

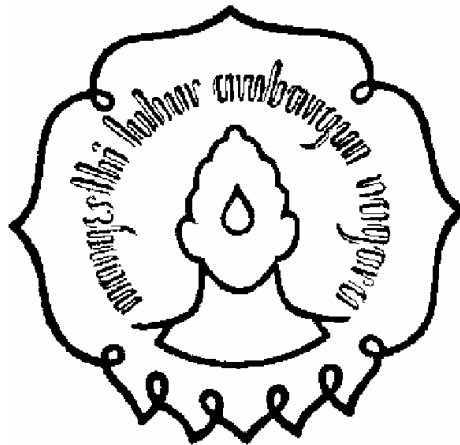
**SKRIPSI**

**STUDI KARAKTERISTIK KONDUKTIVITAS TERMAL  
PADUAN  $x\text{Sn}-y\text{Al}$  SEBAGAI BAHAN SOLDER ALTERNATIF  
RAMAH LINGKUNGAN**

**HANIEF SETIADI**

**M 0298038**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu  
pada Jurusan Fisika



**JURUSAN FISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS SEBELAS MARET**

**SURAKARTA**

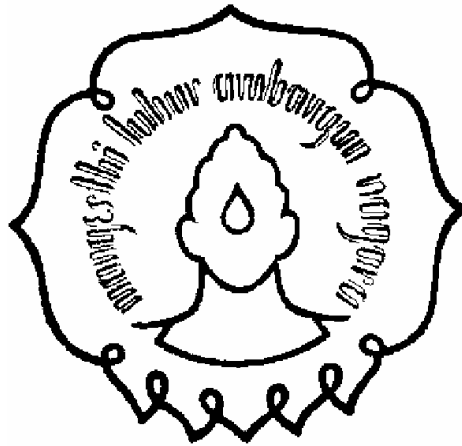
**2006**

**SKRIPSI**

**STUDI KARAKTERISTIK KONDUKTIVITAS TERMAL  
PADUAN  $x\text{Sn-yAl}$  SEBAGAI BAHAN SOLDER ALTERNATIF  
RAMAH LINGKUNGAN**

**HANIEF SETIADI  
M 0298038**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu  
pada Jurusan Fisika



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
SURAKARTA  
2006**

# LEMBAR PENGESAHAN

## SKRIPSI

### STUDI KARAKTERISTIK KONDUKTIVITAS TERMAL PADUAN $x$ -Sn $y$ -Al SEBAGAI BAHAN SOLDER ALTERNATIF RAMAH LINGKUNGAN

**Hanief Setiadi**  
**M0298038**

Dinyatakan lulus ujian skripsi oleh tim penguji  
pada hari Jumat, tanggal 28 April 2006

#### Tim Penguji

**Ahmad Marzuki, S.Si., Ph.D. (Ketua)**

**NIP. 132 163 993** .....

**Agus Supriyanto, S.Si., M.Si. (Sekretaris)**

**NIP. 132 240 169** .....

**Drs. Usman Santosa, M.Si. (Penguji I)**

**NIP. 130 515 926** .....

**Fahru Nurosyid, S.Si., M.Si. (Penguji II)**

**NIP. 131 257 922** .....

Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan  
memperoleh gelar sarjana sains

**Dekan**

**Ketua Jurusan Fisika**

**Drs. H. Marsusi, M.S**

**NIP. 130 906 776**

**Drs. Harjana, M.Si., Ph.D.**

**NIP. 131 570 309**

## **LEMBAR PERNYATAAN**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi intelektual skripsi ini adalah hasil kerja saya dan sepengetahuan saya, hingga saat ini isi skripsi tidak berisi materi yang telah dipublikasikan atau ditulis oleh orang lain atau materi yang telah diajukan untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di Universitas Sebelas Maret Surakarta atau di perguruan tinggi lainnya kecuali telah dituliskan di daftar pustaka skripsi ini dan segala bentuk bantuan dari semua pihak telah ditulis pada bagian ucapan terima kasih.

Surakarta, April 2006

Penulis,

Hanief Setiadi

## HALAMAN MOTTO

*“ Bacalah dengan nama Tuhanmu yang telah menciptakan ”*

(Al-'Alaq ayat 1)

*“Robbisyroh lli sohdri wa yaasir lli amri ....”*

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Untuk segala sesuatu yang terpenting dalam kehidupanku :

- ❖ ALLAH S.W.T.
- ❖ Ibu.
- ❖ Ibu.
- ❖ Ibu.
- ❖ Bapak.
- ❖ Keluarga.
- ❖ For her.
- ❖ Teman, sahabat, kawan, all.

## KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim.

Alhamdulillah, puji syukur tak terhingga penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan kasih sayang-Nya. Sehingga skripsi ini bisa selesai karena pertolongan-Nya. Shalawat dan salam semoga selalu tercurah kepada Rasulullah Muhammad SAW, serta kepada keluarga, sahabat, dan orang-orang yang mengikuti risalahnya sampai hari kiamat.

Alhamdulillah, melalui proses yang memakan waktu cukup lama, Allah SWT sekali lagi memperkenalkan penulis untuk dapat melalui sebuah tahapan kehidupan untuk menuju ke tahapan berikutnya. Skripsi yang berjudul **“Studi Karakteristik Konduktivitas Termal Paduan  $x\text{Sn-yAl}$  Sebagai Bahan Solder Alternatif Ramah Lingkungan”** telah terselesaikan. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk melengkapi kurikulum dalam menyelesaikan pendidikan Sarjana Strata Satu pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Jurusan Fisika Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Terselesaikannya skripsi ini berkat bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ahmad Marzuki, S.Si., P.hD., selaku pembimbing I yang dengan sabar dan penuh kebesaran jiwa telah membina, mendidik, dan memberikan bimbingan kepada penulis.
2. Agus Supriyanto, S.Si., M.Si, selaku pembimbing II.
3. Drs. Harjana, M.Si., Ph.D, selaku Ketua Jurusan Fisika, FMIPA UNS.

4. Drs. Marsusi, MS, selaku Dekan FMIPA UNS.
5. Bapak-bapak serta Ibu-ibu dosen Jurusan Fisika FMIPA yang telah mengajarkan banyak ilmu kepada penulis.
6. Ibu, Bapak, kakak-kakakku serta adikku dan segenap keluarga yang telah mendoakan dan banyak memberikan bantuan serta dukungan kepada penulis.
7. Niplik, Fredi, Cecep, Syafi'i, Nanang, Utang, Keken, Bagus, Nugroho, dan teman-teman fisika. Semoga kita semakin bersatu, kuat dan kokoh.
8. Mas Eko, Mas Ari, serta Mas Mul di Sub Lab Fisika Pusat FMIPA UNS yang telah banyak membantu.
9. Teman-teman Kost.
10. Dan semua pihak yang telah membantu dengan segala macam cara, yang tidak mungkin penulis sebutkan satu-persatu. Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian semua dengan berlipat ganda. Amin.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, untuk itu saran dan kritik yang bersifat membangun sangat penulis harapkan. Semoga karya tulis ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan dapat memberikan sumbangan kebaikan pada perkembangan ilmu pengetahuan.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Surakarta, April 2006

Penulis



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	iii
<b>MOTTO</b> .....	iv
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	x
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>INTISARI</b> .....	xii
<b>ABSTRACT</b> .....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
I.1. Latar Belakang .....	1
I.2. Perumusan Masalah.....	5
I.3. Tujuan Penelitian.....	5
I.4. Batasan Masalah.....	6
I.5. Manfaat Penelitian.....	6
I.6. Sistematika Penulisan.....	7
<b>BAB II DASAR TEORI</b> .....	8
II.1. Bahan Solder Sebagai Salah Satu Unsur Pendukung Penyolderan ....	8
II.1.1. Pengantar .....	8
II.1.2. Bahan Solder .....	10
II.2. Paduan Logam.....	11
II.2.1. Pengertian Paduan Logam.....	11
II.2.2. Aturan-Aturan Daya Larut Dalam Paduan Logam.....	13
II.3. Konduktivitas Termal Logam .....	15
II.4. Timah dan Aluminium .....	23
II.4.1. Timah.....	23

II.4.2. Aluminium.....	24
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>26</b>
III.1. Waktu dan Tempat Penelitian .....	26
III.2. Alat dan Bahan .....	26
III.2.1. Alat-alat yang Digunakan.....	26
III.2.2. Bahan-bahan yang Digunakan.....	27
III.3. Metode Penelitian.....	27
III.4. Prosedur Penelitian.....	32
III.4.1. Penimbangan Bahan Sampel .....	32
III.4.2. Proses Produksi Sampel .....	34
III.4.3. Tahap Pengukuran Dimensi Sampel .....	37
III.4.4. Pengukuran Gradien Temperatur ( $\Delta T$ ) .....	37
III.4.5. Perhitungan Konduktivitas Termal .....	40
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>41</b>
IV.1. Hasil Penimbangan Bahan Sampel.....	41
IV.2. Proses Produksi .....	42
IV.3. Hasil Pengukuran Dimensi Sampel .....	45
IV.4. Hasil Pengukuran Gradien Temperatur ( $\Delta T$ ) .....	46
IV.5. Hasil Perhitungan Konduktivitas Termal .....	47
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>52</b>
V.1. Kesimpulan.....	52
V.2. Saran.....	52
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>54</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>56</b>

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Dasar fisis untuk konduktivitas termal .....	16
Gambar 2.2 (a) Konduksi termal pada dinding bidang, (b) Konduksi termal pada dua bidang bahan berjenis I dan II berluas penampang (A) sama dan disusun secara seri .....	19
Gambar 2.3 Penurunan temperatur pada permukaan kontak .....	21
Gambar 2.4 Kurva temperatur pada susunan seri dua bahan berbeda jenis; bahan jenis I: A, B, dan C; bahan jenis II: D dan E .....	21
Gambar 3.1 Plot perubahan temperatur dengan ketebalan.....	28
Gambar 3.2 Diagram alir prosedur penelitian secara garis besar.....	32
Gambar 3.3 Neraca Ohaus .....	33
Gambar 3.4 Diagram alir tahap penimbangan sampel .....	34
Gambar 3.5 Wadah cetakan besi dan las karbit/asetilen .....	35
Gambar 3.6 Diagram alir proses produksi .....	36
Gambar 3.7 Bentuk sampel yang digunakan dalam penelitian .....	37
Gambar 3.8 Alat bagian pengukuran.....	38
Gambar 3.9 Diagram alir tahap pengukuran gradien temperatur.....	39
Gambar 4.1 Hasil proses produksi yang pertama.....	43
Gambar 4.2 Krusibel yang telah dipecah .....	43
Gambar 4.3 Grafik nilai rata-rata konduktivitas termal masing-masing bahan sampel ( $\lambda_{av}$ ) pada berbagai macam komposisi .....	50
Gambar 4.4 Grafik log rata-rata konduktivitas termal bahan sampel pada masing-masing komposisi .....	50

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Massa $x\text{Sn}-y\text{Al}$ untuk masing-masing komposisi.....	34
Tabel 4.1 Massa bahan sampel untuk masing-masing komposisi.....	41
Tabel 4.2 Dimensi sampel untuk masing-masing komposisi .....	46
Tabel 4.3 Gradien temperatur sampel untuk masing-masing komposisi .....	46
Tabel 4.4 Perhitungan konduktivitas termal untuk masing-masing sampel.....	48
Tabel 4.5 Nilai rata-rata konduktivitas termal masing-masing sampel ( $\lambda_{av}$ ).....	49

## **INTISARI**

### **Studi Karakteristik Konduktivitas Termal Paduan $x$ -Sn $y$ -Al Sebagai Bahan Solder Alternatif Ramah Lingkungan**

**Oleh**  
**Hanief Setiadi**  
**M0298038**

Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Sebelas Maret Surakarta

Telah dibuat paduan logam  $x$ -Sn  $y$ -Al dengan 6 variasi nilai  $x$  dan  $y$ . Sifat termal yang dimiliki oleh paduan logam ini dimanfaatkan untuk memperoleh karakteristik konduktivitas termal melalui perhitungan secara makroskopik dengan melibatkan besaran-besaran dimensi dan gradien temperatur sampel. Nilai konduktivitas termal sampel tersebut diperoleh dengan menggunakan persamaan yang diajukan Fourier. Dari beberapa variasi komposisi tersebut ditentukan komposisi yang memiliki konduktivitas termal terendah. Didapatkan hubungan konduktivitas termal terhadap perubahan komposisi paduan yang menunjukkan bahwa dari komposisi Sn murni hingga komposisi 90%Sn konduktivitas termal mengalami kenaikan yang selanjutnya mengalami penurunan nilai yang tidak beraturan hingga komposisi Al murni. Dari enam komposisi paduan  $x$ -Sn  $y$ -Al dua di antaranya memiliki nilai konduktivitas termal lebih tinggi dibandingkan dengan konduktivitas termal yang dimiliki oleh logam murni Sn dan logam murni Al, satu komposisi memiliki nilai konduktivitas termal lebih rendah.

Kata kunci : paduan logam  $x$ -Sn  $y$ -Al, komposisi, sifat termal, konduktivitas termal, dimensi, gradien temperatur.

**Study of Thermal Conductivity Characteristic  $x$ -Sn  $y$ -Al Alloy  
as an Alternative of Friendly Solder Materials to Environment**

**By  
Hanief Setiadi  
M0298038**

Physics Department of Mathematics and Sciences Faculty  
of Sebelas Maret University in Surakarta

It has been made  $x$ -Sn  $y$ -Al alloys with 6 variations of  $x$  and  $y$  value. The thermal characteristic of these alloy compositions was used to obtain the conductivity characteristic by means of macroscopically conductivity calculation with involving the dimensions and temperature gradients of those samples. The thermal conductivity of those samples was obtained by using the equation which proposed by Fourier. From those various compositions, the composition with lowest conductivity was determined. The thermal conductivity related to the changing of composition of alloys indicating that from pure Sn to 90%Sn thermal conductivity was increasing then decreasing irregularly to pure Al composition. From these six  $x$ -Sn  $y$ -Al alloy composition, two of them had higher thermal conductivity than both pure Sn and pure Al, and one had lower thermal conductivity.

Keyword:  $x$ -Sn  $y$ -Al alloy, composition, thermal characteristic, thermal conductivity, dimension, temperature gradient.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I. 1. Latar Belakang

Berabad-abad manusia telah menggunakan beberapa logam yang dicampur menjadi satu, yang disebut sebagai paduan logam atau *alloy*. Hingga saat ini banyak sekali peralatan yang menggunakan paduan logam, dari peralatan yang paling sederhana sampai peralatan paling canggih dan rumit. Salah satu paduan logam yang paling mudah ditemui sehari-hari dan merupakan paduan logam yang dibutuhkan sekali adalah paduan logam Sn-Pb yang dikenal sebagai solder.

Menyolder adalah sebuah metode menggabungkan bagian-bagian logam menggunakan sebuah logam pengisi yang memiliki titik lebur rendah yaitu solder (Wikipedia I, 2006). Ada dua klasifikasi utama untuk metode-metode penyolderan yang digunakan saat ini yaitu non-listrik (menggunakan *flux* asam sebagai dasarnya) dan dengan listrik (menggunakan *flux* rosin sebagai dasarnya) (Hoban, 1997).

Salah satu penggunaan dari penyolderan adalah membuat hubungan antara komponen-komponen elektronika dan papan rangkaian elektronika (*Printed Circuit Board*). Hampir tidak dapat dipungkiri semua orang membutuhkan peralatan elektronika dalam kehidupan sehari-hari. Di mana peralatan tersebut terdiri dari komponen-komponen kecil seperti transistor, resistor, kapasitor dan lain-lain yang dihubungkan secara kelistrikan dan secara mekanis supaya dapat berfungsi sesuai dengan yang diinginkan.

Penggunaan lain dari penyolderan adalah pada pemasangan pipa leding. Penyambungan pada benda-benda logam-lembaran seperti kaleng untuk makanan, cucuran atap, talang seringkali menggunakan penyolderan. Perhiasan dan komponen-komponen mekanik yang kecil sering dirakit dengan disolder. Menyolder dapat juga digunakan sebagai sebuah teknik perbaikan untuk menambal kebocoran pada sebuah wadah atau ketel masak (Wikipedia I, 2006).

Ada banyak logam-logam dan logam paduan lain yang dapat digunakan sebagai solder. Keputusan untuk menggunakan sebuah bahan khusus, sebagian besar berdasarkan pada sifat-sifatnya seperti kekerasan bahan, penghantaran termal bahan, pemuaian bahan, resistansi listrik bahan, kelenturan bahan, serta mengandung racun atau tidaknya. Dan mungkin yang paling penting adalah biaya produksinya.

Walau tidak diartikan sebagai paduan logam yang paling sempurna untuk penyolderan, dalam industri elektronika paduan logam yang paling umum digunakan terdiri dari 63% timah dan 37% timbel berdasarkan berat, dan merupakan campuran yang mendekati eutektik (Wikipedia II, 2006). Mempunyai titik lebur lebih rendah dibandingkan dengan unsur pokoknya yaitu sebesar  $182,22^{\circ}\text{C}$ . Mempunyai nilai konduktivitas termal sebesar  $35,2 \text{ kcal/mhr}^{\circ}\text{C}$ , resistivitas listrik sebesar  $144 \text{ n}\Omega\cdot\text{m}^{-1}$ . Dan dapat diproduksi dengan biaya rendah dibandingkan dengan paduan logam lain yang mempunyai sifat-sifat serupa karena timbel merupakan logam yang murah dan berlimpah.

Tetapi penggunaan solder berbahan dasar timbel di beberapa belahan dunia dinyatakan melanggar hukum semenjak tahun 1980-an. Dikarenakan timbel



mempunyai dampak yang buruk terhadap kesehatan. Dalam artikel *Rector & Visitors of the University of Columbia Disclaimer* (Rector, 2004) disebutkan dari berbagai kasus dan penelitian, timbel dapat mengakibatkan kerusakan pada tubuh manusia, menghambat pengangkutan oksigen dan kalsium dan mengubah pengiriman saraf dalam otak. Timbel menumpuk dalam jaringan lunak ginjal, sumsum, hati dan otak seperti halnya tulang dan gigi. Penyerapan timbel mempunyai jangkauan beragam, sistem pencernaan orang dewasa secara khas menyerap 10-15 persen dari timbel yang masuk dalam pencernaan, sementara itu untuk wanita hamil dan anak-anak dapat menyerap lebih dari 50 persen.

Keracunan timbel pada anak-anak meskipun berkonsentrasi rendah, dapat mengakibatkan kerusakan yang permanen termasuk penurunan daya tangkap, ketidakmampuan belajar, dan memendekkan rentang perhatian. Penumpukan timbel tingkat rendah secara terus-menerus pada masa kanak-kanak dapat mengubah sekresi hormon pertumbuhan manusia, memperlambat pertumbuhan dan menaikkan obesitas. Konsentrasi timbel tinggi pada darah anak-anak (1,5 µgr/ml) dapat mengakibatkan radang otak atau kerusakan otak secara besar-besaran yang mematikan. Riset terbaru menyatakan bahwa tidak sedikitpun jumlah timbel yang aman untuk anak-anak, dikarenakan sifat khusus mudah terserang pada anak-anak. Anak-anak berada dalam risiko ganda dari timbel karena potensi mereka yang lebih tinggi dari kedapatan terjadi ketika mereka paling rawan diserang. Karena anak-anak menggunakan aktivitas tangan ke mulut lebih banyak daripada orang dewasa, berguling dan bermain di tanah, mereka memasukkan lebih banyak benda-benda terkontaminasi dalam debu atau kotoran.

Timbel adalah racun yang utama untuk perkembangan sistem saraf anak-anak karena kadarnya yang tinggi datang sesaat ketika tubuh anak-anak sedang membangun organ-organ penting mereka dan tulang belakang dan struktur saraf.

Bahkan di Eropa berdasarkan pada persetujuan komisi Uni Eropa tentang sampah peralatan listrik dan elektronika serta instruksi larangan untuk bahan-bahan berbahaya (*Restriction of Hazardous Substances directives*), disyaratkan semua papan rangkaian elektronik buatan baru sudah bebas timbel mulai 1 Juli 2006 (Wikipedia I, 2006).

Sebagai solusinya sudah banyak dilakukan penelitian untuk mendapatkan solder bebas timbel bahkan sudah banyak solder bebas timbel yang diproduksi dan dipergunakan. Seperti bismut, indium, timah-perak, timah-seng dan seng-aluminium. Tetapi solder bebas timbel yang ada saat ini masih mempunyai beberapa kendala seperti harga yang mahal, titik lebur yang cukup tinggi, dan penggunaannya yang cukup susah jika dibandingkan dengan solder Sn-Pb.

Sehingga dalam penelitian ini akan dicoba menggantikan timbel dengan aluminium yang tidak beracun dan merupakan salah satu logam yang berlimpah pada kerak bumi. Walau belum dapat dipastikan penggunaan paduan logam Sn-Al ini sebagai bahan solder yang baik, akan tetapi diharapkan akan dapat memberikan sebuah wacana baru untuk mendapatkan bahan solder yang lebih baik.

Dalam penelitian ini paduan logam Sn-Al dibuat dengan beberapa komposisi yang berbeda-beda. Penentuan sampel yang terbaik untuk bahan solder ditinjau dari sifat konduktivitas termalnya. Jika konduktivitas termal bahan solder

terlalu tinggi, maka diperlukan temperatur pemanasan yang tinggi dan waktu yang lama untuk melelehkan solder. Karena panas yang diberikan saat penyolderan cenderung lebih banyak dihantarkan. Sehingga konduktivitas termal paduan Sn-Al perlu diketahui pula. Dengan sifat konduktivitas termal berupa nilai yang didapat dari hubungan konduksi termal dengan dimensi sampel. Pencarian konduksi termal didapat dari hubungan beda temperatur pada kedua permukaan sampel dengan luas permukaan sampel dan panjang sampel yang dilakukan dengan menggunakan termokopel dan piranti ukur lain yang mendukung.

### **I. 2. Perumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang tersebut didapatkan perumusan masalah, yaitu mendapatkan komposisi paduan logam  $x\text{Sn}-y\text{Al}$  sebagai alternatif bahan solder ramah lingkungan yang memiliki nilai konduktivitas termal terendah.

### **I. 3. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk

1. Mendapatkan komposisi paduan logam  $x\text{Sn}-y\text{Al}$  yang memiliki konduktivitas termal terendah.
2. Mendapatkan keterangan tentang karakteristik konduktivitas termal pada paduan logam  $x\text{Sn}-y\text{Al}$ .
3. Serta untuk mendapatkan informasi yang berkaitan dengan proses produksi paduan logam  $x\text{Sn}-y\text{Al}$  sehubungan dengan potensinya sebagai bahan solder ramah lingkungan.

#### **I. 4. Batasan Masalah**

Sebagai batasan dalam penelitian ini yang digunakan adalah paduan logam aluminium dan timah sejumlah 11 pasang sampel berbentuk piringan dengan tidak memperhatikan kesempurnaan pencampuran paduan logam yang divariasikan dalam komposisi persen mol zat untuk tiap-tiap sampel yaitu 100%Sn-0%Al, 90%Sn-10%Al, 80%Sn-20%Al, 70%Sn-30%Al, 60%Sn-40%Al, 50%Sn-50%Al, 40%Sn-60%Al, 30%Sn-70%Al, 20%Sn-80%Al, 10%Sn-90%Al dan 0%Sn-100%Al. Sedangkan penelitian sendiri adalah berupa studi karakteristik konduktivitas termal (*thermal conductivity*) bahan paduan logam  $x\text{Sn}-y\text{Al}$  dengan menggunakan peralatan HVS-40-200S (*Thermal Conductivity Measuring Apparatus*) merk *Ogawa Seiki* buatan *Tokyo Meter* Jepang. Perlakuan yang diberikan berupa pemberian panas secara kontinu dengan temperatur set 100°C, 150°C, dan 200°C. Pengukuran dimensi sampel meliputi ketebalan sampel dan diameter sampel menggunakan jangka sorong dengan tingkat ketelitian sampai 0,05 mm yang dilakukan pada temperatur kamar.

#### **I. 5. Manfaat Penelitian**

Diharapkan dari penelitian ini bisa memberikan informasi mengenai konduktivitas termal logam paduan  $x\text{Sn}-y\text{Al}$  dari masing-masing sampel, memberikan informasi mengenai konduksi termal logam paduan  $x\text{Sn}-y\text{Al}$  dari masing-masing sampel, memberikan informasi yang terkait dengan proses produksi paduan logam  $x\text{Sn}-y\text{Al}$  serta dapat memberikan informasi yang dapat

digunakan dalam penelitian-penelitian berikutnya secara umum dan khususnya dalam bidang solder ramah lingkungan.

#### **I. 6. Sistematika Penulisan**

Pada skripsi ini sistematika penulisannya terbagi menjadi lima bab, yaitu Bab I Pendahuluan, Bab II Dasar Teori, Bab III Metodologi Penelitian, Bab IV Hasil dan Analisa, dan Bab V Kesimpulan dan Saran. Penjelasan secara ringkas dari masing-masing bab adalah sebagai berikut:

Pada Bab I Pendahuluan yang menjelaskan latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan skripsi. Bab II Dasar Teori berisi tinjauan pustaka sebagai teori yang digunakan untuk acuan dalam penelitian ini, yaitu penjelasan tentang bahan solder, paduan logam serta aturan-aturan daya larutnya, konduktivitas termal pada logam, serta keterangan tentang unsur timah dan aluminium di dalam tabel periodik unsur.

Bab III Metodologi Penelitian yang meliputi tempat pelaksanaan penelitian dan waktu pelaksanaan penelitian, alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian, metode penelitian, dan prosedur penelitian yang dilakukan. Bab IV berisi hasil dan analisa hasil penelitian, serta beberapa informasi tambahan mengenai produksi logam paduan  $x\text{Sn-yAl}$ . Bab V berisi kesimpulan dari hasil analisa dan saran-saran.

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **II. 1. Bahan Solder Sebagai Salah Satu Unsur Pendukung Penyolderan**

##### **II. 1. 1. Pengantar**

Pada bab pendahuluan, telah diuraikan pengertian dan klasifikasi penyolderan. Walaupun ada banyak tipe penyolderan yang dipergunakan, namun semua tipe penyolderan melibatkan beberapa elemen yang sama yaitu logam dasar yang akan disambung, fluks, solder itu sendiri, dan panas (Hoban, 1997). Logam dasar adalah sembarang logam yang bersinggungan dengan solder dan membentuk sebuah paduan logam lanjutan. Pada komponen-komponen elektronika yang dipasangkan ke *PCB* dengan penyolderan, kaki komponen atau pin dan sirkuit logam pada *PCB* merupakan logam dasar yang akan menyentuh solder. Ada logam yang dapat dengan cepat bereaksi dengan solder untuk membentuk ikatan yang kuat secara kimia dan fisik, ada pula logam yang sangat sulit disolder. Ada sebuah hubungan langsung di antara seberapa mudah logam bereaksi dengan solder dan tingkat oksidasi permukaan logam dasar. Lebih banyak oksidasi pada permukaan logam dasar maka akan lebih lemah ikatan solder yang terbentuk. Fakta bahwa oksidasi semakin meningkat saat logam dipanaskan menyebabkan ikatan solder yang terbentuk juga semakin lemah. Untuk mengurangi oksidasi yang timbul saat pemanasan logam dasar menuju temperatur penyolderan, digunakan fluks pada permukaan logam dasar sebelum

dilakukan pemanasan (Hoban, 1997). Fluks yang diberikan pada permukaan logam dasar yang akan disolder melindungi permukaan dari oksigen sehingga akan mencegah oksidasi selama pemanasan (Rahn, 1993). Selain itu kebanyakan fluks juga bersifat asam yang digunakan untuk menghilangkan oksidasi yang sudah ada pada permukaan logam dasar. Kebanyakan fluks yang digunakan untuk penyolderan listrik saat ini sudah dimasukkan di dalam bahan solder (Hoban, 1997). Hal ini menjelaskan mengapa ketika melakukan penyolderan tampak sedikit asap keluar saat solder meleleh, asap tersebut sebenarnya berasal dari fluks. Selain itu penyolderan ulang sambungan solder hasilnya kurang bagus jika dilakukan tanpa memberikan tambahan solder atau menghilangkan solderan lama terlebih dahulu. Hal ini dikarenakan fluks pada bahan solder sudah menguap dan tidak aktif setelah penyolderan pertama (Hoban, 1997).

