

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Kayu Manis

Kayu manis atau nama ilmiahnya adalah *Cinnamomum burmani*, dibudidayakan untuk diambil kulit kayunya di daerah pegunungan sampai ketinggian 1.500 m diatas permukaan laut. Tinggi pohon mencapai 1 m sampai 12 m, daun lonjong atau bulat telur, warna hijau, daun muda berwarna merah. Umumnya tanaman yang tumbuh di dataran tinggi warna pucuknya lebih merah dibanding di dataran rendah. (Rismunandar, 1993).

Kayumanis mengandung minyak atsiri yang mempunyai daya bunuh terhadap mikroorganisme (*antiseptis*), membangkitkan selera atau menguatkan lambung juga memiliki efek untuk mengeluarkan angin. Selain itu minyaknya dapat digunakan dalam industri sebagai obat kumur dan pasta, penyegar bau sabun, deterjen, lotion parfum dan *cream*. Dalam pengolahan bahan makanan dan minuman minyak kayu manis di gunakan sebagai pewangi atau peningkat cita rasa, diantaranya untuk minuman keras, minuman ringan (*softdrink*), agar-agar, kue, kembang gula, bumbu gulai dan sup (Rismunandar, 1987).

## 2.2. Komposisi Kayu Manis

Thomas and Duethi (2001) menerangkan bahwa kayu manis mengandung minyak atsiri, *eugenol*, *safrole*, *cinnamaldehyde*, *tannin*, kalsium oksalat, damar, zat penyamak, dimana *cinnamaldehyde* merupakan komponen yang terbesar yaitu sekitar 70 %. Komposisi kimia *Cinnamomum burmanni*, dapat dilihat pada tabel 2.1. dibawah ini:

**Tabel 2.1.** Komposisi kimia *Cinnamomum burmanni*

Parameter	Komposisi
Kadar air	7,90 %
Minyak asiri	2,40 %
Alkohol ekstrak	8,2 – 8,5 %
Abu	3,55 %
Serat kasar	20,30 %
Karbohidrat	59,55 %
Lemak	2,20 %

Sumber : Thomas and Duethi, (2001)

Minyak atsiri diperoleh dari destilasi kulit maupun daun kayu manis. Komponen-komponen utama minyak kulit kayu manis adalah *sinamaldehyd*, *eugenol*, *aceteugenol* dan beberapa *aldehid* lain dalam jumlah yang kecil. Di samping itu juga mengandung *methyl-n-amylketone* yang juga sangat menentukan dalam *flavour* khusus dari minyak kayu manis (Rusli dan Abdullah,1988). Komponen terbesar minyak atsiri dari kulit kayu manis adalah *sinamal aldehid* dan *eugenol* yang menentukan kualitas minyaknya. Kadar komponen kimia kulit kayu manis sangat tergantung pada daerah asalnya atau tempat penanamannya (Rismunandar, 1993).

### 2.3. Destilasi Minyak Atsiri Kayu Manis

Menurut Nurdjannah (1992), cara destilasi dan pengetahuan mengenai bahan serta cara penanganannya memegang peranan penting dalam memperoleh minyak atsiri kulit kayu manis. Minyak kulit kayu manis mengandung bahan- bahan aromatik yang larut dalam air, hal ini dapat menyebabkan rendemen yang rendah pada destilasi minyak kulit kayu manis (Rusli dkk, 1990).

Minyak atsiri dapat diperoleh dengan destilasi uap dan air selama 4 sampai 5 jam. Bahan yang akan disuling terlebih dahulu dilakukan perajangan dengan ukuran mesh 0,5 agar penguapan minyak lebih cepat. Kondisi bahan dalam keadaan basah ataupun kering tidak berpengaruh terhadap komponen minyak dan rendemen minyak yang memper-lihatkan perbedaan seperti terlihat pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2.** Rendemen minyak, kadar *sinamaldehyd* dan kadar air dari berbagai bahan asal

Perlakuan	Rendemen (%)	<i>Sinamaldehyd</i> (%)	Kadar <i>eugenol</i> (%)
Daun basah	0,27	30,5	56
Daun dan ranting basah	0,25	35,0	48
Ranting basah	0,15	23,1	48
Daun kering	0,35	30,1	25
Daun dan ranting kering	0,43	27,1	47
Ranting kering	0,13	26,0	23

Sumber : Haris, (1990).

### 2.4. Konsep Dasar Destilasi

Distilasi adalah sarana melaksanakan operasi pemisahan komponen-komponen dari campuran fasa cair, khususnya yang mempunyai perbedaan titik didih dan tekanan uap yang cukup besar. Perbedaan tekanan uap tersebut akan

menyebabkan fasa uap yang ada dalam kesetimbangan dengan fasa cairnya mempunyai komposisi yang perbedaannya cukup signifikan. Fasa uap mengandung lebih banyak komponen yang memiliki tekanan uap rendah, sedangkan fasa cair lebih banyak mengandung komponen yang memiliki tekanan uap tinggi. Distilasi dapat berfungsi sebagai sarana pemisahan karena sistem perangkat sebuah kolom distilasi memiliki bagaian-bagian proses yang memiliki fungsi-fungsi:

- (a) menguapkan campuran fasa cair (terjadi di reboiler),
- (b) mempertemukan fasa cair dan fasa uap yang berbeda komposisinya (terjadi di kolom distilasi),
- (c) mengondensasikan fasa uap (terjadi di kondensor).

Konsep pemisahan secara distilasi tersebut dan konsep konstruksi *heat exchanger* serta konstruksi sistem pengontak fasa uap-cair disintesakan, menghasilkan sistem pemroses distilasi yang tersusun menjadi integrasi bagian-bagian yang memiliki fungsi berbeda-beda. Distilasi atau destilasi adalah sistem perpindahan yang memanfaatkan perpindahan massa. Masalah perpindahan massa dapat diselesaikan dengan dua cara yang berbeda. Pertama dengan menggunakan konsep tahapan kesetimbangan (*equilibrium stage*) dan kedua atas dasar proses laju difusi (*difusional forces*).

