

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Air Baku**

##### 2.1.1 Air PDAM (Perusahaan Daerah Air Minum)

Air minum hasil pengolahan PDAM dan air sumur sebagai perlindungan kualitas air yang ada dalam parameter kualitas air terutama dalam golongan satu yang digunakan sebagai air baku air minum. Distribusi dan penggunaan air PDAM untuk kebutuhan air bersih dan air minum terus meningkat tiap tahunnya. Air bersih yang disediakan PDAM diperoleh dengan membuat sumur bor dengan kedalaman tertentu dan sistem air permukaan. Sistem tersebut mengakibatkan kualitas air yang disalurkan ke rumah-rumah pelanggan tergantung dari kualitas air di sekitar sumur bor dan air permukaan tersebut. Penerimaan kualitas air minum antara satu wilayah dengan wilayah lain di Jember tidak akan sama, karena sumber airnya berbeda. Debit sumber air baku mengalami penurunan oleh karena penebangan pohon-pohon di daerah resapan air (PDAM Jember, 2009).

Tabel 2.1 Parameter Fisika Air PDAM

Parameter	Kadar maksimum yang diperbolehkan
Turbidity (NTU)	1,15
pH	7,34
Temperatur (°C)	26,5
Konduktivitas (s/cm)	53,2
TDS (mg/l)	26,6
Warna (mg/l Pt)	0
Khlor (mg/l)	0,5
Flow Khlor (kg/jam)	4

*Sumber: Permenkes No. 492/2010*

Tabel 2.2 Parameter Kimia Air PDAM

Parameter	Kadar maksimum yang diperbolehkan
<i>Turbidity</i> (NTU)	0,84
pH	7,29
Temperatur (°C)	27,1
Konduktivitas (s/cm)	48,4
<i>TDS</i> (mg/l)	24,1
Ammonia	0,1
Besi	0,1
Nitrit	0,1
<i>DO</i>	7
Sulfat	83,2
Mangan	0
Klorida (ml)	0,9
<i>Hardness</i> (ml)	2,5
Bicarbonat (ml)	0,1

Sumber: Permenkes No. 492/2010

## 2.2 Aquadest

*Aquadest* merupakan air hasil dari destilasi atau penyulingan, dapat disebut juga air murni (H<sub>2</sub>O). karena H<sub>2</sub>O hampir tidak mengandung mineral. Sedangkan air mineral merupakan pelarut yang universal. Air tersebut mudah menyerap atau melarutkan berbagai partikel yang ditemuinya dan dengan mudah menjadi terkontaminasi. Dalam siklusnya di dalam tanah, air terus bertemu dan melarutkan berbagai mineral anorganik, logam berat dan mikroorganisme. Jadi, air mineral bukan *aquadest* (H<sub>2</sub>O) karena mengandung banyak mineral. *Aquadest* memiliki tiga jenis jika ditinjau dari bahan baku pembuatnya, yaitu :

- a. Air *aquadest* dari sumur
- b. Air *aquadest* dari mata air pegunungan
- c. Air *aquadest* dari Air tanah hujan

Spesifikasi *aquadest* biasanya mengacu pada ASTM (*American Society for Testing and Materials*) D1193 dan ISO (*International Organization for Standarization*) 3696. Standar parameter ASTM *aquadest* dapat dilihat pada Tabel 2.3:

Tabel 2.3 Standar ASTM D1193 *Aquadest*

Staandar kimia dan fisika	Tipe I	Tipe II	Tipe III	Tipe IV
Konduktivitas ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	<0,056	<1,0	<0,25	<5,0
Resistivitas ( $\text{M}\Omega.\text{cm}$ )	>18	>1,0	>4,0	>0,2
Ph	-	-	-	5,0-8,0
Total Organic Carbon (TOC) (ppb atau $\mu\text{g}/\text{L}$ )	50	50	200	Tidak terbatas
Sodium (ppb atau $\mu\text{g}/\text{L}$ )	<1	<5	<10	<50
Chlorides (ppb atau $\mu\text{g}/\text{L}$ )	<1	<5	<10	<50
Total Silika (ppb atau $\mu\text{g}/\text{L}$ )	<3	<3	<500	Tidak terbatas
Standar biologi	Tipe A	Tipe B	Tipe C	
Heterotrophic bacteria count (CFU/ml)	<10/100	<10/10	<100/1	
Endotoxic (unit/ml)	0	00	0	
	<0,03	<0,25	-	

*Sumber: ASTM D1193*

Standar ISO berbeda dengan standar ASTM dalam hal penggolongan kategorinya. Berikut adalah standar regulasi ISO 3696:

Tabel 2.4 Standar ISO 3696 *Aquadest*

Parameter	Grade I	Grade II	Grade III
Konduktivitas ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	<0,1	<1,0	<5,0
pH	-	-	5,0-7,0
Silika (mg/L)	<0,01	<0,02	-
Residu setelah evaporasi fengan pemanasan $110^{\circ}\text{C}$ (mg/kg)	-	<1	<2

*Sumber: ISO 3696:1987*

Tabel 2.5 *National Committee for Clinical Laboratory Standards (NCCLS)*

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

*Sumber: NCCLS*

Standar mutu *aquadest* yang menjadi acuan yaitu standar mutu air demineral menurut SNI 01-3553-2006 dan SNI 01-6241-2000 ditunjukkan pada Tabel 8. Air demineral merupakan air yang diperoleh melalui proses pemurnian seperti destilasi, deionisasi dan proses yang setara.

Tabel 2.6 Standar Mutu Air Demineral

Parameter	Standar Mutu	Sumber
TDS	Maks. 0 mg/L	SNI 01-3553-2006
pH	5,0-7,5	SNI 01-3553-2006
DHL	Maks. 1,3 mS/cm	SNI 01-6241-2000

Sumber: Khotimah, 2017 dalam Jurnal *Chemurgy*, 2017

Beberapa *Pharmacopoeia* telah menetapkan persyaratan untuk air. Di antara yang paling terkenal adalah USP (*United States Pharmacopoeia*) Dan EP (*European Pharmacopoeia*). Farmakope juga menetapkan kriteria kemurnian (kandungan mikrobiologis dan pirogen) untuk air steril dan air untuk injeksi.

