

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Pemanas (Oven Pemanas)

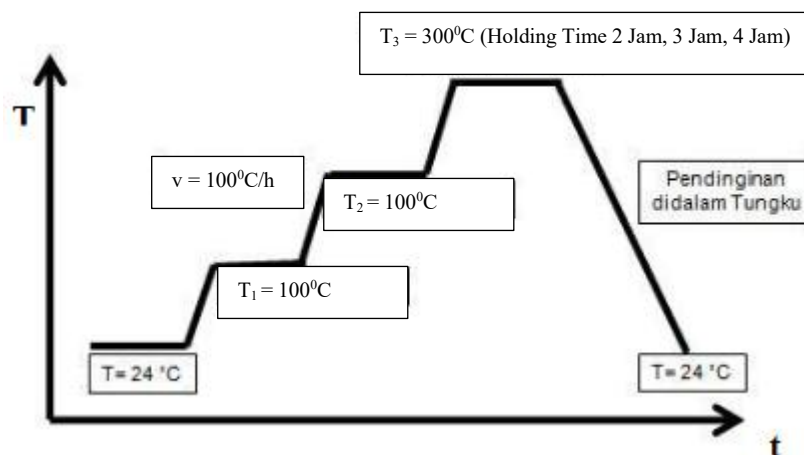
Oven pemanas merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk memanaskan suatu benda didalamnya hingga mencapai ke temperature tertentu yang diinginkan atau juga bisa disebut untuk memberikan perlakuan panas (*heat treatment*). Transfer energi pada oven terjadi dalam beberapa tahapan yaitu pembangkitan energi panas oleh elemen *heater* yang energinya disuplai dari listrik. Dimana dalam hal ini terjadi perubahan energi listrik menjadi energi panas. *Heater* yang digunakan bervariasi mulai dari kapasitas pemanas 300°C – 1800 °C.

2.2. Perlakuan Panas

Heat Treatment (perlakuan panas) adalah salah satu proses untuk mengubah struktur logam dengan jalan memanaskan spesimen pada *electric furnace* (tungku pemanasan) pada temperatur rekristalisasi selama periode waktu tertentu kemudian didinginkan pada media pendingin seperti udara, air, air garam, oli, dan solar yang masing-masing mempunyai kerapatan pendinginan yang berbeda-beda. Dengan adanya pemanasan atau pendinginan dengan kecepatan tertentu maka bahan-bahan logam dan paduan memperlihatkan perubahan strukturnya. (Adawiyah & Ahmad, 2014)

2.2.1 Annealing

Annealing adalah suatu proses perlakuan panas (*heat treatment*) yang dilakukan terhadap logam atau paduan. Prinsip *annealing* adalah memanaskan baja sampai diatas temperatur kritis, kemudian dilakukan holding time, dan proses pendinginan didalam tungku dilakukan dengan lambat hingga tempatur kamar. Jenis *annealing* itu beraneka ragam, tergantung pada kondisi benda kerja, tempatur pemanasan, lamanya waktu penahanan, laju pendinginan (*cooling rate*), dan lain sebagainya. (ASM, Heat Treating Volume 4, 1991) Tujuan dari *heat treatment anealing* adalah untuk memperbaiki keuletan dan machineability, memperhalus ukuran butir, menurunkan ketidak homogen strukutur, mengurangi tegangan sisa.



Gambar 2.1. Siklus annealing

Sumber: (ASM, Heat Treating Volume 4, 1991)

Perlakuan panas yang umum dilakukan pada paduan aluminium adalah *annealing* dan pengerasan pengendapan (Precipitation Hardening).

2.2.2 Holding Time

Holding time adalah suatu proses mempertahankan suhu pada waktu tertentu sehingga temperaturnya merata dan perubahan strukturnya terjadi secara merata pula. Proses ini dilakukan untuk mendapatkan kekerasan maksimum dari suatu bahan pada proses hardening dengan menahan pada temperatur pengerasan untuk memperoleh pemanasan yang homogen sehingga struktur austenitnya homogen atau terjadi kelarutan karbida ke dalam austenite, difusi karbon dan unsur paduannya. (Prabowo, 2019)

Tabel 2.1. Jenis baja dan waktu tahan yang dibutuhkan pada perlakuan panas.