Ada tiga metode distilasi atau destilasi yang dapat dilakukan untuk mendapatkan minyak atsiri kayu manis yaitu metode destilasi air, metode destilasi air dan uap, serta metode destilasi uap langsung. Pemilihan metode destilasi tergantung pada jenis bahan yang akan disuling, dengan mempertimbangkan cara

destilasi yang paling ekonomis untuk mendapatkan minyak atsiri yang mutunya baik (Guenther, 1987).

#### **2.4.1. Metode Destilasi Air**

Pada metode ini bahan langsung berkontak dengan air dan terendam dalam air mendidih. Pengisian bahan tidak boleh terlalu padat dan penuh sebab dapat meluap ke dalam kondensor atau bahan tidak dapat bergerak leluasa sehingga dapat menggumpal dan dapat menyebabkan rendemen minyak turun. Pemanasan air dilakukan dengan sistem mantel uap sehingga bahaya hangus dapat dihindarkan, untuk itu penambahan air yang cukup selama destilasi akan mencegah hasil yang tidak diinginkan. Metode destilasi ini merupakan metode destilasi yang praktis dengan peralatan destilasi yang relatif sederhana dan murah (Guenther, 1987).

#### **2.4.2. Metode Destilasi Uap**

Pada metode destilasi ini, uap yang digunakan adalah uap jenuh atau uap panas yang bertekanan 1 atm yang dihasilkan oleh ketel uap yang letaknya terpisah dari ketel suling. Uap dialirkan melalui pipa uap berlingkar dan berpori yang terletak di bawah bahan olah, dan bergerak ke atas melalui bahan di atas saringan. Pada destilasi ini, tekanan uap dalam ketel suling diatur sesuai dengan kondisi yang diinginkan. Proses difusi akan berlangsung dengan baik jika uap sedikit basah. Destilasi sebaiknya dimulai dengan tekanan rendah (1 atm), kemudian dinaikkan perlahan-lahan. Destilasi dengan uap langsung ini baik digunakan untuk memisahkan minyak atsiri dari biji-bijian, akar dan kayu yang

permukaannya keras dan biasanya mengandung minyak yang bertitik didih tinggi (Guenther, 1987).

### **2.4.3. Metode Destilasi Air dan Uap**

Ketel diisi dengan air sampai permukaan air tidak jauh berada dibawah saringan. Uap yang dihasilkan pada destilasi ini selalu dalam keadaan basah dan jenuh serta bahan yang disuling hanya berhubungan dengan uap, tidak dengan air panas. Secara umum, pada destilasi ini uap air jenuh akan berpenetrasi ke dalam bahan sehingga akan terbentuk campuran uap air dan minyak dalam jaringan tanaman. Selanjutnya minyak akan berdifusi kepermukaan bahan dan diuapkan. Peningkatan temperatur destilasi akan mempercepat proses difusi. Pada destilasi ini pengisian dan keseragaman ukuran bahan harus diperhatikan sehingga uap akan mudah berpenetrasi dan merata dalam bahan. Destilasi dengan uap dan air baik digunakan untuk bahan yang permukaannya tidak terlalu tebal dan keras, misalnya daun-daunan dan kulit yang tipis (Guenther, 1987).

## **2.5. Faktor yang Mempengaruhi Rendemen dan Mutu Minyak Atsiri**

Dalam proses destilasi minyak atsiri, mutu dan kadar rendemen harus di pertimbangkan. Berikut ini adalah faktor-faktor yang mempengaruhi mutu dan kadar rendemen minyak atsiri adalah:

### **2.5.1. Perlakuan bahan sebelum destilasi**

Perlakuan pada bahan yang harus dilakukan sebelum destilasi adalah dengan melakukan penjemuran dan melakukan perajangan terhadap bahan

baku yang akan disuling. Hal ini bertujuan mengurangi kadar air pada bahan baku hingga tersisa 14%. Perajangan juga untuk mendapatkan ukuran bahan yang lebih kecil, sehingga laju penguapan minyak atsiri pada bahan menjadi lebih cepat. (Suherdi, 1999).

### **2.5.2. Ukuran Bahan.**

Pada proses penyulingan, pengisian bahan harus sehomogen mungkin. Apabila bahan yang dirajang terlalu halus akan membentuk saluran uap dan akan menyebabkan kelonggaran antara bahan baku dengan tangki, sehingga mengurangi optimasi hasil destilasi. (Guenther, 1947). Menurut penelitian Panjaitan (1993) dan Hasanah (1977), dengan destilasi metode uap dan air semakin tinggi kepadatan bahan di dalam ketel mengakibatkan rendemen menjadi semakin rendah karena semakin tinggi kepadatan bahan dalam ketel, maka kecepatan destilasi semakin rendah sehingga proses hidrodifusi berjalan lambat. Ma'mun (1996), menyatakan semakin besar massa bahan maka hambatan yang dialami uap air juga semakin besar, akibatnya kecepatan destilasi rendah. Uap air tidak dapat menembus pori – pori tanaman dengan maksimal pada massa tanaman yang lebih banyak, sehingga minyak yang tersekrupun tidak dapat maksimal. Hal ini disebabkan oleh ketel suling yang tidak dapat menerima tekanan yang lebih besar dari boiler.

