

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

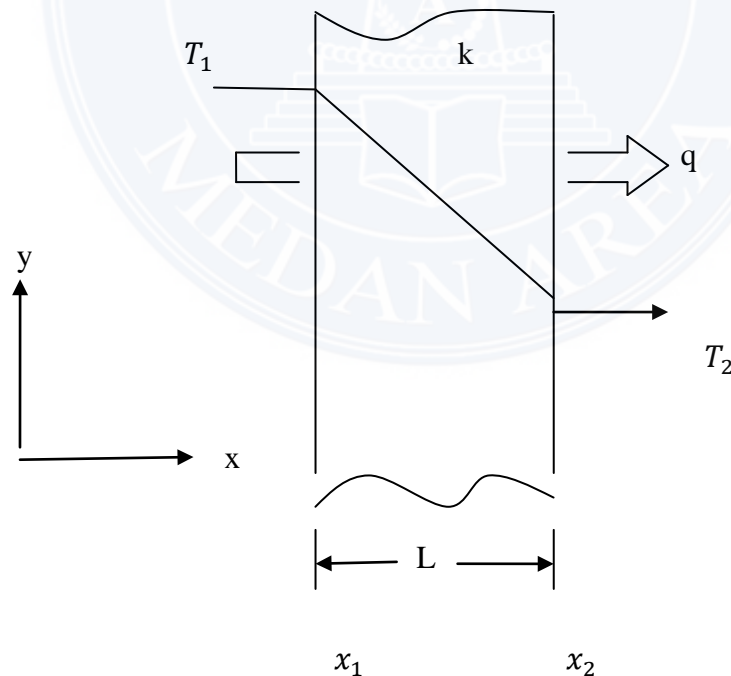
#### **2.1. Perpindahan Kalor**

Perpindahan kalor (*heat transfer*) ialah ilmu untuk meramalkan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu di antara benda atau material. Pada termodinamika telah kita ketahui bahwa energi yang pindah itu dinamakan kalor (*heat*). Ilmu perpindahan kalor tidak hanya mencoba menjelaskan bagaimana energi kalor itu berpindah dari suatu benda ke benda lain, tetapi juga dapat meramalkan laju perpindahan yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu. Kenyataan di sini yang menjadi sasaran analisis ialah masalah laju perpindahan kalor, inilah yang membedakan ilmu perpindahan kalor dari ilmu termodinamika.

Termodinamika membahas sistem dalam keseimbangan, ilmu ini dapat digunakan untuk meramal energi yang diperlukan untuk mengubah sistem dari suatu keadaan seimbang ke keadaan seimbang lain, tetapi tidak dapat meramalkan kecepatan perpindahan itu. Hal ini disebabkan karena pada waktu proses perpindahan itu berlangsung, sistem tidak berada dalam keadaan seimbang. Ilmu perpindahan kalor melengkapi hukum pertama dan kedua termodinamika, yaitu dengan memberikan beberapa kaidah percobaan yang dapat dimanfaatkan untuk menentukan perpindahan energi. Sebagaimana juga dalam ilmu termodinamika, kaidah – kaidah percobaan yang digunakan dalam masalah perpindahan kalor cukup sederhana, dan dapat dengan mudah dikembangkan sehingga mencakup berbagai ragam situasi praktis (Holman, 1997)

### 2.1.1. Perpindahan Kalor Konduksi

Perpindahan kalor konduksi adalah perpindahan energi sebagai kalor melalui sebuah proses medium stasioner, seperti tembaga, air, atau udara. Di dalam benda-benda padat maka perpindahan tenaga timbul karena atom-atom pada temperatur yang lebih tinggi bergetar dengan lebih bergairah, sehingga atom-atom tersebut dapat memindahkan tenaga kepada atom-atom yang lebih lesu yang berada di dekatnya dengan kerja mikroskopik, yakni kalor. Di dalam logam-logam, elektron-elektron bebas juga membuat kontribusi kepada proses hantaran kalor. Di dalam sebuah cairan atau gas, molekul-molekul juga mudah bergerak, dan tenaga juga dihantar oleh tumbukan-tumbukan molekul. (Reynold dan Perkins, 1983)



**Gambar 2.1** Distribusi suhu untuk konduksi stedy melalui dinding datar.

Perpindahan kalor konduksi satu dimensi melalui bidang datar diatur oleh hukum Fourier, yang dalam bentuk satu dimensi dapat dinyatakan sebagai,

$$Q = -kA \left[ \frac{dT}{dx} \right] \quad (2.1)$$

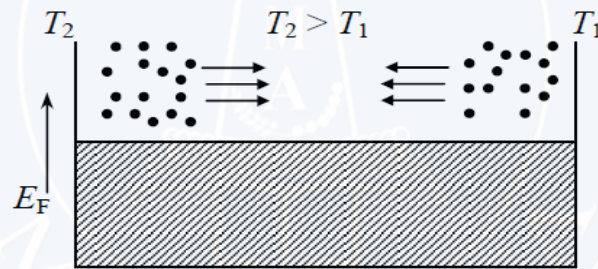
Dimana  $Q$  = Laju aliran kalor (w)

$K$  = Konduktivitas termal material (w/m °C)

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

$T$  = Suhu (°C)

$X$  = Tebal bahan (m)



**Gambar 2.2** Dasar fisis untuk konduktivitas termal. Elektron-elektron berenergi pada sebelah kiri membawa sejumlah energi kekanan.

Persamaan (1) merupakan persamaan dasar tentang konduktivitas termal. Berdasarkan rumusan itu maka dapatlah dilaksanakan pengukuran dalam percobaan untuk menentukan konduktivitas termal berbagai bahan. Untuk gas-gas pada suhu agak rendah, pengolahan analitis teori kinetik gas dapat dipergunakan untuk meramalkan secara teliti nilai-nilai yang diamati dalam percobaan. Mekanisme konduksi termal pada gas cukup sederhana.

