

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Pengertian Bahan Pengemasan Kayu (*Wood Packing Material*)

Bahan pengemasan kayu (*wood packaging material*) yang terdapat pada Gambar 2.1 yaitu merupakan bahan kayu atau produk yang berasal dari kayu pinus yang digunakan untuk menunjang, melindungi atau pembungkus komoditi termasuk penyangga kayu (*dunnage*).



★ Gambar 2.1 Bahan Kayu Material Pallet

Menurut (Aditia, 2010) kemasan kayu yang dipakai untuk memudahkan penyusunan barang di dalam sebuah *container* dan dapat juga diangkat menggunakan alat angkut seperti *forklift*. Ada beberapa jenis dari kemasan kayu, sebagai berikut :

1. *Pallet*

*Pallet* dapat di bedakan menjadi 2 jenis : jenis *pallet* sesuai dengan bentuknya dan jenis *pallet* sesuai dengan cara *handling*.

- a. Sesuai dengan bentuknya, *pallet* dibagi menjadi :

- *Single Face* : jenis ini hanya menggunakan satu permukaan saja untuk muatannya

- *Double Face* : jenis ini menggunakan dua permukaan secara berganti pada muatan.
- b. Sesuai dengan *handlingnya* yang menggunakan *forklift*, *pallet* dibagi menjadi dua, yaitu :
- *Two Ways* : pada jenis ini alat angkut atau *forklift* dapat mengangkat *pallet* dari dua sisi
  - *Four Ways* : pada jenis ini *forklift* dapat mengangkat *pallet* dari empat sisi

## 2. *Crate*

Bentuk kemasan kayu ini mirip dengan *box* (kotak kayu) tetapi tidak tertutup dan cenderung berongga. Kemasan seperti ini untuk mempermudah pengemasan barang yang berukuran besar dan sangat hemat bahan baku.

## 3. *Box* (Kotak kayu)

Kemasan kayu dengan bentuk seperti *box* berfungsi untuk barang yang tingkat kerusakannya sangat besar. Kemasan ini sangatlah aman tetapi membutuhkan bahan baku yang sangat banyak.

## 4. *Dunnage*

*Dunnage* adalah kayu pengganjal untuk mempermudah dalam penyusunan agar tidak mudah terguncang ketika dalam perjalanan. Walaupun *dunnage* tidak disebut dengan kemasan kayu tetapi termasuk *wood packing material* yang mendapat perlakuan sesuai dengan standar ISPM#15.

## 2.2 **Kayu Jati Belanda (Pinus)**

Kayu jati belanda merupakan jenis kayu yang banyak digunakan oleh perusahaan eksport-import barang dari luar negeri seperti perusahaan otomotif,

perusahaan elektronik, dll (Kurniawan). Biasanya barang tersebut di packing dengan peti/pallet kayu. Kayu palet/jati belanda yang biasa disebut sesungguhnya adalah berasal dari kayu pinus eropa. Kayu pinus eropa memiliki lebih dari 20 jenis dengan nama *species* yang berbeda. Namun pada prinsipnya ada 2 (dua) jenis kayu pinus yang sering digunakan dan secara umum dikenal memiliki kualitas yang baik, yaitu Pinus Radiata dan Pinus Merkusii.

Kayu pinus berwarna coklat kekuning-kuningan muda dengan berat jenis rata-rata 0,55 dan termasuk kelas kuat III serta kelas awet. Pada umumnya batang kayu pinus berbentuk bulat dan lurus dengan warna kulit berwarna coklat tua, kasar, berakar dalam dan menyerpih dalam kepingan panjang. Menurut (Iswanto, 2008) kayu pinus memiliki densitas kayu bias mencapai 565-750 kg/m<sup>3</sup> pada MC 12%, serat kayu bercorak lurus dan sama rata antara kayu gubal dan teras.

### **2.3 Teori Dasar Pengeringan**

Pengeringan merupakan proses perpindahan panas melalui uap air dari suatu bahan secara simultan yang memerlukan energi untuk menguapkan kandungan air dari bahan yang dikeringkan oleh media pengering, yang biasanya berupa panas. Dan pengering pada dasarnya (ARDIANTO, 2019) merupakan proses pengeluaran kandungan air bahan hingga mencapai kandungan atau kadar air tertentu agar tidak terjadi perusakan pada bahan tersebut dan tahan dalam kurun waktu tertentu.

