

**SKRIPSI**

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

**Fredi Yuastiarso  
M.0298035**



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

**SKRIPSI**

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

**Fredi Yuastiarso  
M.0298035**

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 RESISTIVITAS PADUAN $x\text{-Sn y-Al}$ SEBAGAI BAHAN SOLDER ALTERNATIF RAMAH LINGKUNGAN

**Fredi Yuastiarso**  
**M0298035**

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

Darsono, S.Si., M.Si. (Penguji I)  
NIP. 132 162 218

Drs. Syamsurizal (Penguji II)  
NIP. 131 791 756



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

  
**Dekan**  
Drs. H. Marsusi, M.S  
NIP. 130 906 776

  
**Ketua Jurusan Fisika**  
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,

Fredi Yuastiarso

## MOTTO

*“Allah tidak memikulkan beban (kewajiban) kepada jiwa (seseorang) kecuali sesuai kesanggupannya.....”*

(Al-Qur’an Surat Al-Baqoroh ayat 286)

*“....sesungguhnya Allah tidak akan mengubah nasib suatu kaum sehingga mereka mengubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri....”*

(Al-Qur’an Surat Ar-Ra’d ayat 11)

*“Dan (ingatlah juga) tatkala Tuhanmu memaklumkan: Sesungguhnya jika kamu bersyukur, pasti Kami akan menambah (nikmat) kepadamu, dan jika kamu mengingkari (nikmat-Ku), maka sesungguhnya azab-Ku sangat pedih.”*

(Al-Qur’an Surat Ibrahim ayat 7)

## **PERSEMBAHAN**

Sesuatu yang sederhana ini kupersembahkan untuk :

- ❖ Bunda dan Ayah
- ❖ Kedua saudara kandungku
- ❖ Galih Ksatriyawardhana
- ❖ Almamaterku

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Shalawat dan salam semoga selalu tercurah kepada Rasulullah Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat, dan orang-orang yang mengikuti risalah beliau hingga hari kiamat.

Alhamdulillah, setelah melalui perjuangan dengan berbagai kendala, akhirnya penulis diijinkan-Nya untuk menikmati sedikit keberhasilan yang bagi penulis adalah karunia yang besar. Skripsi yang berjudul **“Studi Karakteristik Resistivitas Paduan  $x$ -Sn  $y$ -Al Sebagai Bahan Solder Alternatif Ramah Lingkungan”** ini telah terselesaikan. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk melengkapi kurikulum dalam menyelesaikan pendidikan Sarjana Strata Satu pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sebelas Maret Surakarta.

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

1. Ahmad Marzuki, S.Si., Ph.D, 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 yang juga telah memberikan bimbingan, masukan dan motivasi kepada penulis.

3. Drs. Harjana, M.Si., Ph.D, selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas MIPA UNS.
4. Drs. Marsusi, MS, selaku Dekan Fakultas MIPA UNS.
5. Bunda, Ayah dan kedua saudara kandungku yang telah mendoakan dan banyak memberikan dukungan kepada penulis.
6. Keponakanku Galih Ksatriyawardhana selaku inspirasi baru dalam hidupku.
7. Mama, Papa, kedua adikku Ratna Ayu dan Arum Riska di Bumi Laweyan atas dukungan dan doanya.
8. Rekan satu tim-ku, Hanief dan Nugroho, semoga persahabatan ini terus terjalin tidak hanya sebatas selama penelitian berlangsung.
9. Metandri, Cepirossi, Kenny Jr., Markoneng, Markutang, Nugie, Makmum Syafi'i, Gabus "Manusia Bodoh" dan rekan-rekan senasib seperjuangan yang banyak memberikan dukungan serta bantuan.
10. Kotrek dan John untuk bantuan akses perpustakaan.
11. Mas Sholahuddin, Mas Catur dan Aa' Fuad atas pinjaman bukunya.
12. Mas Eko, Mas Ari, Mas Mul dan pihak-pihak bagian administrasi Sub Lab Fisika Lab Pusat Fakultas MIPA UNS yang banyak membantu dalam melaksanakan praktikum.
13. Seluruh pihak administrasi jurusan Fisika Fakultas MIPA UNS yang banyak membantu kelancaran seminar tugas akhir.
14. Adrian Alex Eko Saputro, S.Si beserta keluarga Dawung Wetan untuk segala bentuk bantuan yang telah diberikan.
15. Nurul Hudha, S.Si, M.M., Sugeng M. Amien, berikut seluruh keluarga besar SSC Intersolusi Surakarta atas bantuan yang telah diberikan.



16. Keluarga Drs. Sri Harjono untuk motivasi dan doanya.
17. Mas Mario dan seluruh keluarga besar <sup>c</sup>Solvent.
18. Listyorini Dian Pratiwi untuk arti sebuah kehadiran.
19. Segenap pihak yang telah membantu kelancaran pengerjaan skripsi ini baik badan halus ataupun kasar yang tidak mungkin disebutkan satu per satu.

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

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

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> .....	ix
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiv
<b>INTISARI</b> .....	xv
<b>ABSTRACT</b> .....	xvi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
I.1. Latar Belakang .....	1
I.2. Perumusan Masalah .....	3
I.3. Tujuan Penelitian .....	3
I.4. Batasan Masalah .....	4
I.5. Manfaat Penelitian .....	4
I.6. Sistematika Penulisan .....	5
<b>BAB II DASAR TEORI</b> .....	6
II.1. Bahan Solder Sebagai Salah Satu Unsur Pendukung	

Penyolderan .....	6
II.1.1. Pengantar .....	6
II.1.2. Bahan Solder .....	7
II.2. Paduan Logam .....	9
II.2.1. Pengertian Paduan Logam .....	9
II.2.2. Aturan-aturan dalam Daya Larut Paduan Logam .....	10
II.2.3. Konduktivitas Logam Murni .....	12
II.2.4. Konduktivitas Paduan Logam .....	14
II.3. Tinjauan Makroskopik Resistivitas Suatu Penghantar .....	16
II.4. Timah dan Alumunium .....	24
II.4.1. Pengantar .....	24
II.4.2. Timah (Sn) .....	26
II.4.3. Alumunium (Al) .....	27
<b>III. METODELOGI PENELITIAN .....</b>	<b>28</b>
III.1. Waktu dan Tempat Penelitian .....	28
III.1.1. Waktu Penelitian .....	28
III.1.2. Tempat Penelitian .....	28
III.2. Alat dan Bahan .....	28
III.2.1. Alat-alat yang Digunakan .....	28
III.2.2. Bahan-bahan yang Digunakan .....	30
III.3. Metode Penelitian .....	30
III.4. Prosedur Penelitian .....	34
III.4.1. Penimbangan Bahan Sampel .....	35

III.4.2. Proses Produksi Sampel .....	37
III.4.3. Tahap Pengukuran Dimensi Sampel .....	40
III.4.4. Pengukuran Beda Potensial ( $V$ ) dan Arus Listrik ( $i$ ).....	40
III.4.5. Perhitungan Resistivitas .....	42
<b>IV. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>43</b>
IV.1. Hasil Penimbangan Bahan Sampel .....	43
IV.2. Proses Produksi .....	44
IV.3. Hasil Pengukuran Dimensi Sampel .....	49
IV.4. Hasil Pengukuran $V$ dan $i$ .....	50
IV.5. Hasil Perhitungan Resistivitas Sampel .....	53
<b>V. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>61</b>
V.1. Kesimpulan .....	61
V.2. Saran .....	61
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>63</b>
<b>LAMPIRAN 1 .....</b>	<b>65</b>
<b>LAMPIRAN 2 .....</b>	<b>66</b>
<b>LAMPIRAN 3 .....</b>	<b>77</b>
<b>LAMPIRAN 4 .....</b>	<b>88</b>

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Grafik lintasan rata-rata terhadap temperatur mutlak .....	14
Gambar 2.2. Grafik resistivitas terhadap temperatur .....	14
Gambar 2.3. Grafik resistivitas paduan emas-tembaga sebagai fungsi komposisi .....	15
Gambar 2.4. Grafik $i$ - $V$ pada tembaga .....	17
Gambar 2.5. Grafik $i$ - $V$ pada tabung vakum .....	17
Gambar 2.6. Grafik $i$ - $V$ pada termistor .....	18
Gambar 2.7. Resistivitas tembaga sebagai fungsi temperatur .....	23
Gambar 3.1. Garis besar tahapan penelitian .....	34
Gambar 3.2. Neraca Ohaus dengan ketelitian 4 angka di belakang koma	35
Gambar 3.3. Tahapan penimbangan sampel .....	36
Gambar 3.4. <i>Furnace Nabertherm</i> yang digunakan untuk melebur bahan..	38
Gambar 3.5. Beberapa tombol <i>Furnace Nabertherm</i> yang digunakan dalam proses peleburan bahan sampel .....	38
Gambar 3.6. Tahapan proses produksi .....	39
Gambar 3.7. Skema alat ukur $V$ dan $i$ .....	40
Gambar 3.8. Susunan pelat konduktor .....	40
Gambar 3.9. PCB untuk pelat konduktor .....	41
Gambar 3.10. Tahap pengukuran $V$ dan $i$ .....	42
Gambar 4.1. Hasil proses produksi yang kedua .....	46
Gambar 4.2. Kegagalan terbentuknya paduan .....	46
Gambar 4.3. Grafik nilai logaritmis resistansi terhadap perubahan komposisi .....	52
Gambar 4.4. Grafik nilai logaritmis resistivitas terhadap perubahan komposisi .....	56
Gambar 45. Grafik resistivitas terhadap perubahan komposisi untuk paduan Cu-Au tanpa proses anil .....	56

Gambar 4.6. Grafik resistivitas paduan Cu-Au sebagai fungsi komposisi dengan anil .....	58
---	----

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2-1. Tabel resistivitas beberapa logam yang lazim dikenal .....	23
Tabel 2-2. Titik lebur beberapa paduan Sn-Al dengan metode DTA .....	25
Tabel 2-3. Tabel beberapa sifat yang dimiliki oleh timah .....	26
Tabel 2-4. Tabel beberapa sifat yang dimiliki oleh aluminium .....	27
Tabel 3-1. Massa x-Sn y-Al untuk beberapa komposisi .....	35
Tabel 4-1. Tabel komposisi paduan berdasarkan massa timbang .....	43
Tabel 4-2. Data ketebalan ( $L$ ) dan luasan ( $A$ ) untuk masing-masing komposisi .....	48
Tabel 4-3. Nilai resistansi resistor berdasarkan data pengukuran dan nilai pabrikan .....	50
Tabel 4-4. Resistansi sampel untuk masing-masing komposisi .....	50
Tabel 4-5. Resistivitas sampel untuk masing-masing komposisi .....	53

## INTISARI

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

Oleh  
Fredy Yuastiarso  
M0298035

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

Telah dibuat paduan logam  $x$ -Sn  $y$ -Al dengan 11 variasi nilai  $x$  dan  $y$ . Sifat listrik yang dimiliki oleh komposisi paduan ini dimanfaatkan untuk memperoleh karakteristik resistivitas tersebut melalui perhitungan secara makroskopik dengan melibatkan besaran-besaran dimensi dan resistansi sampel. Nilai resistansi sampel tersebut diperoleh dengan menggunakan hukum Ohm. Dari beberapa variasi komposisi tersebut ditentukan komposisi yang memiliki resistivitas terendah. Didapatkan hubungan resistivitas terhadap perubahan komposisi paduan yang menunjukkan bahwa dari komposisi Sn murni hingga komposisi 80%Sn resistivitas mengalami kenaikan yang selanjutnya mengalami penurunan nilai yang tidak beraturan hingga komposisi Al murni. Dari kesembilan komposisi paduan  $x$ -Sn  $y$ -Al memiliki nilai resistivitas lebih tinggi dibandingkan dengan resistivitas yang dimiliki oleh logam murni Sn dan logam murni Al.

Kata kunci : paduan logam  $x$ -Sn  $y$ -Al, komposisi, sifat listrik, dimensi, resistansi, resistivitas, hukum ohm.



**Study of Resistivity Characteristic x-Sn y-Al Alloy  
As An Alternative of Friendly Solder Materials to Environment**

Written by  
Fredy Yuastiarso  
M0298035

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

It has been made x-Sn y-Al alloys with 11 variations of x and y value. The electrical characteristic of these alloy compositions was used to obtain the resistivity characteristic by means of macroscopically resistivity calculation with involving the dimension and resistance of those samples. The resistance of a sample was obtained by using the Ohm's law. From those various compositions, the composition with lowest resistivity was determined. The resistivity related to the changing of composition of alloys indicating that from pure Sn to 80%Sn resistivity was increasing then decreasing irregularly to pure Al composition. These nine x-Sn y-Al alloy compositions had higher resistivity than pure Sn and pure Al.

Hints: x-Sn y-Al Alloy, composition, electrical characteristic, dimension, resistance, resistivity, Ohm's law.

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I. 1. Latar Belakang**

Solder, atau disebut juga patri, telah dikenal sejak zaman Yunani dan kekaisaran Romawi. Banyak arkeolog melaporkan temuan mereka berupa perhiasan, senjata, perkakas dan alat-alat pemotong yang telah disolder dengan sangat baik dan ahli (Rahn, 1993). Pengertian dari menyolder itu sendiri adalah suatu cara menyambungkan logam dengan logam yang lain menggunakan logam penyambung dengan jalan melelehkannya terlebih dahulu pada suhu yang bersesuaian terhadap titik leleh dari logam penyambung. Logam penyambung dipanasi hingga lembek, kemudian ditempelkan pada bagian-bagian logam yang hendak disambung sedemikian hingga bercampur dan menutup bagian-bagian logam tersebut (Anonim I, 2005).

Hoban dan Lunt (1997) menggolongkan metode penyolderan berdasarkan fluks dan penggunaan listrik dalam prosesnya. Ada dua pengelompokan metode penyolderan yang dipakai saat ini; penyolderan non-listrik (menggunakan fluks asam) dan penyolderan listrik (menggunakan fluks rosin). Adapun kajian resistivitas alternatif bahan solder yang dimaksud dalam penelitian ini adalah bahan solder untuk metode penyolderan listrik yang digunakan dalam bidang elektronika.

Umumnya bahan solder yang dipakai di bidang elektronika saat ini adalah paduan timah (Sn) dengan timbel (Pb). Hingga saat ini, paduan tersebut telah

memenuhi beberapa hal untuk kebutuhan penyolderan. Hanya satu hal yang tidak terpenuhi, yaitu tidak ramah terhadap lingkungan karena sifat racun yang dimiliki oleh timbel.

Sebenarnya, keracunan timbel pada orang telah diketahui sejak lama. Keracunan timbel atau disebut *plumbism* pernah dilaporkan seorang dokter Yunani sejak 2000 tahun yang lalu. Kasus keracunan timbel ini diduga karena adanya pengaruh dari pembuangan sampah industri yang mengandung timbel. Adapun mekanisme masuknya timbel ke dalam tubuh manusia adalah melalui saluran pencernaan dan saluran pernapasan. Dalam bentuk larutan, timbel yang diserap melalui saluran pencernaan didistribusikan ke dalam jaringan lain melalui darah. Setiap individu manusia memiliki daya tahan sendiri-sendiri. Biasanya orang yang keracunan timbel mengkonsumsi sekitar 0,2 – 2,0 mg timbel per hari, dan pada orang dewasa timbel diserap melalui usus sekitar 5 – 10%, tetapi hal ini tergantung dari beberapa faktor yang mempengaruhi. Adanya kompetisi dan interaksi dengan logam lain akan mempengaruhi dalam penyerapan timbel. Umur, juga mempengaruhi penyerapan logam ini di dalam makanan. Pada anak-anak, jumlah penyerapan timbel lebih banyak daripada orang dewasa (Darmono, 1995).

Dalam laporan yang dinyatakan oleh *Rector & Visitors of the University of Virginia Disclaimer* (2004) menyebutkan bahwa keracunan timbel pada anak-anak dapat mengakibatkan kerusakan otak dan sistem saraf, gangguan fungsi fisiologi tubuh dan kemampuan belajar, pertumbuhan yang terhambat, gangguan pendengaran, sering sakit kepala, dan anemia. Sedangkan pada orang dewasa, keracunan timbel dapat mengakibatkan gangguan kehamilan, gangguan

reproduktivitas baik untuk pria ataupun wanita, tekanan darah tinggi, gangguan saluran pencernaan, kecacauan syaraf, gangguan konsentrasi dan daya ingat, sakit otot dan tulang sendi. Keracunan timbel dalam dosis tinggi, juga dapat mengakibatkan serangan jantung, koma yang akhirnya berujung pada kematian.

Penelitian untuk mencari bahan solder ramah lingkungan, sebetulnya sudah banyak dilakukan. Akan tetapi, belum didapatkan paduan logam yang benar-benar baik dan tidak menimbulkan pencemaran lingkungan. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini akan membuat paduan logam timah dengan alumunium sebagai alternatif bahan solder yang relatif lebih ramah terhadap lingkungan. Meskipun belum dapat dipastikan kesempurnaan paduan logam timah dengan alumunium ini sebagai bahan solder yang baik, akan tetapi diharapkan mampu memberikan wacana baru untuk mendapatkan bahan solder yang sempurna.

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

Permasalahan yang melatarbelakangi disusunnya penelitian ini adalah :

- 1) Mengetahui langkah-langkah produksi paduan logam x-Sn y-Al.
- 2) Mengetahui karakteristik resistivitas paduan logam x-Sn y-Al terhadap pengaruh perubahan komposisi paduan.

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

Tujuan dari penelitian ini adalah :

- 1) Mendapatkan komposisi paduan logam timah dengan alumunium yang memiliki nilai resistivitas terendah dari beberapa sampel yang dibuat.

- 2) Memperoleh informasi berkenaan dengan karakteristik resistivitas paduan logam timah-alumunium untuk beberapa sampel.
- 3) Memperoleh informasi tambahan sehubungan dengan proses produksi paduan logam timah dengan alumunium.

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

Batasan-batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- 1) Paduan logam x-Sn y-Al sejumlah 11 sampel berbentuk cakram dalam perbandingan komposisi jumlah 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.
- 2) Tidak dilakukan perlakuan pengubahan beda potensial listrik untuk masing-masing sampel.
- 3) Pengukuran beda potensial listrik, kuat arus listrik dan dimensi sampel dilakukan dalam suhu kamar.

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

Manfaat yang diperoleh dari hasil penelitian ini adalah :

- 1) Memberikan informasi hubungan nilai resistivitas paduan logam timah dengan alumunium terhadap perubahan komposisi.
- 2) Memberikan informasi mengenai nilai resistansi paduan logam timah dengan alumunium untuk masing-masing sampel.

- 3) Memberikan informasi tentang proses produksi paduan logam timah dengan alumunium.
- 4) Hasil penelitian ini dapat dijadikan sumber informasi dan referensi bagi penelitian serupa untuk perkembangan lebih lanjut.

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

Sistematika penulisan skripsi ini terbagi di dalam lima bab yaitu, pendahuluan, dasar teori, metodologi penelitian dan bab terakhir adalah kesimpulan dan saran. Deskripsi umum untuk masing-masing bab adalah sebagai berikut.

Dalam Bab I dijelaskan tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penulisan skripsi. Kemudian pada Bab II berisi tentang tinjauan pustaka sebagai teori yang mendasari penelitian ini. Adapun materi yang dibahas adalah bahan solder, pengertian paduan logam hingga konduktivitas listriknya, karakteristik resistivitas dan yang terakhir adalah sifat-sifat logam alumunium dan timah.

Pada Bab III diuraikan tentang metodologi penelitian yang meliputi tempat dan waktu pelaksanaan penelitian, alat dan bahan yang digunakan, metode penelitian serta prosedur penelitian. Hasil penelitian berdasarkan pada Bab III selanjutnya akan dijelaskan dalam pembahasan pada Bab IV. Bab V yang menjadi bab terakhir, berisi tentang kesimpulan dari hasil analisa dalam Bab IV dan saran untuk pengembangan lebih lanjut dari penelitian dalam skripsi ini.

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

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

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

Pada bab sebelumnya telah diungkapkan definisi dan klasifikasi penyolderan. Meskipun tipe penyolderan itu berbeda-beda, namun terdapat beberapa unsur yang dimiliki oleh semua tipe penyolderan. Menurut Hoban dan Lunt (1997), kesemuanya didasarkan pada empat hal. Sangatlah jelas jika salah satu unsur tersebut adalah bahan solder, yang berfungsi sebagai logam penyambung. Ketiga unsur pendukung yang lain adalah panas, logam dasar (logam-logam yang akan disambungkan) dan fluks. Seperti halnya bahan solder, cukup jelas apabila panas dan logam dasar dibutuhkan untuk melakukan penyolderan. Akan tetapi, untuk fluks, belum tentu semua pelaku penyolderan listrik mengetahuinya. Hal tersebut karena fluks yang digunakan untuk penyolderan listrik saat ini sudah dimasukkan di dalam bahan solder. Penggunaan fluks didasarkan karena terdapat suatu hubungan langsung antara tingkat oksidasi permukaan logam dasar dengan kesiapan solder bereaksi padanya. Dengan kata lain, penggunaan fluks adalah untuk mengatasi permasalahan timbulnya peristiwa oksidasi yang mempengaruhi kuatnya ikatan solder (Hoban, 1997). Pemberian fluks dilakukan sebelum proses penyolderan dengan jalan melumasi logam dasar atau meneteskan logam dasar (Rahn, 1993).

## II. 1. 2. Bahan Solder

Mayoritas bahan solder yang digunakan dalam bidang elektronika merupakan paduan logam. Hal tersebut karena penggunaan logam murni sebagai bahan solder yang telah dicoba hingga sekarang ternyata hasilnya kurang bagus. Jikapun hasil penyolderan dengan suatu logam murni itu bagus, ternyata harga bahan tersebut mahal atau sulit untuk mendapatkannya. Untuk itulah dilakukan pemaduan logam. Adapun penentuan paduan logam yang hendak dipakai sebagai bahan solder tersebut seharusnya memperhatikan faktor-faktor sebagai berikut (Hoban, 1997):

1. Kekuatan bahan mencakup daya regang dan daya ikatnya,
2. konduktivitas listrik bahan,
3. konduktivitas termal bahan,
4. titik lebur bahan,
5. fluks yang digunakan,
6. bea produksi dari bahan tersebut.

Faktor-faktor tersebut di atas beberapa di antaranya sudah cukup jelas, mengapa menjadi hal yang seharusnya diperhatikan dalam penentuan bahan solder. Sebagai contoh adalah faktor kekuatan bahan. 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. Sebaiknya, persyaratan untuk bahan solder selain dari faktor-faktor fisis, kimiawi dan ekonomis, langkah akhir yang diambil dan menjadi penentu



adalah dampak yang ditimbulkan terhadap lingkungan. Hal tersebut mengacu pada perjanjian yang telah disetujui di Eropa terkait dengan pembatasan penggunaan logam berat berbahaya (RoHs) di beberapa bidang termasuk dalam bidang elektronika.

