

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan sektor industri tak lepas dari kemajuan teknologi material yang telah ada, di mana material merupakan faktor pendukung dari semua industri yang ada sekarang. Kemajuan teknologi material saat ini berkembang dengan pesat, makin banyak ditemukan material – material baru dengan karakteristik yang tentunya baru juga. Dengan kemajuan tersebut, makin banyak pula pilihan untuk industri dalam menentukan material yang akan dipakainya, dengan spesifikasi dan kelebihanannya masing - masing. Tetapi dalam menentukan material yang akan dipakai, para pelaku industri hendaknya mempertimbangkan terlebih dahulu kegunaan dari produk tersebut sehingga dapat menentukan jenis material serta dapat berfungsi secara efektif.

Aluminium (Al) adalah salah satu jenis material non – *ferrous* yang banyak di alam, akan tetapi merupakan logam yang relatif baru karena teknologi untuk menguraikan *oksida* - nya baru ditemukan, yaitu dengan cara *elektrolisis*. Dalam keadaan murni, aluminium memiliki daya hantar panas dan listrik yang sangat baik, namun untuk meningkatkan kekuatannya perlu dicampur dengan bahan lain seperti Mg, Cu, Si, Zn, Mn, dan lain-lain yang menghasilkan berbagai macam paduan aluminium, yang mana dalam kombinasinya menghasilkan kekuatan logam yang diinginkan dan juga memerlukan perlakuan panas untuk memperoleh sifat - sifat yang maksimum (Djaprie, 1993: 63).

Unsur tambahan pada aluminium akan menghasilkan suatu paduan baru yang mempunyai perbedaan sifat dengan aluminium murni, tergantung dari paduan yang ditambahkan. Misalnya paduan aluminium tembaga (Al - Cu), adalah salah satu paduan aluminium dengan unsur paduan utamanya adalah *copper* atau tembaga. Paduan ini mempunyai berat jenis $2,8 \text{ kg/dm}^3$, dan memiliki sifat dapat dikeraskan hampir menyamai kekerasan baja karbon rendah, serta memiliki keuletan yang lebih baik dari baja karbon rendah. Kelebihan utama dari paduan aluminium tembaga adalah tahan korosi, dan memiliki koefisien konduktivitas termal serta listrik yang tinggi bila dibandingkan dengan baja karbon rendah.

Konduktivitas termal adalah suatu besaran intensif bahan yang menunjukkan kemampuannya untuk menghantarkan panas (sumber : www.wikipedia.org%2Fwiki%2FAluminium). Konduktivitas termal sangatlah penting bagi industri yang bergerak dalam bidang pembuatan alat penukar kalor (*heat exchanger*) atau alat yang sistem kerjanya berhubungan dengan energi termal misalnya industri pembuatan lemari pendingin, industri alat – alat masak, dan lain –lain. Dengan nilai konduktivitas termal yang tinggi akan meningkatkan efisiensi dari alat tersebut dalam hal penghantaran panas. Konduktivitas termal pada paduan aluminium sangat dipengaruhi oleh bahan paduan yang dipakai dan perlakuan panas. Setiap jenis paduan aluminium akan berbeda sesuai dengan karakteristik paduannya dan kadar unsur paduan tersebut. *Annealing* adalah salah satu proses perlakuan panas yang bertujuan untuk menghaluskan struktur butiran, menghilangkan atau mengurangi tegangan dalam, sedikit melunakan material, dan meningkatkan sifat mampu mesinnya. Dengan perlakuan panas *annealing* diharapkan nilai konduktivitas termal paduan aluminium tembaga semakin meningkat seiring dengan semakin halusya struktur butiran pada paduan ini.

1.2 Rumusan Masalah

Agar dapat memberikan gambaran yang jelas dan tidak terjadi penyimpangan arah pembahasan dari penelitian ini perlu adanya rumusan masalah, yaitu sebagai berikut : “Bagaimana pengaruh variasi temperatur *annealing* terhadap konduktivitas termal pada paduan aluminium tembaga ?”.

1.3 Batasan Masalah

Agar masalah yang timbul lebih mengarah pada permasalahan semula, maka dalam penelitian ini perlu adanya batasan - batasan antara lain :

1. Pengamatan dilakukan terhadap konduktivitas termal paduan aluminium tembaga seri 2017 dengan komposisi paduan utama adalah Al 91,4 % dan Cu 5,39 %.
2. Temperatur *annealing* adalah 300 °C, 350 °C, 400 °C, 450 °C, 500 °C dengan variasi waktu *holding* masing – masing 5 menit, 10 menit dan 15 menit.
3. Proses penuaan atau *aging* dilakukan pada temperatur ruangan $\pm 25\text{ }^{\circ}\text{C} - 27\text{ }^{\circ}\text{C}$ (*natural aging*) selama minimal 4 hari.
4. Pendinginan dilakukan dengan media udara diam pada temperatur $\pm 25\text{ }^{\circ}\text{C} - 27\text{ }^{\circ}\text{C}$ atau temperatur ruang.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur *annealing* pada paduan aluminium tembaga (Al – Cu) terhadap konduktivitas termal.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Sebagai bahan referensi dalam hal pengaruh perlakuan panas terhadap konduktivitas termal pada paduan aluminium tembaga dan dalam hal pemilihan material - material alat penukar kalor.
2. Mampu mengaplikasikan ilmu dan teori yang telah didapatkan selama proses belajar diperguruan.
3. Sebagai bahan pembandingan dan dasar pendekatan untuk penelitian selanjutnya.

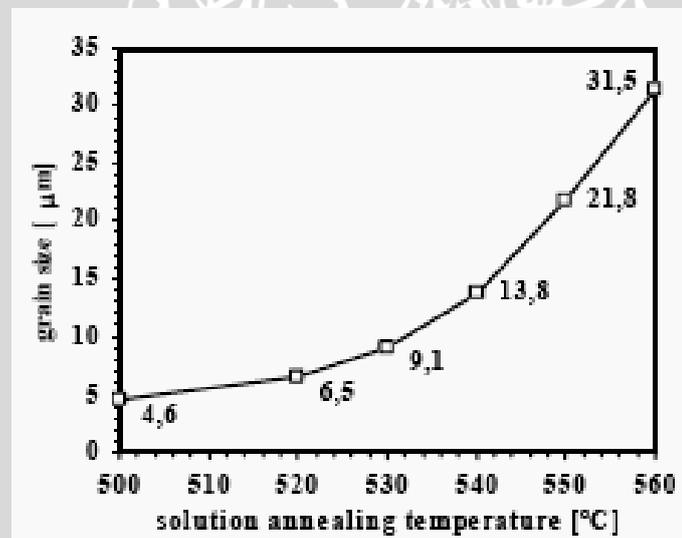


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Martin Fujda, dkk (2007), melakukan penelitian berjudul "*Effect of Solution Annealing Temperatur on Structure and Mechanical Properties of EN AW 2024 Aluminium Alloy*". Dari penelitian yang dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa temperatur *solution annealing* berpengaruh terhadap perubahan mikrostruktur dan sifat mekanik dari paduan aluminium *EN AW 2024* yang dapat diketahui dengan cara analisis metalografic, uji kekerasan dengan metode *Vickers* dan uji *tensile*. Pertumbuhan butiran secara intensif dari *solid solution* menghasilkan peningkatan temperatur *solution annealing* dari penyebaran partikel halus yang tidak merata dengan menggunakan proses anil. Hal tersebut dapat dilihat pada grafik pengaruh temperatur *solution annealing* terhadap ukuran butiran pada paduan aluminium di bawah ini.

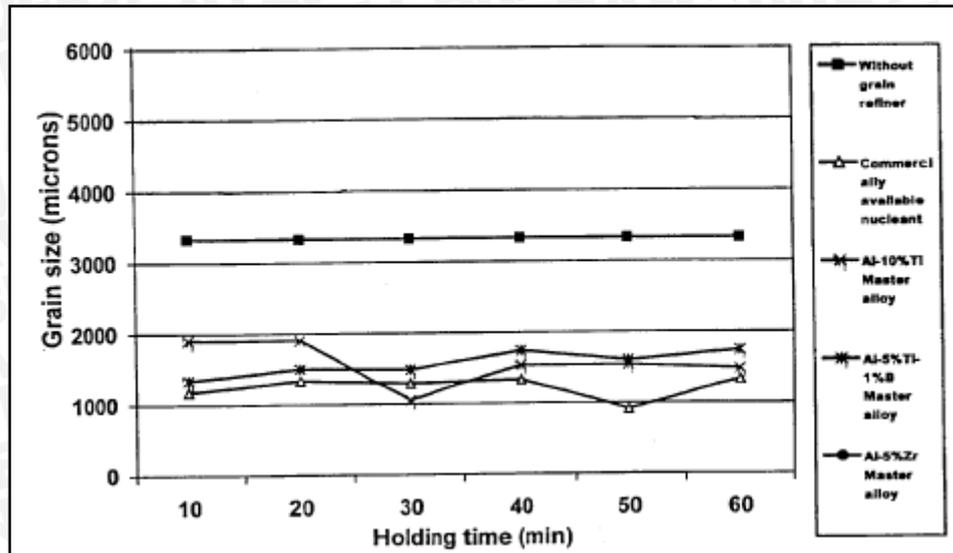


Gambar. 2.1. Pengaruh temperatur *solution annealing* terhadap ukuran butiran pada paduan aluminium.

Sumber : Fujda et al (2007).

Dadang Sanjaya (2003), melakukan penelitian berjudul "*Pengaruh Variasi Temperatur Pada Normalising Terhadap Tahanan dan Konduktivitas Listrik Aluminium Paduan*". Dari penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa variasi temperatur *normalizing* sangat berpengaruh terhadap konduktivitas listrik, hal tersebut disebabkan proses *normalizing* memperbaiki cacat butiran yang terjadi sehingga tahanan listrik berkurang sebanding dengan berkurangnya cacat strukturnya. Sedangkan konduktivitas listriknya meningkat yang dikarenakan pada proses *normalizing* mengembalikan struktur logam kenormalnya dimana konduktivitas listrik meningkat sebanding dengan kestabilan struktur logam. Variasi temperatur *normalizing* yang digunakan adalah 150 °C, 200 °C, 250 °C, 300 °C, 350 °C, 400 °C, dan 500°C, sedangkan variasi tegangan listrik yang digunakan adalah 1.5 volt, 3 volt, 4.5 volt, 6 volt, 7.5 volt, 9 volt, 10.5 volt, dan 12 volt.

K. T. Kashyap dan T. Chandrashekar (2001), melakukan penelitian berjudul "*Effects and Mechanisms of Grain Refinement in Aluminium Alloys*". Dari penelitian yang dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa proses penghalusan butiran pada paduan aluminium dipengaruhi oleh pengintian yang *heterogen* dan *homogen* serta proses pertumbuhan butiran. Pengintian pada proses penyeragaman butiran memiliki peran yang sangat penting untuk memperbaiki atau untuk menyeragamkan butiran. Sedangkan penyeragaman butiran berperan penting pada perbaikan karakteristik dan properti dari aluminium, baik itu paduan aluminium, coran aluminium, dan aluminium tempa. Waktu *holding* sangat berpengaruh pada besar dan kecilnya ukuran butiran dari paduan aluminium tergantung dari komposisi paduannya. dari grafik di bawah dapat dilihat bahwa paduan Ti dengan komposisi 5 % cenderung meningkat dengan semakin lamanya waktu *holding*, sedangkan untuk paduan Ti dengan komposisi 10 % cenderung menurun dengan semakin meningkatnya waktu *holding*. Hal tersebut dikarenakan semakin besar komposisi unsur paduan utama *homogenitas* dari unsur tersebut semakin menurun.



