

**PENGARUH VARIASI KEKENTALAN MEDIA PENDINGIN OLI  
PADA PROSES *SOLUTION TREATMENT* TERHADAP  
KONDUKTIVITAS TERMAL PADUAN ALUMINIUM**

**SKRIPSI  
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

**Bima Buana T. D  
0410623019 -62**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2010**

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH VARIASI KEKENTALAN MEDIA PENDINGIN OLI  
PADA PROSES *SOLUTION TREATMENT* TERHADAP  
KONDUKTIVITAS TERMAL PADUAN ALUMINIUM**

**SKRIPSI  
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

**Bima Buana T. D**  
**0410623019-62**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

**Ir. Djoko Sutikno, M. Eng**

**NIP. 1954 1009 198303 1 002**

**Putu Hadi Setyarini, ST. MT**

**NIP. 1977 0806 200312 2 001**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH VARIASI KEKENTALAN MEDIA PENDINGIN OLI  
PADA PROSES *SOLUTION TREATMENT* TERHADAP  
KONDUKTIVITAS TERMAL PADUAN ALUMINIUM

Disusun oleh :

**BIMA BUANA T. D**  
**NIM. 0410623019 – 62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
tanggal 4 Agustus 2010

DOSEN PENGUJI

Skripsi I

Skripsi II

**Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST, M. Eng**  
**NIP. 19590411 198710 1 001**

**Ir. Endi Sutikno, MT**  
**NIP. 19590411 198710 1 001**

KOMPREHENSIF

**Ir. Agustinus Ariseno, MT**  
**NIP. 19510822 198701 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 Kekentalan Media Pendingin Oli Pada Proses *Solution Treatment* Terhadap Konduktivitas Termal Paduan Aluminium”**.

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 Maryono dan Ibu Sri Nanik Indrawati tercinta yang telah mendukung dengan doa dan harapan yang besar.
9. Rekan - rekan mahasiswa 2004 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 2010

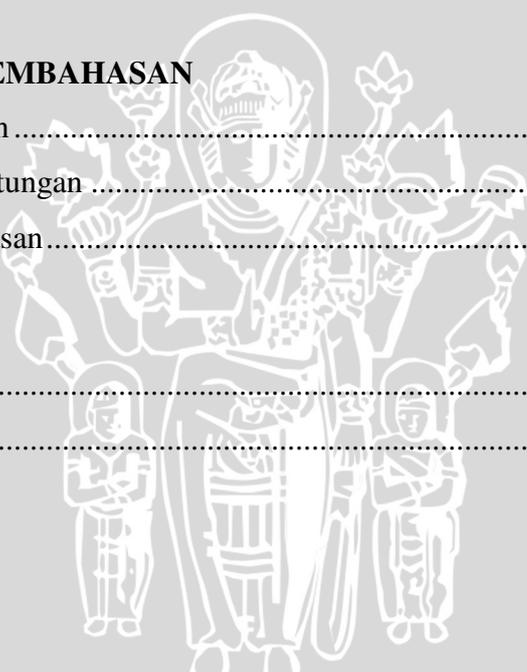
Penulis



## DAFTAR ISI

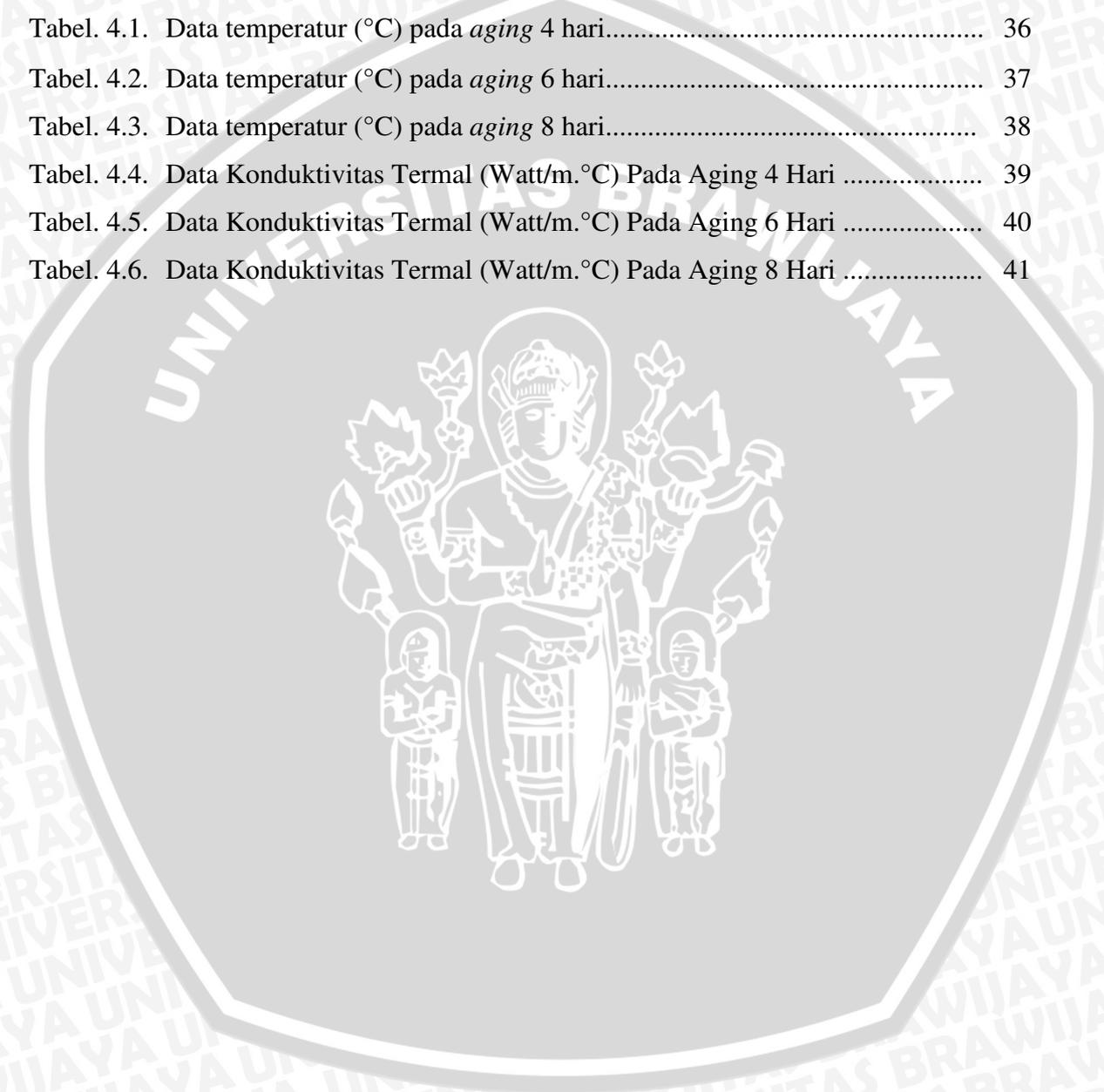
	Halaman
<b>PENGANTAR</b>	i
<b>DAFTAR ISI</b>	ii
<b>DAFTAR TABEL</b>	iv
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	v
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	vi
<b>RINGKASAN</b>	vii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Penelitian Sebelumnya .....	4
2.2 Aluminium .....	6
2.2.1. Sifat - sifat Paduan Aluminium .....	7
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 Keadaan Tunak ( <i>Steady State</i> ) .....	11
2.3.2. <i>Lumped System</i> .....	16
2.4 Konduktivitas Logam ( <i>Metalic Conductivity</i> ).....	16
2.4.1. Konduktivitas Termal pada Aluminium .....	17
2.4.2. <i>Thermal Conductivity Measuring Apparatus</i> .....	18
2.5 Proses Perlakuan Panas Paduan Aluminium .....	20
2.5.1. Jenis – jenis Perlakuan Panas Pada Paduan Aluminium .....	21
2.5.2. Perlakuan <i>Solution Treatment</i> .....	22
2.6 Media Pendingin .....	24
2.6.1. Media Pendingin Oli .....	25

2.6.2	Satuan Nilai Kekentalan Oli.....	27
2.7	Hipotesa.....	28
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>		
3.1	Metodologi Penelitian .....	29
3.2	Tempat dan Waktu Pelaksanaan Penelitian.....	29
3.3	Variabel Penelitian .....	29
3.4	Alat dan Bahan .....	30
3.4.1.	Alat yang digunakan .....	30
3.4.2.	Bahan yang digunakan.....	33
3.5	Prosedur Penelitian.....	33
3.6	Diagram Alur Penelitian.....	35
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>		
4.1	Data Hasil Penelitian .....	36
4.1.1.	Contoh Perhitungan .....	43
4.2	Grafik dan Pembahasan.....	44
<b>BAB V PENUTUP</b>		
5.1	Kesimpulan .....	48
5.2	Saran .....	48
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		
<b>LAMPIRAN</b>		



## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel. 2.1.	Sifat - Sifat Fisik Aluminium .....	6
Tabel. 2.2.	Koefisien Konduktivitas Termal Berbagai Macam Zat .....	17
Tabel. 4.1.	Data temperatur (°C) pada <i>aging</i> 4 hari.....	36
Tabel. 4.2.	Data temperatur (°C) pada <i>aging</i> 6 hari.....	37
Tabel. 4.3.	Data temperatur (°C) pada <i>aging</i> 8 hari.....	38
Tabel. 4.4.	Data Konduktivitas Termal (Watt/m.°C) Pada Aging 4 Hari .....	39
Tabel. 4.5.	Data Konduktivitas Termal (Watt/m.°C) Pada Aging 6 Hari .....	40
Tabel. 4.6.	Data Konduktivitas Termal (Watt/m.°C) Pada Aging 8 Hari .....	41



## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar. 2.1.	Struktur Butir Setelah Perlakuan <i>Solution Treatment</i> .....	4
Gambar. 2.2.	Pengaruh Waktu <i> Holding</i> Terhadap Ukuran Butiran .....	5
Gambar. 2.3.	Grafik Fasa Al – Cu .....	10
Gambar. 2.4.	Perpindahan Panas Konduksi Melalui Dinding .....	13
Gambar. 2.5.	A.Perpindahan Panas Konduksi Melalui Dinding Komposit, B.Analogi Listriknya .....	14
Gambar. 2.6.	A.Perpindahan Panas Satu Dimensi Seri dan Pararel Melalui Dinding Komposit, B. Analogi Listriknya .....	15
Gambar. 2.7.	Instalasi uji konduktivitas termal .....	20
Gambar. 2.8.	Struktur Butiran (A) Sebelum Perlakuan, (B) Setelah Perlakuan .....	23
Gambar. 2.9.	Siklus Perlakuan Panas <i>Soution Treatment</i> .....	24
Gambar.2.10.	Grade Kekentalan Oli .....	26
Gambar. 3.1.	Dapur Listrik .....	30
Gambar. 3.2.	<i>Thermal Conductivity Measuring Apparatus</i> .....	31
Gambar. 3.3.	<i>Stopwatch</i> .....	32
Gambar. 3.4.	Jangka Sorong .....	32
Gambar. 3.5.	Spesimen Uji Konduktivitas Termal .....	30
Gambar. 3.7.	Diagram Alir Penelitian .....	35
Gambar. 4.1.	Grafik Pengaruh Variasi Kekentalan Media Pendingin Oli dan Konduktivitas Termal Dengan <i> Aging</i> 4 hari .....	42
Gambar. 4.2.	Grafik Pengaruh Variasi Kekentalan Media Pendingin Oli dan Konduktivitas Termal Dengan <i> Aging</i> 6 hari .....	42
Gambar. 4.3.	Grafik Pengaruh Variasi Kekentalan Media Pendingin Oli dan Konduktivitas Termal Dengan <i> Aging</i> 8 hari .....	43
Gambar. 4.4.	Grafik Pengaruh Variasi Kekentalan Media Pendingin Oli dan Konduktivitas Termal Dengan <i> Aging</i> .....	45

## DAFTAR LAMPIRAN

No	Judul
Lampiran 1.	Gambar Spesimen
Lampiran 2.	Konduktivitas Beberapa Zat Padat
Lampiran 3.	Tabel Sifat - sifat Mekanik Aluminium
Lampiran 4.	Data Uji Komposisi Spesimen



## RINGKASAN

**Bima Buana T.D**, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2010. *Pengaruh Variasi Kekentalan Media Pendingin Oli Pada Proses Solution Treatment Terhadap Konduktivitas Termal Paduan Aluminium*, Dosen Pembimbing : **Ir. Djoko Sutikno, M. Eng dan Putu Hadi Setyarini, ST. MT**

Dalam perkembangan industri saat ini logam masih memegang peranan yang sangat penting. Penggunaan material pada sektor industri tidak hanya terpaku pada satu atau dua jenis material saja, akan tetapi banyak jenis material yang digunakan sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan. Oleh karena itu banyak dilakukan penelitian pada material agar tercipta material baru dengan spesifikasi khusus dengan peningkatan sifat-sifat yang lebih menguntungkan. Paduan aluminium tembaga adalah material non – *ferrous* dengan kelebihan utama adalah tahan korosi, dan memiliki koefisien konduktivitas termal yang tinggi. Untuk itu diperlukan suatu proses untuk meningkatkannya yaitu dengan proses perlakuan panas. *Solution treatment* merupakan suatu proses perlakuan panas yang bertujuan untuk meningkatkan kekerasan paduan aluminium. Proses *solution treatment* terdiri dari pemanasan terhadap suatu paduan aluminium hingga mendekati titik lebur paduan tersebut, setelah pemanasan kemudian ditahan (*holding*) selama 5 – 20 menit setelah itu baru dilakukan pendinginan cepat (*quenching*). Oli merupakan salah satu media pendingin selain air, yang digunakan pada proses perlakuan panas. Media pendingin oli sering digunakan pada material *ferrous* untuk memperoleh kekerasan yang maksimal dan menghindari terjadinya korosi.