### **2.5.3. Kondisi Destilasi.**

Jarak yang baik saat pengisian bahan baku adalah 75% dari kapasitas tangki. Jika lebih dari 75%, maka jarak yang ditempuh dan halangan yang

dialami tangki uap semakin besar (syahbana, 2010). Untuk meningkatkan kualitas minyak atsiri dengan baik, sebaiknya destilasi menggunakan temperatur minimum 99°C dengan waktu yang lama 4 sampai 5 jam (Guenther, 1948 dan Abdurachman, 2009) apabila destilasi dilakukan pada temperatur maksimum 140°C, waktu yang diterapkan harus lebih cepat dibanding dengan temperatur minimum. Perlu diketahui bahwa, waktu yang tinggi (melebihi waktu 3 jam) akan menghasilkan minyak yang mengandung resin dan bau yang kurang enak (Rusli, 2010).

#### **2.5.4. Perlakuan Terhadap Minyak Setelah destilasi.**

Setelah proses destilasi selesai, sebaiknya minyak harus dipisahkan dengan air, untuk mencegah terjadinya proses hidrolisa pada senyawa - senyawa eter. Air didalam minyak dapat diserap dengan menggunakan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> anhidrida (Ketaren, 1985). Minyak atsiri pun memiliki sifat yang mudah menguap pada temperatur kamar 26°C, sehingga mudah bereaksi dan dapat rusak akibat pengaruh cahaya dan oksigen (Guenther, 1947). Berikut adalah cara menghitung presentase rendemen minyak atsiri. (SNI 06-3735-1995)

$$\text{Rendemen Minyak (\%)} = \left\{ \frac{\text{Massa Minyak (gr)}}{\text{Massa Bahan Baku (gr)}} \right\} \times 100 \quad (1)$$

#### **2.6. Kondensasi**

Kondensasi merupakan perubahan wujud zat dari gas atau uap menjadi zat cair. Kondensasi terjadi pada pemampatan atau pendinginan jika tercapai tekanan maksimum dan temperatur di bawah temperatur kritis. Kondensasi terjadi



ketika uap didinginkan menjadi cairan, tetapi dapat juga terjadi bila sebuah uap dikompresi menjadi cairan, atau mengalami kombinasi dari pendinginan dan kompresi.

Contoh bentuk kondensasi dilingkungan sekitar adalah uap air di udara yang terkondensasi secara alami pada permukaan yang dingin dinamakan embun. Uap air hanya akan terkondensasi pada suatu permukaan ketika permukaan tersebut lebih dingin dari titik embunnya atau uap air telah mencapai kesetimbangan di udara, seperti kelembapan jenuh. Cairan yang telah terkondensasi dari uap disebut kondensat.

Sebuah alat yang digunakan untuk mengkondensasi uap menjadi cairan disebut kondensor. Kondensor umumnya adalah sebuah pendingin atau penukar panas yang digunakan untuk berbagai tujuan, memiliki rancangan yang bervariasi, dan banyak ukurannya dari yang dapat di genggam sampai yang sangat besar. Kondensasi uap menjadi cairan adalah lawan dari penguapan (evaporasi) dan merupakan proses melepas panas (*eksotermik*) (Sartono,2008).

## **2.7. Kondensor**

### **2.7.1. Pengertian Kondensor**

Prinsip kondensasi di kondensor adalah menjaga tekanan uap yang masuk ke kondensor pada tekanan tertentu kemudian temperatur uapnya diturunkan dengan membuang sebagian kalornya ke medium pendingin yang digunakan di kondensor. Sebagai medium pendingin digunakan udara dan air atau gabungan keduanya

Pada proses pendinginan (*cooling*) cairan fluida yang menguap di dalam pipa-pipa *Cooling Coil* (kondensor) telah menyerap panas sehingga berubah wujudnya

menjadi gas. Panas dari uap ini harus dibuang atau dipindahkan ke suatu medium lain sebelum ia dapat kembali diubah wujudnya menjadi cair untuk dapat mengulang siklusnya kembali. Uap panas yang masuk ke kondensor dengan temperatur yang tinggi dan bertekanan yang merupakan hasil proses pemanasan. Kemudian uap panas masuk ke dalam *Section Pipe* dan kemudian mengalir dalam *tube*. Dalam *tube*, uap panas didinginkan dengan media pendingin air yang dialirkan melewati sisi luar *tube*, kemudian keluar melalui *Discharge Pipe* dengan temperatur yang sudah turun.

## **2.7.2. Jenis-jenis Kondensor**

### 2.7.2.1. Kondensor dengan Pendingin Udara

Kondensor dengan Pendingin Udara mengkondensasikan uap panas menjadi kondensat (cairan yang sudah terkondensasi) ke boiler tanpa kehilangan air dengan menggunakan media udara.

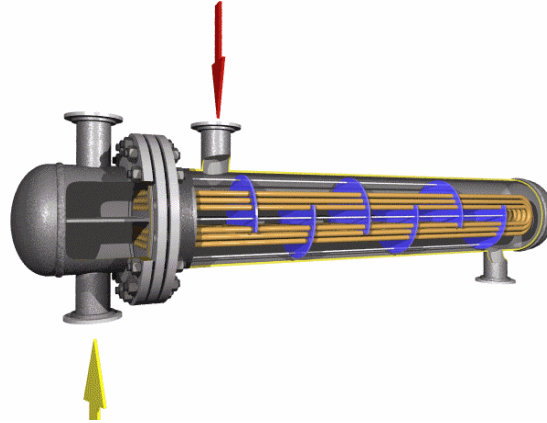
### 2.7.2.2. Kondensor dengan Pendingin Air

Kondensor dengan Pendingin Udara yang paling banyak digunakan yaitu:

#### a. *Shell and Tube* kondensor

*Shell and Tube* kondensor atau Kondensor tipe Tabung dan Pipa digunakan pada kondensor berukuran kecil sampai besar. biasa digunakan untuk air pendingin berupa ammonia dan freon. 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 pipa-pipa dan mengatur agar kecepatannya cukup tinggi.