Walaupun tingkat pemahaman terhadap persyaratan bahan solder sudah semakin baik, namun demikian, hingga saat ini belum ada bahan solder yang memenuhi kriteria-kriteria di atas dengan sempurna. Bahan solder yang kebanyakan digunakan saat ini (bahkan sudah menjadi hal yang lazim) adalah paduan logam 63%Sn-37%Pb. Komposisi yang lain, yang juga digunakan adalah paduan 60%Sn-40%Pb. Paduan Sn-Pb ini mempunyai jangkauan daya regang dari 0,75 MPa hingga 75 MPa (Shi, 2002), konduktivitas listrik  $0,73 \times 10^7 \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$  atau dalam resiprokalnya (resistivitas) sebesar  $1,36 \times 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$ , dan konduktivitas termal yang dimiliki sekitar  $47,74 [\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}] \cdot [^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}]^{-1}$  (Bruneel, 2001). Paduan Sn-Pb bersifat eutektik dengan titik lebur  $183^{\circ}\text{C}$  dengan fluks yang digunakan adalah fluks rosin. Dari segi ekonomis, bea produksi bahan solder paduan timah-timbel cukup rendah. Timbel atau disebut juga timah hitam, harganya sangat murah dan keberadaannya melimpah. Jadi, bea produksi bahan solder timah-timbel lebih ditentukan pada harga timahnya saja (Hoban, 1997). Paduan ini juga mampu memenuhi batas-batas toleransi temperatur yang diijinkan untuk komponen-komponen elektronika. Seperti yang sudah disebutkan di dalam bab sebelumnya, hanya satu hal yang tidak bisa menjadikan paduan logam Sn-Pb ini sebagai bahan solder yang sempurna, yaitu terdapat logam timbel yang merupakan logam berat yang berbahaya terhadap lingkungan.

## **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 getas (mudah patah). Oleh karena itulah perlu ditambahkan unsur-unsur tertentu pada suatu logam murni. Misalnya, untuk membuat besi menjadi keras (disebut baja) dicampurkan karbon di dalamnya. Agar aluminium lebih kuat maka ditambahkan tembaga, silikon dan beberapa unsur lain. Contoh lainnya adalah logam kuningan yang merupakan campuran antara tembaga dan seng.

Satu hal yang telah disebutkan dari beberapa contoh logam-logam yang dicampur di atas adalah, satu atau lebih unsur penyusun paduan logam dilarutkan dalam satu jenis logam. Oleh karena itulah campuran tersebut dinamakan paduan logam. Paduan logam ini dibedakan atas persenyawaan kimia di dalamnya, di mana tingkat konsentrasi zat terlarut relatif terhadap zat pelarut bisa bervariasi, meskipun dalam suatu persenyawaan kimia, konsentrasi ini sudah ditentukan.

Dalam suatu paduan logam, atom-atom terlarut berada pada celah-celah atau kisi-kisi geometri molekul yang teratur. Jenis paduan logam ada dua yaitu, paduan logam interstisial dan paduan logam substitusional. Contoh paduan logam interstisial adalah karbon dalam baja, dan contoh paduan logam substitusional adalah seng dalam tembaga (kuningan). Jelaslah suatu paduan logam dapat terbentuk hanya jika atom-atom zat terlarut cukup kecil agar tepat masuk ke dalam celah-celah molekul tanpa pengeluaran energi yang besar. Secara umum,

daya larut selitan pada logam-logam dibatasi karena atom-atom dalam logam menempati kisi-kisi geometri molekul yang teratur secara acak. Selama atom-atom zat terlarut ditambahkan, maka atom-atom tersebut akan menempati lebih banyak tempat pada molekul dan terbentuklah suatu kristal sederhana. Bisa jadi, struktur kristal tetap tidak berubah tanpa kecuali untuk perubahan yang dapat diabaikan dalam pola-pola geometri molekul yang tetap. Jenis dari paduan logam ini disebut paduan logam primer. Dalam kondisi yang sama, bagaimanapun juga, 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 keduanya mirip/serupa. Sebagai contoh, perak dan emas, sangat sama. Keduanya membentuk sebuah paduan primer yang lebih baik dari seluruh jajaran paduan, dari perak murni hingga emas murni. Di bawah keadaan yang tidak ideal, dua logam yang membentuk paduan logam primer hanya melebihi jangkauan terbatas. Umpamanya, tembaga dapat larut dalam perak hanya hingga  $\pm 15\%$  dari berat atomnya sebelum paduan tersebut melewati perubahan fase. Kondisi-kondisi untuk daya larut primer dipelajari cermat oleh Humann-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%.

b. Pengaruh struktur kristal

Agar memiliki daya larut tinggi, struktur-struktur zat padat pelarut harus sama. Baik perak ataupun emas, sebagai contoh, mempunyai struktur kristal kubus pusat muka.

c. Pengaruh valensi elektronegatif

Dua unsur harus mempunyai karakteristik elektrokimia yang mirip. Jika berlainan, suatu unsur elektropositif, misalnya perak, dan suatu unsur elektronegatif, misalnya brom, akan membentuk senyawa kimia bukan paduan logam.

d. Pengaruh valensi relatif

Kaidah ini menegaskan bahwa lebih mudah melarutkan suatu logam dengan valensi lebih tinggi ke valensi lebih rendah daripada kebalikkannya. Contohnya, alumunium larut lebih mudah dalam tembaga daripada tembaga melarut ke dalam alumunium. Sebab, nampak jelas, dalam keadaan valensi yang lebih tinggi relatif lebih mudah untuk melepas kelebihan elektron dari alumunium daripada tembaga dan menampungnya dalam paduan logam. Jika tembaga dilarutkan ke dalam alumunium, bagaimanapun juga, ada kekurangan elektron konduksi pada tingkat-tingkat energi tembaga dan elektron-elektron yang cenderung menetralkan kekurangan ini, memiliki energi yang besar.

Meskipun kaidah-kaidah tersebut terpenuhi, dua logam yang dipadukan kemungkinan tidak bisa saling melarut masih saja besar. Karena, meskipun keempat kaidah tersebut diterapkan, hal-hal tersebut masih belum cukup untuk menjadi pedoman baku (Omar, 1993). Daya larut zat padat lengkap adalah jarang terjadi karena semua kriteria di atas harus sangat-sangat diabaikan. Ketika mereka diabaikan, penggantian zat padat terlarut diharapkan mengikuti hukum Vegard yang menyatakan bahwa perubahan dalam satuan sel dimensi seharusnya linear dengan perubahan komposisi. Kaidah-kaidah tersebut hanyalah menguraikan keadaan yang lebih baik untuk stabil (Azarof, 1960).

### **II. 2. 3. Konduktivitas Logam Murni**

Konduktivitas kebanyakan logam dapat dijelaskan tanpa pertolongan dari teori zona. Menurut teori elektron bebas, elektron-elektron mengalami transisi dari tingkat energi kuantum satu mendekati permukaan Fermi menuju batasan yang lain dan tingkat energi yang tidak terisi di bawah pengaruh medan luar. Jika proses ini diijinkan berjalan tanpa akhir, elektron-elektron akan melanjutkan mengisi tiap-tiap tingkat energi di atasnya, suatu keadaan yang bertentangan dengan pengamatan pada keadaan tetap yang sedang berjalan, di mana sepadan terhadap medan terpakai. Pada kenyataannya, elektron-elektron tersebut tidak dapat menaikkan energinya secara berkesinambungan. Keadaan ini dijelaskan oleh tumbukan-tumbukan antar elektron itu sendiri dengan ion-ion logam yang mengisi sebagian besar ruang yang ada pada logam. Tumbukan-tumbukan tersebut adalah elastis sehingga baik energi dan momentum oleh elektron-elektron

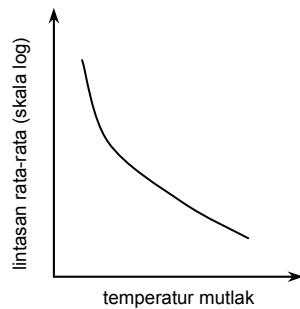
dipindahkan dalam prosesnya. Karena massa ion-ion jauh lebih besar, sebuah elektron kehilangan lebih banyak energi dan momentum yang didapatnya. Sehingga, kecepatannya hanya sedikit berubah. Walau demikian, terdapat sedikit energi tetapi terbatas untuk menaikkan komponen kecepatan sejajar pada medan terpakai. Jadi, walaupun elektron mengikuti suatu lintasan dalam arah tak menentu, melompat dari satu atom ke atom yang lain dalam segala arah, mengalami perpindahan dalam suatu arah tertentu oleh medan terpakai. Naiknya komponen kecepatan pada elektron sejajar dengan arah medan terpakai dinamakan kecepatan lepas elektron.

Jarak rata-rata sebuah elektron berkeliling sambil bertumbukan dinamakan lintasan bebas rata-rata ( $l$ ). Percepatan yang dialami elektron pada suatu medan adalah sebanding dengan muatan elektron ( $e$ ) dan berbanding terbalik terhadap massanya ( $m$ ). Jadi, konduktivitas ( $\sigma$ ) atau kebalikannya, resistivitas ( $\rho$ ):

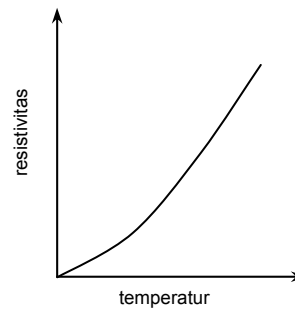
$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{mv}{n_c e^2 l} \dots\dots\dots(2-1)$$

di mana  $n_c$  adalah nilai dari konduktivitas elektron dan  $v$  adalah kecepatan rata-ratanya.

Getaran dari ion-ion dalam kristal meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur. Hal ini memberikan dampak atas naiknya probabilitas dari suatu tumbukan ion-elektron atau menurunkan lintasan bebas rata-rata. Sebaliknya, ketika temperatur mengalami penurunan, lintasan bebas rata-rata seharusnya meningkat. Keadaan ini dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Grafik lintasan rata-rata terhadap temperatur mutlak

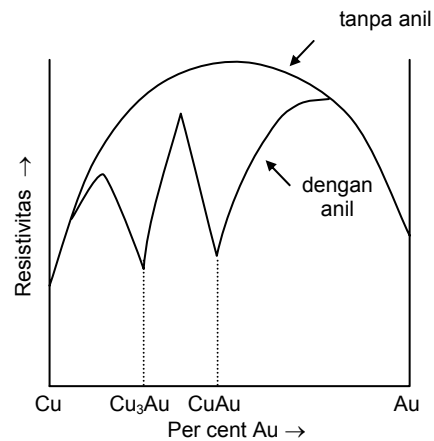


Gambar 2.2. Grafik resistivitas terhadap temperatur

Lintasan bebas rata-rata cenderung tidak terbatas sepanjang temperatur mendekati nilai nol. Berdasar pada persamaan (2-1), keadaan ini secara tidak langsung menyatakan bahwa resistivitas dari sebuah logam seharusnya cenderung untuk tidak nol selama temperatur mendekati nol. Kesimpulan ini ditarik dari eksperimen, seperti nampak pada kurva terplot dari resistivitas sebagai fungsi temperatur dalam Gambar 2.2. Pada temperatur rendah tertentu, resistivitas sebanding langsung dengan temperatur (Azarof, 1960).

#### II. 2. 4. Konduktivitas Paduan Logam

Lintasan bebas rata-rata dari sebuah elektron menurun dalam paduan logam untuk dua alasan. Alasan yang utama adalah adanya peningkatan pada jumlah persebaran pusat-pusat disebabkan oleh ketidakhomogenan lokal dalam struktur kristal yang dihasilkan oleh perbedaan pada ukuran terhadap ukuran-ukuran dari atom-atom yang berbeda. Dampak ini terutama sekali tampak pada kasus dari larutan padat paduan logam. Dalam Gambar 2.3 diperlihatkan grafik yang menyatakan hubungan antara resistivitas terhadap komposisi dari paduan logam emas-tembaga.



Gambar 2.3. Grafik resistivitas paduan emas-tembaga sebagai fungsi komposisi

Pada larutan padat yang tidak teratur atau tanpa proses anil, resistivitas mencapai maksimum pada komposisi 50-50, selama kesesuaian-kesesuaian ini terhadap kemungkinan pengotoran maksimum atas struktur, menurun dengan cepat pada kedua bagian terakhir seperti pendekatan pada logam-logam murni. Kenaikan resistivitas seharusnya dijumpai pada suatu ketidaksinambungan dalam potensial periodik oleh elektron-elektron dalam atom-atom zat terlarut.

Kurva kedua dalam Gambar 2.3 menunjukkan dampak dari perlakuan anil. Pada komposisi paduan logam  $\text{Cu}_3\text{Au}$  dan  $\text{CuAu}$  secara berurutan, kurva memperlihatkan nilai minimum tertentu, yang berhubungan dengan kenaikan lintasan bebas rata-rata elektron-elektron yang seharusnya berurutan, yang mana mengembalikan frekuensi jumlah tiap detik untuk paduan logam. Dalam prakteknya, hal tersebut bertentangan bahwa perlakuan anil menyajikan penurunan resistivitas juga karena penguatan sekarang menghilangkan ketidaksempurnaan (cacat) yang lain, yang bisa juga merupakan perlakuan persebaran pusat-pusat untuk elektron-elektron.



Dalam larutan padat, kenaikan resistivitas, mengacu terhadap pendahuluan atom-atom zat terlarut, tidak hilang pada temperatur nol mutlak. Resistansi yang tertinggal biasanya disebut resistansi sisa. Resistansi sisa ini tidak bergantung temperatur dalam mengencerkan paduan logam cair, tetapi bervariasi dengan merubah komposisi paduan logam. Menurut aturan Matthiessen, resistivitas dari paduan logam ideal dapat dinyatakan sebagai jumlahan dari resistansi sisa dan resistansi terkait di mana temperaturnya beragam dalam keadaan linear yang sama seperti resistivitas logam murni. Hubungan ini bukan merupakan fungsi linear dari temperatur untuk temperatur-temperatur sangat rendah seperti dapat dilihat pada gambar 2.2. (Azarof, 1960)

### II. 3. Tinjauan Makroskopik Resistivitas Suatu Penghantar

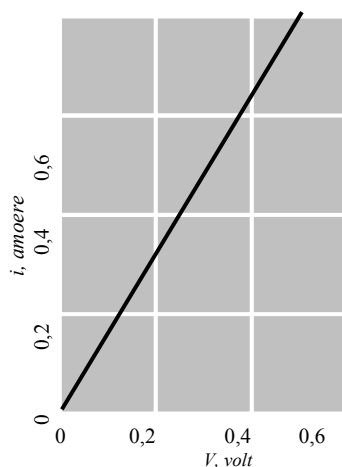
Apabila di antara ujung-ujung batang aluminium dan ujung-ujung batang kayu diberikan potensial yang berbeda, maka akan dihasilkan arus-arus yang berbeda pula walaupun geometri dari kedua batang tersebut serupa. Karakteristik penghantar yang menyebabkan hal ini adalah hambatannya (*resistance*). Hambatan dari sebuah penghantar didefinisikan sebagai hasil pembagian nilai beda potensial yang diberikan padanya terhadap kuat arus yang mengalir di dalamnya.

$$R = \frac{V}{i} \dots\dots\dots(2-2)$$

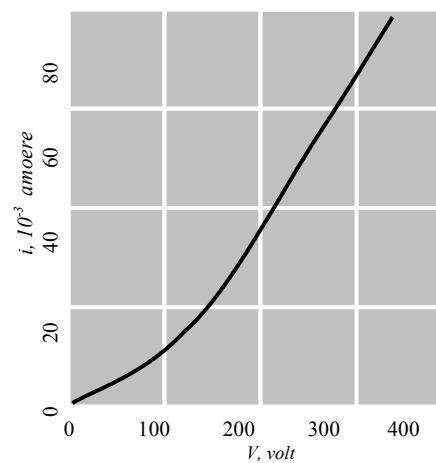
Jika  $V$  adalah beda potensial dengan satuan volt dan  $i$  adalah kuat arus dengan satuan ampere, maka  $R$  adalah nilai hambatan penghantar yang dinyatakan dalam

ohm (simbol  $\Omega$ ). Persamaan (2-2) di atas lazim disebut sebagai hukum Ohm yang banyak berlaku untuk penghantar-penghantar dengan menganggap temperatur penghantar tersebut pada pokoknya adalah konstan selama seluruh pengukuran. Dalam bentuk grafik, persamaan (2-2) di atas akan membentuk kurva linier. Seperti kurva arus di dalam sebuah penghantar tembaga yang khas sebagai sebuah fungsi perbedaan potensial seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4.

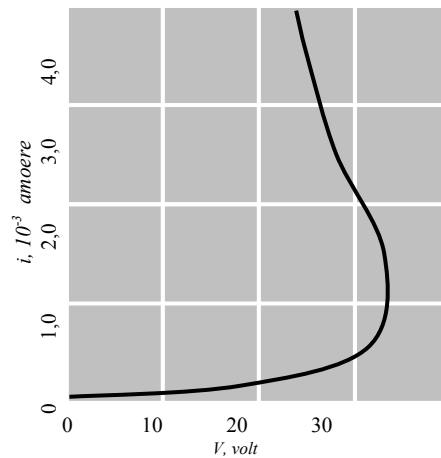
Akan tetapi, hukum Ohm tersebut juga tidak berlaku baku untuk semua jenis penghantar. Terdapat juga penghantar yang tidak menuruti hukum ohm. Penghantar tersebut merupakan semikonduktor dengan koefisien temperatur dari resistivitasnya sangat besar. Sedikit perubahan suhu mampu memberikan kontribusi perubahan nilai hambatan yang terbaca dengan jelas. Sebagai contohnya dapat dilihat grafik fungsi beda arus terhadap beda potensial untuk tabung vakum dan termistor pada Gambar 2.5 dan Gambar 2.6.



Gambar 2.4. Grafik i-V pada tembaga



Gambar 2.5. Grafik i-V pada tabung vakum



Gambar 2.6. Grafik i-V pada termistor

Aliran muatan melalui sebuah penghantar seringkali dibandingkan dengan aliran air melalui sebuah pipa, yang terjadi karena adanya perbedaan tekanan di antara ujung-ujung pipa tersebut, yang barangkali dihasilkan oleh sebuah pompa. Perbedaan tekanan ini dapat dianalogikan dengan perbedaan potensial yang dihasilkan oleh sebuah baterai di antara ujung-ujung dari sebuah tahanan. Aliran air (katakanlah dinyatakan dalam  $\frac{\text{liter}}{\text{detik}}$ ) dibandingkan dengan arus ( $\frac{\text{coulomb}}{\text{detik}}$  atau ampere). Banyaknya air yang mengalir per satuan waktu untuk suatu perbedaan tekanan yang diberikan ditentukan oleh sifat pipa. Bisa dari panjangnya, luas penampangnya, materi yang ada di dalam pipa atau barangkali terdapat kerikil di dalam pipa tersebut. Sifat-sifat ini adalah analog dengan hambatan sebuah penghantar. Standar hambatan primer, yang disimpan di Biro Standar Nasional (*National Bureau of Standards*) adalah kumparan-kumparan kawat (*spools of wire*) yang hambatannya telah diukur dengan teliti. Karena hambatan berubah dengan temperatur, maka standar-standar ini bila digunakan, ditempatkan di dalam sebuah kamar minyak pada suatu temperatur yang diatur.

Standar-standar tersebut dibuat dari sebuah logam campuran khusus yang dinamakan manganin, untuk mana perubahan hambatan dengan temperatur adalah sangat kecil. Standar-standar tersebut dikuatkan dengan hati-hati untuk mengeliminasi regangan, yang juga mempengaruhi hambatan. Tahanan-tahanan standar primer ini terutama digunakan untuk mengkalibrasi standar-standar sekunder untuk keperluan laboratorium-laboratorium lain. Secara operasional, maka standar-standar hambatan primer tidak diukur dengan menggunakan persamaan (2-2) tetapi diukur secara tak langsung yang melibatkan medan magnet.

Sesuatu yang dihubungkan dengan hambatan adalah resistivitas ( $\rho$ ), yang merupakan karakteristik dari suatu bahan dan bukan merupakan karakteristik dari bahan contoh khas (*particular specimen*) dari suatu bahan. Resistivitas tersebut, untuk bahan-bahan isotropik, didefinisikan dari

$$\rho = \frac{E}{j} \dots\dots\dots(2-3)$$

Di mana  $E$  adalah medan listrik dan  $j$  adalah rapat arus dalam bahan.

Pembicaraan mengenai konduktivitas ( $\sigma$ ) dari suatu bahan lebih sering dilakukan daripada berbicara mengenai resistivitasnya. Seperti yang sudah diungkapkan di atas, konduktivitas adalah kebalikan dari resistivitas, yang dihubungkan oleh :

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \dots\dots\dots(2-4)$$

di mana satuan dari konduktivitas ( $\sigma$ ) adalah  $(\Omega.m)^{-1}$ .

Ditinjau sebuah penghantar silinder berpenampang  $A$  (luas penampang) dan panjangnya  $l$ , yang mengangkut sebuah arus  $i$  yang tetap dengan perbedaan potensial  $V$  di antara ujung-ujung penghantar tersebut, dan jika penampang-penampang silinder pada setiap ujung adalah merupakan permukaan-permukaan equipotensial, maka medan listrik ( $E$ ) dan rapat arus ( $j$ ) akan konstan untuk semua titik di dalam silinder dan akan mempunyai nilai-nilai,

$$E = \frac{V}{l} \dots\dots\dots(2-5)$$

dan,

$$j = \frac{i}{A} \dots\dots\dots(2-6)$$

sehingga resistivitas ( $\rho$ ) dapat dituliskan sebagai berikut,

$$\rho = \frac{E}{j} = \frac{\frac{V}{l}}{\frac{i}{A}} = \frac{V \cdot A}{i \cdot l} \dots\dots\dots(2-7)$$

Karena  $\frac{V}{i}$  adalah hambatan ( $R$ ), maka diperoleh :

$$R = \rho \frac{l}{A} \dots\dots\dots(2-8)$$

Parameter-parameter  $V$ ,  $i$  dan  $R$  adalah kuantitas-kuantitas makroskopik, untuk sebuah benda khas atau daerah yang diperluas. Kuantitas-kuantitas mikroskopik yang bersangkutan adalah  $\mathbf{E}$ ,  $\mathbf{j}$  dan  $\rho$ . Kuantitas-kuantitas mikroskopik ini mempunyai nilai di tiap-tiap titik di dalam sebuah benda. Kuantitas-kuantitas makroskopik tersebut dihubungkan terhadap satu sama lain oleh persamaan (2-2) ( $V = i R$ ) dan kuantitas-kuantitas mikroskopik dihubungkan terhadap satu sama

lain oleh persamaan (2-3), yang dapat dituliskan di dalam bentuk vektor sebagai

$$\mathbf{E} = \mathbf{j} \rho .$$

Kuantitas-kuantitas makroskopik tersebut dapat dicari dengan mengintegalkan terhadap kuantitas-kuantitas mikroskopik, dengan menggunakan hubungan-hubungan,

$$i = \int \mathbf{j} \cdot d\mathbf{S} \dots\dots\dots(2-9)$$

dan,

$$V_{ab} = -\int_a^b \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} \dots\dots\dots(2-10)$$

Integral di dalam persamaan (2-9) adalah sebuah integral permukaan, yang dilakukan pada setiap penampang penghantar. Integral di dalam persamaan (2-10) adalah sebuah integral garis yang dilakukan sepanjang sebuah garis sembarang yang ditarik sepanjang penghantar tersebut, dan yang menghubungkan setiap dua permukaan ekipotensial, yang diidentifikasi oleh  $a$  dan  $b$ . Untuk sebuah kawat panjang yang dihubungkan ke sebuah permukaan ekipotensial baterai  $a$  dapat dipilih sebagai sebuah penampang kawat di dekat terminal baterai yang positif dan  $b$  dapat dipilih sebagai sebuah penampang di dekat terminal negatif.