Gambar. 2.2. Pengaruh waktu *holding* terhadap usuran butiran.
Sumber : Kashyap (2001)

2.2 Aluminium

Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik dan sifat - sifat yang baik lainnya sebagai suatu logam. Kekuatan mekaniknya meningkat dengan penambahan unsur Cu, Mg, Zn, dan sebagainya, secara satu - persatu atau bersama - sama memberikan sifat lainnya seperti ketahanan korosi, ketahanan aus, koefisien pemuaian rendah dan sebagainya (Surdia, 1992 : 129)

Logam aluminium tergolong logam yang reaktif, sehingga logam ini dalam udara terbuka akan segera bereaksi dengan oksigen dari udara untuk membentuk oksida aluminium. Beberapa sifat fisik aluminium dapat ditunjukkan pada tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1. Sifat - sifat Fisik Aluminium

Sifat - sifat	Kemurnian Al (%)	
	99,99	>99,99
Massa jenis (Kg / dm^3) (20°C)	2,6989	2,71
Titik cair ($^{\circ}\text{C}$)	660,2	653 – 657
Panas jenis ($\text{Cal/g.}^{\circ}\text{C}$) (100°C)	0,2226	0,2297
Hantaran listrik (%)	64,91	59 (dianil)
Tahanan listrik koefisien temperatur ($/^{\circ}\text{C}$)	0,00429	0,0115
Koefisien pemuaian (M°C) ($20\text{-}100^{\circ}\text{C}$)	$23,86 \times 10^{-6}$	$23,5 \times 10^{-6}$
Jenis kristal, Konstanta kisi	$Fcc, \alpha = 4,013 \text{ kX}$	$Fcc, \alpha = 4,04 \text{ kX}$

Sumber : Surdia (1992 : 134)

2.2.1. Sifat - sifat paduan aluminium

Paduan aluminium mempunyai sifat - sifat yang lebih baik jika dibandingkan dengan keadaan murninya, terutama peningkatan kekuatan, kekerasan dan lain - lain. Sementara bila dibandingkan dengan logam lainnya paduan aluminium mempunyai berbagai kelebihan seperti ketahanan korosi, kemampuan daya hantar panas dan daya hantar listrik yang baik, sifat mampu bentuk dan sifat - sifat mekanis lainnya.

Hal ini dibuktikan dengan digunakannya paduan aluminium sebagai bahan pembuatan peralatan rumah tangga, alat - alat penukar kalor (*heat exchanger*) sampai dengan komponen pesawat terbang. Ini menandakan paduan aluminium sangat kuat dan ringan. Berikut ini dijelaskan lebih rinci tentang sifat - sifat yang dimiliki oleh paduan aluminium paduan antara lain :

1. Kekerasan

Aluminium murni mempunyai kandungan Al sebesar 99,99 % mempunyai kekerasan 17 BHN. Dengan penambahan unsur paduan dan perlakuan panas dapat diperoleh paduan aluminium dengan komposisi unsurnya 4,5 % Cu; 1,5 % Mg; 0,5 % Mn yang biasa disebut dengan paduan 2024, kekerasan paduan ini sebesar 120 BHN. Paduan aluminium seri 2024 adalah hasil modifikasi dari aluminium seri 2017, kekerasan dari paduan aluminium seri 2017 adalah 118 BHN. Unsur paduan utamanya hampir sama dengan paduan aluminium seri 2024, yang membedakan hanyalah komposisinya yaitu 3,5 - 5 % Cu; 0,4 - 0,7 % Mg; 0,5 % Mn.

2. Kekuatan Tarik

Harga kekuatan tarik suatu material diperoleh dengan membandingkan antara beban maksimum pada pengujian tarik selama tes dengan luas penampang awal material yang diuji. Untuk aluminium dengan kemurnian 99,99% kekuatan tariknya adalah $4,9 \text{ kg/mm}^2$. Dengan memadukan aluminium murni dengan unsur paduan (Cu, Si, Mg, Mn) ditambah lagi dengan melakukan pengerjaan panas atau dingin maka kekuatan tariknya dapat ditingkatkan lebih maksimum lagi.

3. Mampu bentuk

Kekuatan aluminium yang berkisar antara 83 – 310 MPa dapat ditingkatkan melalui pengerjaan dingin atau pengerjaan panas. Dengan menambahkan unsur paduan, pengerjaan panas atau perlakuan panas dapat diperoleh paduan dengan kekuatan melebihi 700 MPa. Paduan aluminium dapat ditempa, diekstrusi, dilengkungkan, diregang dan sebagainya.

4. Massa jenis

Aluminium mempunyai berat jenis yang rendah, untuk aluminium dengan kemurnian 99,99% mempunyai massa jenis $2,6989 \text{ kg/dm}^3$ pada suhu 20°C . Berat jenis berubah dengan adanya penambahan unsur - unsur paduan, contohnya paduan magnesium dan tembaga, apabila ditambahkan sebagai paduan aluminium akan menurunkan berat jenisnya.

5. Konduktifitas termal

Aluminium telah dikenal oleh pelaku industri sebagai salah satu logam non - *ferrous* yang mempunyai daya hantar panas dan listrik yang tinggi setelah tembaga dan perak. Aplikasi dari aluminium sangat luas, bahkan digunakan sebagai bahan rangka pesawat terbang, alat - alat rumah tangga, komponen - komponen permesinan (baut dan mur, piston, *cylinder head*, dan alat - alat penukar kalor atau *heat exchanger*). Konduktifitas termal paduan aluminium dimanfaatkan sebagai bahan utama dari alat - alat memasak atau alat penukar kalor, dengan alasan aluminium memiliki berat jenis yang rendah, lebih murah dan ringan jika dibandingkan dengan bahan - bahan penghantar lainnya. Konduktivitas termal sangat penting peranannya jika digunakan sebagai alat - alat penukar kalor, karena material yang digunakan berfungsi memindahkan energi panas untuk meningkatkan temperatur pada fluida kerja yang lain. Maka dari itu dibutuhkan suatu material dengan konduktivitas termal yang baik dan memiliki ketahanan pada temperatur tinggi.

2.2.2. Pengaruh Unsur - unsur Paduan

Unsur paduan yang digunakan dalam paduan aluminium sangat berpengaruh pada sifat - sifat yang dimiliki oleh aluminium tersebut. Dibawah ini uraian singkat tentang macam unsur paduan dan pengaruhnya terhadap sifat aluminium. (Surdia, 1992 :135) :

1. Silikon

Penambahan silikon pada aluminium akan meningkatkan sifat mampu tuang pada proses pengecoran. Aluminium mempunyai ketahanan korosi yang baik, sangat ringan, koefisien pemuaian yang kecil, dan sebagai penghantar listrik dan panas yang baik. Keuntungan penambahan silikon pada aluminium, dimana penambahan silikon akan berpengaruh pada peningkatan kekuatan tarik dan kekerasan serta berperan dalam penurunan keuletan dari paduan aluminium.

2. Magnesium

Aluminium yang dipadu dengan magnesium bersifat ringan serta ketahanan korosi yang sangat baik. Penambahan 2 – 3 % Mg pada aluminium dapat menghasilkan paduan yang mudah ditempa, dirol, dan diekstrusi. Penambahan unsur paduan ini yang memiliki titik cair rendah pada aluminium, dapat ditambahkan dalam bentuk dasarnya atau tanpa merubah wujud asli dari unsur paduan tersebut. Dimana dalam hal ini, magnesium adalah unsur paduan dengan titik cair yang rendah yaitu 650 °C, sehingga dalam peleburannya dapat dilakukan bersama dengan unsur utamanya, yaitu aluminium (Heine, 1990:268).

3. Silikon dan Magnesium

Perpaduan silikon dan magnesium dengan aluminium akan membentuk magnesium silikat (Mg_2Si). Kebanyakan paduan aluminium mengandung Si, sehingga penambahan Mg sangat diperlukan untuk memperoleh efek pengerasan dari Mg_2Si . Tetapi paduan ini menjadi getas sehingga untuk mengurangi hal tersebut penambahan magnesium dibatasi dari 0,03 % sampai 0,1 % (Heine, 1990:302).

4. Tembaga

Tembaga merupakan unsur paduan yang paling banyak meningkatkan kekuatan tarik, memperbaiki sifat mampu mesin, meningkatkan ketahanan korosi dan kekerasan pada paduan aluminium. Selain itu penambahan tembaga yang berlebihan dapat mengurangi keuletan paduan aluminium. Dengan penambahan tembaga

konduktivitas termal paduan akan semakin meningkat, karena tembaga merupakan material penghantar yang lebih baik jika dibandingkan dengan aluminium.

5. Nikel

Paduan aluminium dengan nikel akan menghasilkan suatu sistem pengerasan pengendapan. Penambahan Ni dan Mn secara bersama - sama sangat efektif untuk memperbaiki keuletan aluminium.

6. Mangan

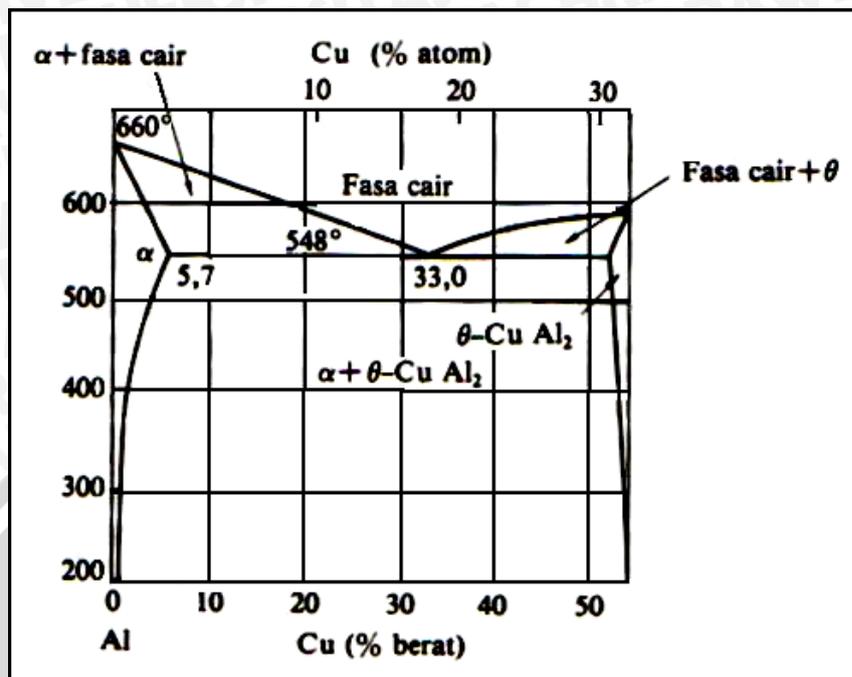
Mangan mempunyai sifat memperbaiki ketahanan korosi dan dengan penambahan Mg dipergunakan sebagai paduan tahan korosi tanpa memerlukan perlakuan panas.

7. Chromium

Penambahan chromium dapat memperbaiki ketahanan korosi, sifat mampu las, tahan panas dan tidak mudah teroksidasi. Akan tetapi penambahan chromium pada paduan aluminium yang berlebihan akan menurunkan sifat mampu bentuknya.