Tabel 2.7 *Pharmacopoeia*

Parameter	EP	USP
Nitrates	<0,2 ppm	-
Heavy Metals	<0,1 ppm	-
TOC	<500 µg/L C	<500 µg/L C
Conductivity	<1,1 µS/cm a 20°C	<1.3 µS/cm a 25°C
Bacteria	<100 CFU/ml	<100 CFU/ml

Sumber: *Pharmacopoeia*

### 2.3 Karakteristik *Aquadest*

Beberapa karakteristik penting aquades diberikan dalam uraian berikut. Air mempunyai konstanta dielektrik yang sangat tinggi sehingga berpengaruh besar terhadap sifat pelarutnya. Hal itu menyebabkan banyak sekali senyawa ionik berdisosiasi dalam *aquadest*. *Aquadest* memiliki kapasitas kalor yang cukup besar yaitu 1 kal/g°C sehingga menyebabkan banyak kalor yang diperlukan untuk mengubah suhu dari sejumlah massa (Surahman, 2018). Sifat-sifat penting dari *aquadest* lainnya dapat diamati pada tabel 2.8:

Tabel 2.8 Sifat-sifat Penting *Aquadest*

Sifat	Efek dan Kegunaan
Pelarut yang sangat baik.	Transpor zat makanan dan bahan buangan yang dihasilkan oleh 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 ultraviolet.	Tidak berwarna, mengakibatkan cahaya yang dibutuhkan untuk fotosintesis mencapai radiasi tertentu.
Tegangan permukaan lebih tinggi daripada cairan lainnya.	Faktor pengendali dalam fisiologi, membentuk fenomena tetes di permukaan.
Bobot jenis tertinggi dalam bentuk cairan (fasa air) pada $4 \text{ gr/cm}^3$ .	Air beku (es) mengapung, sirkulasi vertikal menghambat stratifikasi badan air.
Proses penguapan lebih tinggi dibandingkan dengan cairan lain kecuali ammonia.	Menentukan transfer panas dan molekul air antara atmosfer dan badan air.
Kapasitas kalor lebih tinggi dibandingkan 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: Sarjoni, 2003:241*

## 2.4 Destilasi

Distilasi atau penyulingan adalah suatu metode pemisahan bahan kimia berdasarkan perbedaan kecepatan atau kemudahan menguap (volatilitas) bahan. Dalam penyulingan, campuran zat dididihkan sehingga menguap, dan uap ini kemudian didinginkan kembali ke dalam bentuk cairan. Zat yang memiliki titik didih lebih rendah akan menguap terlebih dahulu. Metode ini termasuk sebagai unit operasi kimia jenis perpindahan panas. Penerapan proses ini didasarkan pada teori bahwa pada suatu larutan, masing-masing komponen akan menguap pada titik didihnya. Model ideal distilasi didasarkan pada hukum Raoult dan hukum Dalton. (Nurhidayati, 2011)

#### 2.4.1 Macam – Macam Destilasi

Ada 4 jenis distilasi yang akan dibahas disini, yaitu distilasi sederhana, distilasi fraksionasi, distilasi uap, dan distilasi vakum. Selain itu ada pula distilasi ekstraktif dan distilasi azeotropic homogenous, distilasi dengan menggunakan garam berion, distilasi pressure-swing, serta distilasi reaktif.

##### 2.4.1.1 Distilasi Sederhana

Pada distilasi sederhana, dasar pemisahannya adalah perbedaan titik didih yang jauh atau dengan salah satu komponen bersifat volatil. Jika campuran dipanaskan maka komponen yang titik didihnya lebih rendah akan menguap lebih dulu. Selain perbedaan titik didih, juga perbedaan kevolatilan, yaitu kecenderungan sebuah substansi untuk menjadi gas. Distilasi ini dilakukan pada tekanan atmosfer. Aplikasi distilasi sederhana digunakan untuk memisahkan campuran air dan alkohol.

##### 2.4.1.2 Distilasi Fraksionisasi

Fungsi distilasi fraksionasi adalah memisahkan komponen-komponen cair, dua atau lebih, dari suatu larutan berdasarkan perbedaan titik didihnya. Distilasi ini juga dapat digunakan untuk campuran dengan perbedaan titik didih kurang dari 20°C dan bekerja pada tekanan atmosfer atau dengan tekanan rendah. Aplikasi dari distilasi jenis ini digunakan pada industri minyak mentah, untuk memisahkan komponen-komponen dalam minyak mentah. Perbedaan distilasi fraksionasi dan distilasi sederhana adalah adanya kolom fraksionasi. Di kolom ini terjadi pemanasan secara bertahap dengan suhu yang berbeda-beda pada setiap platnya. Pemanasan yang berbeda-beda ini bertujuan untuk pemurnian distilat yang lebih dari plat-plat di bawahnya. Semakin ke atas, semakin tidak volatil cairannya.

#### 2.4.1.3 Distilasi Uap

Distilasi uap digunakan pada campuran senyawa-senyawa yang memiliki titik didih mencapai  $200^{\circ}\text{C}$  atau lebih. Distilasi uap dapat menguapkan senyawa-senyawa ini dengan suhu mendekati  $100^{\circ}\text{C}$  dalam tekanan atmosfer dengan menggunakan uap atau air mendidih. Sifat yang fundamental dari distilasi uap adalah dapat mendistilasi campuran senyawa di bawah titik didih dari masing-masing senyawa campurannya. Selain itu distilasi uap dapat digunakan untuk campuran yang tidak larut dalam air di semua temperatur, tapi dapat didistilasi dengan air. Aplikasi dari distilasi uap adalah untuk mengekstrak beberapa produk alam seperti minyak eucalyptus dari eucalyptus, minyak sitrus dari lemon atau jeruk, dan untuk ekstraksi minyak parfum dari tumbuhan. Campuran dipanaskan melalui uap air yang dialirkan ke dalam campuran dan mungkin ditambah juga dengan pemanasan. Uap dari campuran akan naik ke atas menuju ke kondensor dan akhirnya masuk ke labu distilat.

