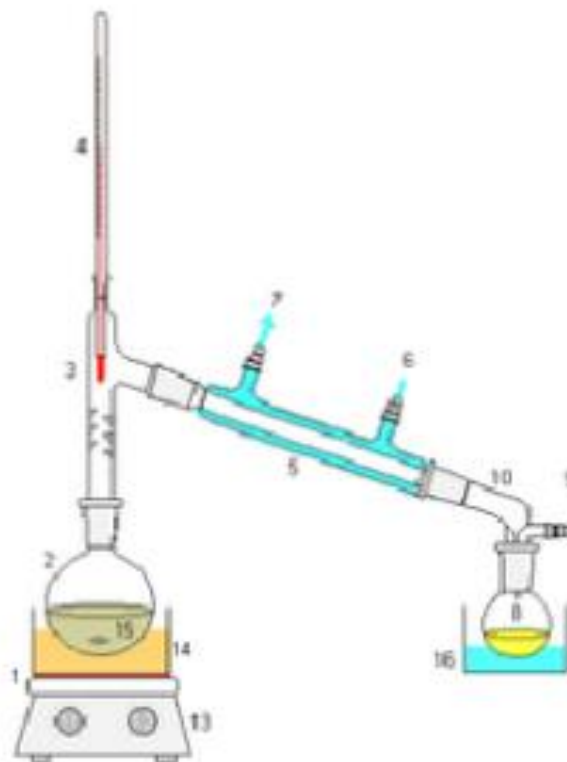


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pengertian 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 kedalam 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.



Gambar 2.1 Alat destilasi sederhana  
(Lit. 7)

## **2.2 Sejarah Destilasi**

Distilasi pertama kali ditemukan oleh kimiawan Yunani sekitar abad pertama Masehi yang akhirnya perkembangannya dipicu terutama oleh tingginya permintaan akan spiritus Hypathia dari Alexandria dipercaya telah menemukan rangkaian alat untuk distilasi dan Zosimus dari Alexandria-lah yang telah berhasil menggambarkan secara akurat tentang proses distilasi pada sekitar abad ke-4. Bentuk modern distilasi pertama kali ditemukan oleh ahli-ahli kimia Islam pada masa kekhalifahan Abbasiyah, terutama oleh Al-Razi pada pemisahan alkohol menjadi senyawa yang relatif murni melalui alat alembik, bahkan desain ini menjadi semacam inspirasi yang memungkinkan rancangan distilasi skala mikro, The Hickman Stillhead dapat terwujud. Tulisan oleh Jabir Ibnu Hayyan (721-815) yang lebih dikenal dengan Ibnu Jabir menyebutkan tentang uap anggur yang dapat terbakar. Ia juga telah menemukan banyak peralatan dan proses kimia yang bahkan masih banyak dipakai sampai saat ini. Kemudian teknik penyulingan diuraikan dengan jelas oleh Al-Kindi (801 - 873). Salah satu penerapan terpenting dari metode distilasi adalah pemisahan minyak mentah menjadi bagian-bagian untuk penggunaan khusus seperti untuk transportasi, pembangkit listrik, pemanas, dan lain-lain. Udara didistilasi menjadi komponen-komponen seperti oksigen untuk penggunaan medis dan helium pengisi balon. Distilasi telah digunakan sejak lama untuk pemekatan alkohol dengan penerapan panas terhadap larutan hasil fermentasi untuk menghasilkan minuman suling B.

