urgensi kebutuhan air konsumsi yang aman (*chlorine free*) dan realisasi *Clean Development Mechanism*. Oleh karena itu, *solar water still* merupakan *vaporization equipment* yang tidak menghasilkan produksi gas emisi CO₂ (Saidur dkk, 2011).

Prinsip kerjanya adalah dengan mengumpankan air baku yang masih mengandung mineral ke piringan hitam yang terletak di bagian yang lebih rendah dalam *solar distiller*. Panas matahari mengakibatkan air tersebut menguap. Ketika uap air menyentuh permukaan dingin dari bidang transparan yang miring, uap air akan mengembun dan membentuk tetesan air hasil distilasi. Bidang transparan tersebut umumnya terbuat dari kaca atau plastik (Saidur dkk, 2011).

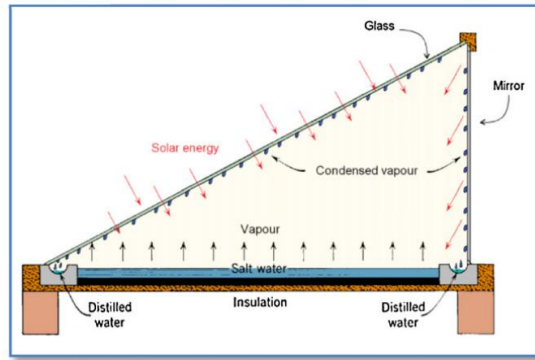
Alat distilasi bertenaga surya dibedakan menjadi dua tipe berdasarkan kinerjanya, yaitu *Symmetric Greenhouse Type* (SGH) yang tidak dilengkapi kaca tambahan dan *Asymmetric Greenhouse Type* (ASGH) dengan kaca tambahan (Saidur dkk, 2011).

Kedua jenis *solar water still* tersebut dapat diamati pada Gambar 4 dan 5 di bawah ini.



(Sumber : Saidur dkk, 2011)

Gambar 4. *Symmetric Greenhouse Type*



(Sumber : Saidur dkk, 2011)

Gambar 5. *Asymmetric Greenhouse Type*

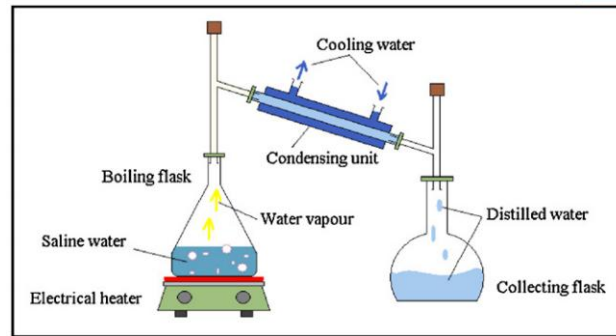
Efisiensi sistem ASGH lebih tinggi 20% dibandingkan dengan SGH (Saidur dkk, 2011). Bagian-bagian pada alat tersebut ditampilkan pada gambar. Adapun, alat distilasi bertenaga surya dengan pengembangan seperlunya terdiri atas penampung panas surya (*solar heat collector*), *heat exchanger*, tangki pemanas, dan *flashing unit* atau *chamber* distilasi yang berupa evaporator dan kondensor (Saidur dkk, 2011).

Sampai kini, air hasil distilasi (*distilled water*) kian diperlukan dalam berbagai aspek kehidupan manusia. Pemanfaatannya tidak hanya untuk konsumsi melainkan juga merambah ke dunia industri, medis, dan farmasi.

Distilasi sendiri merupakan metode pemisahan komponen-komponen dalam suatu larutan yang bergantung pada penyebaran substansi antara fase gas dan fase cair, yang diterapkan pada banyak kasus di mana semua komponen berada di kedua fase. Alih-alih memasukkan zat baru ke dalam campuran guna menyediakan fase kedua, seperti yang terjadi dalam penyerapan atau desorpsi gas, fase baru tersebut justru tercipta dari larutan murni dengan cara penguapan dan kondensasi (Treybal, 1981).

Agar mengetahui lebih jelas tentang perbedaan distilasi dengan operasi teknik kimia lainnya, maka dapat dikutip beberapa contoh spesifik dari uraian berikut. Pada proses pemisahan air dan garam, air dapat diuapkan sepenuhnya dari larutan tanpa menghilangkan garam, yang dalam prakteknya ditujukan untuk senyawa yang bersifat cukup nonvolatil dalam kondisi yang berlaku. Hal inilah yang dikenal dengan evaporasi (Treybal, 1981).