Energi kinetik molekul ditunjukkan oleh suhunya, jadi pada bagian bersuhu tinggi molekul-molekul mempunyai kecepatan yang lebih tinggi daripada yang berada pada bagian bersuhu rendah. Molekul-molekul itu selalu berada dalam gerakan rambang atau acak, saling bertumbukkan satu sama lain, di mana terjadi pertukaran energi dan momentum. Jika suatu molekul bergerak dari daerah bersuhu tinggi ke daerah bersuhu rendah, maka molekul itu mengangkut energi kinetik ke bagian sistem yang suhunya lebih rendah, dan di sini menyerahkan energinya pada waktu bertumbukkan dengan molekul yang energinya lebih rendah. Nilai konduktivitas termal itu menunjukkan berapa cepat kalor mengalir dalam bahan tertentu. Energi termal dihantarkan dalam zat padat menurut salah satu dari dua modus, melalui getaran kisi (*lattice vibration*) atau dengan angkutan melalui elektron bebas. Dalam konduktor listrik yang baik, dimana terdapat elektron bebas yang bergerak di dalam struktur kisi bahan-bahan, maka elektron, di samping dapat mengangkut muatan listrik, dapat pula membawa energi termal dari daerah bersuhu tinggi ke daerah bersuhu rendah, sebagaimana halnya dalam gas. Energi dapat pula berpindah sebagai energi getaran dalam struktur kisi bahan. Namun, pada umumnya perpindahan energi melalui getaran ini tidaklah sebanyak dengan cara angkutan elektron. Karena itu penghantar listrik yang baik selalu merupakan penghantar kalor yang baik pula, seperti halnya tembaga, aluminium dan perak. Sebaliknya isolator listrik yang baik merupakan isolator kalor. (Holman, 1997)

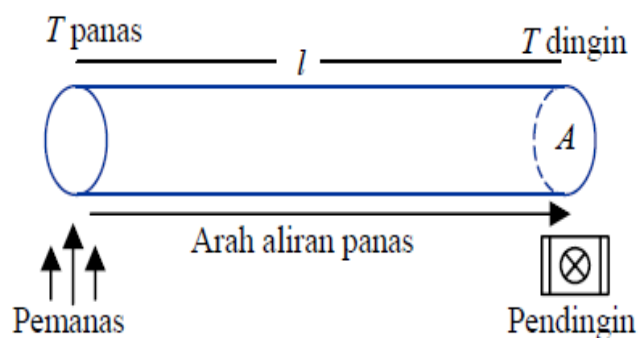
Nilai konduktivitas thermal suatu bahan menunjukkan laju perpindahan panas yang mengalir dalam suatu bahan. Konduktivitas thermal kebanyakan bahan merupakan fungsi suhu, dan bertambah sedikit kalau suhu naik, akan tetapi

variasinya kecil dan sering kali diabaikan. Jika nilai konduktivitas thermal suatu bahan makin besar, maka makin besar juga panas yang mengalir melalui benda tersebut.

Karena itu, bahan yang harga  $k$ -nya besar adalah penghantar panas yang baik, sedangkan bila  $k$ -nya kecil bahan itu kurang menghantar atau merupakan isolator.

### 2.1.2 Konduktivitas Termal

Konduktivitas termal dapat didefinisikan sebagai ukuran kemampuan bahan untuk menghantarkan panas. Konduktivitas termal adalah sifat bahan dan menunjukkan jumlah panas yang mengalir melintasi satu satuan luas jika gradien suhunya satu. Bahan yang mempunyai konduktivitas termal yang tinggi dinamakan konduktor, sedangkan bahan yang konduktivitas termalnya rendah disebut isolator. Konduktivitas termal berubah dengan suhu, tetapi dalam banyak soal perancangan perubahannya cukup kecil untuk diabaikan. Nilai angka konduktivitas termal menunjukkan seberapa cepat kalor mengalir dalam bahan tertentu. Makin cepat molekul bergerak, makin cepat pula ia mengangkut energi. Jadi konduktivitas termal bergantung pada suhu. Pada pengukuran konduktivitas termal mekanisme perpindahannya dengan cara konduksi.



**Gambar 2.3** Laju aliran kalor

Persamaan dasar untuk menghitung konduktivitas termal material yang diatur oleh hukum Fourier yaitu :

$$K = -\frac{Q}{A} \times \frac{dX}{dT} \quad (2.2)$$

dan

$$Q = V.I \quad (2.3)$$

Keterangan:

K: Konduktivitas termal (W/m K)

Q : Laju aliran panas atau daya (Watt )

A: Luas penampang lintang sampel ( $m^2$ )

T : Suhu (K)

X : Tebal bahan (m)

V : volt (v)

I : Ampere (I)

### 2.1.3 Perpindahan Kalor Konveksi

Bila sebuah fluida lewat di atas sebuah permukaan padat panas, maka energi dipindahkan kepada fluida dari dinding oleh hantaran panas. Energi ini kemudian diangkut atau dikonveksikan (*convected*), ke hilir oleh fluida, dan didifusikan melalui fluida oleh hantaran di dalam fluida tersebut. Jenis proses perpindahan energi ini dinamakan perpindahan panas konveksi (*convection heat transfer*). (Stoecker dan Jones, 1982)

Jika proses aliran fluida tersebut diinduksikan oleh sebuah pompa atau sistem pengedar (*circulating system*) yang lain, maka digunakan istilah konveksi yang

dipaksakan (*forced convection*). Bertentangan dengan itu, jika aliran fluida timbul karena gaya apung fluida yang disebabkan oleh pemanasan, maka proses tersebut dinamakan konveksi bebas (*free*) atau konveksi alami (*natural*). Persamaan dasar untuk menghitung laju perpindahan panas konveksi yaitu:

$$Q = h A \Delta T \quad (2.4)$$

Dimana  $q$  = Laju perpindahan panas ( $W/m^2$ )

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

$A$  = Luas permukaan ( $m^2$ )

$\Delta T$  = Perbedaan temperatur ( $\text{°C}$ )

Banyak parameter yang mempengaruhi perpindahan kalor konveksi di dalam sebuah geometri khusus. Parameter-parameter ini termasuk luas permukaan ( $A$ ), konduktivitas termal fluida ( $K$ ), kecepatan fluida ( $V$ ), kerapatan, viskositas, panas jenis ( $C_p$ ), dan faktor lain yang berhubungan dengan cara-cara pemanasan (temperatur dinding seragam atau temperatur dinding berubah-ubah). Fluks kalor dari permukaan padat akan bergantung juga pada temperatur permukaan ( $T_s$ ) dan temperatur fluida ( $T_f$ ), tetapi biasanya dianggap bahwa ( $\Delta T = T_s - T_f$ ) yang penting. Akan tetapi, jika sifat-sifat fluida berubah dengan nyata pada daerah pengkonveksi (*convection region*), maka temperatur-temperatur absolute  $T_s$  dan  $T_f$  dapat juga merupakan faktor-faktor penting didalam korelasi.