## **2.3 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

### **2.3.1 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

### **2.3.2 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.

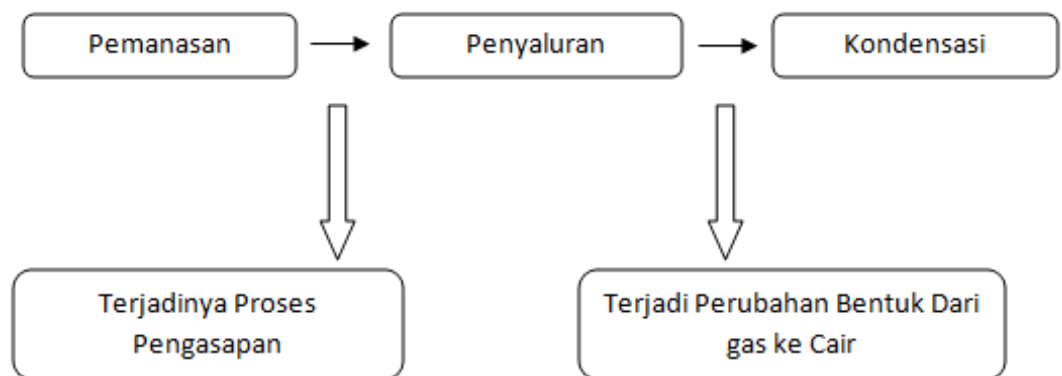
### **2.3.3 Distilasi Uap**

Distilasi uap digunakan pada campuran senyawa-senyawa yang memiliki titik didih mencapai 200 °C atau lebih. Distilasi uap dapat menguapkan senyawa-senyawanya dengan suhu mendekati 100 °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 citrus 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.

#### 2.3.4 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 °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.



Gambar 2.2 Siklus destilasi

### 2.4 Komponen Alat Destilasi

#### 2.4.1 Tabung Reaktor

Tabung reaktor berfungsi sebagai wadah atau tempat pemanasan bahan baku (oli bekas). Tabung reaktor berbentuk silinder yang mempunyai tutup yang di rekatkan dengan menggunakan baut sehingga dapat dibuka dan ditutup.

#### **2.4.2 Kondensor (Pendingin)**

Kondensor berfungsi untuk mengubah seluruh gas menjadi fase cair. Air disirkulasikan kedalam tabung kondensor sebagai media pendingin.

#### **2.4.3 Pipa Penyalur**

Pipa penyalur yang dibuat berbentuk spiral ini berfungsi untuk menghubungkan dan menyalurkan gas dari tabung reaktor ke *condenser*

#### **2.4.4 Burner**

Burner ini berfungsi sebagai media pemanas untuk mengasapkan bahan baku didalam tangki pemanas yang bisa berupa kompor gas atau kompor minyak ataupun juga tungku menggunakan batu bara, tetapi untuk lebih efisien dan mudah mendapatkan bahan bakar maka digunakan kompor gas yang menggunakan bahan bakar LPG.

### **2.5 Oli**

#### **2.5.1 Macam-Macam Oli**

##### **1) Oli Mineral**

Oli mineral terbuat dari oli dasar (base oil) yang diambil dari minyak bumi yang telah diolah dan disempurnakan dan ditambah dengan zat - zat aditif untuk meningkatkan kemampuan dan fungsinya. Beberapa pakar mesin memberikan saran agar jika telah biasa menggunakan oli mineral selama bertahun-tahun maka jangan langsung menggantinya dengan oli sintetis dikarenakan oli sintetis umumnya mengikis deposit (sisir) yang ditinggalkan oli mineral sehingga deposit tadi terangkat dari tempatnya dan mengalir ke celah-celah mesin sehingga mengganggu pemakaian mesin.

##### **2) Oli Sintetis**

Oli Sintetis biasanya terdiri atas Polyalphaolifins yang datang dari bagian terbersih dari pemilahan dari oli mineral, yakni gas. Senyawa ini kemudian dicampur dengan oli mineral. Inilah mengapa oli sintetis bisa dicampur dengan oli

mineral dan sebaliknya. Basis yang paling stabil adalah polyol-ester (bukan bahan baku polyester), yang paling sedikit bereaksi bila dicampur dengan bahan lain. Oli sintetis cenderung tidak mengandung bahan karbon reaktif, senyawa yang sangat tidak bagus untuk oli karena cenderung bergabung dengan oksigen sehingga menghasilkan acid (asam). Pada dasarnya, oli sintetis didesain untuk menghasilkan kinerja yang lebih efektif dibandingkan dengan oli mineral.