Gambar 6 memperlihatkan bagaimana metode distilasi secara sederhana dapat dilakukan.



(Sumber : Saidur dkk, 2011)

Gambar 6. Metode distilasi tradisional

Sementara distilasi, terfokus pada proses pemisahan larutan di mana semua komponen dinilai bersifat volatil, misalnya larutan yang mengandung amonia dan air. Melalui pengontakkan larutan amonia-air dengan udara (yang pada dasarnya tidak mudah larut dalam zat cair), amonia akhirnya dapat dipisahkan atau didesorpsi melalui proses tersebut. Akan tetapi, amonia hasil pemisahan tersebut bercampur dengan uap air dan udara yang diperoleh tidak dalam keadaan murni (Treybal, 1981).

Baik evaporasi maupun distilasi, kedua-duanya adalah operasi teknik kimia yang dilatarbelakangi oleh proses *vaporization* yang merupakan proses perubahan zat dari fase cair ke fase uap. Untuk senyawa fluida murni pada tekanan tertentu yang diberikan, perubahan fase dari cair ke uap atau sebaliknya terjadi hampir pada temperatur yang sama. Keadaan tersebut dinamakan titik kesetimbangan (*equilibrium*) atau saturasi (kejenuhan) (Kern, 1986).

Oleh karena itu, dalam bukunya *Process Heat Transfer* hal. 378 (1986), Kern menuliskan klasifikasi peralatan dengan proses vaporisasi, yaitu sebagai berikut:

1. Evaporator, suatu alat yang digunakan untuk menguapkan air atau suatu larutan tertentu.
2. *Reboiler*, suatu alat yang digunakan untuk menyediakan kebutuhan panas pada bagian bawah kolom distilasi, baik uap yang terbentuk menjadi *steam* atau tidak.
3. *Vaporizer*, suatu alat yang digunakan tidak untuk formasi *steam* dan bukan termasuk bagian dari proses distilasi.

4. Evaporator kimiawi, suatu evaporator yang digunakan untuk memekatkan larutan kimiawi melalui evaporasi zat pelarut.
5. *Power plant* evaporator, suatu evaporator yang digunakan dalam sambungan dengan sistem pembangkit energi untuk memproduksi air murni atau untuk proses evaporatif yang terhubung dengan pembangkit energi.

Selain itu, ada ragam jenis metode distilasi yang dapat diterapkan pemakaiannya dalam skala kecil yang cocok untuk industri rumahan, laboratorium, dan kegunaan darurat (Saidur dkk, 2011).

Berikut beberapa metode distilasi yang dibedakan dari segi kemudahan, biaya, dan penerapannya (Saidur dkk, 2011).

2.2.2.1 Jenis-jenis Distilasi

A. Distilasi Konvensional

Seperti yang sudah ditampilkan pada Gambar 6, metode distilasi tersebut merupakan cara tersederhana yang digunakan dalam laboratorium kimia. Prinsip kerjanya adalah dengan memanaskan air yang masih mengandung mineral di dalam labu didih. Sumber panas yang dimanfaatkan dapat berasal dari pemanas listrik, kompos gas, kompor minyak, piringan surya, dan lain sebagainya (Saidur dkk, 2011).

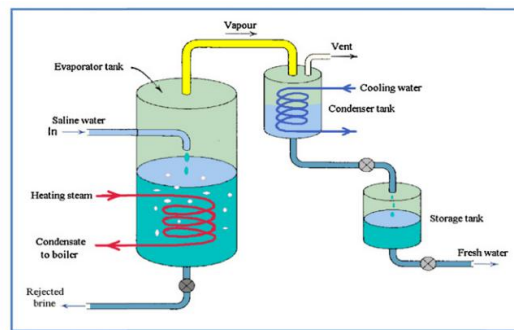
Uap air akan bergerak menuju unit pengembun yang dialiri air pendingin. Uap air yang telah kehilangan sejumlah panas laten akan mengalami perubahan dari keadaan gas menjadi zat cair murni. Tetes air yang terbentuk lama kelamaan akan terkumpul dan bergerak menuju labu penampung (Saidur dkk, 2011).

Meskipun mudah dilakukan, metode distilasi ini memiliki kelemahan yakni permintaan akan sejumlah besar energi guna menguapkan air yang disebabkan oleh tingginya panas laten penguapan air yaitu 2257 kJ/kg pada 100°C. Oleh karena itu, distilasi konvensional hanya cocok digunakan untuk desalinasi sejumlah kecil air (Saidur dkk, 2011).