2.2.3. Paduan Aluminium Tembaga (Al – Cu)

Adalah suatu jenis paduan aluminium dengan bahan paduan utamanya adalah tembaga 3,5 – 5,0 % Cu; 0,4 - 0,7 % Mg; dan 0,5 % Mn. Nama lain dari paduan aluminium ini adalah *duralumin* (seri 2017) dengan berat jenis 2,8 kg/dm³. Penambahan *copper* dimaksudkan untuk memperbaiki sifat mampu mesin, meningkatkan kekerasan, meningkatkan konduktivitas termal dan ketahanan korosi. Pada suhu 380 °C sampai 470 °C dapat ditempa dengan baik dan juga dapat dikerjakan dingin (dirol, ditarik, dipress). Kekerasan dan kekuatan setelah dikeraskan dapat menyamai baja, tetapi sebagai fase tunggal (sesudah *solution treatment*, sebelum proses *aging*) ia akan melunak, ulet, dan mudah dibentuk Untuk modifikasi paduan, biasanya ditambahkan Mg dan Mn dengan komposisi 4,5 % Cu; 1,5 % Mg; dan 0,5 % Mn sehingga didapatkan paduan dengan kekerasan yang tinggi dan sifat mampu bentuk yang rendah, paduan ini disebut dengan *duralumin super* (seri 2024).



Gambar. 2.3. Diagram Fasa Al – Cu
Sumber : Surdia (1992 :129)

2.3 Perpindahan Panas

Perpindahan panas (*Heat Transfer*) adalah ilmu yang bertujuan untuk meramalkan atau mengetahui mekanisme dari perpindahan energi karena perbedaan suhu atau temperatur diantara benda atau material. Dari cabang ilmu termodinamika, telah kita ketahui bahwa energi yang berpindah itu dinamakan kalor (*heat*). Ilmu perpindahan kalor tidak hanya menjelaskan bagaimana energi kalor itu berpindah dari satu benda ke benda lain, tetapi juga untuk meramalkan laju perpindahan yang terjadi pada kondisi – kondisi tertentu.

Kalor dapat berpindah melalui tiga macam cara, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Ketiga cara tersebut selalu membutuhkan perbedaan temperatur, dan kalor selalu berpindah dari temperatur tinggi ke temperatur rendah.

Apabila terdapat dua buah benda yang berbeda temperatur dikontakkan, maka panas akan mengalir dari temperatur yang lebih tinggi ke temperatur yang lebih rendah. Mekanisme perpindahan panas yang terjadi dapat berupa perpindahan panas konduksi, konveksi atau bahkan radiasi. Jika dilihat dari segi ilmu material, perambatan energi panas pada material padat dapat terjadi yang disebabkan oleh tabrakan atau tumbukan

antara elektron *valensi* dari suatu material yang selalu bergerak secara acak atau rambang.

Semakin tinggi temperatur maka semakin tinggi pula gerakan secara acak dari elektron tersebut, sedangkan semakin besar ukuran butiran maka semakin besar pula energi dan momentum yang dimiliki oleh butiran tersebut. Pada suatu proses pemanasan terjadi pengaktifan gerakan dari molekul – molekul pada suatu bahan tersebut, sedangkan pada proses pendinginan terjadi proses pengurangan gerakan molekul – molekul dari suatu material (Cabe, 1985).

2.3.1. Perpindahan Panas Konduksi Keadaan Tunak (*steady state*)

Perpindahan panas konduksi adalah proses perpindahan panas yang mengalir dari temperatur tinggi ke rendah tanpa diikuti perpindahan massa media perantaranya. Sedangkan keadaan tunak (*steady state*) sendiri mempunyai arti bahwa suatu proses perpindahan panas secara konduksi pada suhu yang tetap menurut waktu, atau dengan kata lain aliran energi panas yang mengalir temperaturnya tidak berubah – ubah. Jika pada suatu benda terdapat suatu gradien suhu (*temperature gradient*), maka akan terjadi perpindahan energi dari bagian bersuhu tinggi ke bagian bersuhu rendah. Pada materi padat, proses perpindahan kalor secara konduksi bila dilihat secara atomik merupakan pertukaran energi kinetik antar molekul (atom), dimana partikel yang energinya rendah dapat meningkat dengan menumbuk partikel yang berenergi lebih tinggi. Kita katakan bahwa energi berpindah secara konduksi atau hantaran dan bahwa laju perpindahan kalor itu berbanding dengan gradien suhu normal.

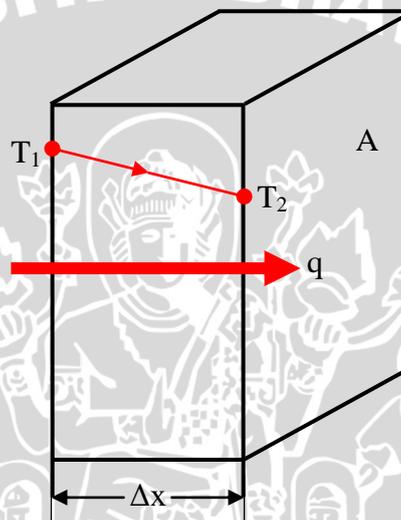
$$\frac{q}{A} \approx \frac{\partial T}{\partial x} \quad (\text{Holman; 1988: 2}) \quad (2.1)$$

Jika dimasukkan konstanta proporsionalitasnya atau tetapan sebanding, maka :

$$q = -k.A \frac{dT}{dx} \quad (\text{Holman; 1988: 2}) \quad (2.2)$$

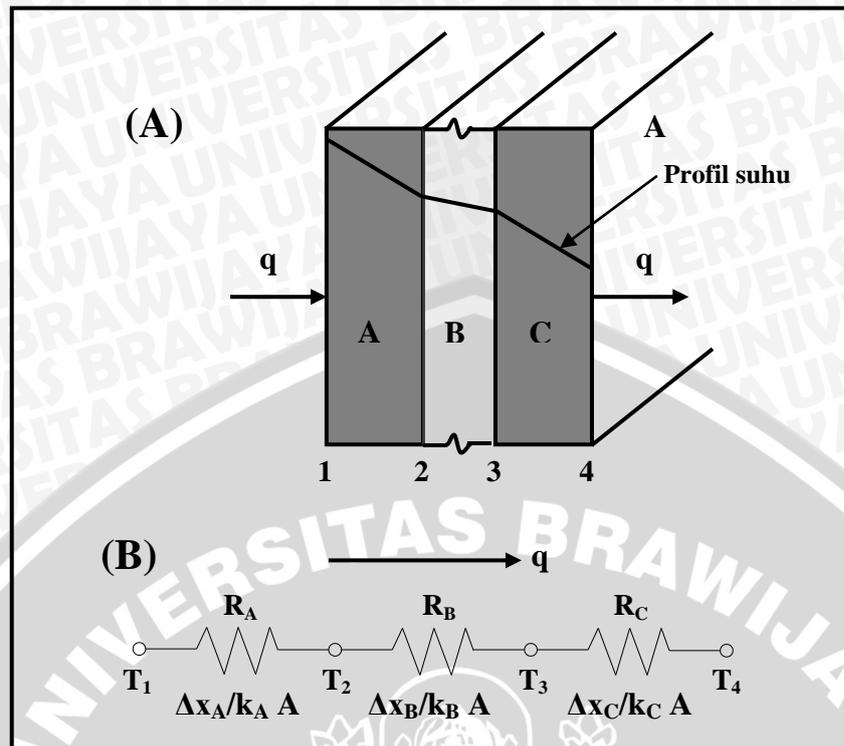
Dengan :

- q = Laju perpindahan panas konduksi (Watt)
- k = Konduktivitas termal bahan ($\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$), tanda minus diselipkan agar memenuhi hukum kedua termodinamika yaitu kalor mengalir ketempat yang lebih rendah dalam skala suhu.
- A = Luas panas (m^2)
- dT = Beda temperatur pada penampang ($^\circ\text{C}$)
- dx = Tebal material (m)



Gambar. 2.4. Perpindahan panas konduksi melalui dinding datar
Sumber : Cengel (1998 :18)

Pada penelitian ini proses perpindahan panas konduksi keadaan tunak (*steady state*) pada material yang berlapis dan dengan material yang berbeda pula atau yang sering disebut perpindahan panas konduksi keadaan tunak satu dimensi pada tahanan seri. Secara prinsip hampir sama dengan perpindahan panas konduksi pada dinding datar, yang membedakan hanyalah energi panas yang mengalir melewati beberapa buah material dengan nilai konduktivitas termal yang berbeda, dan dimensi material yang berbeda sehingga membutuhkan rumusan yang berbeda dengan perpindahan panas konduksi pada dinding datar.



Gambar. 2.5. A. Perpindahan panas konduksi melalui dinding komposit, B. Analogi listriknya
Sumber : Holman (1988: 27)

2.4 Konduktivitas Logam (*Metallic Conductivity*)

Konduktivitas termal adalah suatu besaran intensif bahan yang menunjukkan kemampuannya untuk menghantarkan panas. Logam memiliki konduktivitas yang tinggi karena elektron – elektronnya dapat dengan mudah bermigrasi melalui kisi. Hukum *Wiedman – Franz* menunjukkan bahwa ratio konduktivitas listrik dan panas hampir sama. Elektron *valensi* atau awan elektron bergerak dalam logam sebagai elektron bebas, elektron bebas adalah elektron yang dapat bergerak bebas keluar dari inti atom karena jumlah pada orbit tersebut kurang dari setengahnya dan terjadi gaya tarik menarik antar elektron *valensi* (ikatan logam), jadi tidak terdapat pemindahan muatan bila tidak ada energi listrik atau panas. Energi termal dipindahkan melalui tabrakan antar elektron *valensi*, pemanasan menyebabkan energi kinetik pada elektron *valensi* meningkat sehingga terjadi tabrakan antar elektron tersebut yang membawa momentum dan energi panas. Ketidakteraturan pada kisi kristal akan menghambat dari gerak elektron *valensi* dikarenakan adanya pembiasan energi tersebut. Ketidakteraturan itu sendiri disebabkan karena temperatur, unsur paduan, dan jenis perlakuan panas yang tidak sesuai. Temperatur adalah suatu jenis faktor peningkatan hambatan atau resistansi

panas dan listrik, temperatur yang mendekati titik lebur atau titik kritis akan meningkatkan ketidak teraturan pada kisi kristal.

Tabel 2.2. Koefisien Konduktivitas Termal Berbagai Macam Zat

Jenis benda	Konduktivitas Termal (k)	
	J/m.s.°C	Kkal/m.s.°C
Perak	420	1000 x 10 ⁻⁴
Tembaga	380	920 x 10 ⁻⁴
Emas	318	757 x 10 ⁻⁴
Aluminium	200	500 x 10 ⁻⁴
Baja	40	110 x 10 ⁻⁴
Es	2	5 x 10 ⁻⁴
Kaca (biasa)	0,84	2 x 10 ⁻⁴
Bata	0,84	2 x 10 ⁻⁴
Air	0,56	1,4 x 10 ⁻⁴
Kayu	0,08 - 0,16	0,2 x 10 ⁻⁴ - 0,4 x 10 ⁻⁴
Gabus	0,042	0,1 x 10 ⁻⁴
Wol	0,040	0,1 x 10 ⁻⁴
Busa	0,024	0,06 x 10 ⁻⁴
Gas	0,023	0,055 x 10 ⁻⁴

Sumber : www.gurumuda.com/2009/03/konduksi/

2.4.1. Konduktivitas Termal pada Aluminium

Aluminium adalah logam yang memiliki nomor atom 13, yang berarti ada 3 elektron *valensi* pada orbit terluar. Elektron *valensi* (awan elektron) itulah yang jika diberi energi (panas) akan bergetar sehingga terjadi energi kinetik pada elektron, dengan bergetarnya elektron tersebut maka energi (panas) akan terhantar. Getaran atom akan meningkat manakala temperatur naik. Jumlah elektron pada orbit terluar akan menentukan baik tidaknya hantaran listrik, selain itu nilai tahanan dari material juga akan mempengaruhi baik atau tidaknya material tersebut dalam menghantarkan panas atau listrik yang dapat ditunjukkan oleh persamaan sebagai berikut :

$$q = \frac{\Delta T}{\Sigma R} \quad (\text{Holman; 1988: 27}) \quad (2.3)$$

Dimana $\frac{\Delta T}{\Sigma R}$ adalah beda temperatur dibagi tahanan termal dalam kasus ini beda temperatur dianggap konstan, dan q adalah laju aliran panas. Dari persamaan tersebut dapat dilihat bahwa semakin kecil tahanan termal maka laju aliran kalor akan semakin besar karena ΣR adalah berbanding terbalik dengan nilai konduktivitas termal atau k .