#### 2.4.1.4 Distilasi Vakum

Distilasi vakum biasanya digunakan jika senyawa yang ingin didistilasi tidak stabil, dengan pengertian dapat terdekomposisi sebelum atau mendekati titik didihnya atau campuran yang memiliki titik didih di atas  $150^{\circ}\text{C}$ . Metode distilasi ini tidak dapat digunakan pada pelarut dengan titik didih yang rendah jika kondensornya menggunakan air dingin, karena komponen yang menguap tidak dapat dikondensasi oleh air. Untuk mengurangi tekanan digunakan pompa vakum atau aspirator. Aspirator berfungsi sebagai penurun tekanan pada sistem distilasi ini.

#### 2.4.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Proses Destilasi

1. Temperature steam, disesuaikan dengan bahan yang akan uapkan karena bahan yang tidak tahan suhu yang tinggi akan membentuk kerak pada kolom destilasi sehingga akan mempengaruhi perpindahan panas dari steam ke bahan tersebut.
2. Tekanan operasi, mempengaruhi proses penguapan pelarut.

3. Laju alir umpan, bila laju alir umpan terlalu kecil proses kurang efisien dan juga bila terlalu besar, sehingga untuk suatu proses laju alir umpan diusahakan adalah laju yang dapat menghasilkan proses yang optimal.
4. Sifat fisik dan kimia umpan.
5. Luas permukaan kontak antara umpan dan media pemanas (panjang dan jumlah tube).
6. Laju alir steam
7. Laju air pendingin (kondensor)

## 2.5 Kondensasi

Kondensasi adalah proses pelepasan kalor dari suatu sistem yang menyebabkan uap (*vapor*) berubah menjadi cair (*liquid*). Dalam proses merubah gas menjadi cair dapat dilakukan dengan cara menaikkan tekanannya atau dengan menurunkan temperaturnya. Dari metode tersebut yang lebih murah dan mudah adalah dengan menurunkan temperatur yang biasanya menggunakan media air atau udara sebagai media pendinginannya.

Proses ini terjadi di kondensor dengan uap refrigeran bertemperatur dan bertekanan tinggi yang masuk ke kondensor melalui *discharge line* dikondensasikan di dalam kondensor sehingga refrigerant yang keluar dari kondensor diharapkan berubah fase dari fase uap ke fase cair. Besarnya kalor yang dilepas kondensor dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$q_c = (h_2 - h_3) \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

$q_c$  = besarnya kalor yang dibuang kondensor (Kj/Kg)

$h_2$  = entalpi refrigeran saat masuk kondensor (Kj/Kg)

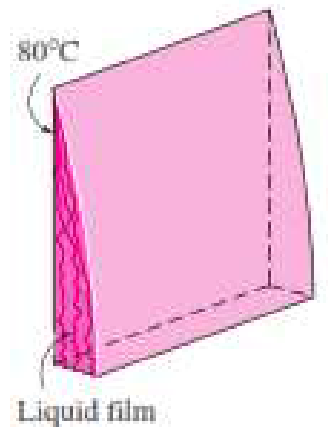
$h_3$  = entalpi refrigeran saat keluar kondensor (Kj/Kg)

Kondensasi terjadi ketika uap menyentuh permukaan yang temperaturnya di bawah temperatur jenuh dari uap tersebut. Ketika kondensat cairan terbentuk pada permukaan, kondensat ini akan mengalir karena pengaruh gravitasi (Welty dkk, 2004: 152). Jenis fenomena kondensasi dibagi menjadi dua yaitu: kondensasi film (*film wise condensation*) dan kondensasi secara tetes (*dropwise condensation*).



### 1. Kondensasi Film (*Film Wise Condensation*)

Kondensasi film terjadi ketika cairan membasahi permukaan, menyebar dan membentuk suatu film (Welty dkk, 2004: 152). Kondensasi jenis ini merupakan kondensasi yang umum terjadi pada kebanyakan sistem. Dalam kondensasi ini kondensat berbentuk butiran, membasahi permukaan dan jatuh bergabung membentuk lapisan cairan yang saling menyatu. Lapisan cairan yang terbentuk akan mengalir karena diakibatkan gravitasi, gesekan uap, dan lain-lain. Kondensasi film paling banyak terjadi pada aplikasi keteknikan. Aliran cairan kondensat akan memunculkan fenomena seperti aliran laminar, aliran gelombang (*wavy*), transisi laminar-turbulen, dan butiran yang jatuh pada permukaan lapisan cairan.

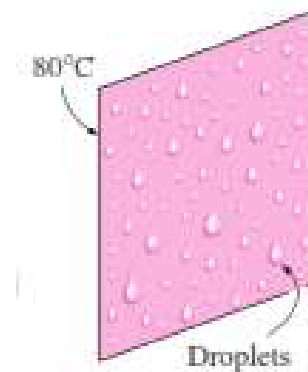


*Sumber: Cengel, 2003: 532*

Gambar 2.1 Profil kondensasi film

### 2. Kondensasi Secara Tetes (*Dropwise Condensation*)

Kondensasi secara tetes (*dropwise condensation*) terjadi ketika tetesan tetesan bergerak menuruni permukaan, bergabung ketika mereka bersentuhan dengan kondensat lainnya (Welty dkk, 2004: 152). Dalam kondensasi jenis ini dibutuhkan laju transfer panas yang tinggi untuk mempertahankan terjadinya tetesan tetesan embun.



*Sumber: Cengel, 2003: 532*

Gambar 2.2 Profil kondensasi tetes

Kedua jenis fenomena kondensasi tersebut mempunyai beberapa kelebihan dan kekurangan masing masing. Kondensasi secara tetes merupakan kondensasi yang sulit dilakukan atau dipertahankan secara komersial, karena dalam kondensasi ini laju transfer panas yang dibutuhkan sangat tinggi. Dengan alasan itu maka semua peralatan didesain berdasarkan kondensasi secara film.