B. Distilasi Tahap Tunggal

Pada sistem distilasi tahap tunggal, evaporator diisi dengan air baku melalui pipa. Air baku kemudian dipanaskan hingga mencapai titik didihnya dengan melewati *steam* melalui penukar panas khusus *steam* yang berada di dalam tangki penguapan. *Steam* yang mengalir di dalam *tube* akan mengembun dan dikembalikan ke *boiler*, sedangkan air baku yang mengalir di bagian luar *tube* akan mendidih dan menguap. Uap yang terbentuk bergerak menuju kondensor yang di dalamnya terdapat pipa pendingin yang dilewati air penyejuk sehingga uap akan berubah menjadi air murni (Saidur dkk, 2011).

Distilasi tahap tunggal tersebut diilustrasikan oleh Gambar 7 berikut.



(Sumber : Saidur dkk, 2011)

Gambar 7. Sistem distilasi tahap tunggal

Guna memastikan panas terlepas dari sistem pendidihan dan diserap oleh air umpan, maka suhu kondensasi *steam* harus lebih tinggi dibandingkan dengan titik didih air. Agar dapat mewujudkannya, titik didih air diturunkan dengan mengecilkan tekanan uap. Tekanan uap dapat dikendalikan dengan mengeluarkan udara dari evaporator menggunakan pompa vakum atau ejektor (Saidur dkk, 2011).

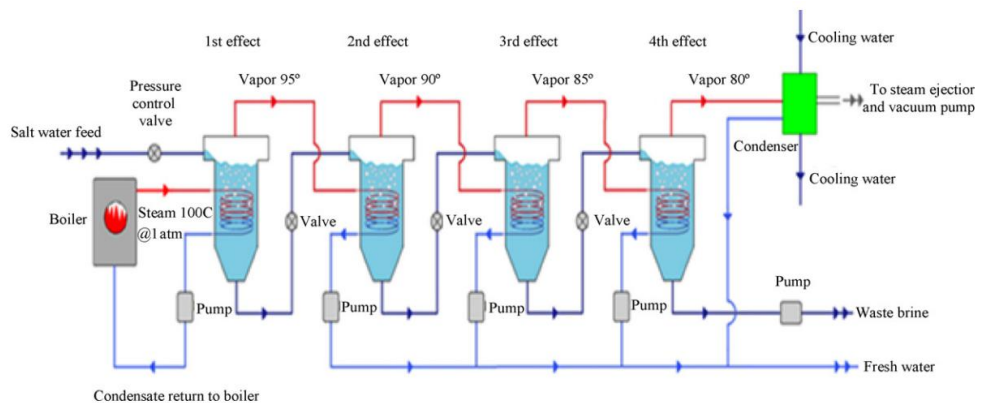
C. Distilasi Tahap Bertingkat

Distilasi tahap bertingkat merupakan salah satu solusi untuk memulihkan panas yang dilepaskan dari uap air selama proses kondensasi berlangsung. Hal tersebut akan berdampak pada kenaikan efisiensi dan turunnya biaya energi (Saidur dkk, 2011).

Pada metode distilasi bertingkat, air dididihkan dalam *boiler* dan dikonversikan menjadi *steam*. *Steam* akan memanaskan air umpan di dalam

evaporator/efek pertama. Uap yang keluar dari efek pertama akan bertindak sebagai media pemanas bagi efek kedua dan akan mendidihkan air umpan di dalamnya. Begitu juga uap yang keluar dari efek kedua akan memanaskan umpan di efek ketiga dan seterusnya. Di waktu yang bersamaan, air umpan yang hendak dididihkan di dalam efek akan berperan sebagai media pengembun bagi uap yang keluar dari efek sebelumnya (Saidur dkk, 2011).

Berikut disajikan ilustrasi distilasi tahap bertingkat pada Gambar 8.



(Sumber : Saidur dkk, 2011)

Gambar 8. Distilasi tahap bertingkat (*multiple effect distillation*)

Dalam metode ini, sejumlah besar panas laten kondensasi uap digunakan beberapa kali sebelum lepas ke lingkungan. Oleh karena itu, tekanan uap di tiap-tiap efek harus lebih kecil dibandingkan tekanan uap di dalam efek sebelumnya dan lebih tinggi dari efek selanjutnya (Saidur dkk, 2011).

Selama proses pemanasan, udara dapat masuk dan berkumpul di bidang penguapan yang akan mengakibatkan lonjakan tekanan sehingga membatasi pendidihan air dan secara keseluruhan menghentikan proses distilasi. Oleh karena itu, katup penghambat tekanan dipasang untuk mengatur tekanan di dalam efek (Saidur dkk, 2011).