Jelaslah bahwa dengan sedemikian banyak variable-variabel penting, maka korelasi spesifik akan sulit dipakai, dan sebagai konsekuensinya maka korelasi-korelasi biasanya disajikan dalam pengelompokan-pengelompokan tak

berdimensi (*dimensionless groupings*) yang mengizinkan representasi-representasi yang jauh lebih sederhana. Juga faktor-faktor dengan pengaruh yang kurang penting, seperti variasi sifat fluida dan distribusi temperatur dinding, seringkali diabaikan untuk menyederhanakan korelasi-korelasi tersebut. (Stoecker dan Jones, 1982)

#### 2.1.4 Perpindahan Kalor Radiasi

Perpindahan kalor radiasi adalah perpindahan energi oleh penjaran (rambatan) foton yang tak terorganisir. Setiap benda yang terus memancarkan foton-foton secara serampangan di dalam arah dan waktu, dan tenaga netto yang dipindahkan oleh foton-foton ini diperhitungkan sebagai kalor. Bila foton-foton ini berada di dalam jangkauan panjang gelombang 0,38 sampai 0,76  $\mu\text{m}$ , maka foton-foton tersebut mempengaruhi mata kita sebagai sinar cahaya yang tampak (dapat dilihat). Bertentangan dengan itu, maka setiap tenaga foton yang terorganisir, seperti transmisi radio, dapat diidentifikasi secara mikroskopik dan tak dipandang sebagai kalor. (Reynold dan Perkins, 1983)

Pembahasan termodinamika menunjukkan bahwa radiasi (penyinar) ideal, atau benda hitam (*blackbody*), memancarkan energi dengan laju yang sebanding dengan pangkat empat suhu absolut benda itu dan berbanding langsung dengan luas permukaan

$$q_{\text{pancaran}} = \sigma \cdot A \cdot T^4 \quad ( 2.5 )$$



Di mana  $\sigma$  adalah konstanta Stefan-Boltzmann dengan nilai  $5,669 \times 10^{-8}$  W/m.K<sup>4</sup> Persamaan (5) disebut hukum Stefan-Boltzmann tentang radiasi termal, dan berlaku hanya untuk radiasi benda hitam. ( Reynold dan perkins , 1983 )

## 2.2 Logam Besi

Pada umumnya besi yang ada dipasaran adalah baja yang merupakan suatu campuran dari besi (Fe) dan karbon (C), dimana unsur karbon (C) menjadi dasar. Disamping unsur Fe Dan C, baja juga mengandung unsur campuran lain seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si), dan mangan (Mn) yang jumlahnya dibatasi. Baja karbon adalah baja yang mengandung karbon antara 0,1% - 1,7%. Berdasarkan tingkatan banyaknya kadar karbon, baja digolongkan menjadi tiga tingkatan :

- a. Baja karbon rendah, Yaitu baja yang mengandung karbon kurang dari 0,30%. Baja karbon rendah dalam perdagangan dibuat dalam bentuk pelat, profil, batangan untuk keperluan tempa, pekerjaan mesin, dan lain-lain.
- b. Baja karbon sedang, baja ini mengandung karbon antara 0,30% – 0,60 %. Didalam perdagangan biasanya dipakai sebagai alat-alat perkakas, baut, poros engkol, roda gigi, ragum, pegas dan lain-lain.
- c. Baja karbon tinggi, baja karbon tinggi ialah baja yang mengandung karbon antara 0,6% – 1,5%. Baja ini biasanya digunakan untuk keperluan alat-alat konstruksi yang berhubungan dengan panas yang tinggi atau dalam penggunaannya akan menerima atau mengalami panas, misalnya landasan, palu, gergaji, pahat, kikir, bor, bantalan peluru, dan sebagainya (Amanto,1999). Beberapa jenis baja karbon tinggi:

- Baja konstruksi umum, terdiri atas baja karbon dan baja kualitas tinggi tanpa paduan yang dipertimbangkan atas tegangan tarik yang tinggi. Baja jenis ini banyak digunakan dalam konstruksi bangunan, gedung, jalan, poros mesin dan roda gigi.
- Baja otomat, terdiri dari baja paduan tinggi, baja ini mengandung 0,07-0,65% Karbon, 0,18-0,3% Belerang, 0,6-1,5% Mangan, 0,05-0,4% Silisium.
- Baja case hardening, baja jenis ini diperoleh dengan cara menaruh baja karbon rendah dalam bahan yang kaya akan kandungan karbon dan dipanaskan bersama dalam oven sampai suhu kritis atas, baja *case hardening* tetap liat pada bagian inti namun keras pada bagian permukaan.

Berdasarkan hasil pemaduan antara besi dengan karbon, karbon berada di dalam besi dapat berbentuk larutan atau berkombinasi membentuk karbida besi ( $Fe_3C$ ). Diagram fasa menggambarkan diagram fasa besi karbon untuk seluruh rentang paduan besi dengan karbon yang mencakup baja dan besi cor. Kadar karbon pada diagram tersebut bervariasi dari nol sampai 2%. Seperti pada tabel atau diagram fasa besi karbon.

