

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1. Kopi**

Nama kopi (*Coffea sp.*) sebagai bahan minuman sudah tidak asing lagi. Didunia perdagangan dikenal beberapa golongan kopi, tetapi yang paling sering dibudidayakan hanya kopi arabika dan robusta. Pada umumnya, penggolongan kopi berdasarkan spesies, kecuali kopi robusta. Kopi robusta bukan nama spesies karena kopi ini merupakan keturunan dari beberapa spesies kopi, terutama *Coffea canephora*.

##### *2.1.1. Kopi Arabika (Coffea Arabica)*

Kopi arabika berasal dari Ethiopia dan Abessinia. Kopi ini merupakan jenis pertama yang dikenal dan dibudidayakan, bahkan termasuk kopi yang paling banyak diusahakan hingga akhir abad ke-19. Setelah abad ke-19, dominasi kopi Arabika menurun karena kopi ini sangat peka terhadap penyakit HIV, terutama di dataran rendah. Beberapa varietas kopi Arabika yang banyak diusahakan di Indonesia antara lain Abesinia, Pasumah, Marago type, dan *congensis*.

##### *2.1.2. Kopi Robusta*

Kopi Robusta berasal dari Kongo. Kopi ini masuk ke Indonesia pada tahun 1900. Beberapa jenis yang termasuk kopi Robusta antara lain Quillou, Uganda, dan *Chanephora*. Oleh karena mempunyai sifat lebih unggul, kopi ini sangat cepat berkembang. Bahkan kopi Robusta termasuk jenis yang mendominasi perkebunan kopi di Indonesia hingga saat ini.

#### **2.2. Perbedaan antara kopi Robusta dan Arabika**

##### *2.2.1. Rasa*

Rasa tentunya merupakan fitur yang paling penting bagi kita para penikmat kopi. Setelah melalui berbagai macam proses pengolahan sampai saat penyajian, yang kita nikmati ketika kopi sudah disajikan di atas meja adalah rasa dan aromanya. Secara rasa, kopi robusta memiliki variasi rasa yang kuat dan juga tajam. Seringkali dikatakan kopi robusta memiliki rasa seperti gandum. Sebelum disangrai, biji kopi robusta memiliki aroma seperti kacang-kacangan. Ini menyebabkan kopi robusta umumnya dianggap memiliki kualitas di bawah kopi arabika. Tetapi perlu diketahui juga bahwa tidak semua kopi robusta memiliki kualitas rendah, ada juga kopi robusta

yang berkualitas baik dan bernilai tinggi, namun memang cukup sulit untuk menemukannya. Sedangkan kopi arabika memiliki variasi rasa sangat beragam, tergantung dari jenisnya. Mulai dari rasa manis yang lembut sampai rasa yang kuat dan tajam. Acidity dari kopi arabika juga lebih tinggi, yang menandakan bahwa kopi arabika memang merupakan kopi dengan kualitas tinggi. Sebelum disangrai, kopi arabika memiliki aroma seperti blueberry. Setelah disangrai, kopi arabika memiliki aroma seperti buah-buahan dan manis.

### *2.2.2. Kadar kafein*

Salah satu alasan mengapa kopi robusta tidak senikmat kopi arabika adalah karena kopi robusta memiliki kadar kafein yang lebih tinggi apabila dibandingkan dengan kopi arabika. Ini mungkin terdengar sebagai hal positif, akan tetapi kafein membawa rasa pahit yang mengurangi kenikmatan kopi saat diminum. Bahkan kopi robusta memiliki kadar kafein dua kali lebih banyak daripada arabika, yaitu 2.2% sedangkan kadar kafein kopi arabika hanya 1.2%.

### *2.2.3. Kandungan Gula dan lipid*

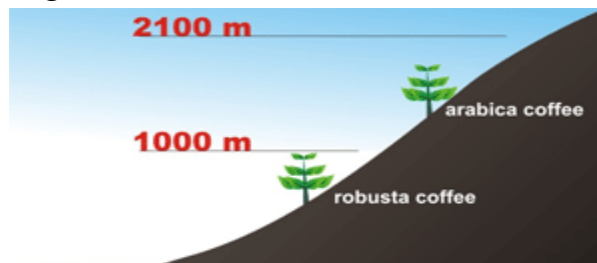
Kandungan lipid dan gula pada kopi arabika lebih banyak daripada kopi robusta. Tepatnya kopi arabika memiliki kandungan lipid lebih banyak 60% daripada robusta, dan kandungan gula kopi arabika juga hampir dua kali lebih banyak daripada robusta.

Kadar gula pada kopi penting karena dekomposisi gula pada saat proses sangrai dapat meningkatkan level dari rasa acidity kopi.

### *2.2.4. Harga*

Ada pepatah: harga menentukan kualitas. Pepatah ini juga berlaku dalam dunia kopi. Dari sisi harga, kopi arabika lebih mahal daripada kopi robusta. Bahkan harga kopi arabika hampir dua kali lebih mahal dari harga kopi robusta. Kopi instan yang umumnya ditemukan di supermarket biasanya adalah kopi robusta.

### 2.2.5. Kondisi Lingkungan Produksi



Gambar 2.1 Ketinggian tanah untuk tanaman kopi.

Kopi robusta lebih mudah untuk ditanam. Kopi robusta dapat ditanam pada ketinggian rendah sekitar 200-800 meter dari permukaan laut dan tidak mudah diserang hama. Kadar kafein yang tinggi pada kopi robusta bermanfaat sebagai pertahanan terhadap hama karena kadar kafein yang tinggi tersebut menjadi racun bagi hama.