Kelebihan dari sistem distilasi ini adalah semakin banyak jumlah efek yang dipakai, maka *steam* pemanas yang dibutuhkan akan berkurang per ton massa dari air distilasi yang diperoleh. Meskipun demikian, biaya awal proses ini terbilang sangat tinggi (Saidur dkk, 2011).

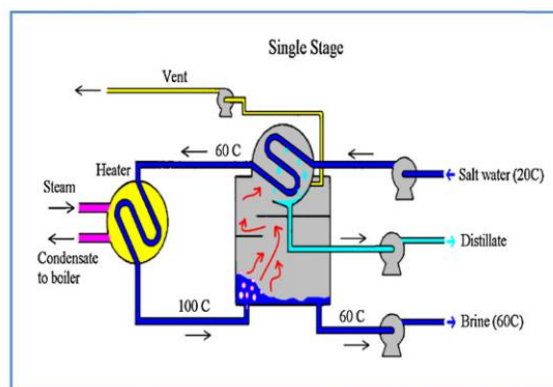
Hubungan antara biaya operasi dan biaya awal adalah sebagai penentu ukuran optimal sebuah *plant*. Sebagai contoh, pabrik yang besar membutuhkan 4-21 efek dan rasio performansinya berkisar antara 10-18 yang menyatakan bahwa

jika unit tersebut beroperasi dengan suhu umpan di efek pertama sebesar 70°C , maka proses itu dapat menurunkan potensi terbentuknya kerak dari air umpan, namun di waktu yang bersamaan juga meningkatkan kebutuhan akan area transfer panas di dalam *tube* pemanas (Saidur dkk, 2011).

D. Distilasi Kilat Tahap Bertingkat

Dalam metode distilasi kilat tahap bertingkat, pemanasan dan pendidihan berlangsung sekaligus dalam bejana yang sama. Air umpan dipanaskan oleh *steam* bertekanan rendah (yang dihasilkan dari pembangkit turbin) di luar *chamber* pendidihan yang dibuat untuk menguapkan air dengan mengecilkan tekanan. Suhu air umpan meningkat pesat karena panas laten kondensasi mengalir dari uap air yang mengembun. Air yang dipanaskan tersebut bergerak menuju *flash chamber* yang bertingkat di dalam evaporator. Umumnya *stage* di dalam evaporator berjumlah 19-28 dan beroperasi pada *Top Brine Temperature* (TBT) $90\text{-}120^{\circ}\text{C}$ (Saidur dkk, 2011).

Metode distilasi kilat tahap bertingkat efek tunggal dapat diamati pada Gambar 9 di bawah ini.



(Sumber : Saidur dkk, 2011)

Gambar 9. Distilasi kilat tahap bertingkat (*single stage flash distillation*)

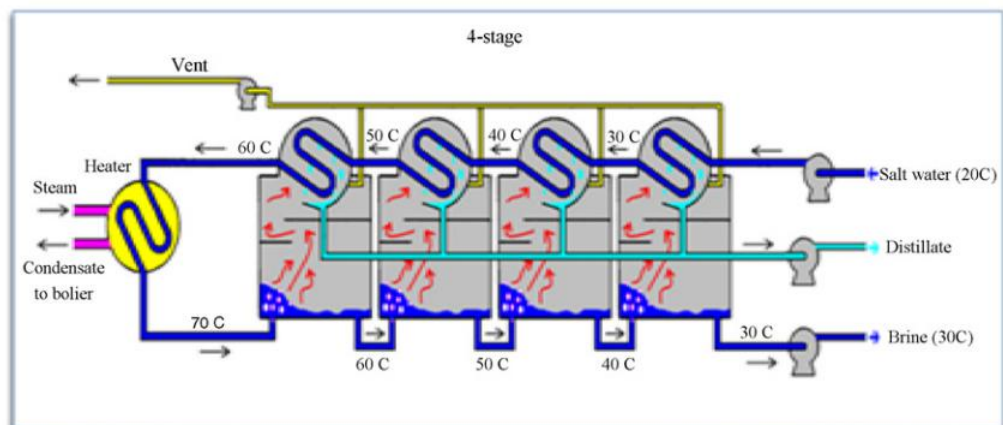
Pengoperasian unit pada batasan suhu 120°C dapat menaikkan efisiensi yang juga berdampak pada meningkatnya potensi formasi kerak dan mempercepat korosi pada permukaan logam yang kontak dengan air bermineral (Saidur dkk, 2011).