2.4.2. Thermal Conductivity Measuring Apparatus

Thermal Conductivity Measuring Apparatus adalah suatu alat yang berfungsi untuk mengetahui nilai konduktivitas termal dari suatu material (logam atau non – logam). Cara kerja dari alat ini adalah dengan memanaskan suatu media penghantar sampai temperatur tertentu, sedangkan pada daerah tertentu diberi suatu tahanan yang dalam hal ini adalah material yang ingin didapatkan nilai konduktivitas termalnya. Data diperoleh dalam bentuk temperatur pada 10 titik pengukuran *thermocouple* yang terpasang dari ujung media penghantar (tembaga) yang terdapat pemanas atau *heater*. Material yang akan diukur nilai konduktivitasnya diletakkan diantara media penghantar baik itu non - logam atau material logam yang disebut tahanan.

Dasar persamaan yang dipakai alat ini untuk mencari nilai konduktivitas termal adalah dari persamaan *Fourier* seperti yang telah ditunjukkan pada persamaan 2.3, akan tetapi pada pengujian ini menggunakan metode perpindahan panas konduksi pada material komposit, maka menggunakan persamaan yang telah dituliskan di bawah. Prinsipnya adalah beda temperatur pada titik awal pengukuran (T_1) dan titik akhir pengukuran (T_{10}), semakin besar beda temperatur maka laju kalor yang berpindah pada setiap material baik itu material penghantar atau material uji akan berbeda yang menyebabkan nilai konduktivitas termal dari spesimen akan menurun begitu juga sebaliknya. Jika temperatur awal (T_1) ditentukan 100 °C pada titik pengukuran pertama dan titik pengukuran terakhir (T_{10}) dibatasi oleh temperatur ruang yang artinya temperatur pada titik terakhir pengukuran (T_{10}) tidak mungkin di bawah 26 °C. Secara tidak langsung semakin besar temperatur pada titik terakhir (T_{10}) tersebut maka konduktivitas termal akan meningkat begitu juga sebaliknya. Alat ini menggunakan dua buah spesimen dengan diameter yang sama dan ketebalan yang berbeda, hal tersebut bertujuan untuk mengoreksi antara spesimen yang satu dengan yang lainnya. Adapun persamaan yang digunakan dalam mencari nilai konduktivitas termal dengan menggunakan alat ini adalah sebagai berikut :

- Selisih rata – rata temperatur dari 10 titik pengukuran :

$$\Delta t_R = \frac{\Delta t_{1,2} + \Delta t_{2,3} + \Delta t_{3,4} + \Delta t_{7,8} + \Delta t_{8,9} + \Delta t_{9,10}}{6} \quad (^\circ\text{C}) \quad (2.4)$$

- Nilai konduktivitas termal pada spesimen pertama :

$$\lambda_a' = \frac{\Delta t_R}{\Delta t_a} \times \frac{L_a}{L_R} \times \lambda_R \quad (\text{kcal/mhr.}^\circ\text{C}) \quad (2.5)$$

- Nilai konduktivitas termal pada spesimen kedua :

$$\lambda_b' = \frac{\Delta t_R}{\Delta t_b} \times \frac{L_b}{L_R} \times \lambda_R \quad (\text{kcal/mhr.}^\circ\text{C}) \quad (2.6)$$

Sehingga nilai konduktivitas termal suatu spesimen adalah sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{L_b - L_a}{\frac{L_b}{\lambda_b'} - \frac{L_a}{\lambda_a'}} \quad (\text{kcal/mhr.}^\circ\text{C}) \quad (2.7)$$

Dengan :

L_a = Tebal spesimen pertama (2 mm)

L_b = Tebal spesimen kedua (4 mm)

λ_R / k_R = Nilai konduktivitas termal penghantar (320 kcal/mhr. $^\circ\text{C}$)

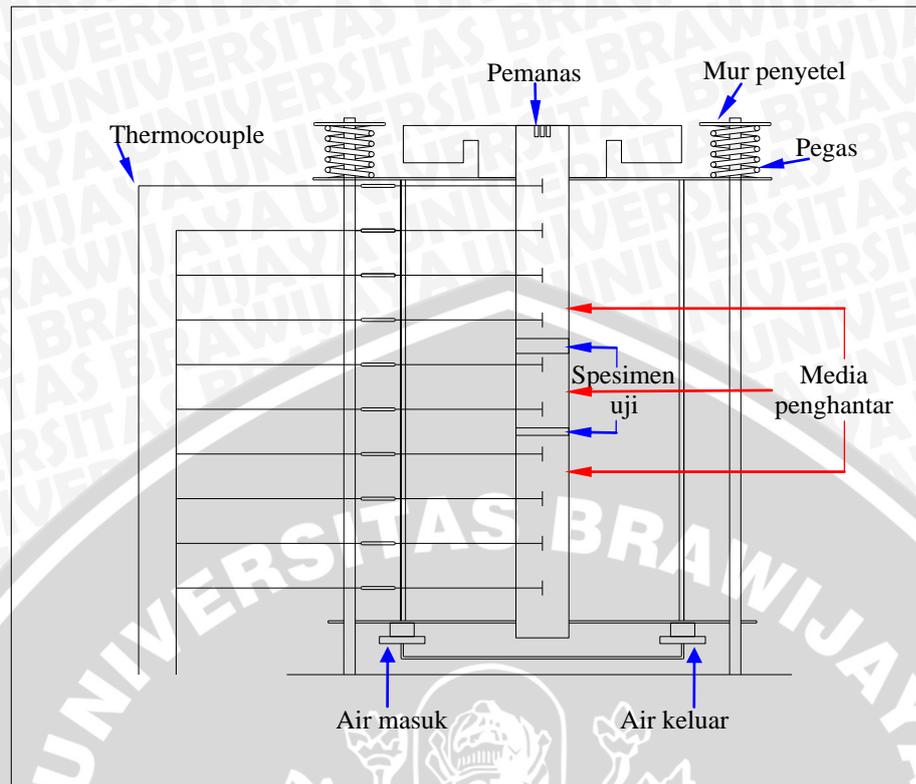
λ_a' / k_a = Nilai konduktivitas termal spesimen pertama (kcal/mhr. $^\circ\text{C}$)

λ_b' / k_b = Nilai konduktivitas termal spesimen kedua (kcal/mhr. $^\circ\text{C}$)

Δt_R = Selisih rata – rata temperatur dari setiap titik ($^\circ\text{C}$)

Δt_a = Selisih temperatur sebelum dan setelah melewati spesimen pertama ($^\circ\text{C}$)

Δt_b = Selisih temperatur sebelum dan setelah melewati spesimen kedua ($^\circ\text{C}$)



Gambar. 2.6. Instalasi uji konduktivitas termal
 Sumber : Laboratorium Fenomena Dasar Mesin,
 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawlajaya

2.5 Perlakuan Panas *Annealing*

Annealing adalah salah satu proses perlakuan panas yang bertujuan untuk menghaluskan struktur butiran, menghilangkan atau mengurangi tegangan dalam, dan sedikit melunakan material. Dengan semakin halusya ukuran butiran maka hambatan termal (gas yang bersifat *isolator*) yang terdapat pada sela – sela butiran akan berkurang dimensinya yang secara tidak langsung akan menaikkan konduktivitas termal.

Proses perlakuan panas *annealing* adalah dengan memberi energi panas (*heating*) dari dapur listrik pada temperatur ($\pm 300\text{ }^{\circ}\text{C} - 548\text{ }^{\circ}\text{C}$) atau sampai mendekati titik leburnya. Penahanan dilakukan pada rentan waktu 5 – 20 menit yang bertujuan untuk memberikan waktu untuk penyeragaman ukuran butiran. Setelah 5 – 20 menit ditahan atau *holding*, logam kemudian didinginkan dengan media udara diam (konveksi alamiah) sampai temperatur ruangan ($\pm 25\text{ }^{\circ}\text{C} - 27\text{ }^{\circ}\text{C}$). Selain untuk menyeragaman struktur butiran, *holding* juga berfungsi agar distribusi temperatur pada setiap titik spesimen yang diberi perlakuan panas sama, karena energi panas membutuhkan waktu untuk menaikkan temperatur disetiap titik.

Setelah diperoleh distribusi temperatur disetiap titik sama, maka secara tidak langsung kecepatan dari gerakan elektron sama yang menyebabkan terjadinya kesamaan ukuran dari butiran tersebut. Perbedaan proses *annealing* antara aluminium dengan logam lain adalah, jika pada paduan aluminium atau non - *ferro* setelah proses perlakuan panas dilanjutkan dengan proses *aging* atau pengerasan penuaan, sedangkan pada logam lain tidak mengalami proses *aging*.

Proses *aging* pada suhu rendah akan terjadi pengerasan yang relatif lambat, hal ini disebabkan proses difusi yang lambat. Pada suhu tinggi (pertengahan) *aging* akan menyebabkan cepat terjadinya presipitasi tetapi juga diikuti pelunakan, sehingga hasil akhirnya kekerasan menjadi rendah. Pada suhu optimum, kekerasan maksimum terjadi dalam waktu yang cukup panjang.

Pada proses *aging* terjadi perubahan struktur presipitat, bahkan terjadi presipitat transisi sebelum terjadi presipitat keseimbangan. Suhu *aging* yang tinggi menyebabkan fase yang dihasilkan lebih stabil dengan stabilitas dimensi yang baik. Paduan yang sering ditelaah adalah paduan aluminium tembaga (Al - Cu) karena pada proses *aging* terjadi beberapa kali perubahan struktur presipitatnya.

Temperatur *annealing* pada logam non - *ferrous* sangat beragam, hal tersebut tergantung jenis bahan dan komposisi bahan yang terkandung dalam suatu material. Selain itu komposisi unsur tambahan atau unsur paduan juga sangat berpengaruh pada range temperatur *annealing* yang digunakan, semakin tinggi titik lebur suatu material semakin besar pula range temperatur *annealing* yang dapat digunakan. Pemanasan material di awal proses *annealing* memberikan kesempatan pada atom - atom dalam material tersebut untuk bergerak secara bebas mengingat energi dalam kondisi panas yang tinggi. Setelah mengalami proses pemanasan kemudian dilakukan proses pendinginan secara perlahan memungkinkan atom - atom yang tadinya bergerak secara bebas menemukan tempat yang optimum dimana energi internal yang dibutuhkan atom tersebut untuk mempertahankan posisinya adalah minimum.