Jenis Baja	Waktu Tahan (menit)
Baja karbon dan baja paduan rendah	5-15 menit
Baja paduan menengah	15-25 menit
Low alloy tool steel	10-30 menit
High alloy chrome steel	10-60 menit
Hot work tool steel	15-30 menit

Sumber: (Prayitno, 1999)

Secara matematis waktu penahanan terhadap ketebalan benda uji dapat ditulis pada persamaan berikut: (Krauss, 1986)

$$T = 1,4 \times H \dots \dots \dots (2.1)$$

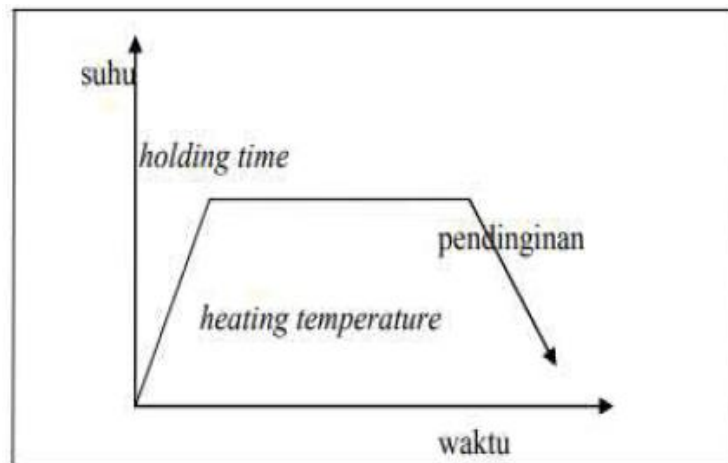
Dengan:

T = waktu penahanan (menit)

H = tebal benda kerja (mm)

2.3 Prinsip Kerja *Electric Oven Furnace*

Oven pemanas merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk memanaskan bahan hingga mengubah ke bentuknya atau bisa dikatakan merubah sifat-sifat perlakuan panas (*heat treatment*). *Transfer* energi pada oven terjadi dalam tahapan pembangkitan energi panas oleh elemen *heater* yang energinya disuplai dari listrik. Dimana dalam hal ini terjadi perubahan energi listrik menjadi energi panas. *Heater* yang digunakan bervariasi mulai dari kapasitas pemanas $300^{\circ}\text{C} - 1800^{\circ}\text{C}$.



Gambar 2.2. Diagram temperatur dan waktu

Suhu panas didalam oven diukur menggunakan sensor suhu *thermocouple*. Sensor suhu *thermocouple* akan mengukur suhu diruangan oven sesuai dengan suhu stabil yang diatur menggunakan *digital temperature controller*. Setelah suhu didalam oven mencapai suhu tinggi yang dimaksud, maka kontak *relay NC* yang menghubungkan sumber listrik *power supply* oven akan terbuka dan memutuskan sumber listrik. Sehingga oven dalam kondisi mati hingga mencapai suhu turun pengaturan, setelah suhu turun tertentu, maka kontak *NO* akan terhubung kembali dan mencapai lagi suhu tinggi pengaturan. Begitu seterusnya

hingga suhu didalam oven akan tetap stabil dan mencapai satuan waktu pengaturan tertentu dan menjaga agar tidak mengalami pemborosan listrik.

2.4 Aluminium

Aluminium dan paduannya merupakan logam *non ferrous* yang cukup luas penggunaannya, mulai dari kebutuhan rumah tangga, otomotif, sampai ke pesawat terbang. Hal ini disebabkan karena logam ini mempunyai beberapa kelebihan, seperti ratio terhadap beban yang tinggi (*high strength to weigh ratio*), ringan (*light*), tahan terhadap korosi dari berbagai macam bahan kimia (*resistance to corrosion by many chemicals*), konduktifitas panas dan listrik tinggi (*high thermal dan electrical conductivity*), tidak beracun (*non-toxicity*), memantulkan cahaya (*reflectivity*), mudah dibentuk dan diproses pemesinan (*easy for formability and machinability*), dan tidak bersifat magnet (*no magnetic*). (Widyantoro, 2018)