**Gambar 2.1.** *Shell and Tube* Kondensor

Air pendingin masuk melalui pipa bagian bawah kemudian keluar melalui pipa bagian atas. Pipa pendingin biasa terbuat dari baja sedangkan untuk gas panas biasa terbuat dari pipa tembaga. Jika menginginkan pipa yang tahan terhadap korosi bias menggunakan pipa kuningan datau pipa cupro nikel. Ciri-ciri kondensor Tabung dan Pipa adalah :

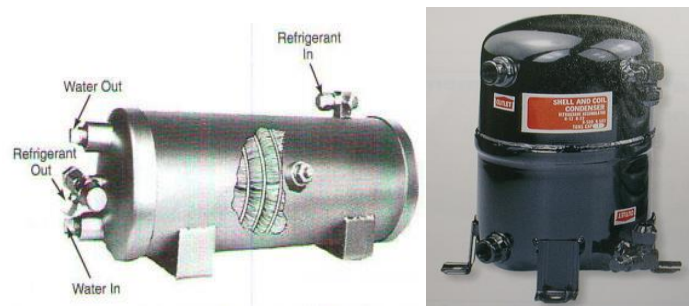
- (a) Dapat dibuat dengan pipa pendingin bersirip sehingga ukurannya relatif lebih kecil dan ringan.
- (b) Pipa dapat dibuat dengan mudah.
- (c) Bantuk yang sederhana dan mudah pemasangannya.
- (d) Pipa pendingin mudah dibersihkan.

#### b. *Shell and Coil* Kondensor

Kondensor tabung dan koil banyak digunakan pada unit pendingin dengan fluida pendingin berkapasitas lebih kecil, misalnya untuk

penyegar udara, pendingin air, dan sebagainya. Seperti Gambar 2.2. dibawah ini, Kondensor tabung dan koil dengan tabung pipa pendingin di dalam tabung yang dipasang pada posisi *vertical*. 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*).



**Gambar 2.2.** *Shell and Coil* Kondensor.

Adapun ciri-ciri Kondensor tabung dan koil sebagai berikut :

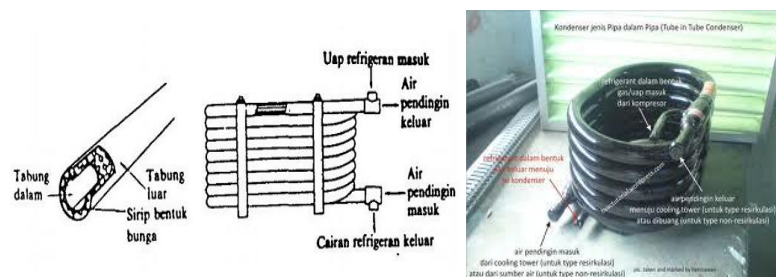
- (a) Harganya murah karena mudah dalam pembuatannya.
- (b) Posisinya yang *vertical* dan mudah dalam pemasangannya.
- (c) Tidak perlu mengganti pipa pendingin, tetapi hanya perlu pembersihan dengan menggunakan detergen

c. *Tube and Tubes* Kondensor

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 2.3. dibawah ini menunjukkan Kondensor jenis pipa ganda, dalam bentuk koil. Pipa dalam dapat dibuat bersirip atau tanpa sirip.



**Gambar 2.3.** *Tube and Tubes* Kondensor.

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

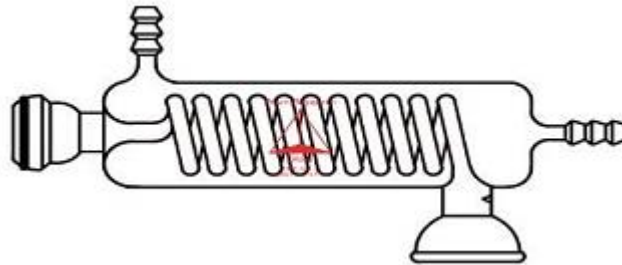
Adapun ciri-ciri Kondensor jenis pipa ganda adalah sebagai berikut:

- (a) Konstruksi sederhana dengan harga yang memadai.
- (b) Dapat mencapai kondisi yang super dingin karena arah aliran refrigerant dan air pendingin yang berlawanan.
- (c) Penggunaan air pendingin relatif kecil.
- (d) Sulit dalam membersihkan pipa, harus menggunakan detergen.

- (e) Pemeriksaan terhadap korosi dan kerusakan pipa tidak mungkin dilaksanakan. Penggantian pipanya pun juga sulit dilakukan.

d. *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.



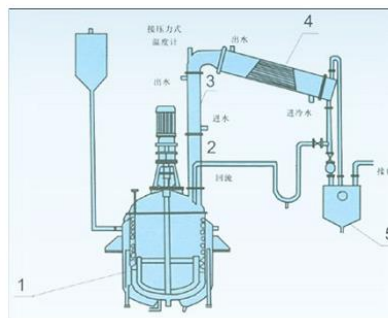
**Gambar 2.4.** *Horizontal Condenser*

Kelebihan Kondensor horizontal adalah :

- (a) Dapat dibuat dengan pipa pendingin bersirip sehingga relatif berukuran kecil dan ringan
- (b) Pipa pendingin dapat dibuat dengan mudah
- (c) Bentuk sederhana dan mudah pemasangannya
- (d) Pipa pendingin mudah dibersihkan

e. *Vertical Kondensor*

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



Keterangan :