Konduktivitas termal adalah kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan atau mentransfer energi termal (watt) pada satu (meter) panjang bahan yang dilewati setiap beda temperatur 1 (°C) . 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. Aluminium adalah logam yang memiliki nomor atom 13, yang berarti ada 3 elektron *valensi* pada orbit terluar. Elektron *valensi* itulah yang jika diberi energi (panas) akan bergetar sehingga terjadi energi kinetik pada elektron, dengan bergetarnya elektron tersebut maka energi (panas) akan terhantar. Dalam penelitian ini jenis aluminium yang digunakan adalah seri 2xxx, adalah salah satu paduan aluminium yang unsur paduan utamanya adalah tembaga. Metode yang digunakan adalah metode eksperimental nyata dengan variasi kekentalan oli sebagai media pendinginnya. Setelah spesimen diberi perlakuan panas paduan aluminium tersebut kemudian dilakukan pengujian konduktivitas termal menggunakan alat *Thermal Conductivity Measuring Apparatus*.

Hasil dari variasi kekentalan media pendingin oli dan waktu *aging* menunjukkan bahwa semakin tinggi kekentalan oli konduktivitas termal juga meningkat. Nilai rata - rata konduktivitas termal tertinggi dihasilkan oleh kekentalan oli 1874,5 cps (SAE 90) dan waktu *aging* 8 hari, yaitu sebesar 323,60 (Watt/m.°C). Sedangkan nilai rata - rata konduktivitas termal terendah dihasilkan oleh spesimen tanpa perlakuan panas *Solution treatment* yaitu 211,33 (Watt/m.°C) dan spesimen dengan perlakuan panas dan kekentalan oli 112,5 cps (SAE 10) waktu *aging* 4 hari, yaitu sebesar 255,58 (Watt/m.°C).

**Kata kunci** : Paduan aluminium tembaga (Al - Cu), SAE, waktu *aging*, 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, kereta api, pesawat terbang dan lain - lain yang kesemuanya memanfaatkan logam sebagai komponen utamanya.

Penggunaan material pada sektor industri tidak hanya terpaku pada satu atau dua jenis material saja, akan tetapi banyak jenis material yang digunakan sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan. Oleh karena itu banyak dilakukan penelitian pada material agar tercipta material baru dengan spesifikasi khusus dengan peningkatan sifat-sifat yang lebih menguntungkan.

Salah satu jenis material yang banyak digunakan pada sektor industri adalah aluminium (Al). Karena aluminium memiliki sifat *specific gravity* yang rendah, konduktivitas listrik dan termal yang tinggi, keuletan yang tinggi, dan ketahanan korosi di berbagai media (Irawan, 2007). Dalam keadaan murni, aluminium memiliki sifat 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, 1991 : 63).

Penambahan unsur pada aluminium menghasilkan suatu aluminium paduan yang mempunyai perbedaan sifat – sifat dengan aluminium murni tergantung dari paduan apa 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  $2,8 \text{ kg/dm}^3$ , selain itu aluminium paduan ini memiliki sifat dapat dikeraskan hampir menyamai kekerasan baja karbon rendah dan memiliki keuletan yang lebih baik dari baja karbon rendah. Kelebihan utama dari aluminium paduan tembaga ini adalah tahan korosi, konduktivitas termal yang tinggi bila dibandingkan dengan baja karbon rendah yaitu  $193 \text{ W/m}^\circ\text{K}$  (Surdia, 1985 : 134).

Oli merupakan salah satu media pendingin selain air, yang digunakan pada proses perlakuan panas. Media pendingin oli sering digunakan pada material *ferrous* untuk memperoleh kekerasan yang maksimal dan menghindari terjadinya korosi. Akan tetapi, pada proses perlakuan panas material *non – ferrous* lebih bersifat untuk meningkatkan kekerasannya saja hal tersebut dikarenakan sebagian besar material *non – ferrous* tidak bersifat korosif. Pada proses *quenching* terjadi perpindahan panas dari spesimen aluminium ke media pendingin yang ditandai dengan terjadinya pembentukan gelembung – gelembung udara yang kemudian berlanjut dengan terbentuknya selubung udara pada permukaan spesimen tersebut.

Konduktivitas termal adalah suatu besaran intensif bahan yang menunjukkan kemampuannya untuk menghantarkan panas (Holman, 1988 : 2). 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.

Sehubungan dengan pernyataan tersebut di atas maka penelitian ini digunakan untuk mengetahui pengaruh variasi kekentalan media pendinginan oli terhadap konduktivitas termal pada aluminium paduan tembaga (Al – Cu) dikarenakan paduan aluminium tersebut sering digunakan sebagai bahan dasar alat - alat penghantar panas (*heat exchanger*) yang memiliki titik didih  $2519^{\circ}\text{C}$  dan titik lebur  $660,32^{\circ}\text{C}$  dan juga memiliki nilai konduktivitas termal yang cukup baik yaitu  $193 \text{ W/m-K}$  (Holman, 1988 : 2).

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan tersebut di atas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah : “Bagaimana pengaruh variasi kekentalan media pendingin oli terhadap konduktivitas termal pada proses *solution treatment* paduan aluminium tembaga?”.

### 1.3 Batasan Masalah

Agar dalam menganalisa pembahasan menjadi spesifik dan terarah maka dalam penelitian ini perlu adanya beberapa batasan masalah. Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Material yang digunakan adalah Aluminium 2017 dengan komposisi paduan (Al 91,4 % dan Cu 5,39 %).
2. Pengamatan dilakukan terhadap konduktivitas termal paduan aluminium tembaga (seri 2017).
3. Pendinginan dilakukan dengan variasi kekentalan media oli yang digunakan 112,5 cps (*SAE 10*), 280 cps (*SAE 20*), 775 cps (*SAE 40*), 1075 cps (*SAE 50*), 1874,5 cps (*SAE 90*).
4. Proses perlakuan panas yang digunakan adalah *solution treatment* dengan temperatur 450 °C dan waktu *holding* masing - masing 5 menit.
5. Proses *aging* dilakukan pada temperatur ruangan  $\pm 27$  °C (*natural aging*) selama 4 hari, 6 hari, dan 8 hari.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh variasi kekentalan oli sebagai media pendingin pada proses *solution treatment* terhadap konduktivitas termal paduan aluminium tembaga (Al – Cu).

### 1.5 Manfaat Penelitian

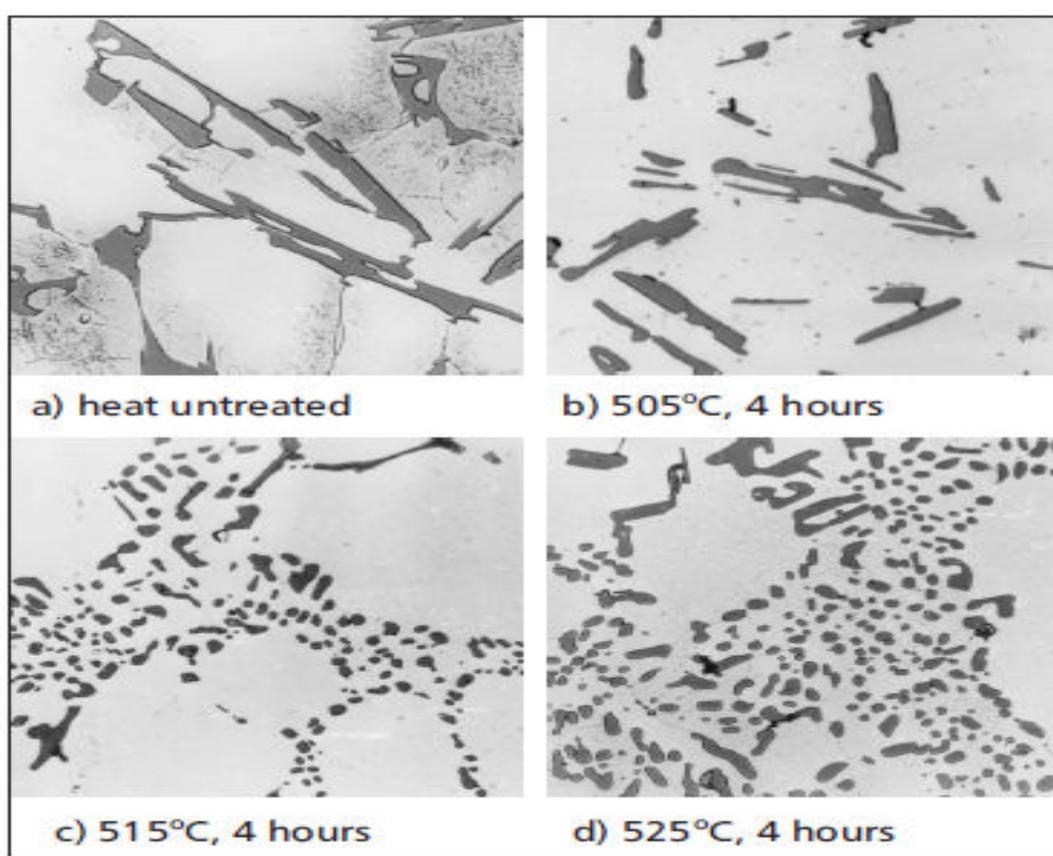
1. Sebagai bahan referensi pada bidang material dalam hal pengaruh perlakuan panas terhadap konduktivitas termal pada paduan aluminium tembaga.
2. Mampu mengaplikasikan ilmu dan teori yang telah didapatkan selama proses belajar diperguruan tinggi.
3. Sebagai bahan pembandingan dan dasar pendekatan untuk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

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

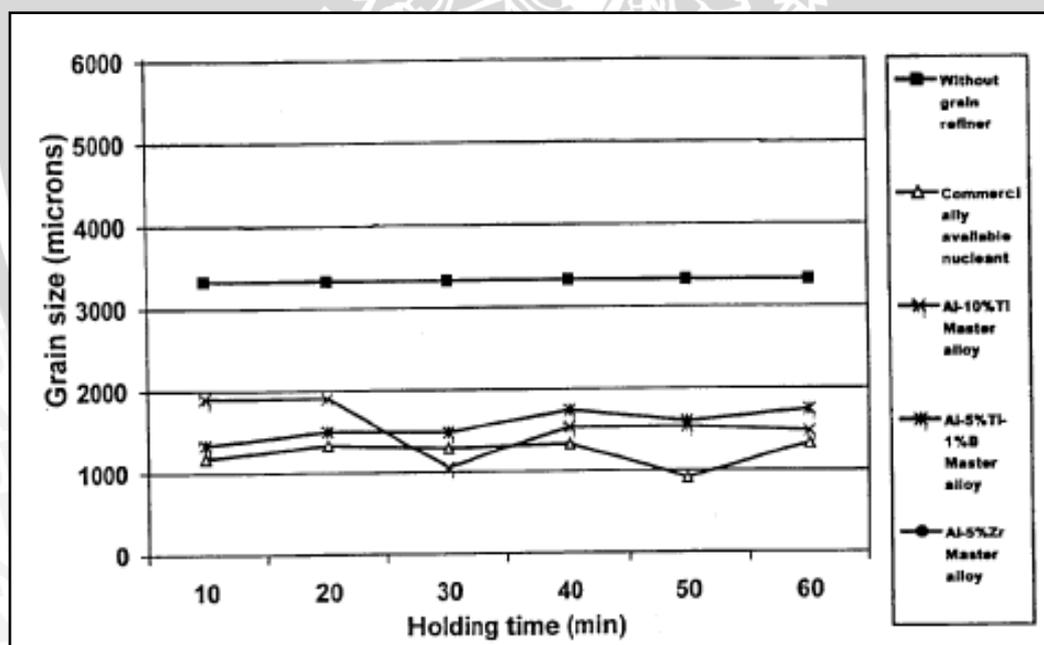
Tillová (2007), telah melakukan penelitian dan dapat ditarik kesimpulan bahwa variasi temperatur *solution treatment* sangat berpengaruh terhadap konduktivitas panas, hal tersebut disebabkan proses *solution treatment* memperbaiki struktur butiran dan menyeragamkan ukuran butiran, sehingga tahanan listrik berkurang sebanding dengan berkurangnya cacat strukturnya. Sedangkan konduktivitas listriknya meningkat yang dikarenakan pada proses *solution treatment* meningkatkan kekerasan sehingga nilai konduktivitas panas meningkat.



Gambar. 2.1. Struktur butir setelah perlakuan *solution treatment*  
Sumber : [http://public.carnet.hr/metalurg/Metalurgija/2008\\_vol\\_47/No\\_3/MET\\_47\\_3\\_207\\_210\\_Tilova.pdf](http://public.carnet.hr/metalurg/Metalurgija/2008_vol_47/No_3/MET_47_3_207_210_Tilova.pdf)

**Kashyap dan Chandrashekar (2001)**, melakukan penelitian berjudul “*Effects and Mechanisms of Grain Refinement in Aluminium Alloys*”. Dan dapat disimpulkan 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 ukuran butiran  
Sumber : Kashyap dan T. Chandrashekar, 2001

**Murizam dan Shamsul (2007)**, melakukan penelitian dengan judul “*Efek dari Temperatur Solution Treatment Paduan Aluminium Tipe 319*”. Dari hasil penelitian didapatkan kesimpulan bahwa kekerasan meningkat seiring meningkatnya temperatur *solution treatment*, hal tersebut dikarenakan struktur butir mengalami perubahan

(perbaikan). Semakin tinggi temperatur pemanasannya struktur butir akan lebih banyak mengalami penyeragaman sampai pada titik temperatur maksimum, setelah itu kekerasan akan mengalami penurunan dikarenakan ukuran butiran yang terlalu besar. Ukuran butiran yang terlalu besar akan menyebabkan ruang diantara butiran juga semakin meningkat, dimana konduktivitas termal meningkat seiring dengan keseragaman ukuran butiran. Selain itu penambahan komposisi tembaga dan juga waktu *aging* juga meningkatkan nilai kekerasan juga.