Peristiwa yang terjadi selama pengeringan meliputi 2 (dua) proses yaitu :

1. Proses perpindahan panas

Yaitu proses panas dari media pengering ke media yang dikeringkan baik secara konduksi, konveksi ataupun radiasi.

2. Proses perpindahan massa

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

### 2.3.1. Faktor – Faktor Yang Mempengaruhi Kecepatan Pengeringan

Terdapat beberapa faktor utama yang mempengaruhi pengeringan adalah panas, RH (kelembaban relatif) dan sirkulasi udara. Diantaranya sebagai berikut :

- Panas

Merupakan energi yang diperlukan oleh molekul air untuk melepaskan diri dari ikatan antara molekul pada air bebas dalam rongga sel atau melepaskan diri dari ikatan dengan tangan hidroksil pada air terikat. Pada suhu tinggi, udara cenderung menghisap kelembaban atau uap air di bandingkan dengan udara bersuhu rendah. Panas thermal udara sangat berpengaruh terhadap nilai kelembababan udara. Tetapi nilai kelembababan udara tidak akan berubah walaupun dipanaskan atau didinginkan.

- Kelembaban Relatif (*air humidity*)

Menentukan kapasitas pengeringan udara. Udara yang lebih kering (kelembaban relatif rendah) memiliki kapasitas pengeringan yang lebih tinggi dan dapat menahan uap air lebih banyak. Kapasitas pengeringan dipengaruhi oleh temperatur karena udara yang panas memiliki kapasitas pengeringan yang lebih tinggi.

- Sirkulasi udara (*air velocity*)

Berfungsi sebagai pengantar panas ke kayu lapis yang digunakan untuk menguapkan air dari dalam kayu lapis dan memindahkan uap air dari permukaan kayu lapis ke udara sekitar. Sirkulasi udara yang baik akan mempercepat perambatan gelombang panas pada udara sehingga mempercepat pengeringan.

#### **2.4 Pengertian Pengeringan Kayu**

Pengeringan kayu merupakan sebuah proses pengeluaran air dari dalam kayu hingga mencapai kadar air yang seimbang dengan lingkungan dimana kayu akan digunakan tanpa menurunkan kualitas kayu tersebut.

Menurut (Basri, 2012) terdapat beberapa keuntungan utama mengeringkan kayu sebelum dijadikan produk, antara lain :

1. Membebaskan kayu dari serangan jamur.
2. Menstabilkan dimensi kayu, sehingga kayu tidak akan lagi mengalami perubahan bentuk, retak maupun pecah.
3. Menjadikan warna kayu lebih cerah/terang.
4. Rendaman produk berkualitas baik meningkat.
5. Memudahkan kayu untuk dicat dan dipelitur (*finishing*).

Tiga syarat utama yang harus dipenuhi dalam mengeringkan kayu, yaitu:

1. Cukup energi panas yang digunakan untuk memanaskan/menguapkan air dari dalam kayu, terutama pada kayu yang kadar airnya sudah mencapai 30 %. Untuk mengeringkan kayu tersebut hingga ke kadar air di bawah 15 % memerlukan penambahan panas.
2. Cukup kelembaban Kelembaban ini disesuaikan dengan tingkat kadar air kayu.

3. Sirkulasi udara Sirkulasi udara yang baik dapat menghantarkan panas secara merata mengenai seluruh permukaan kayu dari setiap tumpukan. Makin cepat peredaran udara semakin cepat kayu mengering dan semakin merata tingkat kekeringannya. Sirkulasi udara yang normal untuk pengeringan adalah 2 m/detik.

## **2.5 Pengertian Oven**

Oven merupakan seperangkat mesin pengering sebagai pengganti sinar matahari dalam pengeringan suatu produk. Sistem kerja mesin oven pengering ini adalah mengeringkan produk pada suhu yang dikehendaki (suhu bisa diatur secara konstant). Sistem pengering mesin ini (Suparman dan Sukiyadi , 2015) dengan menggunakan aliran udara panas dengan kecepatan tinggi, dengan bantuan exhaust udara jenuh terhisap dan mengalir keluar.