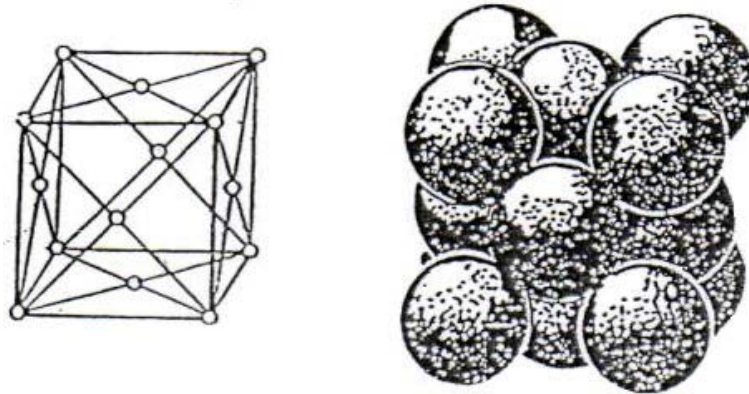
Karbon adalah unsur penstabil *austenit*. Larutan maksimum dari karbon pada *austenit* adalah sekitar 1,7% (E) pada 1140°C. Sedangkan larutan karbon pada *ferrit* naik dari 0% pada 910°C menjadi 0,025% pada 723°C. Pada pendinginan lanjut, larutan karbon pada *ferrit* menurun menjadi 0,08% pada temperatur kamar. Pada saat presentase karbon mencapai 0,8% pada temperatur 723°C, titik ini disebut titik *eutectoid*. Baja untuk kadar karbon 0,8% disebut

baja *eutectoid* dan sedangkan baja dengan kadar karbon lebih dari 0,8% disebut baja *hypereutectoid*.

Baja *eutectoid* didinginkan dari temperatur austenitisasinya, maka pada saat titik-titik sepanjang garis tersebut akan bertransformasi menjadi satu campuran *eutectoid* yang disebut *pearlit*. Jika baja *hypoeutectoid* didinginkan dari temperatur austenitisasi, pada saat garis GS, *ferrit* akan terbentuk disepanjang batas butir *austenit*. Jika baja *hypereutectoid* didinginkan dari temperature austenitisasinya akan terjadi pemisahan *cementit* pada batas butir *austenit* disepanjang garis SE.

Sifat *allotropik* dari besi memungkinkan adanya variasi struktur mikro pada berbagai jenis baja. Pengertian *allotropik* adalah adanya transformasi dari satu bentuk susunan atom (sel satuan) ke bentuk susunan atom yang lain. Besi sangat stabil pada temperatur di bawah 910° C dan disebut sebagai besi alfa (Fe  $\alpha$ ). Pada temperatur antara 910° C dan 1392° C, besi dikenal dengan besi gamma (Fe  $\gamma$ ) dan pada temperatur di atas 1392° C disebut sebagai besi delta (Fe  $\delta$ ).

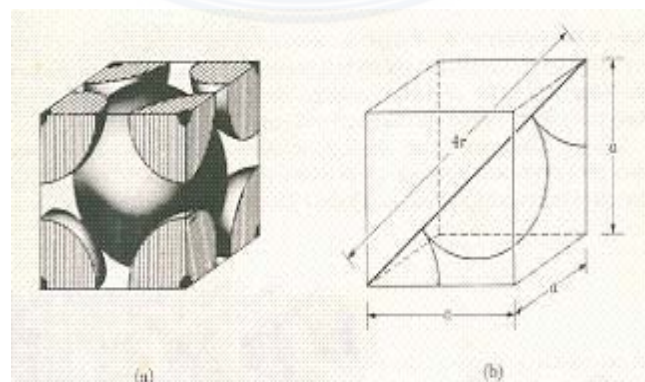
Fenomena *allotropik* dari besi memberikan kemungkinan untuk memperbaiki sifat-sifatnya sesuai dengan kebutuhan dan mencakup dua bentuk susunan atom. Pada temperatur di bawah 910°C susunan atomnya berbentuk *Body Centered Cubic (BCC)*. Mulai suhu 910° C akan terjadi perubahan susunan atom. Di atas suhu tersebut susunan atomnya berubah menjadi bentuk *Face Centered Cubic (FCC)*. Jika proses pemanasan dilanjutkan, bentuk susunan atomnya pada temperatur 1392 °C berubah kembali menjadi bentuk *BCC* lagi dan dikenal dengan sebutan besi delta.



**Gambar 2.4** Struktur *Face Center Cubic* (Rochim Suratman 1994:92)

Kristal kubik terdiri dari tiga bentuk kisi, *kubik sederhana*, *kubik pemusatan ruang* dan *kubik pemusatan sisi*. Suatu kisi adalah Pola yang berulang dalam tiga dimensi yang terbentuk dalam kristal. Sebagian besar logam memiliki kisi kubik pemusatan ruang (kpr) atau kisi kubik pemusatan sisi (kps).

Besi mempunyai struktur kubik. Pada suhu ruang sel satuan besi mempunyai atom pada tiap titik sudut kubus dan satu atom pada Pusat kubus (Gambar 2.5) Besi merupakan logam yang paling umum dengan struktur kubik pemusatan ruang, tetapi bukan satu-satunya. Krom, tungsten dan unsur lain juga memiliki susunan kubik pemusatan ruang.



**Gambar 2.5** Struktur Kubik pemusatan ruang

Tiap atom besi dalam struktur kubik pemusatan ruang (kpr) ini dikelilingi oleh delapan atom tetangga; hal ini berlaku untuk setiap atom, baik yang terletak pada titik sudut maupun atom dipusat sel satuan. Oleh karena itu setiap atom mempunyai lingkungan geometrik yang sama (Gambar 2.5). Sel satuan logam kpr mempunyai dua atom. Satu atom dipusat kubus dan delapan seperdelapan atom pada delapan titik sudutnya (Gambar 2.6).

Kita dapat menerapkan konsep *tumpukan atom* (F.T) pada logam kpr, dengan menggunakan model bola keras maka fraksi volum dari sel satuan yang ditempati oleh bola-bola tersebut.