## 2.2 Aluminium

Aluminium ditemukan pada tahun 1809 oleh Sir Humphrey Davy dan sampai saat ini penggunaannya menempati urutan ketiga setelah besi dan baja (Surdia, 1995: 129). Aluminium merupakan logam yang ringan, kuat dan tahan korosi, selain itu juga mempunyai kemampuan hantaran listrik yang baik. Untuk meningkatkan kemampuan mekaniknya aluminium dipadukan dengan beberapa unsur seperti Cu, Mg, Si, Mn, dan Zn. Material ini digunakan dalam berbagai bidang diantaranya peralatan rumah tangga, industri pesawat terbang, mobil, kapal laut dan konstruksi.

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 ( $\text{Kg} / \text{dm}^3$ ) ( $20^0\text{C}$ )	2,6989	2,71
Titik cair ( $^0\text{C}$ )	660,2	653 – 657
Panas jenis ( $\text{Cal/g} \cdot ^0\text{C}$ ) ( $100^0\text{C}$ )	0,2226	0,2297
Hantaran listrik ( $10^6/\text{cm} \cdot \Omega$ )	0,377	3,78
Koefisien tahanan listrik ( $\Omega \cdot \text{m}/20^0\text{C}$ )	0,00429	0,0115
Koefisien pemuaian ( $\text{M}/^0\text{C}$ ) ( $20-100^0\text{C}$ )	$23,86 \times 10^6$	$23,5 \times 10^6$
Jenis kristal, Konstanta kisi	<i>Fcc</i> , $\alpha = 4,013 \text{ kX}$	<i>Fcc</i> , $\alpha = 4,04 \text{ kX}$

Sumber : Surdia, ( 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 antara lain :

#### 1. Kekerasan

Kekerasan aluminium tidak terlalu tinggi, tetapi nilai tersebut dapat diperbaiki dengan penambahan unsur lain (pemuatan) dan juga *heat treatment*. Aluminium murni mempunyai kandungan sebesar 99,99% mempunyai kekerasan 17 BHN (*Brinell Hardness Number*). Dengan penambahan unsur paduan dan perlakuan panas dapat diperoleh paduan aluminium dengan komposisi unurnya 4,5% Cu, 1,5% Mg, 0,5% Mn yang biasa disebut dengan paduan 2024 mempunyai kekerasan 120 BHN.

#### 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% kekuatan tariknya adalah 4,9 kg/mm<sup>2</sup>. 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 ditingkatkan 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 gr/cm<sup>3</sup> pada suhu 20<sup>0</sup>C. berubah

dengan adanya penambahan unsur - unsur pada paduan, contohnya unsur paduan magnesium dan tembaga apabila ditambahkan sebagai paduan aluminium akan turun berat jenisnya.

#### 5. Ketahanan korosi

Daya tahan korosi udara dan air dari aluminium adalah pertimbangan untuk memilih aluminium sebagai bahan yang bekerja di air dan udara. Ketahanan terhadap korosi ini diperoleh karena terbentuknya lapisan tipis namun kuat pada permukaan aluminium yang dikenal dengan aluminium oksida. Lapisan ini terbentuk seketika pada permukaan metal terkontaminasi dengan udara serta sangat stabil.

#### 6. 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. Konduktifitas panas aluminium sering dimanfaatkan sebagai bahan utama dari alat - alat memasak atau alat penukar kalor, hal tersebut dikarenakan aluminium memiliki berat jenis yang rendah dan lebih murah jika dibandingkan dengan bahan - bahan penghantar lainnya.

### 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. (Surdia, 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 di sisi 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.

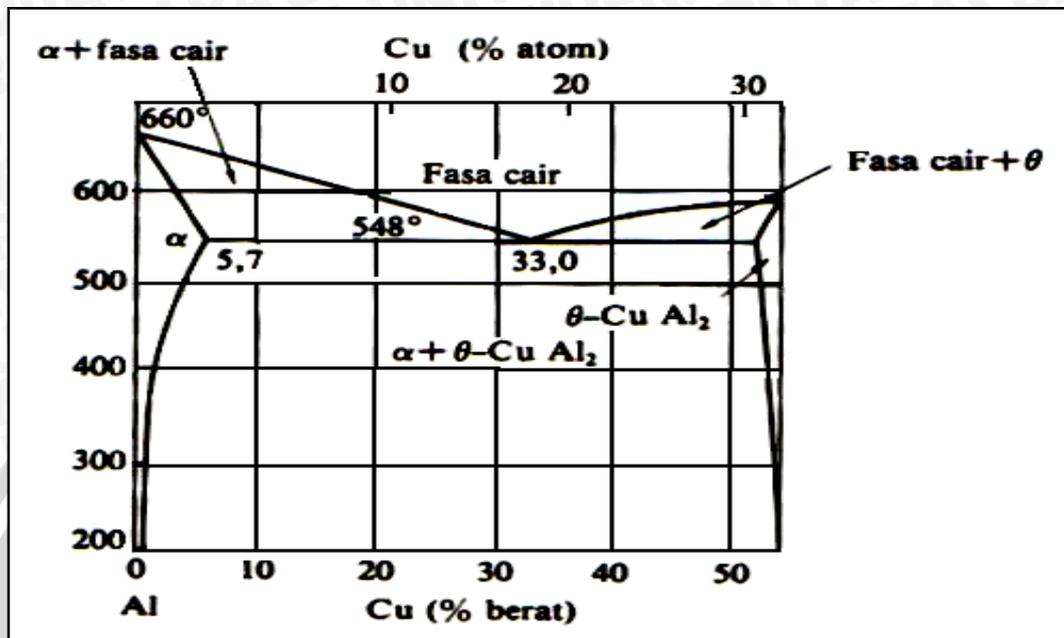
### 7. Chromium

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)

Paduan aluminium tembaga adalah suatu jenis paduan aluminium dengan bahan paduan utamanya adalah tembaga (2,5 – 5,0 % Cu). 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 Keseimbangan Fasa Al – Cu  
Sumber : Tata Surdia, 1995:129

### 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 atom – atom tersebut 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 disebabkan oleh 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 (Cabe, 1985).

### 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.

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 :

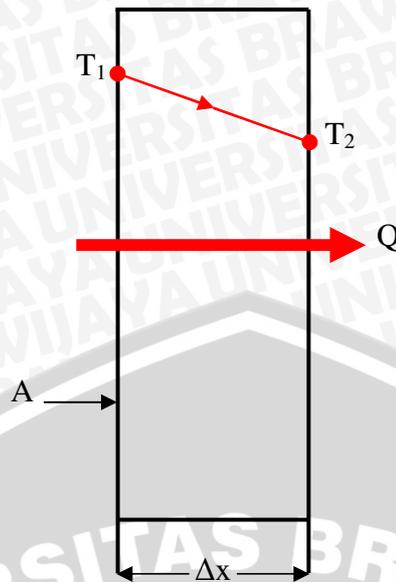
$$\frac{q}{A} \approx \frac{\partial T}{\partial x} \quad (\text{Holman; 1988: 2}) \quad (2.1)$$

Jika dimasukkan konstanta proporsionalitasnya atau tetapan sebanding, maka :

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

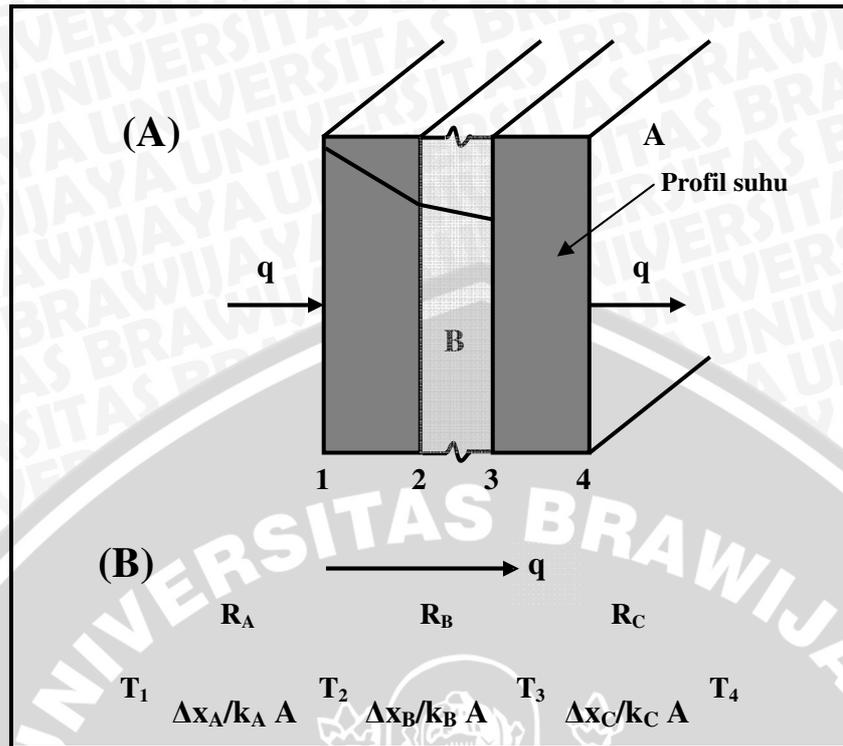
Dengan :

- $q$  = 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 ke tempat yang lebih rendah dalam skala suhu.
- $A$  = Luas panas ( $\text{m}^2$ )
- $dT$  = 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

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 yang berbeda – beda , dimensi material yang berbeda sehingga membutuhkan rumusan yang berbeda dengan perpindahan panas konduksi pada dinding datar, sedangkan koefisien konduktivitas termal bahan didefinisikan sebagai laju aliran panas persatuan luas tegak lurus pada arah aliran persatuan gradien suhu. *Holman* (1988) menyatakan bahwa angka koefisien konduktivitas termal menunjukkan seberapa cepat kalor mengalir dalam suatu bahan tertentu.



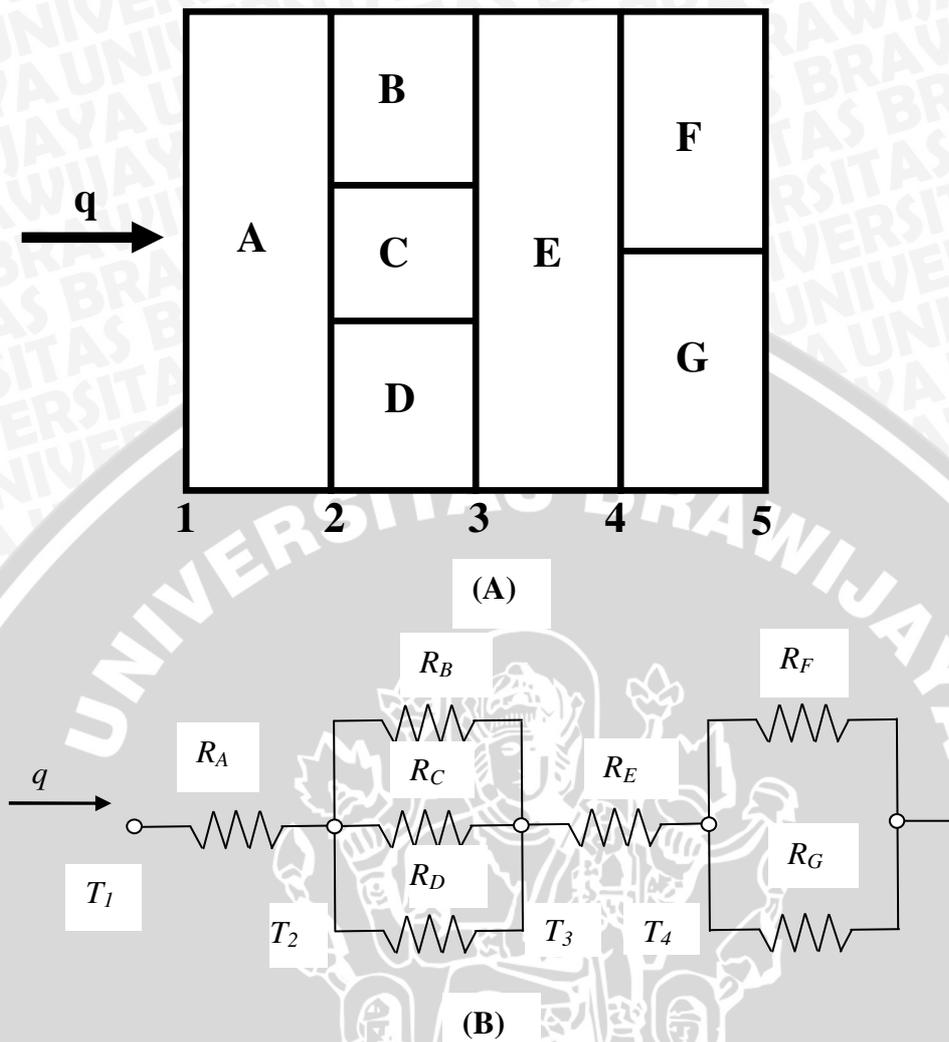
Gambar. 2.5. (A).Perpindahan panas konduksi melalui dinding komposit, (B).  
Analogi listriknya  
Sumber : Holman, ( 1988: 27 )