Adanya kontak intens yang terjadi antara cairan dan uap, proses pemisahan di dalam *flash chamber* merupakan sistem yang hampir mencapai keadaan setimbang (*equilibrium stage*) (Igglan & Mazotti, 2015).

Perancang sistem *flash distillation* perlu mengetahui tekanan dan suhu di dalam *flash chamber*, ukuran *chamber*, komposisi uap dan cairan, serta laju alir volumetrik atau massa. Yang mana dari variabel-variabel tersebut bersifat terspesifikasi dan perlu dipilih berdasarkan penerapannya, sebagai contoh *flash chamber* yang dioperasikan secara kontinyu hanya dapat dipertimbangkan kesetimbangan larutan atau keadaan isofugasitasnya (Igglan & Mazotti, 2015).

Selain itu, pada distilasi kilat tahap bertingkat efek jamak, banyaknya jumlah *stage* juga dapat meningkatkan efisiensi sekaligus menambah biaya kapital untuk membangun sistem distilasi tersebut. Rentang laju produksi terletak di antara 6,5 dan 10,5 lbs/1000 Btu panas input.

Berikut ilustrasi *multi stage flash distillation* yang diperlihatkan pada Gambar 10 di bawah ini.



(Sumber : Saidur dkk, 2011)

Gambar 10. *Multi stage flash distillation*

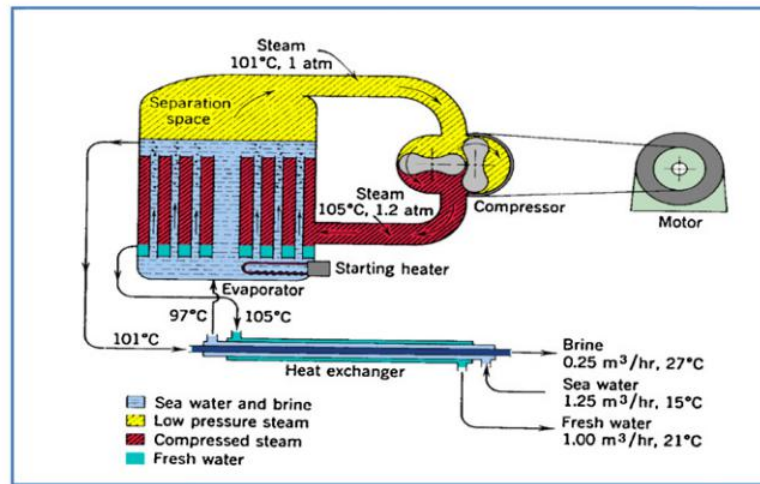
E. Distilasi Kompresi Uap

Distilasi kompresi uap dengan satu efek rupanya sama menguntungkannya dengan menggunakan 15-20 efek pada metode distilasi tahap bertingkat (Saidur dkk, 2011).

Air umpan mengalami pemanasan awal di dalam HE horizontal dengan air distilasi yang sudah terbentuk yang berada di bagian luar evaporator. Lalu, air umpan tersebut akan mendidih di dalam *tube* evaporator. Uap air yang dihasilkan

akan ditekan menggunakan kompresor mekanis eksternal yang kemudian diumpungkan kembali ke dalam evaporator untuk diembunkan di luar *tube* dan menyediakan energi panas yang dibutuhkan bagi proses pendidihan air umpan.

Ilustrasi distilasi kompresi uap dapat dilihat pada Gambar 11 berikut.



(Sumber : Saidur dkk, 2011)

Gambar 11. Distilasi kompresi uap

F. Metode Terbaru *Refro Distiller*

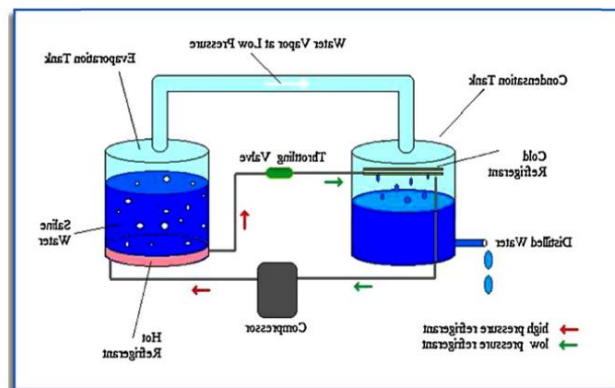
Refro distiller merupakan metode distilasi terbaru yang ditunjang dengan dua fitur, yaitu adanya mekanisme *recovery* panas guna meminimasi sisa panas yang hilang saat proses penguapan berlangsung dan kondisi tekanannya yang kecil guna menurunkan titik didih (Saidur dkk, 2011).