### **2.5.2 Viskositas**

Kekentalan merupakan salah satu unsur kandungan oli paling rawan karena berkaitan dengan ketebalan oli atau seberapa besar resistensinya untuk mengalir. Kekentalan oli langsung berkaitan dengan sejauh mana oli berfungsi sebagai pelumas sekaligus pelindung benturan antar permukaan logam.

Oli harus mengalir ketika suhu mesin atau temperatur ambient. Mengalir secara cukup agar terjamin pasokannya ke komponen-komponen yang bergerak. Semakin kental oli, maka lapisan yang ditimbulkan menjadi lebih kental. Lapisan halus pada oli kental memberi kemampuan ekstra menyapu atau membersihkan permukaan logam yang terlumasi. Sebaliknya oli yang terlalu tebal akan memberi resistensi berlebih mengalirkan oli pada temperatur rendah sehingga mengganggu jalannya pelumasan ke komponen yang dibutuhkan. Untuk itu, oli harus memiliki kekentalan lebih tepat pada temperatur tertinggi atau temperatur terendah ketika mesin dioperasikan.

Dengan demikian, oli memiliki grade (derajat) tersendiri yang diatur oleh Society of Automotive Engineers (SAE). Bila pada kemasan oli tersebut tertera angka SAE 5W-30 berarti 5W (Winter) menunjukkan pada suhu dingin oli bekerja pada kekentalan 5 dan pada suhu terpanas akan bekerja pada kekentalan 30.

Tetapi yang terbaik adalah mengikuti viskositas sesuai permintaan mesin. Umumnya, mobil sekarang punya kekentalan lebih rendah dari 5W-30. Karena mesin belakangan lebih sophisticated sehingga kerapatan antar komponen makin tipis dan juga banyak celah-celah kecil yang hanya bisa dilalui oleh oli encer. Tak baik menggunakan oli kental (20W-50) pada mesin seperti ini karena akan mengganggu debit aliran oli pada mesin dan butuh semprotan lebih tinggi. Untuk

mesin lebih tua, clearance bearing lebih besar sehingga mengizinkan pemakaian oli kental untuk menjaga tekanan oli normal dan menyediakan lapisan film cukup untuk bearing.

Sebagai contoh di bawah ini adalah tipe Viskositas dan ambien temperatur dalam derajat Celcius yang biasa digunakan sebagai standar oli di berbagai negara/kawasan.

1. 5W-30 untuk cuaca dingin seperti di Swedia
2. 10W-30 untuk iklim sedang seperti di kawasan Inggris
3. 15W-30 untuk Cuaca panas seperti di kawasan Indonesia

## 2.6 Mekanisme Perpindahan Kalor

Bila suatu sistem terdapat gradien suhu, atau bila dua sistem yang suhunya berbeda disinggungkan maka akan terjadi perpindahan energi. Proses di mana perpindahan energi itu berlangsung disebut perpindahan panas. Perpindahan panas merupakan proses perpindahan yang penting dalam teknik mesin di samping perpindahan momentum dan perpindahan massa. Perpindahan panas pada dasarnya merupakan akumulasi dari perpindahan dari panas dan energi dari suatu tempat ketempat lain. Perpindahan panas sering terjadi dalam kombinasi dengan unit operasi lain seperti distilasi, evaporasi, pengeringan dan lain-lain. Penyelesaian soal-soal perpindahan kalor secara kuantitatif biasanya didasarkan pada neraca energi dan perkiraan laju perpindahan kalor. Perpindahan panas akan terjadi apabila ada perbedaan temperatur antara 2 bagian benda. Panas akan berpindah dari temperatur tinggi ke temperatur yang lebih rendah. Berikut ilustrasi perpindahan panas dari temperatur yang tinggi ke temperatur yang rendah, Dimana:  $T_1 > T_2$