## **2.6 Jenis - Jenis Oven Kayu**

Di dalam alat pengeringan kayu terdapat beberapa jenis jenis oven kayu yang biasa digunakan, yaitu (Murni, 2007) :

1. Sistem Kondensasi

Prinsip sistim ini adalah udara dipanaskan oleh elemen pemanas kemudian dimasukan ke dalam ruang oven, setelah udara lembab oleh uap air dari kayu dihisap masuk kedalam mesin pendingin udara. Air kondensasi dibuang keluar sedangkan udara keringnya disalurkan masuk kembali ke ruang oven melalui elemen pemanas.

## 2. Sistem Vakum

Sistem pengering vakum menggunakan dasar hisapan dan penekanan udara untuk mengevaporasikan kandungan air dalam kayu, sekali proses hanya memerlukan 2 – 3 hari, hanya kapasitasnya terbatas karena ukuran tangki maksimum 20 m<sup>3</sup> dan biaya investasinya mahal.

## 3. Sistem Konvensional

Sistem ini menggunakan elemen pemanas dalam ruang oven yang menyebabkan udara dalam ruang terinduksi panas, kemudian udara panas disirkulasikan oleh kipas sirkulasi dan diarahkan dengan menggunakan plafon. Bila udara panas ini sudah jenuh dengan uap air yang dievaporasi dari kayu, maka udara itu akan dibuang melalui cerobong pembuang damper dan pada saat yang sama dimasukkan udara bersih kedalam ruang kembali.

### 2.7 Pengertian *Heater Element*

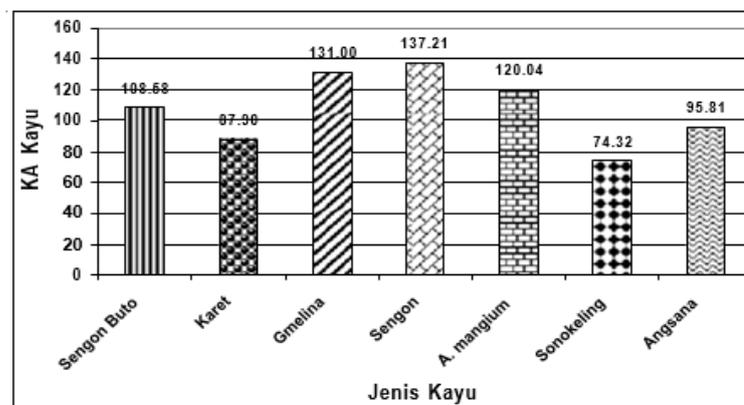
Menurut (ARDIANTO, 2019) *electrical heater element* (elemen panas listrik) merupakan panas yang dihasilkan oleh elemen pemanas listrik ini berasal dari kawat atau pita yang bertahan listrik tinggi (*Resistance Wire*) biasanya bahan yang dipakai adalah niklin yang dialiri arus listrik pada kedua ujungnya dan juga dikelilingi dengan isolator listrik yang mampu meneruskan panas dengan baik sehingga sangat aman saat digunakan.

### 2.8 Kadar Air Dalam Kayu

Kadar air merupakan air yang berada di dalam sebuah kayu yang dinyatakan dalam sebuah persen mengenai berat kering tanur. Air yang berada di sebuah kayu memiliki dua bentuk yaitu air bebas yang berada pada rongga sel dan air yang tercampur (*Imbibisi*) yang ada pada dinding sel. Kondisi ini merupakan dinding

sel jenuh pada air sedangkan rongga sel yang kosong di beri nama kondisi air yang ada pada titik jenuh (Iswanto, 2008).

Kayu yang kadar air titik jenuh serat besarnya tidak sama dengan jenis kayu lain, penyebabnya adalah dari perbedaan struktur dan komponen dari kimia. Pada dasarnya kadar air titik jenuh serat mempunyai nilai sekitar 25-30%. Adapun kadar air kayu segar dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Kadar Air Kayu Segar

Kayu pinus memiliki densitas kayu bias mencapai 565-750 kg/m<sup>3</sup> pada MC 12%, serat kayu bercorak lurus dan sama rata antara kayu gubal dan teras. Lama pengeringan sekitar 12 - 15 hari untuk mendapatkan level MC 12%.