## 2.6 Kondensor

Kondensor merupakan salah satu perlengkapan penyulingan yang berfungsi untuk mengubah uap air menjadi fase cair. Terdapat beberapa macam tipe kondensor. Secara umum ada 2 jenis yaitu kondensor tubular dan kondensor koil. Tipe tubular adalah kondensor yang berbentuk pipa dengan luas permukaan yang diaplikasikan dan terdiri dari berbagai komponen. Sementara tipe koil, di dalamnya ada pipa tembaga yang berukuran 1/4 inch dengan bentuk yang lebih sederhana dan tidak mahal.

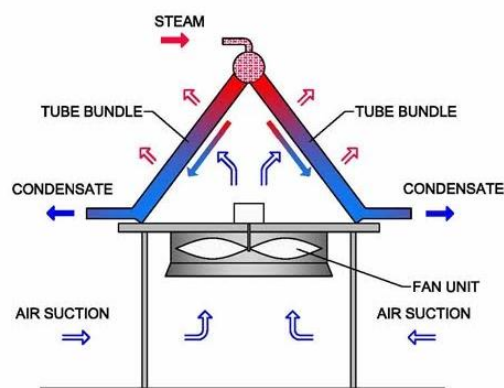
## 2.6.1 Macam-Macam Kondensor

### 2.6.1.1 Menurut jenis cooling mediumnya

Menurut jenis cooling mediumnya kondensor dibagi menjadi 3 jenis yaitu :

1. *Air Cooled Condenser* (menggunakan udara sebagai cooling mediumnya).

*Air Cooled Kondensor* mengkondensasikan pembuangan uap dari turbin uap dan kembali kondensat (cairan yang sudah terkondensasi) ke boiler tanpa kehilangan air.



Sumber: Frandhoni, 2015

Gambar 2.3 *Air Cooled Condenser*

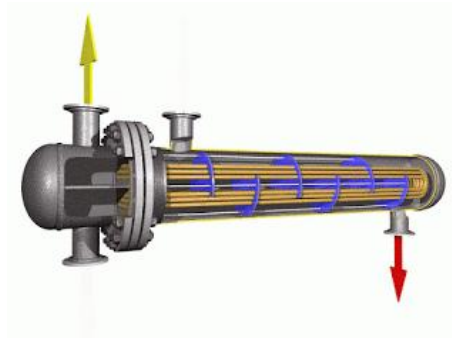
2. *Water Cooled Condenser* (menggunakan air sebagai cooling mediumnya).

*Water Cooled Condenser* yang paling banyak digunakan yaitu:

- a) *Shell and Tube Condenser*

*Shell and Tube Condenser* atau Kondensor tipe Tabung dan Pipa digunakan pada kondensor berukuran kecil sampai besar. biasa digunakan untuk air pendingin berupa ammonia dan freon. Seperti terlihat pada gambar didalam kondensor. Tabung dan Pipa terdapat banyak pipa pendingin, dimana air pendingin mengalir di dalam pipa-pipa tersebut, ujung dan pangkal pipa pendingin terikat pada pelat pipa, sedangkan diantara pelat pipa dan tutup tabung dipasang sekat-

sekat untuk membagi aliran air yang melewati pipapipa dan mengatur agar kecepatannya cukup tinggi, yaitu 1,5 – 2 m/detik.



Sumber: Frandhoni, 2015

Gambar 2.4 *Shell and Tube Condenser*

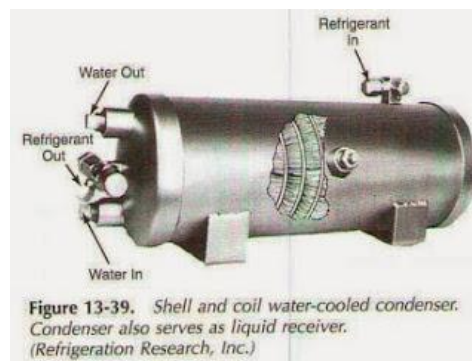
Air pendingin masuk melalui pipa bagian bawah kemudian keluar melalui pipa bagian atas. Jumlah saluran maksimum yang dapat digunakan sebanyak 12, semakin banyak jumlah saluran yang digunakan maka semakin besar tahanan aliran air pendingin. Pipa pendingin ammonia biasa terbuat dari baja sedangkan untuk freon biasa terbuat dari pipa tembaga. Jika menginginkan pipa yang tahan terhadap korosi bias menggunakan pipa kuningan atau pipa cupro nikel. Ciri-ciri kondensor Tabung dan Pipa adalah:

- Dapat dibuat dengan pipa pendingin bersirip sehingga ukurannya relatif lebih kecil dan ringan.
- Pipa dapat dibuat dengan mudah.
- Bantuk yang sederhana dan mudah pemasangannya.
- Pipa pendingin mudah dibersihkan.

#### b) *Shell and Coil Condenser*

Kondensor tabung dan koil banyak digunakan pada unit pendingin dengan *Freon refrigerant* berkapasitas lebih kecil, misalnya untuk penyegar udara, pendingin air, dan sebagainya. Seperti gambar dibawah ini, Kondensor tabung dan koil dengan tabung pipa pendingin di dalam tabung yang dipasang pada posisi vertikal. Koil

pipa pendingin tersebut biasanya dibuat dari tembaga, berbentuk tanpa sirip maupun dengan sirip. Pipa tersebut mudah dibuat dan murah harganya. Pada Kondensor tabung dan koil, aliran air mengalir di dalam koil pipa pendingin. Disini, endapan dan kerak yang terbentuk di dalam pipa harus dibersihkan menggunakan zat kimia (detergent).



