

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR *SOLUTION TREATMENT*
PADA *AGE HARDENING* TERHADAP KONDUKTIVITAS
TERMAL PADUAN ALUMINIUM TEMBAGA (Al – Cu)**

SKRIPSI

Bidang Konsentrasi Konversi Energi



Disusun Oleh :

**Aji Prasetya Nugraha
0410623002-62**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN MESIN
MALANG
2009**

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR *SOLUTION TREATMENT*
PADA *AGE HARDENING* TERHADAP KONDUKTIVITAS
TERMAL PADUAN ALUMINIUM TEMBAGA (Al – Cu)**

SKRIPSI

Bidang Konsentrasi Konversi Energi

**Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



Disusun Oleh :

Aji Prasetya Nugraha
0410623002-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Djoko Sutikno, M.Eng.

NIP. 19541009 198303 1 002

Putu Hadi Setyarini, ST., MT.

NIP. 19770806 200312 2 001

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH VARIASI TEMPERATUR *SOLUTION TREATMENT* PADA *AGE HARDENING* TERHADAP KONDUKTIVITAS TERMAL PADUAN ALUMINIUM TEMBAGA (Al – Cu)

SKRIPSI KONSENTRASI KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

AJI PRASETYA NUGRAHA
NIM. 0410623002-62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 10 September 2009

Skripsi I

Skripsi II

Ir. Ari Wahyudi, MT.
NIP. 19680324 199412 1 001

Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng.
NIP. 19740121 199903 1 001

Komprehensif

Ir. Imam Zaky, MT.
NIP. 19450918 197702 1 001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.
NIP. 19720903 199702 1 001

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena hanya dengan limpahan dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul **“Pengaruh Variasi Temperatur *Solution Treatment* pada *Age Hardening* Terhadap Konduktivitas Termal Paduan Aluminium Tembaga (Al-Cu)”** .

Skripsi ini dibuat oleh penulis sebagai salah satu persyaratan guna melengkapi persyaratan akademis untuk mencapai gelar Sarjana Teknik di Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Dalam kesempatan ini penulis banyak mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST. MT selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Bapak Dr.Eng. Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak Ir. I Made Gunadiarta, MT selaku Ketua Kelompok Pengajar Bidang Konversi Energi.
4. Bapak Ir. Djoko Sutikno, M. Eng selaku dosen pembimbing I.
5. Ibu Putu Hadi Setyarini, ST. MT selaku dosen pembimbing II.
6. Seluruh Staf Pengajar Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
7. Seluruh Staf Administrasi Jurusan Mesin serta Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
8. Kedua orang tuaku tercinta Bapak Ibnu Hidayat dan Ibu Silvia Lestari tercinta yang telah mendukung dengan doa dan harapan yang besar.
9. Rekan-rekan mahasiswa 2004, khususnya arek NYAMBEX. CUK malang dan semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung yang ikut membantu penulis dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini.

Penulis sadar bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu saran dan kritik penulis harapkan demi sempurnanya skripsi ini. Semoga skripsi ini bisa bermanfaat bagi kita semua.

Malang, Agustus 2009

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR LAMPIRAN	vi
RINGKASAN	vii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Penelitian Sebelumnya	4
2.2. Aluminium	6
2.2.1. Sifat – sifat Paduan Aluminium	6
2.2.2. Pengaruh Unsur - unsur Paduan	8
2.2.3. Paduan Aluminium Tembaga (Al – Cu)	9
2.3. Perpindahan Panas	10
2.3.1. Perpindahan Panas Konduksi Pada Keadaan <i>Steady State</i> (Tunak)	11
2.4. Konduktivitas Logam (<i>Metalic Conductivity</i>)	13
2.4.1. Konduktivitas Termal pada Aluminium	14
2.4.2. <i>Thermal Conductivity Measuring Apparatus</i>	15
2.5. Perlakuan <i>Age Hardening</i>	17
2.6. Hipotesa	19
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Metodologi Penelitian	20
3.2 Tempat dan Waktu Pelaksanaan Penelitian	20
3.3 Variabel Penelitian	20

3.4	Alat-alat dan Bahan	21
3.4.1.	Alat yang digunakan	21
3.4.2.	Bahan yang digunakan	22
3.5	Prosedur Penelitian	23
3.6	Rancangan Penelitian	24
3.7	Analisa Statistik	25
3.8	Diagram Alur Penelitian	30

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Data Hasil Penelitian	31
4.2	Analisa Statistik	33
4.2.1.	Analisa Varian	33
4.2.2.	Analisa Varian Konduktivitas Termal	33
4.3	Grafik dan Pembahasan	38

BAB V PENUTUP

5.1	Kesimpulan	43
5.2	Saran	43

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Sifat-sifat Fisik Aluminium.....	6
Tabel 2.2	Koefisien Konduktivitas Termal Berbagai Macam Zat	14
Tabel 3.1	Rancangan Penelitian Untuk Masing-masing Nilai Konduktivitas Termal	25
Tabel 3.2	Rancangan Pengamatan Model Dua Arah dengan Pengulangan	27
Tabel 3.3	Analisa Varian.....	29
Tabel 4.1	Data Konduktivitas Termal pada Waktu <i> Holding </i> 5 Menit.....	31
Tabel 4.2	Data Konduktivitas Termal pada Waktu <i> Holding </i> 10 Menit.....	32
Tabel 4.3	Data Konduktivitas Termal pada Waktu <i> Holding </i> 15 Menit	32
Tabel 4.4	Data Konduktivitas Termal.....	34
Tabel 4.5	Analisis Varian Dua Arah Konduktivitas Termal Paduan Aluminium Tembaga	37

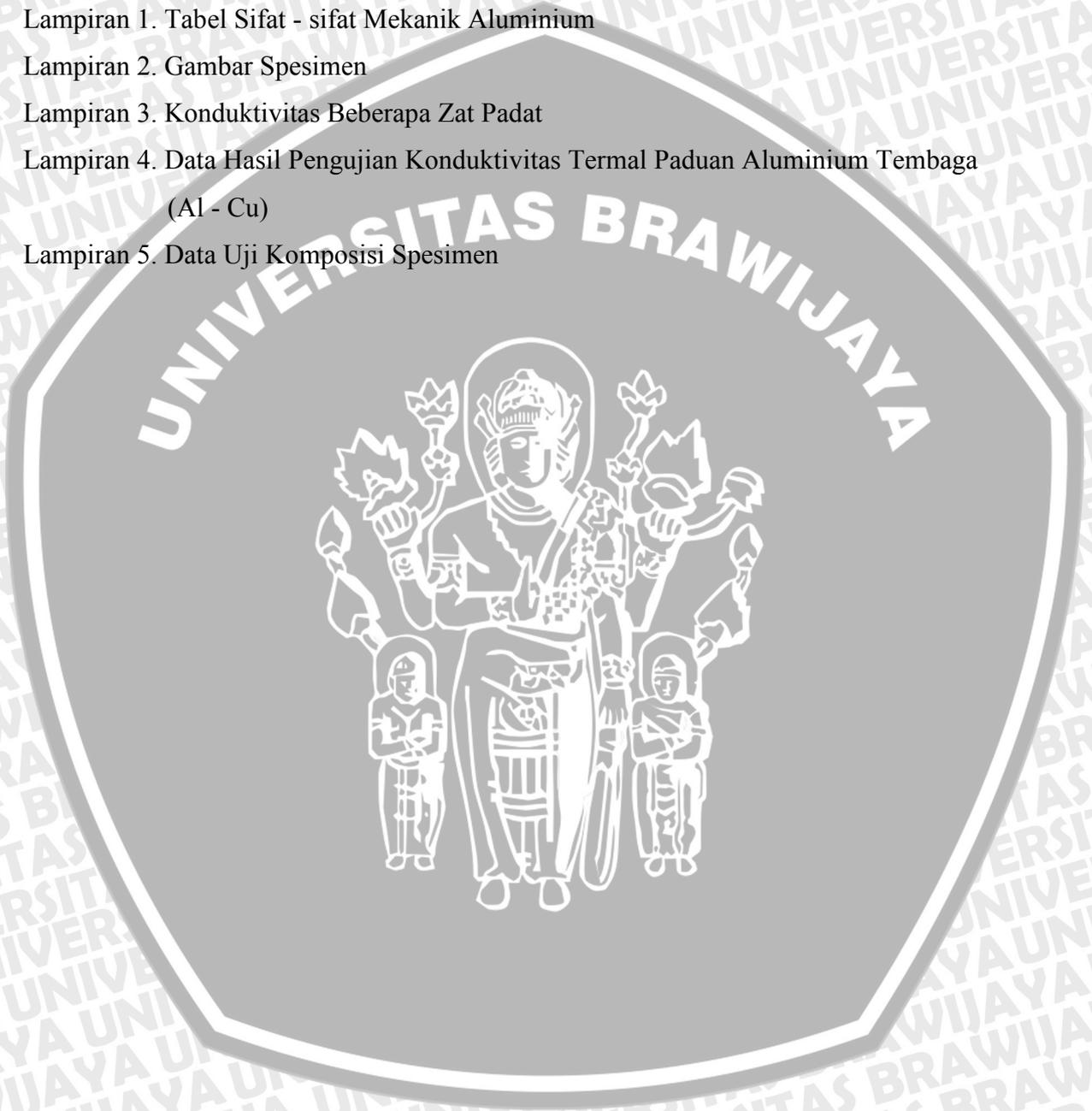


DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar. 2.1.	Pengaruh Waktu <i> Holding </i> Terhadap Ukuran Butiran.....	4
Gambar. 2.2.	Struktur Butir Setelah Perlakuan <i> Solution Treatment </i>	5
Gambar. 2.3.	Diagram Fasa Al - Cu.....	10
Gambar. 2.4.	Perpindahan Panas Konduksi Melalui Dinding	12
Gambar. 2.5.	Perpindahan Panas Konduksi Melalui Dinding Komposit dan Analogi listriknya.....	13
Gambar. 2.6.	Instlasi Uji Konduktivitas Termal	17
Gambar. 2.7.	Siklus Perlakuan Panas <i> Age Hardening </i>	18
Gambar. 3.1.	Dapur Listrik	21
Gambar. 3.2.	<i> Thermal Conductivity Measuring Apparatus </i>	22
Gambar. 3.3.	Spesimen Uji Konduktivitas Termal.....	23
Gambar. 3.4.	Diagram Alir Penelitian.....	30
Gambar. 4.1.	Grafik Hubungan Temperatur <i> Solution Treatment </i> dan Konduktivitas Termal dengan Variasi <i> Holding </i>	38
Gambar. 4.2.	Hasil foto mikrostruktur <i> Solution Treatment </i> 300 °C <i> holding </i> 5 menit dan 15 menit.....	38
Gambar. 4.2.	Hasil foto mikrostruktur <i> Solution Treatment </i> 300 °C <i> holding </i> 5 menit dan 15 menit.....	40
Gambar. 4.3.	Hasil foto mikrostruktur <i> Solution Treatment </i> 300 °C <i> holding </i> 5 menit dan 15 menit.....	41

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1.	Tabel Sifat - sifat Mekanik Aluminium
Lampiran 2.	Gambar Spesimen
Lampiran 3.	Konduktivitas Beberapa Zat Padat
Lampiran 4.	Data Hasil Pengujian Konduktivitas Termal Paduan Aluminium Tembaga (Al - Cu)
Lampiran 5.	Data Uji Komposisi Spesimen



RINGKASAN

Aji Prasetya Nugraha, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Agustus 2009. *Pengaruh Variasi Temperatur Solution Treatment pada Age Hardening Terhadap Konduktivitas Termal Paduan Aluminium Tembaga (Al-Cu)*, Dosen Pembimbing : **Ir. Djoko Sutikno, M. Eng dan Putu Hadi Setyarini, ST. MT**

Dalam perkembangan Industri saat ini logam memegang peranan yang sangat penting, aluminium merupakan salah satu logam ringan yang memiliki ketahanan korosi dan hantaran panas yang baik. Paduan aluminium tembaga (Al – Cu), adalah salah satu paduan aluminium dengan unsur paduan utamanya adalah *cooper* atau tembaga. Kelebihan dari paduan ini adalah dapat dikeraskan sampai hampir menyamai kekerasan baja karbon rendah tetapi memiliki keuletan yg lebih baik dari baja karbon rendah, selain itu tahan korosi dan nilai konduktivitas termal yang tinggi. Nilai konduktivitas termal yg tinggi sangat diperlukan pada pembuatan alat – alat yang berhubungan dengan penukar kalor, hal tersebut dikarenakan semakin tinggi nilai konduktivitas termal maka semakin meningkat juga efisiensi dari alat tersebut. *Solution treatment* adalah salah satu jenis perlakuan panas pada aluminium yang bertujuan meningkatkan kekerasan, menyeragamkan struktur butiran, dan juga mengurangi tegangan sisa. Konduktivitas termal adalah suatu besaran intensif bahan yang menunjukkan kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan panas.