Fluks yang diserap langsung dari bahasa Inggris, *flux*, dalam kamus Inggris-Indonesia diterjemahkan sebagai perubahan yang terus-menerus, keadaan yang berubah-ubah, atau pengaliran (John, 1995), sedangkan dalam kamus teknik, *flux* diartikan sebagai bahan pengencer atau pelumas (Ahmad, 1998). Dalam bidang metalurgi, *flux* adalah suatu pembantu untuk peleburan, suatu material yang reaksi kimiawinya memudahkan penyolderan atau *brazing* logam. Dalam penyolderan logam, fluks mempunyai tiga kegunaan: menghilangkan oksidasi dari permukaan yang akan disolder, menutupi permukaan sehingga mencegah oksidasi lebih lanjut, dan memudahkan proses penggabungan sehingga memperbaiki kemampuan solder cair untuk terikat pada suatu permukaan (Wikipedia III, 2006).

## II. 1. 2. Bahan Solder

Mayoritas bahan solder yang digunakan dalam bidang elektronika merupakan paduan logam. Penentuan tentang paduan logam mana yang hendak digunakan sebagai bahan solder sangat bergantung pada banyak hal.

Contoh, apabila maksud dari penyolderan adalah untuk menyambung bahan, sudah tentu kekuatan bahan terkait dengan daya regang dan daya ikatnya menjadi hal yang diperhatikan. Namun, pada penyolderan yang sifatnya hanya mekanik, faktor konduktivitas listrik bisa diabaikan.

Untuk sifat eutektik bahan, pada bentuk penyolderan apapun harus diperhatikan. Terutama untuk penyolderan dalam bidang elektronika. Eutektik itu sendiri memiliki pengertian, bahan solder yang dilelehkan akan berubah hampir seketika dari cair menjadi padat, yang diharapkan untuk mencegah titik persambungan solder yang jelek sehubungan dengan getaran atau gerakan selama pendinginan (Hoban, 1997). Sebaiknya, persyaratan untuk bahan solder selain dari faktor-faktor fisis, kimiawi dan ekonomis, faktor terakhir yang harus dipertimbangkan dan menjadi penentu adalah sifat beracun atau tidaknya bahan tersebut.

Meskipun tingkat pemahaman terhadap persyaratan bahan solder sudah cukup baik, hingga saat ini belum ada bahan solder yang memenuhi kriteria-kriteria tersebut di atas dengan sempurna. Bahan solder yang banyak digunakan saat ini selain paduan 60%Sn-40%Pb adalah paduan logam 63%Sn-37%Pb, komposisi terakhir tersebut bersifat eutektik dengan titik lebur 182,22 °C. Ditinjau dari titik leburnya, paduan logam ini mampu memenuhi batas-batas toleransi



temperatur yang diijinkan untuk komponen-komponen elektronika. Satu hal yang tidak bisa menjadikan paduan logam Sn-Pb ini sebagai bahan solder yang sempurna, yaitu sifat beracun yang diturunkan dari unsur timbel.

## **II. 2. Paduan Logam**

### **II. 2. 1. Pengertian Paduan Logam**

Sebagian besar logam dalam penggunaannya jarang sekali ditemukan dalam bentuk murni. Hal tersebut karena kekurangan yang dimiliki dari logam murni, seperti terlalu lunak dan lentur. Oleh karena itu perlu ditambahkan unsur-unsur lain pada logam murni untuk mendapatkan sifat-sifat yang diinginkan. Misalnya, karbon ditambahkan ke dalam besi untuk mengeraskannya menjadi baja. Contoh lainnya, agar aluminium lebih kuat maka ditambahkan tembaga, silikon dan beberapa unsur lain. Kuningan adalah campuran antara tembaga dan seng. Satu hal yang telah disebutkan dari beberapa contoh logam-logam yang dicampur tersebut adalah satu atau lebih unsur penyusun campuran logam dilarutkan ke dalam suatu jenis logam. Oleh karena itulah campuran tersebut dinamakan paduan logam dan dikatakan juga sebagai larutan padat (Omar, 1993). Paduan logam adalah sebuah kombinasi baik dalam larutan atau persenyawaan, dari dua atau lebih elemen yang mempunyai kombinasi dari paling sedikit satu logam, di mana bahan yang dihasilkan mempunyai sifat-sifat logam (Wikipedia IV, 2006). Paduan logam berbeda dengan senyawa kimia, di mana dalam paduan logam tingkat konsentrasi dari zat terlarut relatif terhadap zat pelarut bisa

bervariasi, sedangkan dalam senyawa kimia konsentrasi ini sudah ditentukan (Omar, 1993).

Dalam suatu paduan logam, atom-atom terlarut mengambil posisi pada celah-celah atau kisi-kisi geometri molekul yang teratur. Paduan logam yang pertama disebut paduan logam selitan (*interstitial*) dan yang kedua disebut paduan logam pengganti (*substitutional*). Contoh paduan logam selitan adalah karbon dalam baja, dan contoh paduan logam pengganti adalah seng dalam tembaga (kuningan). Jelaslah suatu paduan logam dapat terbentuk hanya jika atom-atom zat terlarut cukup kecil agar dapat masuk ke dalam celah-celah molekul tanpa pengeluaran energi yang besar. Secara umum, daya larut selitan pada logam-logam dibatasi karena atom-atom dalam suatu logam tersusun relatif rapat. Dalam paduan logam pengganti, atom-atom zat terlarut menempati kisi-kisi geometri molekul yang teratur dengan secara acak. Saat lebih banyak lagi atom-atom zat terlarut ditambahkan, maka atom-atom tersebut akan menempati lebih banyak tempat dan ukuran kristal sedikit bertambah. Struktur kristal tetap tidak berubah, tetapi kemungkinan ada sedikit sekali perubahan dalam konstanta kisi-kisi geometri molekul. Jenis dari paduan logam ini disebut paduan logam primer. Dalam kondisi yang sama, struktur kristal bisa mengalami perubahan jika konsentrasi zat terlarut menjadi cukup besar. Paduan logam dari keadaan ini disebut paduan logam sekunder. Pada umumnya, ketika struktur kristal paduan berbeda dari struktur kristal-kristal unsur-unsur logam murni, paduan tersebut dikatakan dalam fase menengah (*intermediate phase*) (Omar, 1993).

## II. 2. 2. Aturan-Aturan Daya Larut Dalam Paduan Logam

Dua logam dapat dibentuk menjadi paduan logam primer jika dua-duanya memiliki ukuran atom, struktur kristal, valensi elektronegatif dan valensi relatif yang mirip. Sebagai contoh, perak dan emas dua-duanya cukup mirip. Keduanya membentuk sebuah paduan primer pada seluruh jangkauan komposisi paduan, dari perak murni hingga emas murni. Di bawah keadaan yang kurang ideal, dua logam hanya membentuk paduan primer pada jangkauan yang terbatas. Contohnya, tembaga dapat larut dalam perak hanya sampai sekitar 15% dari berat atomnya sebelum paduan tersebut melewati perubahan fase. Kondisi-kondisi untuk daya larut primer dipelajari dengan cermat oleh Hume-Rothery yang hasilnya diringkas dalam empat kaidah sebagai berikut:

a. Pengaruh ukuran atom

Atom-atom terlarut dan pelarut sebaiknya dalam ukuran yang sama. Perbedaan diameter atom sebaiknya tidak melebihi 15%. Untuk emas dan perak, perbedaannya hanya sekitar 0,2%.

b. Pengaruh struktur kristal

Agar memiliki daya larut tinggi, struktur logam-logam terlarut dan pelarut sebaiknya serupa. Baik perak ataupun emas, sebagai contoh, mempunyai struktur kristal kubus pusat muka.

c. Pengaruh valensi elektronegatif

Kedua unsur sebaiknya mempunyai karakteristik elektrokimia yang serupa. Jika berlainan, suatu unsur elektropositif seperti perak dan suatu unsur

elektronegatif seperti bromin akan membentuk sebuah senyawa kimia, bukan sebuah paduan logam.

d. Pengaruh valensi relatif

Kaidah ini menegaskan bahwa lebih mudah melarutkan suatu logam dengan valensi lebih tinggi ke valensi lebih rendah daripada sebaliknya. Contohnya, aluminium lebih mudah melarut ke dalam tembaga daripada tembaga melarut ke dalam aluminium. Karena nampak secara jelas dalam keadaan valensi yang lebih tinggi, relatif lebih mudah untuk melepas kelebihan elektron dari atom aluminium dan menampungnya dalam paduan logam. Jika tembaga dilarutkan ke dalam aluminium, bagaimanapun juga, ada kekurangan elektron konduksi pada tingkat-tingkat energi tembaga dan elektron-elektron yang cenderung menetralkan kekurangan ini, memiliki energi yang besar (Omar, 1993).

Meskipun kaidah-kaidah tersebut terpenuhi, dua logam yang dipadukan mungkin masih tidak bisa saling melarut dengan baik. Karena keempat kaidah tersebut saja masih belum cukup, keempatnya hanya menyatakan keadaan yang paling baik untuk stabilitas (Omar, 1993). Daya larut zat padat sempurna adalah jarang terjadi karena semua kriteria di atas harus sungguh-sungguh dipenuhi. Ketika semuanya dipenuhi, paduan logam pengganti diharapkan mengikuti hukum Vegard yang menyatakan bahwa perubahan dalam dimensi sel satuan seharusnya linear dengan perubahan komposisi (Azaroff, 1960).

### II. 3. Konduktivitas Termal Logam

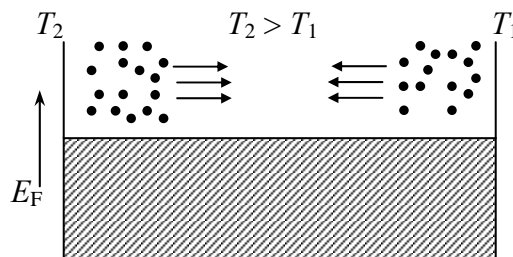
Atom-atom dalam zat padat bergetar disekitar posisi pertengahan ketika temperaturnya dinaikkan. Frekuensi dari getaran berjumlah terbatas dan di atas temperatur karakteristik tidak tergantung pada temperaturnya. Saat temperatur naik, hanya amplitudo getarannya saja yang dapat naik. Kenaikan amplitudo getaran ini mempunyai beberapa efek yang menarik. Dalam konduktivitas listrik logam, getaran atom bertanggung jawab untuk perubahan yang teramati dalam resistansi listrik. Setiap mode getaran dapat dibayangkan sebagai sebuah tipe ketidaksempurnaan dalam periodisitas kristal yang sebenarnya, yang dapat direpresentasikan dengan sebuah fonon dengan energi  $h\nu$  berpropagasi melalui kristal. Adanya peningkatan amplitudo getaran berarti lebih banyak fonon yang mempunyai energi identik (frekuensi) ditambahkan pada kristal. Lintasan bebas rata-rata fonon hanya berorde 10 sampai  $100\text{\AA}$ , secara tidak langsung menyebabkan banyak tumbukan dan menyebabkan buruknya konduktivitas termal dari kebanyakan material. Kecuali logam murni yang menghantarkan panas dengan elektron seperti pada konduktivitas listrik. Rasio dari konduktivitas termal dengan konduktivitas listrik sebenarnya sebanding dengan sebuah konstanta dikalikan temperatur absolut. Secara teori, yang disebut hukum Wiedemann-Franz ini memperkirakan bahwa konstanta tersebut sebanding dengan  $2,45 \times 10^{-8}$  (volts/deg)<sup>2</sup> dan bernilai sama untuk semua logam (Azaroff, 1960).

Ketika kedua ujung sebuah kawat logam berada pada temperatur yang berbeda, panas mengalir dari ujung yang lebih panas ke ujung yang lebih dingin. Fakta dasar secara percobaan adalah bahwa arus  $Q$ —yaitu, jumlah dari energi

termal yang melalui sebuah satuan luasan setiap satuan waktu—adalah sebanding dengan gradien temperatur,

$$Q = -K \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots (2.1)$$

di mana  $K$  adalah konduktivitas termal. Dalam isolator, panas dibawa secara keseluruhan oleh fonon tetapi dalam logam, panas bisa diangkut oleh elektron dan fonon. Oleh karena itu, konduktivitas  $K$  sama dengan jumlahan dari kedua kontribusi,  $K = K_e + K_{ph}$ , di mana  $K_e$  dan  $K_{ph}$  berturut-turut menunjuk kepada konduktivitas elektron dan konduktivitas fonon. Dalam logam, kontribusi dari elektron sangat melebihi daripada fonon, dikarenakan konsentrasi yang besar dari elektron (secara khusus  $K_{ph} \simeq 10^{-2} K_e$ ). Maka konduktivitas dari fonon dapat diabaikan untuk bahan logam.



**Gambar 2.1** Dasar fisis untuk konduktivitas termal. Elektron-elektron berenergi pada sebelah kiri membawa sejumlah energi ke kanan.

Proses fisis di mana penghantaran termal terjadi melalui elektron digambarkan dalam Gambar 2.1. Sebagian elektron pada ujung yang panas (pada sebelah kiri) berjalan ke kanan dan membawa energi ke ujung yang dingin. Begitu pula sebagian elektron pada ujung yang dingin pada sebelah kanan, berjalan ke kiri dan membawa energi ke ujung yang panas. Arus elektron yang berjalan secara

berlawanan ini adalah sama. Tetapi karena elektron pada ujung yang panas lebih berenergi, di atas rata-rata dari elektron pada sebelah kanan. Sejumlah energi dipindahkan ke kanan, menghasilkan sebuah arus termal. Panas dipindahkan hampir secara keseluruhan oleh elektron-elektron yang dekat dengan tingkat-tingkat Fermi, karena elektron yang berada di bawah tingkat Fermi saling menghapuskan sumbangan dari elektron yang satu dengan yang lainnya. Terlihat bahwa elektron-elektron pada permukaan Fermi memainkan sebuah peran utama dalam fenomena pengangkutan (Omar,1993).

Sehubungan dengan konduksi termal, Fourier memberikan persamaan berikut:

$$\frac{dQ}{d\theta} = -\lambda A \frac{dT}{dL} \dots\dots\dots (2.2)$$

Konduktivitas termal  $\lambda$  atau  $k$  adalah arus panas per satuan luas yang tegak lurus pada arah aliran, dan per satuan gradien suhu. Persamaan di atas menunjukkan hubungan berikut. Kecepatan transisi termal  $\frac{dQ}{d\theta}$  selama waktu mikro  $d\theta$  adalah sama dengan hasil kali dari sebuah luas penampang  $A$  yang diukur pada sebuah sudut dalam arah aliran termal, sebuah gradien perubahan temperatur dalam arah aliran  $\frac{dT}{dL}$  dan sebuah konstanta sebanding konduktivitas termal  $\lambda$  yang merupakan sifat fisis dari bahan. Sebagai contoh, transmisi termal, dimana  $dQ$  mewakili kuantitas termal yang lewat selama waktu  $d\theta$ , sementara  $dT$  adalah suatu perbedaan temperatur yang terjadi dalam transisi sepanjang suatu jarak  $dL$ .

Gradien temperatur adalah negatif dan maka dari itu, sebelah kanan persamaan menunjukkan sebuah tanda negatif.

Persamaan tersebut dapat juga diterapkan pada sebuah kondisi stasioner. Jika  $Q(\text{kcal})$ ,  $L(\text{m})$ ,  $T(^{\circ}\text{C})$ ,  $A(\text{m}^2)$  dan  $\theta(\text{hr})$  mempergunakan satuan MKS, dimensi dari  $\lambda$  mewakili ( $\text{kcal/mhr}^{\circ}\text{C}$ ). Secara umum dianggap bahwa konduktivitas termal pada  $T^{\circ}\text{C}$  adalah  $\lambda$  dan bahwa pada  $0^{\circ}\text{C}$  adalah  $\lambda_0$ . Maka, kebanyakan bahan kurang lebih ditunjukkan oleh persamaan

$$\lambda = \lambda_0(1 + \alpha T) \dots\dots\dots (2.3)$$

Koefisien temperatur  $\alpha$  menunjukkan sebuah nilai positif (contoh: kebanyakan bahan-bahan isolasi, dll.) atau sebuah nilai negatif (contoh: logam, dll.) sesuai dengan bahannya. Di bawah sebuah kondisi stasioner,  $\frac{dT}{dL}$  tidak tergantung

terhadap waktu dan  $\frac{dQ}{d\theta}$  juga tetap tenang (ajeg) terhadap waktu. Dengan kata

lain, kuantitas tersebut dapat dinyatakan sebagai  $\frac{dQ}{d\theta} = \frac{Q}{\theta} = q$ , juga dalam

kuantitas termal yang lewat selama satuan waktu.

Maka dari itu, di bawah keadaan stasioner, persamaan (2.2) akan menjadi

$$q = -\lambda A \frac{dT}{dL} \dots\dots\dots (2.4)$$

Jika disubstitusikan dengan persamaan (2.3), akan menjadi:

$$q \times \frac{dL}{A} = -\lambda dT = -\lambda_0(1 + \alpha T)dT \dots\dots\dots (2.5)$$

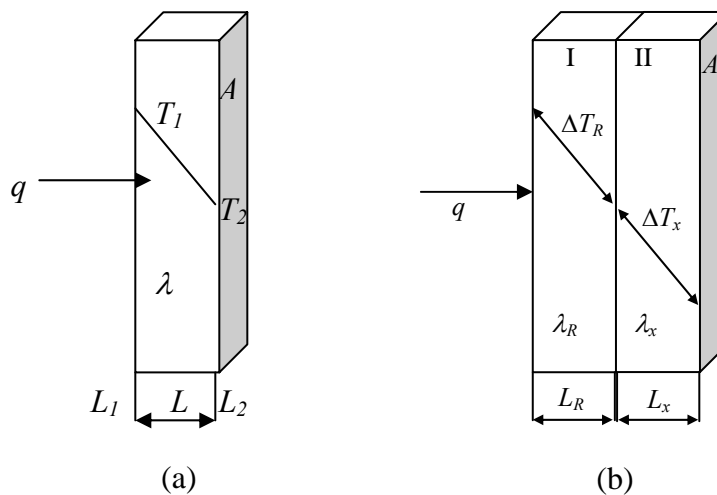
Jika persamaan (2.5) diintegalkan di dalam jangkauan temperatur  $T_1$  sampai  $T_2$ , akan menjadi:



$$q \int \frac{dL}{A} = (T_1 - T_2) \lambda_o \left[ 1 + \alpha \frac{T_1 + T_2}{2} \right] \dots\dots\dots (2.6)$$

Meskipun demikian,  $\lambda_o \left[ 1 + \alpha \frac{T_1 + T_2}{2} \right]$  mewakili sebuah nilai rata-rata dari  $\lambda$  diantara  $T_1$  dan  $T_2$ . Jika nilai rata-rata tersebut diambil sebagai  $\lambda_{av}$  dan  $(T_1 - T_2)$  dinyatakan sebagai  $(\Delta T)$  karena merupakan sebuah perbedaan temperatur, persamaan di atas menjadi sebagai berikut:

$$q \int \frac{dL}{A} = \lambda_{av} (\Delta T) \dots\dots\dots (2.7)$$



**Gambar 2.2** (a) Konduksi termal pada dinding bidang , (b) Konduksi termal pada dua bidang bahan berjenis I dan II berluas penampang ( $A$ ) sama dan disusun secara seri.

Dalam konduksi termal didalam sebuah zat padat yang memiliki sebuah luasan transmisi termal tetap seperti pada Gambar 2.2 (a),  $A$  tidak tergantung dengan  $L$  dan sebuah pengintegralan berdasarkan persamaan di atas akan seperti berikut ini, berkenaan dengan posisi dari 1 terhadap 2.

$$q = \frac{A \lambda_{av} (\Delta T)}{L_2 - L_1} = \frac{A \lambda_{av} (\Delta T)}{L} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana  $L$  mewakili sebuah ketebalan dimana konduksi termal terjadi. Menggunakan persamaan yang disebutkan di atas, dimungkinkan untuk melakukan pengukuran sebuah konduksi termal sederhana.

Untuk aliran termal yang tetap secara terus-menerus melalui masing-masing dua tampang lintang konstan dalam susunan seri seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 (b) diberikan oleh,

$$q_R = \frac{\lambda_R \cdot A \cdot \Delta T_R}{L_R} \text{ (simbol } R \text{ menunjukkan bahan I) dan}$$

$$q_x = \frac{\lambda_x \cdot A \cdot \Delta T_x}{L_x} \text{ (simbol } x \text{ menunjukkan bahan II)}$$

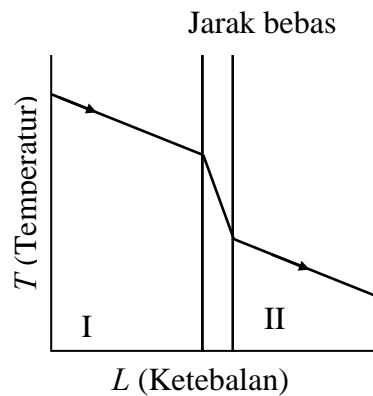
Untuk sistem yang terisolasi  $q_R = q_x = q$ , sehingga

$$q = \frac{\lambda_R \cdot A \cdot \Delta T_R}{L_R} = \frac{\lambda_x \cdot A \cdot \Delta T_x}{L_x} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dalam persamaan di atas,  $A$  adalah sama pada kedua sisi dan jika  $\lambda_R$ ,  $\Delta T_R$ ,  $\Delta T_x$ ,  $L_R$ , dan  $L_x$  diketahui,  $\lambda_x$  akan menjadi:

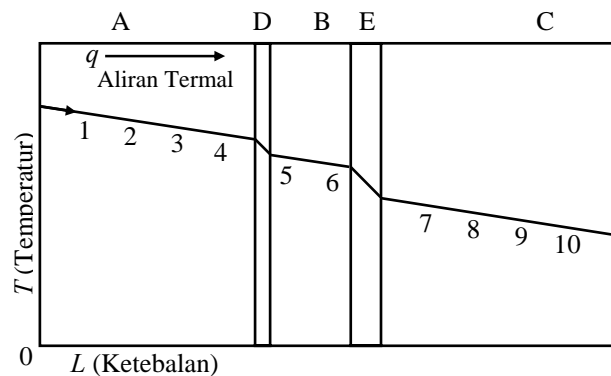
$$\lambda_x = \frac{\Delta T_R}{\Delta T_x} \cdot \frac{L_x}{L_R} \cdot \lambda_R \dots\dots\dots (2.10)$$

Akan tetapi, normalnya suatu permukaan kontak memperlihatkan penurunan temperatur tanpa pengecualian sesuai dengan pengujian-pengujian. Hal ini disebabkan oleh resistansi kontak dimana ada suatu lapisan yang tidak melekat dengan ketat seperti diperlihatkan dalam Gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Penurunan temperatur pada permukaan kontak

Untuk suatu bahan yang diantaranya diselipkan bahan lain yang berbeda jenis tetapi mempunyai luas penampang yang sama, dengan menganggap bahwa kedua lapisan pada masing-masing permukaan kontak adalah sama. Jika digunakan dua potongan bahan jenis II dengan ketebalan berbeda yang disusun seri seperti pada Gambar 2.4, maka resistansi kontak akan dapat dihilangkan.



**Gambar 2.4** Kurva temperatur pada susunan seri dua bahan berbeda jenis; bahan jenis I: A, B, dan C; bahan jenis II: D dan E

Jika  $R_c$  dianggap resistansi kontak serta  $R_a$  dan  $R_b$  nilai resistansi dari potongan kedua bahan jenis II dengan ketebalan  $L_a$  (bahan D) dan  $L_b$  (bahan E), maka resistansi total  $R_a' = 2R_c + R_a$ , dan  $R_b' = 2R_c + R_b$

$$\therefore R_{b'} - R_{a'} = R_b - R_a \left( \frac{L_b}{L_a} \right) \dots\dots\dots (2.11)$$

$R_b - R_a$  menunjukkan resistansi dari potongan bahan jenis II yang memiliki ketebalan  $(L_b - L_a)$ . Akan tetapi, karena resistansi adalah kebalikan dari konduksi, persamaan di atas akan menjadi:

$$R_b - R_a = \frac{1}{\lambda} \left( \frac{L_b - L_a}{A} \right) \dots\dots\dots (2.12)$$

Juga, persamaan berikut dapat ditetapkan:

$$R_{a'} = \frac{1}{\lambda_{a'}} \frac{L_a}{A}, \quad R_{b'} = \frac{1}{\lambda_{b'}} \frac{L_b}{A} \dots\dots\dots (2.13)$$

dimana  $\lambda_{a'}$  dan  $\lambda_{b'}$  mewakili konduktivitas termal dengan melibatkan derajat konduksi dari potongan bahan jenis II (dengan ketebalan  $L_a$  dan  $L_b$ ) dan jarak bebas diantara bahan jenis I dan II. Dari persamaan (2.10) bisa didapatkan  $\lambda_{a'}$  dan  $\lambda_{b'}$  sebagai berikut

$$\lambda_{a'} = \frac{\Delta T_R}{\Delta T_a} \cdot \frac{L_a}{L_R} \cdot \lambda_R, \quad \lambda_{b'} = \frac{\Delta T_R}{\Delta T_b} \cdot \frac{L_b}{L_R} \cdot \lambda_R \dots\dots\dots (2.14)$$

Dan dari persamaan (2.11), (2.12) dan (2.13),

$$\frac{1}{A} \left( \frac{L_b}{\lambda_{b'}} - \frac{L_a}{\lambda_{a'}} \right) = \frac{L_b - L_a}{\lambda A} \dots\dots\dots (2.15)$$

Karenanya, konduktivitas termal sesungguhnya dari potongan bahan jenis II bisa didapatkan seperti berikut ini:

$$\lambda = \frac{L_b - L_a}{\frac{L_b}{\lambda_{b'}} - \frac{L_a}{\lambda_{a'}}} \dots\dots\dots (2.16)$$

Nilai konduktivitas termal suatu bahan perlu diketahui untuk penerapan bahan dalam peralatan atau kondisi yang melibatkan perpindahan termal,

sehingga dapat diketahui seberapa banyak panas yang hilang, dan pemilihan bahan yang dibutuhkan sebagai isolator atau konduktor (Ogawa Seiki,1987).

## **II. 4. Timah dan Aluminium**

### **II. 4. 1. Timah**

Timah, dalam bahasa Anglo-Saxon disebut *tin* dan dalam bahasa Latin disebut *stannum*, adalah salah satu dari banyak logam yang telah dikenal dan digunakan sejak zaman purba. Dipadukan dengan tembaga, timah membentuk paduan logam yang dikenal sebagai kuningan. Dan ini diketahui sudah sejak 3500 SM (Wikipedia V, 2006). Logam bersimbol Sn ini, kedudukannya dalam tabel periodik unsur menempati golongan IVA, periode 3 dan berada pada blok p. Timah mempunyai nomer atom 50, massa atom  $118,710 \text{ gr.mol}^{-1}$  (Brady, 1999), densitas (dekat temperatur kamar)  $7,265 \text{ gr.cm}^{-3}$ , struktur kristal tetragonal, elektronegativitas 1,96 (skala Pauling), jari-jari atom 145 pm, resistivitas listrik  $115 \text{ n}\Omega.\text{m}$  (pada temperatur  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ ), konduktivitas termal (pada temperatur  $27^\circ\text{C}$ ) sebesar  $57,47 \text{ kcal/mhr}^\circ\text{C}$  (Wikipedia V, 2006). Timah melebur pada temperatur  $231,93 \text{ }^\circ\text{C}$  dan akan mendidih pada temperatur  $2602 \text{ }^\circ\text{C}$  (Kittle, 1996).