Berdasarkan keterangan di atas diperlukan perhitungan untuk mengetahui berapa persentasi kandungan air di dalam kayu, dalam perhitungan ini berlaku rumus seperti pada persamaan 2.1

$$KA (\%) = \frac{Bb - BKT}{BKT} \times 100\% \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

KA = Kadar Air Kayu (%)

Bb = Berat basah kayu (berat mula mula dalam gram)

BKT = Berat kering tanur kayu (berat konstan setelah di oven gram)

Kadar air bahan dapat ditentukan berdasarkan bobot basah dan bobot kering. Kedua cara ini memungkinkan untuk menghitung kadar air dalam proses pengeringan. Adapun persentase kadar air bobot basah dan kering dirumuskan sebagai berikut :

Kadar air bobot basah kayu dalam perhitungan ini berlaku rumus seperti pada persamaan 2.2

$$MC_{WB} = \frac{WA}{WB} \times 100\% \dots\dots\dots (2.2)$$

WA = ma

WB = ma + mk

Keterangan :

MC<sub>WB</sub> = Kadar air bobot basah (%)

WA = Massa awal kayu (gr)

WB = Total massa kayu sebelum dan setelah dikeringkan (gr)

ma = Massa awal kayu (gr)

mk = Massa setelah dikeringkan (gr)

Kadar air bobot kering kayu dalam perhitungan ini berlaku rumus seperti pada persamaan 2.3

$$MC_{db} = \frac{100 \times MC_{WB}}{100 - MC_{WB}} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

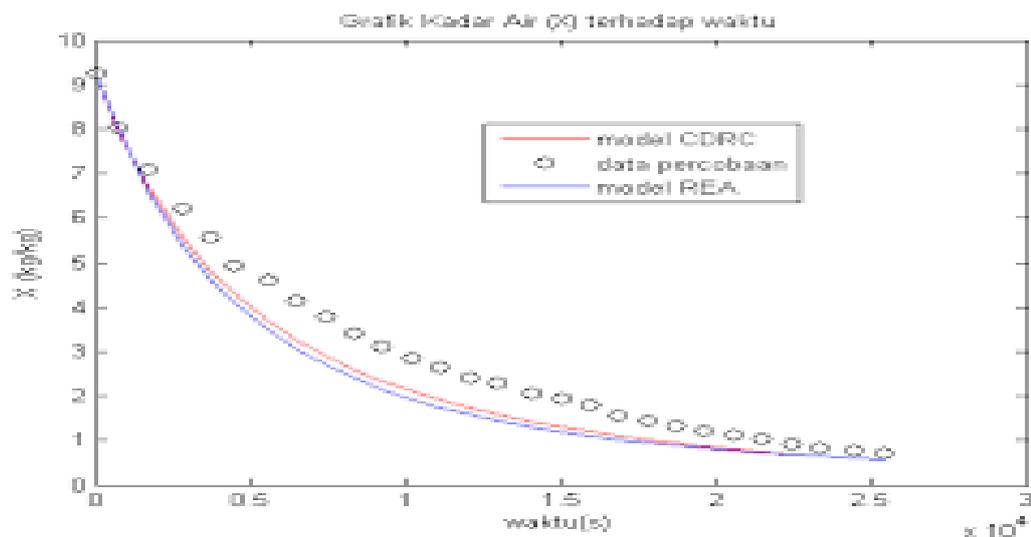
MC<sub>db</sub> = Kadar air bobot kering (%)

MC<sub>WB</sub> = Kadar air bobot basah (%)

## 2.9 Laju Pengeringan Dalam Kayu

Menurut (Mc. Cabe, 2002) dalam proses pengeringan mempunyai 2 periode utama yakni, periode pengeringan dengan laju tetap dan periode pengeringan dengan laju menurun. Dari kedua periode tersebut yang membatasinya adalah kadar air kritis (critical moisture content). Pada periode pengeringan laju tetap ini cukup banyak mengandung air pada bahan, pada saat proses pengeringan berlangsung permukaan bahan menguap dan lajunya dapat disamakan dengan laju penguapan pada permukaan air bebas. Dari laju penguapan tersebut besarnya di lihat dari keadaan sekeliling bahan. Sedangkan pengaruh dari bahannya tersebut cukup kecil.