Kopi robusta juga menghasilkan lebih banyak biji kopi per hektar, dengan biaya produksi yang juga lebih kecil. Sebaliknya, kopi arabika ditanam di ketinggian 600-2000 meter dari permukaan laut dan memerlukan lebih banyak perhatian khusus serta harus ditanam di daerah yang dingin dengan iklim sub tropik ( $15^{\circ} - 24^{\circ}\text{C}$ ). Kopi arabika juga memerlukan kelembaban, tanah yang subur, dan sinar matahari yang cukup. Oleh karena itu, biji kopi arabika sangat rentan diserang hama dan mudah rusak apabila tidak ditangani dengan baik.

### 2.2.6 Bentuk Biji Kopi



Gambar 2.2 Bentuk biji kopi robusta dan arabika

Biji kopi arabika memiliki bentuk yang sedikit lebih besar dan oval, sedangkan kopi robusta lebih kecil dan bundar. Perbedaan ini terlihat jelas seperti pada gambar di atas.

### 2.2.7. Tinggi Pohon



Gambar 2.3 ketinggian pohon kopi

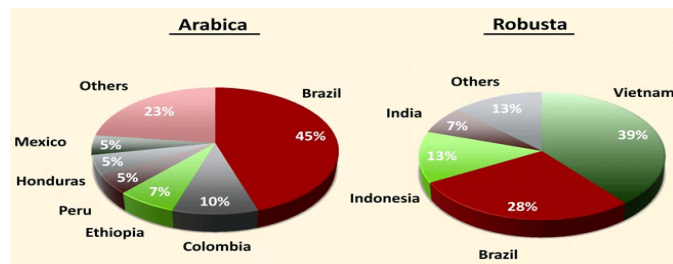
Kopi arabika biasanya tumbuh antara 2.5 – 4.5 meter, sedangkan kopi robusta tumbuh lebih tinggi yaitu hingga 4.5 – 6.5 meter.

### 2.2.8. Kandungan Chlorogenic Acid (CGA)

Chlorogenic acid adalah zat antioksidan dan pencegah serangga. Kopi robusta mempunyai 7% – 10% CGA, sedangkan arabika mempunyai 5.5% – 8% CGA.

### 2.2.9 Budidaya

Hampir 75% produksi kopi dunia adalah kopi arabika. Produksi kopi robusta hanya sekitar 25%.



Gambar 2.4 Prosentase negara penghasil kopi

Kopi robusta dibudidayakan secara eksklusif di belahan bumi bagian timur, terutama di Afrika dan Indonesia. Kopi arabika juga dibudidayakan di Afrika dan Papua New Guinea, tetapi lebih dominan di Amerika Latin. Colombia hanya memproduksi kopi arabika, sedangkan negara-negara lain seperti Brazil dan India memproduksi keduanya baik arabika maupun robusta.

### 2.3. Roasting Kopi

Setelah proses pengolahan biji kopi, penyimpanan, lalu penjualan *green bean*, maka proses yang umum dilakukan selanjutnya adalah *roasting*. Bisa dikatakan, pada tahap inilah biji kopi yang sebelumnya tidak ada-apanya diproses hingga menjadi ada apa-apanya. Segala *notes*, *flavor*, *after taste* dan rasa-rasa ajaib pada kopi dipengaruhi oleh proses ini.

Meski kedengarannya sepele, tapi untuk *me-roasting* kopi agar nantinya terasa nikmat sebenarnya tidak semudah kelihatannya. Banyak *specialty roasters*, atau bahasa awamnya “tukang *nge-roasting* kopi” yang harus mengalami beberapa kali percobaan, gagal, *trial and error* dulu sebelum mendapat pola *roasting* terbaik untuk kopi mereka.

#### 2.3.1. FASE-FASE ROASTING

Ada beberapa tahap atau fase pada proses *roasting*. Seberapa cepat biji kopi melewati masing-masing fase, bisa dikatakan, adalah rekaman *roasting profile*-nya.

##### **Fase 1: Drying (pengerinan)**

Biji kopi mentah biasanya mengandung sekitar 7-11 % air yang terbagi merata di seluruh struktur padat biji kopi. FYI, kopi tidak akan berubah warna menjadi kecoklatan selama kandungan air ini masih ada. Jadi ketika biji kopi yang masih *raw* (mentah) dimasukkan ke dalam mesin *roasting*, tahap pertama yang biasanya terjadi adalah: biji kopi akan mulai menyerap sejumlah panas, kemudian mulai menguapkan kandungan air tadi. Proses pengeringan ini cenderung membutuhkan panas dan energi yang cukup besar.

##### **Fase 2: Yellowing (penguningan)**

Setelah kandungan air yang tersisa “diambil” dari biji kopi, reaksi pencoklatan pun dimulai. Pada tahap ini, biji kopi biasanya masih padat dan masih agak beraroma beras basmati. Namun biji kopi mulai mengembang

dan kulit biji kopi yang tipis (atau yang menyerupai sekam) mulai mengelupas. Pada tahap ini, sekam biji kopi tadi dipisahkan dari biji yang sedang di-*roasting* melalui sistem aliran udara dalam *roaster*, sekam ini kemudian dikumpulkan lalu disingkirkan agar mencegah risiko kebakaran mengingat sekam yang gampang terbakar. Dua tahap pertama (*drying* dan *yellowing*) ini termasuk penting dalam proses *roasting*. Kalau kopi tidak mengalami pengeringan secara tepat maka biji kopi juga tidak akan tersangrai secara merata selama tahap-tahap berikutnya. Dengan kata lain, biji kopi mungkin saja terlihat telah tersangrai dengan baik di bagian luarnya, tapi di dalam, biji kopi sesungguhnya masih belum masak. Karenanya, biji kopi pun akan terasa tidak menyenangkan, dengan kombinasi antara pahit dari sisi luar dan agak asam atau berserat dari dalam.