Dapat dinyatakan hambatan sebuah penghantar di antara  $a$  dan  $b$  di dalam suku-suku mikroskopik dengan membagi kedua-dua persamaan ini, atau

$$R = \frac{V_{ab}}{i} = \frac{-\int_a^b \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}}{\int \mathbf{j} \cdot d\mathbf{S}} \dots\dots\dots(2-11)$$

Jika geometri penghantar tersebut adalah silinder panjang dengan luas penampang  $A$  dan panjangnya  $l$ , dan jika titik  $a$  dan  $b$  adalah merupakan ujung-ujungnya,

maka dengan menggunakan persamaan (2-3), persamaan yang terdahulu untuk  $R$  akan direduksi menjadi :

$$R = \frac{El}{jA} = \rho \frac{l}{A} \dots\dots\dots(2-12)$$

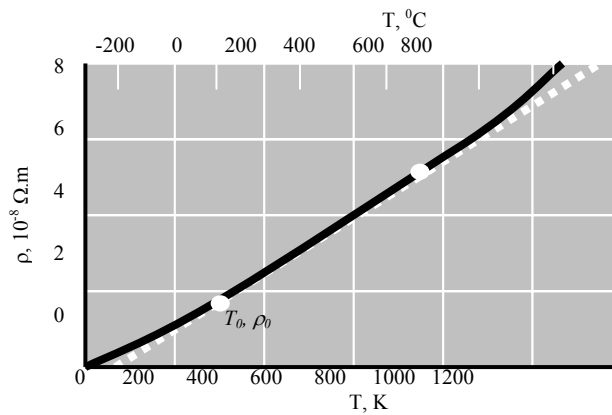
yang sama dengan persamaan (2-8).

Kuantitas-kuantitas makroskopik  $V$ ,  $i$  dan  $R$  adalah sangat penting untuk pengukuran-pengukuran listrik pada benda-benda penghantar yang nyata. Kuantitas-kuantitas makroskopik tersebutlah yang dibaca pada alat-alat pengukur. Kuantitas-kuantitas mikroskopik  $\mathbf{E}$ ,  $\mathbf{j}$  dan  $\rho$  adalah sangat penting untuk pembahasan sifat fundamental bahan (dan bukan sifat bahan contoh) seperti yang sudah dibahas dalam konduktivitas logam di atas (Halliday, 1993).

Resistansi suatu penghantar yang diukur dengan menggunakan persamaan (2-8) tentu akan berubah jika temperatur selama pengukuran tidak konstan. Hal ini disebabkan karena geometri suatu bahan akan berubah jika temperatur berubah, yang pada umumnya, akan membesar apabila temperatur dinaikkan. Ditinjau dari persamaan (2-1), perubahan temperatur akan mempengaruhi kecepatan rata-rata elektron bertumbukkan ( $v$ ), sedemikian hingga resistivitas yang berbanding lurus dengan  $v$  juga akan berubah. Kurva tebal dalam Gambar 2.7 memperlihatkan bagaimana resistivitas tembaga berubah dengan temperatur. Kadang-kadang, untuk kegunaan praktis, data seperti itu dinyatakan di dalam bentuk persamaan.

Apabila diambil suatu jangkauan temperatur yang terbatas saja yang membentang, misalnya dari  $0^{\circ}\text{C}$  sampai  $500^{\circ}\text{C}$ , maka dapat dicocokkan sebuah

garis lurus pada kurva dalam Gambar 2.7, dengan membuat garis tersebut lewat melalui dua titik yang dipilih secara sembarang.



Gambar 2.7. Resistivitas tembaga sebagai fungsi temperatur

Dipilih titik yang ditandai  $T_0, \rho_0$  di dalam gambar tersebut sebagai sebuah titik referensi, dengan  $T_0$  adalah  $0^\circ\text{C}$  di dalam kasus ini dan  $\rho_0 = 1,56 \times 10^{-8} \Omega.m$ . Resistivitas ( $\rho$ ) pada sembarang temperatur ( $T$ ) dapat dicari dari persamaan empiris dari garis lurus yang terputus-putus di dalam Gambar 2.8, yang dinyatakan oleh persamaan :

$$\rho = \rho_0 (1 + \bar{\alpha} [T - T_0]) \dots \dots \dots (2-13)$$

Hubungan tersebut memperlihatkan dengan benar bahwa  $\rho \rightarrow \rho_0$  untuk  $T \rightarrow T_0$ .

Jika persamaan (12) dipecahkan untuk  $\alpha$ , maka didapatkan :

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{\rho_0} \frac{\rho - \rho_0}{T - T_0} \dots \dots \dots (2-14)$$

Di mana  $\alpha$  tersebut adalah suatu koefisien temperatur rata-rata dari resistivitas pada suatu temperatur yang khas. Untuk kebanyakan tujuan praktis maka persamaan (2-13) memberikan hasil-hasil yang berada di dalam jangkauan



ketelitian yang dapat diterima. Tabel 2-1 memberikan daftar resistivitas beberapa logam yang lazim dikenal berikut koefisien temperatur resistivitasnya. Karbon dalam tabel tersebut hanya merupakan sebuah pembandingan. Temperatur koefisien resistivitas ( $\alpha$ ) karbon yang bernilai negatif mempunyai arti, semakin naik temperatur maka resistivitasnya akan semakin berkurang.

Tabel 2-1. Tabel resistivitas beberapa logam yang lazim dikenal

Nama Logam	$\rho$ pada suhu 20 <sup>0</sup> C ( ohm.m)	$\alpha$ ( <sup>0</sup> C <sup>-1</sup> )
Perak	$1,6 \times 10^{-8}$	$380 \times 10^{-5}$
Tembaga	$1,7 \times 10^{-8}$	$390 \times 10^{-5}$
Alumunium	$2,8 \times 10^{-8}$	$390 \times 10^{-5}$
Tungsten	$5,6 \times 10^{-8}$	$450 \times 10^{-5}$
Nikel	$6,8 \times 10^{-8}$	$600 \times 10^{-5}$
Besi	$10 \times 10^{-8}$	$500 \times 10^{-5}$
Baja	$18 \times 10^{-8}$	$300 \times 10^{-5}$
Mangan	44	$1,0 \times 10^{-5}$
Karbon	3500	$-50 \times 10^{-5}$

Sumber: Halliday & Resnick, 1993

## II. 4. Timah dan Alumunium

### II. 4. 1. Pengantar

Dasar awal pemilihan logam alumunium sebagai pengganti dari logam timbel adalah sifatnya yang relatif tidak beracun dibandingkan dengan timbel, harga yang relatif murah dan keberadaannya yang cukup melimpah. Jika dikaji dengan didasarkan pada kaidah Humann-Rothery, selisih ukuran atom Sn dengan Al adalah,  $\Delta d = \frac{0,1509 - 14315}{0,1509} \times 100\% = 5\%$ . Perbedaan sebesar 5% tersebut

masih memungkinkan terjadinya daya larut yang tinggi mengingat batas yang diijinkan adalah kurang dari 15%. Untuk kaidah struktur kristal, kedua atom memiliki struktur yang berbeda, logam Sn berstruktur tetragonal dan logam Al berstruktur *FCC*. Meskipun begitu, dengan didasarkan pada paduan timah-timbel, diharapkan pada logam timah dan alumunium juga dapat membentuk paduan logam yang homogen karena struktur kristal alumunium sama dengan struktur kristal timbel dan sifat elektrokimia Sn sama dengan Al (merupakan unsur elektropositif).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Nugroho Budi Widodo (Nugroho Budi Widodo, 2006), titik lebur paduan Sn-Al untuk beberapa komposisi memang tidak lebih rendah dari titik lebur bahan solder paduan Sn-Pb ( $183^{\circ}\text{C}$ ) yang saat ini lazim digunakan. Adapun nilai titik lebur untuk beberapa komposisi paduan x-Sn y-Al tersebut diberikan dalam Tabel 2-2 berikut.

Tabel 2-2. Titik lebur beberapa paduan Sn-Al dengan metode DTA

No	Komposisi (%Al)	Titik Lebur Paduan ( $^{\circ}\text{C}$ )
1	0	199,29
2	13,69	492,19
3	19,86	549,04
4	30,09	539,47
5	38,37	560,14
6	50,24	548,52
7	59,88	545,80
8	70,80	576,00
9	79,71	535,51
10	90,41	557,02
11	100	640,17

Akan tetapi, jika penggunaan bahan solder paduan Sn-Al ini untuk keperluan elektronika, maka rentang titik lebur paduan masih dapat ditoleransi mengingat

kaki komponen piranti elektronika yang terbuat dari tembaga di mana titik lebur dari tembaga adalah  $1084^{\circ}\text{C}$  (Van Vlack, 1991). Selanjutnya, sifat-sifat yang dimiliki oleh logam timah dan aluminium akan dibahas dalam uraian tersendiri berikut ini.

#### II. 4. 2. Timah (Sn)

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 lama. Dalam paduannya, logam ini tidak mudah teroksidasi di udara dan tahan terhadap korosi. Sehingga, ia dapat digunakan untuk melindungi logam-logam lain untuk mencegah terjadinya korosi. (Anonim II, 2006). Beberapa sifat yang dimiliki oleh logam timah diberikan dalam Tabel 2-3 berikut ini.

Tabel 2-3. Tabel beberapa sifat yang dimiliki oleh timah

Sifat	Nilai/Keterangan	Sumber
Golongan	IVA	Brady, 1999
Periode	3	Brady, 1999
Nomer Atom	50	Brady, 1999
Massa Atom	$118,71 \text{ gram.mol}^{-1}$	Brady, 1999
Kategori	Logam Lemah	Anonim II, 2006
Koefisien temperatur rata-rata dari resistivitas	$0,0045 \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$	Ness, 1999
Resistivitas pada $22^{\circ}\text{C}$	$11 \times 10^{-8} \Omega.\text{m}$	Kittel, 1996
Struktur Kristal	Tetragonal ( <i>diamond</i> )	Kittel, 1996
Jari-jari Atom Rata-rata	0,1509 nm	Van Vlack, 1991
Valuasi	4+	Van Vlack, 1991
Titik Lebur	$232^{\circ}\text{C}$	Van Vlack, 1991

### II. 4. 3. Alumunium (Al)

Alumunium mempunyai kepadatan sepertiga dari baja atau tembaga, mudah ditempa, kenyal, mudah dicetak dan dibuat, dan memiliki ketahanan dan daya tahan terhadap korosi yang sangat bagus. Alumunium juga merupakan logam non magnetik. Dalam penempatannya menempati urutan kedua setelah emas dan kekenyalan menduduki yang keenam (Anonim III, 2006). Beberapa sifat yang dimiliki oleh logam alumunium diberikan dalam Tabel 2-3 berikut ini.

Tabel 2-4. Tabel beberapa sifat yang dimiliki oleh alumunium

Sifat	Nilai/Keterangan	Sumber
Golongan	IIIA	Brady, 1999
Periode	2	Brady, 1999
Nomer Atom	13	Brady, 1999
Massa Atom	26,98 gram.mol <sup>-1</sup>	Brady, 1999
Kategori	Logam Lemah	Anonim III, 2006
Koefisien temperatur rata-rata dari resistivitas	0,004 °C <sup>-1</sup>	Ness, 2005
Resistivitas pada 22 <sup>0</sup> C	2,74 × 10 <sup>-8</sup> Ω.m	Kittel, 1996
Struktur Kristal	FCC	Kittel, 1996
Jari-jari Atom Rata-rata	0,14315 nm	Van Vlack, 1991
Valuasi	3+	Van Vlack, 1991
Titik Lebur	660,4 <sup>0</sup> C	Van Vlack, 1991

## **BAB III**

### **METODELOGI PENELITIAN**

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

##### **III. 1. 1. Waktu Penelitian**

Waktu penelitian studi karakteristik resistivitas paduan logam x-Sn y-Al ini dimulai dari tanggal 1 September 2005 dan berakhir pada tanggal 31 Januari 2006.

##### **III. 1. 2. Tempat Penelitian**

Tempat penelitian dilaksanakan di Sub Lab Fisika Laboratorium Pusat MIPA Universitas Sebelas Maret Surakarta.

#### **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) Spatula
- 4) Pinset
- 5) Krustang
- 6) *Furnace Nabertherm*
- 7) Ubin

- 8) Cetakan sampel
- 9) Amplas
- 10) Tisu
- 11) Gunting
- 12) Plastik klip
- 13) Spidol permanen
- 14) AVO meter digital
- 15) PCB Polos
- 16) Fereklorida
- 17) Wadah untuk melarutkan PCB
- 18) Mur dan baut
- 19) Gergaji
- 20) Bor
- 21) *Soldering Iron*
- 22) Tenol
- 23) Kabel warna merah dan hitam
- 24) Jepit buaya
- 25) *Power Supply* DC 6 volt
- 26) Resistor dengan nilai 330 k $\Omega$ , 10 k $\Omega$ , 1 k $\Omega$ , 220 $\Omega$  dan 1 $\Omega$
- 27) Obeng
- 28) Jangka sorong skala nonius 0,05 mm

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

- 1) Timah
- 2) Alumunium

### III. 3. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini didasarkan pada sifat listrik yang dimiliki oleh logam sebagai penghantar. Dengan memberikan beda potensial ( $V$ ) pada sampel, kemudian mengukur arus ( $i$ ) yang melewatinya, maka bisa diperoleh nilai resistansi melalui perhitungan menggunakan persamaan (2-2) yaitu

$R = \frac{V}{i}$ . Selanjutnya nilai resistansi yang diperoleh tersebut digunakan untuk

mendapatkan nilai resistivitas dengan menggunakan persamaan  $\rho = R A L^{-1}$  yang diturunkan dari persamaan (2-8), di mana  $A$  adalah luas permukaan sampel dan  $L$  adalah ketebalan dari sampel. Karena luas permukaan sampel dalam penelitian ini

berbentuk lingkaran, maka  $A = \frac{1}{4} \pi d^2$ .

Besaran-besaran  $V$ ,  $i$ ,  $L$  dan  $d$  yang diwakili oleh  $x$  dilaporkan dalam bentuk persamaan sebagai berikut :

$$x = \bar{x} \pm \Delta x \dots\dots\dots(3-1)$$

dengan  $\bar{x}$  dan  $\Delta x$  diperoleh dari rumusan berikut :

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \dots\dots\dots(3-2)$$

$$\Delta x = \frac{1}{n} \sqrt{\frac{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}{(n-1)}} \dots\dots\dots(3-3)$$

Variabel  $\bar{x}$  adalah nilai rata-rata dan  $\Delta x$  menunjukkan ketidakpastian perhitungan variabel-variabel data tersebut (nilai ralat). Sedangkan  $n$  menunjukkan kuantitas pengukuran data.

Ketidakpastian untuk luas permukaan sampel yang merupakan fungsi satu perubah bentuk pangkat  $y = ax^n$  diperoleh melalui rumusan :

$$\Delta y = \left| n a x^{n-1} \right| |\Delta x| \dots\dots\dots(3-4)$$

dan,

$$\frac{\Delta y}{y} = \left| n \right| \left| \frac{\Delta x}{x} \right| \dots\dots\dots(3-5)$$

Di mana  $a$  adalah tetapan dan  $n$  adalah bilangan bulat atau pecahan. Karena luas permukaan ( $A$ ) dirumuskan  $A = \frac{1}{4} \pi d^2$  maka dalam persamaan (3-4) dan (3-5) variabel  $x$  menunjukkan diameter, variabel  $y$  menunjukkan luasan, variabel  $a$  adalah  $\frac{1}{4} \pi$  dan besarnya  $n$  adalah 2. Selanjutnya luas permukaan sampel dilaporkan dalam bentuk yang identik dengan persamaan (3-1) yaitu  $y = \bar{y} \pm \Delta y$ , dengan  $\bar{y}$  sebagai nilai rata-rata dari luasan yang bisa diperoleh dengan menggunakan persamaan (3-2) di atas (B. Darmawan, 1983).

Didasarkan pada teori ketidakpastian yang ditulis oleh B. Darmawan Djonoputro (1983) untuk fungsi lebih dari satu perubah, maka ketidakpastian untuk resistansi ( $R$ ) didapatkan melalui perhitungan menggunakan rumus berikut :

$$\Delta R = \left| 1.R \frac{\Delta V}{V} \right| + \left| -1.R \frac{\Delta i}{i} \right| \dots\dots\dots(3-6)$$

dan,



$$\frac{\Delta R}{R} = \left| 1 \cdot \frac{\Delta V}{V} \right| + \left| -1 \cdot \frac{\Delta l}{l} \right| \dots \dots \dots (3-7)$$

Sedangkan untuk resistivitas didapatkan melalui perhitungan berikut :

$$\Delta \rho = \left| 1 \cdot \rho \frac{\Delta R}{R} \right| + \left| 1 \cdot \rho \frac{\Delta A}{A} \right| + \left| -1 \cdot \rho \frac{\Delta L}{L} \right| \dots \dots \dots (3-8)$$

dan,

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \left| 1 \cdot \frac{\Delta R}{R} \right| + \left| 1 \cdot \frac{\Delta A}{A} \right| + \left| -1 \cdot \frac{\Delta L}{L} \right| \dots \dots \dots (3-9)$$

Resistansi dan resistivitas dilaporkan dalam bentuk yang identik seperti persamaan (3-1) yang telah disebutkan di atas.

Proses produksi sampel dilakukan dengan memanfaatkan sifat lebur zat. Temperatur peleburan ditentukan di atas temperatur lebur kedua bahan. Diharapkan, dengan temperatur peleburan tersebut kedua bahan dapat melebur berbentuk cairan yang kemudian bercampur menjadi paduan. Jumlah sampel yang akan dibuat adalah 11 dan tidak diberikan perlakuan anil untuk sampel-sampel tersebut. Adapun kesebelas sampel tersebut berada dalam perbandingan komposisi jumlah mol zat 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. Penentuan besarnya massa bahan untuk tiap-tiap komposisi diturunkan dari rumusan berikut :

$$m_{SA} = m_{Sn} + m_{Al} \dots \dots \dots (3-10)$$

di mana  $m_{SA}$  adalah massa total bahan sampel,  $m_{Sn}$  adalah massa timah dan  $m_{Al}$  adalah massa aluminium. Kemudian, dari persamaan 3-10 dipecah dengan

menjabarkan  $m = mol \times Ar$ , dengan  $m$  adalah massa zat dan  $Ar$  adalah massa relatif atom. Sehingga didapatkan :

$$m_{Sn} = (mol Sn \times Ar Sn) + (mol Al \times Ar Al) \dots \dots \dots (3-11)$$

Untuk komposisi x-Sn y-Al, di mana x dan y adalah persentase jumlah mol timah dan alumunium, 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 ke persamaan 3-11 dihasilkan :

$$m_{SA} = (mol Sn \times Ar Sn) + \left( \frac{y}{x} \cdot mol Sn \times Ar Al \right) = mol Sn \left( Ar Sn + \left[ \frac{y}{x} \cdot Ar Al \right] \right)$$

$$m_{SA} = \frac{m_{Sn}}{Ar Sn} \left( Ar Sn + \left[ \frac{y}{x} \cdot Ar Al \right] \right)$$

$$m_{Sn} = m_{SA} \frac{Ar Sn}{Ar Sn + \frac{y}{x} \cdot Ar Al} \dots \dots \dots (3-13)$$

Persamaan 3-13 di atas adalah rumusan untuk mendapatkan massa timah. Untuk massa alumunium diperoleh cukup dengan mengurangi massa timah terhadap massa total bahan sampel.

$$m_{Al} = m_{SA} - m_{Sn} \dots \dots \dots (3-14)$$

Tentu saja, untuk mendapatkan nilai massa timbang sama persis dengan hasil dari perhitungan menggunakan persamaan (3-13) dan (3-14) adalah hal yang sulit untuk dilakukan (ini bukan berarti tidak mungkin). Oleh karena itu, setelah harga massa timbang diperoleh, maka perlu dilakukan perhitungan ulang untuk

mendapatkan komposisi persentase jumlah mol yang baru. Adapun cara untuk mendapatkan persentase jumlah mol yang baru melalui rumusan berikut :

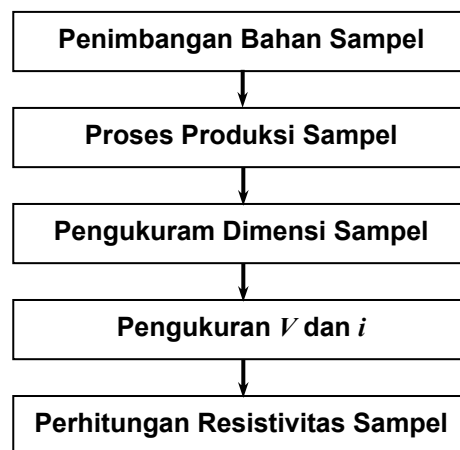
$$\%x = \frac{\text{mol } x}{\text{mol } x + \text{mol } y} \dots\dots\dots(3-15)$$

dan untuk %y,

$$\%y = \frac{\text{mol } y}{\text{mol } x + \text{mol } y} \dots\dots\dots(3-16)$$

### 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 beda potensial dan kuat arus listrik, kemudian yang terakhir adalah perhitungan resistivitas sampel. Berikut adalah tahapan penelitian dalam bentuk diagram.



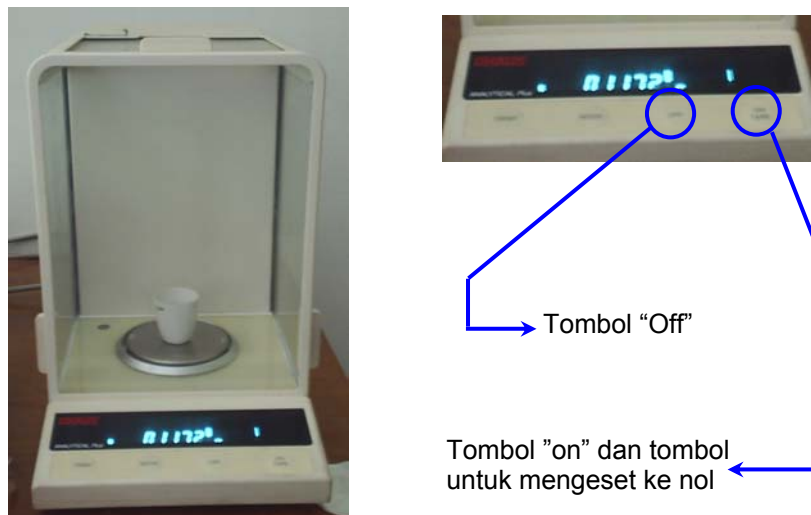
Gambar 3.1 Garis besar tahapan penelitian

Selanjutnya, jbaran 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 untuk bahan sampel, aluminium dan timah yang berbentuk lempengan dipotong kecil-kecil hingga bentuknya mirip serbuk. 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 0,000.
- 4) Massa bahan dimasukkan sedikit demi sedikit ke dalam krusibel hingga neraca menunjukkan nilai sesuai dengan yang diinginkan.
- 5) Bahan sampel yang sudah ditimbang, dimasukkan dalam plastik klip dan diberi label harga timbang beserta komposisinya.