Variabel bebas yang diteliti adalah temperatur *solution treatment* dengan temperatur 300 °C, 350 °C, 400 °C, 450 °C, 500 °C sedangkan temperatur *precipitation treatment* 270 °C. Paduan aluminium tembaga seri 2017 merupakan variabel terikatnya dan variabel kendalinya adalah waktu holding, yaitu 5 menit, 10 menit dan 15 menit. Pada penelitian ini nilai konduktivitas termal diukur dengan menggunakan *Thermal Conductivity Measuring Apparatus* yakni suatu alat yang berfungsi untuk mengukur nilai konduktivitas termal suatu material.

Hasil dari penelitian yang telah dilakukan, menunjukkan bahwa variasi temperatur *solution treatment* dan waktu *holding* meningkatkan nilai konduktivitas termal paduan aluminium tembaga. Semakin tinggi temperatur *solution treatment* dan waktu *holding* konduktivitas termal mengalami peningkatan sampai titik puncak pada temperatur 450 °C dan *holding* 15 menit, nilai rata – rata konduktivitas termalnya adalah 305,67 (watt/m.°C). Sedangkan nilai konduktivitas termal terendah pada temperatur 300 °C dan *holding* 5 menit sebesar 231,77 (watt/m.°C). Nilai rata – rata konduktivitas termal spesimen tanpa perlakuan panas adalah 211,33 (watt/m.°C).

Kata Kunci : Paduan aluminium tembaga (Al-Cu), *Solution treatment*, Waktu *holding*, Konduktivitas termal

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam perkembangan industri saat ini logam masih memegang peranan yang sangat penting. Perkembangan ini dapat kita lihat pada berbagai macam-macam industri seperti otomotif, alat penukar panas, kereta api, pesawat terbang dan lain-lain yang semuanya memanfaatkan logam sebagai komponen utamanya. Meskipun saat ini banyak dimanfaatkan bahan lain untuk menggantikan logam, tetapi masih ada bagian-bagian tertentu yang masih tidak dapat dibuat dari bahan lain selain logam.

Aluminium merupakan salah satu logam ringan yang memiliki ketahanan korosi dan hantaran panas yang baik. Sebagai tambahan terhadap kekuatan mekaniknya yang sangat meningkat dengan penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dan sebagainya. Material ini dipergunakan di dalam bidang yang luas, bukan saja untuk peralatan rumah tangga tapi juga dipakai untuk keperluan material pesawat terbang, mobil, kapal laut, konstruksi dan lain sebagainya (Tata Surdia, 1985 : 129).

Paduan aluminium tembaga (Al - Cu), adalah salah satu paduan aluminium dengan unsur paduan utamanya adalah *copper* atau tembaga. Yang mempunyai berat jenis $2,8 \text{ kg/dm}^3$, dapat dikeraskan sampai hampir menyamai kekerasan baja karbon rendah dan memiliki keuletan yang lebih baik dari baja karbon rendah. Kelebihan utama dari paduan ini adalah ketahanan korosi dan konduktivitas termal 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). Konduktivitas termal merupakan salah satu unsur yang diperlukan untuk menentukan kualitas bahan, terutama digunakan untuk menaksir biaya, kelayakan, daya tahan, dan ukuran peralatan yang akan dibuat. Dan sangat penting bagi industri yang bergerak dalam bidang pembuatan alat penukar kalor (*heat exchanger*) atau alat yang kerjanya berhubungan dengan energi termal, misalnya industri pembuatan lemari pendingin, industri alat – alat masak, dan lain –lain. Hal tersebut dikarena semakin tinggi konduktivitas termal, maka semakin meningkat pula efisiensi dari alat tersebut dalam hal penghantaran panas.

Bahan paduan yang dipakai dan jenis perlakuan panas yang digunakan berpengaruh terhadap konduktivitas termal pada paduan aluminium. *Solution treatment*

merupakan salah satu jenis perlakuan panas pada aluminium yang bertujuan meningkatkan kekerasan, menyeragamkan struktur butiran dan juga mengurangi tegangan sisa. Diharapkan dengan perlakuan panas *solution treatment* nilai konduktivitas termal paduan aluminium tembaga akan mengalami peningkatan seiring dengan semakin seragamnya ukuran butiran pada paduan aluminium tembaga.

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah paduan aluminium tembaga (Al-Cu) seri 2017. Karena bahan tersebut sering digunakan untuk bahan – bahan penghantar panas (*heat exchanger*) yang memiliki titik didih 2519 °C dan titik lebur 660,32 °C (sumber : www.wikipedia.org).

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 *solution treatment* 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 :

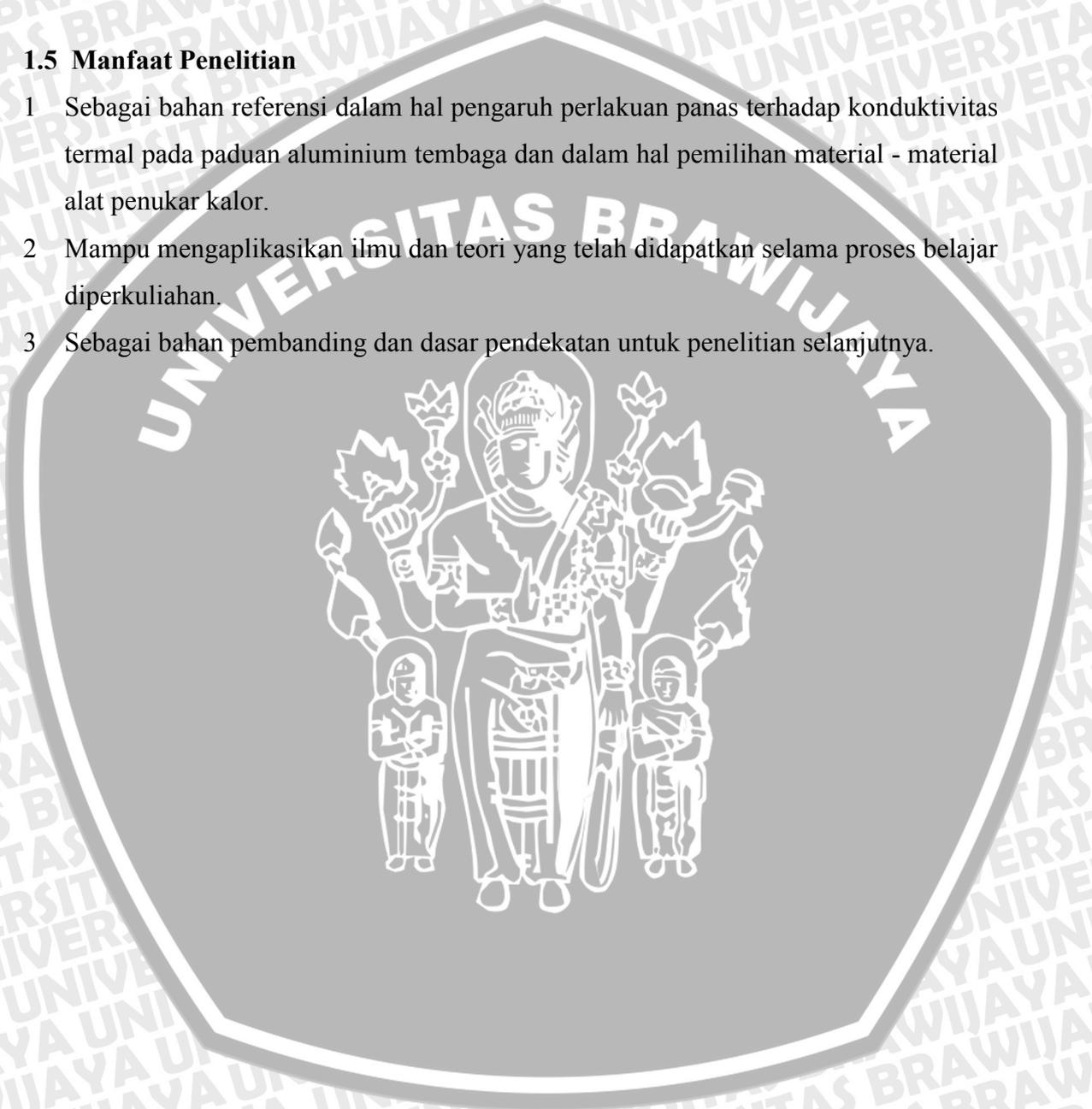
1. Pengamatan dilakukan terhadap konduktivitas termal paduan aluminium tembaga (seri 2017).
2. Temperatur *solution treatment* adalah 300 °C, 350 °C, 400 °C, 450 °C, 500 °C dengan waktu *holding* masing – masing 5 menit, 10 menit dan 15 menit dan suhu *precipitation treatment* adalah 270°C.
3. Proses penuaan atau *aging* dilakukan pada temperatur ruangan selama minimal 4 hari.
4. Pendinginan *solution treatment* dilakukan dengan media air dan pendinginan *precipitation treatment* dilakukan dengan media udara (pada suhu ruangan $\pm 25\text{ }^{\circ}\text{C} - 27\text{ }^{\circ}\text{C}$).
5. Komposisi paduan aluminium tembaga yang dipakai (Al 91,4 % dan Cu 5,39 %).

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur *solution treatment* pada proses *age hardening* pada paduan aluminium tembaga 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 diperkuliahan.
- 3 Sebagai bahan perbandingan dan dasar pendekatan untuk penelitian selanjutnya.



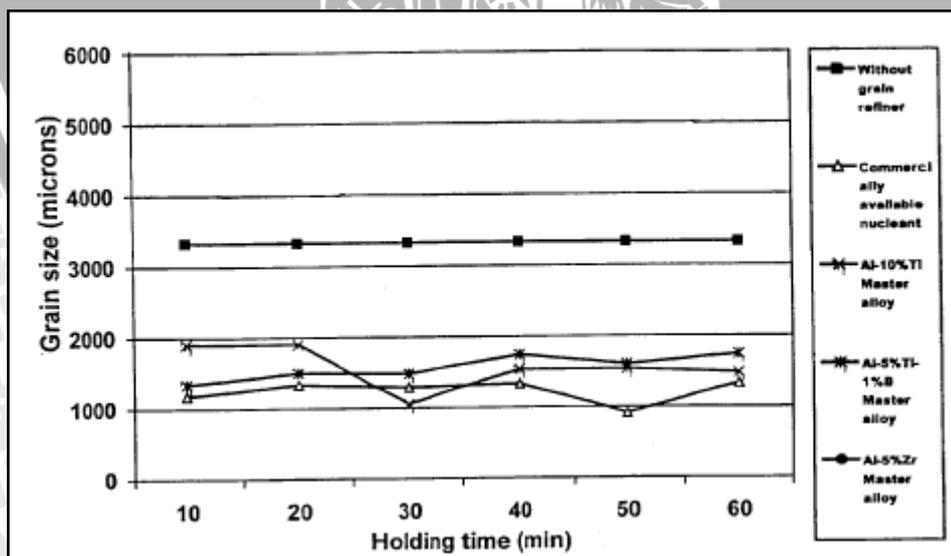
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

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. 2.1. Pengaruh waktu *holding* terhadap usuran butiran

Sumber : K.T Kashyap dan T. Chandrashekar, 2001

E. Tillová (2007)

Melakukan penelitian tentang "effect of solution treatment on intermetallic phases morphology in AlSi9Cu3 cast alloy". Dari penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa variasi temperatur *solution treatment* dan waktu *holding* sangat berpengaruh terhadap konduktivitas listrik dan panas, hal tersebut disebabkan proses *solution treatment* membentuk struktur yang seragam (homogen). Nilai konduktivitas termalnya meningkat dikarenakan pada proses *solution treatment* memperbaiki struktur butiran dimana konduktivitas panas meningkat sebanding dengan kestabilan struktur logam. Selain itu waktu *holding* juga berpengaruh, hal tersebut disebabkan karena waktu *holding* memberikan waktu yang cukup untuk merubah struktur butir menjadi lebih seragam seperti ditunjukkan pada gambar dibawah ini.