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

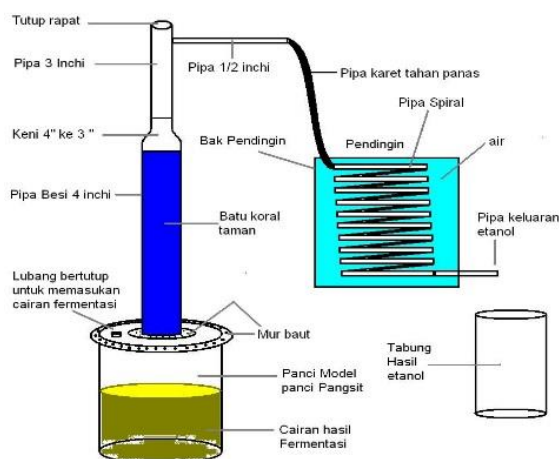
**Gambar 2.5.** *Vertical Kondensor*

Kelebihan *vertical* Kondensor adalah :

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

### 2.7.3. Fungsi Kondensor pada Destilasi

Kondensor merupakan salah satu perlengkapan destilasi. Ukuran dan bentuk kondensor dapat bermacam-macam. Kondensor berfungsi untuk mengubah seluruh uap air dan uap minyak menjadi fase cair. Jumlah panas yang dikeluarkan pada peristiwa kondensasi sebanding dengan panas yang diperlukan untuk penguapan uap dan minyak dan uap air serta sejumlah kecil panas tambahan dikeluarkan untuk menjaga supaya temperaturnya dibawah titik didih. Gambar 2.6. merupakan bentuk tube kondensor dan posisi kondensor pada alat destilasi.



**Gambar 2.6.** posisi kondensor pada alat destilasi.

Pada Proses kondensasi, efisiensi maksimum kondensor tercapai jika kondensor telah cukup dingin. Air pendingin yang keluar dari kondensor mendekati temperatur penguapan guna mengatur jumlah aliran air pendingin didalam kondensor. Kondensasi telah sempurna jika temperatur air pendingin yang mengalir keluar kondensor adalah  $80^{\circ}\text{C}$ , dan temperatur destilator yang dihasilkan pada kisaran  $25^{\circ}\text{C}$  sampai  $35^{\circ}\text{C}$  (Guenther E: 158, 1987).

#### 2.7.4. Perancangan Kondensor

Pada umumnya dalam merancang suatu kondensor metode-metode yang digunakan hampir sama dengan perancangan jenis *heat exchanger* tipe yang lain misalnya tipe *shell and tube*. Dengan mencari koefisien perpindahan panas menyeluruhnya ( $U$ ) terlebih dahulu menggunakan beberapa persamaan sehingga diperoleh panjang tube yang diinginkan, namun untuk kondensor ini memiliki beberapa metode yang berbeda, berikut ini metode-metode yang digunakan untuk merancang kondensor:



### 2.7.4.1. Transfer Panas Keseluruhan (Q)

Kesetimbangan energi dapat digunakan untuk menentukan temperatur fluida yang bervariasi dan nilai total transfer panas konveksi  $Q$  tergantung dari laju aliran massa. Jika perubahan energi kinetik dan energi potensial diabaikan, maka pengaruh yang signifikan adalah perubahan energi thermal dan fluida kerja. Sehingga kesetimbangan energi tergantung pada 3 variable, yang dapat dirumuskan sebagai berikut (Incropera, 1996) :

$$Q = \dot{m} C_p (T_{f,o} - T_{f,i}) \quad (2)$$

Dimana :

$Q$  = total transfer panas (W)

$\dot{m}$  = aliran massa (kg/s)

$C_p$  = Panas spesifik *fluida* (Kj/kg.K)

$T_{f,o}$  = temperatur fluida keluar (°C)

$T_{f,i}$  = temperatur fluida masuk (°C)

Dalam perancangannya, kondensor memiliki 2 komponen yaitu: tangki kondensor dan *tube* kondensor. *Tube* kondensor dirancang sesuai dengan hukum kesetimbangan panas, dimana panas yang masuk akan sama dengan panas yang di lepaskan, dan persamaanya adalah sebagai berikut:

$$Q_c = Q_h \quad (3)$$

$$\dot{m}_c C_{pc,f} (T_{c,o} - T_{c,i}) = \dot{m}_h C_{ph,g} (T_{h,i} - T_{h,o})$$

Dimana:  $Q$  = kalor yang di pindahkan (ditransfer) (j/s)

$C_p$  = Panas spesifik *fluida* (J/kg.K)

$\dot{m}$  = Laju Aliran Massa (kg/s)

T = Temperature (K)

$c, h$  = Fluida dingin, fluida panas

$i, o$  = Masuk , Keluar

#### 2.7.4.2. Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh (U)

Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh (U) adalah suatu besaran atau nilai dari gabungan koefisien-koefisien perpindahan panas yang terjadi dalam suatu alat *heat exchanger* nilai dari koefisien perpindahan panas menyeluruh pada kondensor ditentukan dalam persamaan berikut :

$$\begin{aligned} \frac{1}{UA} &= \frac{1}{U_c A_c} = \frac{1}{U_h A_h} \\ &= \frac{1}{(\eta_o h A)_c} + \frac{R''_{f,c}}{U_c A_c} + R_w + \frac{R''_{f,h}}{U_c A_c} + \frac{1}{(\eta_o h A)_h} \end{aligned}$$

Karena *tube* berbentuk lingkaran dan tidak ada sirip-sirip pada *tube*

maka  $\eta_o = 1$  ,  $\frac{R''_{f,c}}{U_c A_c} = 0$  ,  $\frac{R''_{f,h}}{U_c A_c} = 0$  ,

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{(hA)_c} + R_w + \frac{1}{(hA)_h}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{(h)_c} + R_w + \frac{1}{(h)_h}$$

$$\text{Dimana } R_w = \frac{l_n r_2 / r_1}{2\pi K A}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{(h)_c} + \frac{l_n r_2 / r_1}{2\pi K L} + \frac{1}{(h)_h}} \quad (4)$$

$U$  = Koefesien Perpindahan Kalor Menyeluruh ( $W/m^2.K$ )

$A$  = Luas Permukaan Perpindahan Kalor ( $m^2$ )