Saat proses pengeringan laju pengeringan akan terus menurun dengan kadar air. Kandungan air yang terikat akan semakin berkurang. Perubahan dari laju pengeringan tetap menjadi laju pengeringan menurun untuk bahan yang berbeda akan terjadi pada kadar air yang berbeda juga dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Grafik Hubungan Air Dan Waktu

Keterangan :

AW = Periode laju pengeringan konstan

AU = Periode Pemanasan

DE = Periode laju pengeringan ke dua

ED = Periode laju pengeringan pertama

Berikut ini rumus menghitung laju pengering pada persamaan 2.4.

$$M = \frac{M_0 - M_t}{\Delta t} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

M = Laju Pengeringan (kg/s)

M<sub>0</sub> = Massa produk pertama yang dikeringkan (kg)

M<sub>t</sub> = Massa terakhir produk yang dikeringkan (kg)

Δt = Waktu selang pengeringan (d)

### 2.10 Efisiensi Pengeringan Kayu

Efisiensi pengeringan memiliki arti yang sangat penting untuk efektifitas kerja dari alat pengering yang akan dibuat maupun digunakan. Efisiensi pengeringan diindikasikan sebagai perbandingan kalor yang akan dipakai untuk proses penguapan kandungan air dari peti kemas kayu terhadap energi element heater yang tiba didalam ruang oven kayu. Dalam perhitungan ini berlaku rumus seperti pada persamaan 2.5.

$$\eta = \frac{(M_k \times C_{pb} \times (T_1 - T_k)) + (M_w \times h_{fg})}{Q_s} \times 100\% \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

$\eta$  = Efisiensi Pengeringan (%)

$M_k$  = Massa Kayu

$C_{pb}$  = Kalor Massa Jenis Kayu Pinus = 4,872KJ/kg

$T_1$  = Suhu Ruangan Pemanas

$T_k$  = Suhu Kayu

$M_w$  = Massa air yang diuapkan

$H_{fg}$  = Panas laten uap air = 2.26 KJ/kg

$Q_s$  = Kalor total.  $Q_s = W \times t$

**2.11 Pengertian *Internasional Standart for Phytosanitary Measures* (ISPM)**

International Standard for Phytosanitary Measures (ISPM) adalah standar internasional untuk tindakan Phytosanitary yang disusun oleh International Plant Protection Convention (IPPC) sebagai bagian dari Food and Agriculture Organization (FAO-PBB) berupa program global mengenai kebijakan dan bantuan teknis untuk tanaman karantina (Aditia, 2010). Program ini tersedia untuk anggota FAO dan pihak lain yang berkepentingan. Standar, pedoman dan rekomendasi ini untuk mencapai harmonisasi internasional mengenai tindakan phytosanitary, dengan tujuan untuk memfasilitasi perdagangan dan menghindari penggunaan langkah-langkah yang tidak dapat dijustifikasi sebagai penghalang untuk berdagang.

**2.11.1 Jenis Jenis *Internasional Standart for Phytosanitary Measures* (ISPM)**

Adapun jenis – jenis ISPM dapat di liat pada Tabel 2.1 sebagai berikut :

Tabel 2.1 Jenis Jenis Internasional Standart for Phytosanitary Measures (ISPM)