Sehingga rangkaian tahanan seri total  $R_{Seri\ Total}$  ( $R_{ST}$ ), bisa dihitung dengan rumus :

$$R_{total} = R_A + R_B + R_C \quad (\text{Holman; 1988: 3}) \quad (2.3)$$

Pada beberapa sistem seperti pada gambar di bawah, jika konduktivitas termal bahan - bahan B, C, dan D cukup berbeda, maka akan mendapat aliran panas dua dimensi atau seri paralel.

$$q = \frac{\Delta T \text{ menyeluruh}}{\sum R_{th}} \quad (\text{Holman; 1988: 3}) \quad (2.4)$$



Gambar. 2.6. (A).Perpindahan panas satu dimensi seri dan paralel melalui dinding komposit, (B). Analogi listriknya  
 Sumber : Holman; 1988: 27

Sehingga rangkaian tahanan paralel total  $R_{\text{Paralel Total}} (R_{PT})$ , bisa dihitung dengan rumus di bawah ini :

$$\frac{1}{R_{TP}} = \frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_C} + \frac{1}{R_D} \quad \text{(Holman, 1988: 3)} \quad (2.5)$$

### 2.3.2. Lumped System

Pada pengujian konduktivitas termal paduan aluminium tembaga ini, material terlebih dahulu mengalami proses perlakuan panas untuk memperbaiki sifat – sifat yang terdapat pada material tersebut baik itu sifat fisik atau sifat mekanik. Setelah mengalami proses perlakuan panas kemudian dilakukan proses pendinginan atau *cooling*, pada pengujian ini dilakukan pendinginan secara cepat atau yang disebut *quenching*. Pada proses pendinginan cepat tersebut terjadi suatu proses perpindahan panas konveksi antara material yang telah dipanasi dengan media pendingin yang dalam hal ini adalah oli. Yang membedakan dengan perpindahan panas konveksi pada umumnya adalah perpindahan panas konveksi yang terjadi bersamaan dengan proses perpindahan panas konduksi setelah adanya kontak langsung antara bahan yang temperturnya tinggi dengan media pendingin yaitu oli dan suhu yang terdapat di dalam bahan dianggap merata proses ini disebut juga *lumped system*, hal tersebut dapat dituliskan dalam persamaan di bawah ini :

$$m C \Delta T = -k A \frac{dT}{dx} \quad (\text{Holman; 1988: 22}) \quad (2..6)$$

### 2.4 Konduktivitas Logam (*Metalic 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. Ketidak teraturan pada kisi kristal akan menghambat dari gerak elektron *valensi* dikarenakan adanya pembiasan energi tersebut. Ketidak teraturan 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	$1000 \times 10^{-4}$
Tembaga	380	$920 \times 10^{-4}$
Aluminium	200	$500 \times 10^{-4}$
Baja	40	$110 \times 10^{-4}$
Es	2	$5 \times 10^{-4}$
Kaca (biasa)	0,84	$2 \times 10^{-4}$
Bata	0,84	$2 \times 10^{-4}$
Air	0,56	$1,4 \times 10^{-4}$
Minyak pelumas (oli)	0,15	$0,36 \times 10^{-4}$
Kayu	0,08 - 0,16	$0,2 \times 10^{-4} - 0,4 \times 10^{-4}$
Gabus	0,042	$0,1 \times 10^{-4}$
Wol	0,040	$0,1 \times 10^{-4}$
Busa	0,024	$0,06 \times 10^{-4}$
Udara	0,023	$0,055 \times 10^{-4}$

Sumber : Holman, (1988 : 5)

#### 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 :

$$q = \frac{\Delta T}{\Sigma R} \quad (\text{Holman; 1988: 27}) \quad (2.7)$$

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  $\Sigma R$  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). 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 standar (Cu) yang telah diketahui nilai konduktivitas panasnya, yaitu 320 kcal/mhr.°C. Temperatur pada bahan standar 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 standar 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 ( $\Delta t_R$ ), perbedaan suhu setelah melewati spesimen uji ( $\Delta t_a$ ) dan ( $\Delta t_b$ ), konduktivitas panas spesimen uji ( $k_a$ ) dan ( $k_b$ ), serta konduktivitas panas spesimen yang diuji ( $k$ ).

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 :

$$\Delta t_R = \frac{\Delta t_{1,2} + \Delta t_{2,3} + \Delta t_{3,4} + \Delta t_{7,8} + \Delta t_{8,9} + \Delta t_{9,10}}{6} \quad (^\circ\text{C}) \quad (2.8)$$

- Nilai konduktivitas termal pada spesimen pertama :

$$k_a' = \frac{\Delta t_R}{\Delta t_a} \times \frac{L_a}{L_R} \times k_R \quad (\text{kcal/mhr.}^\circ\text{C}) \quad (2.9)$$

- Nilai konduktivitas termal pada spesimen kedua :

$$k_b' = \frac{\Delta t_R}{\Delta t_b} \times \frac{L_b}{L_R} \times k_R \quad (\text{kcal/mhr.}^\circ\text{C}) \quad (2.10)$$

Sehingga nilai konduktivitas termal suatu spesimen adalah sebagai berikut :

$$k = \frac{\frac{L_b - L_a}{k_b'} - \frac{L_b - L_a}{k_a'}}{\frac{L_b - L_a}{k_b'} - \frac{L_b - L_a}{k_a'}} \quad (\text{kcal/mhr.}^\circ\text{C}) \quad (2.11)$$

Dengan :

$L_a$  = Tebal spesimen pertama (2 mm)

$L_b$  = Tebal spesimen kedua (4 mm)

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

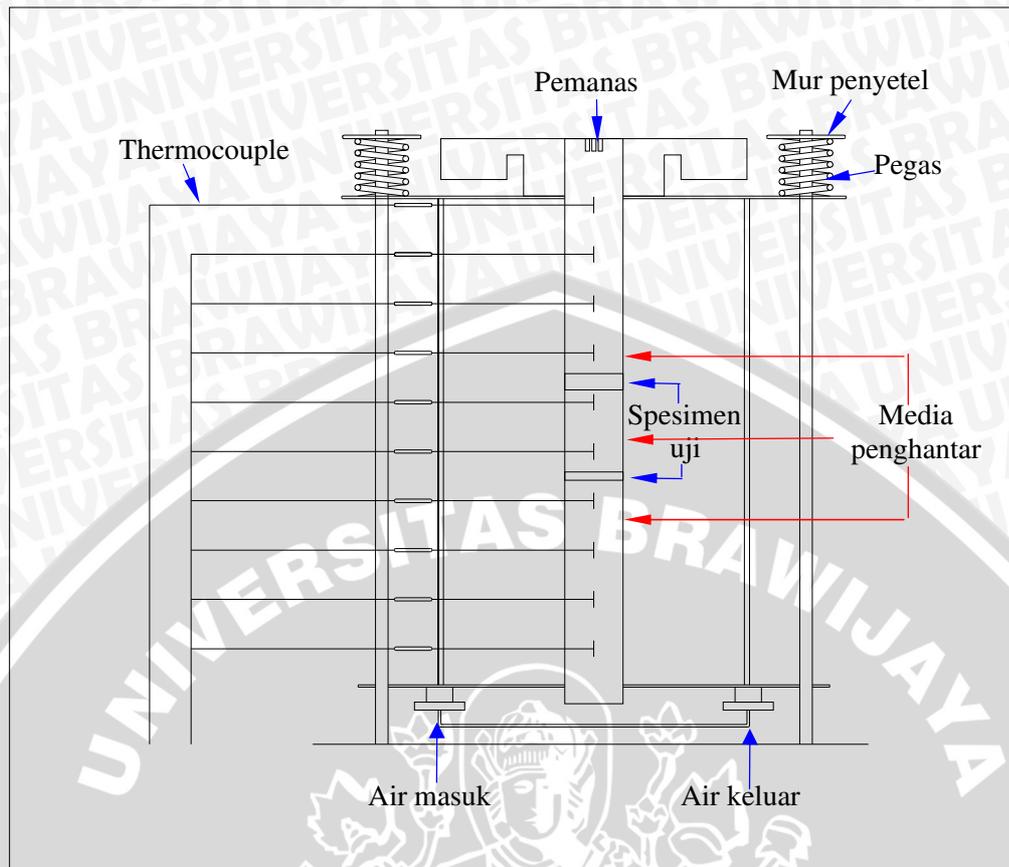
$k_a'$  = Nilai konduktivitas termal spesimen pertama (kcal/mhr. $^\circ\text{C}$ )

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

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

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

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



Gambar. 2.7 Instalasi uji konduktivitas termal  
 Sumber : Laboratorium Fenomena Dasar Mesin,  
 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawljaya

### 2.5 Proses Perlakuan Panas Paduan Aluminium

Perlakuan panas pada logam didefinisikan sebagai proses pemanasan logam (*heating*) sampai titik tertentu, lalu diikuti dengan penahanan (*holding*) temperatur tersebut selama beberapa saat dan dilanjutkan dengan pendinginan (*cooling*), yang bertujuan untuk meningkatkan atau mengurangi sifat – sifat logam tergantung dari kebutuhan akan sifat bahan tersebut. Selain itu perlakuan panas juga bertujuan untuk menghaluskan ukuran butiran, menghilangkan cacat, mengurangi atau menghilangkan tegangan dalam.

### 2.5.1. Jenis – jenis Perlakuan Panas Pada Paduan Aluminium

Untuk mendapatkan suatu material yang memiliki kualitas yang baik dengan didukung oleh spesifikasi dan sifat – sifat dari suatu paduan, dapat ditempuh dengan beberapa cara yang umum dilakukan adalah dengan memberi material tersebut perlakuan panas. Dengan memberi perlakuan panas pada paduan akan menghasilkan suatu paduan yang memiliki nilai lebih dibandingkan tanpa dilakukan proses perlakuan panas, jenisnyapun bermacam – macam tergantung dari sifat apa yang ingin dimaksimalkan atau yang ingin dikurangi. Proses perlakuan panas pada paduan aluminium berbeda dengan perlakuan panas yang digunakan untuk material *ferrous* hal tersebut dikarenakan pada paduan aluminium atau logam non – *ferrous* setelah mendapat perlakuan panas masih terdapat aktivitas pada elektron – elektronnya yang menghasilkan suatu endapan yang dapat merubah sifat mekanik dari paduan tersebut. Semakin lama suatu material tersebut disimpan dalam suhu tertentu maka sifat mekaniknyapun juga berbeda. Adapun jenis – jenis perlakuan panas pada paduan aluminium adalah sebagai berikut :

#### 1. *Annealing*

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. 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 ( $\pm 25\text{ }^{\circ}\text{C} - 27\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

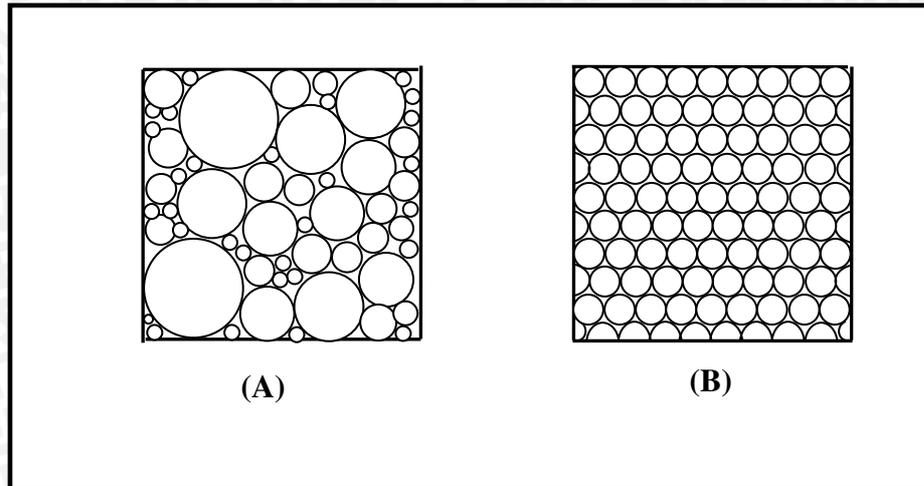
Perbedaan proses *annealing* antara aluminium dengan logam lain adalah, jika pada paduan aluminium atau non – *ferro* setelah proses perlakuan panas dilanjutkan dengan proses *aging* atau pengerasan penuaan, sedangkan pada logam lain tidak mengalami proses *aging*. *Annealing* adalah salah satu proses perlakuan panas yang bertujuan untuk menghaluskan struktur butiran, menghilangkan atau mengurangi tegangan dalam, dan sedikit melunakan material.

## 2. Age Hardening

Proses perlakuan panas berfungsi untuk memperoleh kekerasan yang lebih baik, kekerasan yang dicapai tergantung pada kadar tembaga (Cu) dalam aluminium (Al) dan juga bergantung pada energi pemanasannya. 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. *Age Hardening* dibagi menjadi tiga proses, yaitu proses *solution treatment*, *quenching* dan *precipitation treatment*. *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.