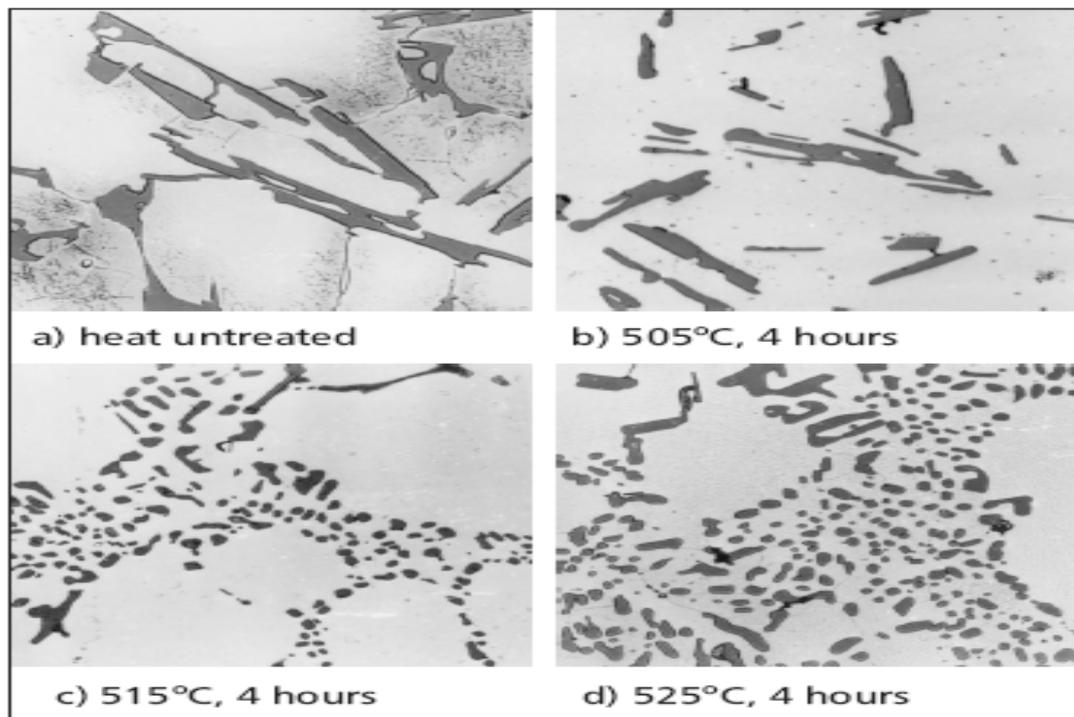


Figure 1. Effect of solution treatment on morphology of eutectic Si, etch. Dix-Keller, 1000 x

Gambar. 2.2. Struktur butir setelah perlakuan *solution treatment*

Sumber : <http://public.carnet.hr/metalurg/Metalurgija/2008>

vol 47/No 3/MET 47 3 207 210 Tillova.pdf

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.

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 sifat logam. Kekuatan mekaniknya yang sangat meningkat dengan penambahan unsur Cu, Mg, Zn, dan sebagainya, secara satu-persatu atau bersama-sama memberikan sifat baik lainnya seperti ketahanan korosi, ketahanan aus, koefisien pemuaian rendah dan sebagainya (Tata Surdia, 1985 : 129)

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.

Tabel 2.1. Sifat-sifat Fisik Aluminium

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

Sumber : T. Surdia dan S. Saito, 1985 : 134

2.2.1. Sifat-sifat paduan aluminium

Aluminium mempunyai sifat-sifat yang lebih baik dibandingkan dengan keadaan murninya, terutama peningkatan kekuatannya. Apabila dibandingkan dengan logam lainnya, aluminium paduan 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 aluminium paduan sebagai bahan pembuatan peralatan rumah tangga sampai dengan komponen pesawat terbang. Ini menandakan aluminium paduan sangat kuat dan ringan. Berikut ini dijelaskan lebih rinci tentang sifat-sifat yang dipunyai oleh paduan aluminium paduan antara lain :

1. Kekerasan

Aluminium murni dengan kandungan 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 mempunyai kekerasan 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 dari perbandingan antara beban maksimum selama tes dengan luas penampang awal material yang diuji. Untuk aluminium dengan kemurnian 99,99% memiliki nilai kekuatan tarik 4,9 kg/mm². Dengan memadukan aluminium murni dengan unsur paduan (Cu, Si, Mg, Mn) ditambah dengan melakukan pengerjaan panas atau dingin maka kekuatan tariknya dapat ditingkatkan.

3. Mampu bentuk

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

4. Berat jenis

Aluminium mempunyai berat jenis yang rendah, untuk aluminium dengan kemurnian 99,99% mempunyai berat jenis $2,699 \text{ gr/cm}^3$ pada suhu 20°C . Berat jenis tersebut dapat berubah dengan adanya penambahan unsur-unsur pada paduan, contohnya unsur paduan magnesium dan tembaga apabila ditambahkan sebagai paduan aluminium akan turun berat jenisnya.

5. Konduktifitas termal

Aluminium merupakan salah satu logam non - *ferrous* yang diketahui 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 panas aluminium sering 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. Di bawah ini uraian singkat tentang macam unsur paduan dan pengaruhnya terhadap sifat aluminium. (Sumber : T. Surdia dan S. Saito, 1985:135-142):

1. Silikon

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

2. Magnesium

Aluminium yang dipadu dengan magnesium bersifat ringan serta memiliki ketahanan korosi yang sangat baik. Penambahan 2 – 3% Mg pada aluminium dapat menghasilkan paduan yang mudah ditempa, dirol, dan diekstrusi.

Penambahan unsur paduan dengan titik cair rendah pada aluminium dapat ditambahkan dalam bentuk dasarnya atau tanpa merubah wujud asli dari unsur paduan tersebut.

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 dan kekerasan pada paduan aluminium, akan tetapi disisi lain paduan dengan tembaga juga yang paling banyak mengurangi ketahanan korosi. Selain itu penambahan tembaga yang berlebihan dapat mengurangi keuletan paduan 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

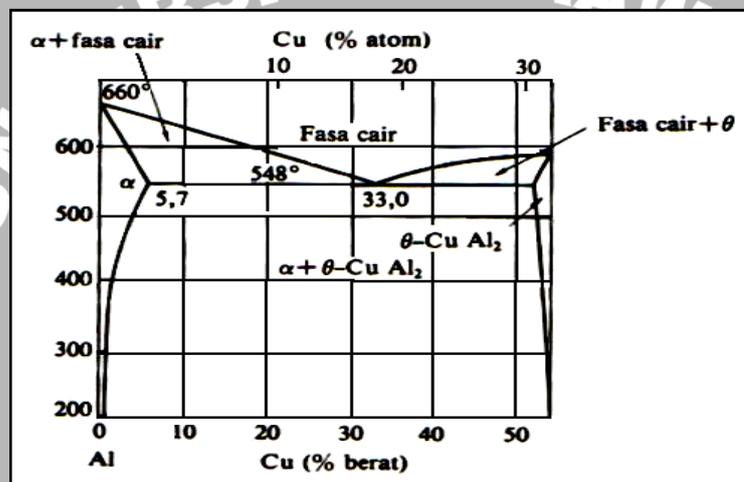
Mangan mempunyai sifat memperbaiki ketahanan korosi sehingga penambahan Mg dipergunakan sebagai paduan korosi tanpa perlakuan panas.

7. Chromium

Penambahan chromium dapat memperbaiki ketahanan korosi, sifat mampu las, tahan panas dan tidak mudah teroksidasi. Namun demikian jumlah chromium terhadap 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 2,5 – 5,0 % Cu; 0,4 - 0,7 % Mg; dan 0,5 % Mn. Nama lain dari aluminium paduan ini adalah *duralumin* (seri 2017) dengan berat jenis $2,8 \text{ kg/dm}^3$. Penambahan *copper* dimaksudkan untuk memperbaiki sifat mampu mesin, meningkatkan kekerasan dan ketahanan korosi. 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 : Tata Surdia, 1985:129

2.3 Perpindahan Panas

Kalor merupakan salah satu bentuk energi yang bisa berpindah dari satu benda yang mempunyai temperatur tinggi ke benda lain yang temperaturnya lebih rendah. Perpindahan kalor yang disebabkan karena perbedaan temperatur tersebut tidak dapat dilihat oleh mata tetapi dapat diukur (Frank Kreith, 1997). Mekanisme perpindahan kalor tersebut disebabkan karena adanya gerakan atom dalam bahan, atom – atom bergetar kemudian saling memindahkan sebagian energi yang dimilikinya menuju atom – atom tetangga yang ditumbuknya. Begitu pula dengan atom – atom tetangga lainnya akan mengalami peristiwa yang serupa, sehingga terjadilah hantaran energi di dalam bahan tersebut.

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 karena tabrakan atau tumbukan antara elektron *valensi* dari suatu material yang selalu bergerak secara acak atau random. Semakin tinggi temperatur maka semakin tinggi pula gerakan secara acak dari elektron tersebut, 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 (Mc Cabe, 1993).

2.3.1. Perpindahan Panas Konduksi Pada Keadaan *Steady State* (Tunak)

Salah satu cara perpindahan kalor adalah perpindahan secara konduksi. Konduksi merupakan perpindahan kalor yang mengalir dari temperatur tinggi menuju temperatur rendah tanpa diikuti perpindahan masa pada media perantaranya. Keadaan *steady state* (tunak) mempunyai pengertian 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. Mekanisme perpindahan kalor pada zat padat ada dua, yaitu melalui angkutan elektron bebas dan dengan getaran kisi. Perpindahan angkutan elektron bebas dilakukan oleh elektron bebas yang mana pada bagian yang bersuhu tinggi, energi kinetik ditunjukkan dengan tingginya temperatur sehingga mengakibatkan pergerakan molekul lebih cepat daripada elektron yang memiliki energi yang lebih rendah. Elektron – elektron tersebut bergerak secara acak, saling bertabrakan sehingga terjadi pertukaran energi dan momentum. Dari peristiwa tersebut elektron yang membawa temperatur tinggi akan menyerahkan sebagian energinya kepada elektron yang memiliki energi yang lebih rendah.