### **2.3 Kuningan(CuZn)**

Pengrajin logam kuno di daerah yang sekarang dikenal sebagai Syria atau Turki timur telah mengetahui bagaimana cara untuk mencairkan tembaga dengan timah untuk membuat logam yang disebut perunggu pada awal 3000 sebelum masehi. Kadang-kadang mereka juga membuat kuningan tanpa mereka sadari. Pengrajin logam kuno di sekitar Laut Mediterania mampu membedakan bijih timah seng dari yang mengandung seng dan mulai mencampurkan dengan tembaga untuk membuat koin kuningan atau benda lainnya. Sebagian besar seng itu diturunkan dengan memanaskan mineral yang dikenal sebagai kalamina, yang berisi berbagai senyawa seng. Dimulai pada sekitar 300 A.D, industri kuningan berkembang di tempat yang sekarang di kenal sebagai Jerman dan Belanda.

Meskipun pengrajin logam kuno hanya bisa mengenali perbedaan antara bijih seng dan bijih timah, mereka masih tidak mengerti logam seng. Sampai pada tahun 1746 seorang ilmuwan Jerman bernama Andreas Sigismund Marggraf



(1709-1782) memperkenalkan logam seng yang diidentifikasi dan ditentukan sifat-sifatnya. Proses untuk menggabungkan logam tembaga dan seng untuk membuat kuningan telah dipatenkan di Inggris pada tahun 1781. Penggunaan kuningan sebagai casing logam untuk senjata api pertama kali diperkenalkan pada tahun 1852. Berbagai macam logam dicoba, Hasilnya ternyata kuningan yang paling berhasil. Properti ini menyebabkan perkembangan pesat dalam industri senjata api otomatis.

Logam kuningan merupakan salah satu logam non ferrous paduan dari tembaga dan seng. Jenis dan aplikasinya bergantung pada kadar tembaga(Cu) dan kadar seng(Zn) yang dikandungnya. Warna kuningan bervariasi dari coklat kemerahan gelap hingga ke cahaya kuning keperakan tergantung ada jumlah kadar seng. Seng lebih banyak mempengaruhi warna kuningan tersebut menjadi lebih kuning.

Tembaga atau Cu adalah salah satu unsure kimia dengan nomor 29 yang biasa ditemukan di alam dalam bentuk senyawa. Tembaga termasuk logam berat non ferrous karena tidak memiliki kandungan Fe. Tembaga merupakan konduktor listrik dan panas yang baik keuletan serta ketahanan korosi yang baik. Tembaga biasanya diergunakan dalam bentuk paduan, karena dapat dengan mudah membentuk paduan dengan logam lain diantaranya dengan logam Pb dan logam Sn [Van vliet,et.all,1984].

Seng atau Zn adalah salah satu unsur kimia dengan nomor atom 1 lebih banyak dari Cu yaitu 30. Produksi seng merupakan salah satu yang terbesar setelah besi karena kemudahannya dicetak dengan permukaan yang halus dan

daya tahan korosinya yang baik. Seng juga biasa di gunakan sebagai anoda korban untuk besi pada proses galvanisasi.

Dengan memadukan tembaga dan seng yaitu kuningannya, maka akan didapat sifat mekanis yang lebih baik dari tembaga dan seng. Kuningan memiliki sifat mekanis yang baik, kuningan lebih kuat dan lebih keras daripada tembaga, tetapi tidak sekuat atau sekeras seperti baja. Kuningan sangat mudah untuk di bentuk ke dalam berbagai bentuk. Kuningan merupakan konduktor panas yang baik, dan umumnya tahan terhadap korosi dari air garam. Kuningan juga tahan terhadap percikan api, sehingga sering digunakan di lingkungan eksplosif. Selain sifat mekaniknya, kuningan juga memiliki tampilan yang menyerupai emas, sehingga seringkali diaplikasikan untuk dekorasi.

Salah satu jenis logam kuningan adalah kuningan alfa dengan kadar seng tidak lebih dari 32%. Salah satunya adalah kuningan jenis cartridge brass yaitu kuningan dengan kadar Cu 70% dan kadar Zn 30%. Ada diagram di atas, perubahan fasa kuningan alfa ditandai dengan garis putus-putus, dimana pada suhu tinggi fasa alfa aliquid kan berubah menjadi fasa liquid.

Cartridge brass dengan sifat mampu tarik yang baik, dapat diaplikasikan dalam berbagai macam industri. Salah satunya sebagai bahan baku industri hankam (selongsong peluru), industri transportasi, serta industri migas.

## **2.4 Aluminium**

Aluminium telah menjadi salah satu logam industri yang paling luas penggunaannya di dunia. Aluminium banyak digunakan di dalam semua sektor utama industri seperti angkutan, konstruksi, listrik, peti kemas dan kemasan, alat

rumah tangga serta peralatan mekanis. Adapun sifat-sifat aluminium antara lain sebagai berikut :

a. Kuat

Aluminium memiliki sifat yang kuat terutama bila dipadu dengan logam lain. Digunakan untuk pembuatan komponen yang memerlukan kekuatan tinggi seperti : pesawat terbang, kapal laut, bejana tekan, kendaraan dan lain-lain.

b. Tahan terhadap korosi

Sifatnya durabel sehingga baik dipakai untuk lingkungan yang dipengaruhi oleh unsur-unsur seperti air, udara, suhu dan unsur-unsur kimia lainnya, baik di ruang angkasa atau bahkan sampai ke dasar laut.

c. Mudah dibentuk

Proses pengerjaan aluminium mudah dibentuk karena dapat disambung dengan logam/material lainnya dengan pengelasan, *brazing*, *solder*, *adhesive bonding*, sambungan mekanis, atau dengan teknik penyambungan lainnya.

d. Ringan

Memiliki bobot sekitar 1/3 dari bobot besi dan baja, atau tembaga dan banyak digunakan dalam industri transportasi seperti angkutan udara.

e. Memantulkan sinar dan panas

Aluminium dapat dibuat sedemikian rupa sehingga memiliki kemampuan pantul yang tinggi yaitu sekitar 95% dibandingkan dengan kekuatan pantul sebuah cermin. Sifat pantul ini menjadikan aluminium sangat baik untuk peralatan penahan radiasi panas



f. Konduktor listrik

Aluminium dapat menghantarkan arus listrik dua kali lebih besar jika dibandingkan dengan tembaga. Karena aluminium tidak mahal dan ringan, maka aluminium sangat baik untuk kabel-kabel listrik overhead maupun bawah tanah (Ir. Tata Surdia. M.S. Met. E).