2.4.1 Aluminium 7075

Aluminium 7075 ini merupakan perpaduan antara aluminium dengan seng. Dimana material tersebut memiliki sifat mekanik yang baik. Aluminium pada dasarnya memiliki sifat yang tahan akan korosi dan sangat elastis. Salah satu sifat dari material tersebut adalah sifat mekanik. Sifat mekanik terdiri dari kekuatan, kekerasan, regangan, keelastisan, dll. (Himawan Eka Aprilian, 2017)

Paduan Aluminium 7075 terdiri dari 90,0% Al, 5,6% Zn, 2,5% Mg, 0,23%Cr, dan 1,6% Cu, dan untuk kepadatannya adalah 2,81 g/cm³ (0,102 lb/in³).

Tabel 2.2. Properti pemrosesan

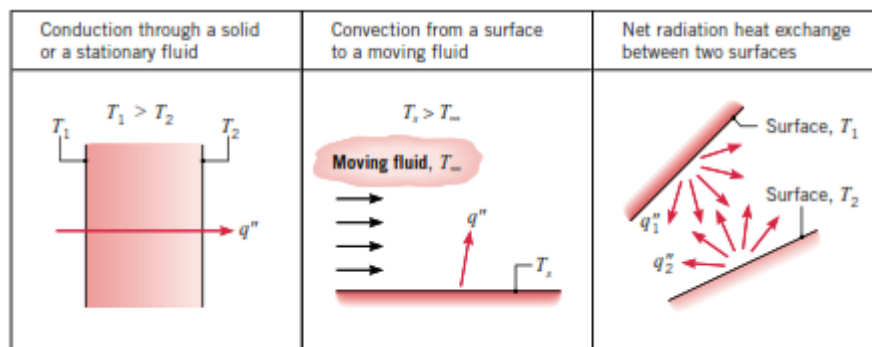
Annealing Temperature	413°C	775°F
Solution Temperature	466-482°C	870-900°F
Aging Temperature	121°C	250°F

Sumber: (ASM, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials Vol 2, 1990)

2.5. Teori Perpindahan Panas

Dalam termodinamika telah diketahui bahwa energi dapat ditransfer dengan adanya interaksi antara sistem dengan lingkungannya, interaksi tersebut dapat berupa kerja atau kalor. Pelajaran perpindahan panas bertujuan untuk mengembangkan analisis termodinamika tersebut dengan membeberkan mekanisme perpindahan panas, dan juga membangun formulasi untuk menghitung laju perpindahan panas (perpindahan panas per satuan waktu) atau biasa disebut fluks. (Hisyam, 2016)

Panas didefinisikan sebagai energi yang dipindahkan berdasarkan perbedaan suhu yang mengalir dari daerah yang suhunya lebih tinggi ke daerah yang suhunya lebih rendah. Cara dasar perpindahan panas adalah konduksi, konveksi, dan radiasi (Rohsenow, Hartnett, & Cho, 1998).



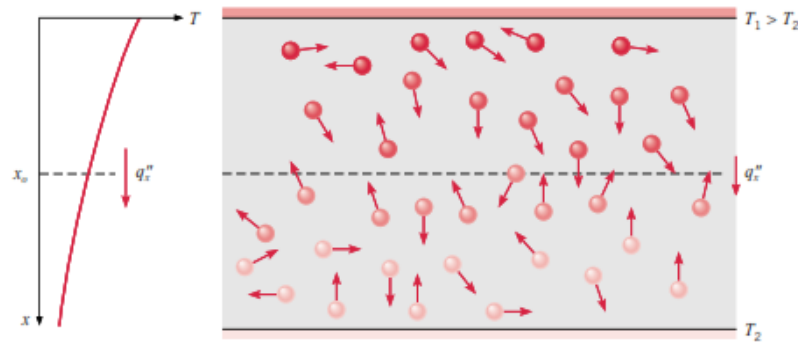
Gambar 2.3. Perpindahan panas konduksi, konveksi, dan radiasi

Sumber : (Incropera & dkk, 2011)