Pada materi padat, proses perpindahan kalor secara konduksi bila dilihat secara atomik merupakan pertukaran energi kinetik antar molekul (atom), dimana partikel yang energinya lebih 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.

$$\frac{q}{A} \approx \frac{\partial T}{\partial x} \quad (\text{J.P Holman; 1994: 2}) \quad (2.1)$$

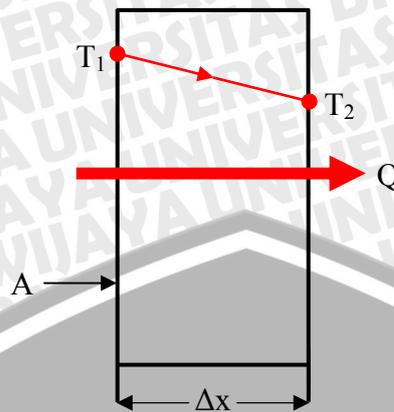
Laju perpindahan kalor (q_x) dengan cara konduksi dipengaruhi oleh nilai koefisien konduktivitas termal bahan (k), luas penampang yang dilalui panas dengan cara konduksi yang diukur tegak lurus terhadap arah aliran kalor (A) dan yang terakhir adalah gradien suhu pada penampang tersebut, yaitu laju perubahan suhu (T) terhadap jarak dalam arah aliran panas (x) yang ditunjukkan dengan $(\partial T / \partial x)$. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut :

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (\text{J.P Holman; 1994: 3}) \quad (2.2)$$

$$q = -kA \frac{(T_1 - T_2)}{x}$$

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)



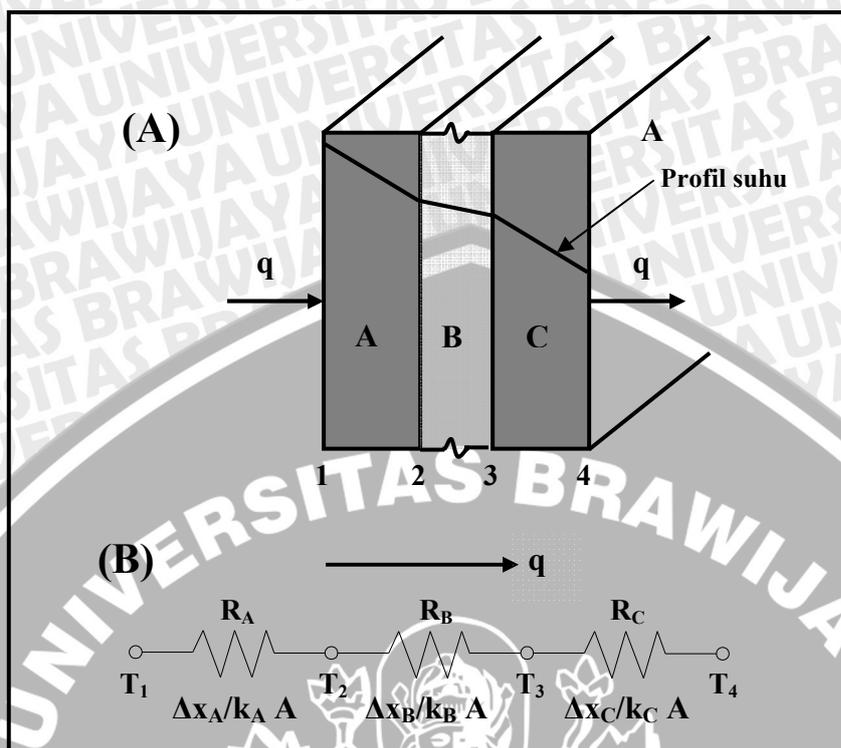
Gambar. 2.4. Perpindahan panas konduksi melalui dinding

Sumber : Yunus A. Cengel, 1998:18

Tanda (-) pada persamaan diatas menunjukkan gradien suhu yang mengalir dari temperatur tinggi ke temperatur rendah.

Koefisien konduktivitas termal bahan didefinisikan sebagai laju aliran panas persatuan luas tegak lurus pada arah aliran persatuan gradien suhu. Holman menyatakan bahwa angka koefisien konduktivitas termal menunjukkan seberapa cepat kalor mengalir dalam suatu bahan tertentu.

Pada penelitian ini proses perpindahan panas konduksi pada 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, 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 : J.P Holman; 1994: 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 gerak elektron *valensi* dikarenakan adanya pembiasan energi tersebut. Ketidakteraturan itu sendiri disebabkan karena temperatur, unsur paduan, dan jenis perlakuan 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.

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
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
Udara	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 :

$$q = \frac{\Delta T}{\Sigma R} \quad (\text{J.P Holman; 1994: 27}) \quad (2.3)$$

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 . Persamaan tahanan termal sendiri adalah sebagai berikut :

$$R = \frac{l}{k} \quad (\text{www.gurumuda.com/2009/03/konduksi/}) \quad (2.4)$$

Dimana l adalah ketebalan bahan dan k adalah konduktivitas termal. Dari persamaan di atas dapat kita lihat bahwa secara tidak langsung nilai konduktivitas termal akan mempengaruhi nilai tahanan termal.

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). Prinsip 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.

Pada alat uji konduktivitas panas ini, yang dapat dilihat secara langsung adalah temperatur pada termokopel-termokopel (sepuluh termokopel) yang dipasang sepanjang bahan standart (Cu) yang telah diketahui nilai konduktivitas panasnya, yaitu 320 kcal/mhr.°C. Temperatur pada bahan standart ini dibuat sedemikian rupa sehingga terjadi perbedaan temperatur yang konstan antara bagian atas dan bagian bawah. Adapun spesimen uji yang ingin diketahui nilai konduktivitas panasnya diletakkan diantara benda standart tersebut, seperti dapat dilihat pada gambar 2.5.

Dengan demikian maka data yang tercatat adalah temperatur dari termokopel satu sampai termokopel sepuluh. Dari data gradient temperatur tersebut, maka selanjutnya dilakukan perhitungan-perhitungan untuk mengetahui rata-rata beda temperatur pada bahan standar (Δt_R), perbedaan suhu setelah melewati spesimen uji (Δt_a) dan (Δt_b), konduktivitas panas spesimen uji (λ_a) dan (λ_b), serta konduktivitas panas spesimen yang diuji (λ)

Dasar persamaan yang dipakai alat ini untuk mencari nilai konduktivitas termal adalah dari persamaan *Fourier* seperti yang telah ditunjukkan pada persamaan 2.3. Alat

ini menggunakan dua buah spesimen dengan diameter yang sama dan ketebalan yang berbeda, hal tersebut bertujuan untuk mengkoreksi 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 :

$$\Delta t_R = \frac{\Delta t_{1,2} + \Delta t_{2,3} + \Delta t_{3,4} + \Delta t_{7,8} + \Delta t_{8,9} + \Delta t_{9,10}}{6} \text{ (}^\circ\text{C)} \text{ (manual book)} \quad (2.5)$$

- Nilai konduktivitas termal pada spesimen pertama :

$$\lambda_a' = \frac{\Delta t_R}{\Delta t_a} \times \frac{L_a}{L_R} \times \lambda_R \text{ (kcal/mhr.}^\circ\text{C)} \text{ (manual book)} \quad (2.6)$$

- Nilai konduktivitas termal pada spesimen kedua :

$$\lambda_b' = \frac{\Delta t_R}{\Delta t_b} \times \frac{L_b}{L_R} \times \lambda_R \text{ (kcal/mhr.}^\circ\text{C)} \text{ (manual book)} \quad (2.7)$$

Sehingga nilai konduktivitas termal suatu spesimen adalah sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{L_b - L_a}{\frac{L_b}{\lambda_b'} - \frac{L_a}{\lambda_a'}} \text{ (kcal/mhr.}^\circ\text{C)} \text{ (manual book)} \quad (2.8)$$

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. $^\circ\text{C}$)

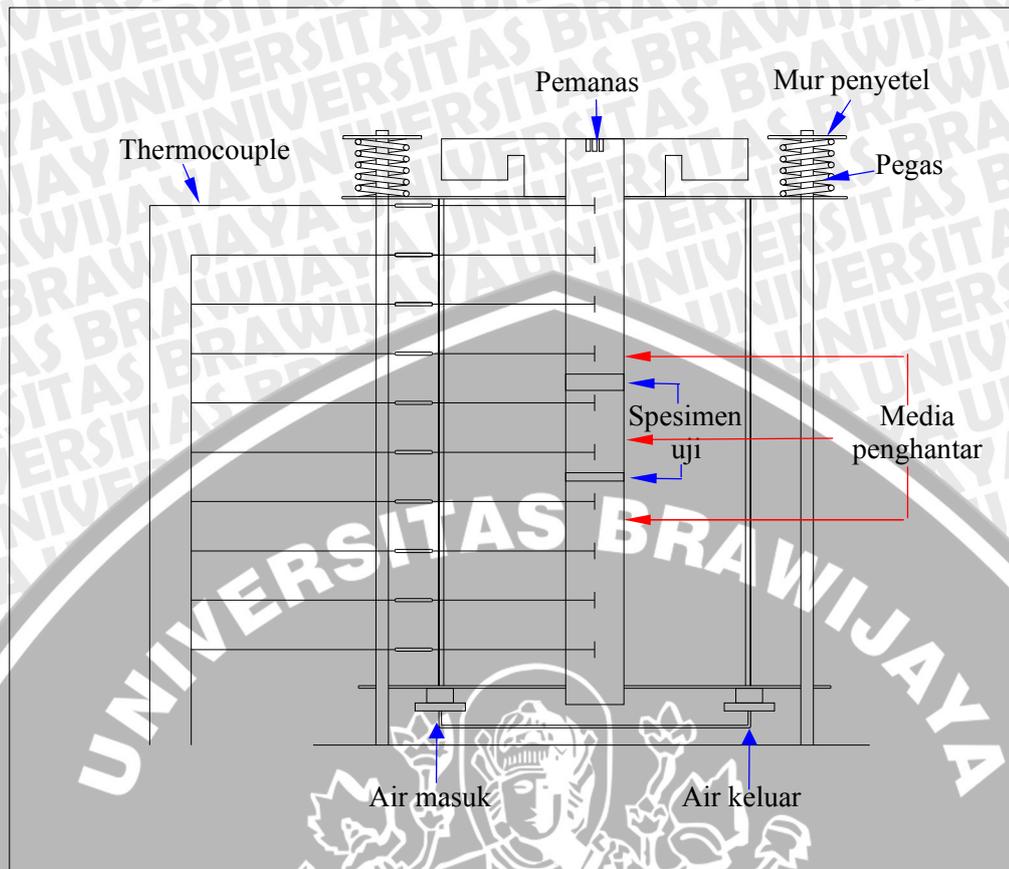
λ_a' / k_a = Nilai konduktivitas termal spesimen pertama (kcal/mhr. $^\circ\text{C}$)

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 ($^\circ\text{C}$)



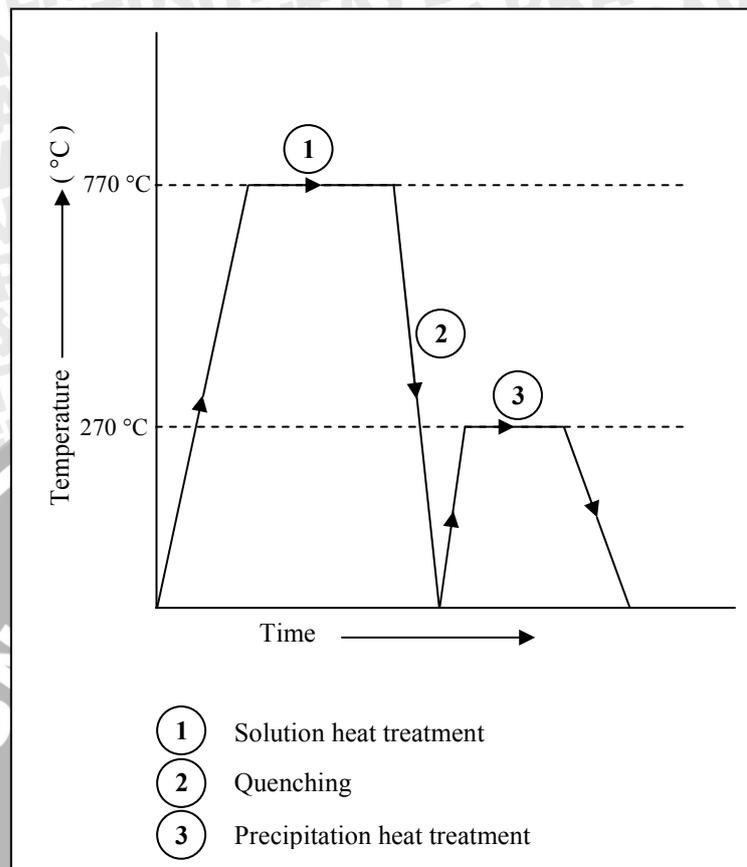
Gambar. 2.6 Instalasi uji konduktivitas termal

Sumber : Laboratorium Fenomena Dasar Mesin,

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawljaya

2.5 Perlakuan *Age Hardening*

Age Hardening dibagi menjadi tiga proses, yaitu proses *solution treatment*, *quenching* dan *precipitation treatment*. Proses ini berfungsi untuk memperoleh kekerasan yang lebih baik, kekerasan yang dicapai tergantung pada kadar tembaga (Cu) dalam aluminium (Al) dan juga bergantung pada energi pemanasannya. *Solution treatment* terdiri dari pemanasan ulang terhadap suatu aluminium yang dikeraskan dengan pendinginan cepat (*quenching*), Setelah itu dilakukan *precipitation treatment*. *Precipitation treatment* bertujuan untuk memperkecil atau mengurangi kekerasan akibat pengejut. Selain itu bertujuan untuk menyeragamkan struktur butiran dan menghilangkan atau mengurangi tegangan sisa. Dengan semakin halusny 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.