2.5.1. Pengaruh Hidrogen dan Oksigen

Paduan aluminium tembaga merupakan salah satu paduan logam non - *ferrous* yang sangat reaktif dengan udara luar yang akan membentuk lapisan tipis yang dengan cepat menutupi permukaan aluminium, lapisan tipis itu adalah aluminium oksida Al_2O_3 . Aluminium oksida merupakan penghambat (isolator) panas dan listrik namun sangat berperan penting pada ketahanan aluminium terhadap perkaratan dengan udara.

Pada saat pabrikan aluminium dan tembaga dipadu pada kondisi cair, dan pada saat cair tersebut paduan mengabsorpsi hidrogen dan oksigen dalam bentuk atom. Hidrogen dalam paduan aluminium yang mengandung oksigen tidak menempati kisi atom yang akan membentuk berbagai cacat dalam batas butir. Semakin banyak kandungan hidrogen dan oksigen yang terdapat pada paduan akan menurunkan nilai konduktivitas termal dan konduktivitas listrik dari paduan aluminium tersebut.

Jumlah gas - gas tersebut dapat dikurangi atau bahkan dihilangkan dengan berbagai cara yang antara lain dengan perlakuan panas *annealing*. Perlakuan panas *annealing* akan memberikan pemanasan pada gas tersebut yang kemudian akan keluar dari material yang disebut oksidasi.

2.5 Hipotesa

Semakin tinggi temperatur *annealing* akan menjadikan struktur butiran paduan aluminium akan semakin seragam, karena ruang di antara butiran yang berisi gas sebagai isolator panas akan semakin berkurang, sehingga konduktivitas termal paduan aluminium tembaga (Al – Cu) akan meningkat.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metodologi Penelitian

Adapun jenis metode penelitian yang digunakan adalah riset bersifat percobaan (*experimental research*). Jenis penelitian ini digunakan untuk menguji pengaruh dari suatu perlakuan atau desain baru terhadap suatu proses atau peristiwa.

3.2 Tempat dan Waktu Pelaksanaan Penelitian

Untuk memperoleh data yang akan dipakai dalam penelitian pengaruh variasi temperatur *annealing* terhadap konduktivitas termal pada paduan aluminium tembaga, maka penelitian dilakukan pada bulan April sampai selesai pada laboratorium sebagai berikut :

1. Laboratorium Fenomena Dasar Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya Malang.
2. Laboratorium Uji Material, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya Malang.

3.3 Variabel Penelitian

1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang tidak dipengaruhi oleh variabel lain, besarnya ditentukan oleh peneliti dan harganya diubah – ubah untuk mendapatkan hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat. Dalam hal ini, variabel bebasnya adalah variasi temperatur perlakuan panas *annealing*, yaitu : 300 °C, 350 °C, 400 °C, 450 °C, 500 °C.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tergantung dari variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah konduktivitas termal paduan aluminium tembaga.

3. Variabel Kendali

Variabel kendali adalah variabel yang ditentukan dalam penelitian yang tidak boleh diubah – ubah. Variabel kendali dalam penelitian ini adalah waktu *holding*, yaitu 5 menit, 10 menit, dan 15 menit.

Alat dan Bahan

3.4.1. Alat yang digunakan

1. Dapur Listrik

Adalah alat yang digunakan untuk memanaskan (*heating*) pada masing - suhu *annealing*, menahan pada temperatur yang sama (*holding*), dan pendinginan (*cooling*) dapur sampai temperatur yang ditentukan. Adapun spesifikasi dari dapur yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

Merk	: WARMEBAU HOFMANN
Tipe	: E / 90
Voltage	: 220 volt
Daya	: 3,3 kW
Suhu maksimum	: 1100 °C
Buatan	: Austria



Gambar. 3.1. Dapur Listrik

Sumber : Laboratorium Uji Material, Jurusan Teknik Mesin,
Universitas Brawijaya Malang.

2. *Thermal Conductivity Measuring Apparatus*

Adalah alat yang digunakan untuk mengukur nilai koefisien konduktivitas termal dari sebuah material baik itu material non - logam atau material logam.

Adapun spesifikasi dari alat ini adalah sebagai berikut :

Model	: HVS – 40 – 200 SE
Temperatur maksimum	: 200 °C
Produksi	: OGAWA SEIKI CO. LTD
Tahun pembuatan	: 1987



Gambar. 3.2. *Thermal Conductivity Measuring Apparatus*

Sumber : Laboratorium Fenomena Dasar Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya Malang.

3. *Stopwatch*

Digunakan untuk mengetahui lama waktu penahanan temperatur (*holding*) setelah proses pemanasan (*heating*).

4. Tang Penjepit

Digunakan untuk mengeluarkan spesimen dari dapur setelah perlakuan panas.

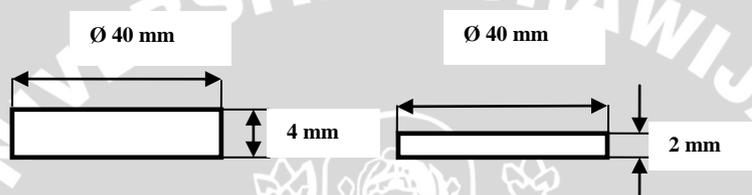
3.4.2. **Bahan yang digunakan**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah paduan aluminium tembaga (Aluminium seri 2017) dengan komposisi utamanya adalah Al 91,4 % dan Cu 5,39 %.

3.5 Prosedur Penelitian

❖ Persiapan material

1. Material dengan panjang 1,6 meter dipotong dengan tebal 4 mm dan 2 mm. Sehingga didapatkan satu pasang spesimen (2 mm dan 4 mm) untuk setiap variasi temperatur *annealing* dan waktu *holding*.
2. Mengurangi diameter awal spesimen yaitu 45 mm menjadi 40 mm dengan mesin bubut.
3. Proses menghaluskan permukaan spesimen setelah dibubut dengan menggunakan kertas gosok.



Gambar. 3.3. Spesimen Uji Konduktivitas Termal

❖ Proses perlakuan panas

1. Persiapan dan pengecekan alat ukur (*stopwatch*), alat pendukung (tang penjepit) serta menyetel sesuai dengan variabel yang telah ditentukan.
2. Menyiapkan alas yang rata (kaca) yang berfungsi untuk melakukan pendinginan udara ruang. Hal tersebut bertujuan agar pada saat memanaskan sampai mendekati titik lebur spesimen tidak mengalami perubahan bentuk yang dikarenakan alas yang digunakan tidak rata.
3. Spesimen dimasukkan dalam dapur listrik, kemudian dipanaskan pada tiap – tiap variasi temperatur *annealing*, kemudian ditahan atau *holding* dalam dapur selama 5 menit. Begitu juga pada spesimen dengan waktu *holding* 10 menit dan 15 menit.
4. Setelah pemanasan dilanjutkan dengan pendinginan lambat di udara hingga mencapai temperatur ruang yaitu $\pm 25\text{ }^{\circ}\text{C} - 27\text{ }^{\circ}\text{C}$.

❖ Pengujian konduktivitas termal

1. Persiapan spesimen yang akan diuji dan pengecekan alat ukur suhu (*termocouple*) serta menyetel sesuai dengan variabel yang telah ditentukan.

2. Spesimen dipasang pada alat uji konduktivitas termal, dimana spesimen dengan tebal 4 mm di atas dan spesimen dengan tebal 2 mm di bawah dengan temperatur awal 25 °C – 27 °C.
3. Batang logam dan spesimen ditutup dengan selubung penutup (isolator) untuk menghindari pengaruh konveksi dari luar.
4. Suhu pemanasan maksimum diatur pada 100 °C.
5. *Heater* dinyalakan dan ditunggu beberapa saat sampai suhu benar – benar stabil mencapai 100 °C.
6. Data temperatur diambil pada 10 titik sensor temperatur (*termocouple*).
7. Pengulangan dilakukan sebanyak tiga kali untuk tiap – tiap perbedaan temperatur *annealing* dan tiap waktu *holding* yang berbeda.
8. Untuk pergantian jenis spesimen dengan temperatur *annealing* yang berbeda, dan waktu *holding* yang berbeda, batang penghantar ditunggu sampai dingin sampai temperatur ruang dan dilakukan pengulangan langkah 2 sampai 6.

3.6 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian ini merupakan cara untuk menentukan keberhasilan suatu penelitian atau eksperimen, dan juga menentukan analisa yang tepat sehingga didapat suatu analisa dan kesimpulan yang tepat pula.

Pencatatan data merupakan hal yang sangat penting dalam proses analisa data untuk memperoleh informasi tentang suatu hal yang benar. Oleh karena itu diperlukan ketelitian serta adanya sampel yang cukup mewakili populasi dari permasalahan yang akan diteliti.

Model perancangan percobaan yang sesuai dalam penelitian ini akan diteliti pengaruh variasi temperatur *annealing* (300 °C, 350 °C, 400 °C, 450 °C, 500 °C) terhadap nilai konduktivitas termal paduan aluminium tembaga (Al – Cu). Metode rancangan percobaan dengan keadaan ini adalah rancangan acak lengkap dengan satu faktor, karena hanya satu faktor yang diamati yaitu konduktivitas termal paduan aluminium tembaga. Hasil pengukuran berupa besar konduktivitas termal dari masing spesimen akan ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 3.1. Rancangan penelitian untuk masing – masing nilai konduktivitas termal

Variasi temperatur <i>annealing</i> (°C)	Konduktivitas termal (Watt/m.°C)		Rata - rata
300	I	k_{11}	\bar{k}_1
	II	k_{12}	
	III	k_{13}	
350	I	k_{21}	\bar{k}_2
	II	k_{22}	
	III	k_{23}	
400	I	k_{31}	\bar{k}_3
	II	k_{32}	
	III	k_{33}	
450	I	k_{41}	\bar{k}_4
	II	k_{42}	
	III	k_{43}	
500	I	k_{51}	\bar{k}_5
	II	k_{52}	
	II	k_{53}	

3.7 Analisa Statistik

Untuk mengolah data yang telah diperoleh dipergunakan analisis varian dua arah. Dengan analisis varian dua arah akan diketahui ada tidaknya pengaruh dari variasi temperatur *annealing* (faktor A) dan pengaruh variasi waktu *holding* (faktor B) serta pengaruh interaksi keduanya (faktor AB) terhadap konduktivitas termal paduan aluminium tembaga (Al – Cu).