### **Fase 3: *First Crack* (Pecahan Pertama)**

Ketika biji kopi mulai berubah kecoklatan pada proses *yellowing* tadi, ada semacam percampuran antara gas karbon dioksida dan air yang sama-sama menguap di dalam biji kopi. Ketika tekanan mencapai puncaknya, biji akan mulai terbuka dan saat inilah biji-biji kopi memecah. Jika Anda mendengar suara-suara '*popping*' tanda bijinya memecah, maka itu adalah fase ini. Pada poin ini juga, rasa-rasa yang familiar dari biji kopi mulai berkembang dan merekah.

### **Fase 4: *Roast development***

Setelah pecahan pertama, biji kopi cenderung bertekstur lebih lembut di permukaannya tapi belum secara keseluruhan. Fase *roasting* ini menentukan warna akhir dari biji kopi dan termasuk juga "derajat" *roasting*-nya.

### **Fase 5: *Second crack* (pecahan kedua)**

Pada poin ini, biji kopi mulai memecah kembali kedua kali, tapi dengan suara yang lebih ringan dan lembut. Ketika biji kopi mencapai fase ini, minyak alami kopi biasanya akan keluar ke permukaan biji. Banyak karakter asam (*acidity*) pada kopi telah hilang pada fase ini, rasa-rasa jenis baru sekaligus juga berkembang pada tahap ini.



Gambar 2.5 Fase-fase pada coffee roasting. Diambil dari *“The World Atlas of Coffee”* yang ditulis oleh James Hoffmann.

#### 2.4. Teori Dasar Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah proses yang dinamis yaitu panas dipindahkan secara spontan dari satu bagian ke bagian lain yang lebih dingin. Kecepatan pindah panas tergantung pada perbedaan suhu antara kedua bagian, makin besar perbedaan, makin besar kecepatan pindah panas.

Perbedaan suhu antara sumber panas dan penerima panas merupakan daya tarik dalam pindah panas. Peningkatan perbedaan suhu akan meningkatkan gaya tarik sehingga meningkatkan kecepatan perpindahan panas. Panas yang melalui satu bagian dari bagian lain, pindah menembus beberapa perantara yang pada umumnya memberikan penahanan pada aliran panas. Kedua faktor yaitu perbedaan suhu dan penahanan aliran panas, mempengaruhi kecepatan perpindahan panas. Faktor-faktor tersebut dapat dihubungkan dengan persamaan sebagai berikut:



Kecepatan perpindahan panas = gaya tarik / penahan

Untuk perpindahan panas:

Laju pindah = perbedaan suhu / penahan perantara aliran panas

#### 2.4.1 Pengeringan

Proses pengeringan adalah merupakan salah satu proses perpindahan panas dan perpindahan massa, perpindahan salah satu unsur larutan fluida dari daerah yang konsentrasinya lebih tinggi ke daerah yang konsentrasinya lebih rendah dikatakan perpindahan massa.

Pemahaman terhadap mekanisme perpindahan massa dapat dikatakan analogi terhadap perpindahan panas yakni laju perpindahan panas maupun perpindahan massa tergantung pada potensial maupun pergerakan dan tahanan.

Dalam operasi perpindahan panas tertentu harus diperhatikan panas tertentu yang terjadi bersamaan. Dalam kondisi ini panas berpindah dalam arah yang berlawanan dengan perpindahan massa.

Disamping itu letak perbedaan antara keduanya adalah perpindahan panas yang terjadi dalam arah yang mengurangi gradien suhu yang ada, sedangkan perpindahan massa terjadi dalam arah yang mengurangi gradien konsentrasi yang ada. Dan juga perpindahan panas akan berhenti bila tidak terdapat perbedaan suhu, sedangkan perpindahan massa berhenti bila gradien konsentrasi berkurang sampai menjadi nol.

Dalam fenomena yang ada, maka pengeringan adalah suatu proses perpindahan panas pada uap air disuatu bahan yang memerlukan energi untuk menguapkan kandungan air permukaan bahan yang akan dikeringkan oleh media pengering, biasanya berupa panas dan pengering pada dasarnya merupakan proses pengeluaran kandungan air bahan hingga mencapai kandungan air tertentu agar tidak terjadi kerusakan pada bahan tersebut.

Dalam proses pengeringan adalah terjadinya penguapan air ke udara karena perbedaan kandungan uap air antara udara dengan bahan yang dikeringkan. Dalam hal ini kandungan uap air udara lebih sedikit sehingga terjadi penguapan. Kemampuan udara membawa uap air akan bertambah besar jika kecepatan udara yang mengalir dipercepat. Bila tidak mengalir maka kandungan uap air disekitar bahan yang dikeringkan makin jenuh sehingga pengeringan makin lambat.