Gambar. 2.7. Siklus perlakuan panas *age hardening*

Sumber : Thomas Kilduff & James Jackobs ; 1994 : 260

Proses perlakuan panas *age hardening* adalah dengan memanaskan aluminium pada temperatur 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*, Selain untuk menyeragamkan 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 mengalami kesamaan antara yang satu dengan yang lainnya dan akan menyebabkan terjadinya kesamaan ukuran. Logam kemudian didinginkan cepat dengan media air (*quencing*). Setelah itu aluminium dipanaskan kembali pada temperatur 270 °C lalu penahanan dilakukan pada rentan waktu 5 – 20 menit dan didinginkan dengan media udara (*precipitation treatment*).

2.6 Hipotesa

Semakin tinggi temperatur *solution treatment* pada proses *age hardening* akan menjadikan struktur paduan aluminium akan mengalami keseragaman, karena ruang di antara butiran yang diisi oleh gas yang merupakan isolator berkurang sehingga nilai konduktivitas termal pada paduan aluminium tembaga akan semakin meningkat.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metodologi Penelitian

Adapun jenis metode yang digunakan adalah metode eksperimental nyata (*true 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

Penelitian dilakukan pada bulan Mei 2009 sampai selesai di Laboratorium Fenomena Dasar Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya Malang dan 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 *solution treatment*, 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*), menahan (*holding*) 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. Adapun spesifikasi dari alat ini adalah :

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 (*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

1. Persiapan dan pengecekan alat ukur serta menyetel sesuai dengan variabel yang telah ditentukan.
2. Persiapan spesimen dengan diameter (a) dan (b) = 40 mm, tebal spesimen (a) = 4 mm dan (b) = 2 mm.



Gambar. 3.3. Spesimen Uji Konduktivitas Termal

3. Pelaksanaan Perlakuan Panas:
 - a. Persiapan dan pengecekan alat ukur (*stopwatch*), alat pendukung (tang penjepit) serta menyetel sesuai dengan variabel yang telah ditentukan.
 - b. 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.
 - c. Spesimen dimasukkan dalam dapur listrik, kemudian dipanaskan pada tiap – tiap variasi temperatur *solution treatment*, kemudian ditahan (*holding*) selama 5, 10 dan 15 menit lalu didinginkan cepat dengan media air.
 - d. Setelah pemanasan dilanjutkan dengan pendinginan cepat dengan media air (*solution treatment*), lalu spesimen dipanaskan kembali pada temperatur 270 °C, penahanan (*holding*) selama 5 menit dan dilanjutkan pendinginan lambat dengan media udara hingga mencapai temperatur ruang yaitu $\pm 25\text{ }^{\circ}\text{C} - 27\text{ }^{\circ}\text{C}$ (*age hardening*).
4. Pengujian konduktivitas termal.
 - a. Persiapan spesimen yang akan diuji dan pengecekan alat ukur suhu (*termocouple*).
 - b. Spesimen dipasang pada alat uji konduktivitas termal, dimana spesimen dengan tebal 4 mm di posisi atas dan spesimen dengan tebal 2 mm di bawah dengan temperatur awal 26 °C – 27 °C.

- c. Batang logam dan spesimen ditutup dengan selubung penutup untuk menghindari pengaruh konveksi dari luar.
- d. Suhu pemanasan maksimum diatur pada 100 °C.
- e. *Heater* dinyalakan dan periksa apakah media pendingin yang berupa air sudah mengalir secara konstan.
- f. Setelah *heater* dinyalakan, tingkatkan daya listrik secara bertahap dengan menggunakan trafo. Saat temperatur mengalami peningkatan, setel daya listrik dan volume media pendingin agar tetap konstan sehingga didapatkan aliran densitas yg seragam.
- g. Setelah kondisi stabil data temperatur diambil pada tiap – tiap titik sensor (10 titik sensor *termocouple*).
- h. Pengulangan dilakukan sebanyak tiga kali untuk tiap – tiap perbedaan temperatur *solution treatment* dan tiap waktu *holding* yang berbeda.
- i. Untuk pergantian jenis spesimen dengan temperatur *solution treatment* yang berbeda, batang penghantar ditunggu sampai dingin dan dilakukan pengulangan langkah a sampai h.

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 masalah yang akan diteliti.

Model perancangan percobaan yang sesuai dalam penelitian ini akan diteliti pengaruh variasi temperatur *solution treatment* (300 °C, 350 °C, 400 °C, 450 °C, 500 °C) pada konduktivitas termal paduan aluminium tembaga. 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>solution treatment</i> (°C)	Konduktivitas termal (Watt/m.°C)		Rata - rata
300 °C	I	k ₁₁	\bar{k}_1
	II	k ₁₂	
	III	k ₁₃	
350 °C	I	k ₂₁	\bar{k}_2
	II	k ₂₂	
	III	k ₂₃	
400 °C	I	k ₃₁	\bar{k}_3
	II	k ₃₂	
	III	k ₃₃	
450 °C	I	k ₄₁	\bar{k}_4
	II	k ₄₂	
	III	k ₄₃	
500 °C	I	k ₅₁	\bar{k}_5
	II	k ₅₂	
	III	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 (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 A₁, A₂,.....,A_r dan faktor B mempunyai level B₁, B₂,.....,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 (αβ)_{ij}. Maka nilai setiap pengamatan ditulis dengan model matematika sebagai berikut:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (\text{slamet wahyudi; 2006: 96})$$

dengan:

Y_{ijk} : nilai setiap pengamatan

μ : nilai rata-rata dari seluruh pengamatan

α_i : pengaruh faktor temperatur ke i

β_j : pengaruh faktor waktu *holding* ke j

$(\alpha\beta)_{ij}$: pengaruh interaksi faktor temperatur 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 *solution treatment*
2. β : pengaruh (efek) dari faktor waktu *holding*
3. $\alpha\beta$: pengaruh interaksi dari faktor temperatur *solution treatment* 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 *solution treatment* terhadap konduktivitas termal paduan aluminium tembaga)
 H_1^1 : paling sedikit satu $\alpha_i \neq 0$ (ada pengaruh variasi temperatur *solution treatment* 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 *solution treatment* dan waktu *holding* terhadap konduktivitas termal paduan aluminium tembaga)
 H_1^3 : paling sedikit satu $(\alpha\beta)_{ij} \neq 0$ (ada pengaruh variasi temperatur *solution treatment* 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		
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 _{ret}		
S kolom	T _{1.}		T _{j.}		T _{c.}	T _{...}	
Rata-rata	\bar{X}		\bar{X}		\bar{X}		\bar{X}

Sumber : Slamet Wahyudi, 2006 : 96

Dalam perhitungan menggunakan rumus sebagai berikut:

1. Jumlah kuadrat total (JKT)

$$JKT = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t X_{ijk}^2 - \frac{(T_{...})^2}{rct} \quad (\text{Slamet Wahyudi; 2006: 98}) \quad 3.1$$

2. Jumlah kuadrat faktor A (JKA)

$$JKA = \frac{\sum_{i=1}^r T_{i..}^2}{ct} - \frac{(T_{...})^2}{rct} \quad (\text{Slamet Wahyudi; 2006: 98}) \quad 3.2$$

3. Jumlah kuadrat faktor B (JKB)

$$JKB = \frac{\sum_{j=1}^c T_{.j}^2}{rt} - \frac{(T_{...})^2}{rct} \quad (\text{Slamet Wahyudi; 2006: 98}) \quad 3.3$$

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

$$JKAB = JKP - JKA - JKB \quad (\text{Slamet Wahyudi; 2006: 98}) \quad 3.4$$

5. Jumlah kuadrat galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKA - JKB - JKAB \quad (\text{Slamet Wahyudi; 2006: 98}) \quad 3.5$$

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)

$$KTA = \frac{JKA}{(r-1)} \quad (\text{Slamet Wahyudi; 2006: 99}) \quad 3.6$$

2. Kuadrat tengah faktor B (KTB)

$$KTB = \frac{JKB}{(c-1)} \quad (\text{Slamet Wahyudi; 2006: 99}) \quad 3.7$$

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

$$KTAB = \frac{JKAB}{(r-1)(c-1)} \quad (\text{Slamet Wahyudi; 2006: 99}) \quad 3.8$$

4. Kuadrat tengah galat (KTG)

$$KTG = \frac{JKG}{rc(t-1)} \quad (\text{Slamet Wahyudi; 2006: 99}) \quad 3.9$$

Untuk menguji ketiga hipotesis diatas kita mencari harga F_{hitung} masing-masing sumber keragaman (faktor temperature *solution treatment*, faktor waktu *holding* dan interaksi faktor temperatur *solution treatment* 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

$$F_1 = \frac{KTA}{KTG} \quad (\text{Slamet Wahyudi; 2006: 99}) \quad 3.10$$

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

$$F_2 = \frac{KTB}{KTG} \quad (\text{Slamet Wahyudi; 2006: 99}) \quad 3.11$$

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

$$F_3 = \frac{KTAB}{KTG} \quad (\text{Slamet Wahyudi; 2006: 99}) \quad 3.12$$

Tabel 3.3 Analisis varian

Sumber Varian	JK	Db	KT	F_{hitung}	F_{α}
Antar A	JKA	$db_1 = r-1$	KTA	F_1	
Antar 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	$rc t - 1$			

Sumber: Slamet Wahyudi, 2006: 98

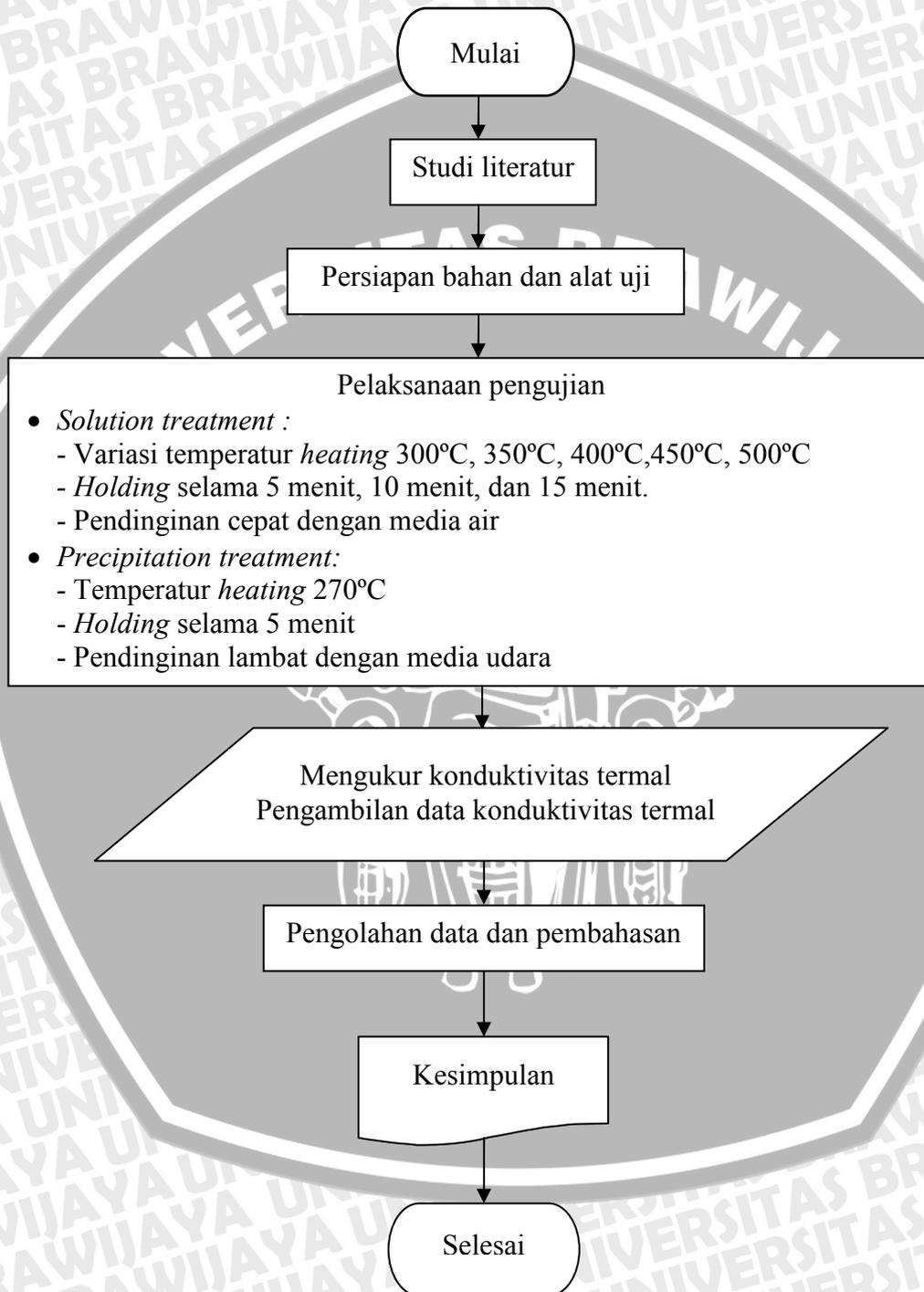
Kesimpulan yang diperoleh:

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



3.8 Diagram Alur Penelitian



Gambar. 3.4. 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 dengan variasi temperatur perlakuan panas *solution treatment*, 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>solution treatment</i> (°C)	Konduktivitas termal (Watt/m.°C)		Rata - rata
300	I	230	231,77
	II	233	
	III	232,3	
350	I	267	264
	II	263	
	III	262	
400	I	284	284,67
	II	287	
	III	283	
450	I	297	294,33
	II	295	
	III	291	
500	I	281	278
	II	277	
	II	276	

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

Variasi temperatur <i>solution treatment</i> (°C)	Konduktivitas termal (Watt/m. °C)		Rata - rata
300	I	241	238
	II	236	
	III	237	
350	I	274	272,33
	II	270	
	III	273	
400	I	291	289,67
	II	290	
	III	288	
450	I	303,4	302,13
	II	299	
	III	304	
500	I	279	276,67
	II	276	
	III	275	

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

Variasi temperatur <i>solution treatment</i> (°C)	Konduktivitas termal (Watt/m. °C)		Rata - rata
300	I	246	244,67
	II	245	
	III	243	
350	I	279	278,4
	II	276,2	
	III	280	
400	I	296	293,67
	II	294	
	III	291	
450	I	304	305,67
	II	306	
	III	307	
500	I	278	273,33
	II	272	
	III	270	

4.2 Analisa Statistik

4.2.1. Analisa Varian

Hasil pengolahan data pengujian pengaruh temperatur *solution treatment* 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, 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 *solution treatment* terhadap konduktivitas termal paduan aluminium tembaga).
 H_1^1 : paling sedikit satu $\alpha_i \neq 0$ (ada pengaruh variasi temperatur *solution treatment* 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 *solution treatment* dan waktu *holding* terhadap konduktivitas termal paduan aluminium tembaga)

H_1^3 : paling sedikit satu $(\alpha\beta)_{ij} \neq 0$ (ada pengaruh variasi temperatur *solution treatment* 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 *solution treatment*, 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> solution treatment</i> (°C)	300	I	230	241	246	2143,3
		II	233	236	245	
		III	232,3	237	243	
	350	I	267	274	279	2444,2
		II	263	270	276,2	
		III	262	273	280	
	400	I	284	291	296	2604
		II	287	290	294	
		III	283	288	291	
	450	I	297	303,4	304	2706,4
		II	295	299	306	
		III	291	304	307	
500	I	281	279	278	2484	
	II	277	276	272		
	III	276	275	270		
Σ			4058,3	4136,4	4187,2	12381,9

Dengan menggunakan perhitungan statistik diperoleh data sebagai berikut :

➤ **Faktor koreksi (FK)**

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

$$= \frac{12381,9^2}{5 \times 3 \times 3}$$

$$= 3406921,058$$

➤ **Jumlah Kuadrat Total (JKT)**

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

$$= [(230)^2 + (267)^2 + \dots + (270)^2] - 3406921,058$$

$$= 3428155,29 - 3406921,058$$

$$= 21234,232$$

➤ **Jumlah Kuadrat pengaruh A (JKA)**

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

$$= \frac{\{(2143,3)^2 + (2444,2)^2 + (2604)^2 + (2706,4)^2 + (2484)^2\}}{3 \times 3} - 3406921,058$$

$$= 3427057,943 - 3406921,058$$

$$= 20136,885$$

➤ **Jumlah Kuadrat pengaruh B (JKB)**

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

$$= \frac{\{(4058,3)^2 + (4136,4)^2 + (4187,2)^2\}}{5 \times 3} - 3406921,058$$

$$= 3407483,179 - 3406921,058$$

$$= 562,12$$

➤ **Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)**

$$\begin{aligned}
 JKP &= \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c T_{ij}^2}{n} - FK \\
 &= \frac{\{(695,3)^2 + (714)^2 + (734)^2 + \dots + (820)^2\}}{3} - 3406921,058 \\
 &= 3427979,697 - 3406921,058 \\
 &= 21058,64
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 JKAB &= JKP - JKA - JKB \\
 &= 21058,64 - 20136,885 - 562,12 \\
 &= 359,64
 \end{aligned}$$

➤ **Jumlah Kuadrat Galat (JKG)**

$$\begin{aligned}
 JKG &= JKT - JKA - JKB - JKAB \\
 &= 21234,232 - 20136,885 - 562,12 - 359,64 \\
 &= 175,592
 \end{aligned}$$

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

$$1. S_A^2 = \frac{JKA}{r-1} = \frac{20136,885}{5-1} = 5034,22$$

$$2. S_B^2 = \frac{JKB}{c-1} = \frac{562,12}{3-1} = 281,06$$

$$3. S_{AB}^2 = \frac{JKAB}{(r-1)(c-1)} = \frac{359,64}{(5-1)(3-1)} = 44,955$$

$$4. S^2 = \frac{JKG}{r c (n-1)} = \frac{175,592}{5 \times 3 (3-1)} = 5,85$$



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

1. Untuk faktor A :

$$F_{A \text{ hitung}} = \frac{S_A^2}{S^2} = \frac{5034,22}{5,85} = 860,55$$

2. Untuk faktor B :

$$F_{B \text{ hitung}} = \frac{S_B^2}{S^2} = \frac{281,06}{5,85} = 48,04$$

3. Untuk faktor AB :

$$F_{AB \text{ hitung}} = \frac{S_{AB}^2}{S^2} = \frac{44,955}{5,85} = 7,68$$

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>solution treatment</i> (faktor A)	20136,88	4	5034,22	860,55	2,69
Waktu <i>holding</i> (faktor B)	562,12	2	281,06	48,04	3,32
Interaksi faktor A dan B	359,64	8	44,955	7,68	2,27
Galat	175,592	30	5,85		
Total	21234,232	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 *solution treatment* 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).

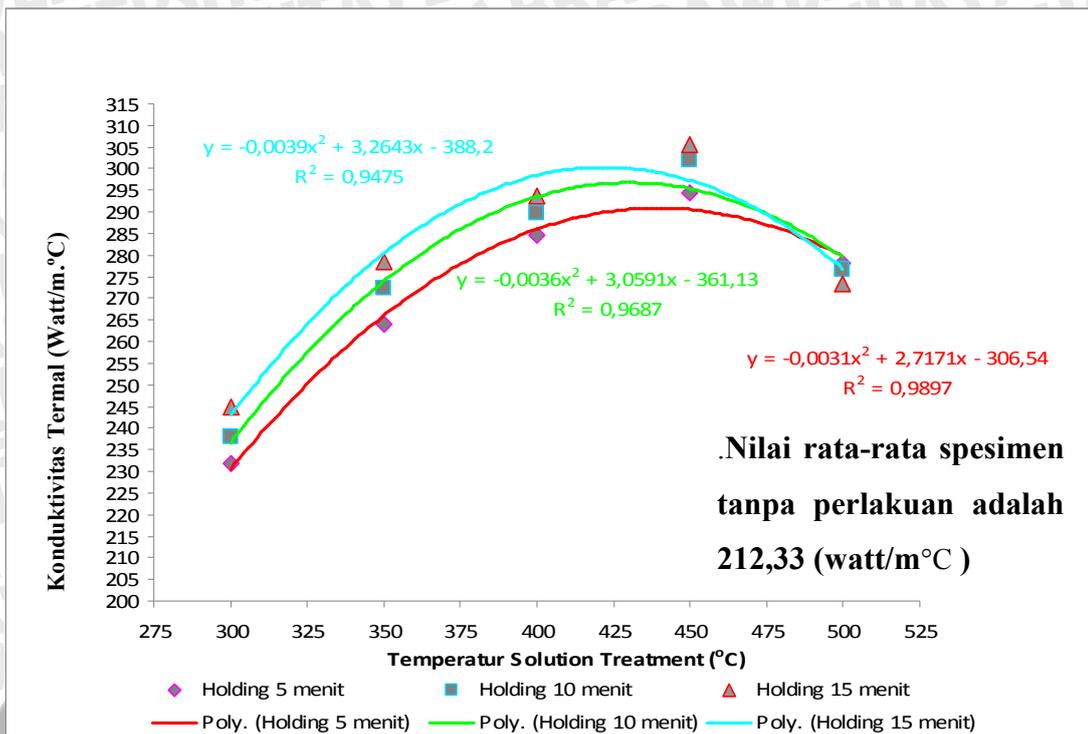
VI. $F_{AB \text{ hitung}} > F_{AB \text{ tabel}}$ Maka H_0^3 ditolak dan H_1^3 diterima, ini berarti bahwa interaksi antara temperatur *solution treatment* dan waktu *holding* berpengaruh terhadap konduktivitas termal paduan aluminium tembaga (Al – Cu).

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

4.3 Grafik dan Pembahasan

Pengaruh variasi temperatur *solution treatment* terhadap konduktivitas termal dapat diketahui dari tabel analisa 4.5, dari tabel tersebut didapatkan nilai F_{hitung} lebih besar dari pada nilai F_{tabel} . Besarnya nilai F_{hitung} mengartikan bahwa dugaan awal sesuai dengan kenyataan hasil eksperimen yaitu terjadi perbedaan yang nyata dari konduktivitas termal pada spesimen yang tanpa mengalami perlakuan panas dibandingkan dengan spesimen yang mengalami perlakuan panas dengan derajat kesalahan sebesar 5%, yang berarti analisa yang dipakai memiliki tingkat keyakinan sebesar 95%. Perbedaan ini terjadi karena pada spesimen yang mengalami perlakuan panas *solution treatment* mengalami perbaikan struktur butiran. Dimana butirannya menjadi lebih seragam dan rata. Pada saat paduan aluminium tembaga diberi perlakuan panas *solution treatment* maka logam mendapatkan penambahan panas berupa energi yang mengakibatkan butiran mengalami pergerakan untuk mencapai titik kestabilan. Hal inilah yang menjadi tolak ukur seberapa besar energi panas yang dibutuhkan agar tercapai kestabilan struktur butiran yang diinginkan.

Pada gambar 4.1 dibawah menunjukkan grafik hubungan antara temperatur *solution treatment* dan konduktivitas paduan paduan aluminium tembaga.



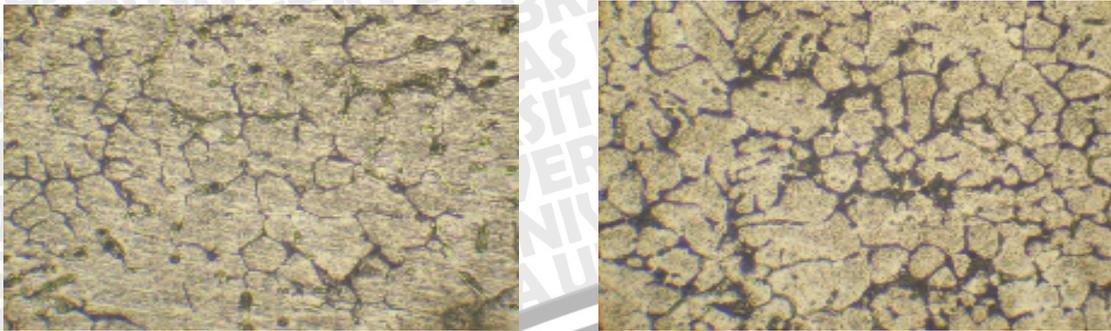
Gambar. 4.1. Grafik hubungan antara temperatur *solution treatment* dan konduktivitas termal dengan variasi *holding*

Pengaruh perbedaan waktu *holding* dan temperatur *solution treatment* menimbulkan dampak yang berbeda - beda. Hal tersebut dapat terlihat jelas pada gambar 4.1, dimana nilai konduktivitas termal paduan aluminium tembaga mengalami peningkatan sampai titik tertentu dan kemudian mengalami penurunan. Peningkatan nilai konduktivitas termal tersebut dikarenakan ukuran butir telah mengalami penyeragaman apabila dibandingkan dengan ukuran butiran dari paduan aluminium tembaga yang tidak diberikan perlakuan panas *solution treatment*. Karena ukuran butiran yang semakin seragam menyebabkan dimensi ruang diantara butiran semakin kecil jika dibandingkan paduan aluminium tembaga yang tidak mengalami proses perlakuan panas *solution treatment*. Apabila dimensi ruang antara butiran tersebut berkurang, maka hambatan termal yang berupa gas akan semakin berkurang pula sehingga energi termal yang dihantarkan langsung diterima oleh butiran dan selanjutnya akan diteruskan ke daerah yang memiliki temperatur lebih rendah.