Sumber: Frandhoni, 2015

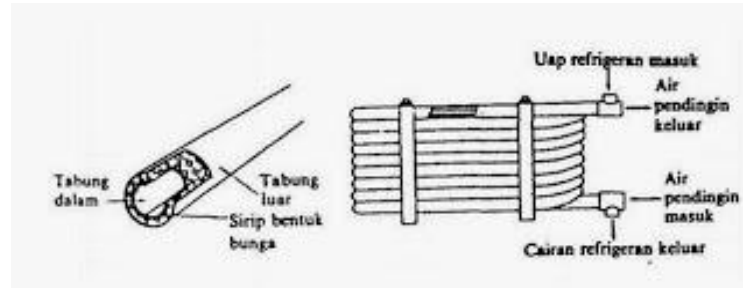
Gambar 2.5 Shell and Coil Condenser

Adapun cirri-ciri Kondensor tabung dan koil sebagai berikut:

- Harganya murah karena mudah dalam pembuatannya.
- Kompak karena posisinya yang vertical dan mudah dalam pemasangannya.
- Tidak perlu mengganti pipa pendingin, tetapi hanya perlu pembersihan dengan menggunakan detergen

#### c) Tube and Tubes Condenser

Kondensor jenis pipa ganda merupakan susunan dari dua pipa coaksial dimana refrigerant mengalir melalui saluran yang terbentuk antara pipa dalam dan pipa luar yang melintang dari atas ke bawah. Sedangkan air pendingin mengalir di dalam pipa dalam arah berlawanan, yaitu refrigerant mengalir dari atas ke bawah. Pada mesin pendingin berkapasitas rendah dengan Freon sebagai refrigerant, pipa dalam dan pipa luarnya terbuat dari tembaga. Gambar 2.6 menunjukkan Kondensor jenis pipa ganda, dalam bentuk koil. Pipa dalam dapat dibuat bersirip atau tanpa sirip.



Sumber: Frandhoni, 2015

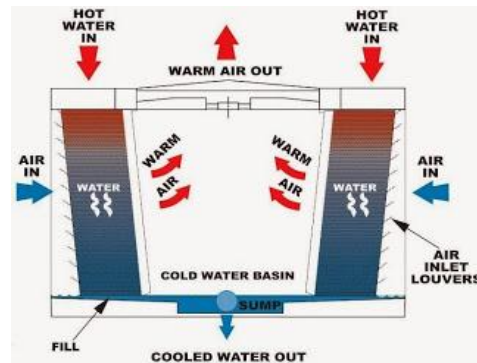
Gambar 2.6 Tube and Tubes Condenser

Kecepatan aliran di dalam pipa pendingin kira-kira antara 1-2 m/detik. Sedangkan perbedaan temperature air keluar dan masuk pipa pendingin (kenaikan temperature air pendingin di dalam kondensor) kira-kira mencapai suhu  $10^{\circ}\text{C}$ . Laju perpindahan kalornya relative besar.

Adapun cirri-ciri Kondensor jenis pipa ganda adalah sebagai berikut:

- Konstruksi sederhana dengan harga yang memadai.
  - Dapat mencapai kondisi yang super dingin karena arah aliran refrigerant dan air pendingin yang berlawanan.
  - Penggunaan air pendingin relative kecil.
  - Sulit dalam membersihkan pipa, harus menggunakan detergen.
  - Pemeriksaan terhadap korosi dan kerusakan pipa tidak mungkin dilaksanakan. Penggantian pipanya pun juga sulit dilakukan.
3. *Evaporatif Condenser* (menggunakan kombinasi udara dan air sebagai cooling mediumnya).

Kombinasi dari kondensor berpendingin air dan kondensor berpendingin udara, menggunakan prinsip penolakan panas oleh penguapan air menjadi aliran udara menjadi kumparan kondensasi.



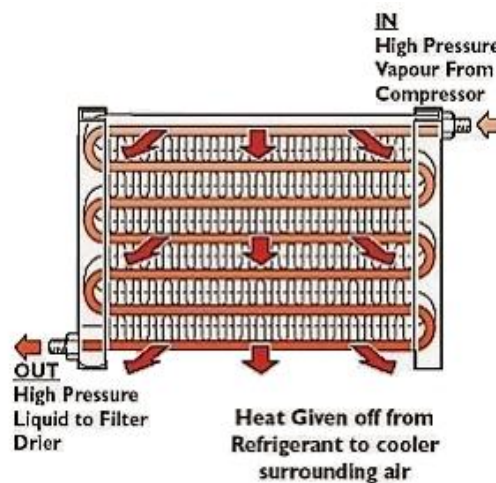
Sumber: Frandhoni, 2015

Gambar 2.7 Evaporatif Condenser

### 2.6.1.2 Menurut Jenis Desain

#### 1. Kondensor Berbelit-Belit

Jenis kondensor terdiri dari satu tabung panjang yang digulung berakhir dan kembali pada dirinya sendiri dengan sirip pendingin ditambahkan di antara tabung.

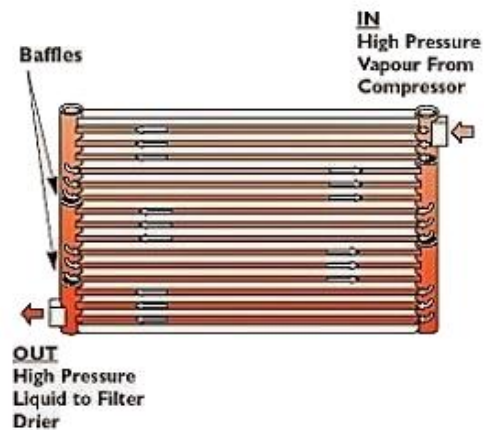


Sumber: Frandhoni, 2015

Gambar 2.8 Kondensor Berbelit-Belit

#### 2. Kondensor Arus Pararel

Desain ini sangat mirip dengan radiator aliran silang. Alih-alih bepergian refrigeran melalui satu bagian (seperti tipe serpentine) sekarang dapat melakukan perjalanan di berbagai bagian. Ini akan memberi luas permukaan yang lebih besar untuk udara ambient dingin untuk kontak.