Faktor A mempunyai level A_1, A_2, \dots, A_r dan faktor B mempunyai level B_1, B_2, \dots, B_c . Jika jumlah pengamatan tiap sel adalah t kali dari rancangan dua kategori A dan B serta masing-masing kategori terdiri atas r dan c level. Bila pengaruh interaksi antar faktor A pada level ke i dan faktor B pada level ke j dinyatakan dengan $(\alpha\beta)_{ij}$. Maka nilai setiap pengamatan ditulis dengan model matematika sebagai berikut:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

dengan:

- Y_{ijk} : nilai setiap pengamatan
 μ : nilai rata - rata dari seluruh pengamatan
 α_i : pengaruh faktor temperatur *annealing* ke i
 β_j : pengaruh faktor waktu *holding* ke j
 $(\alpha\beta)_{ij}$: pengaruh interaksi faktor temperatur *annealing* ke i dan faktor waktu *holding* ke j
 ε_{ijk} : simpangan pengamatan

Yang akan diuji dari pengamatan ini adalah :

1. α : pengaruh (efek) dari faktor temperatur *annealing*
2. β : pengaruh (efek) dari faktor waktu *holding*
3. $\alpha\beta$: pengaruh interaksi dari faktor temperatur *annealing* dan faktor waktu *holding*

Adapun hipotesis yang dipergunakan adalah sebagai berikut :

1. $H_0^1: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_i$ (tidak ada pengaruh variasi temperatur *annealing* terhadap konduktivitas termal paduan aluminium tembaga).
 H_1^1 : paling sedikit satu $\alpha_i \neq 0$ (ada pengaruh variasi temperatur *annealing* terhadap konduktivitas termal paduan aluminium tembaga)
2. $H_0^2: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_j$ (tidak ada pengaruh variasi waktu *holding* terhadap konduktivitas termal paduan aluminium tembaga)
 H_1^2 : paling sedikit satu $\beta_j \neq 0$ (ada pengaruh variasi waktu *holding* terhadap konduktivitas termal paduan aluminium tembaga)
3. $H_0^3: (\alpha\beta)_{11} = (\alpha\beta)_{12} = \dots = (\alpha\beta)_{ij}$ (tidak ada pengaruh variasi temperatur *annealing* dan waktu *holding* terhadap konduktivitas termal paduan aluminium tembaga)
 H_1^3 : paling sedikit satu $(\alpha\beta)_{ij} \neq 0$ (ada pengaruh variasi temperatur *annealing* dan waktu *holding* terhadap konduktivitas termal paduan aluminium tembaga)

Tabel 3.2 Rancangan pengamatan model dua arah dengan pengulangan

Faktor		Waktu <i>holding</i>					S baris	Rata-rata
		B ₁	...	B _j	...	B _c		
Temperatur	A ₁	X ₁₁₁		X _{1j1}		X _{1c1}	T ₁	\bar{X}
		X ₁₁₂		X _{1j2}		X _{1c2}		
			
		X _{11t}		X _{1jt}		X _{1ct}		
	A _i	X _{i11}		X _{ij1}		X _{ict}	T _{i..}	\bar{X}
		X _{i12}		X _{ij2}		X _{ic2}		
			
		X _{i1t}		X _{ijt}		X _{ict}		
	A _r	X _{r11}		X _{rj1}		X _{rc1}	T _{r..}	\bar{X}
		X _{r12}		X _{rj2}		X _{rc2}		
			
		X _{r1t}		X _{rjt}		X _{rct}		
S kolom	T _{.1.}		T _{.j.}		T _{.c.}	T _{...}		
Rata-rata	\bar{X}		\bar{X}		\bar{X}		\bar{X}	

Sumber : Wahyudi (2006 : 96)

Dalam perhitungan menggunakan rumus sebagai berikut :

1. Faktor koreksi (FK)

$$FK = \frac{\left[\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^n Y_{ijk} \right]^2}{rcn} \dots\dots\dots 3.1$$

2. Jumlah kuadrat total (JKT)

$$JKT = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2 - FK \dots\dots\dots 3.2$$

3. Jumlah kuadrat faktor A (JKA)

$$JKA = \frac{\sum_{i=1}^r T_{i..}^2}{cn} - FK \dots\dots\dots 3.3$$



4. Jumlah kuadrat faktor B (JKB)

$$JKB = \frac{\sum_{j=1}^c T_{.j}^2}{rn} - FK \dots\dots\dots 3.4$$

5. Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)

$$JKP = \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c T_{ij}^2}{n} - FK \dots\dots\dots 3.5$$

6. Jumlah pengaruh interaksi faktor A dan faktor B (JKAB)

$$JKAB = JKP - JKA - JKB \dots\dots\dots 3.6$$

7. Jumlah kuadrat galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKA - JKB - JKAB \dots\dots\dots 3.7$$

Apabila masing-masing suku dibagi dengan derajat bebasnya, akan diperoleh nilai varian dari masing-masing suku tersebut. Nilai ini sering disebut dengan kuadrat tengah yang disingkat KT. Nilai varian tersebut adalah :

1. Kuadrat tengah faktor A (KTA)

$$KTA = \frac{JKA}{r-1} \dots\dots\dots 3.8$$

2. Kuadrat tengah faktor B (KTB)

$$KTB = \frac{JKB}{c-1} \dots\dots\dots 3.9$$

3. Kuadrat tengah interaksi faktor A dan faktor B (KTAB)

$$KTAB = \frac{JKAB}{(r-1)(c-1)} \dots\dots\dots 3.10$$

4. Kuadrat tengah galat (KTG)

$$KTG = \frac{JKG}{rc-1} \dots\dots\dots 3.11$$

Untuk menguji ketiga hipotesis diatas kita mencari harga F_{hitung} masing - masing sumber keragaman (faktor temperatur *annealing*, faktor waktu *holding* dan interaksi faktor temperatur *annealing* dan variasi waktu *holding*). Kemudian hasilnya dibandingkan dengan F_{tabel} pada derajat bebas dengan nilai α tertentu. Nilai F_{hitung} dari masing-masing sumber keragaman adalah sebagai berikut :

1. F_{hitung} dari faktor temperatur *annealing*

$$F_1 = \frac{KTA}{KTG} \dots\dots\dots 3.12$$

2. F_{hitung} dari faktor variasi waktu *holding*

$$F_2 = \frac{KTB}{KTG} \dots\dots\dots 3.13$$

3. F_{hitung} dari interaksi faktor temperatur *annealing* dan variasi waktu *holding*

$$F_3 = \frac{KTAB}{KTG} \dots\dots\dots 3.14$$

Tabel 3.3 Analisis varian

Sumber Varian	JK	Db	KT	F_{hitung}	$F\alpha$
Faktor A	JKA	$db_1 = r-1$	KTA	F_1	
Faktor B	JKB	$db_2 = c-1$	KTB	F_2	
Interaksi AB	JKAB	$db_3 = db_1 \cdot db_2$	KTAB	F_3	
Galat	JKG	$db_4 = rc(t-1)$	KTG		
Total	JKT	$rct - 1$			

Sumber: Wahyudi (2006 : 98)

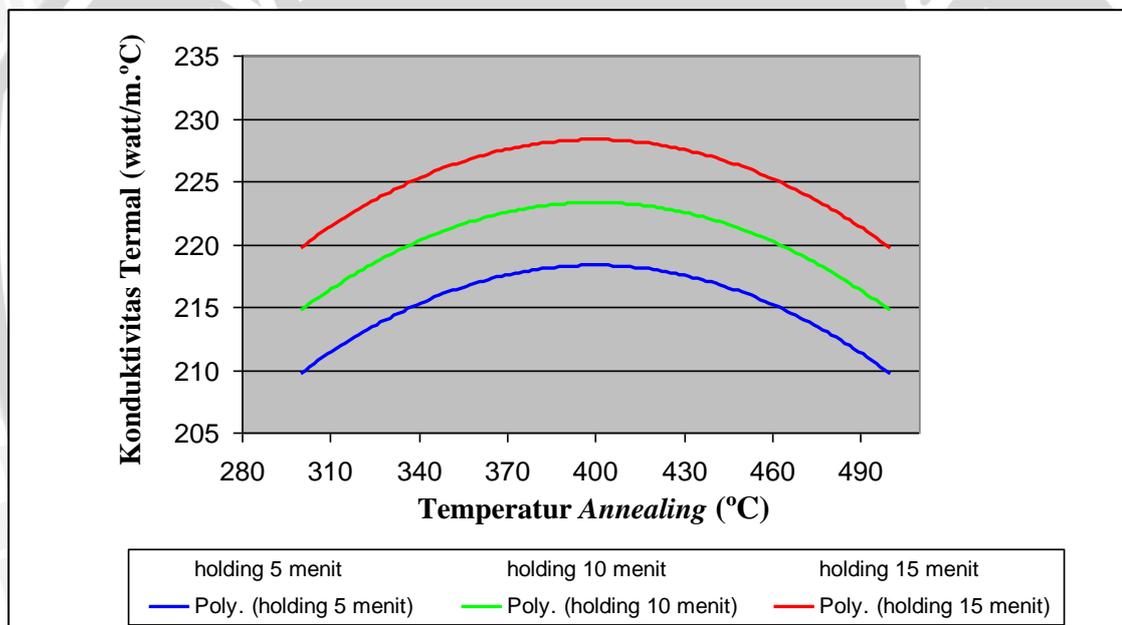
Kesimpulan yang diperoleh:

- I. Bila $F_A \text{ hitung} > F_A \text{ tabel}$ maka H_0^1 ditolak dan H_1^1 diterima, ini berarti bahwa temperatur *annealing* berpengaruh terhadap konduktivitas termal paduan aluminium tembaga (Al – Cu).
- II. Bila $F_B \text{ hitung} > F_B \text{ tabel}$ maka H_0^2 ditolak dan H_1^2 diterima, ini berarti bahwa waktu *holding* berpengaruh terhadap konduktivitas termal paduan aluminium tembaga (Al – Cu).

III. Bila $F_{AB \text{ hitung}} > F_{AB \text{ tabel}}$ Maka H_0^3 ditolak dan H_1^3 diterima, ini berarti bahwa interaksi antara temperatur *annealing* dan waktu *holding* berpengaruh terhadap konduktivitas termal paduan aluminium tembaga (Al – Cu).