$\Delta T_{LMTD}$  = Beda Temperature Rata-Rata ( $K$ )

$h_c$  = Koefesien perpindahan konfeksi di luar pipa ( $W/m^2.K$ )

$h_c$  = Koefesien perpindahan konfeksi di dalam pipa ( $W/m^2.K$ )

$r_2$  = Jari-jari luar pipa (m)

$r_1$  = Jari-jari dalam pipa (m)

$K$  = koefesien perpindahan panas pada tembaga ( $W/m^2.K$ )

$R_w$  = Resistansi konduksi material

$L$  = Panjang Pipa (m)

$\eta_o$  = Efisiensi sirip

#### 2.7.4.3. Laju Perpindahan Panas

Untuk menentukan laju perpindahan panas, persamaan yang digunakan adalah dengan metode  $\Delta T_{LMTD}$ , (*log mean temperature diference*) sebagai berikut (incoperra,1993)

$$Q = U.A.\Delta T_{LMTD}$$

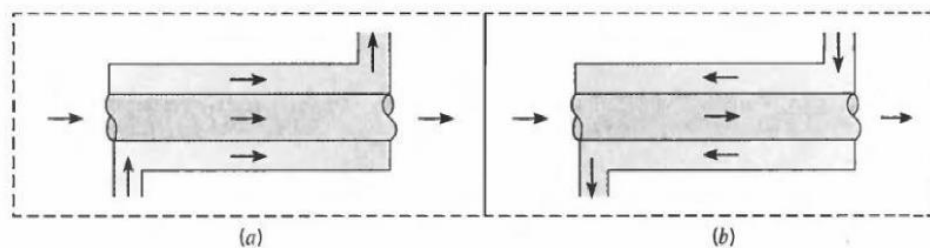
Dimana:

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{h,i} - T_{c,o}) - (T_{h,o} - T_{c,i})}{\ln \frac{(T_{h,i} - T_{c,o})}{(T_{h,o} - T_{c,i})}} = \frac{(\Delta T_1 - \Delta T_2)}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \quad (5)$$

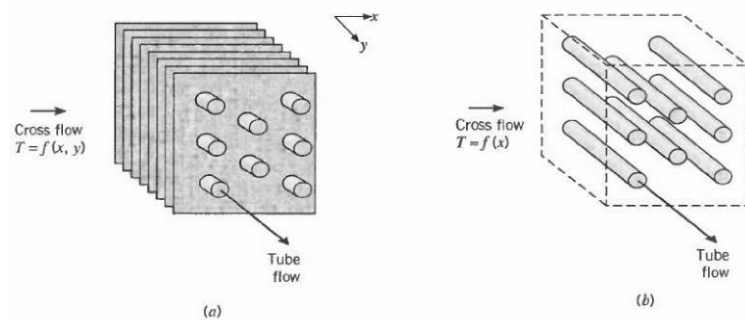
#### 2.7.4.4. Aliran Pada Alat Penukar Kalor

Alat penukar kalor (*Heat Exchanger*) secara tipikal diklasifikasikan berdasarkan susunan aliran (*flow arrangement*) dan tipe konstruksi. Penukar

kalor yang paling sederhana adalah satu penukar kalor yang mana fluida panas dan dingin bergerak atau mengalir pada arah yang sama atau berlawanan dalam sebuah pipa berbentuk bundar (atau pipa rangkap dua). Pada susunan aliran sejajar (*parallel-flow arrangement*) yang ditunjukkan gambar 2.7 (a) fluida panas dan dingin masuk pada ujung yang sama, mengalir dalam arah yang sama dan keluar pada ujung yang sama. Pada susunan aliran berlawanan (*counterflow arrangement*) yang ditunjukkan gambar 2.7 (b) kedua fluida tersebut pada ujung yang berlawanan, mengalir dalam arah yang berlawanan, dan keluar pada ujung yang berlawanan (Incropera,1996).



**Gambar 2.7.** Penukar kalor pipa konsentris (a) parallel flow (b) counterflow

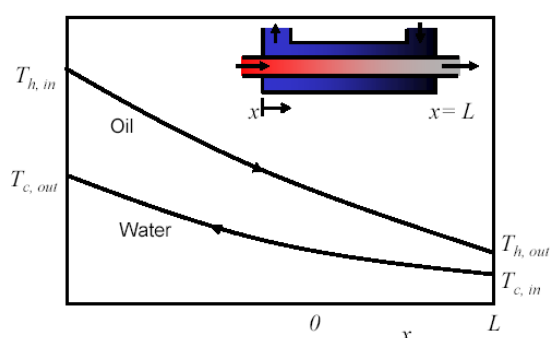


**Gambar 2.8.** Penukar kalor aliran melintang (a) bersirip (b) tidak bersirip

Sebagai alternatif, fluida panas dan dingin bergerak dalam arah melintang (tegak lurus satu dengan yang lain), seperti yang ditunjukkan oleh alat penukar kalor berbentuk pipa bersirip dan tidak bersirip pada gambar 2.8.

Kedua konfigurasi ini secara tipikal dibedakan oleh sebuah perlakuan terhadap fluida di luar pipa sebagai fluida campur atau fluida tak campur. Gambar 2.8a, fluida disebut fluida tak campur karena sirip-sirip menghalangi gerakan fluida dalam satu arah y gerak tersebut melintang ke arah aliran utama x (Incropera,1996).

Aliran fluida tipe *counter flow* terlihat seperti Gambar 2.9 berikut:



**Gambar 2.9.** Aliran *Counter flow*

(Sumber : *fundamentals of heat and mass transfer six edition* )

#### 2.7.4.5. Efektivitas Penukar Panas

Efektivitas penukar panas didefinisikan sebagai perbandingan antara laju perpindahan kalor yang sebenarnya dengan laju perpindahan kalor maksimum yang mungkin. Dimana persamaannya dapat ditunjukkan seperti berikut ini:

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{\max}} \quad (6)$$

Dimana,  $\dot{Q}$  = perpindahan panas nyata

$\dot{Q}_{\max}$  = perpindahan panas maksimum yang mungkin

(Holman, 1999).