Pada saat temperatur 300 °C dan *holding* 5 menit dapat dilihat bahwa nilai konduktivitas termal paduan aluminium tembaga yang dihasilkan meningkat, tetapi peningkatan ini kecil sekali apabila dibandingkan dengan temperatur yang lainnya. Hal tersebut dikarenakan pada temperatur 300°C dan *holding* 5 menit butiran-butiran belum

memiliki cukup pendistribusian energi panas yang menyeluruh untuk menata atau memperbaiki struktur butirannya sendiri, sehingga struktur butiran yang terdapat di dalam paduan aluminium tembaga masih belum merata. Karena pendistribusian energi yang kurang merata, menyebabkan ketidak teraturan pada struktur butiran yang akan mengurangi keseragaman struktur butir tersebut sehingga nilai konduktivitas termal tidak terlalu mengalami peningkatan yang signifikan apabila dibandingkan dengan paduan aluminium yang diberikan perlakuan *solution treatment* dengan waktu *holding* 10 dan 15 menit. Nilai rata – rata konduktivitas termal pada temperatur 300 °C dengan variasi waktu *holding* 5, 10 dan 15 menit berturut-turut adalah 231,77 (Watt/m.°C); 238 (Watt/m.°C); 244,67 (Watt/m.°C).

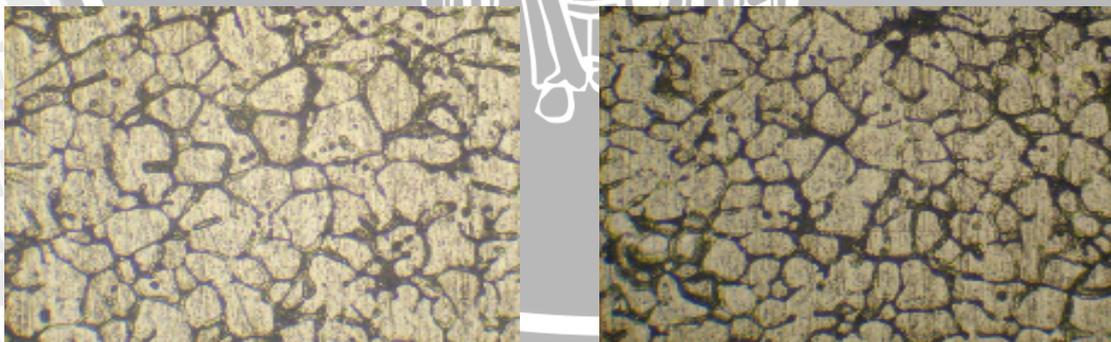
Nilai konduktivitas termal tidak hanya dipengaruhi oleh waktu *holding* saja, nilai konduktivitas termal juga bergantung dari jenis perlakuan panas, temperatur yang digunakan dan komposisi paduannya. Dengan melakukan perlakuan panas maka akan didapatkan ukuran butiran dan bentuk butiran yang berbeda. Pada gambar 4.1 dapat dilihat dengan perlakuan panas yang sama yaitu *solution treatment* tetapi dengan temperatur yang berbeda terjadi perbedaan nilai konduktivitas termal, semakin tinggi temperatur perlakuan panas dan waktu *holding* yang digunakan maka semakin naik pula nilai konduktivitas termalnya sampai pada titik maksimum kemudian mengalami penurunan nilai konduktivitas termal. Karena semakin tinggi temperatur *solution treatment* yang digunakan maka semakin seragam ukuran butir dari suatu material. Dengan semakin seragamnya ukuran butiran ruang antar butir yang berisi gas sebagai isolator panas akan semakin sedikit, maka jika terdapat energi kalor yang merambat melewati ruang antar butir hambatan termalnya akan semakin sedikit yang secara tidak langsung akan meningkatkan nilai konduktivitas termal paduan aluminium tembaga. Perbedaan temperatur dan waktu *holding* mempengaruhi ukuran dan keseragaman dari butirannya, hal tersebut terbukti dari hasil foto mikrostruktur dibawah ini.



Gambar. 4.2. A. Foto mikro *solution treatment* 300 °C *holding* 5 menit, B. *solution treatment* 300 °C *holding* 15 menit

Dari hasil foto mikro struktur pada gambar 4.2 di atas dapat dilihat perbedaan ukuran butir dari perlakuan *solution treatment* dengan temperatur 300 °C dengan *holding* 5 menit (gambar a) dan temperatur *solution treatment* 300 °C dengan *holding* 15 menit (gambar b) mengalami perbedaan. Pada temperatur 300 °C *holding* 15 menit ukuran butir lebih seragam dibandingkan temperatur 300 °C *holding* 5 menit, sehingga nilai konduktivitas termal pada temperatur 300 °C *holding* 15 menit lebih tinggi dibandingkan temperatur 300 °C *holding* 5 menit.

Selain waktu *holding*, peningkatan temperatur perlakuan panas juga meningkatkan keseragaman ukuran butir, semakin tinggi temperatur pemanasannya maka semakin seragam juga ukuran butirnya. Hal tersebut dikarenakan aluminium mengalami kecukupan energi panas yang lebih merata untuk menyeragamkan ukuran butirannya sehingga nilai konduktivitas termal juga mengalami peningkatan. Pernyataan tersebut terbukti pada foto mikro struktur dibawah ini.



Gambar. 4.3. A. Foto mikro *solution treatment* 350 °C *holding* 10 menit, B. *solution treatment* 300 °C *holding* 15 menit

Seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.3 di atas, pada perlakuan panas *solution treatment* dengan temperatur 350 °C dan *holding* 10 menit (gambar a) keseragaman

ukuran butiran lebih baik dari temperatur dibawahnya, tetapi masih lebih rendah dibandingkan pada perlakuan panas *solution treatment* dengan temperatur 350 °C dan *holding* 15 menit (gambar b). Hal tersebut sesuai dengan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh E.tilova.

Ukuran butiran yang terbentuk dari suatu material sangat dipengaruhi oleh laju pendinginan pada proses perlakuan panas, laju pendinginan juga mempengaruhi bentuk pertumbuhan butir yang terbentuk dari inti logam. Bentuk butir yang seragam dan merata akan meningkatkan nilai konduktivitas termal dari suatu material, apabila menggunakan media pendingin berupa air maka mengakibatkan bentuk butir yang sedang tetapi merata.

Jika dilihat pada temperatur *solution treatment* 350 °C – 450 °C, nilai konduktivitas termal yang dihasilkan mengalami peningkatan yang cukup berarti. Hal tersebut terjadi dikarenakan butiran telah memiliki kecukupan energi panas untuk mencapai kestabilan pada temperatur tersebut dan keseragaman dari butiran yang maksimal.

Keseragaman ukuran butiran tertinggi terjadi pada perlakuan *solution treatment* dengan suhu 450 °C dan waktu *holding* 15 menit, sehingga nilai konduktivitas termal tertinggi terjadi pada temperatur ini. Hal ini juga disebabkan distribusi energi panas pada bahan juga lebih merata pada saat temperatur tersebut sehingga pada saat proses pendinginan juga dihasilkan butiran yang lebih seragam yang berarti hambatan termal berupa daerah transisi antara batas butir dan berupa udara di antara butiran sebagai *isolator* panas paling kecil, nilai konduktivitas termal pada suhu 450 °C dan waktu *holding* 5, 10 dan 15 menit berturut-turut adalah 294,33 (Watt/m.°C), 302,13(Watt/m.°C), 305,67 (Watt/m.°C).

Pada temperatur *solution treatment* 500 °C nilai konduktivitas termal cenderung mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan struktur butiran telah mencapai titik kestabilan, selain itu temperatur perlakuan panas yang terlalu tinggi sampai mendekati titik lewat jenuh atau titik perubahan phase dari paduan aluminium tembaga (*supersaturated*) menyebabkan proses pendinginan yang terjadi juga akan semakin lama. Dimana perubahan fasa menyebabkan keseragaman ukuran butiran mengalami penurunan yang mengakibatkan ruang diantara butiran juga semakin besar. Semakin besar ruang antara butiran akan mengakibatkan penurunan nilai konduktivitas termal paduan aluminium tersebut.



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 *solution treatment* berpengaruh terhadap nilai konduktivitas termal paduan aluminium tembaga (Al – Cu). Kenaikan temperatur perlakuan panas *solution treatment* dan waktu *holding* memberikan efek penguatan positif terhadap nilai konduktivitas termalnya. Hal tersebut ditunjukkan dengan:

- Nilai rata - rata konduktivitas termal paduan aluminium tembaga tertinggi dihasilkan oleh spesimen dengan perlakuan panas *solution treatment* pada temperatur 450 °C dan waktu *holding* 15 menit, yaitu sebesar 305,67 (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 *solution treatment* nilai rata – rata konduktivitas termal terendah dihasilkan oleh spesimen dengan perlakuan panas *solution treatment* pada temperatur 300 °C dan waktu *holding* 5 menit, yaitu sebesar 231,77 (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. 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.

DAFTAR PUSTAKA

- Cengel, Yunus. 1998. *Heat Transfer A Practical Approach*. Boston: McGraw - Hill.inc.
- Djaprie, Sriati. 1993. *Teknologi Mekanik*. Jakarta: Erlangga.
- Heine, Richard W. 1990. *Principles of Metal Casting*. New Delhi: Publishing Company.
- Holman, J. P. 1994. *Perpindahan Kalor* . Edisi keenam. Terjemahan E. Jasjfi.
Jakarta: Erlangga.
- Irawan, Yudy. 2008. *Pemilihan Bahan dan Proses*. Diktat Ajar Teknik Universitas Brawijaya, Malang.
- Kashyap, K. T, Chandrashekar, T. 2001. *Effects and mechanisms of grain refinement in aluminium alloys*.
<http://www.ias.ac.in/matersci/bmsaug2001/345.pdf>. (diakses 31 Juli 2009).
- Kilduff, Thomas & Jackobs, James. 1994. *Engineering Material Technology Structures, Processing, Properties and Selection*. Prentice Hall International.inc.
- Koestoer, Raldiartono. 2002. *Perpindahan Panas untuk Mahasiswa Teknik*.
Jakarta: Salemba teknik.
- Kreint, Frank. 1997. *Prinsip-prinsip Perpindahan Panas*. Jakarta: Erlangga.
- Ogawa Seiki Co. LTD. 1987. *Thermal Conductivity Measuring Apparatus*. Jepang :
Ogawa Seiki Co. LTD (manual book).
- Sanjaya, Dadang. (2003). *Pengaruh Variasi Temperatur Pada Normalising Terhadap Tahanan dan Konduktivitas Listrik Aluminium Paduan*. Skripsi tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Sissom, Leighton. 1987. *Perpindahan Kalor*. Terjemahan E. Jasjfi. Jakarta: Erlangga.
- Smallman, R. 1985. *Metalurgi Fisik Modern*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Surdia, Tata. 1985. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Tillová, E. 2007. *Effect Of Sollution Treatment on Intermetallic Phases Mhorphology in AlSi9Cu3 Cast Alloy*.
http://public.carnet.hr/metalurg/Metalurgija/2008_vol_47/No_3/MET_47_3_207_210_Tillova.pdf. (diakses 7 January 2009).
- Wahyudi, Slamet. 2006. *Statistik Teknik*. Malang :Universitas Brawijaya.
- Zakharov, B. 1982. *Heat Treatment of Metals*. Moscow: Peace Publishers.