Logam yang tergolong logam lemah ini tidak mudah teroksidasi di udara dan tahan terhadap korosi. Sehingga, timah dapat digunakan untuk melindungi logam-logam lain untuk mencegah terjadinya korosi. Logam yang mudah ditempa ini terutama dihasilkan dari mineral kasiterit yang merupakan oksida timah (Wikipedia V, 2006).

## II. 4. 2. Aluminium

Dalam tabel periodik unsur, aluminium menempati pada golongan IIIA, periode 3 dan berada pada blok p. Unsur kimia dengan simbol Al ini mempunyai nomer atom 13, massa atom  $26,98 \text{ gr.mol}^{-1}$  (Brady, 1999), densitas (dekat temperatur kamar)  $2,70 \text{ gr.cm}^{-3}$ , struktur kristal kubus pusat muka, elektronegativitas 1,61 (skala Pauling), jari-jari atom 125 pm, resistivitas listrik  $26,50 \text{ n}\Omega.\text{m}$  (pada temperatur  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ ), konduktivitas termal (pada temperatur  $27^\circ\text{C}$ ) sebesar  $203,91 \text{ kcal/mhr}^\circ\text{C}$  (Wikipedia VI, 2006). Konfigurasi elektron logam yang lunak dan berwarna keperakan serta termasuk golongan logam lemah (*poor metal*) ini dituliskan  $[\text{Ne}] 3s^2 3p^1$ . Titik lebur logam aluminium sekitar  $660,32 \text{ }^\circ\text{C}$  dan akan mendidih pada temperatur  $2519 \text{ }^\circ\text{C}$  (Kittel, 1996). Aluminium terutama ditemukan dalam bijih bauksit dan mempunyai sifat yang baik sekali untuk ketahanannya terhadap oksidasi, kekuatannya dan bobotnya yang ringan. Logam yang digunakan di banyak industri ini memiliki konduktivitas listrik  $37,7 \times 10^6 \text{ } \Omega^{-1}.\text{m}^{-1}$ . Paduan logam aluminium merupakan bahan komponen-komponen vital bagi industri kedirgantaraan karena kekuatan yang tinggi dengan rasio bobotnya. Kegunaan aluminium selain di bidang transportasi juga dapat digunakan dalam pengemasan, pengolahan air, konstruksi bangunan, kawat transmisi listrik, mesin-mesin, baja MKM dan magnet *Alnico*, elektronika dan *CD*, pengilap dalam cat dan juga untuk komponen pendingin *CPU*.

Aluminium mempunyai kepadatan sepertiga dari baja atau tembaga, mudah ditempa, lentur, mudah dicetak dan dituang, dan memiliki ketahanan dan daya tahan terhadap korosi yang sangat bagus. Aluminium juga merupakan logam

non magnetik. Dalam kemudahan penempatannya menempati urutan kedua setelah emas dan kelenturannya menduduki yang ke-enam (Wikipedia VI, 2006).

Ketika aluminium dievaporasi dalam ruang hampa, akan membentuk sebuah lapisan yang memantulkan cahaya tampak dan infra merah. Lapisan ini membentuk lapisan tipis oksida aluminium (alumina) pelindung, yang tidak memburuk seperti pada lapisan perak. Alumina ini merupakan hasil reaksi antara aluminium dengan udara yang mana titik leburnya sekitar 2050 °C (Wikipedia VII, 2006).

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **III. 1. Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian tentang studi karakteristik konduktivitas termal paduan logam  $x\text{Sn-yAl}$  ini dimulai dari tanggal 1 September 2005 dan berakhir pada tanggal 31 Januari 2006 di Sub Laboratorium Fisika Laboratorium Pusat MIPA Universitas Sebelas Maret Surakarta dan di Bengkel Las Palur.

#### **III. 2. Alat dan Bahan**

##### **III. 2. 1. Alat-alat yang Digunakan**

Beberapa peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- 1) Neraca Ohaus
- 2) Krusibel
- 3) Gergaji
- 4) Tang pemotong
- 5) Pinset
- 6) Krustang
- 7) Sarung tangan
- 8) Kacamata pelindung
- 9) Peralatan las karbit
- 10) Cetakan sampel/Cetakan silinder dari logam
- 11) Mesin gerinda



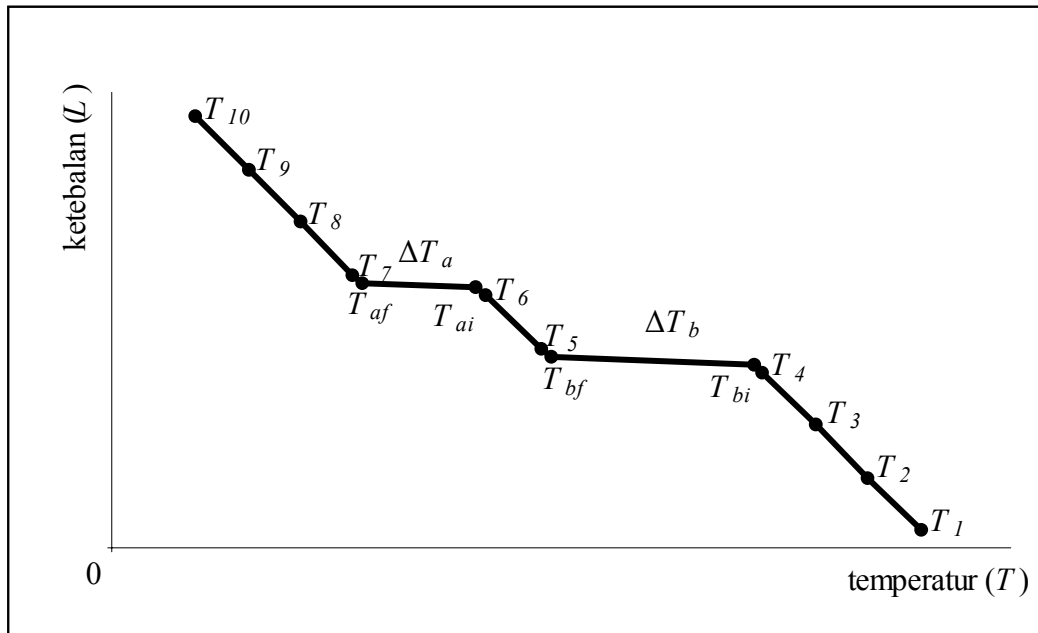
- 12) Gerinda tangan
- 13) Amplas
- 14) Plastik klip
- 15) Jangka sorong skala nonius 0,05 mm
- 16) *Thermal Conductivity Measuring Apparatus* seri HVS-40-200S merek *Ogawa Seiki* (silinder standar Cu;  $\lambda_R=320\text{kcal/mhr}^\circ\text{C}$ ).
- 17) Sumber air
- 18) Sumber arus listrik
- 19) Termometer

### **III. 2. 2. Bahan-bahan yang Digunakan**

- 1) Timah
- 2) Aluminium
- 3) *Silicon grease*
- 4) Tisu

### **III. 3. Metode Penelitian**

Metode yang digunakan dalam penelitian ini didasarkan pada sifat termal yang dimiliki oleh logam sebagai penghantar. Dengan memberikan perbedaan temperatur secara kontinu pada kedua ujung susunan silinder sampel dan silinder standar yang disusun seri seperti pada Gambar 3.8. Kemudian pada sepuluh titik sepanjang susunan silinder ( $T_1 - T_{10}$ ) dilakukan pengukuran perubahan temperatur, maka gradien temperatur ( $\Delta T_a$  dan  $\Delta T_b$  untuk bahan dengan tebal  $L_a$  dan  $L_b$ ) bisa diperoleh dari plot  $T_1 - T_{10}$  (Gambar 3.1).



**Gambar 3.1** Plot perubahan temperatur dengan ketebalan

Atau dengan metode kuadrat terkecil sebagai berikut:

$$m = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \dots \dots \dots (3.1)$$

$$b = \frac{\sum x^2 \sum y - \sum x \sum xy}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \dots \dots \dots (3.2)$$

Dengan asumsi persamaan garis lurus,

$$y = mx + b \dots \dots \dots (3.3)$$

pada titik-titik  $T_1$  sampai  $T_4$ ,  $T_5$  sampai  $T_6$ , dan  $T_7$  sampai  $T_{10}$ . Sehingga bisa didapat titik-titik  $T_{bi}$ ,  $T_{bf}$ ,  $T_{ai}$ , dan  $T_{af}$  dengan ekstrapolasi. Kemudian perbedaan suhu pada masing-masing kedua permukaan sampel bisa dihitung sebesar

$$\Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| \dots \dots \dots (3.4)$$

dan

$$\Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| \dots \dots \dots (3.5)$$

Dengan nilai gradien temperatur pada bahan silinder standar  $\Delta T_R$ , yang didapatkan melalui persamaan

$$\Delta T_R = \frac{(\Delta T_{1,2} + \Delta T_{2,3} + \Delta T_{3,4} + \Delta T_{7,8} + \Delta T_{8,9} + \Delta T_{9,10})}{6} \dots\dots\dots (3.6)$$

maka nilai  $\lambda_a'$ ,  $\lambda_b'$ , dan  $\lambda$  bisa didapatkan menggunakan persamaan (2.14) dan (2.16) yang telah disebutkan diatas (Ogawa Seiki, 1987).

Besaran-besaran  $T$ ,  $L$ , dan  $d$  yang diperoleh dari pengukuran langsung dilaporkan dalam bentuk berikut

$$x = x \pm \Delta x \dots\dots\dots (3.7)$$

dengan  $x$  = hasil pengukuran tunggal dan  $\Delta x = \frac{1}{2}$  hitungan terkecil alat yang dipakai (B. Darmawan Djonoputro, 1983).

Penyederhanaan persamaan untuk konduktivitas termal didapatkan melalui substitusi persamaan (2.15) dengan (2.14), yaitu:

$$\lambda = (L_b - L_a) \cdot \Delta T_R \cdot \lambda_R \cdot (\Delta T_b - \Delta T_a)^{-1} \cdot (L_R)^{-1}$$

Berdasarkan pada teori ketidakpastian yang ditulis oleh B. Darmawan Djonoputro untuk fungsi lebih dari satu perubah, maka ketidakpastian untuk konduktivitas termal sesungguhnya dari bahan sampel bisa didapat dari perhitungan

$$\Delta \lambda = \left| 1 \cdot \lambda \frac{\Delta(L_b - L_a)}{(L_b - L_a)} \right| + \left| 1 \cdot \lambda \frac{\Delta(\Delta T_R)}{(\Delta T_R)} \right| + \left| 1 \cdot \lambda \frac{\Delta \lambda_R}{\lambda_R} \right| + \left| -1 \cdot \lambda \frac{\Delta(\Delta T_b - \Delta T_a)}{(\Delta T_b - \Delta T_a)} \right| + \left| -1 \cdot \lambda \frac{\Delta(L_R)}{(L_R)} \right| \dots\dots\dots (3.8)$$

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \left| 1 \cdot \frac{\Delta(L_b - L_a)}{(L_b - L_a)} \right| + \left| 1 \cdot \frac{\Delta(\Delta T_R)}{(\Delta T_R)} \right| + \left| 1 \cdot \frac{\Delta \lambda_R}{\lambda_R} \right| + \left| -1 \cdot \frac{\Delta(\Delta T_b - \Delta T_a)}{(\Delta T_b - \Delta T_a)} \right| + \left| -1 \cdot \frac{\Delta(L_R)}{(L_R)} \right| \dots\dots\dots (3.9)$$

Konduktivitas termal dilaporkan dalam bentuk yang identik dengan besaran-besaran fisis seperti yang telah disebutkan di atas.

Sifat lebur yang dimiliki oleh suatu zat ketika dipanaskan dimanfaatkan dalam proses produksi sampel. Dengan memanfaatkan sifat tersebut, kedua bahan diharapkan dapat lebur dan bercampur menjadi paduan ketika dipanaskan di atas temperatur leburnya. Adapun penentuan besarnya massa bahan yang dilebur untuk memproduksi tiap-tiap komposisi sampel didasarkan pada volume total sampel yang diperlukan, yang diturunkan dari rumusan berikut :

$$V_{SA} = V_{Sn} + V_{Al} \dots\dots\dots (3.10)$$

dimana  $V_{SA}$  adalah volume total bahan sampel,  $V_{Sn}$  adalah volume timah dan  $V_{Al}$  adalah volume aluminium. Kemudian, dari persamaan (3.10) dijabarkan dengan

$$V = mol \times volume \ molar, \ mol = \frac{m}{massa \ atom}, \text{ dengan } m \text{ adalah massa zat.}$$

Sehingga didapatkan :

$$V_{SA} = (mol \ Sn \times volume \ molar \ Sn) + (mol \ Al \times volume \ molar \ Al) \dots\dots\dots (3.11)$$

Untuk komposisi  $xSn-yAl$ , di mana  $x$  dan  $y$  adalah persentase jumlah mol timah dan aluminium, diperoleh hubungan antara jumlah mol Sn dengan jumlah mol Al sebagai berikut :

$$\frac{mol \ Sn}{mol \ Al} = \frac{x}{y} \rightarrow mol \ Al = \frac{y}{x} \cdot mol \ Sn \dots\dots\dots (3.12)$$

Dengan memasukkan persamaan (3.12) kedalam persamaan (3.11) dihasilkan

$$V_{SA} = (\text{mol Sn} \times \text{volume molar Sn}) + \left( \frac{y}{x} \cdot \text{mol Sn} \times \text{volume molar Al} \right)$$

$$V_{SA} = \text{mol Sn} \left( \text{volume molar Sn} + \left[ \frac{y}{x} \cdot \text{volume molar Al} \right] \right)$$

$$V_{SA} = \frac{m_{Sn}}{\text{massa atom Sn}} \left( \text{volume molar Sn} + \left[ \frac{y}{x} \cdot \text{volume molar Al} \right] \right)$$

sehingga

$$m_{Sn} = V_{SA} \frac{\text{massa atom Sn}}{\text{volume molar Sn} + \frac{y}{x} \cdot \text{volume molar Al}} \dots\dots\dots (3.13)$$

Persamaan (3.13) di atas digunakan untuk mendapatkan massa timah yang diperlukan untuk membuat sampel dengan volume total sampel  $V_{SA}$ . Sedangkan untuk massa aluminium diperoleh dari volume total bahan sampel dikurangi dengan volume timah.

$$V_{Al} = V_{SA} - V_{Sn}$$

maka massa aluminium yang diperlukan adalah

$$m_{Al} = V_{SA} \frac{\text{massa atom Al}}{\text{volume molar Al} + \frac{x}{y} \cdot \text{volume molar Sn}} \dots\dots\dots (3.14)$$

Untuk mendapatkan massa timbang bahan persis tepat sesuai perhitungan di atas sangatlah sulit, tetapi masih bisa didapat massa timbang bahan yang mendekatinya. Sehingga perlu dilakukan perhitungan persentase jumlah mol berdasarkan hasil penimbangan bahan sampel, dengan menggunakan rumusan

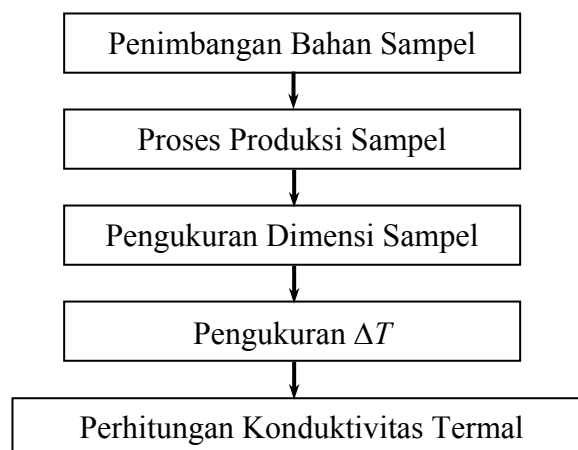
$$x = \frac{\text{mol Sn}}{\text{mol Sn} + \text{mol Al}} \dots\dots\dots (3.15)$$

dan

$$y = \frac{\text{mol Al}}{\text{mol Sn} + \text{mol Al}} \dots\dots\dots (3.16)$$

### III. 4. Prosedur Penelitian

Prosedur kerja dalam penelitian ini secara garis besar dibagi dalam lima tahapan. Kelima tahapan tersebut yaitu penimbangan bahan sampel, proses produksi sampel, tahap pengukuran dimensi sampel, tahap pengukuran gradien temperatur, kemudian yang terakhir adalah perhitungan konduktivitas termal sampel. Diagram alirnya seperti yang terlihat pada Gambar 3.2.



**Gambar 3.2** Diagram alir prosedur penelitian secara garis besar

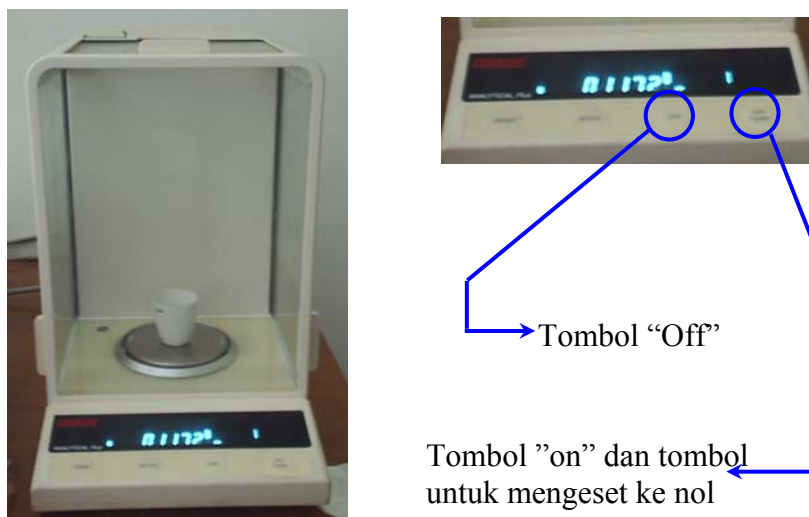
Penjabaran mengenai masing-masing tahap penelitian dibahas pada sub bab III.4.1 sampai dengan sub bab III.4.5 sebagai berikut.

#### III. 4. 1. Penimbangan Bahan Sampel

Sebelum melakukan penimbangan, bahan sampel aluminium dan timah dipotong kecil-kecil. Diharapkan dengan perlakuan tersebut, nilai massa timbang

tidak berbeda jauh dengan nilai massa yang diinginkan. Penimbangan dilakukan dengan Neraca Ohaus dengan langkah-langkah penggunaannya sebagai berikut :

- 1) Neraca Ohaus dinyalakan (tombol “on” ditekan).
- 2) Krusibel kosong yang sudah bersih dimasukkan.
- 3) Neraca Ohaus diset hingga penunjuk nilai timbang menjadi 0,0000.
- 4) Massa bahan dimasukkan sedikit demi sedikit ke dalam krusibel hingga neraca menunjukkan nilai sesuai dengan yang diinginkan atau setidaknya mendekati.
- 5) Bahan sampel yang sudah ditimbang, dimasukkan dalam plastik klip dan diberi label harga timbang beserta kategori komposisinya.



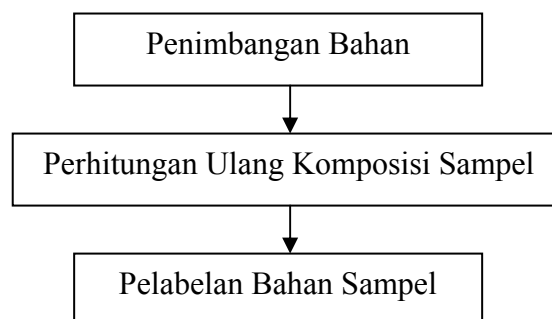
**Gambar 3.3** Neraca Ohaus

Dalam penelitian ini volume total bahan ditentukan sebesar  $24 \text{ cm}^3$ . Dengan nilai massa atom Sn =  $118,71 \text{ gr.mol}^{-1}$  dan nilai massa atom Al =  $26,98 \text{ gr.mol}^{-1}$  serta volume molar Sn =  $16,3 \text{ cm}^3.\text{mol}^{-1}$  dan volume molar Al =  $10 \text{ cm}^3.\text{mol}^{-1}$ , maka massa timah dan massa aluminium untuk masing-masing komposisi yang diperoleh menggunakan persamaan (3.13) dan (3.14) diberikan pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Massa  $x$ Sn- $y$ Al untuk masing-masing komposisi

No.	Persentase mol Sn ( $x$ )	Persentase mol Al ( $y$ )	Massa Sn (gr)	Massa Al (gr)
1	100	0	174,8	0
2	90	10	163,6	4,1
3	80	20	151,5	8,6
4	70	30	138,4	13,5
5	60	40	124,1	18,8
6	50	50	108,3	24,6
7	40	60	91,0	31,0
8	30	70	71,9	38,1
9	20	80	50,6	46,0
10	10	90	26,8	54,8
11	0	100	0	64,8

Setelah harga massa timbang diperoleh, dilakukan perhitungan ulang untuk mendapatkan komposisi persentase jumlah mol yang baru dengan menggunakan persamaan (3.15) dan (3.16). Diagram alir tahap penimbangan sampel ditunjukkan oleh Gambar 3.4.

**Gambar 3.4** Diagram alir tahap penimbangan sampel

### III. 4. 2. Proses Produksi Sampel

Peleburan bahan sampel dilakukan dengan pemanasan menggunakan peralatan las karbit (las asetilen). Temperatur peleburan maksimum yang dapat digunakan sebesar 2000 °C, yang jauh lebih tinggi dari temperatur lebur Sn (238,91 °C) dan Al (606,30 °C). Wadah yang digunakan untuk peleburan bahan



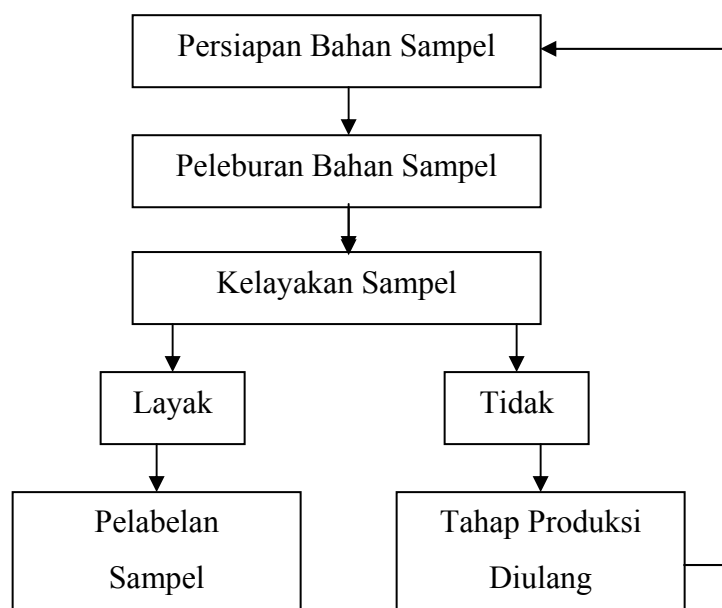
sampel adalah wadah dari besi yang sekaligus berfungsi sebagai cetakan bahan sampel. Wadah cetakan besi tersebut terdiri dari 2 bagian yang dapat dipisahkan untuk memudahkan mengeluarkan sampel dari dalam cetakan. Gambar 3.5 menunjukkan gambar wadah cetakan besi beserta peralatan las karbit.



**Gambar 3.5** Wadah cetakan besi dan las karbit/asetilen.

Proses peleburan dilakukan dengan cara bahan sampel dalam wadah dipanaskan dari atas menggunakan las sampai keseluruhan bahan sampel lebur menjadi cair. Setelah bahan sampel lebur, pemanasan tetap dilakukan sambil wadah digoyang-goyangkan atau diaduk supaya leburan bahan sampel bercampur dengan baik. Setelah leburan terlihat bercampur dengan cukup baik, pengadukan atau penggoyangan dihentikan dengan tetap dilakukan pemanasan sampai campuran leburan bahan sampel telah merata. Setelah itu pemanasan dengan las dihentikan dan bahan sampel dibiarkan membeku dan mengeras, sebelum dikeluarkan dari dalam wadah cetakan besi.

Kehati-hatian dalam melakukan proses produksi ini sangat ditekankan, mengingat temperatur yang digunakan cukup tinggi. Prosedur tersebut diulang hingga tercapai jumlah sampel yang telah ditentukan. Setiap sampel dimasukkan dalam plastik klip dan diberi label sesuai dengan komposisinya. Diagram alir untuk tahap ini secara lengkapnya dapat dilihat pada Gambar 3.6

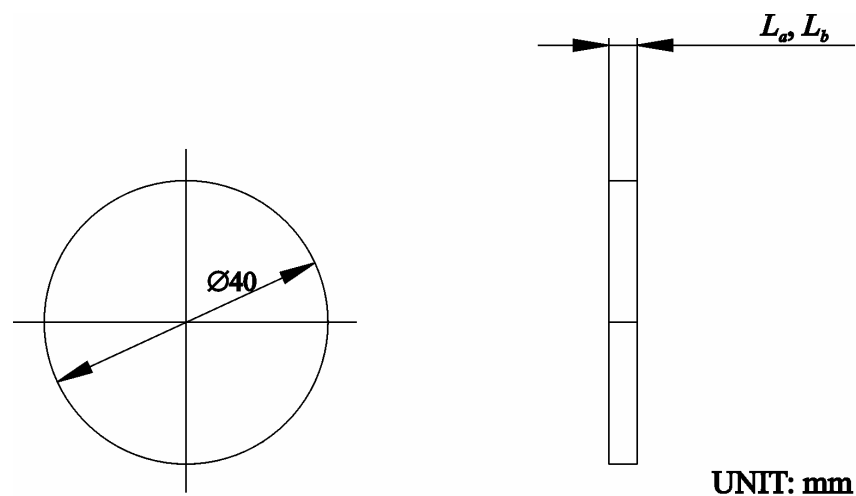


**Gambar 3.6** Diagram alir proses produksi

Dalam diagram alir di atas terdapat sub tahap kelayakan sampel. Hal tersebut dikarenakan dalam proses produksi paduan logam  $x\text{Sn-yAl}$  ini tentu saja tidak bisa lepas dari ketidaksempurnaan. Sehingga dipikirkan juga kemungkinan terjadinya kegagalan produksi yang didasarkan pada bisa atau tidaknya sampel untuk masuk pada tahap berikutnya. Pemikiran yang lain terkait dengan kemungkinan kegagalan produksi adalah belum adanya referensi tertulis mengenai produksi paduan logam aluminium dengan timah.

### III. 4. 3. Tahap Pengukuran Dimensi Sampel

Sebelum melakukan pengukuran, terlebih dahulu permukaan sampel diratakan menggunakan gerinda mesin dan kikir kemudian dihaluskan dengan amplas. Bentuk sampel disesuaikan agar dapat digunakan dalam pengukuran. Adapun bentuk sampel yang digunakan seperti dalam Gambar 3.7.