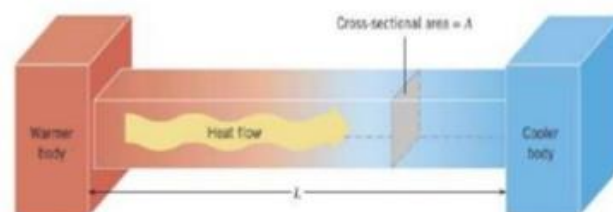


Gambar 2.3 Ilustrasi perpindahan panas

Panas dapat berpindah dengan 3 cara, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Pada peristiwa konduksi, panas akan berpindah tanpa diikuti aliran medium perpindahan panas. Panas akan berpindah secara estafet dari satu partikel ke partikel yang lainnya dalam medium tersebut. Pada peristiwa konveksi, perpindahan panas terjadi karena terbawa aliran fluida. Secara termodinamika, konveksi dinyatakan sebagai aliran entalpi, bukan aliran panas. Pada peristiwa radiasi, energi berpindah melalui gelombang elektromagnetik. Ada beberapa alat penukar panas yang umum digunakan pada industri. Alat-alat penukar panas tersebut antara lain: *double pipe*, *shell and tube*, *plate-frame*, *spiral*, dan *lamella*. Penukar panas jenis plate and frame mulai dikembangkan pada akhir tahun 1950 – N. Banyak penelitian yang telah dilakukan pada penukar panas jenis ini, namun umumnya fluida operasi yang digunakan adalah air

### 2.6.1 Konduksi

Konduksi adalah proses di mana panas atau kalor mengalir dari daerah yang bersuhu tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah di dalam satu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium - medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar menurut teori kinetik. Konduksi juga dapat didefinisikan sebagai perpindahan panas dari suatu bagian dengan temperatur tinggi menuju bagian dengan temperatur rendah melalui suatu medium tanpa diikuti dengan adanya aliran material medium tersebut . Jika salah satu ujung logam memiliki temperatur rendah, maka akan terjadi transfer energi dari bagian dengan temperatur tinggi menuju bagian dengan temperatur rendah.



Gambar 2.4 Aliran panas yang terjadi pada saat konduksi

Hubungan dasar untuk perpindahan panas dengan cara konduksi diusulkan oleh ilmuwan Perancis, J.B.J. Fourier, tahun 1822. Hubungan ini menyatakan bahwa  $q_k$ , laju aliran panas dengan cara konduksi dalam suatu bahan, sama dengan hasil kali dari tiga buah besaran berikut:

1.  $K$ , yaitu: konduktivitas termal bahan.
2.  $A$ , yaitu: luas penampang dimana panas mengalir dengan cara konduksi yang harus diukur tegak lurus terhadap arah aliran panas.
3.  $dT/Dx$ , yaitu: gradien suhu terhadap penampang tersebut, yaitu perubahan suhu  $T$  terhadap jarak dalam arah aliran panas  $x$ .

Persamaan dasar untuk konduksi satu dimensi dalam keadaan tunak ditulis sebagai berikut:

$$q_k = -kA \frac{dT}{dx} \quad (\text{Lit. 1, Hal. 8})$$

Laju aliran panas  $q_k$  dinyatakan dalam Btu/h, luas  $A$  dalam ft<sup>2</sup> dan gradien suhu  $dT/dx$  dalam F/ft. Konduktivitas termal  $k$  adalah sifat bahan dan menunjukkan jumlah panas yang mengalir melintasi satuan luas jika gradien suhunya satu. Jadi bahan yang mempunyai konduktivitas termal yang tinggi dinamakan konduktor (*conductor*), sedangkan bahan yang konduktivitas termalnya rendah disebut isolator (*insulator*).