Untuk perpindahan panas yang sebenarnya (aktual) dapat dihitung dari energi yang dilepaskan oleh fluida panas atau energi yang diterima oleh fluida dingin untuk penukar panas aliran lawan arah.

$$Q = C_h ((T_{h,in} - T_{h,out}) = C_c (T_{c,out} - T_{c,in}) \quad (7)$$

Dimana,  $C_h$  = kapasitas panas fluida panas (J/s)

$C_c$  = kapasitas panas fluida dingin (J/s)

$T_{h,in}$  = Temperatur masuk fluida panas (K)

$T_{h,out}$  = Temperatur keluar fluida panas (K)

$T_{c,in}$  = Temperatur masuk fluida dingin (K)

$T_{c,out}$  = Temperatur keluar fluida dingin (K)

Kapasitas panas setiap fluida dapat dicari melalui persamaan:

$$C = m \cdot c_p \quad (8)$$

Dimana,  $m$  = laju aliran fluida

$c_p$  = panas spesifik fluida

Untuk menentukan perpindahan panas maksimum bagi penukar panas itu harus dipahami bahwa nilai maksimum akan didapat bila salah satu fluida mengalami perubahan temperatur sebesar beda temperatur maksimum yang terdapat dalam penukar panas itu, yaitu selisih temperatur masuk fluida panas dan fluida dingin.

Fluida yang mungkin mengalami beda temperatur maksimum ini ialah yang laju aliran fluida dinginnya minimum, syarat keseimbangan energi

bahwa energi yang diterima oleh fluida yang satu harus sama dengan energi yang dilepas oleh fluida yang lain. Jika fluida yang mengalami nilai laju aliran fluida dinginnya lebih besar yang dibuat, maka mengalami beda temperatur yang lebih besar dari maksimum, dan ini tidak dimungkinkan. Jadi perpindahan panas maksimum yang mungkin dinyatakan sebagai :

$$\dot{Q}_{\max} = C_{\min} (T_{h,in} - T_{c,in}) \quad (9)$$

Dimana,  $C_{\min}$  merupakan kapasitas panas yang terkecil antara fluida dingin dan fluida panas. Jika  $C_h = C_{\min}$  maka nilai efektivitas dapat dicari dengan persamaan berikut :

$$\varepsilon = \frac{C_h (T_{h,in} - T_{h,out})}{C_{\min} (T_{h,in} - T_{c,in})} = \frac{(T_{h,in} - T_{h,out})}{(T_{h,in} - T_{c,in})} \quad (10)$$

Sedangkan untuk  $C_c = C_{\min}$ , nilai efektivitas dapat dicari dengan persamaan berikut :

$$\varepsilon = \frac{C_c (T_{c,out} - T_{c,in})}{C_{\min} (T_{h,in} - T_{c,in})} = \frac{(T_{c,out} - T_{c,in})}{(T_{h,in} - T_{c,in})} \quad (11)$$

Fluida yang memiliki beda temperatur maksimum adalah fluida yang memiliki nilai laju aliran massa minimum. Hal ini disebabkan oleh fluida kedua. Sehingga, energi yang masuk sama dengan energi yang keluar sesuai dengan hukum kesetimbangan energi, dan persamaan perpindahan panas maksimumnya diuraikan sebagai berikut:

$$q_{\max} = C_{\min} \cdot (T_{h,i} - T_{c,i}) \quad (12)$$

$C_{\min} = C_c = C_h$ , apabila  $C_c < C_h$ ; maka  $q_{\max} = C_c (T_{h,i} - T_{c,i})$  dan

$$C_h < C_c; \text{ maka } q_{max} = C_h (T_{h,i} - T_{c,i})$$

$C$  = heat capacity rate

$NTU$  = jumlah satuan perpindahan

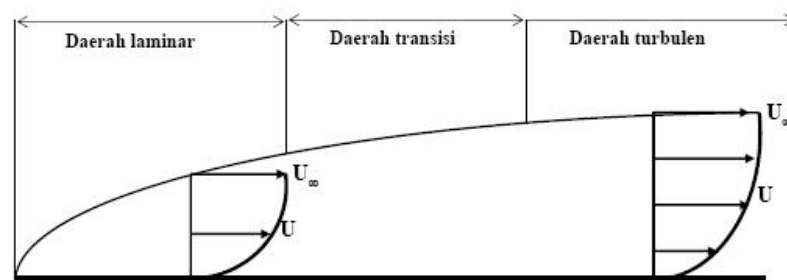
$$h = Uap$$

$$c = \text{Air}$$

(Media Mesin, 2008)

#### 2.7.4.6. Bilangan Reynold

Setiap aliran fluida mempunyai nilai bilangan *Reynolds* yang merupakan pengelompokan aliran yang mengalir, pada plat datar dapat dilihat pada Gambar 2.10. berikut :



**Gambar 2.10.** Daerah aliran lapisan batas plat rata

Pengelompokan aliran yang mengalir tersebut dapat diketahui dengan bilangan Reynold, sebagai berikut :

$$Re = \frac{U_{\infty} \cdot X}{\nu} = \frac{\rho \cdot U_{\infty} \cdot X}{\mu} \quad (13)$$

Dimana  $Re$  = Bilangan *Reynold*

$U_{\infty}$  = Kecepatan aliran bebas

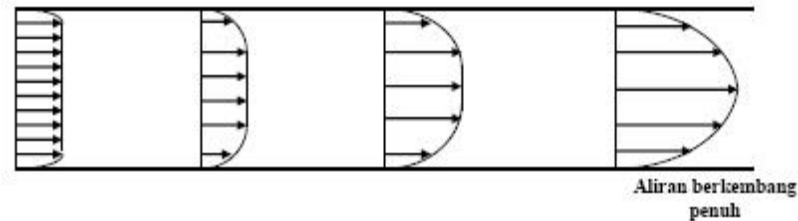
$X$  = Jarak dari tepi depan

$\nu = \mu / \rho$  = Viskositas kinematic



Transisi dari aliran laminar menjadi turbulen terjadi bila  $Re > 5 \cdot 10^5$ , untuk aliran sepanjang plat rata, lapisan batas selalu turbulen untuk  $Re \geq 4 \cdot 10^6$ .