Peristiwa yang terjadi selama pengeringan meliputi dua proses, yaitu:

a. Proses perindahan panas

Yaitu proses menguapnya air dalam bahan atau proses perubahan bentuk cair ke gas.

b. Proses perpindahan massa

Yaitu proses perpindahan massa uap air dari permukaan bahan ke udara.

Proses perpindahan panas terjadi karena suhu bahan lebih rendah dari suhu udara yang dialirkan disekelilingnya. Panas yang diberikan ini akan menaikkan suhu bahan yang akan menyebabkan tekanan uap air didalam bahan akan lebih tinggi dari tekanan uap air udara, sehingga terjadi perpindahan uap air dari bahan ke udara yang merupakan perpindahan massa.

Sebelum proses pengeringan berlangsung, tekanan uap air didalam bahan seimbang dengan tekanan udara disekelilingnya. Pada saat pengeringan dimulai, uap panas yang dialirkan melalui permukaan bahan yang akan menaikkan tekanan uap air terutama pada daerah permukaan yang besarnya sejalan dengan kenaikan suhu aliran udara panas tersebut.

Pada saat proses ini terjadi perpindahan massa dari bahan ke udara dalam bentuk uap air berlangsung dan terjadilah pengeringan pada permukaan bahan akan menurun setelah kenaikan suhu terjadi pada seluruh bagian permukaan bahan, maka terjadilah pergerakan air secara difusi dari bahan kepermukaannya dan seterusnya, proses penguapan pada permukaan bahan diulang lagi, akhirnya setelah air bahan berkurang, tekanan uap air bahan akan menurun sampai terjadi keseimbangan dengan udara sekelilingnya.

Makin tinggi suhu pengeringan makin besar pula energi yang dibawa sehingga semakin banyak jumlah massa cairan yang diuapkan dari permukaan bahan yang dikeringkan dan laju pengeringan menjadi cepat, akan tetapi pengeringan yang terlalu cepat dapat merusak bahan, yaitu permukaan bahan terlalu cepat kering, sehingga tidak sebanding dengan kecepatan pergerakan air bahan ke permukaan. Hal ini menyebabkan pengerasan pada permukaan bahan ( case hardening ), sehingga air dalam bahan tidak dapat lagi menguap karena terhalang dan memungkinkan terjadinya bahan terbakar karena bahan yang telah kering masih terus mendapatkan pemanasan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi pengeringan ada dua golongan, yaitu :

- a. Faktor yang berhubungan dengan media pengeringan meliputi:
  - Suhu pengeringan
  - Lama pengeringan
  - Kelembaban udara
  
- b. Faktor yang berhubungan dengan sifat bahan yang akan dikeringkan:
  - Ukuran bahan
  - Kadar air

#### 2.4.2 Cara pengeringan

Secara garis besar pengeringan dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu:

1. Pengeringan secara alami.

Pengeringan secara alami dilakukan dengan cara menjemur dibawah sinar matahari. Pengeringan ini memang bisa efektif oleh karena suhu yang dicapai sekitar 35°C sampai dengan 45°C. Iklim di wilayah tropis merupakan sumber yang potensial, akan tetapi pengeringan dibawah sinar matahari dirasakan kurang efektif lagi dan juga ada bahan tertentu yang begitu baik terkena sinar matahari.

Pengeringan secara alami ini mempunyai beberapa kendala, yaitu:

- Memerlukan waktu yang relatif lama
- Terantug pada cuaca
- Kadar air bahan sukar dikontrol
- Mudah terkontaminasi

2. Pengeringan secara buatan

Pengeringan buatan menggunakan alat mekanis dan memberikan beberapa keuntungan, yaitu :

- Tidak tergantung pada cuaca
- Kondisi pengeringan dapat di kontrol
- Tidak memerlukan tempat yang luas

Pengeringan mekanis ini memerlukan energi untuk memanaskan alat pengering, mengimbangi radiasi panas yang keluar dari alat, memanaskan bahan dan menguapkan air bahan.

## 2.5. Persamaan Dalam Proses Pengeringan

### 2.5.1. Prinsip – Prinsip Perhitungan Panas

Diperoleh hasil dari proses pemanasan adalah, karena adanya dukungan / diawali dengan perubahan panas dari sumbernya kepada produk (bahan pangan) serta medium (berupa udara/uap panas). Proses ini melibatkan perpindahan panas serta perpindahan massa. Didalam proses-proses hasil-hasil pertanian, maka prinsip pemanasan media dipakai uap kering dibawah tekanan 2 hingga 10kg/cm<sup>2</sup> atau lebih, minyak panas, udara ataupun air panas. Hasil media yang dipanaskan, ukuran pada permukaan panas atau efficiency panas dari “pengubah panas” keseimbangan panas dalam hal ini banyaknya energy yang dipakai dengan pemanasan media harus sama dengan energi untuk proses-proses mendapatkan produk sebagaimana diharapkan dan termasuk pula jumlah energi yang dipakai untuk mengantisipasi lingkungan dari bahan dimana diproses.