Gambar 3.2. Neraca Ohaus dengan ketelitian 4 angka di belakang koma

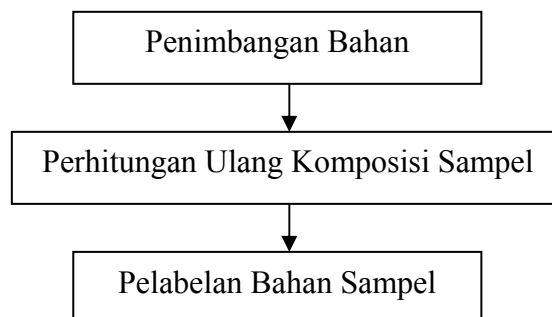
Dalam penelitian ini massa total bahan ditentukan sebesar 5 gram. Dengan nilai  $A_r \text{ Sn} = 118,71 \text{ gram.mol}^{-1}$  dan nilai  $A_r \text{ Al} = 26,98 \text{ gram.mol}^{-1}$ , maka massa

timah dan massa aluminium untuk masing-masing komposisi dapat diperoleh menggunakan persamaan (3-13) dan (3-14). Hasil perhitungan massa bahan sampel diberikan dalam Tabel 3-1 di bawah ini..

Tabel 3-1. Massa x-Sn y-Al untuk masing-masing komposisi

No.	Persentase mol Sn (x)	Persentase mol Al (y)	Massa Sn (gram)	Massa Al (gram)
1	100	0	5,0000	0
2	90	10	4,8768	0,1232
3	80	20	4,7312	0,2688
4	70	30	4,5562	0,4438
5	60	40	4,3421	0,6579
6	50	50	4,0741	0,9259
7	40	60	3,7288	1,2712
8	30	70	3,2673	1,7327
9	20	80	2,6190	2,3810
10	10	90	1,6418	3,3582
11	0	100	0	5,0000

Jika penimbangan bahan telah selesai dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan ulang komposisi paduan dengan menggunakan persamaan (3-15) dan (3-16). Bentuk diagram tahap penimbangan sampel ini ditunjukkan oleh Gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3. Tahapan penimbangan sampel

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

Peleburan bahan sampel dilakukan dengan menggunakan *Furnace Nabertherm*. Adapun langkah-langkah dalam menggunakan *Furnace Nabertherm* untuk melebur bahan sampel adalah sebagai berikut:

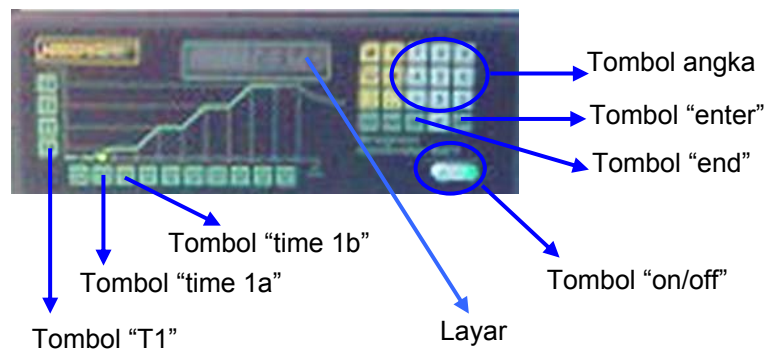
- 1) *Furnace Nabertherm* dinyalakan dengan menekan tombol “on”.
- 2) Tombol “T1” ditekan.
- 3) Temperatur diset sesuai kebutuhan dengan menekan tombol angka kemudian menekan tombol “enter”.
- 4) Tombol “time 1a” ditekan dan waktu diset dengan menekan tombol angka kemudian menekan tombol “enter”. Prosedur ini untuk mendapatkan panas tungku sesuai dengan kebutuhan.
- 5) Tombol “time 1b” ditekan dan waktu diset dengan menekan tombol angka kemudian menekan tombol “enter”. Prosedur ini untuk menahan panas tungku dalam selang waktu yang diinginkan.
- 6) Jika penggunaan telah selesai, tombol “end” ditekan untuk mengakhiri program, *Furnace Nabertherm* diset pada suhu kamar.
- 7) Tombol “off” ditekan untuk mematikan *Furnace Nabertherm*.

Temperatur peleburan yang digunakan adalah  $900^{\circ}\text{C}$ , yang lebih tinggi dari temperatur lebur Sn ( $232^{\circ}\text{C}$ ) dan Al ( $660,4^{\circ}\text{C}$ ). Penentuan temperatur  $900^{\circ}\text{C}$  tersebut didasarkan pada percobaan peleburan logam Al sebelum menjalani produksi paduan. Logam Al ternyata tidak segera berubah bentuk menjadi cairan ketika dipanaskan dalam suhu  $700^{\circ}\text{C}$  di mana suhu tersebut sudah berada di atas titik lebur logam Al. Ketika suhu *Furnace* dinaikkan menjadi  $900^{\circ}\text{C}$ , dalam selang

waktu kurang dari satu jam logam Al ternyata telah mengalami perubahan bentuk. Berdasarkan kenyataan ini juga, selang waktu tahan *Furnace Nabertherm* diset selama 150 menit dengan selang waktu untuk menaikkan temperatur diset selama 60 menit.



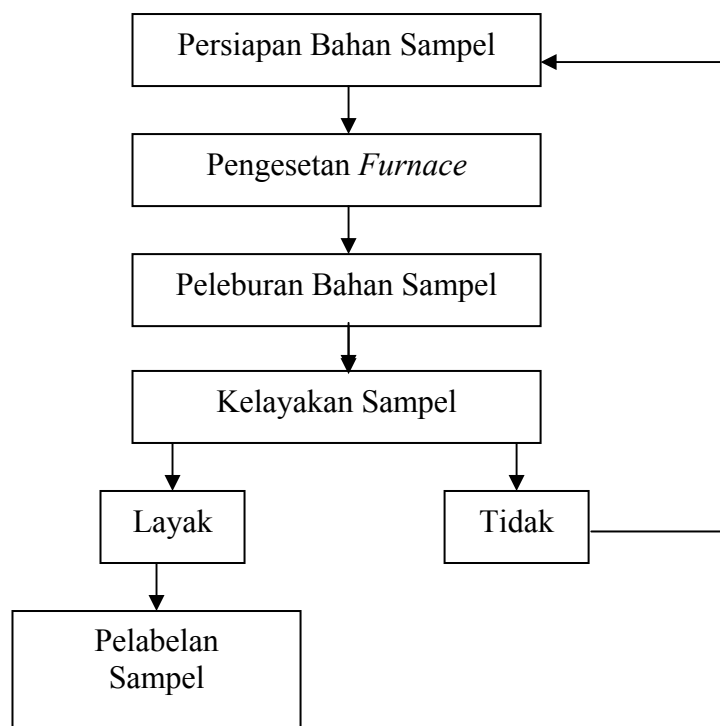
Gambar 3.4. *Furnace Nabertherm* yang digunakan untuk melebur bahan



Gambar 3.5. Beberapa tombol *Furnace Nabertherm* yang digunakan dalam proses peleburan bahan sampel

Wadah yang digunakan untuk melebur bahan sampel adalah krusibel dan dimasukkan dalam *Furnace Nabertherm* ketika temperatur sudah mencapai  $900^{\circ}\text{C}$ . Sebelumnya, diletakkan keramik (ubin) sebagai papan dasar wadah. Hal ini bertujuan, jika terjadi tumpahan, maka tidak mengotori ruang *Furnace*

*Nabertherm*. Kehati-hatian dalam melakukan proses produksi ini sangat ditekankan, mengingat temperatur *Furnace Nabertherm* yang digunakan cukup tinggi. Setelah waktu tahan temperatur  $900^{\circ}\text{C}$  selesai, wadah dikeluarkan dan sampel dituang dalam cetakan. Prosedur tersebut diulang dari awal hingga tercapai jumlah komposisi sampel yang telah ditentukan. Setiap sampel jadi dimasukkan dalam plastik klip dan diberi label sesuai dengan komposisinya. Gambar diagram untuk tahap ini secara lengkapnya dapat dilihat pada Gambar 3-5 di bawah ini.



Gambar 3-6. Tahapan proses produksi

Dalam tahapan produksi di atas terdapat sub tahap kelayakan sampel. Hal tersebut disadari karena dalam proses produksi paduan logam x-Sn y-Al ini tentu tidak bisa lepas dari banyak kendala. Sehingga dipikirkan juga terjadinya kegagalan produksi yang didasarkan pada bisa atau tidaknya sampel untuk masuk pada tahap berikutnya. Pemikiran yang lain terkait dengan kemungkinan



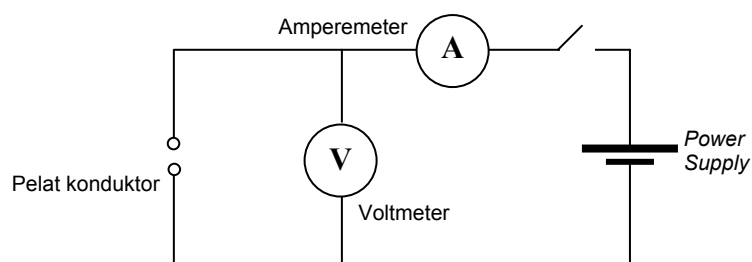
kegagalan produksi adalah belum adanya referensi tulis mengenai produksi paduan logam aluminium dengan timah.

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

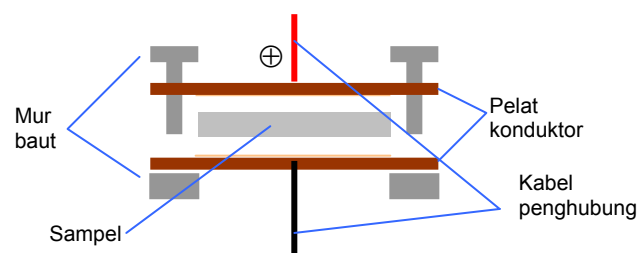
Sebelum melakukan pengukuran, terlebih dahulu sampel dihaluskan dengan amplas. Kemudian masing-masing sampel diukur ketebalan dan diameternya dengan menggunakan jangka sorong skala nonius 0,05 mm. Frekuensi pengambilan data dilakukan sebanyak 25 kali.

### III. 4. 4. Pengukuran Beda Potensial ( $V$ ) dan Kuat Arus Listrik ( $i$ )

Resistansi sampel diperoleh dengan menggunakan hukum Ohm. Adapun skema rancangan alat ukur beda potensial dan kuat arus listrik terlihat pada gambar berikut :

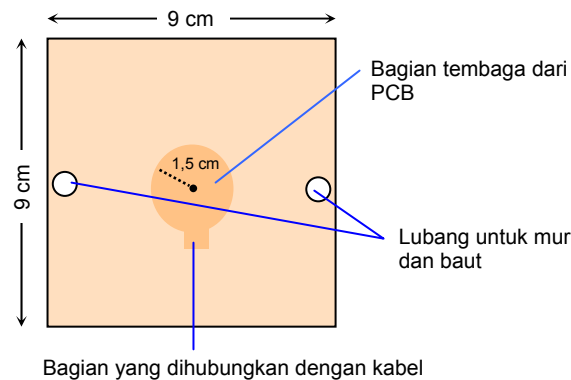


Gambar 3.7. Skema alat ukur  $V$  dan  $i$



Gambar 3.8. Susunan pelat konduktor

Pelat konduktor digunakan PCB yang dirangkai dengan voltmeter, amperemeter dan *power supply* DC 6 volt diset sesuai dengan Gambar 3.7 di atas. Susunan pelat konduktor dan bentuk pelat konduktor ditunjukkan dalam Gambar 3.8 dan 3.9.

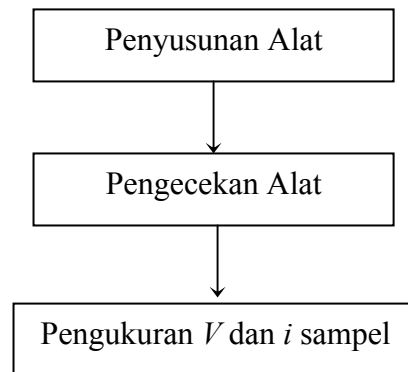


Gambar 3.9. PCB untuk pelat konduktor

Setelah rancangan alat disusun seperti skema, dilakukan pengecekan alat untuk mengetahui apakah alat sudah siap untuk digunakan. Sampel yang dipakai untuk melakukan pengecekan adalah resistor pabrikan sejumlah lima buah dengan nilai pabrikan  $330\text{k}\Omega$ ,  $10\text{k}\Omega$ ,  $1\text{k}\Omega$ ,  $220\Omega$  dan  $1\Omega$ . Berikut adalah urutan langkah pengecekan alat :

- 1) Resistor diukur langsung dengan ohmmeter dan dibandingkan dengan nilai resistansi pabrikan. Langkah ini bertujuan untuk mengetahui apakah resistor dalam kondisi yang baik (tidak rusak).
- 2) Resistor diletakkan di antara dua pelat konduktor dan dicatat nilai beda potensial dan kuat arus pada resistor yang kemudian dimasukkan dalam persamaan (2-2).
- 3) Nilai hambatan yang diperoleh dari no. 2 dibandingkan dengan nilai hambatan berdasarkan harga pabrikan.

Apabila telah dilakukan pengecekan alat, kemudian langkah dilanjutkan dengan mengukur beda potensial dan kuat arus untuk masing-masing sampel. Pengukuran beda potensial dan kuat arus listrik ini dilakukan sebanyak 25 kali. Bentuk diagram untuk tahap ini ditunjukkan oleh Gambar 3.10.



Gambar 3.10. Tahap pengukuran  $V$  dan  $i$

### III. 4. 5. Perhitungan Resistivitas

Perhitungan dan laporan resistivitas masing-masing sampel dilakukan dengan menggunakan persamaan-persamaan yang telah diulas dalam sub bab metode penelitian. Sebelum hasil perhitungan resistivitas disajikan, terlebih dahulu ditampilkan nilai-nilai resistansi dalam bentuk tabel dan grafik. Kemudian, resistivitas masing-masing sampel yang telah diperoleh juga disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Sampel 100%Sn-0%Al dan 0%Sn-100%Al tidak diikutkan dalam kelompok sampel yang akan ditentukan resistivitas terendahnya karena bukan merupakan paduan logam. Adapun grafik resistivitas yang digunakan sebagai pembanding adalah grafik resistivitas paduan Cu-Au.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

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

Telah dilakukan penimbangan bahan sampel yang menghasilkan 11 komposisi baru. Perbandingan komposisi baru tersebut diperoleh dengan menggunakan persamaan :

$$x = \frac{\text{mol Sn}}{\text{mol Sn} + \text{mol Al}} \times 100\% \dots\dots\dots(4-1)$$

untuk persentase timah dan untuk persentase alumunium menggunakan persamaan berikut :

$$y = \frac{\text{mol Al}}{\text{mol Sn} + \text{mol Al}} \times 100\% \dots\dots\dots(4-2)$$

Adapun jumlah mol timah dan alumunium berturut-turut diperoleh melalui persamaan berikut :

$$\text{mol Sn} = \frac{\text{massa Sn}}{118,71} \dots\dots\dots(4-3)$$

dan,

$$\text{mol Al} = \frac{\text{massa Al}}{26,98} \dots\dots\dots(4-4)$$

Massa bahan hasil penimbangan (massa timbang) dapat dilihat dalam lampiran 1. Untuk komposisi paduan yang diperoleh berdasarkan massa timbang ditunjukkan dalam Tabel 4-1 berikut.

Tabel 4-1. Tabel komposisi paduan berdasarkan massa timbang

No.	Mol Sn	Mol Al	X (%)	Y (%)	Komposisi Paduan
1.	0,04216	0	100,00	0	100%Sn-0%Al
2.	0,04100	0,00457	89,98	10,02	89,98%Sn-10,02%Al
3.	0,03986	0,00996	80,00	20,00	80%Sn-20%Al
4.	0,03821	0,01646	69,89	30,11	69,89%Sn-30,11%Al
5.	0,03658	0,02440	59,99	40,01	59,99%Sn-40,01%Al
6.	0,03432	0,03431	50,01	49,99	50,01%Sn-49,99%Al
7.	0,03140	0,04714	39,98	60,02	39,98%Sn-60,02%Al
8.	0,02753	0,06421	30,01	69,99	30,01%Sn-69,99%Al
9.	0,02206	0,08828	19,99	80,01	19,99%Sn-80,01%Al
10.	0,01382	0,12448	10,00	90,00	10%Sn-90%Al
11.	0	0,06089	0	100,00	0%Sn-100%Al

#### IV. 2. Proses Produksi

Telah dilakukan produksi paduan x-Sn y-Al dengan memanfaatkan sifat lebur yang dimiliki oleh zat. Temperatur yang digunakan untuk meleburkan bahan adalah 900<sup>0</sup>C. Pemilihan temperatur tersebut didasarkan pada sifat khas kedua logam yang melebur pada suhu 660,4<sup>0</sup>C untuk aluminium dan 232<sup>0</sup>C untuk timah. Jelas sekali dari titik lebur kedua logam tersebut tidak akan melebihi temperatur 900<sup>0</sup>C. Temperatur 900<sup>0</sup>C tersebut masih berada  $\pm 150^{\circ}\text{C}$  di bawah temperatur maksimal yang dapat dijangkau oleh *Furnace Nabertherm*, sehingga tidak terlalu memaksa kemampuan yang dimiliki oleh piranti lebur ini. Penahanan temperatur *Furnace Nabertherm* dilakukan selama 150 menit dengan tujuan agar diperoleh

sampel yang benar-benar bercampur dengan baik. Ketidakberhasilan dalam proses produksi paduan dialami selama tiga kali dengan parameter ketidakberhasilan adalah pada kelayakan sampel untuk dapat digunakan dalam tahapan selanjutnya.

Ketidakberhasilan pada produksi pertama disebabkan sampel mengalami kerusakan selama proses produksi. Krusibel telah retak sebelum proses selesai, dan akhirnya pecah. Disampaikan bahwa proses produksi yang pertama ini krusibel kosong dimasukkan terlebih dahulu. Kemudian temperatur *Furnace Nabertherm* dinaikkan. Bahan sampel dimasukkan setelah temperatur yang diinginkan dicapai. Konsekuensi dari perlakuan ini adalah krusibel berada di dalam *Furnace Nabertherm* dalam rentang waktu yang relatif lama, yang diyakini menjadi penyebab terjadinya keretakan. Penempatan ubin di dalam *Furnace Nabertherm* sangat membantu dalam kondisi ini. Sedemikian hingga kotoran yang ditimbulkan dapat dibersihkan dengan mudah.

Berdasarkan pengalaman produksi pertama, dilakukan perubahan perlakuan pada produksi yang kedua. Waktu penahanan pemanasan dikurangi menjadi 90 menit. Krusibel berisi bahan sampel diletakkan dalam *Furnace Nabertherm* ketika temperatur  $900^{\circ}\text{C}$  telah dicapai. Selama proses peleburan dalam suhu yang cukup tinggi ini, diamati bentuk kedua logam semakin lama semakin menjauhi bentuk padatan. Kedua logam tersebut berubah bentuk menjadi cairan kental dengan warna merah menyala. Bisa jadi, dalam kondisi tersebutlah yang dimaksud logam mengalami perubahan fase dari padat menjadi cair.

Hasil produksi kedua ini pun belum dapat digunakan sebab sampel melekat erat di dalam krusibel seperti ditunjukkan pada Gambar 4.1.



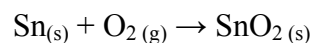
Gambar 4.1. Hasil proses produksi yang kedua

Selain itu, nampak adanya dua lapisan yang berbeda seperti terlihat pada Gambar 4.2 yang menunjukkan kegagalan terbentuknya paduan.

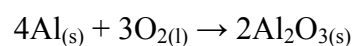


Gambar 4.2. Kegagalan terbentuknya paduan

Hal yang menyebabkan bahan tidak bercampur dan membentuk paduan dengan baik adalah adanya peristiwa oksidasi. Logam Sn dan Al memiliki kecenderungan teroksidasi menjadi  $\text{SnO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ketika dipanaskan dalam temperatur tinggi. Persamaan reaksi oksidasi Sn menjadi  $\text{SnO}_2$  ditunjukkan di bawah ini (Webelements, 2006):



Dan persamaan reaksi oksidasi Al menjadi  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ditunjukkan sebagai berikut (Webelements, 2006):



Dalam proses produksi yang kedua ini, disampaikan bahwa krusibel tidak diberi tutup dan *Furnace Nabertherm* dapat berhubungan langsung dengan udara luar. Dipastikan *Furnace Nabertherm* mengandung oksigen yang mendukung terjadi peristiwa oksidasi. Adalah menguntungkan jika lapisan tipis  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ini untuk

tujuan pencegahan korosi, namun menjadi hambatan untuk pemaduan logam mengingat temperatur lebur  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sebesar  $2050^\circ\text{C}$  (Van Vlack, 1991).

Untuk menekan terjadinya peristiwa oksidasi dalam produksi yang ketiga, krusibel diberi tutup dan digunakan krusibel dengan ukuran yang lebih kecil di mana ruang yang berisi udara semakin sedikit. Akan tetapi, produksi yang ketiga ini pun juga belum berhasil. Pada saat krusibel diambil untuk didinginkan, tutup sulit untuk dibuka sehingga krusibel harus dipecah. Hal tersebut menghadirkan permasalahan baru jika seluruh produksi sampel menggunakan langkah ini, yaitu probabilitas kerusakan sampel bertambah besar.

Untuk produksi berikutnya, tidak digunakan krusibel dalam proses peleburan. Bahan sampel diletakkan dalam cetakan yang terbuat dari batu bata yang kemudian dimasukkan dalam *Furnace Nabertherm*. Digunakan batu bata sebagai cetakan karena harganya yang murah, relatif mudah dibentuk dan tahan pada suhu yang cukup tinggi. Dengan metode ini dihasilkan sampel yang relatif bisa diukur dimensi dan sifat listriknya meskipun tidak diyakini akan kesempurnaan terjadinya paduan.

Terlepas dari terjadinya peristiwa oksidasi selama proses produksi, walaupun telah dijelaskan oleh Azarof (1960) bahwa kaidah-kaidah Humann-Rothery bukan merupakan aturan baku, namun tidak menutup kemungkinan jika kegagalan produksi dan kekurangsempurnaan paduan logam Sn dengan Al dalam penelitian ini berhubungan dengan kaidah-kaidah tersebut. Dengan mengambil acuan jari-jari rata-rata atom Sn sebesar 0,1509 nm dan atom Al sebesar 0,14315 nm (Van Vlack, 1991), didapatkan selisih ukuran atom Al dengan Sn adalah  $\pm 5\%$ .