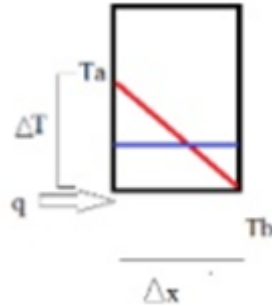
Logam (misalnya: tembaga) biasanya merupakan konduktor panas yang baik. Hal ini disebabkan adanya logam kimia yang lebih kuat dari ikatan kovalen dan ikatan ionik serta memiliki elektron bebas dan berasal dari struktural kristal. Sedangkan fluida (liquid dan gas) merupakan konduktor yang buruk. Hal ini disebabkan karena jarak antar atom pada gas sangat jarang sehingga dengan adanya tumbukan beberapa atom dapat menurunkan konduksi dan densitas fluida menurun jika konduksi terjadi. Berikut adalah tabel beberapa bahan dengan konduktivitas termalnya

Tabel 2.1 Konduktivitas termal beberapa bahan

| Bahan                                     | Konduktivitas Termal (K) |              |
|-------------------------------------------|--------------------------|--------------|
|                                           | W/m. °C                  | Btu/h.ft. °F |
| Logam perak (murni)                       | 4130                     | 237          |
| Tembaga (murni)                           | 385                      | 223          |
| Alumunium (murni)                         | 202                      | 117          |
| Nikel (murni)                             | 93                       | 54           |
| Besi (murni)                              | 73                       | 42           |
| Baja karbon, (1% c)                       | 43                       | 25           |
| Timbal (murni)                            | 35                       | 20.3         |
| Baja krom-nikel (18% cr, 8% ni)           | 16.3                     | 9.4          |
| Bukan logam kuarsa (sejajar sumbu)        | 41.6                     | 24           |
| Magnesit                                  | 4.15                     | 2.4          |
| Marmar                                    | 2.08 - 2.94              | 1.2 – 1.7    |
| Batu pasir                                | 1.83                     | 1.06         |
| Kaca jendela                              | 0.78                     | 0.45         |
| Kayu maple atau ek                        | 0.17                     | 0.096        |
| Serbuk gergaji                            | 0.059                    | 0.034        |
| Wol kaca                                  | 0.038                    | 0.022        |
| Zat cair air raksa                        | 8.21                     | 4.74         |
| Air                                       | 0.556                    | 0.327        |
| Ammonia                                   | 0.540                    | 0.312        |
| Minyak lumas, SAE 50                      | 0.147                    | 0.085        |
| Freon 12, CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub> | 0.073                    | 0.042        |
| Gas hidrogen                              | 0.175                    | 0.101        |
| Helium                                    | 0.141                    | 0.081        |
| Udara                                     | 0.024                    | 0.0139       |
| Uap Air (jenuh)                           | 0.0206                   | 0.0119       |
| Karbon dioksida                           | 0.0146                   | 0.00844      |

### 1) Konduksi Pada Sistem Aliran Linier

Ditinjau sebuah lempeng logam seperti skema di bawah ini.



Gambar 2.5 Mekanisme perpindahan panas konduksi pada aliran linier

$$\frac{q}{A} = \frac{dT}{dx} \quad (\text{Lit. 1, Hal. 9})$$

Dan dengan konstanta kesetimbangan (konduksi) maka menjadi persamaan Hukum Fourier

$$q = kA \frac{dT}{dx} \quad (\text{Lit. 1, Hal. 9})$$

Dimana :

$q$  = laju perpindahan kalor

$\frac{dT}{dx}$  = gradien suhu ke arah perpindahan kalor

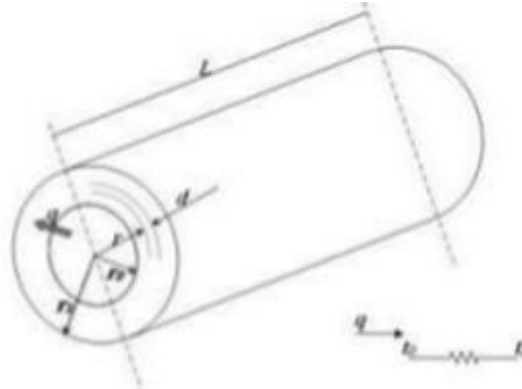
$k$  = konduktivitas termal bahan

$A$  = luas permukaan bidang hantaran

$$q = \frac{T_a - T_b}{\Delta x / kA} = \frac{T_a - T_b}{R} = \frac{\text{driving force}}{\text{resistance}} \quad (\text{Lit. 1, Hal. 10})$$