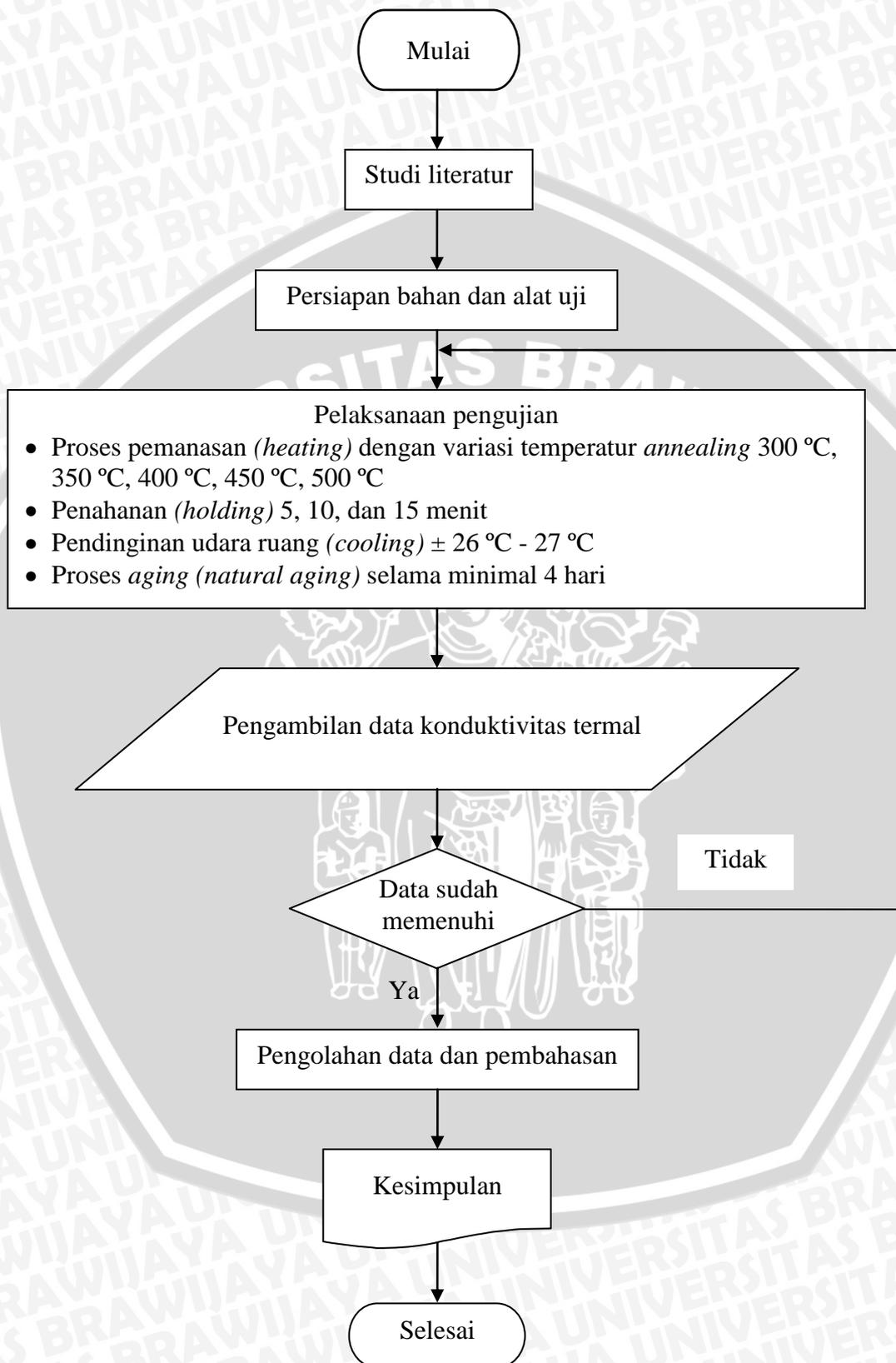
3.8 Rencana Grafik

Dalam penelitian ini, data yang diperoleh dari penelitian kemudian diolah dengan menganalisisnya melalui rumusan dan persamaan yang terdapat pada buku pedoman alat uji *Thermal Conductivity Measuring Apparatus*. Setelah data diolah, maka akan ditampilkan dalam bentuk grafik sehingga mempermudah dalam mengamati pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat. Adapun rencana grafik yang akan dibuat dapat dilihat pada grafik dibawah ini :



Gambar 3.4. Rencana Grafik Penelitian

3.9 Diagram Alur Penelitian



Gambar. 3.5. Diagram alir penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Dari hasil pengujian konduktivitas termal yang dilakukan dengan menggunakan *Thermal Conductivity Measuring Apparatus* pada paduan aluminium tembaga (Al – Cu) dengan variasi temperatur perlakuan panas *annealing*, didapatkan data – data yang ditunjukkan pada tabel dibawah :

Tabel 4.1. Data konduktivitas termal (Watt/m.°C) pada waktu *holding* 5 menit.

Variasi temperatur <i>annealing</i> (°C)	Konduktivitas termal (Watt/m.°C)		Rata - rata
	I	II	
300	I	255	252,67
	II	253	
	III	250	
350	I	286,5	286,17
	II	288	
	III	284	
400	I	302	300,33
	II	304	
	III	295	
450	I	289	287,67
	II	288	
	III	286	
500	I	274	273,17
	II	275	
	II	270,5	

Tabel 4.2. Data konduktivitas termal (Watt/m.°C) pada waktu *holding* 10 menit.

Variasi temperatur <i>annealing</i> (°C)	Konduktivitas termal (Watt/m. °C)		Rata - rata
300	I	260	258,33
	II	257	
	III	258	
350	I	287	287,33
	II	289	
	III	286	
400	I	308	305
	II	305	
	III	302	
450	I	287	284,67
	II	284	
	III	283	
500	I	273,5	270,5
	II	270	
	III	268	

Tabel 4.3. Data konduktivitas termal (Watt/m.°C) pada waktu *holding* 15 menit.

Variasi temperatur <i>annealing</i> (°C)	Konduktivitas termal (Watt/m. °C)		Rata - rata
300	I	263	262,33
	II	264	
	III	260	
350	I	290	292
	II	292	
	III	294	
400	I	310	309,33
	II	310	
	III	308	
450	I	283	281,13
	II	280	
	III	280,4	
500	I	270	268
	II	267	
	III	267,3	

4.2 Analisa Statistik

4.2.1. Analisa Varian

Hasil pengolahan data pengujian perngaruh temperatur *annealing* terhadap konduktivitas termal paduan aluminium tembaga dengan variasi waktu *holding* tersebut kemudian dilakukan analisis statistik dengan menggunakan analisis varian dua arah. Dengan analisa varian dua arah akan diketahui ada tidaknya pengaruh temperatur *annealing*, waktu *holding* dan interaksi keduanya terhadap konduktivitas termal paduan aluminium tembaga. Hipotesis yang digunakan dalam analisis statistik ini adalah:

4. $H_0^1: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_i$ (tidak ada pengaruh variasi temperatur *annealing* terhadap konduktivitas termal paduan aluminium tembaga).
- H_1^1 : paling sedikit satu $\alpha_i \neq 0$ (ada pengaruh variasi temperatur *annealing* terhadap konduktivitas termal paduan aluminium tembaga)

5. $H_0^2: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_j$ (tidak ada pengaruh variasi waktu *holding* terhadap konduktivitas termal paduan aluminium tembaga)
 H_1^2 : paling sedikit satu $\beta_j \neq 0$ (ada pengaruh variasi waktu *holding* terhadap konduktivitas termal paduan aluminium tembaga)
6. $H_0^3: (\alpha\beta)_{11} = (\alpha\beta)_{12} = \dots = (\alpha\beta)_{ij}$ (tidak ada pengaruh variasi temperatur *annealing* dan waktu *holding* terhadap konduktivitas termal paduan aluminium tembaga)
 H_1^3 : paling sedikit satu $(\alpha\beta)_{ij} \neq 0$ (ada pengaruh variasi temperatur *annealing* dan waktu *holding* terhadap konduktivitas termal paduan aluminium tembaga)

4.2.2. Analisis Varian Konduktivitas Termal

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur perlakuan panas *annealing*, waktu *holding* dan interaksi keduanya terhadap konduktivitas termal paduan aluminium tembaga (Al – Cu).

Tabel 4.4. Data konduktivitas termal (Watt/m.°C).

Variasi			Waktu <i> Holding</i>			Σ
			5 menit	10 menit	15 menit	
Temperatur <i> annealing</i> (°C)	300	I	255	260	263	2320
		II	253	257	264	
		III	250	258	260	
	350	I	286,5	287	290	2596,5
		II	288	289	292	
		III	284	286	294	
	400	I	302	308	310	2744
		II	304	305	310	
		III	295	302	308	
	450	I	289	287	283	2560,4
		II	288	284	280	
		III	286	283	280,4	
	500	I	274	273,5	270	2435,3
		II	275	270	267	
		III	270,5	268	267,3	
Σ			4200	4217,5	4238,7	12656,2

Dengan menggunakan perhitungan statistik diperoleh data sebagai berikut :

➤ **Faktor koreksi (FK)**

$$\begin{aligned} \text{FK} &= \frac{\left[\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^n Y_{ijk} \right]^2}{rcn} \\ &= \frac{12656,2^2}{5 \times 3 \times 3} \\ &= 3559542,188 \end{aligned}$$

➤ **Jumlah Kuadrat Total (JKT)**

$$\begin{aligned} \text{JKT} &= \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2 - \text{FK} \\ &= [(255)^2 + (286,5)^2 + \dots + (267,3)^2] - 3559542,188 \\ &= 3571706,2 - 3582077,654 \\ &= 12164,012 \end{aligned}$$

➤ **Jumlah Kuadrat pengaruh A (JKA)**

$$\begin{aligned} \text{JKA} &= \frac{\sum_{i=1}^r T_i \dots^2}{cn} - \text{FK} \\ &= \frac{(320)^2 + (596,5)^2 + (744)^2 + (560,4)^2 + (435,3)^2}{3 \times 3} - 3559542,188 \\ &= \frac{32140082,5}{9} - 3559542,188 \\ &= 3571120,278 - 3559542,188 \\ &= 11578,09 \end{aligned}$$

➤ **Jumlah Kuadrat pengaruh B (JKB)**

$$\begin{aligned} \text{JKB} &= \frac{\sum_{j=1}^c T_j \dots^2}{rn} - \text{FK} \\ &= \frac{(200)^2 + (217,5)^2 + (238,7)^2}{5 \times 3} - 3559542,188 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{53393883,95}{15} - 3559542,188 \\
 &= 3559592,263 - 3559542,188 \\
 &= 50,075
 \end{aligned}$$

➤ **Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)**

$$\begin{aligned}
 \text{JKP} &= \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c T_{ij}^2}{n} - \text{FK} \\
 &= \frac{(58)^2 + (75)^2 + (87)^2 + \dots + (04,3)^2}{3} - 3559542,188 \\
 &= \frac{10714629,8}{3} - 3559542,188 \\
 &= 3571543,267 - 3559542,188 \\
 &= 12001,08
 \end{aligned}$$

➤ **Jumlah Kuadrat pengaruh interaksi A dan B (JKAB)**

$$\begin{aligned}
 \text{JKAB} &= \text{JKP} - \text{JKA} - \text{JKB} \\
 &= 12001,08 - 11578,09 - 50,075 \\
 &= 372,915
 \end{aligned}$$

➤ **Jumlah Kuadrat Galat (JKG)**

$$\begin{aligned}
 \text{JKG} &= \text{JKT} - \text{JKA} - \text{JKB} - \text{JKAB} \\
 &= 12164,012 - 11578,09 - 50,075 - 372,915 \\
 &= 162,932
 \end{aligned}$$

➤ **Nilai varian dari masing – masing perlakuan sebagai berikut :**

$$1. S_A^2 = \frac{\text{JKA}}{r-1} = \frac{11578,09}{5-1} = 2894,52$$

$$2. S_B^2 = \frac{\text{JKB}}{c-1} = \frac{50,075}{3-1} = 25,0375$$

$$3. S_{AB}^2 = \frac{\text{JKAB}}{(r-1)(c-1)} = \frac{372,915}{(5-1)(3-1)} = 46,614$$

$$4. S^2 = \frac{\text{JKG}}{rc(r-1)} = \frac{162,932}{5 \times 3 (5-1)} = 5,43$$

➤ Nilai F hitung dari masing – masing sumber keragaman sebagai berikut:

1. Untuk faktor A :

$$F_{A \text{ hitung}} = \frac{S_A^2}{S^2} = \frac{2894,52}{5,43} = 533,061$$

2. Untuk faktor B :

$$F_{B \text{ hitung}} = \frac{S_B^2}{S^2} = \frac{25,0375}{5,43} = 4,611$$

3. Untuk faktor AB :

$$F_{AB \text{ hitung}} = \frac{S_{AB}^2}{S^2} = \frac{46,614}{5,43} = 8,58$$

Dari perhitungan statistik didapatkan tabel 4.5

Tabel 4.5 Analisis varian dua arah konduktivitas termal paduan aluminium tembaga

Sumber keragaman	JK	db	KT	F _{hitung}	F _{tabel}
Temperatur <i>annealing</i> (faktor A)	11578,09	4	2894,52	533,061	2,69
Waktu <i>holding</i> (faktor B)	50,075	2	25,0375	4,611	3,32
Interaksi faktor A dan B	372,915	8	46,614	8,58	2,27
Galat	162,932	30	5,43		
Total	12164,012	44			

Dari tabel 4.5 diatas, dapat diperoleh kesimpulan:

IV. $F_{A \text{ hitung}} > F_{A \text{ tabel}}$ maka H_0^1 ditolak dan H_1^1 diterima, ini berarti bahwa temperatur *annealing* berpengaruh terhadap konduktivitas termal paduan aluminium tembaga (Al – Cu).