Selisih tersebut berada di bawah 15%, sehingga untuk kaidah pertama yaitu kaidah ukuran atom telah dipenuhi. Kaidah terkait dengan sifat elektrokimia juga dipenuhi oleh logam Al dan Sn. Kedua logam tersebut termasuk logam lemah yang merupakan unsur-unsur elektronegatif dengan valuasi logam Sn adalah 4+ dan logam Al adalah 3+. Sehingga, dari sifat elektrokimia yang sama-sama merupakan unsur elektronegatif, logam Al dengan logam Sn cenderung akan membentuk paduan daripada senyawa.

Untuk struktur kristal, logam Al mempunyai struktur yang berbeda dengan logam Sn. Struktur logam Al adalah *FCC* dan struktur logam Sn adalah tetragonal (*diamond*). Jelas di sini untuk kaidah struktur kristal tidak dipenuhi oleh logam Al dan logam Sn. Dan hal tersebut tidak menutup kemungkinan perbedaan struktur kristal logam Al dengan logam Sn menjadi penyebab kekurangsempurnaan terbentuknya paduan.

Ditinjau dari kaidah valensi relatif, valuasi logam Sn yang lebih besar dari valuasi logam Al seharusnya menjadikan logam Sn lebih mudah larut ke dalam logam Al daripada sebaliknya. Berdasarkan hal tersebut, bisa jadi penyebab kekurangsempurnaan terbentuknya paduan juga terkait kaidah ini karena komposisi paduan Sn-Al dalam penelitian ini bersifat merata. Maksudnya, komposisi persentase logam penyusun yang satu tidak dibuat selalu lebih besar dari logam penyusun yang lain.

Kesempurnaan suatu paduan diketahui dari sifat kehomogenannya, munculnya gejala ketertataan struktur dari paduan itu sendiri. Dan hal tersebut tidak dapat dilihat secara kasat mata tanpa menggunakan alat bantu. Untuk

mengetahuinya, digunakan metode *Scanning Electron Microscope*, di mana metode ini tidak dilakukan dalam penelitian ini. Sehingga, uraian-uraian yang disebutkan di atas terkait dengan kesempurnaan paduan hanyalah bersifat dugaan.

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

Data hasil pengukuran dimensi sampel berupa ketebalan ( $L$ ) dan diameter ( $d$ ) dilaporkan dalam bentuk  $x \pm \Delta x$  dengan  $x$  adalah nilai rata-rata dan  $\Delta x$  adalah nilai ketidakpastiannya. Nilai rata-rata diperoleh dari persamaan:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{25} \dots\dots\dots(4-5)$$

dan ketidakpastian diperoleh dari persamaan berikut,

$$\Delta x = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25 \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}{(25-1)}} \dots\dots\dots(4-6)$$

Angka 25 di sini adalah banyak pengukuran yang dilakukan. Selanjutnya, data diameter digunakan untuk memperoleh luasan ( $A$ ) melalui rumusan berikut:

$$(A = \frac{1}{4} \pi d^2) \dots\dots\dots(4-6)$$

dengan ketidakpastian dihitung melalui persamaan:

$$\Delta A = \left( 2 \cdot \frac{\Delta d}{d} \right) \times A \dots\dots\dots(4-7)$$

Tabel 4-2 menunjukkan hasil pengolahan data dimensi berupa ketebalan ( $L$ ) dan luas permukaan sampel ( $A$ ). Untuk data pengukuran dimensi dan data hasil pengolahannya terdapat dalam lampiran 2.

Tabel 4-2. Data ketebalan ( $L$ ) dan luasan ( $A$ ) untuk masing-masing komposisi

No.	Komposisi	$L \pm \Delta L$ ( $\times 10^{-3}$ m)	$A \pm \Delta A$ ( $\times 10^{-4}$ m <sup>2</sup> )
1.	100%Sn-0%Al	$2,76 \pm 0,01$	$3,14 \pm 0,02$
2.	89,98%Sn-10,02%Al	$4,04 \pm 0,01$	$3,02 \pm 0,01$
3.	80%Sn-20%Al	$4,51 \pm 0,01$	$3,31 \pm 0,01$
4.	69,89%Sn-30,11Al	$4,28 \pm 0,01$	$3,53 \pm 0,01$
5.	59,99%Sn-40,01%Al	$4,51 \pm 0,01$	$3,40 \pm 0,01$
6.	50,01%Sn-49,99%Al	$4,85 \pm 0,01$	$3,29 \pm 0,01$
7.	39,98%Sn-60,02%Al	$6,74 \pm 0,01$	$2,69 \pm 0,01$
8.	30,01%Sn-69,99%Al	$6,41 \pm 0,02$	$3,30 \pm 0,01$
9.	19,99%Sn-80,01%Al	$6,39 \pm 0,01$	$3,19 \pm 0,01$
10.	10%Sn-90%Al	$6,63 \pm 0,02$	$3,34 \pm 0,01$
11.	0%Sn-100%Al	$2,90 \pm 0,01$	$3,32 \pm 0,01$

#### IV. 4. Hasil Pengukuran $V$ dan $i$

Telah diperoleh kesesuaian nilai resistansi hasil pengecekan alat terhadap nilai resistansi pabrikan untuk masing-masing resistor. Kelima resistor tersebut memiliki toleransi pabrikan  $\pm 5\%$ . Dengan mengacu pada hukum Ohm sebagai berikut,

$$R = \frac{V}{i} \dots\dots\dots(4-8)$$

didapatkan resistansi resistor dari hasil pengukuran beda potensial dan kuat arusnya. Adapun nilai ukur resistansi kelima resistor yang telah diperoleh secara

berturut-turut adalah 2,9 k $\Omega$ , 333,5  $\Omega$ , 221,8  $\Omega$ , 10,2  $\Omega$  dan 1,006  $\Omega$ . Tabel 4-3 berikut menunjukkan perbandingan nilai-nilai resistansi resistor antara harga ukur dan pabrikan.

Tabel 4-3. Nilai resistansi resistor berdasarkan data pengukuran dan nilai pabrikan

No.	Nilai Resistansi Pabrikan	Nilai $V$ , $i$ dan $R$ berdasar pengukuran		
		$V$	$I$	$R$
1	1 ohm	58 mV	57,6 mA	1,006 ohm
2	10 ohm	0,52 V	50,9 mA	10,2 ohm
3	220 ohm	4,68 V	21,1 mA	221,8 ohm
4	330 ohm	5,63 V	16,8 mA	333,5 ohm
5	3 kilo ohm	6,67 V	2,23 mA	2,9 kilo ohm

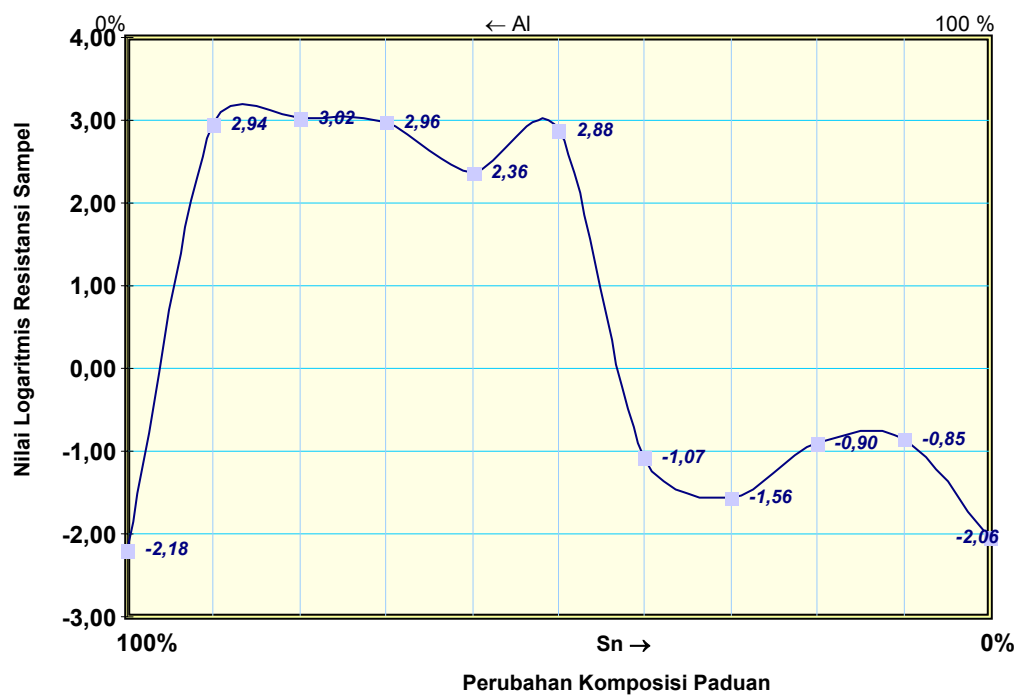
Jika dilihat dari Tabel 4-3 di atas, nilai-nilai resistansi berdasarkan perhitungan yang melibatkan  $V$  dan  $i$  ternyata tidak berbeda jauh dengan harga pabrikan. Dari hal tersebut bisa disimpulkan bahwa piranti relatif layak untuk digunakan.

Selanjutnya, setelah data hasil pengukuran  $V$  dan  $i$  untuk masing-masing sampel diperoleh kemudian diolah sedemikian hingga didapatkan nilai resistansinya. Data pengukuran  $V$  dan  $i$  berikut perhitungan resistansi terdapat secara lengkap terdapat dalam lampiran 3. Adapun resistansi hasil pengolahan data pengukuran  $V$  dan  $i$  ditunjukkan dalam Tabel 4-4.

Tabel 4-4. Resistansi sampel untuk masing-masing komposisi

No.	Komposisi	$R \pm \Delta R$ (dalam $\Omega$ )
1.	100%Sn-0%Al	$(6,54 \pm 0,06) \times 10^{-3}$
2.	89,98%Sn-10,02%Al	$(8,74 \pm 0,13) \times 10^2$
3.	80%Sn-20%Al	$(10,50 \pm 0,10) \times 10^2$
4.	69,89%Sn-30,11Al	$(9,20 \pm 0,06) \times 10^2$
5.	59,99%Sn-40,01%Al	$(2,30 \pm 0,04) \times 10^2$
6.	50,01%Sn-49,99%Al	$(7,57 \pm 0,08) \times 10^2$
7.	39,98%Sn-60,02%Al	$(8,84 \pm 0,04) \times 10^{-2}$
8.	30,01%Sn-69,99%Al	$(2,79 \pm 0,05) \times 10^{-2}$
9.	19,99%Sn-80,01%Al	$(12,48 \pm 0,03) \times 10^{-2}$
10.	10%Sn-90%Al	$(14,00 \pm 0,06) \times 10^{-2}$
11.	0%Sn-100%Al	$(8,72 \pm 0,20) \times 10^{-3}$

Secara grafik, pengaruh perubahan komposisi paduan terhadap resistansi (dalam nilai logaritmis) ditunjukkan dalam Gambar 4.3 berikut ini.



Gambar 4.3. Grafik nilai logaritmis resistansi terhadap perubahan komposisi

Nilai resistansi sampel dari nomer 1 hingga nomer 4 semakin naik, di mana kenaikan drastis hanya ditemui dari komposisi Sn murni ke komposisi 89,98%Sn – 10,02%Al. Akan tetapi hal tersebut tidak dapat disimpulkan jika paduan pasti mempunyai resistansi jauh lebih besar dibandingkan logam murni. Sebab, resistansi sampel dipengaruhi oleh ukuran geometri juga, dan di sini, masing-masing sampel ukuran geometrinya berbeda-beda. Sebagai fakta ditunjukkan pada komposisi nomer 6 ke nomer 7, resistansi paduan mengalami penurunan dan setelah itu mengalami kenaikan dan penurunan nilai yang bersifat acak hingga berakhir di komposisi Al murni. Meskipun telah didapatkan sampel dengan resistansi terendahnya, namun hal tersebut belum dapat dijadikan acuan karena resistansi merupakan sifat ekstensif suatu bahan.

#### IV. 5. Hasil Perhitungan Resistivitas Sampel

Telah dilakukan perhitungan resistivitas untuk tiap-tiap komposisi dengan menggunakan data hasil pengolahan dimensi, beda potensial dan kuat arus listrik. Nilai resistivitas ( $\rho$ ) sampel diperoleh dari persamaan :

$$\rho = R \cdot A \cdot L^{-1} \dots\dots\dots(4-9)$$

dengan ketidakpastiannya ( $\Delta\rho$ ) didapatkan melalui persamaan berikut,

$$\Delta\rho = \left( \left( \frac{\Delta R}{R} \right) + \left( \frac{\Delta A}{A} \right) + \left( \frac{\Delta L}{L} \right) \right) \times \rho \dots\dots\dots(4-10)$$

Data pengolahan resistivitas sampel tiap-tiap komposisi terdapat dalam lampiran 5 dan hasilnya ditampilkan dalam Tabel 4-5.

Tabel 4-5. Resistivitas sampel untuk masing-masing komposisi

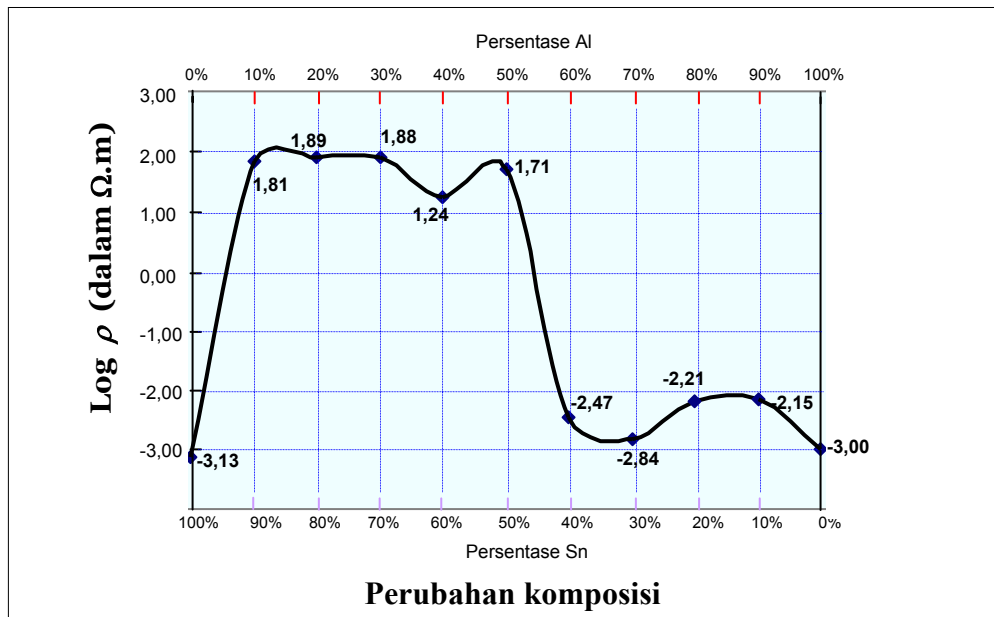
No.	Komposisi	$\rho \pm \Delta\rho$ (dalam $\Omega.m$ )
1.	100%Sn-0%Al	$(7,40 \pm 0,10) \times 10^{-4}$
2.	89,98%Sn-10,02%Al	$(6,53 \pm 0,13) \times 10^1$
3.	80%Sn-20%Al	$(7,69 \pm 0,09) \times 10^1$
4.	69,89%Sn-30,11Al	$(7,59 \pm 0,09) \times 10^1$
5.	59,99%Sn-40,01%Al	$(1,73 \pm 0,04) \times 10^1$
6.	50,01%Sn-49,99%Al	$(5,13 \pm 0,08) \times 10^1$
7.	39,98%Sn-60,02%Al	$(3,37 \pm 0,03) \times 10^{-3}$
8.	30,01%Sn-69,99%Al	$(1,43 \pm 0,03) \times 10^{-3}$
9.	19,99%Sn-80,01%Al	$(6,23 \pm 0,04) \times 10^{-3}$
10.	10%Sn-90%Al	$(7,05 \pm 0,07) \times 10^{-3}$
11.	0%Sn-100%Al	$(1,00 \pm 0,03) \times 10^{-3}$

Resistivitas sampel di atas memiliki harga yang berbeda-beda dengan perubahan yang acak seperti pada nilai resistansinya. Bacaan tabel resistivitas ini pun sangat mirip dengan resistansi. Dari timah murni, resistivitas mengalami kenaikan nilai drastis menuju ke paduan 89,98%Sn. Kenaikan nilai selanjutnya tidak terlampau drastis dibandingkan dengan kenaikan nilai sebelumnya. Dan di titik ini (komposisi 80%Sn) resistivitas sampel mencapai angka tertinggi dengan nilai  $(7,69 \pm 0,09) \times 10^1 \Omega.m$ . Kemudian, dari komposisi 80%Sn tersebut nilai resistivitas menurun hingga komposisi 69,89%Sn dan kembali naik pada komposisi berikutnya yaitu komposisi 50,01%Sn. Jika kenaikan drastis nilai

resistivitas dialami dari komposisi timah murni ke paduan 90%Sn, maka penurunan nilai drastis terjadi dari komposisi 50,01%Sn ke 39,98%Sn, yang selanjutnya terjadi kenaikan dan penurunan dalam derajat pangkat yang sama hingga komposisi Al murni. Resistivitas terendah paduan Sn-Al dimiliki oleh 30,01%Sn dengan nilai  $(1,43 \pm 0,03) \times 10^{-3} \Omega\text{m}$ .

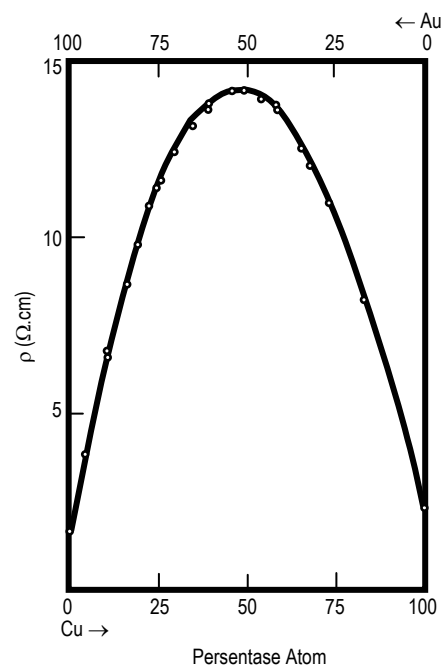
Resistivitas paduan 30,01%Sn dengan resistivitas  $(1,43 \pm 0,03) \times 10^{-3} \Omega\text{m}$  ini ternyata memiliki nilai yang jauh lebih besar jika dibandingkan dengan resistivitas bahan solder paduan Sn-Pb yang nilainya  $1,36 \times 10^{-7} \Omega\text{m}$  (Six Sigma, 2001). Namun, jika dilihat dari resistansinya ( $\pm 2,79 \times 10^{-2} \Omega$ ), sifat menghantarkan listriknya masih cukup baik. Di mana untuk perlakuan penyolderan luas penampangnya akan jauh lebih kecil dibanding dengan luas sampel dengan jangkauan ketebalan tidak terlampau jauh dibandingkan dengan sampel, tentu akan memberikan resistansi dengan nilai yang lebih kecil mengacu terhadap rumusan resistansi bahan. Oleh karena belum adanya referensi tulis pasti yang memberikan batasan nilai resistivitas yang diijinkan untuk bahan solder, maka belum cukup dikatakan apabila paduan Sn-Al ini tidak dapat digunakan untuk bahan solder hanya karena nilai resistivitasnya yang jauh lebih besar dibandingkan dengan nilai resistivitas bahan solder paduan Sn-Pb. Adapun grafik resistivitas paduan Sn-Al dalam penelitian ini dapat dilihat dalam Gambar 4.4. Sebagai pembanding, digunakan grafik resistivitas untuk paduan Cu-Au sebagai fungsi komposisi baik untuk paduan Cu-Au yang diberi perlakuan anil ataupun tidak diberi perlakuan anil.





Gambar 4.4. Grafik nilai logaritmis resistivitas terhadap perubahan komposisi

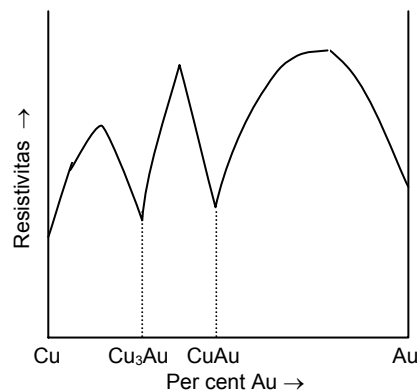
Kurva grafik resistivitas paduan Sn-Al dalam penelitian ini berbeda bentuk jika dibandingkan dengan grafik resistivitas untuk paduan Cu-Au.



Gambar 4.5. Grafik resistivitas terhadap perubahan komposisi untuk paduan Cu-Au tanpa proses anil

Nampak dalam grafik paduan Cu-Au pada Gambar 4.5, resistivitas semakin naik hingga mencapai nilai tertinggi pada komposisi 50%Cu-50%Au dan kemudian terus menurun hingga logam Cu murni. Berbeda dengan paduan Sn-Al dalam penelitian ini, setelah mencapai titik tertinggi, resistivitas mengalami kenaikan dan penurunan nilai yang acak.