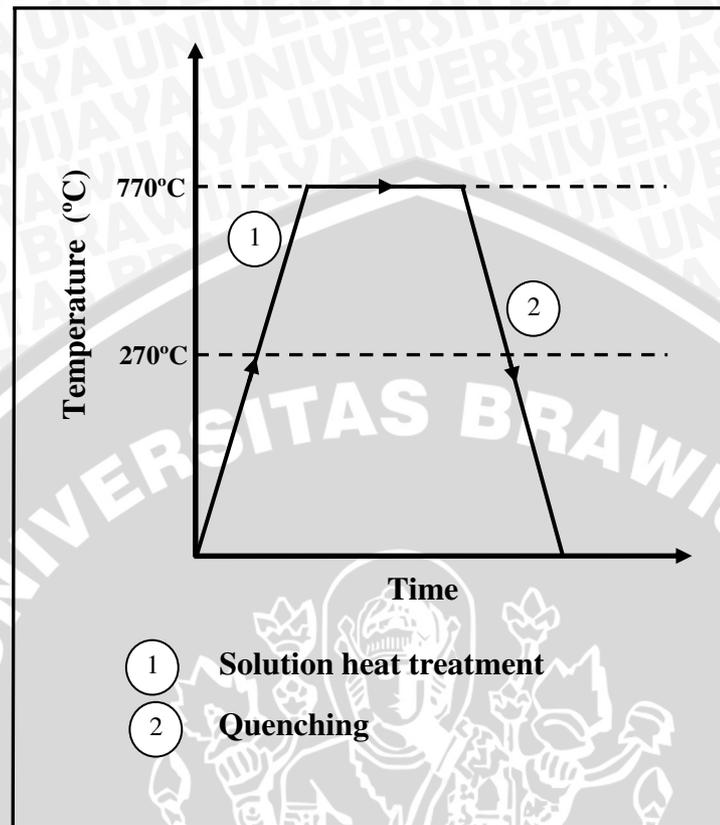
### 2.5.2. Perlakuan Solution Treatment

Banyak upaya untuk meningkatkan kualitas aluminium yang salah satunya dengan proses *solution treatment*. Proses ini berfungsi memperoleh kekerasan yang lebih baik, kekerasan yang dicapai tergantung pada kadar tembaga (Cu) dalam aluminium (Al) dan bergantung juga pada temperatur pemanasannya. *Solution treatment* merupakan suatu bagian dari proses perlakuan panas *age hardening* yang prosesnya dibagi menjadi tiga, yaitu *precipitation treatment*, *quenching*, dan *solution treatment*. Proses *solution treatment* terdiri dari pemanasan terhadap suatu paduan aluminium hingga mendekati titik lebur paduan tersebut, setelah pemanasan kemudian ditahan (*holding*) selama 5 – 20 menit setelah itu baru dilakukan pendinginan cepat (*quenching*).



Gambar. 2.8 Struktur butiran (A) sebelum perlakuan, (B) setelah perlakuan.

Pada proses perlakuan panas *solution treatment* lama waktu penahanan tergantung dari jenis aluminium paduannya semakin lama waktu penahanan (*holding*) akan diperoleh keseragaman distribusi panas pada setiap lapisan paduan, akan tetapi terdapat batas dari waktu penahanan (*holding*) tersebut, idealnya penahanan (*holding*) dilakukan pada rentan waktu 5 – 20 menit yang bertujuan untuk memberikan waktu untuk penyeragaman ukuran butiran. Setelah 5 menit ditahan atau *holding*, logam kemudian didinginkan cepat (*quenching*) dengan media pendingin oli dan dilakukan *aging* 4 hari, 6 hari, 8 hari.



Gambar. 2.9. Siklus Perlakuan Panas *Soution Treatment*.  
Sumber : Thomas Kilduff & James Jackobs, 1997 : 260

## 2.6 Media Pendingin

Semua jenis proses perlakuan panas pada *ferrous* atau non – *ferrous* tak lepas dari peranan media pendingin, secara langsung atau tidak langsung media pendingin juga ikut mempengaruhi hasil dari proses perlakuan panas dalam hal memperbaiki sifat – sifat dari suatu material. Jenis media pendingin pun sekarang bermacam – macam tergantung dari kebutuhan yang ingin dicapai. Berbagai bahan pendingin yang digunakan dalam proses perlakuan panas antara lain :

### 1. Air

Pendinginan dengan menggunakan air akan memberikan daya pendinginan yang cepat. Biasanya ke dalam air tersebut dilarutkan garam dapur sebagai usaha mempercepat turunnya temperatur benda kerja dan mengakibatkan bahan menjadi keras.

## 2. Minyak

Minyak yang digunakan sebagai fluida pendingin dalam perlakuan panas adalah yang dapat memberikan lapisan karbon pada kulit (permukaan) benda kerja yang diolah. Selain minyak yang khusus digunakan sebagai bahan pendingin pada proses perlakuan panas, dapat juga digunakan minyak bakar atau solar.

## 3. Udara

Pendinginan udara dilakukan untuk perlakuan panas yang membutuhkan pendinginan lambat. Untuk keperluan tersebut udara yang disirkulasikan ke dalam ruangan pendingin dibuat dengan kecepatan yang rendah. Udara sebagai pendingin akan memberikan kesempatan kepada logam untuk membentuk kristal – kristal dan kemungkinan mengikat unsur – unsur lain dari udara.

## 4. Garam

Garam dipakai sebagai bahan pendingin disebabkan memiliki sifat mendinginkan yang teratur dan cepat. Bahan yang didinginkan di dalam cairan garam yang akan mengakibatkan ikatannya menjadi lebih keras karena pada permukaan benda kerja tersebut akan meningkat zat arang.

## 5. Oli

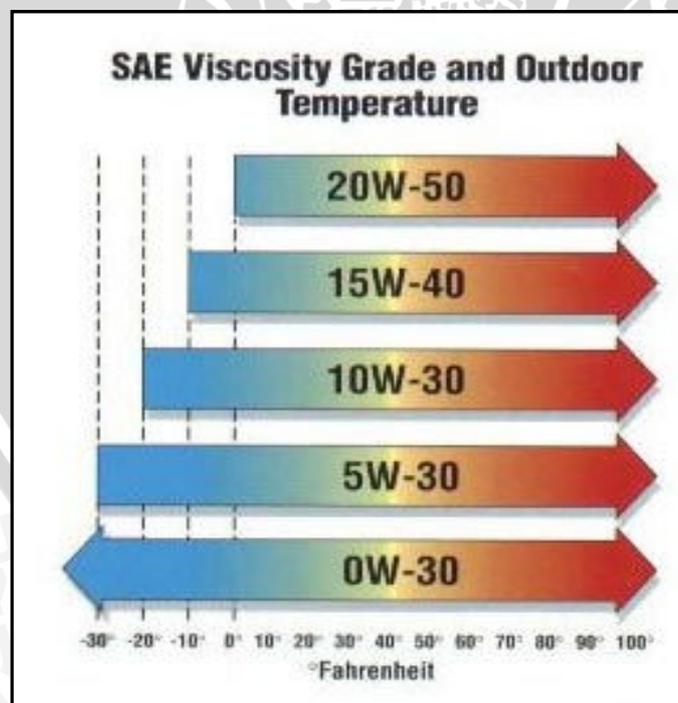
Pelumas atau oli adalah minyak yang mempunyai sifat untuk selalu melekat dan menyebar pada permukaan – permukaan yang bergeser, sehingga membuat pengausan dan kenaikan suhu kecil sekali.

### 2.6.1 Media Pendingin Oli

Masyarakat awam beranggapan bahwa fungsi utama oli hanyalah sebagai pelumas mesin. padahal oli memiliki fungsi lain yang tak kalah penting yakni antara lain sebagai pendingin, pelindung dari karat, pembersih dan penutup celah pada dinding mesin. Pada proses perlakuan panas oli sering digunakan untuk mendinginkan secara cepat atau yang disebut *quenching*, pendinginaan dengan media ini meningkatkan kekerasan maksimal pada material yang diberi perlakuan panas selain itu media pendingin ini mencegah terjadinya karat pada material *ferrous*.

Dibandingkan dengan media pendingin yang lain, pelumas atau oli memiliki viskositas yang paling tinggi karena adanya beberapa faktor yang mempengaruhi, diantaranya adalah komposisi, suhu dan tekanan. Kekentalan suatu oli mesin merupakan sifat fisik oli yg cukup penting, namun masih banyak orang yang sangat awam dengan

pengertian kekentalan oli. Untuk menandai kekentalan oli, biasanya digunakan istilah atau kode huruf SAE yang diikuti dengan angka. SAE (*Society of Automotive Engineer*) yang mirip lembaga standarisasi seperti ISO, DIN atau JIS, yang mengkhususkan diri di bidang otomotif. Angka di belakang huruf SAE inilah yang menunjukkan tingkat kekentalannya (*viskositas*). Contohnya, kode SAE 50 menunjukkan oli tersebut mempunyai tingkat kekentalan 50 menurut standar SAE. Semakin tinggi angkanya, semakin kental pelumas tersebut. Ada pula kode angka yang menunjukkan multi grade seperti 10W - 50. Kode ini menandakan pelumas mempunyai kekentalan yang dapat berubah – ubah sesuai suhu di sekitarnya. Huruf W di belakang angka 10 merupakan singkatan kata *winter* (musim dingin). Maksudnya, pelumas mempunyai tingkat kekentalan sama dengan SAE 10 pada saat suhu udara dingin dan SAE 50 ketika udara panas. Kekentalan SAE suatu oli mesin tidak bisa dijadikan ukuran kualitas oli, tetapi lebih berkaitan pada kemampuan oli tersebut dalam beradaptasi pada suhu rendah dan tinggi. Tingkat SAE hanyalah sebagai pembeda atau kelas - kelas suatu oli mesin berdasarkan tingkat sifat kekentalannya, jadi SAE rendah (oli encer) tidak identik dengan mutu yang lebih baik dibandingkan oli dengan angka SAE yang tinggi (oli kental), di bawah ini ditunjukkan range temperatur dari setiap kekentalan SAE oli mesin.



Gambar. 2.10. Grade Kekentalan Oli

Sumber : <http://oldsite.situsotomotif.com/tips-perawatan-plus/perawatan-mobil/>

Pada proses perlakuan panas, oli sebagai media pendingin dengan SAE atau kekentalan yang berbeda akan menghasilkan hasil atau tingkat kekerasan yang berbeda dengan temperatur pemanasan pada dapur listrik yang sama. Semakin tinggi nilai kekentalan suatu oli jika diberikan energi panas maka akan terjadi peningkatan energi potensial. Saat energi potensial diberikan kepada cairan, mereka mulai bergerak lebih banyak dan tersebar terpisah. Hal ini memungkinkan lebih banyak ruang untuk cairan untuk bergerak melewati satu sama lain dan aliran, akhirnya menurunkan viskositas fluida. Jika temperatur yang diberikan sama SAE yang rendah akan cepat berubah bentuk menjadi uap sedangkan pada SAE yang tinggi proses penguapan akan lebih lama.

Semakin tinggi SAE maka energi panas yang dapat diserap oleh media pendingin semakin banyak sehingga pendinginan cepat (*quenching*) terjadi lebih singkat dari pada media pendingin dengan SAE yang lebih rendah. Sehingga menyebabkan partikel – partikel oli paling lambat bergerak meninggalkan permukaan kalor dan pada akhirnya gradien suhu yang disediakan oli merupakan yang paling kecil. Dari uraian tersebut terlihat bahwa perbandingan oli akan menghasilkan bentuk butir yang paling besar dan dendrit yang paling sempurna. Hal ini mengakibatkan pendinginan dengan oli menghasilkan nilai konduktivitas termal paduan aluminium tembaga yang lebih besar.

### 2.6.2. Satuan Nilai Kekentalan Oli

Viskositas fluida dilambangkan dengan simbol  $\eta$  tingkat kekentalan suatu fluida dinyatakan oleh koefisien viskositas fluida tersebut. Viskositas alias kekentalan sebenarnya merupakan gaya gesekan antara molekul - molekul yang menyusun suatu fluida, viskositas sering juga disebut sebagai gaya gesekan internal fluida. Jadi molekul-molekul yang membentuk suatu fluida saling gesek - menggesek ketika fluida tersebut mengalir. Pada zat cair viskositas disebabkan karena adanya gaya kohesi (gaya tarik menarik antara molekul sejenis). Sedangkan dalam zat gas, viskositas disebabkan oleh tumbukan antara molekul.

Fluida yang lebih cair biasanya lebih mudah mengalir contohnya air. Sebaliknya, fluida yang lebih kental lebih sulit mengalir. Tingkat kekentalan suatu fluida juga bergantung pada suhu. Semakin tinggi suhu zat cair semakin kurang kental zat cair tersebut, sebaliknya semakin tinggi suhu suatu zat gas semakin kental zat gas tersebut.

Pada umumnya untuk menyatakan nilai kekentalan suatu oli adalah SAE (*Society of Automotive Engineer*), akan tetapi kekentalan atau viskositas sendiri mempunyai satuan Satuan Sistem Internasional (SI) untuk koefisien viskositas adalah  $\text{Ns/m}^2 = \text{Pa.s}$  (pascal sekon). Sedangkan untuk koefisien viskositas adalah  $\text{dyn.s/cm}^2 = \text{poise (P)}$ , viskositas juga sering dinyatakan dalam sentipoise (cP)  $1 \text{ cP} = 1/100 \text{ P}$ .  $1 \text{ poise} = 1 \text{ dyn} \cdot \text{s/cm}^2 = 10^{-1} \text{ N.s/m}^2$ . Satuan poise digunakan untuk mengenang seorang Ilmuwan Perancis, almahrum *Jean Louis Marie Poiseuille*.

## 2.7 Hipotesa

Semakin tinggi tingkat kekentalan oli pada *quenching* proses *solution treatment* akan mengalami laju perpindahan panas yang cepat, hal ini menyebabkan ruang diantara butiran yang diisi oleh gas yang merupakan isolator berkurang dan struktur paduan aluminium akan mengalami keseragaman, sehingga nilai konduktivitas termal pada paduan aluminium tembaga akan semakin meningkat.



## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Metodologi Penelitian

Adapun jenis metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian 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 Desember 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 kekentalan media pendingin oli 112,5 cps (*SAE 10*), 280 cps (*SAE 20*), 775 cps (*SAE 40*), 1075 cps (*SAE 50*), 1874,5 cps (*SAE 90*).

##### 2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tergantung dari variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah konduktivitas termal paduan aluminium tembaga (Al – Cu).

##### 3. Variabel Kendali

Variabel kendali adalah variabel yang ditentukan dalam penelitian yang tidak boleh diubah – ubah. Variabel dalam penelitian ini adalah waktu *aging*, yaitu 4 hari, 6 hari dan 8 hari.

### 3.4 Alat dan Bahan

#### 3.4.1 Alat yang digunakan

##### 1. Dapur Listrik

Adalah alat yang digunakan untuk memanaskan (*heating*) pada temperatur *solution treatment* yaitu 450 °C, menahan (*holding*) selama beberapa menit, dan dilanjutkan dengan 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. Adapun spesifikasi dari alat ini adalah :

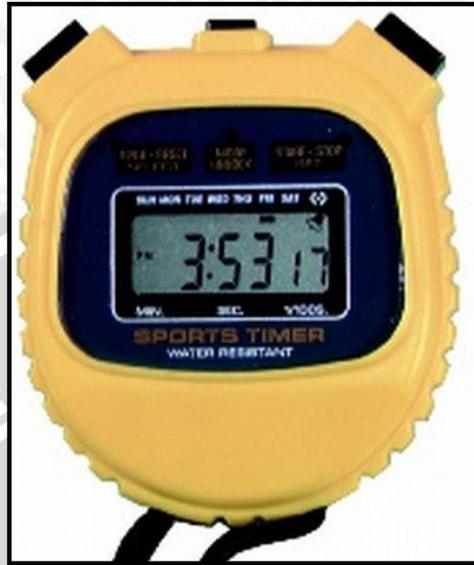
Model : HVS – 40 – 200 SE  
Temperatur maksimum : 200 °C  
Produksi : OGAWA SEIKI CO. LTD  
Tahun pembuatan : 1987



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*).



Gambar. 3.3. Stopwatch

Sumber : [www.experiencelifemag.com](http://www.experiencelifemag.com)

### 4. Jangka Sorong

Digunakan untuk mengukur dimensi spesimen pada saat akan diukur dengan Thermal Conductivity Measuring Apparatus.



Gambar. 3.4. Jangka sorong

Sumber : [www.loscoltrahues.com](http://www.loscoltrahues.com)

### 5. Tang Penjepit

Digunakan untuk mengeluarkan spesimen dari dapur setelah perlakuan panas.

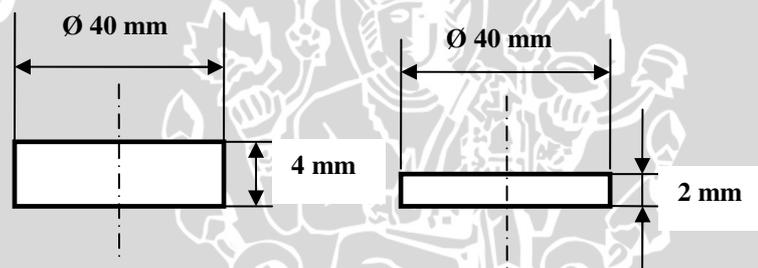
### 3.4.2. Bahan yang digunakan

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

### 3.5 Prosedur Penelitian

#### ❖ Persiapan Material.

1. Mengurangi diameter awal spesimen yaitu 45 mm menjadi 40 mm dengan mesin bubut.
2. 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 kekentalan oli dan variasi waktu *aging*
3. Proses menghaluskan permukaan spesimen setelah dibubut dengan menggunakan kertas gosok.



Gambar. 3.5. Spesimen Uji Konduktivitas Termal

#### ❖ Proses Perlakuan Panas

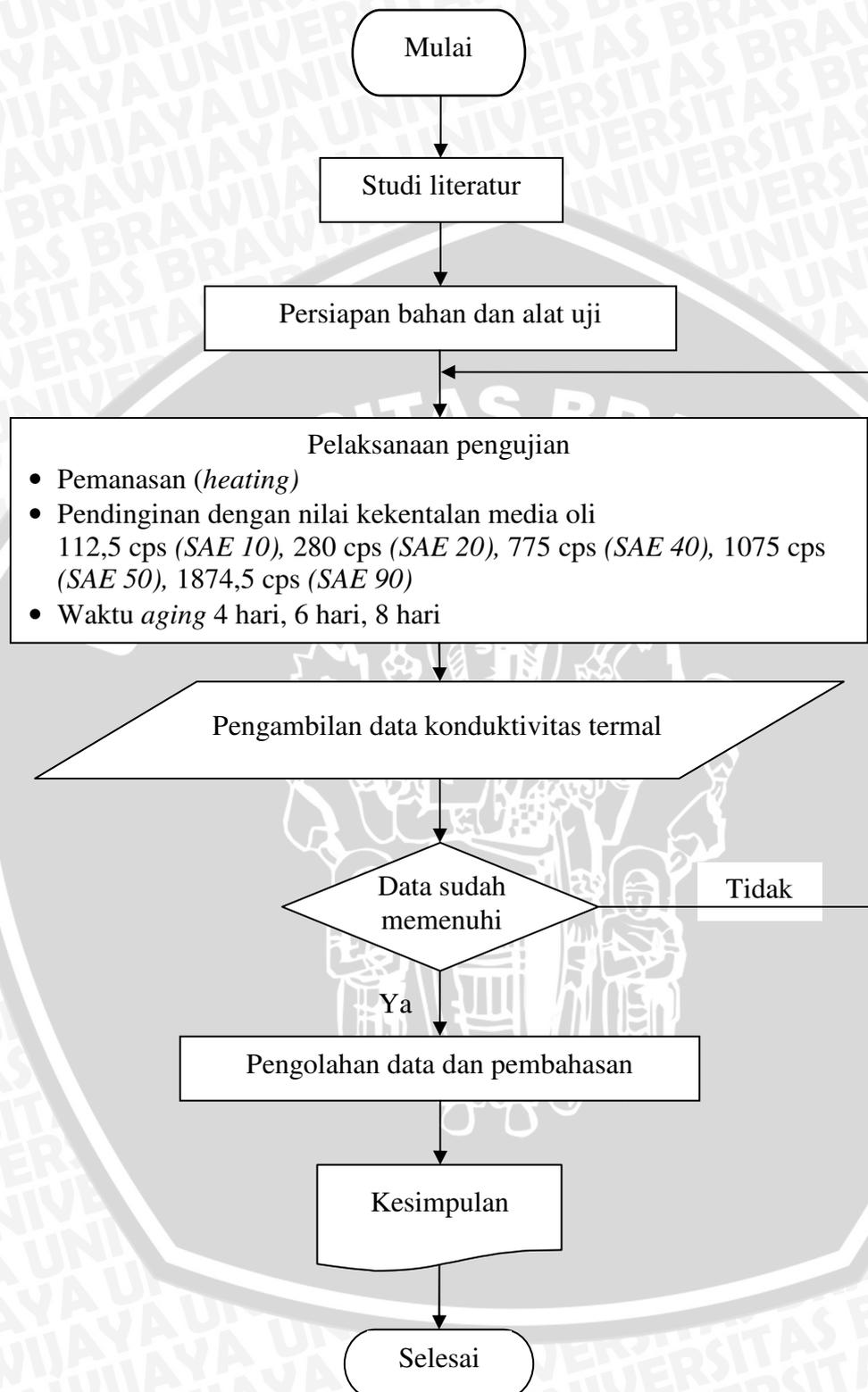
1. Persiapan dan pengecekan alat ukur (*stopwatch*), alat pendukung (tang penjepit) serta menyetel sesuai dengan variabel yang telah ditentukan.
2. Menyiapkan alas yang rata (kaca) yang berfungsi untuk melakukan pendinginan udara ruang. Hal tersebut bertujuan agar pada saat memanaskan sampai mendekati titik lebur spesimen tidak mengalami perubahan bentuk yang dikarenakan alas yang digunakan tidak rata.
3. Spesimen masing – masing variasi kekentalan oli dan waktu *aging* dimasukkan dalam dapur listrik, kemudian dipanaskan pada temperatur *solution treatment* (450° C), kemudian ditahan atau *holding* selama 5 menit

lalu melakukan pendinginan cepat *quenching* dengan media oli yang divariasikan kekentalannya, setelah itu dilakukan *aging* selama 4 hari, 6 hari dan 8 hari.

❖ **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 posisi atas dan spesimen dengan tebal 2 mm di bawah dengan temperatur awal 27 °C.
3. Batang logam dan spesimen ditutup dengan selubung penutup 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 tiap – tiap titik sensor (10 titik sensor *termocouple*).
7. Pengulangan dilakukan sebanyak tiga kali untuk tiap – tiap variasi kekentalan oli dan waktu *aging* yang berbeda.
8. Untuk pergantian jenis spesimen dengan variasi kekentalan oli yang berbeda dan waktu *aging* yang berbeda pula, batang penghantar ditunggu sampai dingin atau sama dengan temperatur ruang 27 °C dan dilakukan pengulangan langkah 2 sampai 6.

### 3.6. Diagram Alur Penelitian



Gambar. 3.6. 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 kekentalan media pendingin oli dan *aging*, didapatkan data – data yang ditunjukkan pada tabel - tabel di bawah :

Tabel 4.1. Data temperatur (°C) pada *aging* 4 hari.

<b>Aging 4 Hari</b>		<b>T<sub>1</sub></b>	<b>T<sub>2</sub></b>	<b>T<sub>3</sub></b>	<b>T<sub>4</sub></b>	<b>T<sub>5</sub></b>	<b>T<sub>6</sub></b>	<b>T<sub>7</sub></b>	<b>T<sub>8</sub></b>	<b>T<sub>9</sub></b>	<b>T<sub>10</sub></b>	
<b>Nilai kekentalan oli (cps)</b>	<b>I</b>	112,5 (SAE 10)	100	96	92	88	49	38	33	32	29	27
		280 (SAE 20)	100	96	91	87	49	40	35	30	29	27
		775 (SAE 40)	100	96	92	90	50	45	40	35	30	27
		1075 (SAE 50)	100	97	94	91	54	47	37	32	28	27
		1874,5 (SAE 90)	100	98	89	88	54	46	36	32	30	27
	<b>II</b>	112,5 (SAE 10)	100	95	92	88	50	37	33	33	28	27
		280 (SAE 20)	100	98	91	86	48	40	35	30	28	27
		775 (SAE 40)	100	96	93	91	51	46	40	34	30	27
		1075 (SAE 50)	100	95	94	92	53	48	37	33	28	27
		1874,5 (SAE 90)	100	97	90	87	54	46	36	32	30	27
<b>III</b>	112,5 (SAE 10)	100	96	91	88	54	40	33	34	29	27	
	280 (SAE 20)	100	96	94	90	48	45	35	32	29	27	
	775 (SAE 40)	100	96	91	88	54	37	36	35	30	27	
	1075 (SAE 50)	100	98	94	87	50	40	35	30	28	27	
	1874,5 (SAE 90)	100	96	89	92	49	48	37	33	30	27	

Tabel 4.2. Data temperatur (°C) pada *aging* 6 hari.

Aging 6 Hari			T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>
Nilai kekentalan oli (cps)	I	112,5 (SAE 10)	100	95	91	88	47	43	35	30	28	27
		280 (SAE 20)	100	96	93	90	50	46	36	31	29	27
		775 (SAE 40)	100	94	89	85	46	42	35	31	29	27
		1075 (SAE 50)	100	93	87	85	46	44	35	29	28	27
		1874,5 (SAE 90)	100	92	85	83	44	42	34	29	28	27
	II	112,5 (SAE 10)	100	96	89	85	46	42	35	31	29	27
		280 (SAE 20)	100	94	87	85	46	44	35	29	28	27
		775 (SAE 40)	100	93	89	85	46	42	35	31	29	27
		1075 (SAE 50)	100	92	87	85	46	44	35	29	28	27
		1874,5 (SAE 90)	100	95	85	83	44	42	34	29	28	27
	III	112,5 (SAE 10)	100	95	91	88	47	43	35	30	28	27
		280 (SAE 20)	100	96	93	90	50	46	36	31	29	27
		775 (SAE 40)	100	94	89	85	46	42	35	31	29	27
		1075 (SAE 50)	100	93	87	85	46	44	35	29	28	27
		1874,5 (SAE 90)	100	92	85	83	44	42	34	29	28	27

Tabel 4.3. Data temperatur (°C) pada *aging* 8 hari.

<b>Aging 8 Hari</b>		<b>T<sub>1</sub></b>	<b>T<sub>2</sub></b>	<b>T<sub>3</sub></b>	<b>T<sub>4</sub></b>	<b>T<sub>5</sub></b>	<b>T<sub>6</sub></b>	<b>T<sub>7</sub></b>	<b>T<sub>8</sub></b>	<b>T<sub>9</sub></b>	<b>T<sub>10</sub></b>	
<b>Nilai kekentalan oli (cps)</b>	<b>I</b>	112,5 (SAE 10)	100	96	92	90	50	45	37	33	30	27
		280 (SAE 20)	100	95	90	89	48	45	36	31	29	27
		775 (SAE 40)	100	97	94	91	55	46	34	31	28	27
		1075 (SAE 50)	100	97	95	91	56	47	34	32	30	27
		1874,5 (SAE 90)	100	96	93	90	57	45	37	30	28	27
	<b>II</b>	112,5 (SAE 10)	100	95	90	89	48	45	36	31	29	27
		280 (SAE 20)	100	97	94	91	55	46	34	31	28	27
		775 (SAE 40)	100	96	92	90	50	45	37	33	30	27
		1075 (SAE 50)	100	95	90	89	48	45	36	31	29	27
		1874,5 (SAE 90)	100	97	94	91	55	46	34	31	28	27
	<b>III</b>	112,5 (SAE 10)	100	96	92	90	50	45	37	33	30	27
		280 (SAE 20)	100	95	90	89	48	45	36	31	29	27
		775 (SAE 40)	100	97	94	91	55	46	34	31	28	27
		1075 (SAE 50)	100	97	95	91	56	47	34	32	30	27
		1874,5 (SAE 90)	100	96	93	90	57	45	37	30	28	27

Tabel 4.4. Data konduktivitas termal (Watt/m.°C) pada *aging* 4 hari.