Didalam pernyataan umum, persamaan keseimbangan panas menurut, (Ir. Suharto, *Teknologi pengawetan Pangan, 1990*) bisa ditulis:

$$Q^{\text{total}} = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$$

Masing – masing bagian dari konsumsi termasuk dalam hal pemanasan pendahuluan dan di tulis sebagai:

$$Q = G \cdot K_j \cdot \Delta t$$

Dimana :

Q = Jumlah Panas, Kcal

G = Berat dari produk (kg)

K<sub>j</sub> = Kalor jenis dari produk Kcal/kg °C

Δt = Beda suhu yang ingin dicapai dalam pemanasan °C

Untuk produk – produk campuran makan panas jenis di dapat dari rumus :

$$C_{\text{camp}} = C_1 \cdot \frac{G \cdot X_1}{100} + C_2 \cdot \frac{G \cdot X_2}{100}$$

Dimana: C<sub>1</sub> dan C<sub>2</sub> adalah kalor jenis dari tiap-tiap komponen dari bahan(yang terjadi campuran tersebut), Kcal/Kg °C

G adalah berat dari campuran, Kg X<sub>1</sub> dan X<sub>2</sub> adalah berat dari tiap-tiap komponen dalam perbandingan berat dari campuran, %

Panas untuk menaikkan suhu air pada bahan dapat ditulis:

$$Q = G \cdot q$$

Dimana:

Q = Jumlah panas, kcal

G = Berat seluruh / campuran dari bahan, Kg

$q$  = Panas latent campuran dan berkisar 79,3 Kcal/ kg untuk es (biasanya diambil = 80 Kcal/ Kg) dan untuk lemak binatang = 32 Kcal/ Kg

Panas yang diperlukan untuk penguapan adalah :

$$Q = W \cdot r$$

Dimana :

$W$  = Bagian yang di harapkan menguap, Kg

$r$  = Panas latent dari penguapan Kcal/ Kg

Jumlah yang bisa menguap tergantung konsentrasi dari produk,

Yaitu :

$$W = G ( 1 - m/n)$$

Dimana :

$G$  = Adalah berat dari produk yang di uapkan, Kg

$m$  = Kandungan padat kering awal, %

$n$  = Kandungan padat kering akhir, %

### 2.5.2. Pindah Panas Dalam Pengeringan

Pada proses pengeringan, laju pengeringan ditentukan oleh laju pada saat energi panas dapat dipindahkan ke air atau ke es untuk melengkapi panas latent. Kepentingan relative tiap mekanisme bervariasi dari satu proses pengeringan ke proses pengeringan lainnya dan sangat sering salah satu cara pindah panas lebih dominan sehingga mengatur seluruh proses.

Sebagai pengering, laju pindah panas menurut, (*Earle, Zein Nasution, Saruan Operasi Dalam Pengolahan Pangan, 1992*) adalah ditunjukkan oleh:

$$q = h_s \cdot A ( t_a - t_s )$$

Dimana :

$q$  = Kecepatan pindah panas, Btu/jam

$h_s$  = Koefisien pindah panas permukaan

$A$  = Luas permukaan aliran panas,  $cm^2$

$t_a$  = Suhu udara

$t_s$  = Suhu permukaan yang dikeringkan

Sedangkan apabila bahan berair dipermukaan yang dipanasi, pindah panas dari silinder ke bahan pangan adalah :

$$q = U A ( t_1 - t_s )$$

Dimana :

$U$  = Koefisien pindah panas keseluruhan

$t_1$  = Suhu bagian dalam

$t_s$  = Suhu permukaan silinder pengering

### 2.5.3. Pengeringan dengan cara konduksi

Dalam pengeringan dengan cara konduksi, panas dipindahkan dari permukaan yang panas ke bahan yang dikeringkan. Panas ini melengkapi panas laten penguapan air, dan pengeringan berlangsung bebas dari udara. Keseimbangan panas tercipta antara perpindahan panas ke dalam bahan pangan dan panas hilang oleh penguapan air serta oleh konveksi dan konduksi ke udara. Persamaan yang perlu untuk memperkirakan laju pengeringan sebagaimana ( Earle, Zein Nasution, Satuan Operasi Dalam Pengolahan Pangan, 1992 ) dengan cara konduksi adalah :

$$q = U A (t_h - t_s)$$

Dimana :

q = Laju pindah panas

U = Koefisien pindah panas keseluruhan

A = Luas permukaan tempat pindah panas pengeringan berlangsung

t<sub>h</sub> = Suhu bahan pemanas

t<sub>s</sub> = Suhu bahan pangan yang dikeringkan

Apabila suhu dipertahankan tetap, laju pengeringan harus juga dipertahankan tetap. Dalam tahap lingkaran pengeringan lebih lanjut, bahan pangan akan meningkat dan juga laju pengeringan nyata akan menurun.

### 2.6. Prinsip – prinsip perpindahan panas

Perpindahan panas ( heat transfer ) merupakan energi yang bergerak atau berjalan dari sistem ke sistem yang lainnya, karena adanya perbedaan temperatur antara kedua sistem tersebut.

Panas yang dipindahkan tidak dapat diukur atau diamati secara langsung akan tetapi pengaruhnya dapat diukur. Arah dari perpindahan panas tersebut adalah suatu media yang mempunyai temperatur lebih tinggi ke arah yang bertemperatur lebih rendah.