| No | Jenis Jenis ISPM | Keterangan  |
|----|------------------|---|
| 1  | ISPM#1           | Mengenai prinsip-prinsip phytosanitary untuk melindungi tanaman dan penerapan tindakan phytosanitary dalam perdagangan internasional. |
| 2  | ISPM#2           | Mengenai kerangka untuk analisis risiko hama.   |
| 3  | ISPM#3           | Pedoman untuk ekspor, pengapalan, impor, dan pelepasan agen pengendalian biologis dan organisme menguntungkan lainnya                 |
| 4  | ISPM#4           | Persyaratan pembentukan daerah bebas hama.  |
| 5  | ISPM#5           | Mengatur daftar istilah-istilah tentang phytosanitary.  |
| 6  | ISPM#6           | Panduan untuk surveillance / pengawasan.  |
| 7  | ISPM#7           | Panduan mengenai sistem sertifikasi ekspor.   |
| 8  | ISPM#8           | Penentuan status hama disebuah daerah.  |
| 9  | ISPM#9           | Pedoman pemberantasan hama.   |
| 10 | ISPM#10          | Persyaratan untuk pendirian tempat-tempat yang bebas hama produksi dan daerah bebas hama.   |
| 11 | ISPM#11          | Analisis resiko hama karantina, termasuk analisis resiko lingkungan dan organisme pengubah kehidupan.                                 |
| 12 | ISPM#12          | Panduan untuk sertifikasi phytosanitary.  |
| 13 | ISPM#13          | Pedoman pemberitahuan non-permohonan dan tindakan darurat.  |

|    |         |  |
|----|---------|--|
| 14 | ISPM#14 | Pengunaan langkah-langkah terpadu dalam pendekatan sistem untuk manajemen resiko hama. |
| 15 | ISPM#15 | Panduan untuk mengatur material kemasan kayu dalam perdagangan internasional.          |
| 16 | ISPM#16 | Pengaturan hama non-karantina : konsep dan aplikasi.                                   |
| 17 | ISPM#17 | Melaporkan hama atau Organisme Pengganggu Tumbuhan.                                    |
| 18 | ISPM#18 | Pedoman menggunakan radiasi / penyinaran sebagai ukuran phytosanitary.                 |
| 19 | ISPM#19 | Pedoman dalam daftar hama yang diatur.   |
| 20 | ISPM#20 | Panduan untuk phytosanitary yang berkaitan dengan sistem impor.                        |
| 21 | ISPM#21 | Analisis resiko hama untuk hama non-karantina yang diatur.                             |
| 22 | ISPM#22 | Persyaratan untuk pembentukan daerah-daerah secara merata yang rendah hama.            |
| 23 | ISPM#23 | Panduan untuk inspeksi.  |
| 24 | ISPM#24 | Pedoman untuk penentuan dan pengakuan kesetaraan tindakan phytosanitary.               |
| 25 | ISPM#25 | Pedoman pengiriman barang kemasan dalam transit.                                       |
| 26 | ISPM#26 | Pembentukan daerah bebas hama lalat buah (Tephritidae).                                |

|    |         |  |
|----|---------|--|
| 27 | ISPM#27 | Diagnosa protokol untuk mengatur hama.                             |
| 28 | ISPM#28 | Perlakuan phytosanitary untuk hama yang diatur.                    |
| 29 | ISPM#29 | Pengakuan daerah bebas hama dan daerah dengan tingkat hama rendah. |
| 30 | ISPM#30 | Pembentukan daerah dengan tingkat hama rendah untuk lalat buah.    |
| 31 | ISPM#31 | Metodologi untuk sampling kiriman.                                 |
| 32 | ISPM#32 | Kategorisasi komoditas menurut resiko hama.                        |

Dari beberapa jenis ISPM tersebut, semua pengerjaannya dilakukan oleh National Plant Protection Organization (NPPO) atau Badan Karantina Pertanian. Tetapi untuk ISPM#15 mulai tahun 2005 pengerjaannya diserahkan kepada pihak swasta dengan tetap berpedoman dan dalam pengawasan Badan Karantina Pertanian.

### **2.11.2 Pengertian ISPM#15**

Pengertian ISPM#15 yaitu standar yang berisi panduan untuk mengatur material kemasan kayu dalam perdagangan internasional. Standar pengaturan *phytosanitary* tersebut bertujuan untuk mengurangi resiko pemasukan Organisme Pengganggu Tumbuhan (OPT) yang berasosiasi dengan materi kayu sebagai pembungkus termasuk kayu penyangga (*dunnage*) yang terbuat dari bahan kayu (coniferous) atau bagian tumbuhan lainnya (*raw wood*).