Sumber: Frandhoni, 2015

Gambar 2.9 Kondensor Arus Pararel

### 2.6.1.3 Berdasarkan Klasifikasi Umum

#### 1. *Surface Condenser*

Prinsip kerja *Surface Condenser* steam masuk ke dalam shell kondensor melalui steam inlet connection pada bagian atas kondensor. Steam kemudian bersinggungan dengan tube kondensor yang bertemperatur rendah sehingga temperatur steam turun dan terkondensasi, menghasilkan kondensat yang terkumpul pada *hotwell*. Temperatur rendah pada tube dijaga dengan cara mensirkulasikan air yang menyerap kalor dari steam pada proses kondensasi. Kalor yang dimaksud disini disebut kalor laten penguapan dan terkadang disebut juga kalor kondensasi (*heat of condensation*) dalam lingkup bahasan kondensor. Kondensat yang terkumpul di *hotwell* kemudian dipindahkan dari kondensor dengan menggunakan pompa kondensat ke *exhaust* kondensat. Ketika meninggalkan kondensor, hampir keseluruhan steam telah terkondensasi kecuali bagian yang jenuh dari udara yang ada di dalam sistem.

Udara yang ada di dalam sistem secara umum timbul akibat adanya kebocoran pada perpipaan, *shaft seal*, katup-katup, dan sebagainya. Udara ini masuk ke dalam kondensor bersama dengan steam. Udara dijenuhkan oleh uap air, kemudian melewati *air cooling section* dimana campuran antara uap dan udara didinginkan untuk

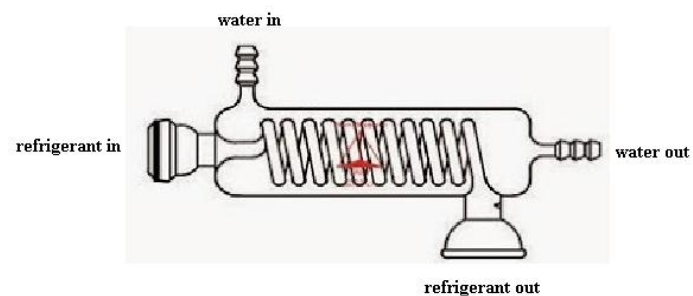


selanjutnya dibuang dari kondensor dengan menggunakan air *ejectors* yang berfungsi untuk mempertahankan vacuum di kondensor.

Untuk menghilangkan udara yang terlarut dalam kondensat akibat adanya udara di kondensor, dilakukan *deaeration*. *De-aeration* dilakukan di kondensor dengan memanaskan kondensat dengan steam agar udara yang terlarut pada kondensat akan menguap. Udara kemudian ditarik ke air *cooling section* dengan memanfaatkan tekanan rendah yang terjadi pada *air cooling section*. *Air ejector* kemudian akan memindahkan udara dari sistem. *Surface Condenser* dibedakan menjadi dua jenis lagi, yaitu:

a) *Horizontal Condenser*

Air pendingin masuk kondensor melalui bagian bawah, kemudian masuk ke dalam pipa-pipa pendingin dan keluar pada bagian atas sedangkan arus panas masuk lewat bagian tengah kondensor dan keluar sebagai kondensat pada bagian bawah kondensor.



Sumber: Frandhoni, 2015

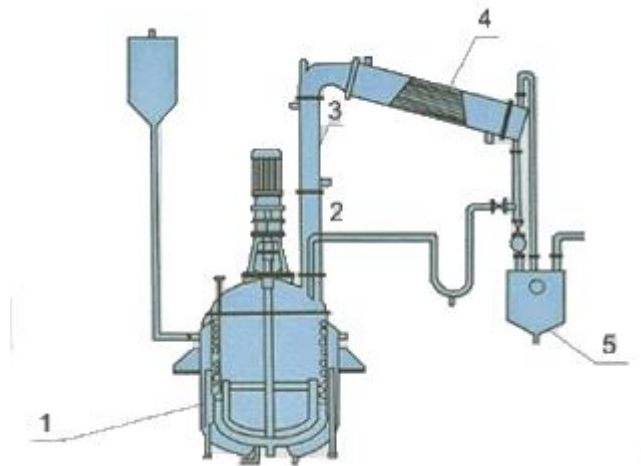
Gambar 2.10 *Horizontal Condenser*

Kelebihan Kondensor horizontal adalah:

- Dapat dibuat dengan pipa pendingin bersirip sehingga relatif berukuran kecil dan ringan
- Pipa pendingin dapat dibuat dengan mudah
- Bentuk sederhana dan mudah pemasangannya
- Pipa pendingin mudah dibersihkan

b) *Vertical Condenser*

Air pendingin masuk kondensor melalui bagian bawah, kemudian masuk ke dalam pipa-pipa pendingin dan keluar pada bagian atas. Sedangkan arus panas masuk lewat bagian atas kondensor dan keluar sebagai kondensat pada bagian bawah kondensor.



Sumber: Frandhoni, 2015

Gambar 2.11 *Vertical Condenser*

Keterangan:

1. *Esterification reactor*
2. *Vertical fractional column*
3. *Vertical Condenser*
4. *Horizontal Condenser*
5. *Storage device*

Kelebihan Kondensor vertical adalah:

- Harganya murah karena mudah pembuatannya.
- Kompak karena posisinya yang vertikal dan mudah pemasangan
- Bisa dikatakan tidak mungkin mengganti pipa pendingin, pembersihan harus dilakukan dengan menggunakan deterjen.

## 2. *Direct-Contact Condenser*

*Direct-contact Condenser* mengkondensasikan steam dengan mencampurnya langsung dengan air pendingin. *Direct-contact* atau *open Condenser* digunakan pada beberapa kasus khusus, seperti:

- *Geothermal power plant.*
- Pada power plant yang menggunakan perbedaan temperatur di air laut (OTEC)

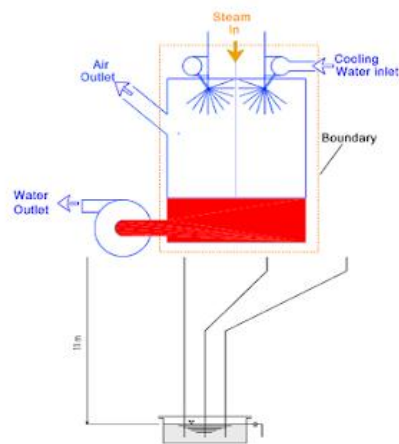
*Direct-contact Condenser* dibagi menjadi dua jenis lagi, yaitu :

### a) *Spray Condenser*

Pada *Spray Condenser*, pencampuran steam dengan air pendingin dilakukan dengan jalan menyemprotkan air ke steam. Sehingga steam yang keluar dari *exhaust* turbin pada bagian bawah bercampur dengan air pendingin pada bagian tengah menghasilkan kondensat yang mendekati fase saturated. Kemudian dipompakan kembali ke *cooling tower*. Sebagian dari kondensat dikembalikan ke *boiler* sebagai *feedwater*. Sisanya didinginkan, biasanya di dalam *dry-(closed) cooling tower*. Air yang didinginkan pada *Cooling tower* disemprotkan ke *exhaust* turbin dan proses berulang.