## 2) Konduksi Pada Sistem Aliran Radial

Perhatikan gambar suatu silinder dengan panjang  $L$  dan radius bagian dalam  $r_0$ , radius luar  $r_1$ . Temperatur bagian dalam silinder  $t_0$  dan bagian luar  $t_1$ , sehingga beda temperatur adalah  $t_1 - t_0$



Diasumsikan kalor mengalir pada arah radial, luas bidang aliran kalor dalam sistim silinder ini adalah

$$A_r = 2\pi rL \quad (\text{Lit. 1, Hal. 10})$$

dari hukum Fourier diketahui:

$$q_r = -kA_r \frac{dt}{dr} \quad (\text{Lit. 1, Hal. 10})$$

Luas bidang aliran kalor  $A_r$  disubstitusikan kepersamaan diatas, sehingga menjadi:

$$q_r = -k2\pi rL \frac{dt}{dr} \quad (\text{Lit. 1, Hal. 10})$$

Jika persamaan terakhir diintegrasikan dengan kondisi batas  $t = t_0$  pada  $r = r_0$ , dan  $t = t_1$  pada  $r = r_1$ , akan menghasilkan

$$q = -\frac{2\pi kL(t_1 - t_0)}{\ln \frac{r_1}{r_0}} \quad (\text{Lit. 1, Hal. 11})$$

sedangkan tahanan termal dari persamaan ini adalah:

$$R_{th} = \frac{\ln(r_0 - r_1)}{2\pi k} \quad (\text{Lit. 1, Hal. 11})$$

Sehingga konsep tahan termal dapat ditulis:

$$q = -\frac{L(t_1 - t_0)}{R_{th}} \quad (\text{Lit. 1, Hal. 11})$$

### 2.6.2 Konveksi

Bilamana benda padat bersentuhan dengan fluida bergerak yang mempunyai suhu yang berbeda dari suhu benda itu, maka fluida itu akan membawa energi keluar dari benda itu dengan cara konveksi.

Jika suhu di bagian hulu fluida itu ialah  $T_\infty$  dan suhu permukaan benda  $T_s$ , maka perpindahan kalor persatuan waktu adalah

$$q = hA(T_s - T_\infty) \quad (\text{Lit. 1, Hal. 11})$$

Hubungan ini dinamakan hukum Newton tentang pendinginan. Persamaan ini mendefinisikan koefisien perpindahan kalor konveksi  $h$  yang merupakan konstanta proporsionalitas yang berhubungan perpindahan kalor per satuan waktu dan satuan luar dengan benda suhu menyeluruh. Satuan  $h$  ialah Btu/hr-ft<sup>2</sup>-°F atau W/m<sup>2</sup>-K. perlu diingat bahwa perpindahan energi fundamental pada bidang batas zat padat-fluida berlangsung dengan cara konduksi, dan energi ini lalu dibawa oleh aliran fluida dengan cara konveksi, untuk  $y = n$

$$hA(T_s - T_\infty) = -kA\left(\frac{\partial T}{\partial y}\right) \quad (\text{Lit. 1, Hal. 12})$$

dimana subskrip pada gradient suhu menunjukkan bahwa suhu fluida dievaluasi pada permukaan.

### 2.6.3 Radiasi

Transmisi energi ragam ketiga berlangsung melalui perambatan gelombang elektromagnetik, yang dapat berlangsung baik dalam medium maupun dalam vakum (hampa). Bukti-bukti dari percobaan menunjukkan bahawa perpindahan kaloran radiasi sebanding dengan pangkat empat suhu absolute, sedang konduksi dan konveksi sebanding lurus dengan beda suhu. Hukum Stefan-Boltzmann yang fundamental menyatakan

$$q = \sigma AT^4 \quad (\text{Lit. 1, Hal. 13})$$

Dimana  $T$  ialah suhu absolute. Konstanta  $\sigma$  tidak bergantung pada permukaan, medium atau suhu, nilainya ialah  $0.1714 \times 10^{-8} \text{ Btu/hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{R}^4$  atau  $5.667 \times 10^{-8} \text{ w/m}^2\text{-K}^4$ .