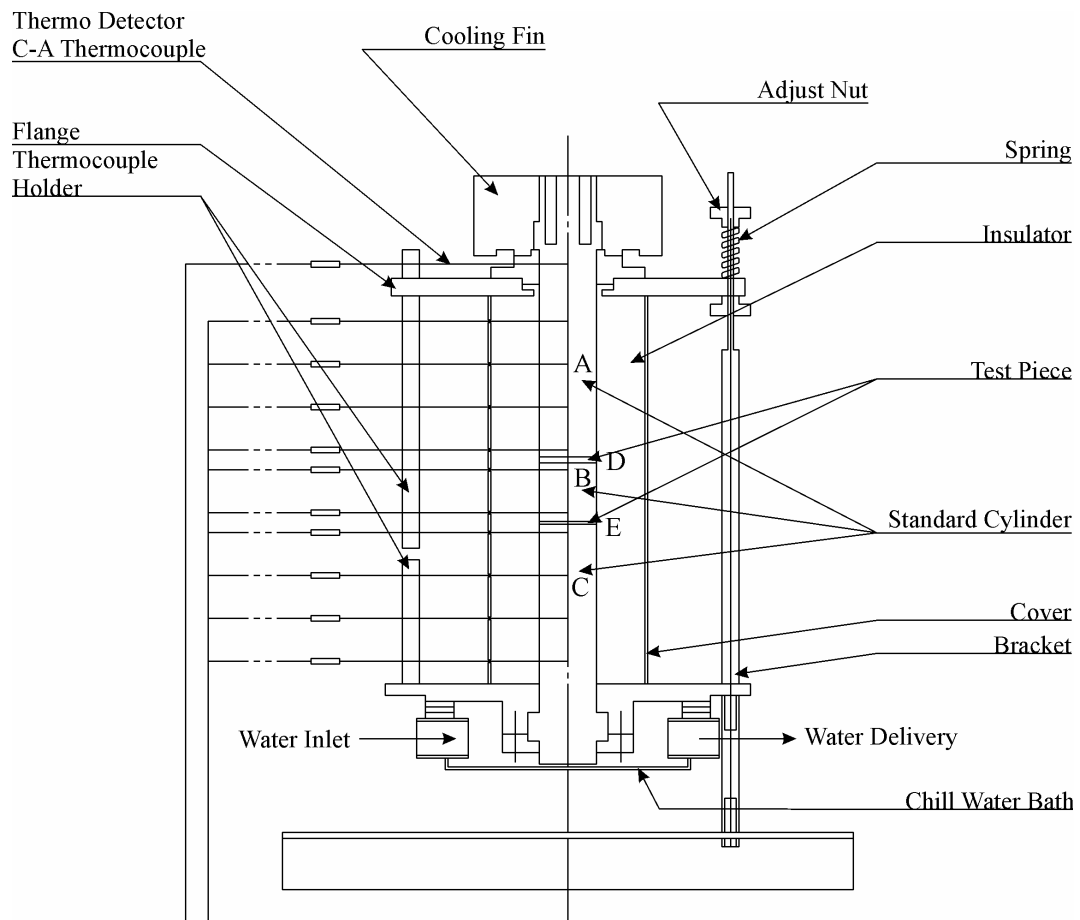
#### DIMENSIONS

**Gambar 3.7** Bentuk sampel yang digunakan dalam penelitian (Ogawa Seiki, 1987)

Kemudian masing-masing sampel diukur ketebalan dan diameternya dengan menggunakan jangka sorong berskala nonius 0,05 mm.

### III. 4. 4. Pengukuran Gradien Temperatur ( $\Delta T$ )

Proses pengukuran gradien temperatur dilakukan dengan menggunakan *Thermal Conductivity Measuring Apparatus* seri HVS-40-200S merek *Ogawa Seiki*. Yang memanfaatkan sifat penghantaran panas pada rangkaian bahan yang disusun secara seri dengan silinder standar Cu, skema alat bagian pengukuran terlihat pada Gambar 3.8.



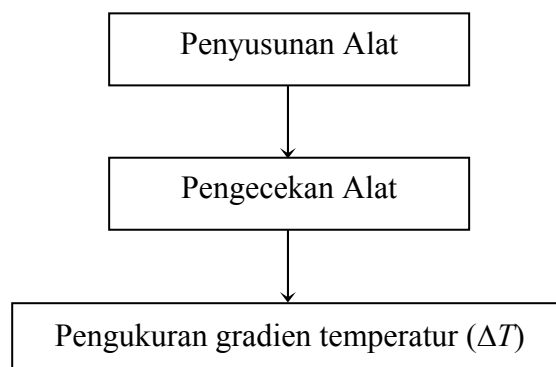
**Gambar 3.8** Alat bagian pengukuran

Bagian atas rangkaian bahan dipasang pemanas listrik dan bagian bawah diberikan aliran air sebagai pendingin, keduanya untuk memberikan aliran termal yang konstan. Sepanjang susunan silinder tersebut terdapat sepuluh buah *termocouple* untuk mengukur perbedaan temperatur sepanjang silinder. Keseluruhan rangkaian silinder juga diselubungi dengan insulator untuk mencegah terjadinya hantaran termal secara konveksi dan radiasi.

Setelah alat diset sesuai dengan Gambar 3.8, dilakukan pengecekan alat untuk mengetahui apakah alat sudah siap untuk digunakan. Berikut adalah urutan langkah pengecekan alat :

- 1) Pengujian aliran air pendingin dilakukan dengan memberikan aliran air dari sumber air sampai air keluar melalui water outlet dengan laju konstan. Laju aliran air diukur pada *flow rate meter*.
- 2) Power pemanas listrik dinyalakan kemudian temperatur pemanas diset pada temperatur preset ( $T_0$ ).
- 3) Setelah kondisi 1) dan 2) di atas ditentukan, temperatur pada masing-masing *termocouple* ( $T_1 - T_{12}$ ) diamati hingga mencapai nilai yang stasioner dan pengukuran dapat dimulai.

Apabila telah dilakukan pengecekan alat, kemudian langkah dilanjutkan dengan mengukur gradien temperatur untuk masing-masing sampel. Untuk pengukuran gradien temperatur ini dilakukan sebanyak 2 kali, masing-masing waktu 15 menit. Dengan 3 temperatur preset sebesar 100 °C, 150 °C, dan 200 °C (total 6 pengukuran per sampel). Diagram alir untuk tahap ini ditunjukkan oleh Gambar 3.9.



**Gambar 3.9** Diagram alir tahap pengukuran gradien temperatur

### **III. 4. 5. Perhitungan Konduktivitas Termal**

Perhitungan konduktivitas termal masing-masing sampel dilakukan seperti yang telah diulas dalam metode penelitian. Hasil perhitungan konduktivitas termal masing-masing sampel disajikan dalam tabel dan juga grafik.

Sampel 100%Sn-0%Al dan 0%Sn-100%Al tidak diikuti dalam kelompok sampel yang akan ditentukan konduktivitas termal terbaiknya karena bukan merupakan paduan logam.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### IV. 1. Hasil Penimbangan Bahan Sampel

Telah dilakukan penimbangan bahan sampel yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.1, beserta komposisi persentase jumlah mol berdasarkan massa timbang yang dihitung menggunakan persamaan (3.15) dan (3.16).

**Tabel 4.1.** Massa bahan sampel untuk masing-masing komposisi

No.	Persentase mol Sn (x)	Persentase mol Al (y)	Massa Sn (gr)	Massa Al (gr)
1	89,02	10,98	170,6	4,8
2	79,58	20,42	156,5	9,1
3	69,97	30,03	142,2	13,9
4	59,86	40,14	131,6	20,1
5	50,03	49,97	114,9	26,1
6	39,78	60,22	93,2	32,1
7	30,16	69,84	73,9	38,9
8	20,24	79,76	52,6	47,1
9	10,63	89,37	28,9	55,3

Berdasarkan data dalam tabel di atas, dilakukan perhitungan untuk komposisi paduan yang baru. Hasil perhitungan komposisi paduan tersebut adalah 89,02%Sn - 10,98%Al; 79,58%Sn - 20,42%Al; 69,98%Sn - 30,02%Al; 59,86%Sn - 40,14%Al; 50,03%Sn - 49,97%Al; 39,78%Sn - 60,22%Al; 30,16%Sn - 69,84%Al; 20,24%Sn - 79,76%Al; 10,63%Sn - 89,37%Al;

Untuk komposisi 100%Sn dan 100%Al bisa didapatkan dengan mudah, sebab kedua buah bahan sampelnya adalah logam murni, sehingga berapapun nilai massanya pasti akan menghasilkan komposisi 100%.

Data di dalam tabel di atas adalah massa komposisi akhir yang digunakan untuk sampel hingga tahapan terakhir. Hal tersebut disebabkan karena dilakukan pengulangan penimbangan bahan sampel untuk beberapa komposisi terkait dengan ketidakberhasilan proses produksi yang akan dijelaskan lebih lanjut.

#### **IV. 2. Proses Produksi**

Telah dilakukan produksi paduan  $x$ -Sn  $y$ -Al dengan memanaskan logam menggunakan las karbit pada temperatur lebih dari 900 °C (maksimal 2000 °C) dimana temperatur ini berada di atas temperatur lebur kedua bahan. Proses peleburan dengan las dilakukan secara manual dengan mengusahakan pemanasan yang tetap hingga diperoleh pencampuran yang baik.

Ketidakberhasilan dalam proses produksi paduan dialami hingga empat kali. Dengan parameter ketidakberhasilan pada kelayakan sampel untuk dapat digunakan dalam tahapan selanjutnya. Proses produksi sampel sebelumnya menggunakan pemanasan pada temperatur 900°C di dalam *Furnace Nabertherm* selama 60 menit. Dengan wadah yang digunakan adalah krusibel dan cetakan keramik serta wadah cetakan dari batu bata.

Pada produksi yang pertama ini krusibel menjadi retak setelah proses di dalam *Furnace Nabertherm* dan akhirnya pecah saat pendinginan. Disampaikan bahwa proses produksi yang pertama ini krusibel kosong dimasukkan terlebih dahulu. Kemudian temperatur *Furnace Nabertherm* dinaikkan. Ketika temperatur yang diinginkan telah dicapai, bahan sampel kemudian dimasukkan ke dalam krusibel. Konsekuensi dari perlakuan tersebut adalah krusibel berada di dalam



*Furnace Nabertherm* dalam rentang waktu yang relatif lama, yang diyakini menjadi penyebab terjadinya keretakan.

Berdasarkan pengalaman kegagalan produksi pertama, dilakukan perubahan perlakuan pada produksi yang kedua. Krusibel berisi bahan sampel diletakkan dalam *Furnace Nabertherm* ketika temperatur yang diinginkan telah dicapai. Akan tetapi, hasil dari produksi yang kedua ini pun juga belum dapat digunakan sebab sampel melekat erat pada bagian dalam krusibel seperti ditunjukkan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



**Gambar 4.1.** Hasil proses produksi yang pertama



**Gambar 4.2.** Krusibel yang telah dipecah

Selain sampel yang melekat erat dalam krusibel, terlihat pada Gambar 4.2 di atas terdapat dua lapisan yang berbeda warna. Hal tersebut terjadi karena peristiwa oksidasi. Logam Sn dan Al memiliki kecenderungan teroksidasi menjadi  $\text{SnO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ketika dipanaskan. Didukung kondisi proses produksi yang kedua ini krusibel tidak diberi tutup sehingga sampel yang dipanaskan dapat berhubungan langsung dengan udara luar yang mengandung oksigen, sehingga terjadi oksidasi. Adalah menguntungkan jika lapisan tipis  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ini digunakan

untuk tujuan pencegahan korosi, namun menjadi hambatan untuk pemaduan logam mengingat temperatur lebur  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sebesar  $2050\text{ }^\circ\text{C}$  (Smallman, 1999).

Diilhami dengan keberhasilan peleburan campuran alloy Sn-Al dalam *DTA* seperti yang dilakukan oleh Nugroho (Nugroho Budi W., 2006) maka pada produksi yang ketiga dilakukan sedikit perbedaan perlakuan. Krusibel diberi tutup untuk menghindari hubungan langsung dengan udara luar (meminimalkan terjadinya oksidasi). Akan tetapi, produksi yang ketiga ini pun juga belum berhasil. Pada saat krusibel dikeluarkan dari *Furnace* untuk didinginkan, tutup sulit dibuka sehingga krusibel harus dipecah dan sampel masih melekat erat dengan krusibel.

Untuk produksi berikutnya, tidak digunakan krusibel dalam proses peleburan. Bahan sampel diletakkan dalam cetakan dan dimasukkan dalam *Furnace Nabertherm*. Untuk cetakan digunakan batu bata karena harganya yang jauh lebih murah (Fredy Yuastiarso, 2006). Ternyata dengan metode ini dihasilkan sampel yang relatif bisa diukur dimensi dan sifat listriknya meskipun tidak diyakini akan kesempurnaan terjadinya paduan. Akan tetapi, sampel yang dihasilkan bersifat rapuh dan getas sehingga mudah sekali rusak (retak dan hancur) saat terbentur atau ditekan. Kerapuhan dan kegetasan sampel disebabkan oleh leburan yang kurang dapat bercampur dengan baik tanpa pengadukan. Sehingga terdapat rongga-rongga udara yang terperangkap di dalam sampel dan menyebabkan oksidasi yang menghambat pemaduan logam. Ditambah lagi cetakan batu bata yang digunakan harus dipecah saat sampel dikeluarkan sehingga

hanya dapat digunakan sekali pakai, sedangkan pembuatan setiap cetakan batu bata membutuhkan waktu yang cukup lama.

Dari kendala penyebab kegagalan produksi sebelumnya. Ditentukan proses produksi berikutnya tidak menggunakan *Furnace Nabertherm* lagi dikarenakan tidak dapat dilakukan pengadukan atau penggoyangan sampel saat dipanaskan. Sebagai gantinya pemanasan dilakukan dengan menggunakan las karbit/asetilen sehingga memungkinkan pengadukan atau penggoyangan. Sedangkan untuk wadah cetakan diganti dengan wadah cetakan besi yang dapat dibuat sesuai sesuai bentuk yang diinginkan dan bisa dipergunakan berkali-kali. Hasil peleburan yang yang didapat cukup baik, sampel melebur dengan baik dan sangat mengurangi rongga-rongga udara yang terperangkap di dalam. Sampel menjadi lebih keras dan tidak rapuh maupun getas sehingga dapat diukur dimensi dan sifat penghantaran panasnya meskipun tetap masih belum diyakini kesempurnaan paduannya. Adanya *impurity* pada proses pepaduan logam adalah hal yang sudah biasa terjadi. Untuk komposisi 100% (logam murni) tidak dilakukan peleburan bahan namun langsung digunakan bahan dasar yang dibentuk sesuai dengan bentuk komposisi yang lainnya. Hal tersebut untuk lebih mempercepat waktu untuk memasuki tahapan berikutnya.

#### **IV. 3. Hasil Pengukuran Dimensi Sampel**

Data hasil pengukuran dimensi sampel untuk masing-masing komposisi terdapat dalam Tabel 4.2, dimana dimensi sampel dari data berupa hasil pengukuran tunggal.

**Tabel 4.2.** Dimensi sampel untuk masing-masing komposisi

No.	$x\text{Sn}-y\text{Al}$	$L_a \pm \Delta L_a$ (mm)	$L_b \pm \Delta L_b$ (mm)
1	100%Sn-0%Al	$4,20 \pm 0,05$	$5,45 \pm 0,05$
2	89,02%Sn-10,98%Al	$4,35 \pm 0,05$	$5,90 \pm 0,05$
3	79,58%Sn-20,42%Al	$4,95 \pm 0,05$	$6,70 \pm 0,05$
4	69,98%Sn-30,02%Al	-	-
5	59,86%Sn-40,14%Al	$3,75 \pm 0,05$	$4,80 \pm 0,05$
6	50,03%Sn-49,97%Al	$4,20 \pm 0,05$	$6,60 \pm 0,05$
7	39,78%Sn-60,22%Al	$4,45 \pm 0,05$	$6,00 \pm 0,05$
8	30,16%Sn-69,84%Al	-	-
9	20,24%Sn-79,76%Al	$4,95 \pm 0,05$	$6,25 \pm 0,05$
10	10,63%Sn-89,37%Al	-	-
11	0%Sn-100%Al	$2,70 \pm 0,05$	$4,35 \pm 0,05$

Dimensi sampel pada Tabel 4.2 adalah dimensi sampel setelah dibentuk sesuai dengan keperluan pengukuran, yaitu dibentuk cakram dan masing-masing komposisi dibentuk menjadi sepasang sampel dengan dua buah ketebalan yang berbeda. Pada komposisi nomor 4, 8 dan 10 yaitu komposisi 69,89%Sn-30,11Al; 30,01%Sn-69,99%Al; dan 10%Sn-90%Al sampel tidak digunakan karena tidak berhasil dibentuk sesuai dengan keperluan untuk pengukuran lebih lanjut.

#### IV. 4. Hasil Pengukuran Gradien Temperatur ( $\Delta T$ )

Dari hasil pengukuran gradien temperatur untuk tiap-tiap komposisi sampel didapat hasil sebagai Tabel 4.3.

**Tabel 4.3.** Gradien temperatur sampel untuk masing-masing komposisi

No.	Komposisi		Gradien temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )										
	xSn	yAl	$T_0$	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$	$T_5$	$T_6$	$T_7$	$T_8$	$T_9$	$T_{10}$
1.	100,00	0,00	100	95,0	91,5	88,2	84,8	64,6	60,7	43,9	40,5	37,4	34,2
				95,5	92,1	88,8	85,3	65,4	61,4	44,7	41,4	38,1	35,1
			150	142,8	137,1	131,5	125,8	92,6	85,9	58,5	52,8	47,5	42,2
				142,2	136,3	130,7	124,8	93,7	86,8	60,8	55,1	49,5	44,3
			200	189,6	181,4	173,6	165,3	121,5	112,0	75,6	67,5	59,7	52,2
				189,7	181,5	173,8	165,5	122,0	112,5	76,4	68,4	60,5	53,0
2.	89,02	10,98	100	95,3	92,3	89,4	86,3	66,7	63,5	44,8	41,8	39,0	36,3
				95,9	92,8	89,9	86,9	67,5	64,3	45,7	42,7	39,8	37,1
			150	143,5	138,3	133,3	128,1	95,1	89,7	58,3	53,3	48,3	43,7

No.	Komposisi		Gradien temperatur (°C)										
	xSn	yAl	T <sub>0</sub>	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>
			200	143,6	138,4	133,5	128,3	95,6	90,2	59,0	53,9	48,9	44,2
				190,8	183,5	176,6	169,2	122,7	115,1	71,4	64,1	57,3	50,5
				191,0	183,7	176,8	169,4	123,3	115,6	72,2	65,0	58,0	51,2
3.	79,58	20,42	100	96,4	94,1	92,0	89,8	61,7	59,4	38,6	36,6	34,6	32,6
				96,8	94,5	92,3	90,2	62,8	60,4	39,5	37,5	35,3	33,3
			150	145,1	141,0	137,3	133,5	89,7	85,5	49,0	45,4	41,8	38,4
				145,1	141,1	137,4	133,5	91,0	86,7	49,9	46,2	42,5	39,0
			200	192,5	186,5	180,8	174,9	122,2	115,8	61,0	55,5	49,9	44,5
				192,4	186,3	180,3	174,3	125,4	118,9	62,9	57,0	51,3	45,8
4.	69,98	30,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.	59,86	40,14	100	95,9	93,1	90,4	87,5	64,0	61,1	42,5	39,8	37,3	34,8
				96,2	93,3	90,7	87,8	65,0	62,0	43,4	40,7	38,1	35,7
			150	144,0	139,1	134,6	129,6	92,4	87,2	55,3	50,6	46,1	41,9
				144,1	139,3	134,7	129,8	93,2	88,0	56,2	51,5	47,0	42,6
			200	191,4	184,5	177,9	170,7	122,5	114,9	69,0	62,1	55,6	49,4
				191,5	184,5	177,9	170,7	123,6	116,0	70,2	63,3	56,8	50,4
6.	50,03	49,97	100	95,9	93,3	90,8	88,1	62,8	59,7	43,7	41,1	38,7	36,4
				96,3	93,6	91,1	88,5	63,6	60,4	44,4	41,8	39,4	37,0
			150	144,2	139,5	135,2	130,4	89,0	83,5	55,6	51,1	46,7	42,7
				144,2	139,6	135,2	130,5	89,9	84,4	56,3	51,8	47,5	43,3
			200	191,7	185,1	178,7	171,9	116,7	108,7	68,3	61,7	55,5	49,4
				191,7	185,0	178,7	171,9	117,0	109,0	68,7	62,3	56,4	51,0
7.	39,78	60,22	100	96,4	93,8	91,5	88,8	63,5	60,6	39,2	36,8	34,5	32,3
				96,6	94,1	91,7	89,2	64,5	61,7	40,6	38,2	36,0	33,8
			150	145,0	140,7	136,6	132,4	90,9	86,3	50,6	46,6	42,8	39,2
				145,0	140,8	136,7	132,5	91,5	86,8	51,2	47,3	43,4	39,7
			200	192,9	187,0	181,4	175,6	117,0	110,5	60,7	55,2	49,9	44,7
				193,0	187,2	181,5	175,8	117,5	111,0	61,4	55,8	50,5	45,2
8.	30,16	69,84	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9.	20,24	79,76	100	95,8	92,9	90,9	87,4	64,3	61,1	41,5	38,8	36,2	33,6
				96,2	93,3	90,6	87,8	65,1	62,0	42,7	39,9	37,4	34,8
			150	144,2	139,4	134,8	130,1	91,7	86,4	54,1	49,5	45,0	40,8
				144,3	139,5	135,0	130,3	92,1	86,8	54,7	50,1	45,6	41,3
			200	192,0	185,4	179,2	172,5	117,9	110,6	65,6	59,1	52,9	46,9
				192,2	185,4	179,2	172,7	118,3	111,0	66,1	59,6	53,3	47,3
10.	10,63	89,37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11.	0,00	100,00	100	95,9	93,2	90,5	87,7	54,8	51,9	39,8	37,3	34,8	32,4
				96,4	93,7	91,1	88,3	55,9	53,1	41,1	38,6	36,1	33,7
			150	144,4	139,6	135,3	130,5	77,0	72,1	51,9	47,6	43,3	39,2
				144,6	139,9	135,6	130,8	78,4	73,4	53,3	48,9	44,5	40,4
			200	192,0	185,4	179,2	172,3	100,3	93,2	64,5	58,2	52,1	46,0
				192,0	185,5	179,3	172,4	101,1	93,9	65,3	59,0	52,7	46,7

#### IV. 5. Hasil Perhitungan Konduktivitas Termal

Nilai  $\Delta T_a$ ,  $\Delta T_b$  dan  $\Delta T_R$  bisa didapatkan dari data di atas dengan menggunakan metode yang telah disampaikan pada sub bab III.3, yaitu dengan

menggunakan persamaan (3.1) hingga (3.6). Konduktivitas termal pada masing-masing keping sampel ( $\lambda_a'$  dan  $\lambda_b'$ ) dan konduktivitas termal untuk masing-masing komposisinya ( $\lambda$ ) diperoleh menggunakan persamaan (2.14) dan (2.16). Hasil perhitungannya disampaikan dalam Tabel 4.4.

**Tabel 4.4.** Perhitungan konduktivitas termal untuk masing-masing sampel

No.	Komposisi		$\Delta T_a$ (°C)	$\Delta T_b$ (°C)	$\Delta T_R$ (°C)	$\lambda_a'$ (kcal/mhr°C)	$\lambda_b'$ (kcal/mhr°C)	$\lambda$ (kcal/mhr°C)
	xSn	yAl						
1.	100,00	0,00	15,7	19,0	3,3	9,48	10,16	13,43
			15,6	18,7	3,3	9,50	10,25	13,96
			25,5	31,1	5,6	9,75	10,36	13,09
			24,0	29,0	5,7	10,53	11,32	15,13
			33,7	40,9	8,0	10,58	11,29	14,57
			33,3	40,7	7,9	10,67	11,34	14,42
2.	89,02	10,98	17,8	18,6	2,9	7,61	9,86	57,73
			17,7	18,4	2,9	7,71	10,06	69,10
			29,8	31,3	5,0	7,79	10,06	55,01
			29,6	31,0	5,0	7,87	10,19	58,48
			41,4	44,1	7,1	7,93	10,11	43,62
			41,0	43,7	7,1	8,03	10,23	44,44
3.	79,58	20,42	20,1	27,3	2,1	5,52	5,49	5,40
			20,1	26,6	2,1	5,60	5,74	6,17
			35,2	42,4	3,7	5,54	6,24	9,65
			35,5	41,1	3,8	5,58	6,51	12,44
			52,8	50,7	5,7	5,68	8,02	-48,95
			54,1	46,8	5,9	5,73	8,96	-15,06
4.	69,98	30,02	-	-	-	-	-	-
5.	59,86	40,14	17,7	22,6	2,7	6,05	6,08	6,21
			17,7	21,9	2,7	6,05	6,28	7,28
			30,4	35,6	4,6	6,10	6,66	9,98
			30,3	35,0	4,7	6,15	6,80	11,00
			43,7	45,9	6,7	6,15	7,49	34,40
			43,6	44,8	6,8	6,21	7,74	62,69
6.	50,03	49,97	15,2	24,4	2,5	7,44	7,26	6,98
			15,1	23,9	2,5	7,51	7,45	7,36
			26,4	39,8	4,5	7,56	7,87	8,49
			26,5	39,0	4,5	7,51	8,04	9,16
			38,2	52,8	6,5	7,57	8,59	11,24
			38,2	52,5	6,3	7,33	8,37	11,17
7.	39,78	60,22	20,6	24,5	2,4	5,57	6,32	10,32
			20,3	23,8	2,4	5,53	6,36	11,12
			34,4	40,0	4,0	5,52	6,40	11,75
			34,2	39,5	4,0	5,55	6,48	12,44
			47,9	56,6	5,6	5,50	6,28	10,61
			47,7	56,2	5,6	5,54	6,33	10,78
8.	30,16	69,84	-	-	-	-	-	-
9.	20,24	79,76	18,7	22,3	2,7	7,69	8,11	10,24
			18,4	21,7	2,7	7,79	8,34	11,44

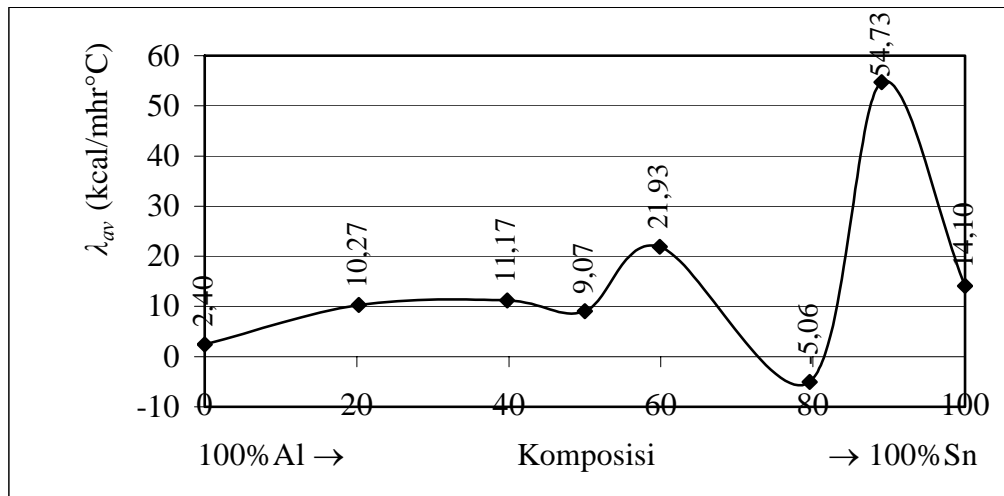
No.	Komposisi		$\Delta T_a$ (°C)	$\Delta T_b$ (°C)	$\Delta T_R$ (°C)	$\lambda_a'$ (kcal/mhr°C)	$\lambda_b'$ (kcal/mhr°C)	$\lambda$ (kcal/mhr°C)
	xSn	yAl						
			30,8	36,7	4,6	7,84	8,29	10,62
			30,5	36,5	4,6	7,90	8,33	10,55
			42,9	52,4	6,4	7,84	8,10	9,29
			42,8	52,1	6,4	7,88	8,17	9,50
10.	10,63	89,37	-	-	-	-	-	-
11.	0,00	100,00	11,2	32,0	2,6	6,67	3,77	2,20
			11,1	31,5	2,6	6,68	3,80	2,23
			18,7	52,0	4,4	6,82	3,96	2,35
			18,6	50,9	4,5	6,89	4,06	2,43
			26,5	69,9	6,4	6,91	4,23	2,59
			26,4	69,2	6,4	6,94	4,27	2,62

Untuk masing-masing komposisi bisa dilaporkan dalam bentuk tabel nilai rata-rata sebagai Tabel 4.5.