### b) *Barometric dan Jet Condenser*

Ini merupakan jenis awal dari kondensator. Jenis ini beroperasi dengan prinsip yang sama dengan *spray condenser* kecuali tidak dibutuhkannya pompa pada jenis ini. *Vacuum* dalam kondensator diperoleh dengan menggunakan prinsip *head statis* seperti pada *barometric Condenser*, atau menggunakan diffuser seperti pada *jet Condenser*.



Sumber: Frandhoni, 2015

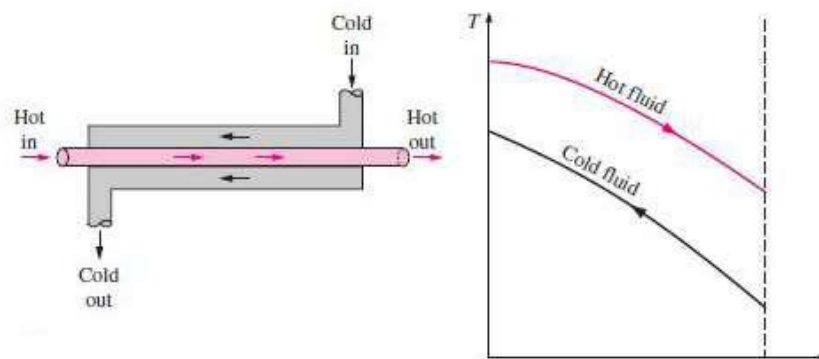
Gambar 2.12 Jet Condenser

#### 2.6.1.4 Jenis Kondensor berdasarkan aliran fluida

Klasifikasi kondensor (*Heat Exchanger*) berdasarkan arah aliran fluida kerja dibagi menjadi tiga tipe yaitu aliran paralel atau aliran searah (*cocurrent*), aliran melawan arus atau aliran berlawanan (*counter current*) dan aliran silang (*crossflow*) (Welty dkk, 2004: 163).

##### 1. Penukar Kalor Tipe Aliran Berlawanan (*Counter Flow*).

Penukar kalor tipe aliran berlawanan atau sering disebut *counter flow* yaitu penukar kalor dengan fluida panas dan dingin memasuki penukar kalor melalui ujung yang berhadapan dan mengalir dengan arah berlawanan (Cengel, 2003: 668).



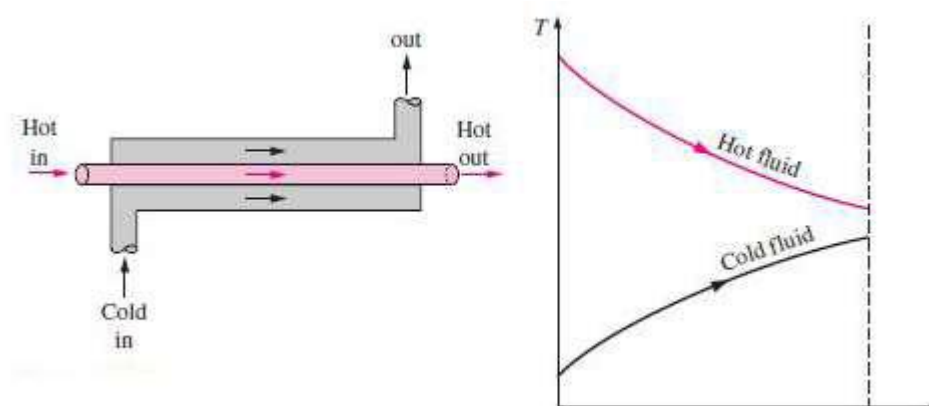
Sumber: Cengel, 2003: 668

Gambar 2.13 Counter Flow

Pada tipe ini masih mungkin terjadi bahwa temperatur fluida yang menerima kalor saat keluar penukar kalor lebih tinggi dibanding temperature fluida yang memberikan kalor saat meninggalkan penukar kalor. Bahkan idealnya apabila luas permukaan perpindahan kalor adalah tak berhingga dan tidak terjadi rugi-rugi kalor ke lingkungan, maka temperature fluida yang menerima kalor saat keluar dari penukar kalor bisa menyamai temperatur fluida yang memberikan kalor saat memasuki penukar kalor. Dengan teori seperti ini jenis penukar kalor berlawanan arah merupakan penukar kalor yang paling efektif.

## 2. Penukar Kalor Tipe Aliran Sejajar (*Parallel Flow*).

Penukar kalor tipe aliran sejajar atau sering disebut dengan *parallel flow* yaitu penukar kalor dengan fluida panas dan fluida dingin masuk dan keluar pada arah yang sama (Cengel, 2003: 668).



Sumber: Cengel, 2003: 668

Gambar 2.14 *Parallel Flow*

Pada jenis ini temperatur fluida yang memberikan energi akan selalu lebih tinggi dibanding yang menerima energi sejak mulai memasuki penukar kalor hingga keluar. Dengan demikian temperatur fluida yang menerima kalor tidak akan pernah mencapai temperatur fluida yang memberikan kalor saat keluar dari penukar kalor. Jenis ini merupakan penukar kalor yang paling tidak efektif.