2.5.1 Perpindahan Panas Secara Konduksi

Perpindahan panas konduksi adalah perpindahan panas yang bergantung pada aktivitas pada level atom dan molekuler (Incropera & dkk, 2011). Konduksi digambarkan sebagai perpindahan panas yang terjadi dari partikel yang berenergi lebih tinggi ke partikel yang berenergi lebih rendah dari suatu media sebagai akibat dari interaksi antar partikel tersebut. (Hisyam, 2016)

Gambar 2.4 memperlihatkan mekanisme tersebut. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa partikel-partikel bergerak secara acak sehingga memungkinkan satu partikel bersinggungan dengan partikel yang lain. Sehingga apabila yang bersinggungan tersebut partikel yang berbeda tingkat energinya maka perpindahan panas pasti terjadi. Jika $T_1 > T_2$ maka akan terjadi perpindahan panas ke arah sumbu x positif. Karena perpindahan panas konduksi terjadi akibat gerakan acak partikel maka juga disebut difusi energi. (Hisyam, 2016)



Gambar 2.4. Perpindahan panas konduksi dengan difusi energi akibat aktivitas molekuler

Sumber : (Incropera & dkk, 2011)

Persamaan laju perpindahan panas konduksi satu dimensi pada dinding datar dikenal dengan persamaan (hukum) *Fourier*. Pada gambar 2.11 jika $T_1 > T_2$ maka ada distribusi temperatur kearah sumbu x $T(x)$, persamaan laju perpindahan panas adalah :

$$q_x'' = -k \cdot \frac{dT}{dx} \dots \dots \dots (2.2)$$

$$q_x = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana:

q_x = Laju perpindahan panas (W)

q_x'' = Fluks panas (W/m^2) adalah laju perpindahan panas kearah sumbu x positif per unit kuasan yang tegak lurus arah perpindahan panas

k = Konduktivitas panas material ($\text{W}/\text{m}^\circ\text{C}$)

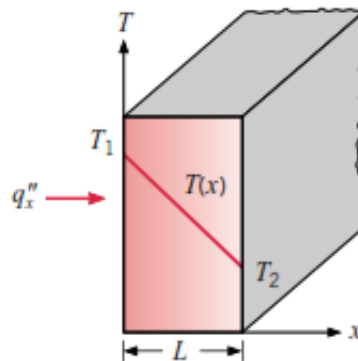
A = Luas permukaan (m^2)

dT = Perbedaan suhu ($^\circ\text{C}$)

dx = Tebal material (m)

Tanda minus merupakan konsekuensi bahwa panas berpindah dari lokasi yang bertemperatur tinggi ke yang lebih rendah. Jika distribusi temperatur linier maka :

$$q_x'' = -k \cdot \frac{T_2 - T_1}{L} \dots\dots\dots(2.4)$$



Gambar 2.5. Konduksi satu dimensi steady

Sumber : (Incropera & dkk, 2011)

Untuk menghitung laju perpindahan panas digunakan hukum *Fourier* :

$$q_x = -K \cdot A \frac{dT}{dx} = - \frac{kA}{L} (T_2 - T_1) \dots\dots\dots(2.5)$$

2.5.2 Perpindahan Panas Secara Konveksi

Perpindahan panas yang terjadi antara permukaan padat dengan fluida yang mengalir di sekitarnya, dengan menggunakan media penghantar berupa fluida (gas/cair), suatu fluida memiliki temperatur (T) yang bergerak dengan kecepatan (V), di atas permukaan benda padat. Temperatur media padat lebih tinggi

dari temperatur fluida, maka akan terjadi perpindahan panas secara konveksi dari benda padat ke fluida yang mengalir. (Hartono, 2018)

Laju perpindahan panas konveksi dicari dengan hukum pendinginan Newton, yaitu :

$$q_c = h \cdot A (T_s - T_\infty) \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

q_c = Laju perpindahan panas konveksi (W)

h = Koefisien perpindahan panas konveksi (W/m².K)

A = Luas permukaan perpindahan panas (m²)

T_s = Temperatur permukaan (K)

T_∞ = Temperatur fluida (K)

2.5.3 Perpindahan Panas *Natural Convection*

Karakteristik dari perpindahan panas melalui ruang tertutup tergantung pada posisi panas ataupun dingin dari plat. Ketika bagian panasnya berada di atas, arus konveksi tidak dihasilkan karena fluida yang memiliki berat ringan atau densitas ringan (*light fluid*) akan selalu berada di atas fluida yang berat (*heavier fluid*). Dalam hal ini perpindahan panas murni terjadi secara konveksi.