g. Konduktor panas

Sifat ini sangat baik untuk penggunaan pada mesin-mesin/alat-alat pemindah panas sehingga dapat memberikan penghematan energi.

h. Non magnetik

Aluminium sangat baik untuk penggunaan pada peralatan elektronik, pemancar radio/TV dan lain-lain. Dimana diperlukan faktor magnetisasi negatif.

i. Mampu diproses ulang-guna

Mendaur ulang kembali melalui proses peleburan dan selanjutnya dibentuk menjadi produk seperti yang diinginkan. Proses ulang-guna ini dapat menghemat energi, modal dan bahan baku yang berharga.

j. Menarik

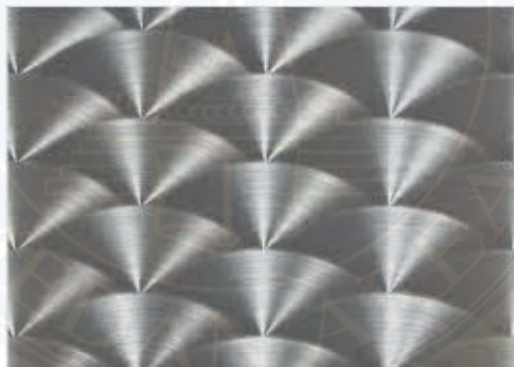
Aluminium sering digunakan tanpa diberi proses pengerjaan akhir. Tampak permukaan aluminium sangat menarik dan karena itu cocok untuk perabot rumah (hiasan), bahan bangunan dan mobil. Disamping itu aluminium dapat diberi *surface treatment*, dapat dikilapkan, disikat atau dicat dengan berbagai warna, dan juga diberi proses anodisasi. Proses ini menghasilkan lapisan yang juga dapat melindungi logam dari goresan dan jenis abrasi lainnya.

k. Memiliki ketangguhan yang baik.

Dalam keadaan dingin dan tidak seperti logam lainnya yang menjadi getas bila didinginkan. Sifat ini sangat baik untuk penggunaan pada transportasi LNG dimana suhu gas cair LNG mencapai dibawah  $-150^{\circ}\text{C}$ .

## 2.5 Stainless Steel

Disebut sebagai baja tahan karat (stainless steel ) karena jenis baja ini tahan terhadap pengaruh oksigen dan memiliki lapisan oksida yang yang stabil pada permukaan baja. Stainless steel bisa bertahan dari pengaruh oksidasi karena mengandung unsur Chromiun lebih dari 10,5%, unsur chromium ini yang merupakan pelindung utama baja dalam stainless steel terhadap gejala yang di sebabkan kondisi lingkungan.



**Gambar 2.6** Stainless Steel

### **Kelompok Stainless Steel**

Stainless steel di bagi dalam beberapa kelompok utama sesuai jenis dan persentase material sebagai bahan pembuatannya. Kelompok/ klasifikasi stainless steel antara lain adalah sebagai berikut:

#### **a. Kelompok Stainless Steel Martensitic**

Martensitic memiliki kandungan Chrome sebesar 12% sampai maksimal 14% dan Carbon pada kisaran 0,08-2,0%. Kandungan karbon yang tinggi merupakan hal yang baik dalam merespon panas untuk memberikan berbagai kekuatan mekanis, misalnya kekerasan baja. Baja tahan karat kelas martensitic menunjukkan kombinasi baik terhadap ketahanan korosi dan sifat mekanis mendapat perlakuan panas pada permukaannya sehingga bagus untuk berbagai aplikasi. Baja tahan karat kelompok ini bersifat magnetis.

#### **b. Kelompok Stainless steel Ferritic**

Ferritic memiliki kandungan chrome sebanyak 17% dan carbon antara 0,08-0,2%. Memiliki sifat ketahanan korosi yang meningkat pada suhu tinggi. Namun sulit dilakukan perlakuan panas kepada kelompok stainless steel ini sehingga penggunaan menjadi terbatas, Baja tahan karat kelompok ini bersifat magnetis.

#### **c. Kelompok Stainless steel Austenitic**

Austenitic memiliki kandungan chrome pada kisaran 17-25% dan Nikel pada kisaran 8-20% dan beberapa unsur/element tambahan dalam upaya mencapai sifat yang diinginkan. Baja tahan karat kelompok ini adalah non magnetis.

#### **d. Kelompok Stainless steel Duplex**

Merupakan kelompok terbaru yang memiliki keseimbangan Chromium, Nikel, Molibdenum dan Nitrogen pada campuran yang sama antara kelompok austenite dan kelompok ferit. Hasilnya adalah sebuah kekuatan yang tinggi, sangat tahan terhadap korosi. Direkomendasikan pada suhu -50 sampai dengan +300 ° C. Biasanya disebut UNS, sebagai merk dagang..

## 2.6 Sensor Suhu

Sensor Suhu atau *Temperature Sensors* adalah suatu komponen yang dapat mengubah besaran panas menjadi besaran listrik sehingga dapat mendeteksi gejala perubahan suhu pada obyek tertentu. Sensor suhu melakukan pengukuran terhadap jumlah energi panas/dingin yang dihasilkan oleh suatu obyek sehingga memungkinkan kita untuk mengetahui atau mendeteksi gejala perubahan-perubahan suhu tersebut dalam bentuk output Analog maupun Digital. Sensor Suhu juga merupakan dari keluarga Transduser. Contoh peralatan-peralatan listrik maupun elektronik yang menggunakan Sensor Suhu diantaranya seperti Thermometer Suhu Ruangan, Thermometer Suhu Badan, Rice Cooker, Kulkas, Air Conditioner (Pendingin Ruangan) dan masih banyak lagi.