**Tabel 4.5.** Nilai rata-rata konduktivitas termal masing-masing sampel ( $\lambda_{av}$ )

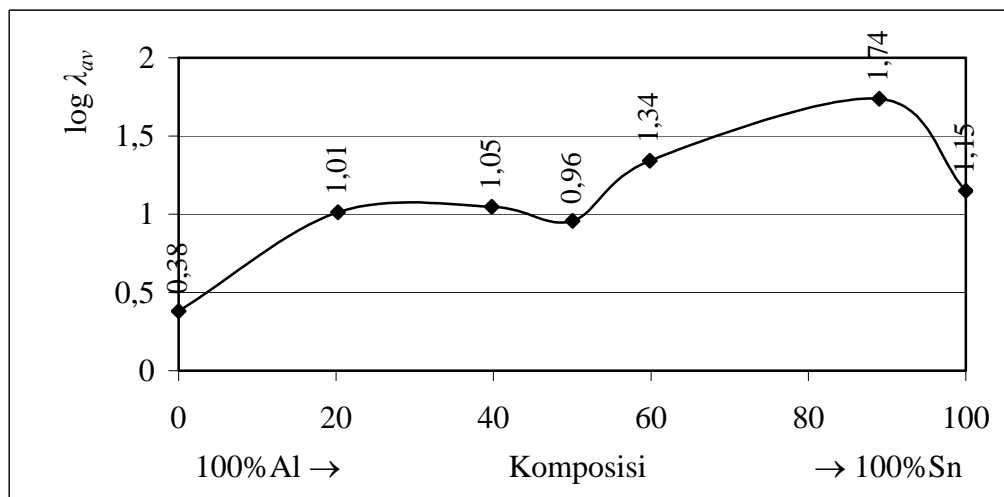
No.	Komposisi		$\lambda_{av}$ (kcal/mhr°C)
	xSn	yAl	
1.	100,00	0,00	14,10
2.	89,02	10,98	54,73
3.	79,58	20,42	-5,06
4.	69,98	30,02	-
5.	59,86	40,14	21,93
6.	50,03	49,97	9,07
7.	39,78	60,22	11,17
8.	30,16	69,84	-
9.	20,24	79,76	10,27
10.	10,63	89,37	-
11.	0,00	100,00	2,40

Nilai rata-rata konduktivitas termal masing-masing sampel ( $\lambda_{av}$ ) dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 4.3.



**Gambar 4.3.** Grafik nilai rata-rata konduktivitas termal masing-masing bahan sampel ( $\lambda_{av}$ ) pada berbagai macam komposisi

Pada komposisi 79,58%Sn-20,42%Al nilai konduktivitas panas bahan turun drastis dikarenakan kemungkinan paduan yang buruk atau banyak oksidasi dan rongga dalam sampel.



**Gambar 4.4.** Grafik log rata-rata konduktivitas termal bahan sampel pada masing-masing komposisi

Kurva di atas dalam bentuk log dan komposisi 79,58%Sn-20,42%Al tidak turut dimasukkan dikarenakan konduktivitas rata-ratanya bernilai negatif. Terlihat konduktivitas panas terendah pada komposisi 50,03%Sn-49,97%Al dan tertinggi



pada sampel 89,02%Sn-10,98%Al. Seharusnya Al sendiri memiliki konduktivitas panas lebih tinggi dibandingkan Sn, tetapi dari data yang didapat menunjukkan sebaliknya. Perlu diketahui bahwa sampel Al yang digunakan memiliki kemurnian yang rendah. Karena sampel Al untuk komposisi Al murni menggunakan Al lempengan yang langsung dibentuk sesuai dimensi sampel yang dibutuhkan dan tidak dilakukan peleburan, sehingga *impurity* bahan masih tetap ada.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **V. 1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Konduktivitas termal tertinggi dimiliki oleh sampel dengan komposisi 89,02%Sn-10,98%Al dan konduktivitas termal terendah pada komposisi 50,03%Sn-49,97%Al.
- 2) Perubahan komposisi sampel mempengaruhi konduktivitas termal dengan nilai perubahan yang tidak beraturan.
- 3) Proses pemaduan logam dapat dilakukan dengan cara melelehkan logam-logam bahan sehingga bercampur dengan memperhatikan sifat logam terhadap temperatur.
- 4) Proses produksi dalam penelitian ini belum menghasilkan paduan logam yang benar-benar homogen.

#### **V. 2. Saran**

Berdasarkan hasil penelitian dan untuk pengembangan lebih lanjut, maka disarankan hal-hal sebagai berikut:

- 1) Kondisi penelitian perlu diperluas dengan penambahan jumlah sampel dan pengukuran konduktivitas termal terhadap variasi volume sampel.
- 2) Sebaiknya digunakan massa bahan yang relatif besar.

- 3) Sebaiknya dilakukan pengukuran gradien temperatur menggunakan peralatan dengan tingkat ketelitian yang lebih tinggi.
- 4) Digunakan metode peleburan yang lain, misalnya melalui metode peleburan dengan tungku yang biasa digunakan untuk produksi pengecoran logam.
- 5) Jika metode produksi menggunakan metode *Furnace Nabertherm*, perlu dilakukan pengadukan bahan ketika bahan berbentuk cairan agar terbentuk paduan yang benar-benar homogen.
- 6) Sebaiknya digunakan metode *XRD* untuk mengetahui struktur dari paduan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Antoni IKM. 1998. *Kamus Teknik (Inggris – Indonesia)*. Surabaya: PT Gitamedia Press.
- Azaroff, Leonid V. 1960. *Introductions to Solids*. New York: Mc Graw-Hill Company.
- B. Darmawan Djonoputro. 1984. *Teori Ketidakpastian*. Bandung: ITB.
- Brady, James E. 1999. *Kimia Universitas Azas dan Struktur Jilid I, Edisi ke 5 (Terjemahan)*. Jakarta: Binarupa Aksara.
- Echols, John M., Hassan Shadily. 1995. *Kamus Inggris – Indonesia*. Jakarta: PT Gramedia.
- Fredi Yuastiarso. 2006. Skripsi: *Studi Karakteristik Resistivitas Paduan x-Sn y-Al Sebagai Bahan Solder Alternatif Ramah Lingkungan*. Surakarta.
- Hoban, Mark J., Lunt, Barry M. 1997. *Soldering*. <http://et.nmsu.edu/~etti/spring97/electronics/solder/solder.html>
- Kittel, Charles. 1996. *Introduction to Solid State Physics*. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Nugroho Budi Widodo. 2006. Skripsi: *Kajian Sifat Termal Paduan x-Sn y-Al Pada Temperatur Beku Dengan Metode Differential Thermal Analysis (DTA)*. Surakarta.
- Ogawa Seiki. 1987. *Instruction Manual for Thermal Conductivity Measuring Apparatus*. Tokyo: Ogawa Seiki Co.

Omar, M. A. 1993. *Elementary Solid State Physics, Principles and Applications*.

Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company.

Rahn, Armin. 1993. *The Basics of Soldering*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Rector & Visitors of the University of Virginia Disclaimer. 2004. *Lead Poisoning*.

[www.healthsystem.virginia.edu/home.html](http://www.healthsystem.virginia.edu/home.html)

Smallman, R. E. 1991. *Metalurgi Fisik Modern, Edisi Keempat (Terjemahan)*.

Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.

Wikipedia I. 2006. *Soldering*. <http://en.wikipedia.org/wiki/Soldering.html>

Wikipedia II. 2006. *Solder*. <http://en.wikipedia.org/wiki/Solder.html>

Wikipedia III. 2006. *Flux*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Flux\\_%28metallurgy%29.](http://en.wikipedia.org/wiki/Flux_%28metallurgy%29.html)

[html](http://en.wikipedia.org/wiki/Flux_%28metallurgy%29.html)

Wikipedia IV. 2006. *Alloy*. <http://en.wikipedia.org/wiki/Alloy.html>

Wikipedia V. 2006. *Tin*. <http://en.wikipedia.org/wiki/Tin.html>

Wikipedia VI. 2006. *Aluminium*. <http://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium.html>

Wikipedia VII. 2006. *Aluminium Oxide*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium](http://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium_oxide.html)

[\\_oxide .html](http://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium_oxide.html)

## LAMPIRAN

### Perhitungan nilai $\Delta T_a$ dan $\Delta T_b$

➤ Komposisi 0 %Sn - 100 %Al,

$T_0 = 100$  °C, 15 menit pertama,

$L_a = (2,70 \pm 0,05)$ mm,  $L_b = (4,35 \pm 0,05)$ mm,  $L_R = 30$  mm

	$T$ (°C)		$L$ (mm)	$TL$	$T^2$
$T_1$	95,9	$L_1$	100,00	9590,00	9196,81
$T_2$	93,2	$L_2$	130,00	12116,00	8686,24
$T_3$	90,5	$L_3$	160,00	14480,00	8190,25
$T_4$	87,7	$L_4$	190,00	16663,00	7691,29
$T_{bi}$		$L_{bi}$	195,00		
	$\Sigma T = 367,3$ $(\Sigma T)^2 = 134909,3$		$\Sigma L = 580,00$	$\Sigma TL = 52849,00$ $n\Sigma TL = 211396,00$	$\Sigma T^2 = 33764,59$ $n\Sigma T^2 = 135058,36$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -10,99$$

$$b_{1,4} = 1153,98$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 87,27 \text{ °C}$$

	$T$ (°C)		$L$ (mm)	$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$	199,35		
$T_5$	54,8	$L_5$	204,35	11198,38	3003,04
$T_6$	51,9	$L_6$	234,35	12162,77	2693,61
$T_{ai}$		$L_{ai}$	239,35		
	$\Sigma T = 106,7$ $(\Sigma T)^2 = 11384,9$		$\Sigma L = 438,70$	$\Sigma TL = 23361,15$ $n\Sigma TL = 46722,29$	$\Sigma T^2 = 5696,65$ $n\Sigma T^2 = 11393,30$

$$m_{5,6} = -10,34$$

$$b_{5,6} = 771,25$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 55,28 \text{ °C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 51,42 \text{ °C}$$

	$T$ (°C)		$L$ (mm)	$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$	242,05		
$T_7$	39,8	$L_7$	247,05	9832,59	1584,04
$T_8$	37,3	$L_8$	277,05	10333,97	1391,29
$T_9$	34,8	$L_9$	307,05	10685,34	1211,04
$T_{10}$	32,4	$L_{10}$	337,05	10920,42	1049,76
	$\Sigma T = 144,3$ $(\Sigma T)^2 = 20822,5$		$\Sigma L = 1168,20$	$\Sigma TL = 41772,32$ $n\Sigma TL = 167089,26$	$\Sigma T^2 = 5236,13$ $n\Sigma T^2 = 20944,52$

$$m_{7,10} = -12,14$$

$$b_{7,10} = 730,16$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 40,19 \text{ °C}$$

$$\Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 32,0 \text{ °C}$$

$$\Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 11,2 \text{ °C}$$

➤ Komposisi 0 %Sn - 100 %Al,

$T_0 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit kedua,

$L_a = (2,70 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (4,35 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	96,4	$L_1$	100,00	9640,00	9292,96
$T_2$	93,7	$L_2$	130,00	12181,00	8779,69
$T_3$	91,1	$L_3$	160,00	14576,00	8299,21
$T_4$	88,3	$L_4$	190,00	16777,00	7796,89
$T_{bi}$		$L_{bi}$	195,00		
$\Sigma T = 369,5$ $(\Sigma T)^2 = 136530,3$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 53174,00$ $n\Sigma TL = 212696,00$	$\Sigma T^2 = 34168,75$ $n\Sigma T^2 = 136675,00$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -11,15$$

$$b_{1,4} = 1175,01$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 87,89 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$	199,35		
$T_5$	55,9	$L_5$	204,35	11423,17	3124,81
$T_6$	53,1	$L_6$	234,35	12443,99	2819,61
$T_{ai}$		$L_{ai}$	239,35		
$\Sigma T = 109,0$ $(\Sigma T)^2 = 11881,0$		$\Sigma L = 438,70$		$\Sigma TL = 23867,15$ $n\Sigma TL = 47734,30$	$\Sigma T^2 = 5944,42$ $n\Sigma T^2 = 11888,84$

$$m_{5,6} = -10,71$$

$$b_{5,6} = 803,28$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 56,37 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 52,63 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$	242,05		
$T_7$	41,1	$L_7$	247,05	10153,76	1689,21
$T_8$	38,6	$L_8$	277,05	10694,13	1489,96
$T_9$	36,1	$L_9$	307,05	11084,51	1303,21
$T_{10}$	33,7	$L_{10}$	337,05	11358,59	1135,69
$\Sigma T = 149,5$ $(\Sigma T)^2 = 22350,3$		$\Sigma L = 1168,20$		$\Sigma TL = 43290,98$ $n\Sigma TL = 173163,90$	$\Sigma T^2 = 5618,07$ $n\Sigma T^2 = 22472,28$

$$m_{7,10} = -12,14$$

$$b_{7,10} = 745,95$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 41,49 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 31,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 11,1 \text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Komposisi 0 %Sn - 100 %Al,

$T_0 = 150 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit pertama,

$L_a = (2,70 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (4,35 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	144,4	$L_1$	100,00	14440,00	20851,36
$T_2$	139,6	$L_2$	130,00	18148,00	19488,16
$T_3$	135,3	$L_3$	160,00	21648,00	18306,09
$T_4$	130,5	$L_4$	190,00	24795,00	17030,25
$T_{bi}$		$L_{bi}$	195,00		
$\Sigma T = 549,8$ $(\Sigma T)^2 = 302280,0$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 79031,00$ $n\Sigma TL = 316124,00$	$\Sigma T^2 = 75675,86$ $n\Sigma T^2 = 302703,44$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -6,52$$

$$b_{1,4} = 1040,99$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 129,78 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$	199,35		
$T_5$	77	$L_5$	204,35	15734,95	5929
$T_6$	72,1	$L_6$	234,35	16896,64	5198,41
$T_{ai}$		$L_{ai}$	239,35		
$\Sigma T = 149,1$ $(\Sigma T)^2 = 22230,8$		$\Sigma L = 438,70$		$\Sigma TL = 32631,59$ $n\Sigma TL = 65263,17$	$\Sigma T^2 = 11127,41$ $n\Sigma T^2 = 22254,82$

$$m_{5,6} = -6,12$$

$$b_{5,6} = 675,78$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 77,82 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 71,28 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$	242,05		
$T_7$	51,9	$L_7$	247,05	12821,90	2693,61
$T_8$	47,6	$L_8$	277,05	13187,58	2265,76
$T_9$	43,3	$L_9$	307,05	13295,27	1874,89
$T_{10}$	39,2	$L_{10}$	337,05	13212,36	1536,64
$\Sigma T = 182,0$ $(\Sigma T)^2 = 33124,0$		$\Sigma L = 1168,20$		$\Sigma TL = 52517,10$ $n\Sigma TL = 210068,40$	$\Sigma T^2 = 8370,90$ $n\Sigma T^2 = 33483,60$

$$m_{7,10} = -7,07$$

$$b_{7,10} = 613,94$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 52,57 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 52,0 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 18,7 \text{ }^\circ\text{C}$$



➤ Komposisi 0 %Sn - 100 %Al,

$T_0 = 150 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit kedua,

$L_a = (2,70 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (4,35 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	144,6	$L_1$	100,00	14460,00	20909,16
$T_2$	139,9	$L_2$	130,00	18187,00	19572,01
$T_3$	135,6	$L_3$	160,00	21696,00	18387,36
$T_4$	130,8	$L_4$	190,00	24852,00	17108,64
$T_{bi}$		$L_{bi}$	195,00		
$\Sigma T = 550,9$ $(\Sigma T)^2 = 303490,8$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 79195,00$ $n\Sigma TL = 316780,00$	$\Sigma T^2 = 75977,17$ $n\Sigma T^2 = 303908,68$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -6,56$$

$$b_{1,4} = 1048,73$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 130,11 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$	199,35		
$T_5$	78,4	$L_5$	204,35	16021,04	6146,56
$T_6$	73,4	$L_6$	234,35	17201,29	5387,56
$T_{ai}$		$L_{ai}$	239,35		
$\Sigma T = 151,8$ $(\Sigma T)^2 = 23043,2$		$\Sigma L = 438,70$		$\Sigma TL = 33222,33$ $n\Sigma TL = 66444,66$	$\Sigma T^2 = 11534,12$ $n\Sigma T^2 = 23068,24$

$$m_{5,6} = -6,00$$

$$b_{5,6} = 674,75$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 79,23 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 72,57 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$	242,05		
$T_7$	53,3	$L_7$	247,05	13167,77	2840,89
$T_8$	48,9	$L_8$	277,05	13547,75	2391,21
$T_9$	44,5	$L_9$	307,05	13663,73	1980,25
$T_{10}$	40,4	$L_{10}$	337,05	13616,82	1632,16
$\Sigma T = 187,1$ $(\Sigma T)^2 = 35006,4$		$\Sigma L = 1168,20$		$\Sigma TL = 53996,06$ $n\Sigma TL = 215984,22$	$\Sigma T^2 = 8844,51$ $n\Sigma T^2 = 35378,04$

$$m_{7,10} = -6,96$$

$$b_{7,10} = 617,54$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 53,96 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 50,9 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 18,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Komposisi 0 %Sn - 100 %Al,

$T_0 = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit pertama,

$L_a = (2,70 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (4,35 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	192	$L_1$	100,00	19200,00	36864
$T_2$	185,4	$L_2$	130,00	24102,00	34373,16
$T_3$	179,2	$L_3$	160,00	28672,00	32112,64
$T_4$	172,3	$L_4$	190,00	32737,00	29687,29
$T_{bi}$		$L_{bi}$	195,00		
$\Sigma T = 728,9$ $(\Sigma T)^2 = 531295,2$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 104711,00$ $n\Sigma TL = 418844,00$	$\Sigma T^2 = 133037,09$ $n\Sigma T^2 = 532148,36$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -4,59$$

$$b_{1,4} = 981,85$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 171,34 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$	199,35		
$T_5$	100,3	$L_5$	204,35	20496,31	10060,09
$T_6$	93,2	$L_6$	234,35	21841,42	8686,24
$T_{ai}$		$L_{ai}$	239,35		
$\Sigma T = 193,5$ $(\Sigma T)^2 = 37442,3$		$\Sigma L = 438,70$		$\Sigma TL = 42337,73$ $n\Sigma TL = 84675,45$	$\Sigma T^2 = 18746,33$ $n\Sigma T^2 = 37492,66$

$$m_{5,6} = -4,23$$

$$b_{5,6} = 628,15$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 101,48 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 92,02 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$	242,05		
$T_7$	64,5	$L_7$	247,05	15934,73	4160,25
$T_8$	58,2	$L_8$	277,05	16124,31	3387,24
$T_9$	52,1	$L_9$	307,05	15997,31	2714,41
$T_{10}$	46	$L_{10}$	337,05	15504,30	2116
$\Sigma T = 220,8$ $(\Sigma T)^2 = 48752,6$		$\Sigma L = 1168,20$		$\Sigma TL = 63560,64$ $n\Sigma TL = 254242,56$	$\Sigma T^2 = 12377,90$ $n\Sigma T^2 = 49511,60$

$$m_{7,10} = -4,87$$

$$b_{7,10} = 560,86$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 65,47 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 69,9 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 26,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Komposisi 0 %Sn - 100 %Al,

$T_0 = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit kedua,

$L_a = (2,70 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (4,35 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	192	$L_1$	100,00	19200,00	36864
$T_2$	185,5	$L_2$	130,00	24115,00	34410,25
$T_3$	179,3	$L_3$	160,00	28688,00	32148,49
$T_4$	172,4	$L_4$	190,00	32756,00	29721,76
$T_{bi}$		$L_{bi}$	195,00		
$\Sigma T = 729,2$ $(\Sigma T)^2 = 531732,6$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 104759,00$ $n\Sigma TL = 419036,00$	$\Sigma T^2 = 133144,50$ $n\Sigma T^2 = 532578,00$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -4,61$$

$$b_{1,4} = 986,03$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 171,46 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$	199,35		
$T_5$	101,1	$L_5$	204,35	20659,79	10221,21
$T_6$	93,9	$L_6$	234,35	22005,47	8817,21
$T_{ai}$		$L_{ai}$	239,35		
$\Sigma T = 195,0$ $(\Sigma T)^2 = 38025,0$		$\Sigma L = 438,70$		$\Sigma TL = 42665,25$ $n\Sigma TL = 85330,50$	$\Sigma T^2 = 19038,42$ $n\Sigma T^2 = 38076,84$

$$m_{5,6} = -4,17$$

$$b_{5,6} = 625,60$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 102,30 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 92,70 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$	242,05		
$T_7$	65,3	$L_7$	247,05	16132,37	4264,09
$T_8$	59	$L_8$	277,05	16345,95	3481
$T_9$	52,7	$L_9$	307,05	16181,54	2777,29
$T_{10}$	46,7	$L_{10}$	337,05	15740,24	2180,89
$\Sigma T = 223,7$ $(\Sigma T)^2 = 50041,7$		$\Sigma L = 1168,20$		$\Sigma TL = 64400,09$ $n\Sigma TL = 257600,34$	$\Sigma T^2 = 12703,27$ $n\Sigma T^2 = 50813,08$

$$m_{7,10} = -4,83$$

$$b_{7,10} = 562,18$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 66,28 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 69,2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 26,4 \text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Komposisi 20 %Sn - 80 %Al,

$T_0 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit pertama,

$L_a = (4,95 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (6,25 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	95,8	$L_1$	100,00	9580,00	9177,64
$T_2$	92,9	$L_2$	130,00	12077,00	8630,41
$T_3$	90,9	$L_3$	160,00	14544,00	8262,81
$T_4$	87,4	$L_4$	190,00	16606,00	7638,76
$T_{bi}$		$L_{bi}$		195,00	
$\Sigma T = 367,0$ $(\Sigma T)^2 = 134689,0$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 52807,00$ $n\Sigma TL = 211228,00$	$\Sigma T^2 = 33709,62$ $n\Sigma T^2 = 134838,48$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -10,92$$

$$b_{1,4} = 1146,71$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 87,17 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$		201,25	
$T_5$	64,3	$L_5$	206,25	13261,88	4134,49
$T_6$	61,1	$L_6$	236,25	14434,88	3733,21
$T_{ai}$		$L_{ai}$		241,25	
$\Sigma T = 125,4$ $(\Sigma T)^2 = 15725,2$		$\Sigma L = 442,50$		$\Sigma TL = 27696,75$ $n\Sigma TL = 55393,50$	$\Sigma T^2 = 7867,70$ $n\Sigma T^2 = 15735,40$

$$m_{5,6} = -9,38$$

$$b_{5,6} = 809,06$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 64,83 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 60,57 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$		246,20	
$T_7$	41,5	$L_7$	251,20	10424,80	1722,25
$T_8$	38,8	$L_8$	281,20	10910,56	1505,44
$T_9$	36,2	$L_9$	311,20	11265,44	1310,44
$T_{10}$	33,6	$L_{10}$	341,20	11464,32	1128,96
$\Sigma T = 150,1$ $(\Sigma T)^2 = 22530,0$		$\Sigma L = 1184,80$		$\Sigma TL = 44065,12$ $n\Sigma TL = 176260,48$	$\Sigma T^2 = 5667,09$ $n\Sigma T^2 = 22668,36$

$$m_{7,10} = -11,41$$

$$b_{7,10} = 724,20$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 41,91 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 22,3 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 18,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Komposisi 20 %Sn - 80 %Al,

$T_0 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit kedua,

$L_a = (4,95 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (6,25 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	96,2	$L_1$	100,00	9620,00	9254,44
$T_2$	93,3	$L_2$	130,00	12129,00	8704,89
$T_3$	90,6	$L_3$	160,00	14496,00	8208,36
$T_4$	87,8	$L_4$	190,00	16682,00	7708,84
$T_{bi}$		$L_{bi}$	195,00		
$\Sigma T = 367,9$ $(\Sigma T)^2 = 135350,4$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 52927,00$ $n\Sigma TL = 211708,00$	$\Sigma T^2 = 33876,53$ $n\Sigma T^2 = 135506,12$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -10,75$$

$$b_{1,4} = 1133,80$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 87,32 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$	201,25		
$T_5$	65,1	$L_5$	206,25	13426,88	4238,01
$T_6$	62	$L_6$	236,25	14647,50	3844
$T_{ai}$		$L_{ai}$	241,25		
$\Sigma T = 127,1$ $(\Sigma T)^2 = 16154,4$		$\Sigma L = 442,50$		$\Sigma TL = 28074,38$ $n\Sigma TL = 56148,75$	$\Sigma T^2 = 8082,01$ $n\Sigma T^2 = 16164,02$

$$m_{5,6} = -9,68$$

$$b_{5,6} = 836,25$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 65,62 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 61,48 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$	246,20		
$T_7$	42,7	$L_7$	251,20	10726,24	1823,29
$T_8$	39,9	$L_8$	281,20	11219,88	1592,01
$T_9$	37,4	$L_9$	311,20	11638,88	1398,76
$T_{10}$	34,8	$L_{10}$	341,20	11873,76	1211,04
$\Sigma T = 154,8$ $(\Sigma T)^2 = 23963,0$		$\Sigma L = 1184,80$		$\Sigma TL = 45458,76$ $n\Sigma TL = 181835,04$	$\Sigma T^2 = 6025,10$ $n\Sigma T^2 = 24100,40$

$$m_{7,10} = -11,44$$

$$b_{7,10} = 739,10$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 43,07 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 21,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 18,4 \text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Komposisi 20 %Sn - 80 %Al,

$T_0 = 150 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit pertama,

$L_a = (4,95 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (6,25 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	144,2	$L_1$	100,00	14420,00	20793,64
$T_2$	139,4	$L_2$	130,00	18122,00	19432,36
$T_3$	134,8	$L_3$	160,00	21568,00	18171,04
$T_4$	130,1	$L_4$	190,00	24719,00	16926,01
$T_{bi}$		$L_{bi}$	195,00		
$\Sigma T = 548,5$ $(\Sigma T)^2 = 300852,3$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 78829,00$ $n\Sigma TL = 315316,00$	$\Sigma T^2 = 75323,05$ $n\Sigma T^2 = 301292,20$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -6,40$$

$$b_{1,4} = 1022,08$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 129,31 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$	201,25		
$T_5$	91,7	$L_5$	206,25	18913,13	8408,89
$T_6$	86,4	$L_6$	236,25	20412,00	7464,96
$T_{ai}$		$L_{ai}$	241,25		
$\Sigma T = 178,1$ $(\Sigma T)^2 = 31719,6$		$\Sigma L = 442,50$		$\Sigma TL = 39325,13$ $n\Sigma TL = 78650,25$	$\Sigma T^2 = 15873,85$ $n\Sigma T^2 = 31747,70$

$$m_{5,6} = -5,66$$

$$b_{5,6} = 725,31$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 92,58 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 85,52 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$	246,20		
$T_7$	54,1	$L_7$	251,20	13589,92	2926,81
$T_8$	49,5	$L_8$	281,20	13919,40	2450,25
$T_9$	45	$L_9$	311,20	14004,00	2025
$T_{10}$	40,8	$L_{10}$	341,20	13920,96	1664,64
$\Sigma T = 189,4$ $(\Sigma T)^2 = 35872,4$		$\Sigma L = 1184,80$		$\Sigma TL = 55434,28$ $n\Sigma TL = 221737,12$	$\Sigma T^2 = 9066,70$ $n\Sigma T^2 = 36266,80$

$$m_{7,10} = -6,75$$

$$b_{7,10} = 616,00$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 54,75 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 36,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 30,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Komposisi 20 %Sn - 80 %Al,