Refro distiller menggunakan siklus pendinginan normal untuk memanaskan dan mendinginkan, serta menghemat sejumlah besar energi listrik yang digunakan (Saidur dkk, 2011).

Koefisien kinerja atau *Coefficient of Performance* (COP) idealnya adalah bernilai 4. Dengan kata lain, secara teoretis, *Refro distiller* dapat mentransfer energi termal yang dibutuhkan untuk memanaskan dan menguapkan air 4 kali lebih besar dibandingkan energi listrik yang terpakai (Saidur dkk, 2011).

Ilustrasi di halaman berikut menggambarkan prinsip kerja dari *Refro distiller*.

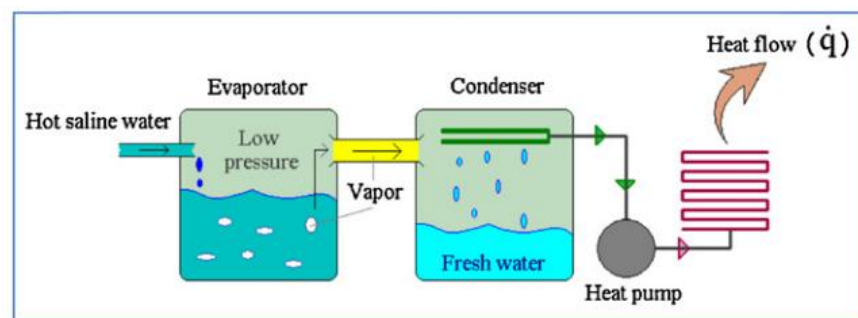
Alat distilasi jenis tersebut digolongkan menjadi dua tipe berdasarkan siklus panas keseluruhan, yaitu rangkaian tertutup dan rangkaian terbuka (Saidur dkk, 2011).



(Sumber : Saidur dkk, 2011)

Gambar 12. Prinsip kerja *Refro distiller*

Dalam loop tertutup, energi panas disirkulasi ulang di antara evaporator dan kondensor secara kontinyu selama proses distilasi berlangsung. Panas dipompakan dari kondensor menuju evaporator melalui siklus pendinginan dan akan bergerak kembali ke dalam kondensor melalui laju alir massa uap panas seperti yang ditampakkan oleh Gambar 13.

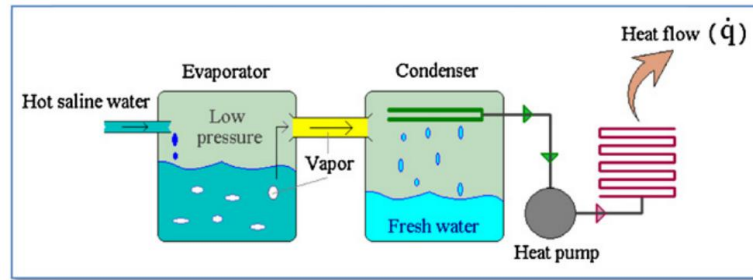


(Sumber : Saidur dkk, 2011)

Gambar 13. *Closed loop heat cycle*

Sementara itu, pada loop terbuka terdapat dua jenis *Refro distiller* yaitu dingin dan panas. Ketika suhu air umpan untuk distilasi di atas 45°C, *Refro* panaslah yang dibutuhkan. Air panas sebagai subjek untuk mengecilkan tekanan pun memasuki evaporator. Tekanan rendah akan menstimulasi air yang panas tersebut untuk mendidih. Uap yang terbentuk bergerak menyusuri pipa sambungan untuk menyentuh bejana pengembun, dengan kata lain, uap akan bertumbukan dengan koil pendingin sehingga kondensasi terjadi. Panas dikeluarkan dari bejana pengembun melalui siklus pendingin ke lingkungan (Saidur dkk, 2011).

Ilustrasi loop terbuka *Refro* panas ditunjukkan pada Gambar 14 berikut ini.