Terdapat dua hal mendasar yang sama dari bacaan kedua grafik resistivitas paduan Sn-Al dengan paduan Cu-Au. Kesamaan tersebut yang pertama adalah resistivitas paduan yang selalu lebih besar dibandingkan dengan komposisi murninya. Yang kedua, resistivitas paduan Sn-Al dan Cu-Au nilainya akan terus menerus naik hingga mencapai resistivitas tertingginya. Akan tetapi, grafik perubahan resistivitas terhadap perubahan komposisi untuk paduan Cu-Au dalam Gambar 4.5 di atas adalah paduan yang tidak diberi perlakuan anil. Sedangkan paduan Sn-Al dalam penelitian ini bisa dikatakan melalui tahap anil karena proses pendinginannya tidak secara langsung (perlahan-lahan). Jika dibandingkan dengan grafik perubahan resistivitas terhadap perubahan komposisi paduan Cu-Au dengan anil, maka antara paduan Sn-Al dengan paduan Cu-Au lebih menunjukkan kemiripan bentuk yang ditunjukkan pada nilai resistivitas yang sama-sama acak untuk tiap-tiap perubahan komposisi. Lebih jelasnya, grafik perubahan resistivitas terhadap perubahan komposisi paduan Cu-Au dengan perlakuan anil dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6. Grafik resistivitas paduan Cu-Au sebagai fungsi komposisi dengan anil

Oleh karena grafik resistivitas paduan Cu-Au bukan merupakan acuan mutlak dan hanya bersifat sebagai pembanding saja, maka hal tersebut belum cukup menjadi dasar untuk menyatakan bahwa karakter bentuk kurva resistivitas paduan Sn-Al sesungguhnya adalah seperti nampak pada Gambar 4.4 di atas. Hal ini didasarkan pada kenyataan nilai resistivitas pada logam murni yang tidak sesuai antara perhitungan berdasarkan referensi tertulis dengan hasil pengolahan data pengukuran. Dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\rho = \rho_0 (1 + \bar{\alpha} [T - T_0]) \dots \dots \dots (4-11)$$

di mana  $\alpha$  adalah koefisien temperatur rata-rata dari resistivitas,  $\rho_0$  adalah resistivitas acuan pada suhu acuan tertentu,  $T_0$ , dan  $\rho$  adalah resistivitas pada suhu  $T$  yang dalam penelitian adalah sebesar  $25^{\circ}\text{C}$  (suhu kamar selama pengambilan data), maka resistivitas berdasarkan referensi tertulis bisa didapatkan (Halliday, 1993). Jika resistivitas untuk timah dan alumunium pada suhu  $T_0 = 22^{\circ}\text{C}$  diberikan berturut-turut  $11 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$  dan  $2,74 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$  (Kittel, 1996), nilai  $\alpha$  untuk timah adalah  $0,0045 \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$  dan untuk alumunium  $0,004 \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$  (Ness, 1999), maka resistivitas kedua logam pada suhu  $T=25^{\circ}\text{C}$  adalah :

- resistivitas Sn murni :  $\rho_{Sn} = 11 \times 10^{-8} \cdot [1 + 0,0045 \cdot (25 - 22)] = 11,15 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$
- resistivitas Al murni :  $\rho_{Al} = 2,74 \times 10^{-8} \cdot [1 + 0,004 \cdot (25 - 22)] = 3,07 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$

Nilai resistivitas di atas ternyata jauh berbeda dengan nilai resistivitas yang didapatkan dari pengolahan data pengukuran. Dari hasil pengolahan data pengukuran didapatkan resistivitas Sn murni sebesar  $(7,40 \pm 0,10) \times 10^{-4} \Omega \cdot m$  dan resistivitas Al murni sebesar  $(1,00 \pm 0,03) \times 10^{-3} \Omega \cdot m$ .

Jika nilai-nilai resistivitas secara tertulis tersebut dimasukkan dalam persamaan:

$$R = \rho \frac{l}{A} \dots\dots\dots(4-12)$$

maka untuk masing-masing logam timah dan aluminium memiliki resistansi sebagai berikut :

- resistansi Sn murni :  $R_{Sn} = 11,5 \times 10^{-8} \frac{2,76 \times 10^{-3}}{3,14 \times 10^{-4}} = 10,11 \times 10^{-7} \Omega$
- resistansi Al murni :  $R_{Al} = 3,07 \times 10^{-8} \frac{2,90 \times 10^{-3}}{3,32 \times 10^{-4}} = 2,68 \times 10^{-7} \Omega$

Nilai-nilai resistansi di atas juga tidak sesuai dengan resistansi yang didapatkan dari data pengukuran. Resistansi untuk sampel Sn murni adalah  $(6,54 \pm 0,06) \times 10^{-3} \Omega$  dan untuk Al murni sebesar  $(8,72 \pm 0,20) \times 10^{-3} \Omega$ .

Kecenderungan hal yang menjadi penyebab ketidaksesuaian-ketidaksesuaian yang telah dijabarkan di atas adalah pada kekurangsempurnaan dari sampel. Bisa jadi, sampel logam murni tersebut tidak benar-benar padat (terdapat rongga-rongga di dalamnya) atau bisa juga karena terdapat debu-debu

dari cetakan yang tercampur di bagian dalam sampel. Hal lain yang juga bisa menjadi penyebab adalah faktor kemurnian dari bahan sampel itu sendiri.

Meskipun perbandingan-perbandingan resistivitas berdasarkan referensi tulis dan studi lapangan telah memberikan beberapa ketidaksesuaian, sedemikian hingga bisa disimpulkan penyebab-penyebab ketidaksesuaian itu sendiri, akan tetapi hal tersebut belum dapat memberikan penjelasan pasti terkait dengan karakteristik resistivitas untuk paduan Sn-Al. Hal ini karena acuan-acuan resistivitas yang digunakan sebagai perbandingan adalah resistivitas logam murni dan bukan paduan. Fluktuasi listrik selama pengukuran beda potensial dan kuat arus listrik dimungkinkan juga turut mempengaruhi karakteristik resistivitas paduan dalam penelitian ini. Selain itu, terdapat juga beberapa bahan yang tidak menuruti hukum Ohm, di mana bisa jadi satu atau lebih dari komposisi-komposisi paduan memiliki sifat tersebut pada suhu kamar.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

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

Berdasarkan hasil penelitian dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Nilai resistivitas terendah dimiliki oleh paduan 30,01%Sn – 69,99%Al dengan nilai resistivitas sebesar  $(1,43 \pm 0,03) \times 10^{-3} \Omega.m$ .
- 2) Perubahan komposisi paduan mempengaruhi nilai resistivitas dengan perubahan nilai dari komposisi Sn murni monoton naik hingga komposisi 50,01%Sn, dan setelah itu menurun dengan tidak monoton hingga komposisi Al murni.
- 3) Proses pemaduan logam dapat dilakukan dengan jalan melelehkan logam-logam bahan dengan memperhatikan sifat logam terhadap temperatur.
- 4) Proses produksi dalam penelitian ini belum menghasilkan paduan logam yang benar-benar sempurna.

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

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

- 1) Kondisi penelitian perlu diperluas dengan penambahan pengukuran resistivitas terhadap variasi suhu.
- 2) Ukuran dari dimensi sampel sebaiknya diperbesar.

- 3) Pengukuran sifat listrik sampel sebaiknya digunakan metode *four point probes*.
- 4) Sebaiknya digunakan metode SEM (*Scanning Electron Microscope*) untuk mengetahui struktur dari paduan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim I. 2005. *Soldering*. <http://en.wikipedia.org/wiki/solder>
- Anonim II. 2006. *Tin*. <http://en.wikipedia.org/wiki/Tin>
- Anonim III. 2006. *Aluminium*. <http://en.wikipedia.org/wiki/Aluminum>
- Azarof, 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.
- Bruneel, Patrick O. 2001. *Six Sigma Electrolytic Solder*. [www.interfluxusa.com/technical/sixsigma.htm](http://www.interfluxusa.com/technical/sixsigma.htm)
- Darmono. 1995. *Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. Jakarta : UI Press.
- Halliday, David., Resnick, Robert. 1993. *Fisika Jilid 2 (Terjemahan)*. Jakarta : Erlangga.
- 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.
- Ness, Richard M. 1999. *Ness Engineering Technical Data Metal/Alloy Resistivity*. <http://home.san.rr.com/nessengr/techdata/metalresis.html>



- Nugroho Budi Widodo. 2006. *Skripsi : Kajian Sifat Termal Paduan x-Sn y-Al Pada Temperatur BEku dengan Metode Differential Thermal Analysis (DTA)*. Surakarta : UNS.
- 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.
- Shi, X. Q., Wang, Z. P., Yang, Q. J. 2002. *Creep Behavior and Deformation Mechanism Map of Sn-Pb Eutectic Solder Alloy*. [www.tms.org/pubs/journals/JOM/9605/McCormack-9605.html](http://www.tms.org/pubs/journals/JOM/9605/McCormack-9605.html)
- Van Vlack, Lawrence H. 1991. *Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan Logam) (Terjemahan)*. Jakarta : Erlangga.
- Webelements. 2006. *Chemical Reaction Data*. [www.webelements.com/webelements/elements/text/Sn/chem.html](http://www.webelements.com/webelements/elements/text/Sn/chem.html)
- Webelements. 2006. *Aluminium Chemical Reaction Data*.  
[www.webelements.com/webelements/elements/text/Al/chem.html](http://www.webelements.com/webelements/elements/text/Al/chem.html)

## Lampiran 1. Data Massa Timbang Bahan dan Perbandingan Komposisi

### Paduan

❖ Tabel Massa Timbang Bahan

No.	Massa Sn (dalam gram)	Massa Al (dalam gram)
1.	5,0045	0,0000
2.	4,8670	0,1232
3.	4,7315	0,2688
4.	4,5362	0,4442
5.	4,3427	0,6583
6.	4,0744	0,9257
7.	3,7277	1,2718
8.	3,2686	1,7324
9.	2,6188	2,3818
10.	1,6410	3,3584
11.	0,0000	0.1027

## Lampiran 2. Data Dimensi Sampel Untuk Masing-masing Komposisi Paduan

### ❖ Komposisi 100%Sn-0%Al

No.	L (mm)	L <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	d (mm)	d <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )
1	2,75	7,5625	19,40	376,3600
2	2,70	7,2900	19,50	380,2500
3	2,75	7,5625	19,70	388,0900
4	2,80	7,8400	19,40	376,3600
5	2,75	7,5625	19,80	392,0400
6	2,75	7,5625	20,05	402,0025
7	2,75	7,5625	19,25	370,5625
8	2,70	7,2900	20,40	416,1600
9	2,70	7,2900	20,50	420,2500
10	2,80	7,8400	20,05	402,0025
11	2,85	8,1225	19,45	378,3025
12	2,85	8,1225	20,20	408,0400
13	2,85	8,1225	19,85	394,0225
14	2,75	7,5625	20,00	400,0000
15	2,70	7,2900	20,25	410,0625
16	2,75	7,5625	20,30	412,0900
17	2,80	7,8400	20,40	416,1600
18	2,80	7,8400	20,65	426,4225
19	2,65	7,0225	20,30	412,0900
20	2,70	7,2900	20,05	402,0025
21	2,75	7,5625	19,75	390,0625
22	2,75	7,5625	20,00	400,0000
23	2,75	7,5625	20,20	408,0400
24	2,75	7,5625	20,30	412,0900
25	2,75	7,5625	19,90	396,0100

$\Sigma L =$	68,90	$\Sigma L^2 =$	189,95	$\Sigma d =$	499,65	$\Sigma d^2 =$	9989,4725
$(\Sigma L)^2 =$	4747,21	$25 \times (\Sigma L^2) =$	4748,75	$(\Sigma d)^2 =$	249650,12	$25 \times (\Sigma d^2) =$	249736,8125
$L_{rata-rata} = 2,76 \text{ mm}$				$d_{rata-rata} = 19,99 \text{ mm}$			
$\Delta L = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma L^2) - (\Sigma L)^2}{25-1}} = 0,01 \text{ mm}$				$\Delta d = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma d^2) - (\Sigma d)^2}{25-1}} = 0,08 \text{ mm}$			

➤ Tebal sampel ( $L$ ) :

$$L = (2,76 \pm 0,01) \times 10^{-3} \text{ m}$$

➤ Dimensi sampel ( $d$ ) :

$$d = (19,99 \pm 0,08) \times 10^{-3} \text{ m}$$

➤ Luas permukaan sampel ( $A$ ) :

$$A = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (19,99 \times 10^{-3})^2 = 313,56 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \approx 3,14 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Ketidakpastian ( $\Delta A$ ) :

$$\Delta A = \left( 2 \cdot \frac{0,08}{19,99} \right) \cdot 3,14 \times 10^{-4} = 0,01 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\therefore A = (3,14 \pm 0,02) \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

## ❖ Komposisi 89,98%Sn-10,02%Al

No.	L (mm)	L <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	D (mm)	d <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )
1	4,05	16,4025	19,60	384,1600
2	4,05	16,4025	19,50	380,2500
3	4,05	16,4025	19,50	380,2500
4	4,00	16,0000	19,50	380,2500
5	4,05	16,4025	19,60	384,1600
6	4,00	16,0000	19,90	396,0100
7	4,00	16,0000	19,40	376,3600
8	4,00	16,0000	19,50	380,2500
9	4,05	16,4025	19,60	384,1600
10	4,10	16,8100	19,95	398,0025
11	4,00	16,0000	19,50	380,2500
12	4,05	16,4025	19,50	380,2500
13	4,05	16,4025	19,50	380,2500
14	4,05	16,4025	19,60	384,1600
15	4,05	16,4025	19,95	398,0025
16	4,00	16,0000	19,90	396,0100
17	4,00	16,0000	20,00	400,0000
18	4,05	16,4025	19,70	388,0900
19	4,10	16,8100	19,60	384,1600
20	4,00	16,0000	19,55	382,2025
21	4,00	16,0000	19,50	380,2500
22	4,00	16,0000	19,50	380,2500
23	4,00	16,0000	19,40	376,3600
24	4,10	16,8100	19,50	380,2500
25	4,10	16,8100	19,50	380,2500

$\Sigma L = 100,90$	$\Sigma L^2 = 189,95$	$\Sigma d = 499,65$	$\Sigma d^2 = 9989,4725$
$(\Sigma L)^2 = 10180,81$	$25 \times (\Sigma L^2) = 4748,75$	$(\Sigma d)^2 = 249650,12$	$25 \times (\Sigma d^2) = 249736,8125$
$L_{\text{rata-rata}} = 4,04 \text{ mm}$		$d_{\text{rata-rata}} = 19,61 \text{ mm}$	
$\Delta L = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma L^2) - (\Sigma L)^2}{25-1}} = 0,01 \text{ mm}$		$\Delta d = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma d^2) - (\Sigma d)^2}{25-1}} = 0,04 \text{ mm}$	

➤ Tebal sampel ( $L$ ) :

$$L = (4,04 \pm 0,01) \times 10^{-3} \text{ m}$$

➤ Dimensi sampel ( $d$ ) :

$$d = (19,61 \pm 0,04) \times 10^{-3} \text{ m}$$

➤ Luas permukaan sampel ( $A$ ) :

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2 = \frac{1}{4} \pi (19,61 \times 10^{-3})^2 = 301,87 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \approx 3,02 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Ketidakpastian ( $\Delta A$ ) :

$$\Delta A = \left( 2 \cdot \frac{0,04}{19,61} \right) \cdot 3,02 \times 10^{-4} = 0,01 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\therefore A = (3,02 \pm 0,01) \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

## ❖ Komposisi 80%Sn-20%Al

No.	L (mm)	L <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	d (mm)	d <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )
1	4,55	20,7025	20,50	420,2500
2	4,55	20,7025	20,50	420,2500
3	4,55	20,7025	20,60	424,3600
4	4,55	20,7025	20,50	420,2500
5	4,50	20,2500	20,80	432,6400
6	4,50	20,2500	20,75	430,5625
7	4,55	20,7025	20,80	432,6400
8	4,50	20,2500	20,85	434,7225
9	4,50	20,2500	20,80	432,6400
10	4,50	20,2500	20,70	428,4900
11	4,50	20,2500	20,60	424,3600
12	4,60	21,1600	20,40	416,1600
13	4,50	20,2500	20,40	416,1600
14	4,50	20,2500	20,40	416,1600
15	4,50	20,2500	20,45	418,2025
16	4,50	20,2500	20,40	416,1600
17	4,50	20,2500	20,50	420,2500
18	4,50	20,2500	20,40	416,1600
19	4,50	20,2500	20,35	414,1225
20	4,45	19,8025	20,35	414,1225
21	4,45	19,8025	20,50	420,2500
22	4,45	19,8025	20,50	420,2500
23	4,45	19,8025	20,50	420,2500
24	4,50	20,2500	20,60	424,3600
25	4,50	20,2500	20,50	420,2500

$\Sigma L =$ 112,65	$\Sigma L^2 =$ 507,63	$\Sigma d =$ 513,65	$\Sigma d^2 =$ 10554,02
$(\Sigma L)^2 =$ 12690,02	$25 \times (\Sigma L^2) =$ 12690,81	$(\Sigma d)^2 =$ 263836,32	$25 \times (\Sigma d^2) =$ 263850,56
$L_{\text{rata-rata}} = 4,51 \text{ mm}$		$d_{\text{rata-rata}} = 20,55 \text{ mm}$	
$\Delta L = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma L^2) - (\Sigma L)^2}{25-1}} = 0,01 \text{ mm}$		$\Delta d = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma d^2) - (\Sigma d)^2}{25-1}} = 0,03 \text{ mm}$	

➤ Tebal sampel ( $L$ ) :

$$L = (4,51 \pm 0,01) \times 10^{-3} \text{ m}$$

➤ Dimensi sampel ( $d$ ) :

$$d = (20,55 \pm 0,03) \times 10^{-3} \text{ m}$$

➤ Luas permukaan sampel ( $A$ ) :

$$A = \frac{1}{4} \pi \cdot d^2 = \frac{1}{4} \pi \cdot (20,55 \times 10^{-3})^2 = 331,37 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \approx 3,31 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Ketidakpastian ( $\Delta A$ ) :

$$\Delta A = \left( 2 \cdot \frac{0,03}{20,55} \right) \cdot 3,31 \times 10^{-4} = 0,01 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\therefore A = (3,31 \pm 0,01) \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

## ❖ Komposisi 69,89%Sn-30,11%Al

No.	L (mm)	L <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	d (mm)	d <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )
1	4,25	18,0625	21,35	455,8225
2	4,25	18,0625	21,35	455,8225
3	4,25	18,0625	21,25	451,5625
4	4,25	18,0625	21,20	449,4400
5	4,30	18,4900	21,10	445,2100
6	4,25	18,0625	21,00	441,0000
7	4,25	18,0625	21,05	443,1025
8	4,30	18,4900	21,20	449,4400
9	4,35	18,9225	21,40	457,9600
10	4,30	18,4900	21,25	451,5625
11	4,25	18,0625	21,25	451,5625
12	4,25	18,0625	21,20	449,4400
13	4,25	18,0625	21,30	453,6900
14	4,25	18,0625	21,25	451,5625
15	4,35	18,9225	21,25	451,5625
16	4,40	19,3600	21,40	457,9600
17	4,30	18,4900	21,25	451,5625
18	4,25	18,0625	21,25	451,5625
19	4,25	18,0625	21,20	449,4400
20	4,30	18,4900	21,10	445,2100
21	4,30	18,4900	21,00	441,0000
22	4,25	18,0625	21,10	445,2100
23	4,25	18,0625	21,05	443,1025
24	4,25	18,0625	21,00	441,0000
25	4,25	18,0625	21,05	443,1025

$\Sigma L = 106,90$	$\Sigma L^2 = 457,15$	$\Sigma d = 529,80$	$\Sigma d^2 = 11227,89$
$(\Sigma L)^2 = 11427,61$	$25 \times (\Sigma L^2) = 11428,63$	$(\Sigma d)^2 = 280688,04$	$25 \times (\Sigma d^2) = 280697,25$
$L_{\text{rata-rata}} = 4,28 \text{ mm}$		$d_{\text{rata-rata}} = 21,19 \text{ mm}$	
$\Delta L = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma L^2) - (\Sigma L)^2}{25-1}} = 0,01 \text{ mm}$		$\Delta d = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma d^2) - (\Sigma d)^2}{25-1}} = 0,02 \text{ mm}$	

➤ Tebal sampel ( $L$ ) :

$$L = (4,28 \pm 0,01) \times 10^{-3} \text{ m}$$

➤ Dimensi sampel ( $d$ ) :

$$d = (21,19 \pm 0,02) \times 10^{-3} \text{ m}$$

➤ Luas permukaan sampel ( $A$ ) :

$$A = \frac{1}{4} \pi \cdot d^2 = \frac{1}{4} \pi \cdot (21,19 \times 10^{-3})^2 = 352,54 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \approx 3,53 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Ketidakpastian ( $\Delta A$ ) :

$$\Delta A = \left( 2 \cdot \frac{0,02}{21,19} \right) \cdot 3,53 \times 10^{-4} = 0,01 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\therefore A = (3,53 \pm 0,01) \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

## ❖ Komposisi 59,99%Sn-40,01%Al

No.	L (mm)	L <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	d (mm)	d <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )
1	4,50	20,2500	20,95	438,9025
2	4,55	20,7025	20,90	436,8100
3	4,55	20,7025	20,80	432,6400
4	4,55	20,7025	20,85	434,7225
5	4,50	20,2500	20,85	434,7225
6	4,50	20,2500	20,70	428,4900
7	4,45	19,8025	20,60	424,3600
8	4,40	19,3600	20,60	424,3600
9	4,50	20,2500	20,60	424,3600
10	4,40	19,3600	20,60	424,3600
11	4,55	20,7025	20,60	424,3600
12	4,55	20,7025	20,70	428,4900
13	4,50	20,2500	20,80	432,6400
14	4,50	20,2500	20,80	432,6400
15	4,55	20,7025	20,95	438,9025
16	4,50	20,2500	20,95	438,9025
17	4,50	20,2500	20,95	438,9025
18	4,50	20,2500	21,00	441,0000
19	4,55	20,7025	21,05	443,1025
20	4,50	20,2500	20,95	438,9025
21	4,55	20,7025	20,85	434,7225
22	4,50	20,2500	20,85	434,7225
23	4,55	20,7025	20,80	432,6400
24	4,50	20,2500	20,75	430,5625
25	4,55	20,7025	20,80	432,6400

$\Sigma L = 112,75$	$\Sigma L^2 = 508,55$	$\Sigma d = 520,25$	$\Sigma d^2 = 10826,86$
$(\Sigma L)^2 = 12712,56$	$25 \times (\Sigma L^2) = 12713,69$	$(\Sigma d)^2 = 270660,06$	$25 \times (\Sigma d^2) = 270671,44$
$L_{\text{rata-rata}} = 4,51 \text{ mm}$		$d_{\text{rata-rata}} = 20,81 \text{ mm}$	
$\Delta L = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma L^2) - (\Sigma L)^2}{25-1}} = 0,01 \text{ mm}$		$\Delta d = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma d^2) - (\Sigma d)^2}{25-1}} = 0,03 \text{ mm}$	

➤ Tebal sampel ( $L$ ) :

$$L = (4,51 \pm 0,01) \times 10^{-3} \text{ m}$$

➤ Dimensi sampel ( $d$ ) :

$$d = (20,81 \pm 0,03) \times 10^{-3} \text{ m}$$

➤ Luas permukaan sampel ( $A$ ) :

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2 = \frac{1}{4} \pi (20,81 \times 10^{-3})^2 = 339,94 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \approx 3,40 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Ketidakpastian ( $\Delta A$ ) :

$$\Delta A = \left( 2 \cdot \frac{0,03}{20,81} \right) \cdot 3,40 \times 10^{-4} = 0,01 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\therefore A = (3,40 \pm 0,01) \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

## ❖ Komposisi 50,01%Sn-49,99%Al

No.	L (mm)	L <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	d (mm)	D <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )
1	4,85	23,5225	20,50	420,2500
2	4,85	23,5225	20,55	422,3025
3	4,85	23,5225	20,65	426,4225
4	4,90	24,0100	20,50	420,2500
5	4,90	24,0100	20,60	424,3600
6	4,90	24,0100	20,50	420,2500
7	4,80	23,0400	20,50	420,2500
8	4,80	23,0400	20,45	418,2025
9	4,85	23,5225	20,50	420,2500
10	4,80	23,0400	20,35	414,1225
11	4,85	23,5225	20,40	416,1600
12	4,90	24,0100	20,45	418,2025
13	4,95	24,5025	20,40	416,1600
14	4,85	23,5225	20,35	414,1225
15	4,85	23,5225	20,35	414,1225
16	4,85	23,5225	20,30	412,0900
17	4,85	23,5225	20,35	414,1225
18	4,80	23,0400	20,55	422,3025
19	4,85	23,5225	20,60	424,3600
20	4,85	23,5225	20,50	420,2500
21	4,85	23,5225	20,45	418,2025
22	4,85	23,5225	20,50	420,2500
23	4,80	23,0400	20,40	416,1600
24	4,85	23,5225	20,40	416,1600
25	4,85	23,5225	20,35	414,1225