Pemancar sinar yang ideal, disebut benda hitam yang memberikan energi radiasi. Semua permukaan lain memancarkan sinar yang lebih kecil dari yang dihitung dari persamaan itu. Emisi termal dari kebanyakan permukaan dapat dinyatakan dengan persamaan

$$q = \epsilon \sigma AT^4 \quad (\text{Lit. 1, Hal 13})$$

Di mana  $\epsilon$ , yaitu emisivitas permukaan, berkisar antara nol dan satu,

Konduktivitas atau keterhantaran termal,  $k$ , adalah suatu besaran intensif bahan yang menunjukkan kemampuannya untuk menghantarkan panas. Konduksi termal adalah suatu fenomena transport di manaperbedaan temperatur menyebabkan transfer energi termal dari satu daerah benda panas ke daerah yang sama pada temperatur yang lebihrendah. Panas yang di transfer dari satu titik ke titik lain melalui salahsatu dari tiga metoda yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Konduktivitas-termal logam dalam fasa padat yang diketahui komposisinya bergantung terutama pada suhu saja. Pada umumnya,  $k$  logam-logam murni berkurang sesuai dengan suhunya:tetapi pengaruh unsur-unsur pepadu biasanya memblik kebiasaan itu.

Konduktifitas-thermal logam dalam jangkauan suhu yang cukup luas biasanya dapat dinyatakan dengan rumus

$$k = k_0(1 + b\theta + c\theta^2) \quad (\text{Lit. 1, Hal 13})$$

Di mana  $\theta = T - T_{rujukan}$  dan  $k_0$  ialah konduktivitas pada suhu rujukan  $T_{rujukan}$

$$k = k_0(1 + b\theta) \quad (\text{Lit. 1, Hal 14})$$

Konduktivitas termal bahan yang homogeny biasanya sangat bergantung oada densitas-lindak semu, yaitu massa bahan dibagi dengan volume total. Dalam volume total ini termasuk juga volume rongga, seperti kantong-kantong udara yang terdapat di dalam batas-batas bahan itu. Konduktivitas bergantung juga pada suhu. Sebagai kaidah umum, k bahan-bahan tak-homogen bertambah tinggi jika suhu dan densitas-lindak semua semakin tiinggi.

#### **A. Konduktivitas-Termal Zat-Cair**

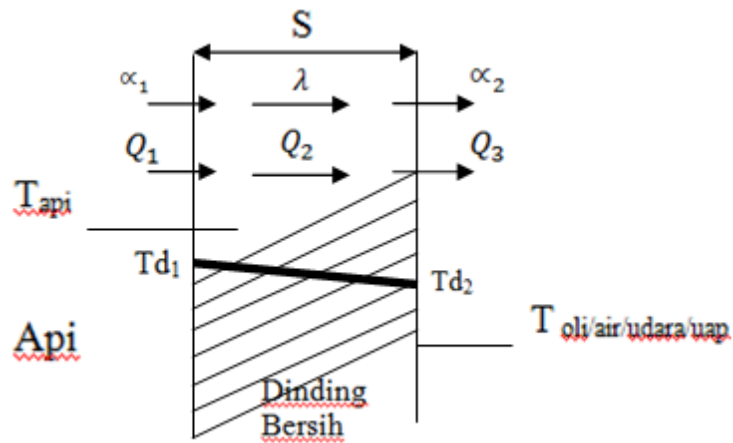
Dalam hal ini, k biasanya bergantung pada suhu, tetapi tidak peka terhadap tekanan. Konduktivitas termal kebanyakan zat cair berkurang bilsa suhu makin tinggi; kecuali dalam hal air, di mana k bertambah sampai 300°F dan kemudian berkurang pada suhu yang lebih tinggi. Air mempunyai konduktivitas termal paling tinggi di antara semua zat cair, kecuali logam cair.