Standar perlakuan panas pada ISPM#15 ialah suhu minimum yang digunakan untuk pengemasan kayu menggunakan 56°C selama 30 menit untuk kayu yang memiliki kadar air 20%. Perlakuan panas ini dilakukan agar

membebaskan kemasan kayu dari hama ataupun organisme pengganggu tumbuhan.

## 2.12 Teori Dasar Perpindahan Panas

Panas adalah salah satu bentuk energi yang dapat di pindahkan dari satu tempat ke tempat lain, tetapi tidak dapat diciptakan atau di musnahkan sama sekali. Dalam suatu proses, panas dapat mengakibatkan terjadinya kenaikan suatu suhu zat atau perubahan tekanan. Sehingga saat kita ingin merancang suatu alat kita harus mengetahui suhu maksimal yang ingin dicapai dan kenaikan tekanan yang akan diterima alat tersebut. Ada tiga bentuk mekanisme perpindahan panas yang diketahui, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi.

### 2.12.1 Perpindahan Kalor Secara Konduksi

Perpindahan kalor secara konduksi adalah proses perpindahan kalor dimana kalor mengalir dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah dalam suatu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung sehingga terjadi pertukaran energi dan momentum.

Laju perpindahan panas yang terjadi pada perpindahan panas konduksi adalah berbanding dengan gradien suhu normal sesuai dengan persamaan berikut.

Rumus umum perhitungan perpindahan kalor secara konduksi dapat dihitung menggunakan persamaan 2.6.

$$Q = -kA \frac{\Delta T}{x} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

Q = Laju Perpindahan Panas (kj / det,W)

k = Konduktifitas (W/m.°C)

- A = luasan perpindahan panas arah normal Q (m<sup>2</sup>)
- T = Temperatur (°C)
- X = Ketebalan bahan (m)

### 2.12.2 Perpindahan Kalor Sacara Konveksi

Konveksi adalah perpindahan panas karena adanya gerakan/aliran/pencampuran dari bagian panas ke bagian yang dingin. Contohnya adalah kehilangan panas dari radiator mobil, pendinginan dari secangkir kopi dll. Menurut cara menggerakkan alirannya, perpindahan panas konveksi diklasifikasikan menjadi dua, yakni konveksi bebas (*free convection*) dan konveksi paksa (*forced convection*). Bila gerakan fluida disebabkan karena adanya perbedaan kerapatan karena perbedaan suhu, maka perpindahan panasnya disebut sebagai konveksi bebas (*free / natural convection*). Bila gerakan fluida disebabkan oleh gaya pemaksa / eksitasi dari luar, misalkan dengan pompa atau kipas yang menggerakkan fluida sehingga fluida mengalir di atas permukaan, maka perpindahan panasnya disebut sebagai konveksi paksa (*forced convection*). Rumus umum perhitungan perpindahan panas secara konveksi dapat dihitung menggunakan persamaan 2.7.

$$Q = h \cdot A \cdot (T_{\infty} - T_w) \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan :

- Q = laju perpindahan panas (Watt)
- H = koefisien perpindahan panas (W/m<sup>2</sup> °C)
- A = luasan perpindahan panas arah normal Q (m<sup>2</sup>)
- Tw = temperature permukaan benda (°C)
- T<sub>∞</sub> =temperatur fluida (°C)

### 2.12.3 Perpindahan Panas Secara Radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah proses di mana panas mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah bila benda-benda itu terpisah di dalam ruang, bahkan jika terdapat ruang hampa di antara benda - benda tersebut. Energi radiasi dikeluarkan oleh benda karena temperatur, yang dipindahkan melalui ruang antara, dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Bila energi radiasi menimpa suatu bahan, maka sebagian radiasi dipantulkan, sebagian diserap dan sebagian diteruskan. Rumus umum perhitungan perpindahan panas secara konveksi dapat dihitung menggunakan persamaan 2.8.

$$Q_{\text{pancaran}} = \sigma AT^4 \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

- Q = laju perpindahan panas ( W )
- $\sigma$  = konstanta boltzman (  $5,669 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$  )
- A = luas permukaan benda (  $\text{m}^2$  )
- T = suhu absolut benda (  $^{\circ}\text{C}$  )