### 3. Penukar Kalor Dengan Aliran Silang (*Cross Flow*).

Penukar kalor dengan aliran silang atau sering disebut *cross flow* yaitu penukar kalor dimana biasanya di dalam penukar kalor tersebut terjadi perpindahan antara dua fluida yang saling tegak lurus satu sama lain (Cengel, 2003: 669). Contoh yang sering ditemui adalah pada radiator mobil dimana arah aliran air pendingin mesin yang memberikan energinya ke udara saling bersilangan. Apabila ditinjau dari efektivitas pertukaran energi, penukar kalor jenis ini berada diantara kedua jenis di atas. Dalam kasus radiator mobil, udara melewati radiator dengan temperatur rata-rata yang hampir sama dengan temperatur udara lingkungan kemudian memperoleh kalor dengan laju yang berbeda di setiap posisi yang berbeda untuk kemudian bercampur lagi setelah meninggalkan radiator sehingga akan mempunyai temperatur yang hampir seragam.

Debit aliran adalah nilai yang dipergunakan untuk menghitung kecepatan aliran pada suatu pipa eksperimen. Rumus perhitungan debit aliran adalah:

$$Q = \frac{V}{t} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :  $Q$  = debit aliran (liter/menit )

$V$  = volume fluida (liter)

$t$  = waktu (menit)

Pada alat kondensor terjadi peristiwa kondensasi (pengembunan). Kondensasi atau pengembunan merupakan beruahnya suatu zat dari fase uap menjadi fase cair. Perpindahan kalor pengembunan dipengaruhi oleh besarnya laju konsentrasi massa uap air yang berubah menjadi air (massa yang terkondensasi). Pengembunan juga terjadi akibat dari uap jenuh yang bersentuhan dengan permukaan yang dingin (suhu permukaan suatu plat lebih rendah dari suhu jenuh uap) akan terjadi kondensasi pada permukaan plat, hal ini berarti uap jenuh tersebut melepaskan kalor latennya, dan karena pengaruh gravitasi kondensat akan mengalir kebawah.

Berikut ini adalah persamaan umum untuk menentukan laju energi pada saat penguapan :

$$q_c = \frac{m_c \cdot h_{fg}}{\Delta t} \dots\dots\dots(3)$$

dimana:  $m_c$  = Massa yang terkondensasi (kg) ;  $h_{fg}$  = Kalor laten penguapan (J/kg) ;  $\Delta t$  = Selang waktu (s)

Menurut (Holman, 1988: 490) laju perpindahan panas dalam suatu pipa ganda dapat dihitung dengan rumus:

$$q = U \cdot A \cdot \Delta T_m \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :  $q$  = laju perpindahan panas ( W )

$U$  = Koefisien perpindahan panas menyeluruh ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )

$A$  = Luas penampang perpindahan panas ( $m^2$ )

$\Delta T_m$  = Beda suhu rata-rata dalam penukar kalor ( $^\circ C$ )

Pada saat proses transfer panas, beda suhu antara fluida panas dan fluida dingin pada waktu masuk dan pada waktu keluar tidaklah sama, maka kita perlu menentukan nilai rata-rata beda suhu untuk bisa menentukan besar kalor yang dipindahkan fluida pada alat penukar kalor (*heat exchanger*). Pada aliran sejajar, dua fluida masuk bersama-sama dalam alat penukar kalor, bergerak dalam arah yang sama dan keluar bersama-sama pula. Sedangkan pada aliran berlawanan, dua fluida bergerak dengan arah yang berlawanan dan pada aliran menyilang, dua fluida saling menyilang/bergerak saling tegak lurus.

Menurut (Holman, 1988: 498) laju perpindahan panas dapat dihitung dari besar energi yang dilepaskan oleh fluida panas atau besar energi yang diterima oleh fluida dingin, dan untuk masing masing jenis aliran dirumuskan sebagai berikut:

Untuk aliran searah,

$$q = m_h c_h ( T_{h1} - T_{h2} ) \dots\dots\dots(5)$$

$$q = m_c c_c ( T_{c2} - T_{c1} ) \dots\dots\dots(6)$$

Untuk aliran berlawanan arah,

$$q = m_h c_h ( T_{h1} - T_{h2} ) \dots\dots\dots(7)$$

$$q = m_c c_c ( T_{c1} - T_{c2} ) \dots\dots\dots(8)$$

Dimana:  $q$  = Laju perpindahan panas (Watt)

$m_h$  = Laju alir massa fluida panas (Kg/s)

$m_c$  = Laju alir massa fluida dingin (Kg/s)

$c_h$  = Kalor spesifik fluida panas (J/Kg K)

$c_c$  = Kalor spesifik fluida dingin (J/Kg K)

$T_{h1}$  = Temperatur fluida panas masuk ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{h2}$  = Temperatur fluida panas keluar ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{c1}$  = Temperatur dingin panas masuk ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{c2}$  = Temperatur dingin panas keluar ( $^{\circ}\text{C}$ )

Laju perpindahan panas yang dilepas refrigeran pada kondensor ditentukan dengan persamaan berikut:

$$Q_{\text{kond}} = m_{\text{ref}} (h_2 - h_1) \dots \dots \dots (9)$$

Dimana:

$Q_{\text{kond}}$  = kalor yang dilepas oleh kondensor (Watt)

$h_2$  = enthalpi sisi keluar kondensor (J/kg)

$h_1$  = enthalpi sisi masuk kondensor (J/kg)

$m_{\text{ref}}$  = laju aliran massa refrigeran (kg/s)

Laju perpindahan panas yang diserap air ditentukan dengan persamaan berikut:

$$Q_{\text{air}} = m_{\text{air}} C_p (T_2 - T_1) \dots \dots \dots (10)$$

Dimana:

$Q_{\text{air}}$  = laju pemanasan air (Watt)

$m_{\text{air}}$  = laju aliran massa air pada kondensor (kg/s)

$C_p$  = kalor spesifik air yang dipanaskan (J/kg K)

$T_1$  = temperatur air sisi masuk kondensor ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_2$  = temperatur air sisi keluar kondensor ( $^{\circ}\text{C}$ )