Korelasi plat vertikal, apabila plat itu dipanaskan terbentuklah suatu lapisan batas konveksi bebas. Pada dinding kecepatan adalah nol, karena terdapat kondisi tanpa gelincir (*no slip*), kecepatan itu bertambah terus sampai nilai maksimum, dan kemudian menurun lagi hingga nol pada tepi lapisan batas, karena

kondisi arus bebas. Perkembangan awal lapisan batas adalah laminar, tetapi pada sifat-sifat fluida dan beda suhu antara dinding dan lingkungan, terbentuklah pusaran-pusaran dari transisi ke lapisan turbulen. Pada sistem konveksi bebas dapat dijumpai bilangan tak berdimensi yang disebut bilangan Grashof (Gr).

$$Gr_L = g\beta \frac{(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2} Pr \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana:

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

β = koefisien ekspansi volume $1/K$ ($1/T_f$ untuk gas ideal)

T_s = temperatur *surface* (K)

T_∞ = temperatur *ambient* (K)

L = Panjang karakteristik (m)

Pr = *Prandtl number*

Dimana semua properties dievaluasi pada temperatur film (T_f), untuk menganalisa konveksi bebas pada plat datar harus ditentukan dulu harga koefisien perpindahan panas konveksi dan *Nusselt number*.

$$N_{UL} = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 Ra_L^{1/6}}{[1 + (0,492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 \dots\dots\dots(2.8)$$

Sehingga koefisien konveksi:

$$h = \frac{N_{UL}k}{L} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana:

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

Nu_L = *Nusselt Number*

k = konduktifitas termal (W/mK)

L = panjang karakteristik (m)

Korelasi pada plat horizontal. *Nusslet number* rata-rata untuk konveksi bebas tergantung pada apakah permukaan plat panas menghadap keatas (*hot surface facing up*) atau menghadap kebawah (*hot surface facing down*) dan apakah permukaan plat lebih panas atau lebih dingin daripada fluida disekitarnya.

Untuk plat horizontal dengan permukaan panas menghadap keatas (*hot surface facing up*)

$$1. N_{UL} = 0,54 Ra_L^{1/4} (10^5 \leq Ra_L \leq 10^7) \dots\dots\dots (2.10)$$

$$2. N_{UL} = 0,15 Ra_L^{1/3} (10^4 \leq Ra_L \leq 10^5) \dots\dots\dots (2.11)$$

Untuk plat horizontal dengan permukaan menghadap kebawah (*hot surface facing down*)

$$1. N_{UL} = 0,27 Ra_L^{1/4} (10^4 \leq Ra_L \leq 10^7) \dots\dots\dots (2.12)$$

Untuk bangun segi empat atau persegi panjang dengan posisi horizontal dalam ruang tertutup.

$$1. N_{UL} = 0,195 Ra_L^{1/4} (10^5 \leq Ra_L \leq 4.10^{10}) \dots\dots\dots (2.13)$$

$$2. N_{UL} = 0,068 Ra_L^{1/3} (4.10^5 \leq Ra_L \leq 4.10^7) \dots\dots\dots (2.14)$$

$$3. \ N_{UL} = 0,069 Ra_L^{1/3} Pr^{0,074} (3 \cdot 10^5 < Ra_L < 7 \cdot 10^9) \dots\dots\dots(2.15)$$

Untuk bangun segi empat atau persegi panjang dengan posisi vertikal dalam ruang tertutup.

$$1. \ N_{UL} = 0,18 \left(\frac{Pr \cdot Ra_L}{0,2 + Pr} \right)^{0,29} (1 < Ra_L < 2; 10^{-3} < Pr < 10^5) \dots\dots\dots(2.16)$$

$$2. \ N_{UL} = 0,2 \left(\frac{Pr \cdot Ra_L}{0,2 + Pr} \right)^{0,28} \left(\frac{H}{L} \right)^{-1/4} (2 < Ra_L < 10; Pr < 10^5) \dots\dots\dots(2.17)$$