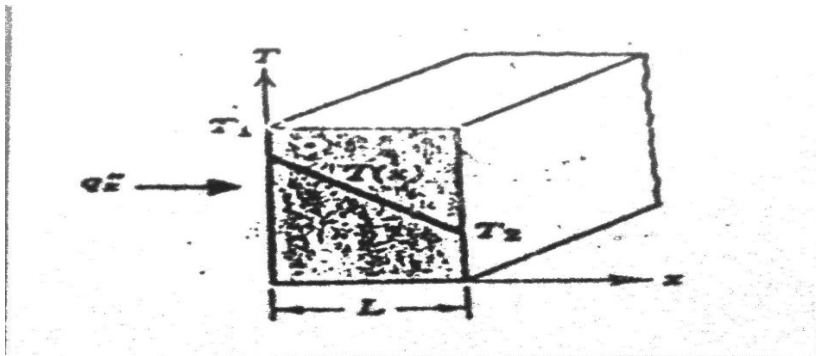
Berdasarkan cara perpindahannya, maka perpindahan panas dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu :

1. Perpindahan panas secara konduksi
2. Perpindahan panas secara konveksi
3. Perpindahan panas secara radiasi

Syarat terjadinya perpindahan energi ini adalah adanya beda temperatur antara bagian yang satu dan bagian yang lain.

### 2.6.1. Perpindahan panas Konduksi

Berpindahnya panas secara konduksi ( hantaran) adalah bila pada suatu benda terdapat gradien temperatur. Pada saat itu akan terjadi perpindahan energi dari bagian yang bersuhu tinggi ke bagian yang bersuhu rendah dan laju perpindahan panas tersebut berbanding lurus dengan gradien bersuhu nomal. Persamaan aliran panas konduksi dikenal sebagai hukum *Fourier*. Dinding datar suhu dimensi merupakan salah satu contoh hukum *Fourier*.



Gambar 2.6. Perpindahan panas konduksi

Sumber : *Frank P. Incropera, Devitt, Fundamentals of Heat And Mass Transfer (1981, hal 4).*

Laju perpindahan panas konduksi, dinyatakan dengan hukum *Fourier* dirumuskan menurut *Frank P. Incropera, Devitt, Fundamentals of Heat And Mass Transfer (1981, hal 4).*

$$Q_x = -K \cdot A \frac{dt}{dx} \text{ W/m}^2$$

Dimana :

$Q_x$  = Laju perpindahan panas arah X perunit area ( W/m<sup>2</sup>)

K = Konduksi Thermal (W/m<sup>2</sup>)

A = Luas penampang (m<sup>2</sup>)

dt/dx = Gradien temperatur

Tanda minus menunjukkan konsentrasi dari kenyataan bahwa panas dalam arah penurunan temperatur, persamaan diatas dapat ditulis menjadi :

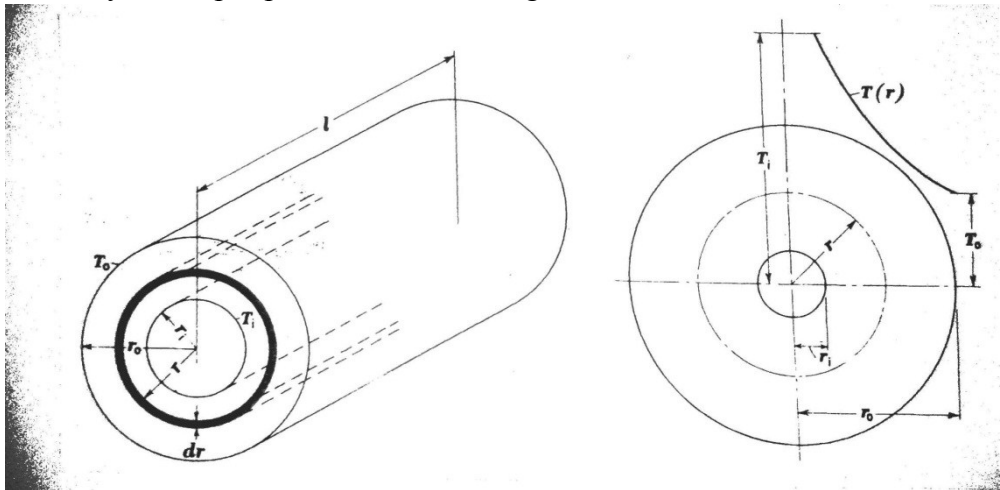
$$Q_x = -K \cdot A \frac{(t_1 - t_2)t}{1} \text{ W/m}^2$$

Dimana :

$t_1$  = temperatur pada  $X = 0$

$t_2$  = temperatur pada  $X = 1$

Daya hantar thermal dan laju perpindahan kalor konduksi ditentukan oleh struktur molekul bahan. Semakin rapat dan tersusun rapi molekulnya umumnya terdapat pada logam, maka akan memindahkan energi yang semakin cepat dibandingkan dengan susunan yang acak atau jarang yang umumnya terdapat pada bahan bukan logam.



Gambar 2.7. Perpindahan Panas Konduksi pada Tabung  
Sumber : Frank kreith, Prinsip-prinsip Perpindahan Panas ( Hal. 28 dan 30 )

Untuk mengetahui perpindahan panas pada sistem yang berbentuk silindris seperti pada tabung dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

Aliran panas radial dengan cara konduksi melalui silinder berlubang atau melalui tabung. Jika silinder ini homogen dan cukup panjang sehingga pengaruh pada ujungnya dapat diabaikan dan suhu permukaan dalamnya konstan ( $t_1$ ) sedangkan suhu luarnya dipertahankan seagam ( $t_0$ ) maka laju perpindahan panas konduksinya berdasarkan (*Frang keuit, Prinsip-prinsip Perpindahan Panas*) adalah:

$$Q_k = -K \cdot A \frac{dt}{dx} \text{ W/m}^2$$

Untuk tabung luasnya adalah:

$$A = 2\pi \cdot r \cdot l \quad \text{m}^2$$



Sehingga :

$$Q_k = -K \cdot 2\pi \cdot r \cdot l \cdot dt/dx \quad (\text{W/m}^2)$$

Pemisahan variabel-variabel dan integral antara  $t_0$  pada  $r_0$  dari  $t_1$  pada  $r_1$  menghasilkan:

$$t_0 - t_1 = Q_k \cdot \frac{1}{2\pi \cdot K \cdot l} \cdot \ln \frac{r_0}{r_1}$$