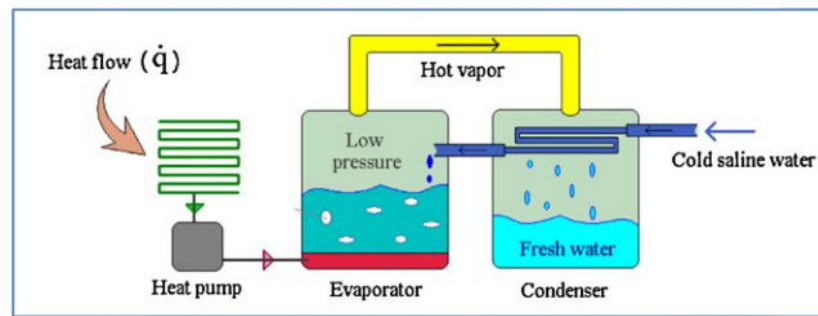


(Sumber : Saidur dkk, 2011)

Gambar 14. *Open loop Refro panas*

Berlawanan dengan *Refro panas*, *Refro dingin* loop terbuka dirancang untuk air umpan bersuhu di bawah 10°C . Ketika, air umpan masuk ke dalam *distiller*, umpan akan mengalami pemanasan awal di dalam kondensor melalui pertukaran panas dengan *hot vapor*. Umpan kemudian dipanaskan lagi di dalam evaporator dengan panas yang dipompakan dari lingkungan ke siklus refrigerasi (Saidur dkk, 2011).

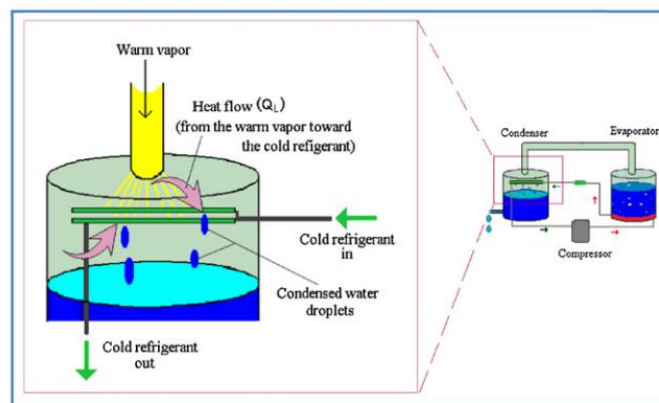
Berikut adalah ilustrasi *Open loop Refro dingin* yang ditampilkan oleh Gambar 15.



(Sumber : Saidur dkk, 2011)

Gambar 15. *Open loop Refro dingin*

Selain itu, di bawah ini juga diperlihatkan skema proses kondensasi pada *Refro distiller*.



(Sumber : Saidur dkk, 2011)

Gambar 16. Proses kondensasi

Guna menghitung laju produksi (efisiensi) air hasil sistem distilasi ini dan biaya energi, perlu diperhatikan bahwa bagian utama dari *Refro distiller* adalah siklus refrigerasinya (Saidur dkk, 2011).

Sejumlah air dari hasil kondensasi utamanya bergantung pada sejumlah panas (Q) yang dihilangkan dari uap menuju pipa pendingin. Untuk mengetahui Q dan jumlah air yang dihasilkan, maka diasumsikan bahwa siklus refrigerasi dalam *Refro distiller* adalah siklus refrigerasi kompresi uap yang ideal (Saidur dkk, 2011).

Berikut adalah perhitungan efisiensi alat distilasi sistem *Refro Distiller* dalam Saidur dkk (2011).

Merujuk pada tabel temperatur *saturated water*, panas laten evaporasi (h_{fg}) untuk air sama dengan sejumlah panas yang dibutuhkan untuk mengembunkan 1 kg uap air pada 25°C yaitu sebesar 2441,7 kJ sehingga massa air yang dihasilkan (m_{water}) sama dengan jumlah panas yang dihilangkan (Q) terhadap h_{fg} (Saidur dkk, 2011).

$$m_{water} = \frac{Q(kJ)}{h_{fg}} = \frac{Q(kJ)}{2441,7} (kg) \quad (1)$$

Efisiensi alat distilasi adalah:

$$\text{Production rate } (\eta) = \frac{m}{W_{in}} = \frac{Q}{W_{in} \times 2441,7} \quad (2)$$

$$\text{Production rate } (\eta) = \frac{COP_R}{2441,7} \quad (3)$$

$$\text{Sehingga, } COP_R = \frac{Q}{W_{in}} \quad (4)$$

Keterangan : m = massa output

W_{in} = energi listrik yang digunakan

COP_R = koefisien performansi siklus refrigerasi

Kriteria lain yang signifikan adalah biaya energi sistem yang didefinisikan sebagai total energi yang dikonsumsi terhadap jumlah air distilasi yang dihasilkan.