### 2.6.1 Jenis-jenis Sensor Suhu (Temperature Sensors)

Saat ini, terdapat banyak jenis Sensor Suhu dengan karakteristik yang berbeda-beda sesuai dengan aplikasinya. Berikut ini beberapa jenis Sensor Suhu yang sering ditemukan dalam rangkaian elektronika ataupun peralatan listrik beserta penjelasan singkatnya :

#### a. Thermostat

Thermostat adalah jenis Sensor suhu Kontak (Contact Temperature Sensor) yang menggunakan prinsip Electro-Mechanical. Thermostat pada dasarnya terdiri dari dua jenis logam yang berbeda seperti Nikel, Tembaga, Tungsten atau aluminium. Dua Jenis Logam tersebut kemudian ditempel sehingga membentuk Bi-Metallic strip. Bi-Metallic Strip tersebut akan bengkok jika

mendapatkan suhu tertentu sehingga bergerak memutuskan atau menyambungkan sirkuit (ON/OFF). Thermostat sering digunakan pada peralatan listrik seperti oven, setrika dan water heater



**Gambar 2.7** Thermostat

#### **b. Thermistor**

Thermistor adalah komponen elektronika yang nilai resistansinya dipengaruhi oleh Suhu. Thermistor yang merupakan singkatan dari Thermal Resistor ini pada dasarnya terdiri dari 2 jenis yaitu PTC (Positive Temperature Coefficient) yang nilai resistansinya akan meningkat tinggi ketika suhunya tinggi dan NTC (Negative Temperature Coefficient) yang nilai resistansinya menurun ketika suhunya meningkat tinggi. Thermistor yang dapat mengubah energi listrik menjadi hambatan ini terbuat dari bahan keramik semikonduktor seperti Kobalt, Mangan atau Nikel Oksida yang dilapisi dengan kaca.

Keuntungan dari Thermistor adalah sebagai berikut :

- Memiliki Respon yang cepat atas perubahan suhu.
- Lebih murah dibanding dengan Sensor Suhu jenis RTD (Resistive Temperature Detector).
- Rentang atau Range nilai resistansi yang luas berkisar dari 2.000 Ohm hingga 10.000 Ohm.

- Memiliki sensitivitas suhu yang tinggi



**Gambar 2.8** Sensor NTC

Thermistor (PTC/NTC) banyak diaplikasikan kedalam peralatan Elektronika seperti Voltage Regulator, sensor suhu kulkas, pendeteksi kebakaran, Sensor suhu pada Otomotif, Sensor suhu pada Komputer, sensor untuk memantau pengisian ulang Baterai pada ponsel, kamera dan Laptop.

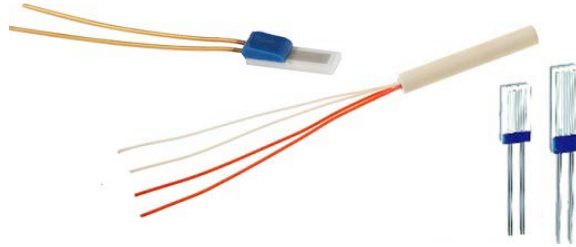
**c. Resistive Temperature Detector (RTD)**

Resistive Temperature Detector atau disingkat dengan RTD memiliki fungsi yang sama dengan Thermistor jenis PTC yaitu dapat mengubah energi listrik menjadi hambatan listrik yang sebanding dengan perubahan suhu. Namun Resistive Temperature Detector (RTD) lebih presisi dan memiliki keakurasian yang lebih tinggi jika dibanding dengan Thermistor PTC. Resistive Temperature Detector pada umumnya terbuat dari bahan Platinum sehingga disebut juga dengan Platinum Resistance Thermometer (PRT).

Keuntungan dari Resistive Temperature Detector (RTD)

- Rentang suhu yang luas yaitu dapat beroperasi di suhu  $-200^{\circ}\text{C}$  hingga  $+650^{\circ}\text{C}$ .

- Lebih linier jika dibanding dengan Thermistor dan Thermocouple
- Lebih presisi, akurasi dan stabil.



**Gambar 2.9** Sensor suhu RTD

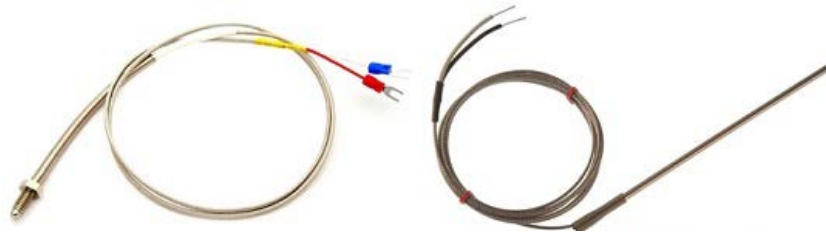
#### **d. Thermocouple**

Thermocouple adalah salah satu jenis sensor suhu yang paling sering digunakan, hal ini dikarenakan rentang suhu operasional Thermocouple yang luas yaitu berkisar  $-200^{\circ}\text{C}$  hingga lebih dari  $2000^{\circ}\text{C}$  dengan harga yang relatif rendah. Thermocouple pada dasarnya adalah sensor suhu Thermo-Electric yang terdiri dari dua persimpangan (junction) logam yang berbeda. Salah satu Logam di Thermocouple dijaga di suhu yang tetap (konstan) yang berfungsi sebagai junction referensi sedangkan satunya lagi dikenakan suhu panas yang akan dideteksi. Dengan adanya perbedaan suhu di dua persimpangan tersebut, rangkaian akan menghasilkan tegangan listrik tertentu yang nilainya sebanding dengan suhu sumber panas.

Keuntungan Thermocouple adalah sebagai berikut :

- Memiliki rentang suhu yang luas
- Tahan terhadap goncangan dan getaran
- Memberikan respon langsung terhadap perubahan suhu.





**Gambar 2.10** Sensor suhu thermocouple

Selain jenis-jenis Sensor suhu diatas, Sensor Suhu atau Temperature Sensor juga dapat dibedakan menjadi dua jenis utama berdasarkan Hubungan fisik Sensor suhu dengan Obyek yang akan dirasakan suhunya. Berikut ini adalah 2 jenis utama tersebut.