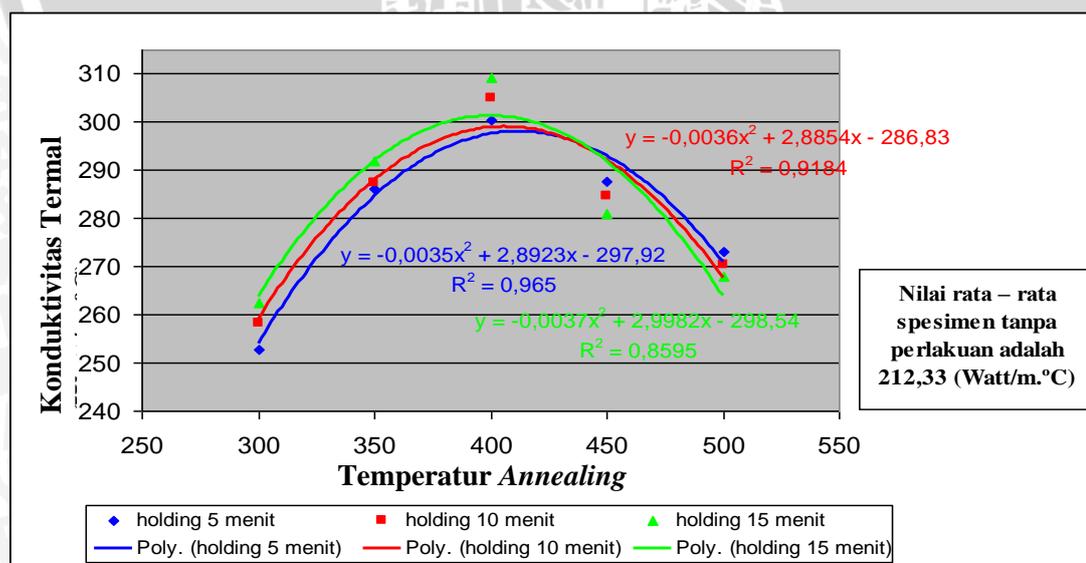
V. $F_{B \text{ hitung}} > F_{B \text{ tabel}}$ maka H_0^2 ditolak dan H_1^2 diterima, ini berarti bahwa waktu *holding* berpengaruh terhadap konduktivitas termal paduan aluminium tembaga (Al – Cu).

VI. $F_{AB \text{ hitung}} > F_{AB \text{ tabel}}$ Maka H_0^3 ditolak dan H_1^3 diterima, ini berarti bahwa interaksi antara temperatur *annealing* dan waktu *holding* berpengaruh terhadap konduktivitas termal paduan aluminium tembaga (Al – Cu).

Dari kesimpulan diatas terlihat bahwa temperatur *annealing*, waktu *holding* dan interaksi antara temperatur *annealing* dan waktu *holding* mempunyai pengaruh yang nyata terhadap konduktivitas termal paduan aluminium tembaga (Al – Cu) dengan tingkat keyakinan 95%.

4.3 Grafik dan Pembahasan

Berdasarkan hasil analisa varian seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.5, nilai F_{hitung} lebih besar dari pada nilai F_{tabel} . Besarnya nilai F_{hitung} ini mengartikan bahwa dugaan awal atau hipotesa awal sesuai dengan kenyataan hasil eksperimen yaitu temperatur *annealing* akan mempengaruhi nilai konduktivitas termal paduan aluminium tembaga secara nyata dengan derajat kesalahan 5 %, yang berarti analisa yang dipakai memiliki tingkat keyakinan sebesar 95 %. Pada gambar 4.1 di bawah ini menunjukkan grafik hubungan antara temperatur *annealing* dan konduktivitas termal paduan aluminium tembaga (Al – Cu) serta pengaruh waktu *holding* terhadap konduktivitas termal paduan aluminium tembaga (Al – Cu) dan interaksi keduanya terhadap nilai konduktivitas termal paduan aluminium tembaga (Al – Cu).



Gambar. 4.1. Grafik hubungan antara temperatur *annealing* dan konduktivitas termal dengan variasi *holding*

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur perlakuan panas *annealing* dan waktu *holding*, maka nilai konduktivitas termal paduan aluminium tembaga (Al – Cu) akan semakin meningkat sampai pada suatu titik tertentu kemudian akan relatif menurun. Kenaikan grafik nilai konduktivitas termal tersebut disebabkan karena ukuran butiran yang semakin seragam sehingga ruang diantara butiran semakin kecil dimensinya jika dibandingkan dengan paduan aluminium tembaga yang tidak mengalami proses perlakuan panas *annealing*. Pengurangan dimensi ruang antara butiran tersebut menyebabkan hambatan termal berupa gas semakin kecil pula sehingga energi termal yang dihantarkan langsung diterima oleh butiran yang kemudian akan diteruskan ke daerah yang memiliki temperatur lebih rendah.

Energi termal untuk sampai pada butiran paling dalam pada sebuah material membutuhkan waktu, maka dari itu paduan aluminium tembaga pada waktu *holding* 5 menit memiliki nilai konduktivitas termal paling rendah. Hal tersebut dikarenakan distribusi energi termal pada bagian permukaan bahan dengan yang berada pada bagian paling dalam bahan masih belum merata, selain itu waktu *holding* dan temperturnya relatif kecil sehingga butiran pada bagian paling dalam paduan aluminium tembaga masih belum mengalami perubahan yang signifikan jika dibandingkan dengan paduan aluminium tembaga dengan waktu *holding* 10 dan 15 menit. Hal tersebut mengakibatkan nilai rata - rata konduktivitas termal paduan aluminium tembaga pada temperatur *annealing* 300 °C waktu *holding* 5 menit lebih rendah dari pada nilai konduktivitas termal paduan aluminium tembaga pada temperatur yang sama pada waktu *holding* 10 menit dan 15 menit, nilai rata - rata konduktivitas termal pada temperatur 300 °C dengan waktu *holding* 5, 10, dan 15 menit berturut turut adalah 252,67 (Watt/m.°C), 258.33 (Watt/m.°C), 262,33 (Watt/m.°C).

Selain waktu *holding* konduktivitas termal juga tergantung jenis perlakuan panas, dengan perlakuan panas akan didapatkan ukuran butiran dan bentuk butiran yang diinginkan. Jika dengan jenis perlakuan yang sama yaitu *annealing* tetapi temperatur perlakuan yang berbeda, secara tidak langsung ukuran dan bentuk butiran yang dihasilkan juga berbeda, yang menyebabkan perbedaan nilai konduktivitas termal paduan aluminium tembaga. Karena semakin tinggi temperatur perlakuan, proses pendinginan berlangsung lebih lama, sehingga didapatkan ukuran dan bentuk butiran yang semakin besar.

Dengan semakin besarnya ukuran butiran, maka jumlah batas butir yang tegak lurus lebih sedikit, sehingga daerah transisi yang tidak searah dengan pola – pola butir

yang terbentuk juga semakin sedikit. Jika daerah transisi berkurang, maka jika terdapat energi termal yang merambat melewati batas butir tersebut akan terhambat oleh daerah transisi semakin sedikit. Jika energi termal yang merambat melalui daerah transisi tersebut semakin sedikit, maka secara tidak langsung akan meningkatkan nilai konduktivitas termal paduan aluminium tembaga.

Pada gambar 4.1 juga menunjukkan bahwa pada temperatur *annealing* 400 °C adalah titik maksimum dari nilai rata - rata konduktivitas termal paduan aluminium tembaga, hal tersebut dikarenakan pada temperatur tersebut bentuk butiran memperoleh keseragaman yang paling maksimal dan distribusi energi termal pada bahan juga lebih merata pada saat perlakuan, sehingga pada saat proses pendinginan juga dihasilkan butiran yang lebih besar dan seragam. Hal tersebut berarti hambatan termal berupa daerah transisi antara batas butir dan berupa gas di antara butiran sebagai *isolator* panas paling kecil, nilai konduktivitas termal pada suhu 400 °C dan waktu *holding* 5, 10, dan 15 menit berturut – turut adalah 300,33 (Watt/m.°C), 305 (Watt/m.°C), dan 309,33 (Watt/m.°C).

Temperatur *annealing* 450 °C pada grafik menunjukkan penurunan nilai rata - rata konduktivitas termal. Hal ini disebabkan karena temperatur perlakuan yang terlalu tinggi sampai mendekati titik lewat jenuh atau titik perubahan phase dari paduan aluminium tembaga (*supersaturated*) sehingga proses pendinginan yang terjadi semakin lama yang berakibat ukuran butiran semakin besar dan ada kemungkinan keseragaman berkurang.

Ukuran butiran yang besar tidak selalu memiliki nilai konduktivitas termal yang tinggi, hal tersebut ditunjukkan pada grafik perlakuan panas *annealing* dengan temperatur 400 °C dan pada temperatur 450 °C. Jika dilihat dari ukuran butirannya, pada perlakuan panas dengan temperatur 450 °C memiliki ukuran lebih besar daripada temperatur 400 °C, hal tersebut akan berpengaruh pada meningkatnya dimensi ruang antar butiran. Dengan meningkatnya dimensi ruang antar butiran tersebut, maka volume gas sebagai tahanan termal atau *isolator* panas juga semakin meningkat.

Dengan temperatur yang semakin tinggi dan *holding* yang semakin lama, maka pada saat dilakukan pendinginan lambat pada *holding* 5 menit memiliki ukuran butiran lebih kecil jika dibandingkan dengan waktu *holding* 10 dan 15 menit, tetapi tingkat keseragaman butiran masih di bawah *holding* 10 dan 15 menit yang secara tidak langsung nilai konduktivitas termal *holding* 5 menit setelah melewati temperatur puncak akan lebih besar dibandingkan dengan *holding* 10 dan 15 menit. Akan tetapi tidak selalu

ukuran butiran yang besar akan meningkatkan nilai konduktivitas termal. Setiap material akan memiliki karakteristik yang berbeda jika perlakuan panas yang digunakan sama, hal tersebut tergantung dari komposisi bahan paduan dan jenis material yang diuji.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa data dan pembahasan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, didapatkan kesimpulan bahwa temperatur perlakuan panas *annealing* berpengaruh terhadap nilai konduktivitas termal paduan aluminium tembaga (Al – Cu). Kenaikan temperatur perlakuan panas *annealing* dan waktu *holding* akan meningkatkan nilai konduktivitas termal, hal tersebut ditunjukkan dengan :

- Nilai rata - rata konduktivitas termal paduan aluminium tembaga tertinggi dihasilkan oleh spesimen dengan perlakuan panas *annealing* pada temperatur 400 °C dan waktu *holding* 15 menit, yaitu sebesar 309,33 (Watt/m.°C).
- Nilai rata - rata konduktivitas termal paduan aluminium tembaga terendah dihasilkan oleh spesimen tanpa perlakuan panas yaitu 211,33 (Watt/m.°C). Sedangkan untuk spesimen dengan perlakuan panas *annealing* nilai rata - rata konduktivitas termal terendah dihasilkan oleh spesimen dengan perlakuan panas *annealing* pada temperatur 300 °C dan waktu *holding* 5 menit, yaitu sebesar 252,67 (Watt/m.°C).

5.2 Saran

1. Perlu adanya pengembangan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh penambahan prosentase unsur paduan utama yaitu tembaga, terhadap nilai konduktivitas termalnya.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang proses perpindahan panas yang terjadi selama proses perlakuan panas berlangsung.
3. Metode pengukuran nilai konduktivitas termal hanya terpaku pada satu alat saja, maka dari itu perlu adanya penggunaan metode – metode lain untuk mengukur nilai konduktivitas termal sehingga didapatkan suatu pembandingan antara metode – metode yang digunakan.