Jadi :

$$Q_k = 2\pi \cdot k \cdot l \cdot \frac{(t_1 - t_2)}{\ln \frac{r_0}{r_1}}$$

Dimana :

$dt/dx$  = gradien suhu pada arah radial

$r$  = jari-jari (m)

$t$  = Temperatur ( $^{\circ}\text{K}$ )

$k$  = Konduksi Thermal ( $\text{W/m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{K}$ )

### 2.6.2. Perpindahan panas secara konveksi

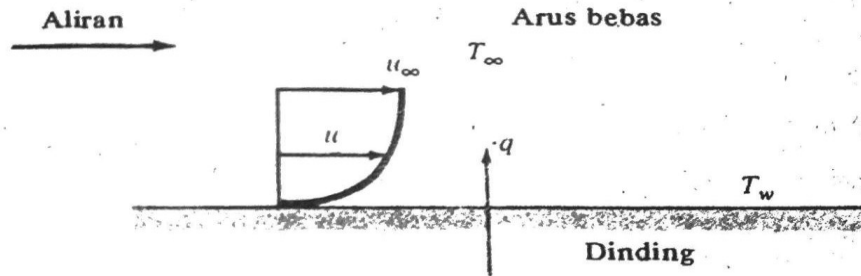
Konveksi adalah perpindahan panas pada fluida (zat cair) yang disertai dengan perpindahan massa fluida, oleh karena itu maka proses perpindahan panas ini dipengaruhi oleh sifat-sifat thermal dari zat tersebut, misalnya: density, kekentalan, panas jenis, kecepatan aliran, dan lain sebagainya. Ada dua mekanisme perpindahan panas secara konveksi ini, yaitu:

a. Konveksi secara alamiah ( Natural Convection )

Bila gesekan molekul-molekul melayang-melayang disebabkan oleh perbedaan temperatur didalam fluida itu sendiri.

b. Konveksi Paksa ( Foced convection )

Bila gesekan molekul-molekul tersebut sebagai akibat adanya kekuatan mekanis dari luar, misalnya karena dihembuskan oleh pompa atau fan.



Gambar 2.8. Perpindahan panas Konveksi

Sumber : J.P. Holman, perpindahan kalor (1993, Hal 11)

Keterangan gambar:

$U \rightarrow U_{\infty}$  = Kecepatan Aliran

$T_{\infty}$  = Temperatur Aliran

$q$  = Kalor yang ditransfer

$T_w$  = Suhu plat

Perpindahan panas konveksi ini digambarkan bahwa dalam proses perpindahan panas kecepatan aliran ( Velocity distribution ) didalam grafik adalah nol pada permukaan plat ( heated surface) dan nilainya akan berangsur naik apabila semakin menjauh dari permukaan dinding. Sebaiknya dengan Temperatur aliran (Temoerature distribution), nilainya akan semakin besar apabila dekat dengan permukaan dinding dan semakin kecil pada daerah yang menjauhi permukaan dinding. Yang mana proses tersebut disebabkan oleh aksi kental viskositas dan hambatan.

Perbedaan temperatur antara permukaan benda dan aliran fluida menimbulkan suatu daerah yang mempunyai variasi temperatur dar  $t_s$  pada  $y=0$  ke  $t_0$  pada aliran paling luar, daerah ini disebut daerah batas thermal. Laju persamaan perpindahan panas konveksi dapat dirumuskan:

$$Q = h ( t_s - t_0 )$$

Dimana :

$Q$  = Laju perpindahan panas konveksi (W)

$h$  = Koefisien perpindahan panas konveksi (  $W/m^2 \text{ } ^\circ K$  )

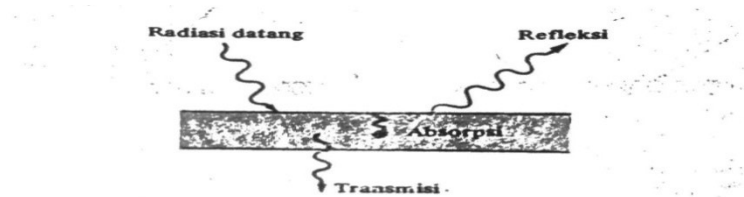
$t_s$  = Temperatur permukaan (  $^\circ K$  )

$t_0$  = Temperatur fluida (  $^\circ K$  )

### 2.6.3 Perpindahan panas secara radiasi

Radiasi thermal adalah energi yang diemisikan oleh benda yang berada pada temperatur tinggi hingga energi dari medan radiasi ditransformasikan oleh gelombang elektromagnetik. Lain halnya dengan konduksi dan konveksi bahwa perpindahan panas radiasi tidak memerlukan media dan lebih biasa didalam ruang hampa.

Perpindahan panas radiasi diumoamakan selubung hitam (Surroundings) yang memancarkan kalor terhadap permukaan benda (surface) dimana kalor tersebut akan dipantulkan kembali secara radiasi ( $q_{rad}$ ) maupun konveksi ( $q_{conv}$ ) dan selebihnya akan terserap oleh benda tersebut.