$\Sigma L =$ 121,30	$\Sigma L^2 =$ 588,58	$\Sigma d =$ 511,45	$\Sigma d^2 =$ 10463,45
$(\Sigma L)^2 =$ 14713,69	$25 \times (\Sigma L^2) =$ 14714,50	$(\Sigma d)^2 =$ 261581,10	$25 \times (\Sigma d^2) =$ 261586,19
$L_{\text{rata-rata}} = 4,85 \text{ mm}$		$d_{\text{rata-rata}} = 20,46 \text{ mm}$	
$\Delta L = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma L^2) - (\Sigma L)^2}{25-1}} = 0,01 \text{ mm}$		$\Delta d = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma d^2) - (\Sigma d)^2}{25-1}} = 0,02 \text{ mm}$	

➤ Tebal sampel ( $L$ ) :

$$L = (4,85 \pm 0,01) \times 10^{-3} \text{ m}$$

➤ Dimensi sampel ( $d$ ) :

$$d = (20,46 \pm 0,02) \times 10^{-3} \text{ m}$$

➤ Luas permukaan sampel ( $A$ ) :

$$A = \frac{1}{4} \pi \cdot d^2 = \frac{1}{4} \pi \cdot (20,46 \times 10^{-3})^2 = 328,54 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \approx 3,29 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Ketidakpastian ( $\Delta A$ ) :

$$\Delta A = \left( 2 \cdot \frac{0,02}{20,46} \right) \cdot 3,29 \times 10^{-4} = 0,01 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\therefore A = (3,29 \pm 0,01) \times 10^{-4} \text{ m}^2$$



## ❖ Komposisi 39,98%Sn-60,02%Al

No.	L (mm)	L <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	d (mm)	D <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )
1	6,75	45,5625	18,50	342,2500
2	6,70	44,8900	18,50	342,2500
3	6,70	44,8900	18,45	340,4025
4	6,70	44,8900	18,55	344,1025
5	6,65	44,2225	18,45	340,4025
6	6,65	44,2225	18,50	342,2500
7	6,75	45,5625	18,65	347,8225
8	6,80	46,2400	18,65	347,8225
9	6,80	46,2400	18,70	349,6900
10	6,80	46,2400	18,70	349,6900
11	6,85	46,9225	18,50	342,2500
12	6,75	45,5625	18,50	342,2500
13	6,75	45,5625	18,50	342,2500
14	6,70	44,8900	18,45	340,4025
15	6,70	44,8900	18,30	334,8900
16	6,60	43,5600	18,30	334,8900
17	6,70	44,8900	18,40	338,5600
18	6,65	44,2225	18,45	340,4025
19	6,80	46,2400	18,50	342,2500
20	6,85	46,9225	18,65	347,8225
21	6,80	46,2400	18,50	342,2500
22	6,75	45,5625	18,50	342,2500
23	6,75	45,5625	18,50	342,2500
24	6,75	45,5625	18,45	340,4025
25	6,75	45,5625	18,30	334,8900

$\Sigma L = 168,45$	$\Sigma L^2 = 1135,11$	$\Sigma d = 462,45$	$\Sigma d^2 = 8554,69$
$(\Sigma L)^2 = 28375,40$	$25 \times (\Sigma L^2) = 28377,81$	$(\Sigma d)^2 = 213860,00$	$25 \times (\Sigma d^2) = 213867,31$
$L_{\text{rata-rata}} = 6,74 \text{ mm}$		$d_{\text{rata-rata}} = 18,50 \text{ mm}$	
$\Delta L = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma L^2) - (\Sigma L)^2}{25-1}} = 0,01 \text{ mm}$		$\Delta d = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma d^2) - (\Sigma d)^2}{25-1}} = 0,02 \text{ mm}$	

➤ Tebal sampel ( $L$ ) :

$$L = (6,74 \pm 0,01) \times 10^{-3} \text{ m}$$

➤ Dimensi sampel ( $d$ ) :

$$d = (18,50 \pm 0,02) \times 10^{-3} \text{ m}$$

➤ Luas permukaan sampel ( $A$ ) :

$$A = \frac{1}{4} \pi \cdot d^2 = \frac{1}{4} \pi \cdot (18,50 \times 10^{-3})^2 = 268,60 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \approx 2,69 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Ketidakpastian ( $\Delta A$ ) :

$$\Delta A = \left( 2 \cdot \frac{0,02}{18,50} \right) \cdot 2,69 \times 10^{-4} = 0,01 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\therefore A = (2,69 \pm 0,01) \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

## ❖ Komposisi 30,01%Sn-69,99%Al

No.	L (mm)	L <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	d (mm)	d <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )
1	6,40	40,9600	20,50	420,2500
2	6,40	40,9600	20,50	420,2500
3	6,40	40,9600	20,45	418,2025
4	6,50	42,2500	20,55	422,3025
5	6,45	41,6025	20,40	416,1600
6	6,55	42,9025	20,40	416,1600
7	6,50	42,2500	20,35	414,1225
8	6,40	40,9600	20,45	418,2025
9	6,35	40,3225	20,55	422,3025
10	6,40	40,9600	20,50	420,2500
11	6,45	41,6025	20,50	420,2500
12	6,30	39,6900	20,45	418,2025
13	6,30	39,6900	20,35	414,1225
14	6,35	40,3225	20,55	422,3025
15	6,30	39,6900	20,65	426,4225
16	6,40	40,9600	20,65	426,4225
17	6,40	40,9600	20,60	424,3600
18	6,55	42,9025	20,50	420,2500
19	6,50	42,2500	20,60	424,3600
20	6,45	41,6025	20,45	418,2025
21	6,45	41,6025	20,55	422,3025
22	6,40	40,9600	20,55	422,3025
23	6,30	39,6900	20,40	416,1600
24	6,35	40,3225	20,40	416,1600
25	6,30	39,6900	20,45	418,2025

$\Sigma L = 160,15$	$\Sigma L^2 = 1026,06$	$\Sigma d = 512,30$	$\Sigma d^2 = 10498,23$
$(\Sigma L)^2 = 25648,02$	$25 \times (\Sigma L^2) = 25651,56$	$(\Sigma d)^2 = 262451,29$	$25 \times (\Sigma d^2) = 262455,63$
$L_{\text{rata-rata}} = 6,41 \text{ mm}$		$d_{\text{rata-rata}} = 20,49 \text{ mm}$	
$\Delta L = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma L^2) - (\Sigma L)^2}{25-1}} = 0,02 \text{ mm}$		$\Delta d = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma d^2) - (\Sigma d)^2}{25-1}} = 0,02 \text{ mm}$	

➤ Tebal sampel ( $L$ ) :

$$L = (6,41 \pm 0,02) \times 10^{-3} \text{ m}$$

➤ Dimensi sampel ( $d$ ) :

$$d = (20,49 \pm 0,02) \times 10^{-3} \text{ m}$$

➤ Luas permukaan sampel ( $A$ ) :

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2 = \frac{1}{4} \pi (20,49 \times 10^{-3})^2 = 329,63 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \approx 3,30 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Ketidakpastian ( $\Delta A$ ) :

$$\Delta A = \left( 2 \cdot \frac{0,02}{20,49} \right) \cdot 3,30 \times 10^{-4} = 0,01 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\therefore A = (3,30 \pm 0,01) \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

## ❖ Komposisi 19,99%Sn-80,01%Al

No.	L (mm)	L <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	d (mm)	d <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )
1	6,35	40,3225	20,25	410,0625
2	6,35	40,3225	20,10	404,0100
3	6,40	40,9600	20,15	406,0225
4	6,40	40,9600	20,20	408,0400
5	6,45	41,6025	20,20	408,0400
6	6,30	39,6900	20,30	412,0900
7	6,30	39,6900	20,35	414,1225
8	6,35	40,3225	20,35	414,1225
9	6,40	40,9600	20,25	410,0625
10	6,35	40,3225	20,25	410,0625
11	6,35	40,3225	20,25	410,0625
12	6,35	40,3225	20,15	406,0225
13	6,45	41,6025	20,10	404,0100
14	6,40	40,9600	20,10	404,0100
15	6,50	42,2500	19,90	396,0100
16	6,45	41,6025	19,90	396,0100
17	6,45	41,6025	20,05	402,0025
18	6,30	39,6900	20,10	404,0100
19	6,35	40,3225	20,15	406,0225
20	6,35	40,3225	20,10	404,0100
21	6,30	39,6900	20,25	410,0625
22	6,45	41,6025	20,30	412,0900
23	6,40	40,9600	20,20	408,0400
24	6,55	42,9025	20,15	406,0225
25	6,50	42,2500	20,25	410,0625

$\Sigma L =$	159,80	$\Sigma L^2 =$	1021,56	$\Sigma d =$	504,35	$\Sigma d^2 =$	10175,08
$(\Sigma L)^2 =$	25536,04	$25 \times (\Sigma L^2) =$	25538,88	$(\Sigma d)^2 =$	254368,92	$25 \times (\Sigma d^2) =$	254377,06
$L_{\text{rata-rata}} = 6,39 \text{ mm}$				$d_{\text{rata-rata}} = 20,17 \text{ mm}$			
$\Delta L = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma L^2) - (\Sigma L)^2}{25-1}} = 0,01 \text{ mm}$				$\Delta d = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma d^2) - (\Sigma d)^2}{25-1}} = 0,02 \text{ mm}$			

➤ Tebal sampel ( $L$ ) :

$$L = (6,39 \pm 0,01) \times 10^{-3} \text{ m}$$

➤ Dimensi sampel ( $d$ ) :

$$d = (20,17 \pm 0,02) \times 10^{-3} \text{ m}$$

➤ Luas permukaan sampel ( $A$ ) :

$$A = \frac{1}{4} \pi \cdot d^2 = \frac{1}{4} \pi \cdot (20,17 \times 10^{-3})^2 = 319,48 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \approx 3,19 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Ketidakpastian ( $\Delta A$ ) :

$$\Delta A = \left( 2 \cdot \frac{0,02}{20,17} \right) \cdot 3,19 \times 10^{-4} = 0,01 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\therefore A = (3,19 \pm 0,01) \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

## ❖ Komposisi 10%Sn-90%Al

No.	L (mm)	L <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	d (mm)	d <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )
1	6,60	43,5600	20,55	422,3025
2	6,70	44,8900	20,50	420,2500
3	6,70	44,8900	20,60	424,3600
4	6,70	44,8900	20,65	426,4225
5	6,55	42,9025	20,70	428,4900
6	6,50	42,2500	20,70	428,4900
7	6,60	43,5600	20,70	428,4900
8	6,75	45,5625	20,75	430,5625
9	6,75	45,5625	20,85	434,7225
10	6,80	46,2400	20,60	424,3600
11	6,50	42,2500	20,55	422,3025
12	6,55	42,9025	20,55	422,3025
13	6,60	43,5600	20,50	420,2500
14	6,60	43,5600	20,55	422,3025
15	6,65	44,2225	20,50	420,2500
16	6,65	44,2225	20,60	424,3600
17	6,75	45,5625	20,60	424,3600
18	6,70	44,8900	20,60	424,3600
19	6,70	44,8900	20,65	426,4225
20	6,65	44,2225	20,65	426,4225
21	6,60	43,5600	20,60	424,3600
22	6,60	43,5600	20,75	430,5625
23	6,55	42,9025	20,80	432,6400
24	6,60	43,5600	20,70	428,4900
25	6,50	42,2500	20,70	428,4900

$\Sigma L = 165,85$	$\Sigma L^2 = 1100,42$	$\Sigma d = 515,90$	$\Sigma d^2 = 10646,33$
$(\Sigma L)^2 = 27506,22$	$25 \times (\Sigma L^2) = 27510,56$	$(\Sigma d)^2 = 266152,81$	$25 \times (\Sigma d^2) = 266158,13$
$L_{\text{rata-rata}} = 6,63 \text{ mm}$		$d_{\text{rata-rata}} = 20,64 \text{ mm}$	
$\Delta L = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma L^2) - (\Sigma L)^2}{25-1}} = 0,02 \text{ mm}$		$\Delta d = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma d^2) - (\Sigma d)^2}{25-1}} = 0,02 \text{ mm}$	

➤ Tebal sampel ( $L$ ) :

$$L = (6,63 \pm 0,02) \times 10^{-3} \text{ m}$$

➤ Dimensi sampel ( $d$ ) :

$$d = (20,64 \pm 0,02) \times 10^{-3} \text{ m}$$

➤ Luas permukaan sampel ( $A$ ) :

$$A = \frac{1}{4} \pi \cdot d^2 = \frac{1}{4} \pi \cdot (20,64 \times 10^{-3})^2 = 334,28 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \approx 3,34 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Ketidakpastian ( $\Delta A$ ) :

$$\Delta A = \left( 2 \cdot \frac{0,02}{20,64} \right) \cdot 3,34 \times 10^{-4} = 0,01 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\therefore A = (3,34 \pm 0,01) \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

## ❖ Komposisi 0%Sn-100%Al

No.	L (mm)	L <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	d (mm)	D <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )
1	2,90	8,4100	20,70	428,4900
2	2,85	8,1225	20,60	424,3600
3	2,90	8,4100	20,70	428,4900
4	2,90	8,4100	20,50	420,2500
5	3,00	9,0000	20,20	408,0400
6	2,85	8,1225	20,75	430,5625
7	2,85	8,1225	20,45	418,2025
8	2,85	8,1225	20,65	426,4225
9	2,90	8,4100	20,25	410,0625
10	2,85	8,1225	20,75	430,5625
11	2,90	8,4100	20,60	424,3600
12	2,95	8,7025	20,40	416,1600
13	2,85	8,1225	20,70	428,4900
14	2,90	8,4100	20,70	428,4900
15	2,85	8,1225	20,60	424,3600
16	2,90	8,4100	20,25	410,0625
17	2,85	8,1225	20,70	428,4900
18	2,95	8,7025	20,55	422,3025
19	3,00	9,0000	20,75	430,5625
20	2,95	8,7025	20,60	424,3600
21	2,95	8,7025	20,75	430,5625
22	3,00	9,0000	20,70	428,4900
23	2,90	8,4100	20,35	414,1225
24	2,85	8,1225	20,50	420,2500
25	2,85	8,1225	20,75	430,5625

$\Sigma L =$	72,50	$\Sigma L^2 =$	210,32	$\Sigma d =$	514,45	$\Sigma d^2 =$	10587,07
$(\Sigma L)^2 =$	5256,25	$25 \times (\Sigma L^2) =$	5257,88	$(\Sigma d)^2 =$	264658,80	$25 \times (\Sigma d^2) =$	264676,69
$L_{\text{rata-rata}} = 2,90 \text{ mm}$				$d_{\text{rata-rata}} = 20,58 \text{ mm}$			
$\Delta L = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma L^2) - (\Sigma L)^2}{25-1}} = 0,01 \text{ mm}$				$\Delta d = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma d^2) - (\Sigma d)^2}{25-1}} = 0,03 \text{ mm}$			

➤ Tebal sampel ( $L$ ) :

$$L = (2,90 \pm 0,01) \times 10^{-3} \text{ m}$$

➤ Dimensi sampel ( $d$ ) :

$$d = (20,58 \pm 0,03) \times 10^{-3} \text{ m}$$

➤ Luas permukaan sampel ( $A$ ) :

$$A = \frac{1}{4} \pi \cdot d^2 = \frac{1}{4} \pi \cdot (20,58 \times 10^{-3})^2 = 332,41 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \approx 3,32 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Ketidakpastian ( $\Delta A$ ) :

$$\Delta A = \left( 2 \cdot \frac{0,03}{20,58} \right) \cdot 3,32 \times 10^{-4} = 0,01 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\therefore A = (3,32 \pm 0,01) \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

### Lampiran 3. Data $V$ , $i$ dan $R$ Untuk Masing-masing Komposisi Paduan

❖ Komposisi 100%Sn-0%Al

No.	$V$ (mV)	$V^2$ (mV <sup>2</sup> )	$i$ (A)	$i^2$ (A <sup>2</sup> )
1	52,7	2777,2900	8,33	69,3889
2	54,6	2981,1600	8,33	69,3889
3	53,1	2819,6100	8,33	69,3889
4	52,7	2777,2900	8,16	66,5856
5	52,7	2777,2900	8,16	66,5856
6	50,9	2590,8100	8,16	66,5856
7	51,3	2631,6900	8,16	66,5856
8	51,8	2683,2400	8,33	69,3889
9	51,6	2662,5600	8,16	66,5856
10	51,3	2631,6900	8,16	66,5856
11	50,8	2580,6400	7,97	63,5209
12	50,4	2540,1600	7,97	63,5209
13	50,9	2590,8100	7,97	63,5209
14	52,5	2756,2500	7,97	63,5209
15	54,7	2992,0900	7,97	63,5209
16	53,4	2851,5600	7,89	62,2521
17	53,8	2894,4400	7,97	63,5209
18	53,4	2851,5600	7,97	63,5209
19	53,9	2905,2100	7,97	63,5209
20	54,8	3003,0400	7,97	63,5209
21	54,1	2926,8100	7,97	63,5209
22	53,5	2862,2500	7,86	61,7796
23	52,3	2735,2900	7,76	60,2176
24	51,7	2672,8900	7,76	60,2176
25	52,6	2766,7600	7,76	60,2176

$\Sigma V =$ 1315,50	$\Sigma V^2 =$ 69262,39	$\Sigma i =$ 201,01	$\Sigma i^2 =$ 1616,96
$(\Sigma V)^2 =$ 1730540,25	$25 \times (\Sigma V^2) =$ 1731559,75	$(\Sigma i)^2 =$ 40405,02	$25 \times (\Sigma i^2) =$ 40424,07
$V_{\text{rata-rata}} = 52,62 \text{ mV} \approx 5,3 \times 10^{-2} \text{ V}$		$i_{\text{rata-rata}} = 8,04 \text{ A}$	
$\Delta V = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma V^2) - (\Sigma V)^2}{25-1}} = 0,26 \text{ mV} \approx 0,03 \times 10^{-2} \text{ V}$		$\Delta i = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma i^2) - (\Sigma i)^2}{25-1}} = 0,04 \text{ A}$	

➤ Beda Potensial ( $V$ ) :

$$V = (5,3 \pm 0,03) \times 10^{-2} \text{ volt}$$

➤ Kuat arus ( $i$ ) :

$$i = (8,04 \pm 0,04) \text{ A}$$

➤ Resistansi sampel ( $R$ ) :

$$R = \frac{V}{i} = \frac{5,3 \times 10^{-2}}{8,04} = 6,54 \times 10^{-3} \Omega$$

Ketidakpastian ( $\Delta R$ ) :

$$\Delta R = \left( \left( \frac{0,03}{5,3} \right) + \left( \frac{0,04}{8,04} \right) \right) \cdot 6,54 \times 10^{-3} = 0,06 \times 10^{-3} \Omega$$

$$\therefore R = (6,54 \pm 0,06) \times 10^{-3} \Omega$$

## ❖ Komposisi 89,98%Sn-10,02%Al

No.	V (V)	V <sup>2</sup> (V <sup>2</sup> )	I (mA)	i <sup>2</sup> (mA <sup>2</sup> )
1	4,10	16,8100	5,4	29,1600
2	4,13	17,0569	5,3	28,0900
3	4,12	16,9744	5,2	27,0400
4	4,13	17,0569	5,1	26,0100
5	4,10	16,8100	5,0	25,0000
6	4,11	16,8921	5,0	25,0000
7	4,12	16,9744	4,9	24,0100
8	4,10	16,8100	4,9	24,0100
9	4,13	17,0569	4,8	23,0400
10	4,17	17,3889	4,8	23,0400
11	4,17	17,3889	4,8	23,0400
12	4,19	17,5561	4,8	23,0400
13	4,18	17,4724	4,7	22,0900
14	4,19	17,5561	4,7	22,0900
15	4,22	17,8084	4,7	22,0900
16	4,20	17,6400	4,7	22,0900
17	4,19	17,5561	4,6	21,1600
18	4,20	17,6400	4,6	21,1600
19	4,19	17,5561	4,6	21,1600
20	4,20	17,6400	4,5	20,2500
21	4,21	17,7241	4,5	20,2500
22	4,20	17,6400	4,5	20,2500
23	4,15	17,2225	4,3	18,4900
24	4,12	16,9744	4,3	18,4900
25	4,14	17,1396	4,3	18,4900

$\Sigma V =$	103,96	$\Sigma V^2 =$	432,35	$\Sigma i =$	119,00	$\Sigma i^2 =$	568,54
$(\Sigma V)^2 =$	10807,6816	$25 \times (\Sigma V^2) =$	10808,63	$(\Sigma i)^2 =$	14161,00	$25 \times (\Sigma i^2) =$	14213,50
$V_{\text{rata-rata}} = 4,16 \text{ V}$				$i_{\text{rata-rata}} = 4,76 \times 10^{-3} \text{ A}$			
$\Delta V = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma V^2) - (\Sigma V)^2}{25-1}} = 0,01 \text{ V}$				$\Delta i = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma i^2) - (\Sigma i)^2}{25-1}} = 0,06 \times 10^{-3} \text{ A}$			

➤ Beda Potensial ( $V$ ) :

$$V = (4,16 \pm 0,01) \text{ volt}$$

➤ Kuat arus ( $i$ ) :

$$i = (4,76 \pm 0,06) \times 10^{-3} \text{ A}$$

➤ Resistansi sampel ( $R$ ) :

$$R = \frac{V}{i} = \frac{4,16}{4,76 \times 10^{-3}} = 8,74 \times 10^2 \Omega$$

Ketidakpastian ( $\Delta R$ ) :

$$\Delta R = \left( \left( \frac{0,01}{4,16} \right) + \left( \frac{0,06}{4,76} \right) \right) 8,74 \times 10^2 = 0,13 \times 10^2 \Omega$$

$$\therefore R = (8,74 \pm 0,13) \times 10^2 \Omega$$

## ❖ Komposisi 80%Sn-20%Al

No.	V (V)	V <sup>2</sup> (V <sup>2</sup> )	I (mA)	i <sup>2</sup> (mA <sup>2</sup> )
1	4,98	24,8004	4,8	23,0400
2	4,99	24,9001	4,8	23,0400
3	5,00	25,0000	4,7	22,0900
4	5,01	25,1001	4,7	22,0900
5	5,02	25,2004	4,8	23,0400
6	5,01	25,1001	4,6	21,1600
7	5,03	25,3009	4,5	20,2500
8	5,03	25,3009	4,6	21,1600
9	4,95	24,5025	4,6	21,1600
10	4,95	24,5025	4,7	22,0900
11	5,01	25,1001	4,8	23,0400
12	5,01	25,1001	4,8	23,0400
13	5,02	25,2004	4,8	23,0400
14	5,02	25,2004	4,8	23,0400
15	5,00	25,0000	4,7	22,0900
16	4,99	24,9001	4,7	22,0900
17	4,98	24,8004	4,7	22,0900
18	5,03	25,3009	5,0	25,0000
19	5,02	25,2004	5,1	26,0100
20	5,02	25,2004	5,1	26,0100
21	4,99	24,9001	4,8	23,0400
22	4,98	24,8004	4,8	23,0400
23	4,98	24,8004	4,7	22,0900
24	4,99	24,9001	4,8	23,0400
25	5,01	25,1001	4,9	24,0100