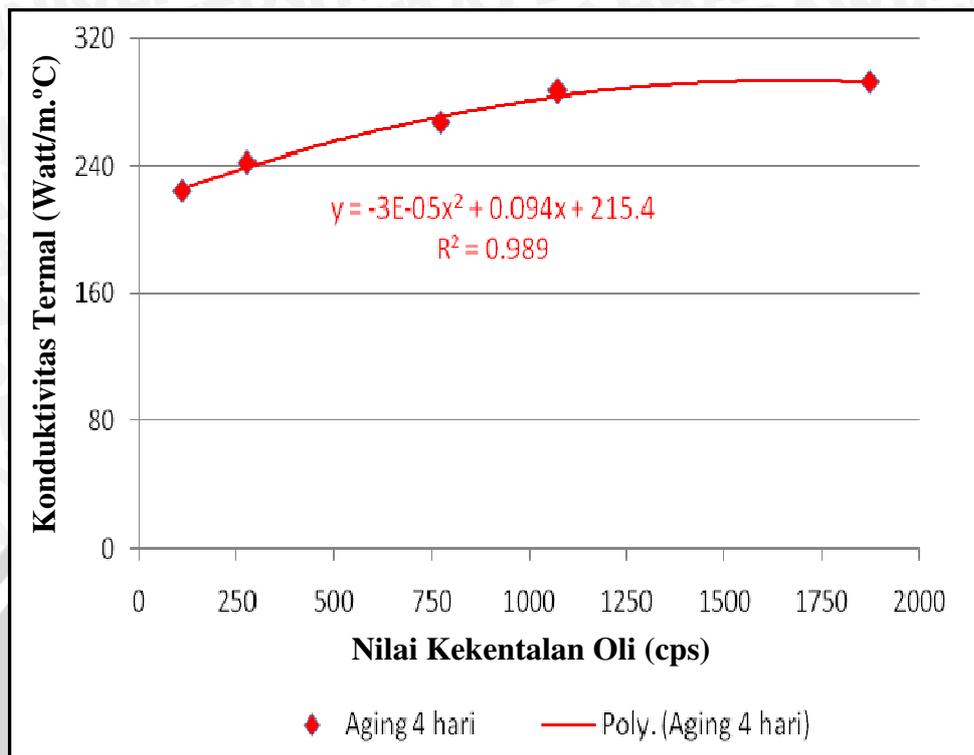
Variasi Nilai Kekentalan Oli (cps)	Konduktivitas termal (Watt/m.°C)		Rata - rata
112,5 (SAE 10)	I	224,48	225,86
	II	225,95	
	III	227,16	
280 (SAE 20)	I	242,37	244,24
	II	244,52	
	III	245,83	
775 (SAE 40)	I	267,46	266,95
	II	268,38	
	III	265	
1075 (SAE 50)	I	287	286,49
	II	285,89	
	III	286,58	
1874,5 (SAE 90)	I	292,42	293,98
	II	294,48	
	III	295,03	

Tabel 4.5. Data konduktivitas termal (Watt/m.°C) pada waktu *aging* 6 hari.

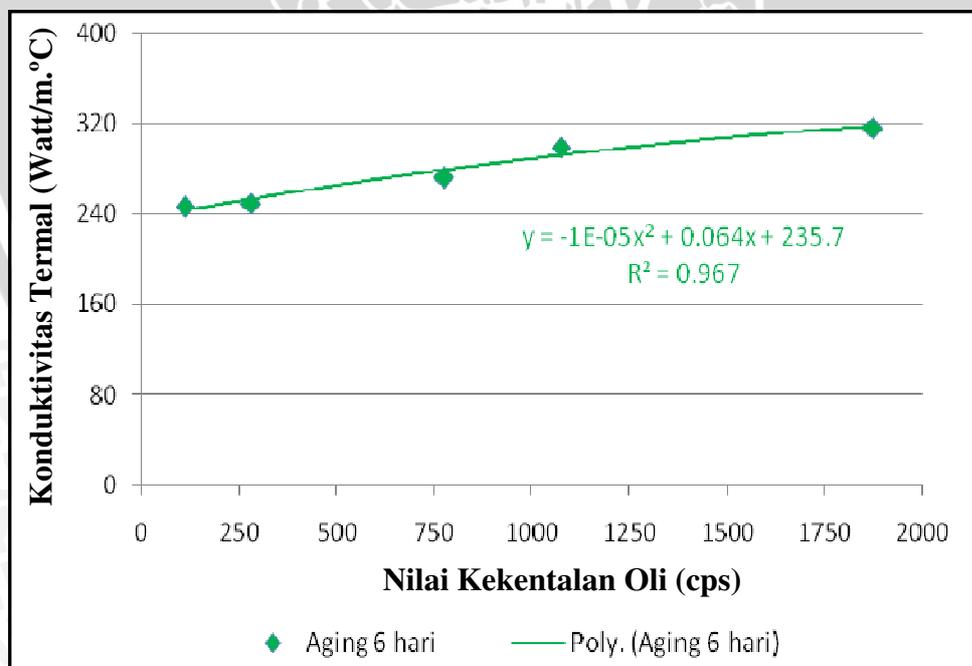
Variasi Nilai Kekentalan Oli (cps)	Konduktivitas termal (Watt/m. °C)		Rata – rata
112,5 (SAE 10)	I	246,42	245,17
	II	243,25	
	III	245,83	
280 (SAE 20)	I	249,71	252,12
	II	252,29	
	III	254,37	
775 (SAE 40)	I	272,23	274,88
	II	275,527	
	III	276,89	
1075 (SAE 50)	I	299,31	298,23
	II	298,13	
	III	297,25	
1874,5 (SAE 90)	I	316,27	314,79
	II	314,66	
	III	313,44	

Tabel 4.6. Data konduktivitas termal (Watt/m.°C) pada waktu *aging* 8 hari.

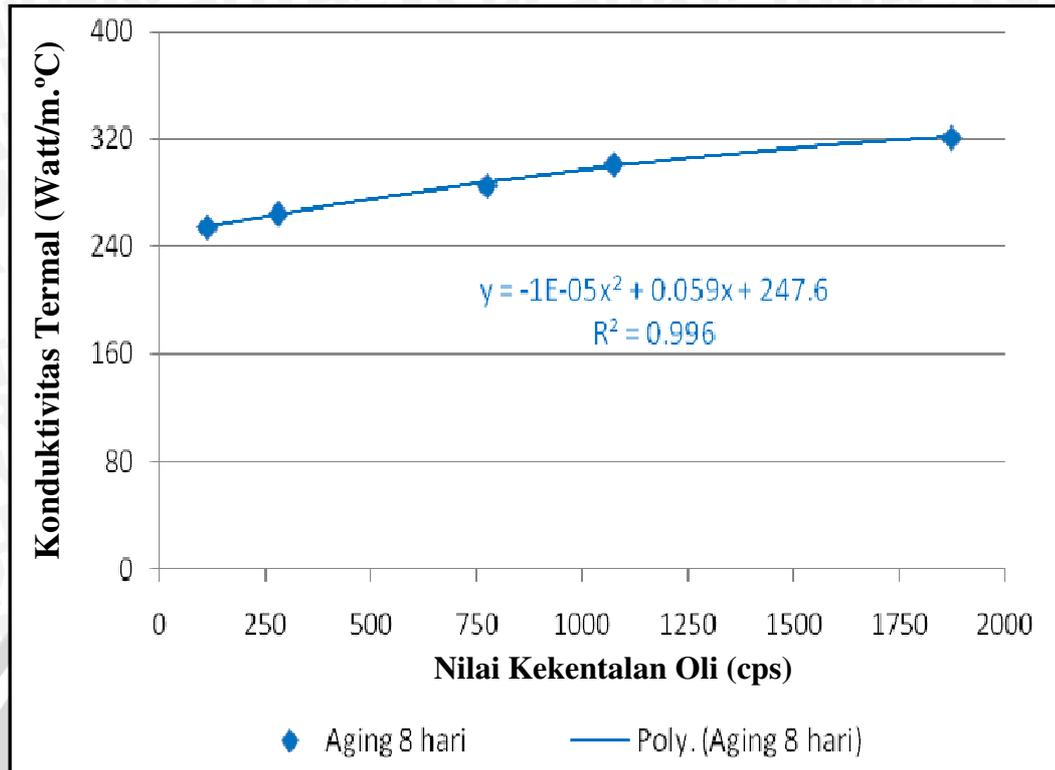
Variasi Nilai Kekentalan Oli (cps)	Konduktivitas termal (Watt/m. °C)		Rata – rata
112,5 (SAE 10)	I	254,28	255,58
	II	255,49	
	III	256,98	
280 (SAE 20)	I	264,13	264,43
	II	263,64	
	III	265,53	
775 (SAE 40)	I	285,19	287,21
	II	288,89	
	III	287,55	
1075 (SAE 50)	I	301,37	303,11
	II	303,82	
	III	304,13	
1874,5 (SAE 90)	I	321,17	323,60
	II	325,25	
	III	324,39	



Gambar. 4.1. Grafik pengaruh variasi kekentalan media pendingin oli dan konduktivitas termal dengan *aging* 4 hari



Gambar. 4.2. Grafik pengaruh variasi kekentalan media pendingin oli dan konduktivitas termal dengan *aging* 6 hari



Gambar. 4.3. Grafik pengaruh variasi kekentalan media pendingin oli dan konduktivitas termal dengan *aging* 8 hari.

#### 4.1.1. Contoh Perhitungan

Berikut ini adalah contoh perhitungan dari nilai konduktivitas termal paduan aluminium tembaga dengan variasi media pendingin oli SAE 10 dengan lama waktu *aging* 4 hari. Contoh perhitungan tersebut di bawah ini :

Diketahui :

Temperatur (°C) :  $T_1=100$ ;  $T_2=96$ ;  $T_3=92$ ;  $T_4=88$ ;  $T_5=49$ ;  $T_6=38$ ;

$T_7=33$ ;  $T_8=32$ ;  $T_9=29$ ;  $T_{10}=27$

Konduktivitas termal penghantar (Cu) :  $320 \text{ (cal/mh}^\circ\text{C)} = 372,18 \text{ (Watt/m.}^\circ\text{C)}$

Tebal spesimen  $L_a = 0,02 \text{ (m)}$

$L_b = 0,04 \text{ (m)}$

$L_R = 0,3 \text{ (m)}$

Gradien temperatur  $\Delta t_a = 0,0361 \text{ (m)}$

$\Delta t_b = 0,367 \text{ (m)}$

Dicari :  $k$  ?

Jawab :

$$\begin{aligned}\Delta t_R &= \left( \frac{\Delta t_{1-2} + \Delta t_{2-3} + \Delta t_{3-4} + \Delta t_{7-8} + \Delta t_{8-9} + \Delta t_{9-10}}{6} \right) \\ &= \left( \frac{4+4+4+1+3+2}{6} \right) \\ &= 3\end{aligned}$$