Gambar 8-2 Bagan menunjukkan pengaruh radiasi datang.

### Gambar 2.9. Perpindahan Panas Radiasi

Sumber: J. P. HOLMAN, Perpindahan Kalor (1993, Hal 343 )

Jumlah energi yang meninggalkan suatu permukaan sebagai energi panas radiasi tergantung pada suhu mutlak dan sifa permukaan tersebut. Untuk radiasi sempurna pada benda hitam ( black bodies ) memancarkan radiasi lebih besar hal tersebut dirumuskan oleh:

$$Q_r = \Theta \cdot \sum \cdot A \cdot T_s^\circ \text{ ( W/m}^2\text{°K )}$$

Dimana :

$Q_r$  : Laju perpindahan panas radiasi (W/m<sup>2</sup>°K )

$\Theta$  : Kontanta Stefan Boltzman (  $5,67 \cdot 10^{-8} m^2$  ) ( W/m<sup>2</sup>° K )

A : Luas penampang perpindahan panas radiasi ( m<sup>2</sup> )

$T_s$  : Temperatur absolut dari permukaan ( °K )

Benda – benda nyata ( real bodies ) memancarjkan radiasi yang lebih rendah dan dikorelasikan dengan rumus :

$$Q_r = \Theta \cdot \sum \cdot A \cdot T_s^\circ$$

Dimana :

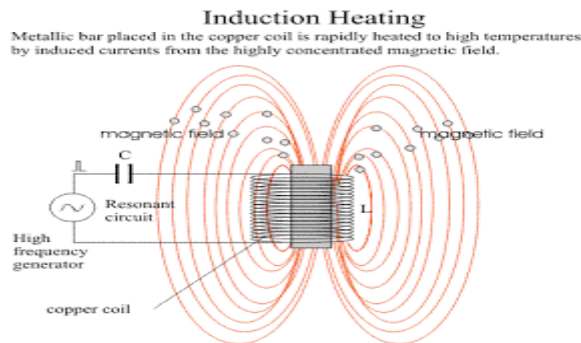
$\sum$  = Emisitas permukaan yang kasar antara nol dan satu ( satu untuk benda hitam )

## 2.7. Pemanas Induksi

Induction Heating adalah system pemanas dengan menggunakan induksi medan magnet yang dihasilkan dari frekuensi tinggi/high frequency. Hal ini dapat terjadi dikarenakan pada objek timbul arus Eddy atau arus pusat yang arahnya melingkar melingkupi medan magnet yang menembus objek.

### 2.7.1. Cara Kerja Induction Heater

Tegangan bolak-balik yang memiliki frekuensi tinggi yang dibangkitkan dari power modul. Frekuensi ini akan memicu sebuah komponen elektronika untuk membangkitkan daya AC yang memiliki frekuensi tinggi. Daya AC frekuensi tinggi ini yang dikirimkan ke kumparan untuk menimbulkan fluks, besar kecilnya fluks yang di bangkitkan bergantung pada luas bidang kumparan induksi yang digunakan. Hal ini dikarenakan induction heater memanfaatkan rugi-rugi yang terjadi pada kumparan penginduksi. Arus Eddy berperan dominan dalam proses induction heating. Panas yang dihasilkan pada material sangat bergantung kepada besarnya arus eddy yang diinduksikan oleh lilitan penginduksi. Ketika lilitan dialiri oleh arus bolak-balik, maka akan timbul medan magnet di sekitar kawat penghantar. Medan magnet tersebut besarnya berubah-ubah sesuai dengan arus yang mengalir pada lilitan tersebut.



Gambar 2.10. Ilustrasi Jalur Medan magnet

Menurut Lozinski (1969), hal yang dapat menentukan banyaknya arus Eddy pada logam adalah :

1. Besar medan magnet yang menginduksi Logam
2. Bahan logam yang digunakan untuk menghasilkan panas . Semakin kecil hambatan jenis logam, semakin baik untuk dijadikan obyek panas logam.
3. Luas permukaan logam, makin luas permukaan logam maka makin banyak arus Eddy pada permukaan logam tersebut.
4. Besar frekuensi, makin besar frekuensi maka makin banyak medan magnet yang dihasilkan.

### *2.7.2. Karakteristik Induction Heater*

Karakteristik Induction Heater adalah sebagai berikut:

Secara teknis:

1. Mampu melepaskan panas dalam waktu yang relatif singkat. Hal ini dikarenakan kerapatan energinya tinggi.
2. Dengan induksi dimungkinkan untuk mencapai suhu yang sangat tinggi.
3. Pemanasan dapat dilakukan pada lokasi tertentu.
4. Sistem dapat dibuat bekerja secara otomatis.

Pemakaian energi:

1. Pemanas induksi secara umum memiliki efisiensi energi yang tinggi, akan tetapi hal ini bergantung pada karakteristik material yang dipanaskan.
2. Rugi-rugi pemanasan dapat ditekan seminimal mungkin.

### *2.7.3. Keuntungan Pemakaian Induction Heater*

1. Panas dihasilkan secara langsung didalam dinding barrel
2. Panas dapat diterapkan seragam di seluruh barrel
3. Operasi elemen dingin, sehingga tidak memiliki batas waktu
4. Waktu start up cepat
5. Hemat energi