$T_0 = 150 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit kedua,

$L_a = (4,95 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (6,25 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	144,3	$L_1$	100,00	14430,00	20822,49
$T_2$	139,5	$L_2$	130,00	18135,00	19460,25
$T_3$	135	$L_3$	160,00	21600,00	18225
$T_4$	130,3	$L_4$	190,00	24757,00	16978,09
$T_{bi}$		$L_{bi}$	195,00		
$\Sigma T = 549,1$ $(\Sigma T)^2 = 301510,8$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 78922,00$ $n\Sigma TL = 315688,00$	$\Sigma T^2 = 75485,83$ $n\Sigma T^2 = 301943,32$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -6,45$$

$$b_{1,4} = 1030,52$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 129,52 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$	201,25		
$T_5$	92,1	$L_5$	206,25	18995,63	8482,41
$T_6$	86,8	$L_6$	236,25	20506,50	7534,24
$T_{ai}$		$L_{ai}$	241,25		
$\Sigma T = 178,9$ $(\Sigma T)^2 = 32005,2$		$\Sigma L = 442,50$		$\Sigma TL = 39502,13$ $n\Sigma TL = 79004,25$	$\Sigma T^2 = 16016,65$ $n\Sigma T^2 = 32033,30$

$$m_{5,6} = -5,66$$

$$b_{5,6} = 727,57$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 92,98 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 85,92 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$	246,20		
$T_7$	54,7	$L_7$	251,20	13740,64	2992,09
$T_8$	50,1	$L_8$	281,20	14088,12	2510,01
$T_9$	45,6	$L_9$	311,20	14190,72	2079,36
$T_{10}$	41,3	$L_{10}$	341,20	14091,56	1705,69
$\Sigma T = 191,7$ $(\Sigma T)^2 = 36748,9$		$\Sigma L = 1184,80$		$\Sigma TL = 56111,04$ $n\Sigma TL = 224444,16$	$\Sigma T^2 = 9287,15$ $n\Sigma T^2 = 37148,60$

$$m_{7,10} = -6,71$$

$$b_{7,10} = 617,77$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 55,38 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 36,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 30,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Komposisi 20 %Sn - 80 %Al,

$T_0 = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit pertama,

$L_a = (4,95 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (6,25 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	192	$L_1$	100,00	19200,00	36864
$T_2$	185,4	$L_2$	130,00	24102,00	34373,16
$T_3$	179,2	$L_3$	160,00	28672,00	32112,64
$T_4$	172,5	$L_4$	190,00	32775,00	29756,25
$T_{bi}$		$L_{bi}$	195,00		
$\Sigma T = 729,1$ $(\Sigma T)^2 = 531586,8$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 104749,00$ $n\Sigma TL = 418996,00$	$\Sigma T^2 = 133106,05$ $n\Sigma T^2 = 532424,20$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -4,64$$

$$b_{1,4} = 990,00$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 171,49 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$	201,25		
$T_5$	117,9	$L_5$	206,25	24316,88	13900,41
$T_6$	110,6	$L_6$	236,25	26129,25	12232,36
$T_{ai}$		$L_{ai}$	241,25		
$\Sigma T = 228,5$ $(\Sigma T)^2 = 52212,3$		$\Sigma L = 442,50$		$\Sigma TL = 50446,13$ $n\Sigma TL = 100892,25$	$\Sigma T^2 = 26132,77$ $n\Sigma T^2 = 52265,54$

$$m_{5,6} = -4,11$$

$$b_{5,6} = 690,77$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 119,12 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 109,38 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$	246,20		
$T_7$	65,6	$L_7$	251,20	16478,72	4303,36
$T_8$	59,1	$L_8$	281,20	16618,92	3492,81
$T_9$	52,9	$L_9$	311,20	16462,48	2798,41
$T_{10}$	46,9	$L_{10}$	341,20	16002,28	2199,61
$\Sigma T = 224,5$ $(\Sigma T)^2 = 50400,3$		$\Sigma L = 1184,80$		$\Sigma TL = 65562,40$ $n\Sigma TL = 262249,60$	$\Sigma T^2 = 12794,19$ $n\Sigma T^2 = 51176,76$

$$m_{7,10} = -4,81$$

$$b_{7,10} = 566,38$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 66,51 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 52,4 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 42,9 \text{ }^\circ\text{C}$$



➤ Komposisi 20 %Sn - 80 %Al,

$T_0 = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit kedua,

$L_a = (4,95 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (6,25 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

	$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$	$TL$	$T^2$
$T_1$	192,2	$L_1$	100,00	19220,00	36940,84
$T_2$	185,4	$L_2$	130,00	24102,00	34373,16
$T_3$	179,2	$L_3$	160,00	28672,00	32112,64
$T_4$	172,7	$L_4$	190,00	32813,00	29825,29
$T_{bi}$		$L_{bi}$	195,00		
	$\Sigma T = 729,5$ $(\Sigma T)^2 = 532170,3$		$\Sigma L = 580,00$	$\Sigma TL = 104807,00$ $n\Sigma TL = 419228,00$	$\Sigma T^2 = 133251,93$ $n\Sigma T^2 = 533007,72$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -4,64$$

$$b_{1,4} = 990,38$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 171,59 \text{ }^\circ\text{C}$$

	$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$	$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$	201,25		
$T_5$	118,3	$L_5$	206,25	24399,38	13994,89
$T_6$	111	$L_6$	236,25	26223,75	12321
$T_{ai}$		$L_{ai}$	241,25		
	$\Sigma T = 229,3$ $(\Sigma T)^2 = 52578,5$		$\Sigma L = 442,50$	$\Sigma TL = 50623,13$ $n\Sigma TL = 101246,25$	$\Sigma T^2 = 26315,89$ $n\Sigma T^2 = 52631,78$

$$m_{5,6} = -4,11$$

$$b_{5,6} = 692,41$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 119,52 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 109,78 \text{ }^\circ\text{C}$$

	$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$	$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$	246,20		
$T_7$	66,1	$L_7$	251,20	16604,32	4369,21
$T_8$	59,6	$L_8$	281,20	16759,52	3552,16
$T_9$	53,3	$L_9$	311,20	16586,96	2840,89
$T_{10}$	47,3	$L_{10}$	341,20	16138,76	2237,29
	$\Sigma T = 226,3$ $(\Sigma T)^2 = 51211,7$		$\Sigma L = 1184,80$	$\Sigma TL = 66089,56$ $n\Sigma TL = 264358,24$	$\Sigma T^2 = 12999,55$ $n\Sigma T^2 = 51998,20$

$$m_{7,10} = -4,78$$

$$b_{7,10} = 566,81$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 67,03 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 52,1 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 42,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Komposisi 40 %Sn - 60 %Al,

$T_0 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit pertama,

$L_a = (4,45 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (6,00 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	96,4	$L_1$	100,00	9640,00	9292,96
$T_2$	93,8	$L_2$	130,00	12194,00	8798,44
$T_3$	91,5	$L_3$	160,00	14640,00	8372,25
$T_4$	88,8	$L_4$	190,00	16872,00	7885,44
$T_{bi}$		$L_{bi}$		195,00	
$\Sigma T = 370,5$ $(\Sigma T)^2 = 137270,3$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 53346,00$ $n\Sigma TL = 213384,00$	$\Sigma T^2 = 34349,09$ $n\Sigma T^2 = 137396,36$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -11,94$$

$$b_{1,4} = 1251,12$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 88,44 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$		201,00	
$T_5$	63,5	$L_5$	206,00	13081,00	4032,25
$T_6$	60,6	$L_6$	236,00	14301,60	3672,36
$T_{ai}$		$L_{ai}$		241,00	
$\Sigma T = 124,1$ $(\Sigma T)^2 = 15400,8$		$\Sigma L = 442,00$		$\Sigma TL = 27382,60$ $n\Sigma TL = 54765,20$	$\Sigma T^2 = 7704,61$ $n\Sigma T^2 = 15409,22$

$$m_{5,6} = -10,34$$

$$b_{5,6} = 862,90$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 63,98 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 60,12 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$		245,45	
$T_7$	39,2	$L_7$	250,45	9817,64	1536,64
$T_8$	36,8	$L_8$	280,45	10320,56	1354,24
$T_9$	34,5	$L_9$	310,45	10710,53	1190,25
$T_{10}$	32,3	$L_{10}$	340,45	10996,54	1043,29
$\Sigma T = 142,8$ $(\Sigma T)^2 = 20391,8$		$\Sigma L = 1181,80$		$\Sigma TL = 41845,26$ $n\Sigma TL = 167381,04$	$\Sigma T^2 = 5124,42$ $n\Sigma T^2 = 20497,68$

$$m_{7,10} = -13,04$$

$$b_{7,10} = 760,93$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 39,53 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 24,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 20,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Komposisi 40 %Sn - 60 %Al,

$T_0 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit kedua,

$L_a = (4,45 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (6,00 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	96,6	$L_1$	100,00	9660,00	9331,56
$T_2$	94,1	$L_2$	130,00	12233,00	8854,81
$T_3$	91,7	$L_3$	160,00	14672,00	8408,89
$T_4$	89,2	$L_4$	190,00	16948,00	7956,64
$T_{bi}$		$L_{bi}$		195,00	
$\Sigma T = 371,6$ $(\Sigma T)^2 = 138086,6$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 53513,00$ $n\Sigma TL = 214052,00$	$\Sigma T^2 = 34551,90$ $n\Sigma T^2 = 138207,60$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -12,19$$

$$b_{1,4} = 1277,85$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 88,80 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$		201,00	
$T_5$	64,5	$L_5$	206,00	13287,00	4160,25
$T_6$	61,7	$L_6$	236,00	14561,20	3806,89
$T_{ai}$		$L_{ai}$		241,00	
$\Sigma T = 126,2$ $(\Sigma T)^2 = 15926,4$		$\Sigma L = 442,00$		$\Sigma TL = 27848,20$ $n\Sigma TL = 55696,40$	$\Sigma T^2 = 7967,14$ $n\Sigma T^2 = 15934,28$

$$m_{5,6} = -10,71$$

$$b_{5,6} = 897,07$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 64,97 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 61,23 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$		245,45	
$T_7$	40,6	$L_7$	250,45	10168,27	1648,36
$T_8$	38,2	$L_8$	280,45	10713,19	1459,24
$T_9$	36	$L_9$	310,45	11176,20	1296
$T_{10}$	33,8	$L_{10}$	340,45	11507,21	1142,44
$\Sigma T = 148,6$ $(\Sigma T)^2 = 22082,0$		$\Sigma L = 1181,80$		$\Sigma TL = 43564,87$ $n\Sigma TL = 174259,48$	$\Sigma T^2 = 5546,04$ $n\Sigma T^2 = 22184,16$

$$m_{7,10} = -13,27$$

$$b_{7,10} = 788,36$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 40,92 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 23,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 20,3 \text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Komposisi 40 %Sn - 60 %Al,

$T_0 = 150 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit pertama,

$L_a = (4,45 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (6,00 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	145	$L_1$	100,00	14500,00	21025
$T_2$	140,7	$L_2$	130,00	18291,00	19796,49
$T_3$	136,6	$L_3$	160,00	21856,00	18659,56
$T_4$	132,4	$L_4$	190,00	25156,00	17529,76
$T_{bi}$		$L_{bi}$		195,00	
$\Sigma T = 554,7$ $(\Sigma T)^2 = 307692,1$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 79803,00$ $n\Sigma TL = 319212,00$	$\Sigma T^2 = 77010,81$ $n\Sigma T^2 = 308043,24$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -7,16$$

$$b_{1,4} = 1137,82$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 131,69 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$		201,00	
$T_5$	90,9	$L_5$	206,00	18725,40	8262,81
$T_6$	86,3	$L_6$	236,00	20366,80	7447,69
$T_{ai}$		$L_{ai}$		241,00	
$\Sigma T = 177,2$ $(\Sigma T)^2 = 31399,8$		$\Sigma L = 442,00$		$\Sigma TL = 39092,20$ $n\Sigma TL = 78184,40$	$\Sigma T^2 = 15710,50$ $n\Sigma T^2 = 31421,00$

$$m_{5,6} = -6,52$$

$$b_{5,6} = 798,83$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 91,67 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 85,53 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$		245,45	
$T_7$	50,6	$L_7$	250,45	12672,77	2560,36
$T_8$	46,6	$L_8$	280,45	13068,97	2171,56
$T_9$	42,8	$L_9$	310,45	13287,26	1831,84
$T_{10}$	39,2	$L_{10}$	340,45	13345,64	1536,64
$\Sigma T = 179,2$ $(\Sigma T)^2 = 32112,6$		$\Sigma L = 1181,80$		$\Sigma TL = 52374,64$ $n\Sigma TL = 209498,56$	$\Sigma T^2 = 8100,40$ $n\Sigma T^2 = 32401,60$

$$m_{7,10} = -7,89$$

$$b_{7,10} = 648,94$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 51,14 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 40,0 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 34,4 \text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Komposisi 40 %Sn - 60 %Al,

$T_0 = 150 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit kedua,

$L_a = (4,45 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (6,00 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	145	$L_1$	100,00	14500,00	21025
$T_2$	140,8	$L_2$	130,00	18304,00	19824,64
$T_3$	136,7	$L_3$	160,00	21872,00	18686,89
$T_4$	132,5	$L_4$	190,00	25175,00	17556,25
$T_{bi}$		$L_{bi}$	195,00		
$\Sigma T = 555,0$ $(\Sigma T)^2 = 308025,0$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 79851,00$ $n\Sigma TL = 319404,00$	$\Sigma T^2 = 77092,78$ $n\Sigma T^2 = 308371,12$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -7,21$$

$$b_{1,4} = 1145,58$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 131,82 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$	201,00		
$T_5$	91,5	$L_5$	206,00	18849,00	8372,25
$T_6$	86,8	$L_6$	236,00	20484,80	7534,24
$T_{ai}$		$L_{ai}$	241,00		
$\Sigma T = 178,3$ $(\Sigma T)^2 = 31790,9$		$\Sigma L = 442,00$		$\Sigma TL = 39333,80$ $n\Sigma TL = 78667,60$	$\Sigma T^2 = 15906,49$ $n\Sigma T^2 = 31812,98$

$$m_{5,6} = -6,38$$

$$b_{5,6} = 790,04$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 92,28 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 86,02 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$	245,45		
$T_7$	51,2	$L_7$	250,45	12823,04	2621,44
$T_8$	47,3	$L_8$	280,45	13265,29	2237,29
$T_9$	43,4	$L_9$	310,45	13473,53	1883,56
$T_{10}$	39,7	$L_{10}$	340,45	13515,87	1576,09
$\Sigma T = 181,6$ $(\Sigma T)^2 = 32978,6$		$\Sigma L = 1181,80$		$\Sigma TL = 53077,72$ $n\Sigma TL = 212310,88$	$\Sigma T^2 = 8318,38$ $n\Sigma T^2 = 33273,52$

$$m_{7,10} = -7,81$$

$$b_{7,10} = 650,08$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 51,80 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 39,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 34,2 \text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Komposisi 40 %Sn - 60 %Al,

$T_0 = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit pertama,

$L_a = (4,45 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (6,00 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	192,9	$L_1$	100,00	19290,00	37210,41
$T_2$	187	$L_2$	130,00	24310,00	34969
$T_3$	181,4	$L_3$	160,00	29024,00	32905,96
$T_4$	175,6	$L_4$	190,00	33364,00	30835,36
$T_{bi}$		$L_{bi}$		195,00	
$\Sigma T = 736,9$ $(\Sigma T)^2 = 543021,6$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 105988,00$ $n\Sigma TL = 423952,00$	$\Sigma T^2 = 135920,73$ $n\Sigma T^2 = 543682,92$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -5,22$$

$$b_{1,4} = 1106,09$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 174,64 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$		201,00	
$T_5$	117	$L_5$	206,00	24102,00	13689
$T_6$	110,5	$L_6$	236,00	26078,00	12210,25
$T_{ai}$		$L_{ai}$		241,00	
$\Sigma T = 227,5$ $(\Sigma T)^2 = 51756,3$		$\Sigma L = 442,00$		$\Sigma TL = 50180,00$ $n\Sigma TL = 100360,00$	$\Sigma T^2 = 25899,25$ $n\Sigma T^2 = 51798,50$

$$m_{5,6} = -4,62$$

$$b_{5,6} = 746,00$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 118,08 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 109,42 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$		245,45	
$T_7$	60,7	$L_7$	250,45	15202,32	3684,49
$T_8$	55,2	$L_8$	280,45	15480,84	3047,04
$T_9$	49,9	$L_9$	310,45	15491,46	2490,01
$T_{10}$	44,7	$L_{10}$	340,45	15218,12	1998,09
$\Sigma T = 210,5$ $(\Sigma T)^2 = 44310,3$		$\Sigma L = 1181,80$		$\Sigma TL = 61392,73$ $n\Sigma TL = 245570,90$	$\Sigma T^2 = 11219,63$ $n\Sigma T^2 = 44878,52$

$$m_{7,10} = -5,63$$

$$b_{7,10} = 591,60$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 61,51 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 56,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 47,9 \text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Komposisi 40 %Sn - 60 %Al,

$T_0 = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit kedua,

$L_a = (4,45 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (6,00 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	193	$L_1$	100,00	19300,00	37249
$T_2$	187,2	$L_2$	130,00	24336,00	35043,84
$T_3$	181,5	$L_3$	160,00	29040,00	32942,25
$T_4$	175,8	$L_4$	190,00	33402,00	30905,64
$T_{bi}$		$L_{bi}$	195,00		
$\Sigma T = 737,5$ $(\Sigma T)^2 = 543906,3$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 106078,00$ $n\Sigma TL = 424312,00$	$\Sigma T^2 = 136140,73$ $n\Sigma T^2 = 544562,92$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -5,24$$

$$b_{1,4} = 1110,30$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 174,82 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$	201,00		
$T_5$	117,5	$L_5$	206,00	24205,00	13806,25
$T_6$	111	$L_6$	236,00	26196,00	12321
$T_{ai}$		$L_{ai}$	241,00		
$\Sigma T = 228,5$ $(\Sigma T)^2 = 52212,3$		$\Sigma L = 442,00$		$\Sigma TL = 50401,00$ $n\Sigma TL = 100802,00$	$\Sigma T^2 = 26127,25$ $n\Sigma T^2 = 52254,50$

$$m_{5,6} = -4,62$$

$$b_{5,6} = 748,31$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 118,58 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 109,92 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$	245,45		
$T_7$	61,4	$L_7$	250,45	15377,63	3769,96
$T_8$	55,8	$L_8$	280,45	15649,11	3113,64
$T_9$	50,5	$L_9$	310,45	15677,73	2550,25
$T_{10}$	45,2	$L_{10}$	340,45	15388,34	2043,04
$\Sigma T = 212,9$ $(\Sigma T)^2 = 45326,4$		$\Sigma L = 1181,80$		$\Sigma TL = 62092,81$ $n\Sigma TL = 248371,22$	$\Sigma T^2 = 11476,89$ $n\Sigma T^2 = 45907,56$

$$m_{7,10} = -5,56$$

$$b_{7,10} = 591,64$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 62,21 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 56,2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 47,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Komposisi 50 %Sn - 50 %Al,

$T_0 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit pertama,

$L_a = (4,20 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (6,60 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	95,9	$L_1$	100,00	9590,00	9196,81
$T_2$	93,3	$L_2$	130,00	12129,00	8704,89
$T_3$	90,8	$L_3$	160,00	14528,00	8244,64
$T_4$	88,1	$L_4$	190,00	16739,00	7761,61
$T_{bi}$		$L_{bi}$	195,00		
$\Sigma T = 368,1$ $(\Sigma T)^2 = 135497,6$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 52986,00$ $n\Sigma TL = 211944,00$	$\Sigma T^2 = 33907,95$ $n\Sigma T^2 = 135631,80$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -11,58$$

$$b_{1,4} = 1210,70$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 87,71 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$	201,60		
$T_5$	62,8	$L_5$	206,60	12974,48	3943,84
$T_6$	59,7	$L_6$	236,60	14125,02	3564,09
$T_{ai}$		$L_{ai}$	241,60		
$\Sigma T = 122,5$ $(\Sigma T)^2 = 15006,3$		$\Sigma L = 443,20$		$\Sigma TL = 27099,50$ $n\Sigma TL = 54199,00$	$\Sigma T^2 = 7507,93$ $n\Sigma T^2 = 15015,86$

$$m_{5,6} = -9,68$$

$$b_{5,6} = 814,34$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 63,32 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 59,18 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$	245,80		
$T_7$	43,7	$L_7$	250,80	10959,96	1909,69
$T_8$	41,1	$L_8$	280,80	11540,88	1689,21
$T_9$	38,7	$L_9$	310,80	12027,96	1497,69
$T_{10}$	36,4	$L_{10}$	340,80	12405,12	1324,96
$\Sigma T = 159,9$ $(\Sigma T)^2 = 25568,0$		$\Sigma L = 1183,20$		$\Sigma TL = 46933,92$ $n\Sigma TL = 187735,68$	$\Sigma T^2 = 6421,55$ $n\Sigma T^2 = 25686,20$

$$m_{7,10} = -12,34$$

$$b_{7,10} = 788,93$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 44,03 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 24,4 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 15,2 \text{ }^\circ\text{C}$$



➤ Komposisi 50 %Sn - 50 %Al,

$T_0 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit kedua,

$L_a = (4,20 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (6,60 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	96,3	$L_1$	100,00	9630,00	9273,69
$T_2$	93,6	$L_2$	130,00	12168,00	8760,96
$T_3$	91,1	$L_3$	160,00	14576,00	8299,21
$T_4$	88,5	$L_4$	190,00	16815,00	7832,25
$T_{bi}$		$L_{bi}$	195,00		
$\Sigma T = 369,5$ $(\Sigma T)^2 = 136530,3$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 53189,00$ $n\Sigma TL = 212756,00$	$\Sigma T^2 = 34166,11$ $n\Sigma T^2 = 136664,44$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -11,58$$

$$b_{1,4} = 1214,76$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 88,06 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$	201,60		
$T_5$	63,6	$L_5$	206,60	13139,76	4044,96
$T_6$	60,4	$L_6$	236,60	14290,64	3648,16
$T_{ai}$		$L_{ai}$	241,60		
$\Sigma T = 124,0$ $(\Sigma T)^2 = 15376,0$		$\Sigma L = 443,20$		$\Sigma TL = 27430,40$ $n\Sigma TL = 54860,80$	$\Sigma T^2 = 7693,12$ $n\Sigma T^2 = 15386,24$

$$m_{5,6} = -9,37$$

$$b_{5,6} = 802,85$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 64,13 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 59,87 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$	245,80		
$T_7$	44,4	$L_7$	250,80	11135,52	1971,36
$T_8$	41,8	$L_8$	280,80	11737,44	1747,24
$T_9$	39,4	$L_9$	310,80	12245,52	1552,36
$T_{10}$	37	$L_{10}$	340,80	12609,60	1369
$\Sigma T = 162,6$ $(\Sigma T)^2 = 26438,8$		$\Sigma L = 1183,20$		$\Sigma TL = 47728,08$ $n\Sigma TL = 190912,32$	$\Sigma T^2 = 6639,96$ $n\Sigma T^2 = 26559,84$

$$m_{7,10} = -12,19$$

$$b_{7,10} = 791,34$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 44,75 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 23,9 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 15,1 \text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Komposisi 50 %Sn - 50 %Al,

$T_0 = 150 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit pertama,

$L_a = (4,20 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (6,60 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	144,2	$L_1$	100,00	14420,00	20793,64
$T_2$	139,5	$L_2$	130,00	18135,00	19460,25
$T_3$	135,2	$L_3$	160,00	21632,00	18279,04
$T_4$	130,4	$L_4$	190,00	24776,00	17004,16
$T_{bi}$		$L_{bi}$	195,00		
$\Sigma T = 549,3$ $(\Sigma T)^2 = 301730,5$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 78963,00$ $n\Sigma TL = 315852,00$	$\Sigma T^2 = 75537,09$ $n\Sigma T^2 = 302148,36$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -6,56$$

$$b_{1,4} = 1046,11$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 129,71 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$	201,60		
$T_5$	89	$L_5$	206,60	18387,40	7921
$T_6$	83,5	$L_6$	236,60	19756,10	6972,25
$T_{ai}$		$L_{ai}$	241,60		
$\Sigma T = 172,5$ $(\Sigma T)^2 = 29756,3$		$\Sigma L = 443,20$		$\Sigma TL = 38143,50$ $n\Sigma TL = 76287,00$	$\Sigma T^2 = 14893,25$ $n\Sigma T^2 = 29786,50$

$$m_{5,6} = -5,45$$

$$b_{5,6} = 692,05$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 89,92 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 82,58 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$	245,80		
$T_7$	55,6	$L_7$	250,80	13944,48	3091,36
$T_8$	51,1	$L_8$	280,80	14348,88	2611,21
$T_9$	46,7	$L_9$	310,80	14514,36	2180,89
$T_{10}$	42,7	$L_{10}$	340,80	14552,16	1823,29
$\Sigma T = 196,1$ $(\Sigma T)^2 = 38455,2$		$\Sigma L = 1183,20$		$\Sigma TL = 57359,88$ $n\Sigma TL = 229439,52$	$\Sigma T^2 = 9706,75$ $n\Sigma T^2 = 38827,00$

$$m_{7,10} = -6,96$$

$$b_{7,10} = 636,80$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 56,21 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 39,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 26,4 \text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Komposisi 50 %Sn - 50 %Al,

$T_0 = 150 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit kedua,

$L_a = (4,20 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (6,60 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	144,2	$L_1$	100,00	14420,00	20793,64
$T_2$	139,6	$L_2$	130,00	18148,00	19488,16
$T_3$	135,2	$L_3$	160,00	21632,00	18279,04
$T_4$	130,5	$L_4$	190,00	24795,00	17030,25
$T_{bi}$		$L_{bi}$	195,00		
$\Sigma T = 549,5$ $(\Sigma T)^2 = 301950,3$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 78995,00$ $n\Sigma TL = 315980,00$	$\Sigma T^2 = 75591,09$ $n\Sigma T^2 = 302364,36$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -6,59$$

$$b_{1,4} = 1050,64$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 129,79 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$	201,60		
$T_5$	89,9	$L_5$	206,60	18573,34	8082,01
$T_6$	84,4	$L_6$	236,60	19969,04	7123,36
$T_{ai}$		$L_{ai}$	241,60		
$\Sigma T = 174,3$ $(\Sigma T)^2 = 30380,5$		$\Sigma L = 443,20$		$\Sigma TL = 38542,38$ $n\Sigma TL = 77084,76$	$\Sigma T^2 = 15205,37$ $n\Sigma T^2 = 30410,74$

$$m_{5,6} = -5,45$$

$$b_{5,6} = 696,96$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 90,82 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 83,48 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$	245,80		
$T_7$	56,3	$L_7$	250,80	14120,04	3169,69
$T_8$	51,8	$L_8$	280,80	14545,44	2683,24
$T_9$	47,5	$L_9$	310,80	14763,00	2256,25
$T_{10}$	43,3	$L_{10}$	340,80	14756,64	1874,89
$\Sigma T = 198,9$ $(\Sigma T)^2 = 39561,2$		$\Sigma L = 1183,20$		$\Sigma TL = 58185,12$ $n\Sigma TL = 232740,48$	$\Sigma T^2 = 9984,07$ $n\Sigma T^2 = 39936,28$

$$m_{7,10} = -6,93$$

$$b_{7,10} = 640,23$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 56,94 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 39,0 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 26,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Komposisi 50 %Sn - 50 %Al,