<http://www.wikipedia.org%2Fwiki%2FAluminium>. (diakses 18 February 2009).

<http://www.gurumuda.com/2009/03/konduksi/>. (diakses 3 Maret 2009).

<http://www.matweb.com>. (diakses 23 Maret 2009).



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Sifat - sifat Mekanik Aluminium.

Tabel Sifat - sifat Mekanik Aluminium

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)			
	99,99		>99.0	
	Dianil	75% dirol dingin	Dianil	H 18
Kekuatan tarik (Kg/mm ²)	4,6	11,6	9,3	16,9
Kekuatan mulur (0,2%)(Kg/mm ²)	1,3	11,0	3,5	14,8
Perpanjangan (%)	48,8	5,5	35	5
Kekerasan Brinell (Kg/mm ²)	17	27	23	44

Sumber : T. Surdia dan S. Saito, 1995 : 134



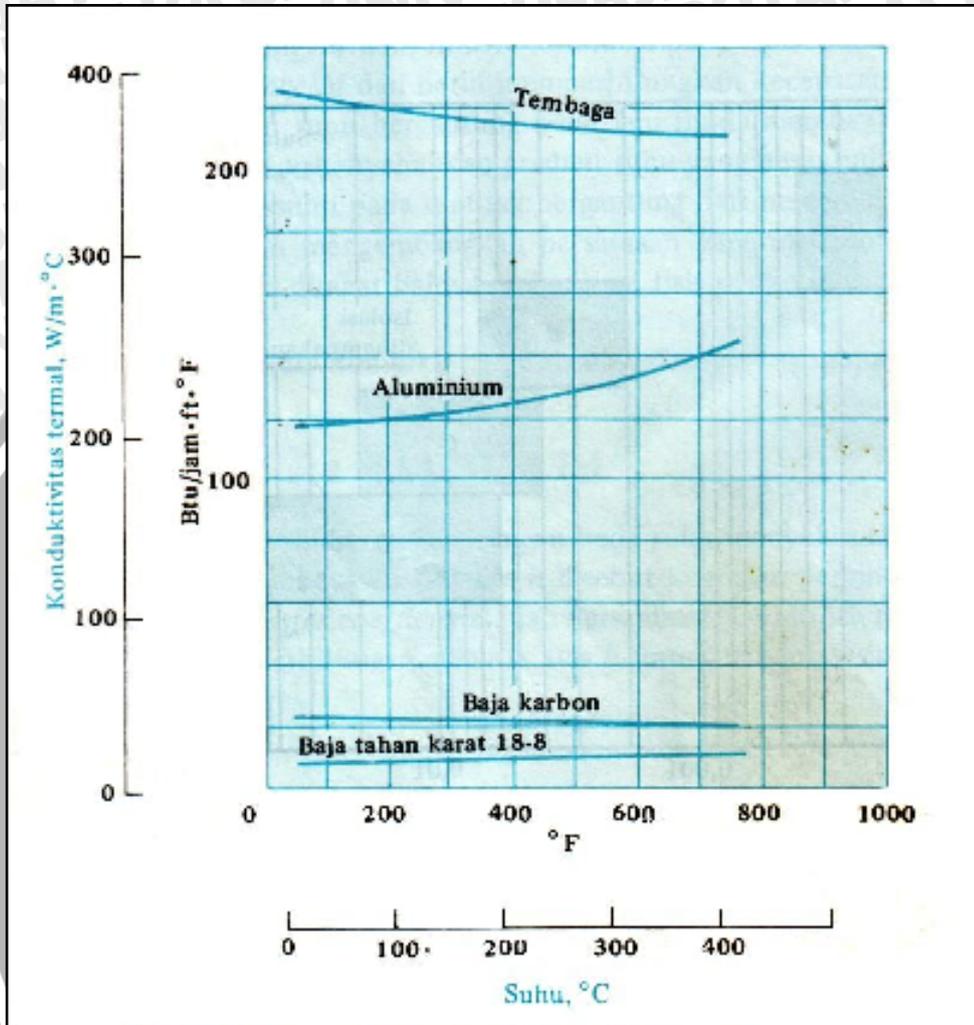
Lampiran 2. Gambar Spesimen



Gambar : Spesimen
Sumber : Peneliti, 2009



Lampiran 3. Konduktivitas Beberapa Zat Padat



Gambar : Konduktivitas Termal Beberapa Zat Padat

Sumber : J.P Holman, 1988: 27

Lampiran 4. Data Hasil Pengujian Konduktivitas Termal Paduan Aluminium Tembaga (Al - Cu)

Data Hasil Pengujian Konduktivitas Termal Pada *Holding 5 menit*

<i> Holding 5 menit</i>		T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	
Temperatur Solution Treatment (°C)	I	300	100	92	84	81	36	34	29	28	27	26
		350	100	91	84	80	37	36	29	28	27	26
		400	100	94	86	84	43	42	29	28	27	26
		450	100	90	83	78	37	35	28	27	26	26
		500	100	92	86	81	39	38	28	27	26	26
	II	300	100	90	85	81	36	34	29	28	27	26
		350	100	90	83	81	38	37	30	28	27	26
		400	100	93	87	85	44	43	30	28	27	26
		450	100	91	82	79	38	36	29	27	26	26
		500	100	91	87	81	39	38	28	27	26	26
	III	300	100	92	84	82	37	35	30	27	26	26
		350	100	90	84	81	38	37	30	28	27	26
		400	100	94	87	84	43	42	29	28	27	26
		450	100	91	82	78	37	35	28	27	26	26
		500	100	91	85	80	38	37	27	27	26	26

Data Hasil Pengujian Konduktivitas Termal Pada *Holding 10 menit*

<i> Holding 10 menit</i>		T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	
Temperatur Solution Treatment (°C)	I	300	100	98	96	89	47	45	29	28	27	26
		350	100	91	86	80	37	36	29	28	27	26
		400	100	93	87	81	41	38	30	29	28	27
		450	100	90	85	82	43	39	29	28	27	26
		500	100	91	86	82	41	38	29	28	27	26
	II	300	100	98	96	89	47	45	29	28	27	26
		350	100	90	87	81	38	37	30	28	27	26
		400	100	92	85	81	42	39	31	29	28	27
		450	100	90	88	83	43	40	30	27	26	26
		500	100	90	87	81	40	38	29	28	27	27
	III	300	100	97	95	88	46	44	28	27	27	26
		350	100	90	85	80	37	36	29	28	27	26
		400	100	92	86	81	41	37	30	29	28	26
		450	100	91	86	82	43	39	29	28	27	26
		500	100	91	87	82	41	38	29	28	27	26

Lampiran 4. (Lanjutan)

Data Hasil Pengujian Konduktivitas Termal Pada *Holding 15 menit*

<i> Holding 15 menit</i>		T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	
Temperatur Solution Treatment (°C)	I	300	100	92	85	80	35	34	31	28	27	26
		350	100	90	83	81	41	36	30	28	27	26
		400	100	92	88	81	43	41	30	29	28	27
		450	100	92	88	78	37	35	30	29	28	27
		500	100	92	86	79	37	34	29	28	27	26
	II	300	100	91	84	80	35	33	31	28	27	26
		350	100	90	87	81	40	36	30	28	27	26
		400	100	92	85	82	45	42	31	29	28	27
		450	100	91	87	79	38	36	31	30	29	27
		500	100	91	85	80	38	35	30	28	27	26
	III	300	100	91	83	79	34	32	30	28	27	26
		350	100	91	85	80	40	36	30	29	28	27
		400	100	92	84	81	43	40	29	28	27	26
		450	100	93	89	78	37	35	30	29	28	27
		500	100	90	87	79	36	33	29	28	27	26

Lampiran 5. Data Uji Komposisi Spesimen

02-Apr-2009 14:35:00

Sample results

Page 1

Sample ident
ALUMINIUM (NATSIR FIRDIANSYAH)

Compound	Al	P	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Te	Ba
Conc	91.4	0.25	0.40	0.046	0.009	0.093	1.25	0.415	0.10	5.39	0.55	0.01
Unit	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%

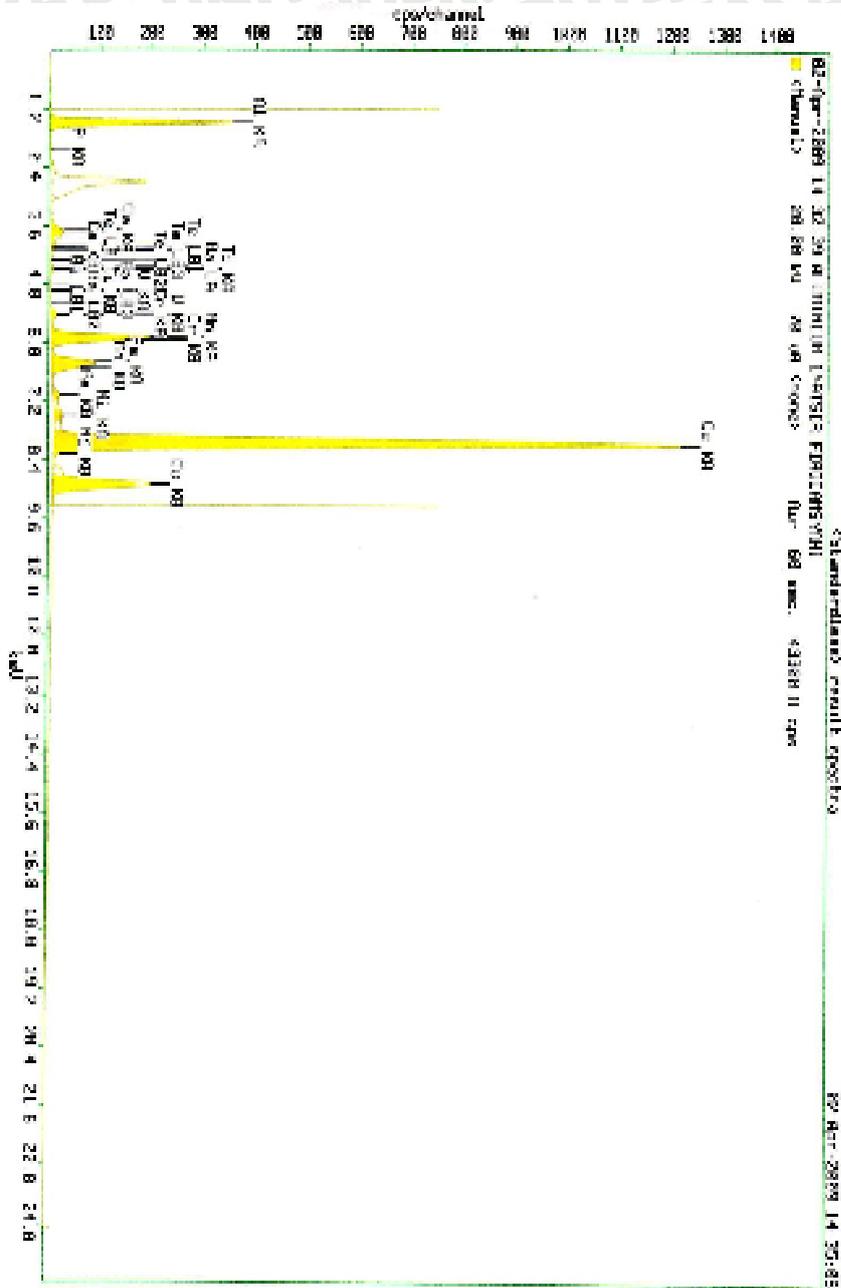
Malang, 2 April 2009
Kedok. Laboratorium Fisika
FMIPA UEM

Dita Guslulloh Pratiwi, M.Si
NIP. 131 808 404

Gambar : Uji Komposisi Spesimen

Sumber : Laboratorium Fisika Universitas Negeri Malang

Lampiran 5. (Lanjutan)



Gambar : Uji Komposisi Spesimen (*spectra*)

Sumber : Laboratorium Fisika Universitas Negeri Malang