**e. Contact Temperature Sensor**

Sensor Suhu jenis contact adalah Sensor suhu yang memerlukan kontak (hubungan) Fisik dengan objek yang akan dirasakan perubahan suhunya. Sensor suhu jenis ini dapat digunakan untuk memantau suhu benda padat, cair maupun gas.

**f. Non-Contact Temperature Sensor**

Sensor Suhu jenis Non-Contact adalah Sensor suhu yang dapat mendeteksi perubahan suhu dengan menggunakan konveksi dan radiasi sehingga tidak memerlukan kontak fisik langsung dengan obyek yang akan diukur atau dideteksi suhunya.

**2.7 Elemen Pemanas(Kawat Nikelin)**

Sebenarnya banyak kita jumpai pada peralatan kita dirumah. Seperti halnya Magic com, Setrika, Pemanas air listrik, Solder dan sebagainya. Semua itu

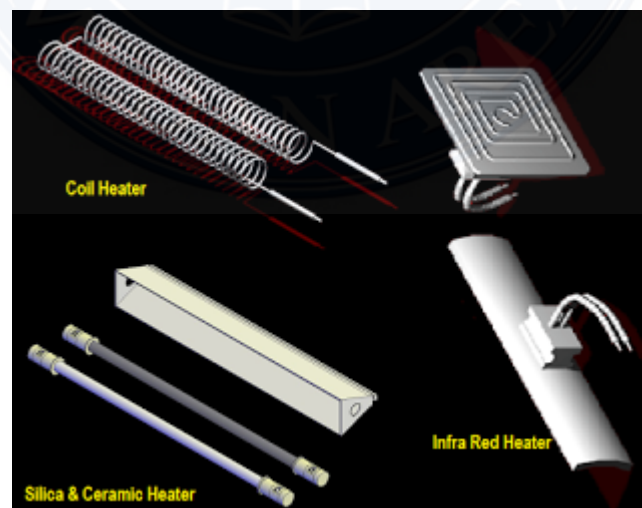


memiliki komponen dasar yang sama yaitu elemen. Selain pada peralatan rumah elemen juga banyak dipakai pada mesin industri. Oleh karena itu elemen pemanas listrik memiliki fungsi yang sangat banyak dalam kehidupan kita.

Perlu kita tahu bahwa panas yang dihasilkan oleh elemen pemanas listrik ini bersumber dari kawat yang memiliki tahanan listrik tinggi (Resistance Wire), Itulah mengapa saat terjadi panas kawat tersebut tidak leleh atau terbakar. Bahan yang sering dipakai adalah Niklin yang dialiri arus pada kedua ujungnya. Selanjutnya dilapisi oleh bahan isolasi yang dapat meneruskan panas dan aman untuk bisa kita gunakan.

Dari bentuknya elemen pemanas listrik ada dua macam yaitu:

Elemen Pemanas Listrik bentuk Dasar yaitu elemen pemanas dimana Resistance Wire hanya dilapisi oleh isolator listrik, macam-macam elemen pemanas bentuk ini adalah : Keramik Heater, Silica Dan Quartz Heater, Bank Channel heater, Black Body Keramik Heater



**Gambar 2.11** Elemen pemanas bentuk dasar

Elemen Pemanas Listrik Bentuk Lanjut merupakan elemen pemanas dari bentuk dasar yang dilapisi oleh pipa atau lembaran plat logam untuk maksud sebagai penyesuain terhadap penggunaan dari elemen pemanas tersebut. Bahan logam yang biasa digunakan adalah : mild stell, stainless stell, tembaga dan kuningan. Heater yang termasuk dalam jenis ini adalah : Tubular Heater Catridge Heater Band, Nozzle & Stripe Heater



**Gambar 2.12** Elemen pemanas bentuk lanjut

Hingga saat ini elemen pemanas (heater) sudah banyak sekali dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari, baik itu untuk memasak, menyolder, menghangatkan air, bahkan sampai pada pengobatan. Untuk mengetahui bahwa elemen sudah rusak

## **2.8 Isolator Panas**

Penggunaan isolator panas merupakan salah satu aspek penting dalam sistem penyimpanan energi panas. Isolator panas merupakan bahan-bahan atau kombinasi material yang dapat menghambat aliran energi panas. Energi yang hilang untuk bahan isolator panas tergantung pada sifat thermal dan ketebalan media yang digunakan (Gertrude, 2011). Suatu material dapat digunakan sebagai isolator panas jika memiliki konduktivitas panas yang rendah. Material *nano porous* dapat menghasilkan performa panas yang lebih tinggi daripada material isolasi yang konvensional pada kisaran suhu yang luas (dari kriogenik sampai

suhu tinggi). Kumpulan partikel tersebut dapat digunakan dalam banyak aplikasi yang membutuhkan performa panas yang sesuai. Isolasi panas yang efisien dapat dicapai dengan menggunakan kumpulan partikel yang sangat rapat, homogen dengan pori-pori kecil dan ukuran jarak inter partikel yang sesuai. Nilai konduktivitas panas dapat diturunkan dengan mengurangi jarak inter partikel dan membuat kontak antara solid yang jelek. (Zeng dkk., 1995).

Bahan-bahan yang memiliki konduktivitas termal rendah disebut isolator panas. Penggunaan isolator panas dapat mengurangi kehilangan energi panas dari permukaan sistem penyimpan panas secara signifikan. Beberapa karakteristik dari bahan isolator panas yang harus dipertimbangkan antara lain suhu operasi sistem, konduktivitas panas benda, diffusivitas panas bahan, kemudahan penggunaan dan perawatan, daya tahan benda dan berat yang ringan, ketahanan terhadap api, keamanan dan pemasangan.

Isolator dapat diklasifikasikan dalam beberapa tipe, tergantung pada jarak temperatur yang ingin digunakan, yaitu :

- a. Isolator Suhu Rendah, digunakan untuk lemari pendingin, sistem air panas dan dingin, tangki penyimpan, dll.
- b. Isolator Suhu Menengah, digunakan untuk peralatan pembangkit steam, saluran cerobong, dll.
- c. Isolator Suhu Tinggi digunakan untuk boiler, furnace dan oven.