Untuk aliran dalam tabung dapat dilihat pada Gambar 2.11. di bawah ini:



**Gambar 2.11.** Diagram aliran dalam tabung

Pada aliran dalam tabung, aliran turbulen biasanya pada

$$Re = \frac{U_m \cdot d}{\nu} = \frac{\rho \cdot U_m \cdot d}{\mu} \geq 2300 . \quad (\text{McDonald, 1976})$$

Mengacu nilai bilangan *Reynold* dengan aliran turbulen digunakan untuk menghitung *Nusselt number*, dengan ketentuan penggunaan bilangan pada persamaan mengacu pada Tabel 7.2. buku *fundamentals of heat and mass transfer six edition* seperti pada Tabel 2.3. berikut.

**Tabel 2.3.** Constants of Equation 7,52 for the circular cylinder in cross flow

$Re_D$	$C$	$M$
0,4-4	0,989	0,330
4-40	0,911	0,385
40-4000	0,638	0,466
4000-40000	0,193	0,618
40000-400000	0,027	0,805

Sumber: *fundamentals of heat and mass transfer six edition. Chapter 7*

#### 2.7.4.7. Bilangan *Nusselt* dan *Prandtl*

Parameter yang menghubungkan ketebalan relative antara lapisan batas hidronamik dan lapisan batas termal adalah maksud dari angka prandtl, angka ini dapat ditentukan dengan menggunakan tabel, maupun dengan menggunakan persamaan, seperti berikut ini :

$$\text{Pr} = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu/\rho}{k/\rho \cdot c_p} = \frac{C_p \cdot \mu}{k} \quad (14)$$

Angka nuselt dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Nu}_x = \frac{h_x \cdot X}{k} \quad (15)$$

Dimana  $\text{Pr}$  = Bilangan *Prandtl*

$\text{Nu}_x$  = Bilangan *Nusselt*

$h$  = Koefisien Perpindahan Panas Konveksi ( $\text{W}/\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ )

$k$  = Konduktifitas Termal Fluida ( $\text{W}/\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ )

*Reynold Number* Untuk mengetahui jenis aliran fluida, apakah turbulen atau laminar. Jenis aliran tersebut dapat dietahuidari *Prandel Number* dan *Nusselt Number*, yakni persamaannya adalah:

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu}$$

$$\text{Pr} = \frac{C_p \cdot \mu}{k}$$

$$Nu = \frac{h.D}{k} = 5,56 \quad (16)$$

$$Nu = 1,86(Re, d . Pr)^{1/3} . \left(\frac{D}{L}\right)^{1/3} . \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14} \text{ (Laminar)} \quad (17)$$

$$Nu = C(Re)^m(Pr)^n \text{ (Turbulen)} \quad (18)$$

Dimana :  $n = 0,3$  untuk pendinginan dan  $0,4$  untuk pemanasan.

#### 2.7.4.8. Menentukan Panjang Tube Kondensor

Menentukan panjang pipa yang dibutuhkan kondensor untuk proses kondensasi adalah sebagai berikut:

$$L = \frac{q}{U . \pi . D . \Delta T_{LMTD}} \quad (19)$$

Dimana :  $L$  = Panjang Koil Pipa

$D$  = Diameter pipa

$q$  = Kalor Yang di pindahkan ( $J/s$ )

(Incopera, 1997)

Menghitung U-tube atau bagian melengkung pada pipa dengan menggunakan rumus yang terdapat pada buku standar TEMA didapat diameter untuk melakukan bending pada pipa (Richard.2007).

U-tube

$$T_0 = T_1 \left[ 1 + \frac{D_0}{4R} \right] \quad (20)$$

syarat  $T_0 = < 17\% T_1 + T_1, D_0 \leq 10\%$

Dengan:  $T_0 = \text{diasumsikan } (1,5\% T_1) + T_1$

$T_1 = \text{tebal minimum dinding yang dihitung}$

$D_0 = \text{diameter luar pipa}$

$R = \text{rata-rata radius untuk dibending atau ditekuk}$ .

## 2.8. *Autoclave*

*Autoclave* adalah alat yang digunakan untuk mensterilkan peralatan dan perlengkapan dengan memanaskan material dengan uap jenuh tekanan tinggi pada  $121^\circ\text{C}$  selama sekitar 15 sampai 20 menit, tergantung pada ukuran beban dan isi. Alat ini bekerja dengan sistem sterilisasi basah. Secara prinsip alat ini bekerja dengan menggunakan uap air. Alat ini diciptakan oleh Charles Chamberland di tahun 1879, meskipun prekursor yang dikenal sebagai digester uap diciptakan oleh Denis Papin pada tahun 1679. Nama ini berasal dari bahasa Yunani, pada akhirnya berarti Clavis kunci-perangkat *self-locking*. *Autoclave* yang banyak digunakan dalam mikrobiologi, kedokteran, tato, tindik, ilmu kedokteran hewan, mikologi, kedokteran gigi, perawatan kaki dan fabrikasi *prosthetics* (Lansing dkk, 2005).