$T_0 = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit pertama,

$L_a = (4,20 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (6,60 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	191,7	$L_1$	100,00	19170,00	36748,89
$T_2$	185,1	$L_2$	130,00	24063,00	34262,01
$T_3$	178,7	$L_3$	160,00	28592,00	31933,69
$T_4$	171,9	$L_4$	190,00	32661,00	29549,61
$T_{bi}$		$L_{bi}$		195,00	
$\Sigma T = 727,4$ $(\Sigma T)^2 = 529110,8$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 104486,00$ $n\Sigma TL = 417944,00$	$\Sigma T^2 = 132494,20$ $n\Sigma T^2 = 529976,80$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -4,56$$

$$b_{1,4} = 974,00$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 170,88 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$		201,60	
$T_5$	116,7	$L_5$	206,60	24110,22	13618,89
$T_6$	108,7	$L_6$	236,60	25718,42	11815,69
$T_{ai}$		$L_{ai}$		241,60	
$\Sigma T = 225,4$ $(\Sigma T)^2 = 50805,2$		$\Sigma L = 443,20$		$\Sigma TL = 49828,64$ $n\Sigma TL = 99657,28$	$\Sigma T^2 = 25434,58$ $n\Sigma T^2 = 50869,16$

$$m_{5,6} = -3,75$$

$$b_{5,6} = 644,23$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 118,03 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 107,37 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$		245,80	
$T_7$	68,3	$L_7$	250,80	17129,64	4664,89
$T_8$	61,7	$L_8$	280,80	17325,36	3806,89
$T_9$	55,5	$L_9$	310,80	17249,40	3080,25
$T_{10}$	49,4	$L_{10}$	340,80	16835,52	2440,36
$\Sigma T = 234,9$ $(\Sigma T)^2 = 55178,0$		$\Sigma L = 1183,20$		$\Sigma TL = 68539,92$ $n\Sigma TL = 274159,68$	$\Sigma T^2 = 13992,39$ $n\Sigma T^2 = 55969,56$

$$m_{7,10} = -4,77$$

$$b_{7,10} = 575,79$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 69,21 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 52,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 38,2 \text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Komposisi 50 %Sn - 50 %Al,

$T_0 = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit kedua,

$L_a = (4,20 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (6,60 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	191,7	$L_1$	100,00	19170,00	36748,89
$T_2$	185	$L_2$	130,00	24050,00	34225
$T_3$	178,7	$L_3$	160,00	28592,00	31933,69
$T_4$	171,9	$L_4$	190,00	32661,00	29549,61
$T_{bi}$		$L_{bi}$	195,00		
$\Sigma T = 727,3$ $(\Sigma T)^2 = 528965,3$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 104473,00$ $n\Sigma TL = 417892,00$	$\Sigma T^2 = 132457,19$ $n\Sigma T^2 = 529828,76$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -4,57$$

$$b_{1,4} = 975,09$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 170,87 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$	201,60		
$T_5$	117	$L_5$	206,60	24172,20	13689
$T_6$	109	$L_6$	236,60	25789,40	11881
$T_{ai}$		$L_{ai}$	241,60		
$\Sigma T = 226,0$ $(\Sigma T)^2 = 51076,0$		$\Sigma L = 443,20$		$\Sigma TL = 49961,60$ $n\Sigma TL = 99923,20$	$\Sigma T^2 = 25570,00$ $n\Sigma T^2 = 51140,00$

$$m_{5,6} = -3,75$$

$$b_{5,6} = 645,35$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 118,33 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 107,67 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$	245,80		
$T_7$	68,7	$L_7$	250,80	17229,96	4719,69
$T_8$	62,3	$L_8$	280,80	17493,84	3881,29
$T_9$	56,4	$L_9$	310,80	17529,12	3180,96
$T_{10}$	51	$L_{10}$	340,80	17380,80	2601
$\Sigma T = 238,4$ $(\Sigma T)^2 = 56834,6$		$\Sigma L = 1183,20$		$\Sigma TL = 69633,72$ $n\Sigma TL = 278534,88$	$\Sigma T^2 = 14382,94$ $n\Sigma T^2 = 57531,76$

$$m_{7,10} = -5,08$$

$$b_{7,10} = 598,42$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 69,45 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 52,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 38,2 \text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Komposisi 60 %Sn - 40 %Al,

$T_0 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit pertama,

$L_a = (3,75 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (4,80 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	95,9	$L_1$	100,00	9590,00	9196,81
$T_2$	93,1	$L_2$	130,00	12103,00	8667,61
$T_3$	90,4	$L_3$	160,00	14464,00	8172,16
$T_4$	87,5	$L_4$	190,00	16625,00	7656,25
$T_{bi}$		$L_{bi}$	195,00		
$\Sigma T = 366,9$ $(\Sigma T)^2 = 134615,6$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 52782,00$ $n\Sigma TL = 211128,00$	$\Sigma T^2 = 33692,83$ $n\Sigma T^2 = 134771,32$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -10,75$$

$$b_{1,4} = 1131,11$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 87,07 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$	199,80		
$T_5$	64	$L_5$	204,80	13107,20	4096
$T_6$	61,1	$L_6$	234,80	14346,28	3733,21
$T_{ai}$		$L_{ai}$	239,80		
$\Sigma T = 125,1$ $(\Sigma T)^2 = 15650,0$		$\Sigma L = 439,60$		$\Sigma TL = 27453,48$ $n\Sigma TL = 54906,96$	$\Sigma T^2 = 7829,21$ $n\Sigma T^2 = 15658,42$

$$m_{5,6} = -10,34$$

$$b_{5,6} = 866,87$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 64,48 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 60,62 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$	243,55		
$T_7$	42,5	$L_7$	248,55	10563,38	1806,25
$T_8$	39,8	$L_8$	278,55	11086,29	1584,04
$T_9$	37,3	$L_9$	308,55	11508,92	1391,29
$T_{10}$	34,8	$L_{10}$	338,55	11781,54	1211,04
$\Sigma T = 154,4$ $(\Sigma T)^2 = 23839,4$		$\Sigma L = 1174,20$		$\Sigma TL = 44940,12$ $n\Sigma TL = 179760,48$	$\Sigma T^2 = 5992,62$ $n\Sigma T^2 = 23970,48$

$$m_{7,10} = -11,71$$

$$b_{7,10} = 745,73$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 42,87 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 22,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 17,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Komposisi 60 %Sn - 40 %Al,

$T_0 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit kedua,

$L_a = (3,75 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (4,80 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	96,2	$L_1$	100,00	9620,00	9254,44
$T_2$	93,3	$L_2$	130,00	12129,00	8704,89
$T_3$	90,7	$L_3$	160,00	14512,00	8226,49
$T_4$	87,8	$L_4$	190,00	16682,00	7708,84
$T_{bi}$		$L_{bi}$	195,00		
$\Sigma T = 368,0$ $(\Sigma T)^2 = 135424,0$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 52943,00$ $n\Sigma TL = 211772,00$	$\Sigma T^2 = 33894,66$ $n\Sigma T^2 = 135578,64$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -10,79$$

$$b_{1,4} = 1137,34$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 87,36 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$	199,80		
$T_5$	65	$L_5$	204,80	13312,00	4225
$T_6$	62	$L_6$	234,80	14557,60	3844
$T_{ai}$		$L_{ai}$	239,80		
$\Sigma T = 127,0$ $(\Sigma T)^2 = 16129,0$		$\Sigma L = 439,60$		$\Sigma TL = 27869,60$ $n\Sigma TL = 55739,20$	$\Sigma T^2 = 8069,00$ $n\Sigma T^2 = 16138,00$

$$m_{5,6} = -10,00$$

$$b_{5,6} = 854,80$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 65,50 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 61,50 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$	243,55		
$T_7$	43,4	$L_7$	248,55	10787,07	1883,56
$T_8$	40,7	$L_8$	278,55	11336,99	1656,49
$T_9$	38,1	$L_9$	308,55	11755,76	1451,61
$T_{10}$	35,7	$L_{10}$	338,55	12086,24	1274,49
$\Sigma T = 157,9$ $(\Sigma T)^2 = 24932,4$		$\Sigma L = 1174,20$		$\Sigma TL = 45966,05$ $n\Sigma TL = 183864,18$	$\Sigma T^2 = 6266,15$ $n\Sigma T^2 = 25064,60$

$$m_{7,10} = -11,67$$

$$b_{7,10} = 754,03$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 43,76 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 21,9 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 17,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Komposisi 60 %Sn - 40 %Al,

$T_0 = 150 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit pertama,

$L_a = (3,75 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (4,80 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	144	$L_1$	100,00	14400,00	20736
$T_2$	139,1	$L_2$	130,00	18083,00	19348,81
$T_3$	134,6	$L_3$	160,00	21536,00	18117,16
$T_4$	129,6	$L_4$	190,00	24624,00	16796,16
$T_{bi}$		$L_{bi}$	195,00		
$\Sigma T = 547,3$ $(\Sigma T)^2 = 299537,3$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 78643,00$ $n\Sigma TL = 314572,00$	$\Sigma T^2 = 74998,13$ $n\Sigma T^2 = 299992,52$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -6,29$$

$$b_{1,4} = 1005,21$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 128,87 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$	199,80		
$T_5$	92,4	$L_5$	204,80	18923,52	8537,76
$T_6$	87,2	$L_6$	234,80	20474,56	7603,84
$T_{ai}$		$L_{ai}$	239,80		
$\Sigma T = 179,6$ $(\Sigma T)^2 = 32256,2$		$\Sigma L = 439,60$		$\Sigma TL = 39398,08$ $n\Sigma TL = 78796,16$	$\Sigma T^2 = 16141,60$ $n\Sigma T^2 = 32283,20$

$$m_{5,6} = -5,77$$

$$b_{5,6} = 737,88$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 93,27 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 86,33 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$	243,55		
$T_7$	55,3	$L_7$	248,55	13744,82	3058,09
$T_8$	50,6	$L_8$	278,55	14094,63	2560,36
$T_9$	46,1	$L_9$	308,55	14224,16	2125,21
$T_{10}$	41,9	$L_{10}$	338,55	14185,25	1755,61
$\Sigma T = 193,9$ $(\Sigma T)^2 = 37597,2$		$\Sigma L = 1174,20$		$\Sigma TL = 56248,85$ $n\Sigma TL = 224995,38$	$\Sigma T^2 = 9499,27$ $n\Sigma T^2 = 37997,08$

$$m_{7,10} = -6,71$$

$$b_{7,10} = 618,68$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 55,93 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 35,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 30,4 \text{ }^\circ\text{C}$$



➤ Komposisi 60 %Sn - 40 %Al,

$T_0 = 150 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit kedua,

$L_a = (3,75 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (4,80 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	144,1	$L_1$	100,00	14410,00	20764,81
$T_2$	139,3	$L_2$	130,00	18109,00	19404,49
$T_3$	134,7	$L_3$	160,00	21552,00	18144,09
$T_4$	129,8	$L_4$	190,00	24662,00	16848,04
$T_{bi}$		$L_{bi}$	195,00		
$\Sigma T = 547,9$ $(\Sigma T)^2 = 300194,4$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 78733,00$ $n\Sigma TL = 314932,00$	$\Sigma T^2 = 75161,43$ $n\Sigma T^2 = 300645,72$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -6,31$$

$$b_{1,4} = 1009,99$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 129,06 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$	199,80		
$T_5$	93,2	$L_5$	204,80	19087,36	8686,24
$T_6$	88	$L_6$	234,80	20662,40	7744
$T_{ai}$		$L_{ai}$	239,80		
$\Sigma T = 181,2$ $(\Sigma T)^2 = 32833,4$		$\Sigma L = 439,60$		$\Sigma TL = 39749,76$ $n\Sigma TL = 79499,52$	$\Sigma T^2 = 16430,24$ $n\Sigma T^2 = 32860,48$

$$m_{5,6} = -5,77$$

$$b_{5,6} = 742,49$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 94,07 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 87,13 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$	243,55		
$T_7$	56,2	$L_7$	248,55	13968,51	3158,44
$T_8$	51,5	$L_8$	278,55	14345,33	2652,25
$T_9$	47	$L_9$	308,55	14501,85	2209
$T_{10}$	42,6	$L_{10}$	338,55	14422,23	1814,76
$\Sigma T = 197,3$ $(\Sigma T)^2 = 38927,3$		$\Sigma L = 1174,20$		$\Sigma TL = 57237,92$ $n\Sigma TL = 228951,66$	$\Sigma T^2 = 9834,45$ $n\Sigma T^2 = 39337,80$

$$m_{7,10} = -6,62$$

$$b_{7,10} = 620,13$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 56,88 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 35,0 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 30,3 \text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Komposisi 60 %Sn - 40 %Al,

$T_0 = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit pertama,

$L_a = (3,75 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (4,80 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	191,4	$L_1$	100,00	19140,00	36633,96
$T_2$	184,5	$L_2$	130,00	23985,00	34040,25
$T_3$	177,9	$L_3$	160,00	28464,00	31648,41
$T_4$	170,7	$L_4$	190,00	32433,00	29138,49
$T_{bi}$		$L_{bi}$	195,00		
$\Sigma T = 724,5$ $(\Sigma T)^2 = 524900,3$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 104022,00$ $n\Sigma TL = 416088,00$	$\Sigma T^2 = 131461,11$ $n\Sigma T^2 = 525844,44$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -4,37$$

$$b_{1,4} = 935,73$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 169,67 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$	199,80		
$T_5$	122,5	$L_5$	204,80	25088,00	15006,25
$T_6$	114,9	$L_6$	234,80	26978,52	13202,01
$T_{ai}$		$L_{ai}$	239,80		
$\Sigma T = 237,4$ $(\Sigma T)^2 = 56358,8$		$\Sigma L = 439,60$		$\Sigma TL = 52066,52$ $n\Sigma TL = 104133,04$	$\Sigma T^2 = 28208,26$ $n\Sigma T^2 = 56416,52$

$$m_{5,6} = -3,95$$

$$b_{5,6} = 688,35$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 123,77 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 113,63 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$	243,55		
$T_7$	69	$L_7$	248,55	17149,95	4761
$T_8$	62,1	$L_8$	278,55	17297,96	3856,41
$T_9$	55,6	$L_9$	308,55	17155,38	3091,36
$T_{10}$	49,4	$L_{10}$	338,55	16724,37	2440,36
$\Sigma T = 236,1$ $(\Sigma T)^2 = 55743,2$		$\Sigma L = 1174,20$		$\Sigma TL = 68327,66$ $n\Sigma TL = 273310,62$	$\Sigma T^2 = 14149,13$ $n\Sigma T^2 = 56596,52$

$$m_{7,10} = -4,59$$

$$b_{7,10} = 564,57$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 69,91 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 45,9 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 43,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Komposisi 60 %Sn - 40 %Al,

$T_0 = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit kedua,

$L_a = (3,75 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (4,80 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	191,5	$L_1$	100,00	19150,00	36672,25
$T_2$	184,5	$L_2$	130,00	23985,00	34040,25
$T_3$	177,9	$L_3$	160,00	28464,00	31648,41
$T_4$	170,7	$L_4$	190,00	32433,00	29138,49
$T_{bi}$		$L_{bi}$	195,00		
$\Sigma T = 724,6$ $(\Sigma T)^2 = 525045,2$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 104032,00$ $n\Sigma TL = 416128,00$	$\Sigma T^2 = 131499,40$ $n\Sigma T^2 = 525997,60$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -4,35$$

$$b_{1,4} = 932,41$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 169,65 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$	199,80		
$T_5$	123,6	$L_5$	204,80	25313,28	15276,96
$T_6$	116	$L_6$	234,80	27236,80	13456
$T_{ai}$		$L_{ai}$	239,80		
$\Sigma T = 239,6$ $(\Sigma T)^2 = 57408,2$		$\Sigma L = 439,60$		$\Sigma TL = 52550,08$ $n\Sigma TL = 105100,16$	$\Sigma T^2 = 28732,96$ $n\Sigma T^2 = 57465,92$

$$m_{5,6} = -3,95$$

$$b_{5,6} = 692,69$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 124,87 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 114,73 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$	243,55		
$T_7$	70,2	$L_7$	248,55	17448,21	4928,04
$T_8$	63,3	$L_8$	278,55	17632,22	4006,89
$T_9$	56,8	$L_9$	308,55	17525,64	3226,24
$T_{10}$	50,4	$L_{10}$	338,55	17062,92	2540,16
$\Sigma T = 240,7$ $(\Sigma T)^2 = 57936,5$		$\Sigma L = 1174,20$		$\Sigma TL = 69668,99$ $n\Sigma TL = 278675,94$	$\Sigma T^2 = 14701,33$ $n\Sigma T^2 = 58805,32$

$$m_{7,10} = -4,55$$

$$b_{7,10} = 567,40$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 71,16 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 44,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 43,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Komposisi 80 %Sn - 20 %Al,

$T_0 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit pertama,

$L_a = (4,95 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (6,70 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

	$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$	$TL$	$T^2$
$T_1$	96,4	$L_1$	100,00	9640,00	9292,96
$T_2$	94,1	$L_2$	130,00	12233,00	8854,81
$T_3$	92	$L_3$	160,00	14720,00	8464
$T_4$	89,8	$L_4$	190,00	17062,00	8064,04
$T_{bi}$		$L_{bi}$	195,00		
	$\Sigma T = 372,3$ $(\Sigma T)^2 = 138607,3$		$\Sigma L = 580,00$	$\Sigma TL = 53655,00$ $n\Sigma TL = 214620,00$	$\Sigma T^2 = 34675,81$ $n\Sigma T^2 = 138703,24$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -13,69$$

$$b_{1,4} = 1419,63$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 89,42 \text{ }^\circ\text{C}$$

	$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$	$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$	201,70		
$T_5$	61,7	$L_5$	206,70	12753,39	3806,89
$T_6$	59,4	$L_6$	236,70	14059,98	3528,36
$T_{ai}$		$L_{ai}$	241,70		
	$\Sigma T = 121,1$ $(\Sigma T)^2 = 14665,2$		$\Sigma L = 443,40$	$\Sigma TL = 26813,37$ $n\Sigma TL = 53626,74$	$\Sigma T^2 = 7335,25$ $n\Sigma T^2 = 14670,50$

$$m_{5,6} = -13,04$$

$$b_{5,6} = 1011,48$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 62,08 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 59,02 \text{ }^\circ\text{C}$$

	$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$	$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$	246,65		
$T_7$	38,6	$L_7$	251,65	9713,69	1489,96
$T_8$	36,6	$L_8$	281,65	10308,39	1339,56
$T_9$	34,6	$L_9$	311,65	10783,09	1197,16
$T_{10}$	32,6	$L_{10}$	341,65	11137,79	1062,76
	$\Sigma T = 142,4$ $(\Sigma T)^2 = 20277,8$		$\Sigma L = 1186,60$	$\Sigma TL = 41942,96$ $n\Sigma TL = 167771,84$	$\Sigma T^2 = 5089,44$ $n\Sigma T^2 = 20357,76$

$$m_{7,10} = -15,00$$

$$b_{7,10} = 830,65$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 38,93 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 27,3 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 20,1 \text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Komposisi 80 %Sn - 20 %Al,

$T_0 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit kedua,

$L_a = (4,95 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (6,70 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	96,8	$L_1$	100,00	9680,00	9370,24
$T_2$	94,5	$L_2$	130,00	12285,00	8930,25
$T_3$	92,3	$L_3$	160,00	14768,00	8519,29
$T_4$	90,2	$L_4$	190,00	17138,00	8136,04
$T_{bi}$		$L_{bi}$		195,00	
$\Sigma T = 373,8$ $(\Sigma T)^2 = 139726,4$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 53871,00$ $n\Sigma TL = 215484,00$	$\Sigma T^2 = 34955,82$ $n\Sigma T^2 = 139823,28$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -13,63$$

$$b_{1,4} = 1418,79$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 89,78 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$		201,70	
$T_5$	62,8	$L_5$	206,70	12980,76	3943,84
$T_6$	60,4	$L_6$	236,70	14296,68	3648,16
$T_{ai}$		$L_{ai}$		241,70	
$\Sigma T = 123,2$ $(\Sigma T)^2 = 15178,2$		$\Sigma L = 443,40$		$\Sigma TL = 27277,44$ $n\Sigma TL = 54554,88$	$\Sigma T^2 = 7592,00$ $n\Sigma T^2 = 15184,00$

$$m_{5,6} = -12,50$$

$$b_{5,6} = 991,70$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 63,20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 60,00 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$		246,65	
$T_7$	39,5	$L_7$	251,65	9940,18	1560,25
$T_8$	37,5	$L_8$	281,65	10561,88	1406,25
$T_9$	35,3	$L_9$	311,65	11001,25	1246,09
$T_{10}$	33,3	$L_{10}$	341,65	11376,95	1108,89
$\Sigma T = 145,6$ $(\Sigma T)^2 = 21199,4$		$\Sigma L = 1186,60$		$\Sigma TL = 42880,24$ $n\Sigma TL = 171520,96$	$\Sigma T^2 = 5321,48$ $n\Sigma T^2 = 21285,92$

$$m_{7,10} = -14,42$$

$$b_{7,10} = 821,46$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 39,87 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 26,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 20,1 \text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Komposisi 80 %Sn - 20 %Al,

$T_0 = 150 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit pertama,

$L_a = (4,95 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (6,70 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	145,1	$L_1$	100,00	14510,00	21054,01
$T_2$	141	$L_2$	130,00	18330,00	19881
$T_3$	137,3	$L_3$	160,00	21968,00	18851,29
$T_4$	133,5	$L_4$	190,00	25365,00	17822,25
$T_{bi}$		$L_{bi}$	195,00		
$\Sigma T = 556,9$ $(\Sigma T)^2 = 310137,6$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 80173,00$ $n\Sigma TL = 320692,00$	$\Sigma T^2 = 77608,55$ $n\Sigma T^2 = 310434,20$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -7,79$$

$$b_{1,4} = 1229,36$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 132,81 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$	201,70		
$T_5$	89,7	$L_5$	206,70	18540,99	8046,09
$T_6$	85,5	$L_6$	236,70	20237,85	7310,25
$T_{ai}$		$L_{ai}$	241,70		
$\Sigma T = 175,2$ $(\Sigma T)^2 = 30695,0$		$\Sigma L = 443,40$		$\Sigma TL = 38778,84$ $n\Sigma TL = 77557,68$	$\Sigma T^2 = 15356,34$ $n\Sigma T^2 = 30712,68$

$$m_{5,6} = -7,14$$

$$b_{5,6} = 847,41$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 90,40 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 84,80 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$	246,65		
$T_7$	49	$L_7$	251,65	12330,85	2401
$T_8$	45,4	$L_8$	281,65	12786,91	2061,16
$T_9$	41,8	$L_9$	311,65	13026,97	1747,24
$T_{10}$	38,4	$L_{10}$	341,65	13119,36	1474,56
$\Sigma T = 174,6$ $(\Sigma T)^2 = 30485,2$		$\Sigma L = 1186,60$		$\Sigma TL = 51264,09$ $n\Sigma TL = 205056,36$	$\Sigma T^2 = 7683,96$ $n\Sigma T^2 = 30735,84$

$$m_{7,10} = -8,47$$

$$b_{7,10} = 666,49$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 49,55 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 42,4 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 35,2 \text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Komposisi 80 %Sn - 20 %Al,

$T_0 = 150 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit kedua,

$L_a = (4,95 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (6,70 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	145,1	$L_1$	100,00	14510,00	21054,01
$T_2$	141,1	$L_2$	130,00	18343,00	19909,21
$T_3$	137,4	$L_3$	160,00	21984,00	18878,76
$T_4$	133,5	$L_4$	190,00	25365,00	17822,25
$T_{bi}$		$L_{bi}$		195,00	
$\Sigma T = 557,1$ $(\Sigma T)^2 = 310360,4$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 80202,00$ $n\Sigma TL = 320808,00$	$\Sigma T^2 = 77664,23$ $n\Sigma T^2 = 310656,92$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -7,79$$

$$b_{1,4} = 1230,04$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 132,86 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$		201,70	
$T_5$	91	$L_5$	206,70	18809,70	8281
$T_6$	86,7	$L_6$	236,70	20521,89	7516,89
$T_{ai}$		$L_{ai}$		241,70	
$\Sigma T = 177,7$ $(\Sigma T)^2 = 31577,3$		$\Sigma L = 443,40$		$\Sigma TL = 39331,59$ $n\Sigma TL = 78663,18$	$\Sigma T^2 = 15797,89$ $n\Sigma T^2 = 31595,78$

$$m_{5,6} = -6,98$$

$$b_{5,6} = 841,58$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 91,72 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 85,98 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$		246,65	
$T_7$	49,9	$L_7$	251,65	12557,34	2490,01
$T_8$	46,2	$L_8$	281,65	13012,23	2134,44
$T_9$	42,5	$L_9$	311,65	13245,13	1806,25
$T_{10}$	39	$L_{10}$	341,65	13324,35	1521
$\Sigma T = 177,6$ $(\Sigma T)^2 = 31541,8$		$\Sigma L = 1186,60$		$\Sigma TL = 52139,04$ $n\Sigma TL = 208556,16$	$\Sigma T^2 = 7951,70$ $n\Sigma T^2 = 31806,80$

$$m_{7,10} = -8,24$$

$$b_{7,10} = 662,52$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 50,47 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 41,1 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 35,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Komposisi 80 %Sn - 20 %Al,

$T_0 = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit pertama,

$L_a = (4,95 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (6,70 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	192,5	$L_1$	100,00	19250,00	37056,25
$T_2$	186,5	$L_2$	130,00	24245,00	34782,25
$T_3$	180,8	$L_3$	160,00	28928,00	32688,64
$T_4$	174,9	$L_4$	190,00	33231,00	30590,01
$T_{bi}$		$L_{bi}$	195,00		
$\Sigma T = 734,7$ $(\Sigma T)^2 = 539784,1$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 105654,00$ $n\Sigma TL = 422616,00$	$\Sigma T^2 = 135117,15$ $n\Sigma T^2 = 540468,60$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -5,13$$

$$b_{1,4} = 1086,84$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 173,92 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$	201,70		
$T_5$	122,2	$L_5$	206,70	25258,74	14932,84
$T_6$	115,8	$L_6$	236,70	27409,86	13409,64
$T_{ai}$		$L_{ai}$	241,70		
$\Sigma T = 238,0$ $(\Sigma T)^2 = 56644,0$		$\Sigma L = 443,40$		$\Sigma TL = 52668,60$ $n\Sigma TL = 105337,20$	$\Sigma T^2 = 28342,48$ $n\Sigma T^2 = 56684,96$

$$m_{5,6} = -4,69$$

$$b_{5,6} = 779,51$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 123,27 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 114,73 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$	246,65		
$T_7$	61	$L_7$	251,65	15350,65	3721
$T_8$	55,5	$L_8$	281,65	15631,58	3080,25
$T_9$	49,9	$L_9$	311,65	15551,34	2490,01
$T_{10}$	44,5	$L_{10}$	341,65	15203,43	1980,25
$\Sigma T = 210,9$ $(\Sigma T)^2 = 44478,8$		$\Sigma L = 1186,60$		$\Sigma TL = 61736,99$ $n\Sigma TL = 246947,94$	$\Sigma T^2 = 11271,51$ $n\Sigma T^2 = 45086,04$

$$m_{7,10} = -5,44$$

$$b_{7,10} = 583,71$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 61,91 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 50,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 52,8 \text{ }^\circ\text{C}$$



➤ Komposisi 80 %Sn - 20 %Al,

$T_0 = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit kedua,

$L_a = (4,95 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (6,70 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	192,4	$L_1$	100,00	19240,00	37017,76
$T_2$	186,3	$L_2$	130,00	24219,00	34707,69
$T_3$	180,3	$L_3$	160,00	28848,00	32508,09
$T_4$	174,3	$L_4$	190,00	33117,00	30380,49
$T_{bi}$		$L_{bi}$		195,00	
$\Sigma T = 733,3$ $(\Sigma T)^2 = 537728,9$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 105424,00$ $n\Sigma TL = 421696,00$	$\Sigma T^2 = 134614,03$ $n\Sigma T^2 = 538456,12$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -4,98$$

$$b_{1,4} = 1057,05$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 173,27 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$		201,70	
$T_5$	125,4	$L_5$	206,70	25920,18	15725,16
$T_6$	118,9	$L_6$	236,70	28143,63	14137,21
$T_{ai}$		$L_{ai}$		241,70	
$\Sigma T = 244,3$ $(\Sigma T)^2 = 59682,5$		$\Sigma L = 443,40$		$\Sigma TL = 54063,81$ $n\Sigma TL = 108127,62$	$\Sigma T^2 = 29862,37$ $n\Sigma T^2 = 59724,74$

$$m_{5,6} = -4,62$$

$$b_{5,6} = 785,47$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 126,48 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 117,82 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$		246,65	
$T_7$	62,9	$L_7$	251,65	15828,79	3956,41
$T_8$	57	$L_8$	281,65	16054,05	3249
$T_9$	51,3	$L_9$	311,65	15987,65	2631,69
$T_{10}$	45,8	$L_{10}$	341,65	15647,57	2097,64
$\Sigma T = 217,0$ $(\Sigma T)^2 = 47089,0$		$\Sigma L = 1186,60$		$\Sigma TL = 63518,05$ $n\Sigma TL = 254072,20$	$\Sigma T^2 = 11934,74$ $n\Sigma T^2 = 47738,96$

$$m_{7,10} = -5,26$$

$$b_{7,10} = 582,11$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 63,75 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 46,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 54,1 \text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Komposisi 90 %Sn - 10 %Al,