$$E_{cost} = \frac{\text{Total energi yang dimanfaatkan}}{m_{water}} \quad (5)$$

Konsumsi energi oleh siklus refrigerasi kompresi uap ideal adalah sama dengan kerja yang dilakukan oleh kompresor (W_{in}), maka ini persamaan biaya energinya,

$$E_{\text{cost}} = \frac{W_{in}}{m_{\text{water}}} = \frac{1}{\text{Production rate } (\eta)} \quad (6)$$

Biaya energi bagi proses evakuasi terhadap *Refro distiller* yang ideal dapat dituliskan dalam persamaan berikut,

$$E_{\text{evacuation}} = \Delta P \times V \quad (7)$$

Keterangan: $E_{\text{evacuation}}$ = biaya energi yang dibutuhkan untuk mengantisipasi kecukupan ruang bagi 1 kg air hasil distilasi.

ΔP = perbedaan tekanan antara tekanan lingkungan dengan tekanan *saturated water* (25°C)

V = volume 1 kg air hasil distilasi

Adapun, energi yang dibutuhkan oleh *water distiller* untuk mengubah air menjadi uap yang merupakan jumlah energi untuk memanaskan air dan energi untuk penguapan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

Energi untuk pemanasan:

$$Q_p = n \times C_p \times (T - T_{ref}) \quad (8)$$

Energi untuk penguapan:

$$Q_u = m_u \times \lambda_u \quad (9)$$

Total energi untuk menguapkan air adalah,

$$Q_{\text{total}} = Q_p + Q_u \quad (10)$$

Dengan, energi yang disuplai untuk mencukupi kebutuhan panas keseluruhan penguapan air adalah,

$$Q_H = P \times t \quad (11)$$

Maka, idealnya persamaan panas tersebut adalah,

$$Q_H = Q_{\text{total}} \text{ menjadi } P \times t = [n \times C_p \times (T - T_{ref})] + (m_u \times \lambda_u) \quad (12)$$

(Sumber: Tati, 2013)

Keterangan :

Q_p	= Panas sensibel
Q_u	= Panas laten penguapan
Q_H	= Energi dari pemanas elektrik
P	= Daya (watt)
t	= Lama waktu operasi (pemanasan)
n	= Mol zat
C_p	= Panas spesifik zat
T	= Temperatur setelah dipanaskan
T_{ref}	= Temperatur referen
m_u	= Jumlah massa uap
λ_u	= Perubahan entalpi penguapan ($h_f - h_g$)

2.2.2.2 Peralatan Sistem Penguapan

Beberapa komponen sistem penguapan yang digunakan dalam rancang bangun alat pembuatan aquades dan aquabides yang tengah dan telah dilakukan oleh peneliti antara lain adalah sebagai berikut.

A. *Water Distiller*

Water Distiller adalah tangki yang berfungsi sebagai tempat wadah terjadinya proses pemanasan air untuk menghasilkan uap. Alat ini berbentuk silinder yang berdiameter alas dan puncak 7,64 cm dan 3,82 cm dengan tinggi tangki dari dasar hingga puncak yaitu 46,5 cm.

Tangki tersebut dilengkapi dengan pemanas elektrik (*heater*) untuk memanaskan air sehingga membentuk uap. Elemen pemanas tersebut memberikan daya sebesar 1 kW.

Di bagian penampang dinding tangki, disediakan beberapa lubang berdiameter $\pm \frac{5}{16}$ inch sebagai *inlet* umpan ke dalam unit dari jarak ± 8 cm dari dasar unit dan *outlet* bagi uap yang sudah terbentuk di *top column* agar mengalir menuju kondensor yang dihubungkan dengan pipa berdiameter $\frac{3}{8}$ inch pada ketinggian 12 cm dari puncak *water distiller*. Bahan alat ini terbuat dari *stainless steel* yang mana di pengecilan diameter pada tutup unit dilakukan laminasi dengan

perekat khusus untuk mencegah kebocoran uap sehingga uap yang dihasilkan maksimal.

B. Kondensor

Kondensor merupakan alat yang berfungsi untuk mengubah uap air menjadi fase cair kembali (Tati, 2013). Ada dua macam tipe kondensor, yaitu tipe kondensor tubular dan tipe koil. Tipe tubular terdiri dari berbagai peralatan yang umumnya disediakan bagi pabrik dan ditangani oleh para ahli.

Sementara itu, tipe kondensor koil terbuat dari pipa tembaga yang berukuran $\frac{1}{8}$ inch berbentuk lilitan melingkar berjumlah empat yang diletakkan secara vertikal. Dalam hal ini, kondensor yang digunakan adalah tipe koil yang dinilai lebih praktis dan biaya operasionalnya relatif murah.