#### **B. Konduktivitas Termal Gas**

Konduktivitas termal gas bertambah jika suhu makin tinggi, tetapi pada tekanan di sekitar tekanan atmosfer, hampir tidak bergantung pada besarnya tekanan. Pada tekanan tinggi (yaitu tekanan yang mendekati tekanan kritis atau lebih tinggi), pengaruh tekanan itu cukup penting.

Dua gas yang sangat penting ialah udara dan uap air. Data konduktivitas uap (air) menunjukkan adanya ketergantungan yang cukup besar pada tekanan.

## 2.7 Proses Perpindahan Panas Pada Reaktor



Gambar 2.6 Proses perpindahan panas pada dinding bersih

Di dalam gambar berikut ini, memisalkan api ada di sebelah kiri dari dinding tabung reaktor, sedang kan oli bekas ada di sebelah kanan dari dinding tabung reaktor.

$$Q_1 = \alpha_1 \times F \times (T_{api} - T_{d_1}) \quad \text{Kj/jam} \quad (\text{Lit 4. Hal. 28})$$

$$Q_2 = \frac{\lambda}{s} \times F \times (T_{d_1} - T_{d_2}) \quad \text{Kj/jam}$$

$$Q_3 = \alpha_2 \times F \times (T_{d_2} - T_{oli}) \quad \text{Kj/jam}$$

Bila penyerahan panas dari api ke oli melalui dinding tabung reaktor tersebut, keadaannya dalam keadaan seimbang (*Steady State*), maka berarti bahwa:

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q \quad (\text{Lit 4. Hal. 28})$$

Sebab jika tidak demikian, yaitu bahwa bila:

$$Q_1 \neq Q_2 \neq Q_3 \neq Q \quad (\text{Lit 4. Hal. 28})$$

Maka berarti ada sejumlah pemanas yang tertinggal, sehingga temperature dinding makin lama meningkat, yang berarti keadaan seimbang (*Steady State*) adalah belum tercapai.

Ketiga persamaan tersebut kita ubah menjadi:

$$Q_1 = \alpha_1 \times F \times (T_{api} - T_{d_1}) = Q \rightarrow T_{api} - T_{d_1} = \frac{1}{\alpha_1} \times \frac{Q}{F} \quad (1)$$

$$Q_2 = \frac{\lambda}{s} \times F \times (T_{d_1} - T_{d_2}) = Q \rightarrow T_{d_1} - T_{d_2} = \frac{s}{\lambda} \times \frac{Q}{F} \quad (2)$$

$$Q_3 = \alpha_2 \times F \times (T_{d_2} - T_{oli}) = Q \rightarrow T_{d_2} - T_{oli} = \frac{1}{\alpha_2} \times \frac{Q}{F} \quad (3)$$

$$\text{Penjumlahan (1)+(2)+(3)} = T_{api} - T_{air} = \frac{Q}{F} \times \left( \frac{1}{\alpha_1} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right)$$

Bila  $\left( \frac{1}{\alpha_1} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right)$  diganti dengan  $1/k_o$  : maka persamaan tersebut berubah menjadi:

$$T_{api} - T_{oli} = \frac{Q}{F} \times \frac{1}{k_o} \quad \text{atau} \quad q = k_o \times F \times (T_{api} - T_{oli})$$

$$\text{Dengan harga } k_o \text{ yang dicari dari} \quad \frac{1}{k_o} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}$$

## 2.8 Perhitungan Pengeboran

### 2.8.1 Putaran Mesin Bor

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times d}$$

Dimana:

$V_c$  = Kecepatan potong (m/s)

$d$  = Diameter mata bor (mm)

## 3 Panjang Pengeboran Efektif

$$(L) = t + 1/3 d$$

Dimana:

t = tebal benda

4 Waktu Permesinan ( $t_m$ )

$$T_m = \frac{L}{S_r \times n}$$

Dimana:

Sr = Kecepatan pemakanan

5 Waktu Permesinan Total  $T_{m_{total}}$

$$T_{m_{total}} = T_{m_1} \times \text{jumlah lubang} + T_{m_2} \times \text{jumlah lubang} + t_{\text{setting}}$$