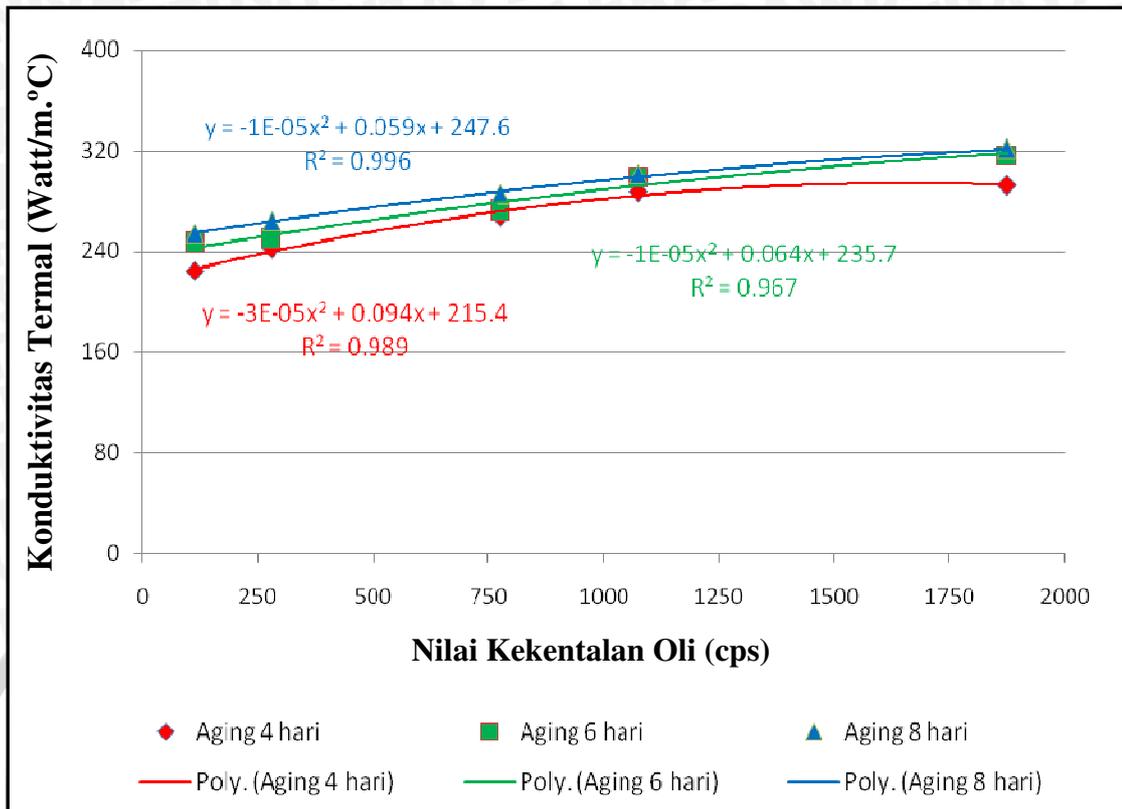
$$\begin{aligned}k_a &= \frac{\Delta t_R}{\Delta t_a} \times \frac{L_a}{L_R} \times k_R \\ &= \frac{0,03}{0,0361} \times \frac{0,02}{0,3} \times 372,18 \\ &= 20,722\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}k_b &= \frac{\Delta t_R}{\Delta t_b} \times \frac{L_b}{L_R} \times k_R \\ &= \frac{0,03}{0,367} \times \frac{0,04}{0,3} \times 372,18 \\ &= 4,06\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}k &= \frac{L_b - L_a}{\frac{L_b}{k_b'} - \frac{L_a}{k_a'}} \\ &= \frac{2}{\frac{4}{4,06} - \frac{2}{20,722}} \\ &= \frac{2}{0,985 - 0,097} \\ &= 224,5 \text{ (Watt/m.}^\circ\text{C)}\end{aligned}$$

## 4.2 Grafik dan Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian variasi kekentalan media pendingin oli dan waktu *aging* pada perlakuan panas *solution treatment* terhadap konduktivitas termal paduan aluminium tembaga (Al – Cu) didapatkan data seperti di atas, setelah memperoleh data temperatur kemudian dilakukan perhitungan nilai konduktivitas paduan aluminium tersebut, maka didapatkan diagram di bawah. Pada gambar 4.1 di bawah ini menunjukkan diagram hubungan antara variasi kekentalan media pendingin oli dan waktu *aging* terhadap konduktivitas termal paduan aluminium tembaga (Al – Cu).



Gambar. 4.4. Grafik pengaruh variasi kekentalan media pendingin oli dan konduktivitas termal dengan variasi *aging*

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa semakin kental media pendingin oli dan waktu *aging* pada proses *Solution Treatment*, maka nilai konduktivitas termal paduan aluminium tembaga (Al – Cu) akan semakin meningkat sampai pada suatu titik tertentu kemudian akan relatif menurun pada saat mencapai titik jenuh. Kenaikan grafik nilai konduktivitas termal tersebut disebabkan karena ukuran butiran yang semakin seragam akibat pengaruh pendinginan dengan oli dan waktu *aging*, dimana oli mempunyai sifat untuk selalu melekat dan menyebar ke permukaan aluminium dan proses *aging* yang semakin lama menyebabkan sifat mekanik dari aluminium semakin baik. Sehingga ruang di antara butiran semakin kecil dimensinya jika dibandingkan dengan paduan aluminium tembaga yang didinginkan dengan air dan tanpa proses *aging*. 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 yang didinginkan dengan kekentalan oli 112,5 cps (SAE 10) dan proses *aging* 4 hari 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 *aging* dan kekentalannya 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 *aging* 6 dan 8 hari. Hal tersebut mengakibatkan nilai rata - rata konduktivitas termal paduan aluminium tembaga yang didinginkan dengan kekentalan oli 112,5 cps (SAE 10) waktu *aging* 4 hari lebih rendah dari pada nilai konduktivitas termal paduan aluminium tembaga yang didinginkan dengan kekentalan oli 112,5 cps (SAE 10) waktu *aging* 6 dan 8 hari, nilai rata - rata konduktivitas termal yang didinginkan dengan kekentalan oli 112,5 cps (SAE 10) dan waktu *aging* 6 dan 8 berturut turut adalah 225,86 (Watt/m.°C), 245,16 (Watt/m.°C), 255,58 (Watt/m.°C).

Selain waktu *aging* konduktivitas termal juga tergantung jenis kekentalan fluida pendingin. Untuk jenis perlakuan yang sama yaitu *solution treatment* tetapi kekentalan media pendingin yang berbeda, secara tidak langsung laju perpindahan panas dan lama pendinginan juga berbeda, yang menyebabkan perbedaan nilai konduktivitas termal paduan aluminium tembaga. Karena semakin tinggi tingkat kekentalan media pendingin, menyebabkan penyerapan banyak sehingga akan mempengaruhi nilai konduktivitas termal bahan. Dengan semakin besar laju pendinginan ruang antar butir yang berisi gas, ruang isolator panas akan semakin sedikit. Jika terdapat energi kalor yang merambat melewati ruang antar butir hambatan termalnya akan semakin kecil yang secara tidak langsung akan meningkatkan nilai konduktivitas termal paduan aluminium tembaga.

Pada gambar 4.4 juga menunjukkan bahwa pada kekentalan oli 1874,5 cps (SAE 90) adalah titik maksimum dari nilai rata - rata konduktivitas termal paduan aluminium tembaga, hal tersebut dikarenakan pada pendinginan dengan kekentalan oli 1874,5 cps (SAE 90) tersebut penyerapan panasnya paling banyak, sehingga memperoleh keseragaman yang paling maksimal dan distribusi energi termal pada bahan juga lebih merata pada saat perlakuan, sehingga pada saat proses pendinginan juga dihasilkan nilai konduktivitas termal yang tinggi. Hal tersebut berarti hambatan termal yang berupa gas di antara butiran sebagai *isolator* panas paling kecil, nilai konduktivitas termal pada kekentalan oli 1874,5 cps (SAE 90) dan waktu *aging* 4, 6, dan 8 hari berturut – turut adalah 321,17 (Watt/m.°C), 325,25 (Watt/m.°C), dan 324,39 (Watt/m.°C).

Dengan kekentalan media pendingin oli yang semakin kecil dan *aging* yang semakin cepat, maka pada saat dilakukan pendinginan lambat pada *aging* 4 hari memiliki nilai konduktivitas termal rendah jika dibandingkan dengan waktu *aging* 6 dan 8 hari. Setiap material akan memiliki karakteristik yang berbeda jika perlakuan panas yang sama dan media pendinginan yang dipakai berbeda. Hal itu 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 kekentalan media pendingin oli pada perlakuan panas *solution treatment* berpengaruh terhadap nilai konduktivitas termal paduan aluminium tembaga (Al – Cu). Semakin tinggi tingkat kekentalan oli pada *quenching* proses *solution treatment* akan mengalami laju perpindahan panas yang cepat, sehingga nilai konduktivitas termal pada paduan aluminium tembaga akan semakin meningkat, hal tersebut ditunjukkan dengan :

- Nilai rata - rata konduktivitas termal paduan aluminium tembaga tertinggi dihasilkan oleh spesimen dengan perlakuan panas *solution treatment* dengan kekentalan media pendingin oli 1874,5 cps (SAE 90) dan waktu *aging* 8 hari, yaitu sebesar 323,60 (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* dengan kekentalan media pendingin oli 112,5 cps (SAE 10) dan waktu *aging* 4 hari, yaitu sebesar 255,58 (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

- Cabe, W. L. Smith, JC, Hariot, P; 1985: *Unit Operation of Chemical Engineering*. 4th ed, Mc. Graw-Hill, New York.
- 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; 1988: *Perpindahan Kalor* . Edisi keenam. Terjemahan E. Jasjfi. Jakarta: Erlangga.
- Kashyap, K. T, Chandrashekar, T. 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.
- Kreint, Frank; 1997: *Prinsip-prinsip Perpindahan Panas*. Jakarta: Erlangga.
- Ogawa Seiki Co. LTD. 1987. *Thermal Conductivity Measuring Apparatus*. Jepang : Ogawa Seiki Co. LTD
- Smallman, R; 1985: *Metalurgi Fisik Modern*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Surdia, Tata; 1992: *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Zakharov, B; 1960: *Heat Treatment of Metals*; Peace Publisher, Moscow.
- <http://www.wikipedia.org/wiki/Aluminium>. (diakses 18 February 2009).
- <http://www.gurumuda.com/2009/03/konduksi/>. (diakses 3 Maret 2009).

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

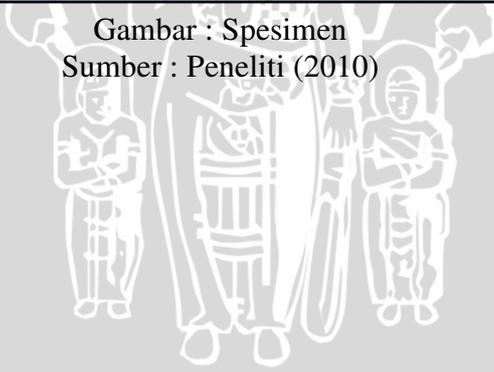


**LAMPIRAN**

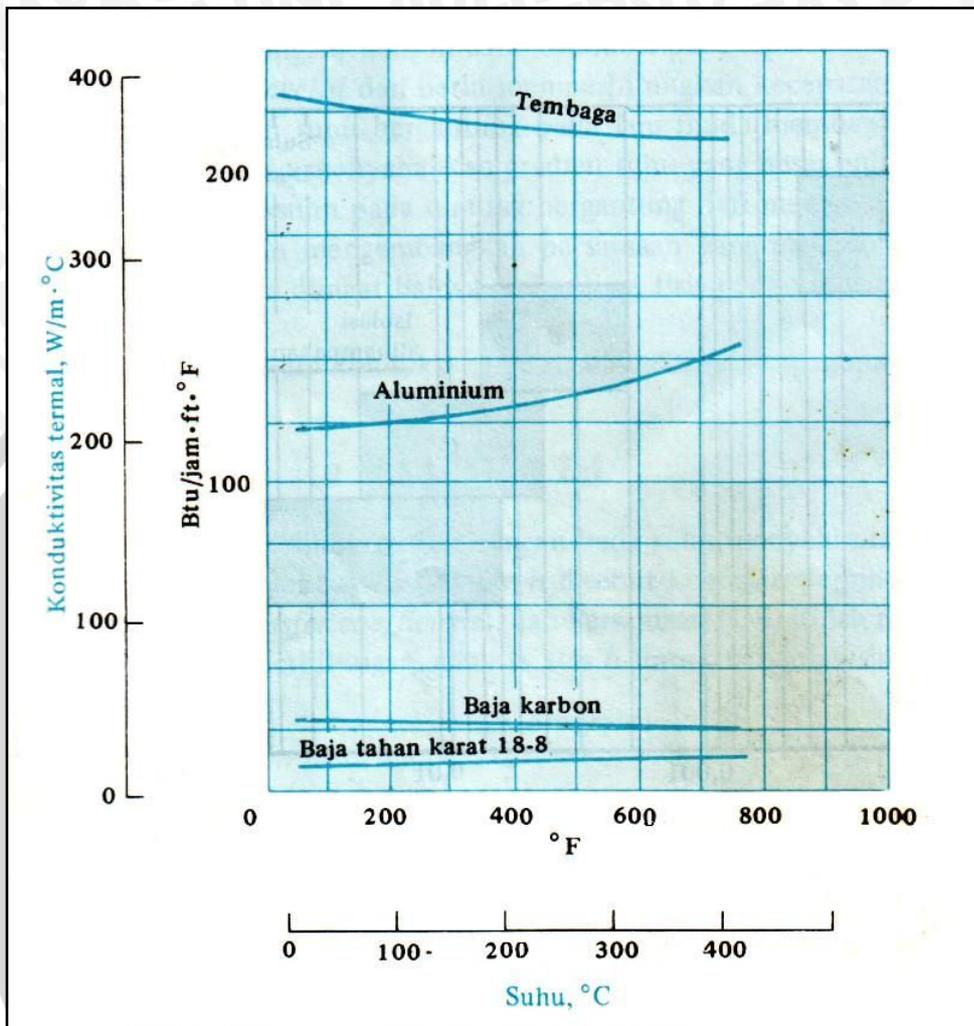
Lampiran 1. Gambar Spesimen



Gambar : Spesimen  
Sumber : Peneliti (2010)



## Lampiran 2. Konduktivitas Beberapa Zat Padat



Gambar : Konduktivitas Termal Beberapa Zat Padat  
Sumber : Holman (1988: 9)

**Lampiran 3. 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 <sup>2</sup> )	4,6	11,6	9,3	16,9
Kekuatan mulur (0,2%)(Kg/mm <sup>2</sup> )	1,3	11,0	3,5	14,8
Perpanjangan (%)	48,8	5,5	35	5
Kekerasan Brinell (Kg/mm <sup>2</sup> )	17	27	23	44

Sumber : Surdia (1992 : 134)



## Lampiran 4. 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	0.48	0.046	0.009	0.093	1.25	0.415	0.10	5.39	0.55	0.01
Unit	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%

Malang, 2 April 2009  
Kepala Laboririum Fisika  
FMIPA UM



Drs. Abdulloh Fuad, M.Si  
NIP. 131 808 404

Gambar : Uji Komposisi Spesimen  
Sumber : Laboratorium Fisika Universitas Negeri Malang