$T_0 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit pertama,

$L_a = (4,35 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (5,90 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	95,3	$L_1$	100,00	9530,00	9082,09
$T_2$	92,3	$L_2$	130,00	11999,00	8519,29
$T_3$	89,4	$L_3$	160,00	14304,00	7992,36
$T_4$	86,3	$L_4$	190,00	16397,00	7447,69
$T_{bi}$		$L_{bi}$		195,00	
$\Sigma T = 363,3$ $(\Sigma T)^2 = 131986,9$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 52230,00$ $n\Sigma TL = 208920,00$	$\Sigma T^2 = 33041,43$ $n\Sigma T^2 = 132165,72$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -10,03$$

$$b_{1,4} = 1056,14$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 85,84 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$		200,90	
$T_5$	66,7	$L_5$	205,90	13733,53	4448,89
$T_6$	63,5	$L_6$	235,90	14979,65	4032,25
$T_{ai}$		$L_{ai}$		240,90	
$\Sigma T = 130,2$ $(\Sigma T)^2 = 16952,0$		$\Sigma L = 441,80$		$\Sigma TL = 28713,18$ $n\Sigma TL = 57426,36$	$\Sigma T^2 = 8481,14$ $n\Sigma T^2 = 16962,28$

$$m_{5,6} = -9,37$$

$$b_{5,6} = 831,21$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 67,23 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 62,97 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$		245,25	
$T_7$	44,8	$L_7$	250,25	11211,20	2007,04
$T_8$	41,8	$L_8$	280,25	11714,45	1747,24
$T_9$	39	$L_9$	310,25	12099,75	1521
$T_{10}$	36,3	$L_{10}$	340,25	12351,08	1317,69
$\Sigma T = 161,9$ $(\Sigma T)^2 = 26211,6$		$\Sigma L = 1181,00$		$\Sigma TL = 47376,48$ $n\Sigma TL = 189505,90$	$\Sigma T^2 = 6592,97$ $n\Sigma T^2 = 26371,88$

$$m_{7,10} = -10,59$$

$$b_{7,10} = 724,07$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 45,19 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 18,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 17,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Komposisi 90 %Sn - 10 %Al,

$T_0 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit kedua,

$L_a = (4,35 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (5,90 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	95,9	$L_1$	100,00	9590,00	9196,81
$T_2$	92,8	$L_2$	130,00	12064,00	8611,84
$T_3$	89,9	$L_3$	160,00	14384,00	8082,01
$T_4$	86,9	$L_4$	190,00	16511,00	7551,61
$T_{bi}$		$L_{bi}$	195,00		
$\Sigma T = 365,5$ $(\Sigma T)^2 = 133590,3$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 52549,00$ $n\Sigma TL = 210196,00$	$\Sigma T^2 = 33442,27$ $n\Sigma T^2 = 133769,08$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -10,03$$

$$b_{1,4} = 1061,66$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 86,39 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$	200,90		
$T_5$	67,5	$L_5$	205,90	13898,25	4556,25
$T_6$	64,3	$L_6$	235,90	15168,37	4134,49
$T_{ai}$		$L_{ai}$	240,90		
$\Sigma T = 131,8$ $(\Sigma T)^2 = 17371,2$		$\Sigma L = 441,80$		$\Sigma TL = 29066,62$ $n\Sigma TL = 58133,24$	$\Sigma T^2 = 8690,74$ $n\Sigma T^2 = 17381,48$

$$m_{5,6} = -9,38$$

$$b_{5,6} = 838,71$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 68,03 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 63,77 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$	245,25		
$T_7$	45,7	$L_7$	250,25	11436,43	2088,49
$T_8$	42,7	$L_8$	280,25	11966,68	1823,29
$T_9$	39,8	$L_9$	310,25	12347,95	1584,04
$T_{10}$	37,1	$L_{10}$	340,25	12623,28	1376,41
$\Sigma T = 165,3$ $(\Sigma T)^2 = 27324,1$		$\Sigma L = 1181,00$		$\Sigma TL = 48374,33$ $n\Sigma TL = 193497,30$	$\Sigma T^2 = 6872,23$ $n\Sigma T^2 = 27488,92$

$$m_{7,10} = -10,45$$

$$b_{7,10} = 726,98$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 46,11 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 18,4 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 17,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Komposisi 90 %Sn - 10 %Al,

$T_0 = 150 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit pertama,

$L_a = (4,35 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (5,90 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	143,5	$L_1$	100,00	14350,00	20592,25
$T_2$	138,3	$L_2$	130,00	17979,00	19126,89
$T_3$	133,3	$L_3$	160,00	21328,00	17768,89
$T_4$	128,1	$L_4$	190,00	24339,00	16409,61
$T_{bi}$		$L_{bi}$		195,00	
$\Sigma T = 543,2$ $(\Sigma T)^2 = 295066,2$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 77996,00$ $n\Sigma TL = 311984,00$	$\Sigma T^2 = 73897,64$ $n\Sigma T^2 = 295590,56$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -5,86$$

$$b_{1,4} = 940,65$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 127,27 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$		200,90	
$T_5$	95,1	$L_5$	205,90	19581,09	9044,01
$T_6$	89,7	$L_6$	235,90	21160,23	8046,09
$T_{ai}$		$L_{ai}$		240,90	
$\Sigma T = 184,8$ $(\Sigma T)^2 = 34151,0$		$\Sigma L = 441,80$		$\Sigma TL = 40741,32$ $n\Sigma TL = 81482,64$	$\Sigma T^2 = 17090,10$ $n\Sigma T^2 = 34180,20$

$$m_{5,6} = -5,56$$

$$b_{5,6} = 734,23$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 96,00 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 88,80 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$		245,25	
$T_7$	58,3	$L_7$	250,25	14589,58	3398,89
$T_8$	53,3	$L_8$	280,25	14937,33	2840,89
$T_9$	48,3	$L_9$	310,25	14985,08	2332,89
$T_{10}$	43,7	$L_{10}$	340,25	14868,93	1909,69
$\Sigma T = 203,6$ $(\Sigma T)^2 = 41453,0$		$\Sigma L = 1181,00$		$\Sigma TL = 59380,90$ $n\Sigma TL = 237523,60$	$\Sigma T^2 = 10482,36$ $n\Sigma T^2 = 41929,44$

$$m_{7,10} = -6,15$$

$$b_{7,10} = 608,03$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 59,04 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 31,3 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 29,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Komposisi 90 %Sn - 10 %Al,

$T_0 = 150 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit kedua,

$L_a = (4,35 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (5,90 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

	$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$	$TL$	$T^2$
$T_1$	143,6	$L_1$	100,00	14360,00	20620,96
$T_2$	138,4	$L_2$	130,00	17992,00	19154,56
$T_3$	133,5	$L_3$	160,00	21360,00	17822,25
$T_4$	128,3	$L_4$	190,00	24377,00	16460,89
$T_{bi}$		$L_{bi}$	195,00		
	$\Sigma T = 543,8$ $(\Sigma T)^2 = 295718,4$		$\Sigma L = 580,00$	$\Sigma TL = 78089,00$ $n\Sigma TL = 312356,00$	$\Sigma T^2 = 74058,66$ $n\Sigma T^2 = 296234,64$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -5,90$$

$$b_{1,4} = 947,74$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 127,48 \text{ }^\circ\text{C}$$

	$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$	$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$	200,90		
$T_5$	95,6	$L_5$	205,90	19684,04	9139,36
$T_6$	90,2	$L_6$	235,90	21278,18	8136,04
$T_{ai}$		$L_{ai}$	240,90		
	$\Sigma T = 185,8$ $(\Sigma T)^2 = 34521,6$		$\Sigma L = 441,80$	$\Sigma TL = 40962,22$ $n\Sigma TL = 81924,44$	$\Sigma T^2 = 17275,40$ $n\Sigma T^2 = 34550,80$

$$m_{5,6} = -5,56$$

$$b_{5,6} = 737,01$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 96,50 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 89,30 \text{ }^\circ\text{C}$$

	$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$	$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$	245,25		
$T_7$	59	$L_7$	250,25	14764,75	3481
$T_8$	53,9	$L_8$	280,25	15105,48	2905,21
$T_9$	48,9	$L_9$	310,25	15171,23	2391,21
$T_{10}$	44,2	$L_{10}$	340,25	15039,05	1953,64
	$\Sigma T = 206,0$ $(\Sigma T)^2 = 42436,0$		$\Sigma L = 1181,00$	$\Sigma TL = 60080,50$ $n\Sigma TL = 240322,00$	$\Sigma T^2 = 10731,06$ $n\Sigma T^2 = 42924,24$

$$m_{7,10} = -6,07$$

$$b_{7,10} = 607,90$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 59,74 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 31,0 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 29,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Komposisi 90 %Sn - 10 %Al,

$T_0 = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit pertama,

$L_a = (4,35 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (5,90 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	190,8	$L_1$	100,00	19080,00	36404,64
$T_2$	183,5	$L_2$	130,00	23855,00	33672,25
$T_3$	176,6	$L_3$	160,00	28256,00	31187,56
$T_4$	169,2	$L_4$	190,00	32148,00	28628,64
$T_{bi}$		$L_{bi}$		195,00	
$\Sigma T = 720,1$ $(\Sigma T)^2 = 518544,0$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 103339,00$ $n\Sigma TL = 413356,00$	$\Sigma T^2 = 129893,09$ $n\Sigma T^2 = 519572,36$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T \Sigma L - \Sigma T \Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -4,18$$

$$b_{1,4} = 898,12$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 168,07 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$		200,90	
$T_5$	122,7	$L_5$	205,90	25263,93	15055,29
$T_6$	115,1	$L_6$	235,90	27152,09	13248,01
$T_{ai}$		$L_{ai}$		240,90	
$\Sigma T = 237,8$ $(\Sigma T)^2 = 56548,8$		$\Sigma L = 441,80$		$\Sigma TL = 52416,02$ $n\Sigma TL = 104832,04$	$\Sigma T^2 = 28303,30$ $n\Sigma T^2 = 56606,60$

$$m_{5,6} = -3,95$$

$$b_{5,6} = 690,24$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 123,97 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 113,83 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$		245,25	
$T_7$	71,4	$L_7$	250,25	17867,85	5097,96
$T_8$	64,1	$L_8$	280,25	17964,03	4108,81
$T_9$	57,3	$L_9$	310,25	17777,33	3283,29
$T_{10}$	50,5	$L_{10}$	340,25	17182,63	2550,25
$\Sigma T = 243,3$ $(\Sigma T)^2 = 59194,9$		$\Sigma L = 1181,00$		$\Sigma TL = 70791,83$ $n\Sigma TL = 283167,30$	$\Sigma T^2 = 15040,31$ $n\Sigma T^2 = 60161,24$

$$m_{7,10} = -4,32$$

$$b_{7,10} = 557,72$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 72,41 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 44,1 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 41,4 \text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Komposisi 90 %Sn - 10 %Al,

$T_0 = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit kedua,

$L_a = (4,35 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (5,90 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	191	$L_1$	100,00	19100,00	36481
$T_2$	183,7	$L_2$	130,00	23881,00	33745,69
$T_3$	176,8	$L_3$	160,00	28288,00	31258,24
$T_4$	169,4	$L_4$	190,00	32186,00	28696,36
$T_{bi}$		$L_{bi}$	195,00		
$\Sigma T = 720,9$ $(\Sigma T)^2 = 519696,8$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 103455,00$ $n\Sigma TL = 413820,00$	$\Sigma T^2 = 130181,29$ $n\Sigma T^2 = 520725,16$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -4,18$$

$$b_{1,4} = 898,95$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 168,27 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$	200,90		
$T_5$	123,3	$L_5$	205,90	25387,47	15202,89
$T_6$	115,6	$L_6$	235,90	27270,04	13363,36
$T_{ai}$		$L_{ai}$	240,90		
$\Sigma T = 238,9$ $(\Sigma T)^2 = 57073,2$		$\Sigma L = 441,80$		$\Sigma TL = 52657,51$ $n\Sigma TL = 105315,02$	$\Sigma T^2 = 28566,25$ $n\Sigma T^2 = 57132,50$

$$m_{5,6} = -3,90$$

$$b_{5,6} = 686,29$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 124,58 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 114,32 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$	245,25		
$T_7$	72,2	$L_7$	250,25	18068,05	5212,84
$T_8$	65	$L_8$	280,25	18216,25	4225
$T_9$	58	$L_9$	310,25	17994,50	3364
$T_{10}$	51,2	$L_{10}$	340,25	17420,80	2621,44
$\Sigma T = 246,4$ $(\Sigma T)^2 = 60713,0$		$\Sigma L = 1181,00$		$\Sigma TL = 71699,60$ $n\Sigma TL = 286798,40$	$\Sigma T^2 = 15423,28$ $n\Sigma T^2 = 61693,12$

$$m_{7,10} = -4,29$$

$$b_{7,10} = 559,21$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 73,27 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 43,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 41,0 \text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Komposisi 100 %Sn - 0 %Al,

$T_0 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit pertama,

$L_a = (4,20 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (5,45 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	95	$L_1$	100,00	9500,00	9025
$T_2$	91,5	$L_2$	130,00	11895,00	8372,25
$T_3$	88,2	$L_3$	160,00	14112,00	7779,24
$T_4$	84,8	$L_4$	190,00	16112,00	7191,04
$T_{bi}$		$L_{bi}$		195,00	
$\Sigma T = 359,5$ $(\Sigma T)^2 = 129240,3$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 51619,00$ $n\Sigma TL = 206476,00$	$\Sigma T^2 = 32367,53$ $n\Sigma T^2 = 129470,12$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T \Sigma L - \Sigma T \Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -8,85$$

$$b_{1,4} = 940,26$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 84,22 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$		200,45	
$T_5$	64,6	$L_5$	205,45	13272,07	4173,16
$T_6$	60,7	$L_6$	235,45	14291,82	3684,49
$T_{ai}$		$L_{ai}$		240,45	
$\Sigma T = 125,3$ $(\Sigma T)^2 = 15700,1$		$\Sigma L = 440,90$		$\Sigma TL = 27563,89$ $n\Sigma TL = 55127,77$	$\Sigma T^2 = 7857,65$ $n\Sigma T^2 = 15715,30$

$$m_{5,6} = -7,69$$

$$b_{5,6} = 702,37$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 65,25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 60,05 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$		244,65	
$T_7$	43,9	$L_7$	249,65	10959,64	1927,21
$T_8$	40,5	$L_8$	279,65	11325,83	1640,25
$T_9$	37,4	$L_9$	309,65	11580,91	1398,76
$T_{10}$	34,2	$L_{10}$	339,65	11616,03	1169,64
$\Sigma T = 156,0$ $(\Sigma T)^2 = 24336,0$		$\Sigma L = 1178,60$		$\Sigma TL = 45482,40$ $n\Sigma TL = 181929,60$	$\Sigma T^2 = 6135,86$ $n\Sigma T^2 = 24543,44$

$$m_{7,10} = -9,31$$

$$b_{7,10} = 657,88$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 44,37 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 19,0 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 15,7 \text{ }^\circ\text{C}$$



➤ Komposisi 100 %Sn - 0 %Al,

$T_0 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit kedua,

$L_a = (4,20 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (5,45 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	95	$L_1$	100,00	9500,00	9025
$T_2$	91,5	$L_2$	130,00	11895,00	8372,25
$T_3$	88,2	$L_3$	160,00	14112,00	7779,24
$T_4$	84,8	$L_4$	190,00	16112,00	7191,04
$T_{bi}$		$L_{bi}$		195,00	
$\Sigma T = 359,5$ $(\Sigma T)^2 = 129240,3$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 51619,00$ $n\Sigma TL = 206476,00$	$\Sigma T^2 = 32367,53$ $n\Sigma T^2 = 129470,12$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -8,85$$

$$b_{1,4} = 940,26$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 84,22 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$		200,45	
$T_5$	64,6	$L_5$	205,45	13272,07	4173,16
$T_6$	60,7	$L_6$	235,45	14291,82	3684,49
$T_{ai}$		$L_{ai}$		240,45	
$\Sigma T = 125,3$ $(\Sigma T)^2 = 15700,1$		$\Sigma L = 440,90$		$\Sigma TL = 27563,89$ $n\Sigma TL = 55127,77$	$\Sigma T^2 = 7857,65$ $n\Sigma T^2 = 15715,30$

$$m_{5,6} = -7,69$$

$$b_{5,6} = 702,37$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 65,25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 60,05 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$		244,65	
$T_7$	43,9	$L_7$	249,65	10959,64	1927,21
$T_8$	40,5	$L_8$	279,65	11325,83	1640,25
$T_9$	37,4	$L_9$	309,65	11580,91	1398,76
$T_{10}$	34,2	$L_{10}$	339,65	11616,03	1169,64
$\Sigma T = 156,0$ $(\Sigma T)^2 = 24336,0$		$\Sigma L = 1178,60$		$\Sigma TL = 45482,40$ $n\Sigma TL = 181929,60$	$\Sigma T^2 = 6135,86$ $n\Sigma T^2 = 24543,44$

$$m_{7,10} = -9,31$$

$$b_{7,10} = 657,88$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 44,37 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 19,0 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 15,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Komposisi 100 %Sn - 0 %Al,

$T_0 = 150 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit pertama,

$L_a = (4,20 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (5,45 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

	$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$	$TL$	$T^2$
$T_1$	142,8	$L_1$	100,00	14280,00	20391,84
$T_2$	137,1	$L_2$	130,00	17823,00	18796,41
$T_3$	131,5	$L_3$	160,00	21040,00	17292,25
$T_4$	125,8	$L_4$	190,00	23902,00	15825,64
$T_{bi}$		$L_{bi}$	195,00		
	$\Sigma T = 537,2$ $(\Sigma T)^2 = 288583,8$		$\Sigma L = 580,00$	$\Sigma TL = 77045,00$ $n\Sigma TL = 308180,00$	$\Sigma T^2 = 72306,14$ $n\Sigma T^2 = 289224,56$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -5,30$$

$$b_{1,4} = 856,83$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 124,87 \text{ }^\circ\text{C}$$

	$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$	$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$	200,45		
$T_5$	92,6	$L_5$	205,45	19024,67	8574,76
$T_6$	85,9	$L_6$	235,45	20225,16	7378,81
$T_{ai}$		$L_{ai}$	240,45		
	$\Sigma T = 178,5$ $(\Sigma T)^2 = 31862,3$		$\Sigma L = 440,90$	$\Sigma TL = 39249,83$ $n\Sigma TL = 78499,65$	$\Sigma T^2 = 15953,57$ $n\Sigma T^2 = 31907,14$

$$m_{5,6} = -4,48$$

$$b_{5,6} = 620,08$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 93,72 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 84,78 \text{ }^\circ\text{C}$$

	$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$	$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$	244,65		
$T_7$	58,5	$L_7$	249,65	14604,53	3422,25
$T_8$	52,8	$L_8$	279,65	14765,52	2787,84
$T_9$	47,5	$L_9$	309,65	14708,38	2256,25
$T_{10}$	42,2	$L_{10}$	339,65	14333,23	1780,84
	$\Sigma T = 201,0$ $(\Sigma T)^2 = 40401,0$		$\Sigma L = 1178,60$	$\Sigma TL = 58411,65$ $n\Sigma TL = 233646,60$	$\Sigma T^2 = 10247,18$ $n\Sigma T^2 = 40988,72$

$$m_{7,10} = -5,53$$

$$b_{7,10} = 572,70$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 59,29 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 31,1 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 25,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Komposisi 100 %Sn - 0 %Al,

$T_0 = 150 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit kedua,

$L_a = (4,20 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (5,45 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

	$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$	$TL$	$T^2$
$T_1$	142,2	$L_1$	100,00	14220,00	20220,84
$T_2$	136,3	$L_2$	130,00	17719,00	18577,69
$T_3$	130,7	$L_3$	160,00	20912,00	17082,49
$T_4$	124,8	$L_4$	190,00	23712,00	15575,04
$T_{bi}$		$L_{bi}$	195,00		
	$\Sigma T = 534,0$ $(\Sigma T)^2 = 285156,0$		$\Sigma L = 580,00$	$\Sigma TL = 76563,00$ $n\Sigma TL = 306252,00$	$\Sigma T^2 = 71456,06$ $n\Sigma T^2 = 285824,24$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -5,19$$

$$b_{1,4} = 837,83$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 123,87 \text{ }^\circ\text{C}$$

	$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$	$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$	200,45		
$T_5$	93,7	$L_5$	205,45	19250,67	8779,69
$T_6$	86,8	$L_6$	235,45	20437,06	7534,24
$T_{ai}$		$L_{ai}$	240,45		
	$\Sigma T = 180,5$ $(\Sigma T)^2 = 32580,3$		$\Sigma L = 440,90$	$\Sigma TL = 39687,73$ $n\Sigma TL = 79375,45$	$\Sigma T^2 = 16313,93$ $n\Sigma T^2 = 32627,86$

$$m_{5,6} = -4,35$$

$$b_{5,6} = 612,84$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 94,85 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 85,65 \text{ }^\circ\text{C}$$

	$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$	$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$	244,65		
$T_7$	60,8	$L_7$	249,65	15178,72	3696,64
$T_8$	55,1	$L_8$	279,65	15408,72	3036,01
$T_9$	49,5	$L_9$	309,65	15327,68	2450,25
$T_{10}$	44,3	$L_{10}$	339,65	15046,50	1962,49
	$\Sigma T = 209,7$ $(\Sigma T)^2 = 43974,1$		$\Sigma L = 1178,60$	$\Sigma TL = 60961,61$ $n\Sigma TL = 243846,42$	$\Sigma T^2 = 11145,39$ $n\Sigma T^2 = 44581,56$

$$m_{7,10} = -5,44$$

$$b_{7,10} = 579,96$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 61,61 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 29,0 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 24,0 \text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Komposisi 100 %Sn - 0 %Al,

$T_0 = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit pertama,

$L_a = (4,20 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (5,45 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	189,6	$L_1$	100,00	18960,00	35948,16
$T_2$	181,4	$L_2$	130,00	23582,00	32905,96
$T_3$	173,6	$L_3$	160,00	27776,00	30136,96
$T_4$	165,3	$L_4$	190,00	31407,00	27324,09
$T_{bi}$		$L_{bi}$	195,00		
$\Sigma T = 709,9$ $(\Sigma T)^2 = 503958,0$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 101725,00$ $n\Sigma TL = 406900,00$	$\Sigma T^2 = 126315,17$ $n\Sigma T^2 = 505260,68$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -3,72$$

$$b_{1,4} = 804,67$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 164,02 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$	200,45		
$T_5$	121,5	$L_5$	205,45	24962,18	14762,25
$T_6$	112	$L_6$	235,45	26370,40	12544
$T_{ai}$		$L_{ai}$	240,45		
$\Sigma T = 233,5$ $(\Sigma T)^2 = 54522,3$		$\Sigma L = 440,90$		$\Sigma TL = 51332,58$ $n\Sigma TL = 102665,15$	$\Sigma T^2 = 27306,25$ $n\Sigma T^2 = 54612,50$

$$m_{5,6} = -3,16$$

$$b_{5,6} = 589,13$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 123,08 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 110,42 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$	244,65		
$T_7$	75,6	$L_7$	249,65	18873,54	5715,36
$T_8$	67,5	$L_8$	279,65	18876,38	4556,25
$T_9$	59,7	$L_9$	309,65	18486,11	3564,09
$T_{10}$	52,2	$L_{10}$	339,65	17729,73	2724,84
$\Sigma T = 255,0$ $(\Sigma T)^2 = 65025,0$		$\Sigma L = 1178,60$		$\Sigma TL = 73965,75$ $n\Sigma TL = 295863,00$	$\Sigma T^2 = 16560,54$ $n\Sigma T^2 = 66242,16$

$$m_{7,10} = -3,85$$

$$b_{7,10} = 539,77$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 76,75 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 40,9 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 33,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Komposisi 100 %Sn - 0 %Al,

$T_0 = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ , 15 menit kedua,

$L_a = (4,20 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_b = (5,45 \pm 0,05)\text{mm}$ ,  $L_R = 30 \text{ mm}$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_1$	189,7	$L_1$	100,00	18970,00	35986,09
$T_2$	181,5	$L_2$	130,00	23595,00	32942,25
$T_3$	173,8	$L_3$	160,00	27808,00	30206,44
$T_4$	165,5	$L_4$	190,00	31445,00	27390,25
$T_{bi}$		$L_{bi}$	195,00		
$\Sigma T = 710,5$ $(\Sigma T)^2 = 504810,3$		$\Sigma L = 580,00$		$\Sigma TL = 101818,00$ $n\Sigma TL = 407272,00$	$\Sigma T^2 = 126525,03$ $n\Sigma T^2 = 506100,12$

$$m = \frac{n\Sigma TL - (\Sigma T)(\Sigma L)}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma T\Sigma L - \Sigma T\Sigma TL}{n\Sigma T^2 - (\Sigma T)^2}$$

$$L = mT + b$$

$$T = (L - b)/m$$

$$m_{1,4} = -3,74$$

$$b_{1,4} = 808,48$$

$$T_{bi} = (L_{bi} - b_{1,4})/m_{1,4} = 164,24 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{bf}$		$L_{bf}$	200,45		
$T_5$	122	$L_5$	205,45	25064,90	14884
$T_6$	112,5	$L_6$	235,45	26488,13	12656,25
$T_{ai}$		$L_{ai}$	240,45		
$\Sigma T = 234,5$ $(\Sigma T)^2 = 54990,3$		$\Sigma L = 440,90$		$\Sigma TL = 51553,03$ $n\Sigma TL = 103106,05$	$\Sigma T^2 = 27540,25$ $n\Sigma T^2 = 55080,50$

$$m_{5,6} = -3,16$$

$$b_{5,6} = 590,71$$

$$T_{bf} = (L_{bf} - b_{5,6})/m_{5,6} = 123,58 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = (L_{ai} - b_{5,6})/m_{5,6} = 110,92 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T(^{\circ}\text{C})$		$L(\text{mm})$		$TL$	$T^2$
$T_{af}$		$L_{af}$	244,65		
$T_7$	76,4	$L_7$	249,65	19073,26	5836,96
$T_8$	68,4	$L_8$	279,65	19128,06	4678,56
$T_9$	60,5	$L_9$	309,65	18733,83	3660,25
$T_{10}$	53	$L_{10}$	339,65	18001,45	2809
$\Sigma T = 258,3$ $(\Sigma T)^2 = 66718,9$		$\Sigma L = 1178,60$		$\Sigma TL = 74936,60$ $n\Sigma TL = 299746,38$	$\Sigma T^2 = 16984,77$ $n\Sigma T^2 = 67939,08$

$$m_{7,10} = -3,84$$

$$b_{7,10} = 542,64$$

$$T_{af} = (L_{af} - b_{7,10})/m_{7,10} = 77,59 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_b = |T_{bf} - T_{bi}| = 40,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nabla \Delta T_a = |T_{af} - T_{ai}| = 33,3 \text{ }^\circ\text{C}$$