$\Sigma V =$	125,02	$\Sigma V^2 =$	625,21	$\Sigma i =$	119,30	$\Sigma i^2 =$	569,79
$(\Sigma V)^2 =$	15630,0004	$25 \times (\Sigma V^2) =$	15630,31	$(\Sigma i)^2 =$	14232,49	$25 \times (\Sigma i^2) =$	14244,75
$V_{\text{rata-rata}} = 5,00 \text{ V}$				$i_{\text{rata-rata}} = 4,77 \times 10^{-3} \text{ A}$			
$\Delta V = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma V^2) - (\Sigma V)^2}{25-1}} = 0,005 \text{ V}$				$\Delta i = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma i^2) - (\Sigma i)^2}{25-1}} = 0,03 \times 10^{-3} \text{ A}$			

➤ Beda Potensial ( $V$ ) :

$$V = (5,00 \pm 0,005) \text{ volt}$$

➤ Kuat arus ( $i$ ) :

$$i = (4,77 \pm 0,03) \times 10^{-3} \text{ A}$$

➤ Resistansi sampel ( $R$ ) :

$$R = \frac{V}{i} = \frac{4,16}{4,76 \times 10^{-3}} = 1,05 \times 10^3 \Omega$$

Ketidakpastian ( $\Delta R$ ) :

$$\Delta R = \left( \left( \frac{0,005}{5,00} \right) + \left( \frac{0,03}{4,77} \right) \right) 1,05 \times 10^3 = 0,01 \times 10^3 \Omega$$

$$\therefore R = (1,05 \pm 0,01) \times 10^3 \Omega$$



## ❖ Komposisi 69,89%Sn-30,11%Al

No.	V (V)	V <sup>2</sup> (V <sup>2</sup> )	I (mA)	i <sup>2</sup> (mA <sup>2</sup> )
1	4,58	20,9764	5,2	27,0400
2	4,60	21,1600	5,1	26,0100
3	4,60	21,1600	5,1	26,0100
4	4,51	20,3401	5,0	25,0000
5	4,56	20,7936	5,1	26,0100
6	4,58	20,9764	5,1	26,0100
7	4,60	21,1600	5,0	25,0000
8	4,61	21,2521	5,0	25,0000
9	4,62	21,3444	5,0	25,0000
10	4,63	21,4369	4,9	24,0100
11	4,64	21,5296	4,9	24,0100
12	4,65	21,6225	5,0	25,0000
13	4,65	21,6225	4,9	24,0100
14	4,66	21,7156	4,9	24,0100
15	4,58	20,9764	4,9	24,0100
16	4,60	21,1600	4,9	24,0100
17	4,63	21,4369	5,0	25,0000
18	4,63	21,4369	5,0	25,0000
19	4,63	21,4369	5,0	25,0000
20	4,64	21,5296	4,9	24,0100
21	4,63	21,4369	4,9	24,0100
22	4,64	21,5296	5,4	29,1600
23	4,66	21,7156	5,0	25,0000
24	4,65	21,6225	5,3	28,0900
25	4,68	21,9024	5,0	25,0000

$\Sigma V =$	115,46	$\Sigma V^2 =$	533,27	$\Sigma i =$	125,50	$\Sigma i^2 =$	630,41
$(\Sigma V)^2 =$	13331,0116	$25 \times (\Sigma V^2) =$	13331,85	$(\Sigma i)^2 =$	15750,25	$25 \times (\Sigma i^2) =$	15760,25
$V_{\text{rata-rata}} = 4,62 \text{ V}$				$i_{\text{rata-rata}} = 5,02 \times 10^{-3} \text{ A}$			
$\Delta V = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma V^2) - (\Sigma V)^2}{25-1}} = 0,01 \text{ V}$				$\Delta i = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma i^2) - (\Sigma i)^2}{25-1}} = 0,03 \times 10^{-3} \text{ A}$			

➤ Beda Potensial ( $V$ ) :

$$V = (4,62 \pm 0,01) \text{ volt}$$

➤ Kuat arus ( $i$ ) :

$$i = (5,02 \pm 0,03) \times 10^{-3} \text{ A}$$

➤ Resistansi sampel ( $R$ ) :

$$R = \frac{V}{i} = \frac{4,62}{5,02 \times 10^{-3}} = 9,20 \times 10^2 \text{ } \Omega$$

Ketidakpastian ( $\Delta R$ ) :

$$\Delta R = \left( \left( \frac{0,01}{4,62} \right) + \left( \frac{0,03}{5,02} \right) \right) \cdot 9,20 \times 10^2 = 0,06 \times 10^2 \text{ } \Omega$$

$$\therefore R = (9,20 \pm 0,06) \times 10^2 \text{ } \Omega$$

## ❖ Komposisi 59,99%Sn-40,01%Al

No.	V (V)	V <sup>2</sup> (V <sup>2</sup> )	I (mA)	i <sup>2</sup> (mA <sup>2</sup> )
1	3,15	9,9225	15,3	234,0900
2	3,12	9,7344	15,3	234,0900
3	3,12	9,7344	15,3	234,0900
4	3,13	9,7969	15,2	231,0400
5	3,14	9,8596	15,1	228,0100
6	3,16	9,9856	15,1	228,0100
7	3,18	10,1124	15,1	228,0100
8	3,20	10,2400	14,7	216,0900
9	3,21	10,3041	14,6	213,1600
10	3,23	10,4329	14,6	213,1600
11	3,27	10,6929	14,3	204,4900
12	3,29	10,8241	14,3	204,4900
13	3,30	10,8900	14,1	198,8100
14	3,31	10,9561	14,1	198,8100
15	3,32	11,0224	14,0	196,0000
16	3,33	11,0889	14,0	196,0000
17	3,38	11,4244	13,7	187,6900
18	3,39	11,4921	13,6	184,9600
19	3,39	11,4921	13,6	184,9600
20	3,40	11,5600	13,6	184,9600
21	3,39	11,4921	13,5	182,2500
22	3,40	11,5600	13,6	184,9600
23	3,41	11,6281	13,5	182,2500
24	3,41	11,6281	13,6	184,9600
25	3,41	11,6281	13,5	182,2500

$\Sigma V =$	82,04	$\Sigma V^2 =$	269,50	$\Sigma i =$	357,30	$\Sigma i^2 =$	5117,59
$(\Sigma V)^2 =$	6730,5616	$25 \times (\Sigma V^2) =$	6737,56	$(\Sigma i)^2 =$	127663,29	$25 \times (\Sigma i^2) =$	127939,75
$V_{rata-rata} = 3,28 \text{ V}$				$i_{rata-rata} = 1,43 \times 10^{-2} \text{ A}$			
$\Delta V = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma V^2) - (\Sigma V)^2}{25-1}} = 0,02 \text{ V}$				$\Delta i = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma i^2) - (\Sigma i)^2}{25-1}} = 0,01 \times 10^{-2} \text{ A}$			

➤ Beda Potensial ( $V$ ) :

$$V = (3,28 \pm 0,02) \text{ volt}$$

➤ Kuat arus ( $i$ ) :

$$i = (1,43 \pm 0,01) \times 10^{-2} \text{ A}$$

➤ Resistansi sampel ( $R$ ) :

$$R = \frac{V}{i} = \frac{3,28}{1,43 \times 10^{-2}} = 2,30 \times 10^2 \Omega$$

Ketidakpastian ( $\Delta R$ ) :

$$\Delta R = \left( \left( \frac{0,02}{3,28} \right) + \left( \frac{0,01}{1,43} \right) \right) 2,30 \times 10^2 = 0,04 \times 10^2 \Omega$$

$$\therefore R = (2,30 \pm 0,04) \times 10^2 \Omega$$

## ❖ Komposisi 50,01%Sn-49,99%Al

No.	V (V)	V <sup>2</sup> (V <sup>2</sup> )	I (mA)	i <sup>2</sup> (mA <sup>2</sup> )
1	4,58	20,9764	6,4	40,9600
2	4,60	21,1600	6,1	37,2100
3	4,60	21,1600	6,8	46,2400
4	4,51	20,3401	6,7	44,8900
5	4,56	20,7936	6,5	42,2500
6	4,58	20,9764	6,3	39,6900
7	4,60	21,1600	6,2	38,4400
8	4,61	21,2521	6,1	37,2100
9	4,62	21,3444	6,0	36,0000
10	4,63	21,4369	6,0	36,0000
11	4,64	21,5296	5,9	34,8100
12	4,65	21,6225	5,9	34,8100
13	4,65	21,6225	5,8	33,6400
14	4,66	21,7156	5,8	33,6400
15	4,58	20,9764	6,3	39,6900
16	4,60	21,1600	6,2	38,4400
17	4,63	21,4369	6,1	37,2100
18	4,63	21,4369	6,1	37,2100
19	4,63	21,4369	6,0	36,0000
20	4,64	21,5296	6,0	36,0000
21	4,63	21,4369	6,0	36,0000
22	4,64	21,5296	5,9	34,8100
23	4,66	21,7156	5,8	33,6400
24	4,65	21,6225	5,9	34,8100
25	4,68	21,9024	5,8	33,6400

$\Sigma V =$	115,46	$\Sigma V^2 =$	533,27	$\Sigma i =$	152,60	$\Sigma i^2 =$	933,24
$(\Sigma V)^2 =$	13331,0116	$25 \times (\Sigma V^2) =$	13331,85	$(\Sigma i)^2 =$	23286,76	$25 \times (\Sigma i^2) =$	23331,00
$V_{\text{rata-rata}} = 4,62 \text{ V}$				$i_{\text{rata-rata}} = 6,10 \times 10^{-3} \text{ A}$			
$\Delta V = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma V^2) - (\Sigma V)^2}{25-1}} = 0,01 \text{ V}$				$\Delta i = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma i^2) - (\Sigma i)^2}{25-1}} = 0,05 \times 10^{-3} \text{ A}$			

➤ Beda Potensial ( $V$ ) :

$$V = (4,62 \pm 0,01) \text{ volt}$$

➤ Kuat arus ( $i$ ) :

$$i = (6,10 \pm 0,05) \times 10^{-3} \text{ A}$$

➤ Resistansi sampel ( $R$ ) :

$$R = \frac{V}{i} = \frac{4,62}{6,10 \times 10^{-3}} = 7,57 \times 10^2 \Omega$$

Ketidakpastian ( $\Delta R$ ) :

$$\Delta R = \left( \left( \frac{0,01}{4,62} \right) + \left( \frac{0,05}{6,10} \right) \right) \cdot 7,57 \times 10^2 = 0,08 \times 10^2 \Omega$$

$$\therefore R = (7,57 \pm 0,08) \times 10^2 \Omega$$

## ❖ Komposisi 39,98%Sn-60,02%Al

No.	V (mV)	V <sup>2</sup> (mV <sup>2</sup> )	I (mA)	i <sup>2</sup> (mA <sup>2</sup> )
1	3,3	10,8900	38,5	1482,2500
2	3,3	10,8900	40,1	1608,0100
3	3,2	10,2400	39,7	1576,0900
4	3,3	10,8900	39,4	1552,3600
5	3,4	11,5600	39,2	1536,6400
6	3,4	11,5600	39,4	1552,3600
7	3,3	10,8900	39,5	1560,2500
8	3,4	11,5600	39,6	1568,1600
9	3,4	11,5600	39,5	1560,2500
10	3,3	10,8900	39,4	1552,3600
11	3,4	11,5600	39,5	1560,2500
12	3,4	11,5600	39,8	1584,0400
13	3,4	11,5600	39,9	1592,0100
14	3,3	10,8900	39,7	1576,0900
15	3,3	10,8900	39,7	1576,0900
16	3,4	11,5600	39,6	1568,1600
17	3,3	10,8900	39,9	1592,0100
18	3,4	11,5600	39,8	1584,0400
19	3,4	11,5600	39,9	1592,0100
20	3,4	11,5600	39,7	1576,0900
21	3,3	10,8900	39,6	1568,1600
22	3,3	10,8900	39,6	1568,1600
23	3,3	10,8900	39,6	1568,1600
24	3,3	10,8900	39,6	1568,1600
25	3,3	10,8900	39,7	1576,0900

$\Sigma V =$	83,50	$\Sigma V^2 =$	278,97	$\Sigma i =$	989,90	$\Sigma i^2 =$	39198,25
$(\Sigma V)^2 =$	6972,25	$25 \times (\Sigma V^2) =$	6974,25	$(\Sigma i)^2 =$	979902,01	$25 \times (\Sigma i^2) =$	979956,25
$V_{\text{rata-rata}} = 3,34 \times 10^{-3} \text{ V}$				$i_{\text{rata-rata}} = 39,60 \times 10^{-2} \text{ A}$			
$\Delta V = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma V^2) - (\Sigma V)^2}{25-1}} = 0,01 \times 10^{-3} \text{ V}$				$\Delta i = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma i^2) - (\Sigma i)^2}{25-1}} = 0,06 \times 10^{-3} \text{ A}$			

➤ Beda Potensial ( $V$ ) :

$$V = (3,34 \pm 0,01) \times 10^{-3} \text{ volt}$$

➤ Kuat arus ( $i$ ) :

$$i = (39,60 \pm 0,06) \times 10^{-3} \text{ A}$$

➤ Resistansi sampel ( $R$ ) :

$$R = \frac{V}{i} = \frac{3,34 \times 10^{-3}}{39,6 \times 10^{-3}} = 8,44 \times 10^{-2} \Omega$$

Ketidakpastian ( $\Delta R$ ) :

$$\Delta R = \left( \left( \frac{0,01}{3,34} \right) + \left( \frac{0,06}{39,6} \right) \right) 8,44 \times 10^{-2} = 0,04 \times 10^{-2} \Omega$$

$$\therefore R = (8,84 \pm 0,04) \times 10^{-2} \Omega$$

## ❖ Komposisi 30,01%Sn-69,99%Al

No.	V (mV)	V <sup>2</sup> (mV <sup>2</sup> )	I (mA)	i <sup>2</sup> (mA <sup>2</sup> )
1	1,3	1,6900	41,3	1705,6900
2	1,3	1,6900	41,3	1705,6900
3	1,2	1,4400	41,3	1705,6900
4	1,2	1,4400	41,3	1705,6900
5	1,1	1,2100	41,2	1697,4400
6	1,1	1,2100	41,3	1705,6900
7	1,1	1,2100	41,2	1697,4400
8	1,1	1,2100	41,2	1697,4400
9	1,1	1,2100	41,2	1697,4400
10	1,1	1,2100	41,2	1697,4400
11	1,1	1,2100	41,3	1705,6900
12	1,1	1,2100	41,3	1705,6900
13	1,0	1,0000	41,2	1697,4400
14	1,0	1,0000	41,2	1697,4400
15	1,0	1,0000	41,2	1697,4400
16	1,1	1,2100	41,2	1697,4400
17	1,1	1,2100	41,2	1697,4400
18	1,1	1,2100	41,2	1697,4400
19	1,1	1,2100	41,2	1697,4400
20	1,2	1,4400	41,2	1697,4400
21	1,2	1,4400	41,1	1689,2100
22	1,2	1,4400	41,1	1689,2100
23	1,3	1,6900	41,1	1689,2100
24	1,3	1,6900	41,1	1689,2100
25	1,3	1,6900	41,1	1689,2100

$\Sigma V =$	28,70	$\Sigma V^2 =$	33,17	$\Sigma i =$	1030,20	$\Sigma i^2 =$	42452,60
$(\Sigma V)^2 =$	823,69	$25 \times (\Sigma V^2) =$	829,25	$(\Sigma i)^2 =$	1061312,04	$25 \times (\Sigma i^2) =$	1061315,00
$V_{\text{rata-rata}} = 1,15 \times 10^{-3} \text{ V}$				$i_{\text{rata-rata}} = 41,21 \times 10^{-3} \text{ A}$			
$\Delta V = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma V^2) - (\Sigma V)^2}{25-1}} = 0,02 \times 10^{-3} \text{ V}$				$\Delta i = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma i^2) - (\Sigma i)^2}{25-1}} = 0,01 \times 10^{-3} \text{ A}$			

➤ Beda Potensial ( $V$ ) :

$$V = (1,15 \pm 0,02) \times 10^{-3} \text{ volt}$$

➤ Kuat arus ( $i$ ) :

$$i = (41,21 \pm 0,01) \times 10^{-3} \text{ A}$$

➤ Resistansi sampel ( $R$ ) :

$$R = \frac{V}{i} = \frac{1,15 \times 10^{-3}}{41,21 \times 10^{-3}} = 2,79 \times 10^{-2} \Omega$$

Ketidakpastian ( $\Delta R$ ) :

$$\Delta R = \left( \left( \frac{0,02}{1,15} \right) + \left( \frac{0,01}{41,21} \right) \right) 2,79 \times 10^{-2} = 0,05 \times 10^{-2} \Omega$$

$$\therefore R = (2,79 \pm 0,05) \times 10^{-2} \Omega$$

## ❖ Komposisi 19,99%Sn-80,01%Al

No.	V (mV)	V <sup>2</sup> (mV <sup>2</sup> )	I (mA)	i <sup>2</sup> (mA <sup>2</sup> )
1	5,1	26,0100	41,0	1681,0000
2	5,2	27,0400	41,1	1689,2100
3	5,2	27,0400	41,1	1689,2100
4	5,1	26,0100	41,0	1681,0000
5	5,1	26,0100	41,0	1681,0000
6	5,1	26,0100	41,1	1689,2100
7	5,1	26,0100	41,0	1681,0000
8	5,0	25,0000	41,0	1681,0000
9	5,1	26,0100	41,0	1681,0000
10	5,0	25,0000	41,0	1681,0000
11	5,1	26,0100	41,0	1681,0000
12	5,1	26,0100	41,0	1681,0000
13	5,1	26,0100	41,0	1681,0000
14	5,1	26,0100	41,0	1681,0000
15	5,1	26,0100	40,9	1672,8100
16	5,1	26,0100	40,9	1672,8100
17	5,1	26,0100	40,9	1672,8100
18	5,1	26,0100	41,0	1681,0000
19	5,1	26,0100	40,9	1672,8100
20	5,2	27,0400	41,0	1681,0000
21	5,1	26,0100	40,9	1672,8100
22	5,1	26,0100	40,9	1672,8100
23	5,2	27,0400	41,0	1681,0000
24	5,2	27,0400	41,0	1681,0000
25	5,2	27,0400	41,0	1681,0000

$\Sigma V =$	127,90	$\Sigma V^2 =$	654,41	$\Sigma i =$	1024,70	$\Sigma i^2 =$	42000,49
$(\Sigma V)^2 =$	16358,41	$25 \times (\Sigma V^2) =$	16360,25	$(\Sigma i)^2 =$	1050010,09	$25 \times (\Sigma i^2) =$	1050012,25
$V_{\text{rata-rata}} = 5,12 \times 10^{-3} \text{ V}$				$i_{\text{rata-rata}} = 40,99 \times 10^{-3} \text{ A}$			
$\Delta V = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma V^2) - (\Sigma V)^2}{25-1}} = 0,01 \times 10^{-3} \text{ V}$				$\Delta i = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma i^2) - (\Sigma i)^2}{25-1}} = 0,01 \times 10^{-3} \text{ A}$			

➤ Beda Potensial ( $V$ ) :

$$V = (5,12 \pm 0,01) \times 10^{-3} \text{ volt}$$

➤ Kuat arus ( $i$ ) :

$$i = (40,99 \pm 0,01) \times 10^{-3} \text{ A}$$

➤ Resistansi sampel ( $R$ ) :

$$R = \frac{V}{i} = \frac{5,12 \times 10^{-3}}{40,99 \times 10^{-3}} = 12,48 \times 10^{-2} \Omega$$

Ketidakpastian ( $\Delta R$ ) :

$$\Delta R = \left( \left( \frac{0,01}{5,12} \right) + \left( \frac{0,01}{40,99} \right) \right) 12,48 \times 10^{-2} = 0,03 \times 10^{-2} \Omega$$

$$\therefore R = (12,48 \pm 0,03) \times 10^{-2} \Omega$$

## ❖ Komposisi 10%Sn-90%Al

No.	V (mV)	V <sup>2</sup> (mV <sup>2</sup> )	I (mA)	i <sup>2</sup> (mA <sup>2</sup> )
1	5,8	33,6400	41,3	1705,6900
2	5,9	34,8100	41,3	1705,6900
3	5,8	33,6400	41,3	1705,6900
4	5,9	34,8100	41,3	1705,6900
5	5,9	34,8100	41,3	1705,6900
6	5,9	34,8100	41,4	1713,9600
7	5,9	34,8100	41,4	1713,9600
8	5,8	33,6400	41,2	1697,4400
9	5,7	32,4900	41,3	1705,6900
10	5,8	33,6400	41,2	1697,4400
11	5,8	33,6400	41,2	1697,4400
12	5,9	34,8100	41,2	1697,4400
13	5,9	34,8100	41,3	1705,6900
14	5,8	33,6400	41,2	1697,4400
15	5,8	33,6400	41,2	1697,4400
16	5,8	33,6400	41,3	1705,6900
17	5,8	33,6400	41,2	1697,4400
18	5,7	32,4900	41,2	1697,4400
19	5,7	32,4900	41,3	1705,6900
20	5,7	32,4900	41,2	1697,4400
21	5,7	32,4900	41,3	1705,6900
22	5,6	31,3600	41,2	1697,4400
23	5,5	30,2500	41,2	1697,4400
24	5,6	31,3600	41,2	1697,4400
25	5,7	32,4900	41,3	1705,6900

$\Sigma V =$	144,40	$\Sigma V^2 =$	834,34	$\Sigma i =$	1031,50	$\Sigma i^2 =$	42559,79
$(\Sigma V)^2 =$	20851,36	$25 \times (\Sigma V^2) =$	20858,50	$(\Sigma i)^2 =$	1063992,25	$25 \times (\Sigma i^2) =$	1063994,75
$V_{\text{rata-rata}} = 5,78 \times 10^{-3} \text{ V}$				$i_{\text{rata-rata}} = 41,26 \times 10^{-3} \text{ A}$			
$\Delta V = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma V^2) - (\Sigma V)^2}{25-1}} = 0,02 \times 10^{-3} \text{ V}$				$\Delta i = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma i^2) - (\Sigma i)^2}{25-1}} = 0,01 \times 10^{-3} \text{ A}$			

➤ Beda Potensial ( $V$ ) :

$$V = (5,78 \pm 0,02) \times 10^{-3} \text{ volt}$$

➤ Kuat arus ( $i$ ) :

$$i = (41,26 \pm 0,01) \times 10^{-3} \text{ A}$$

➤ Resistansi sampel ( $R$ ) :

$$R = \frac{V}{i} = \frac{5,78 \times 10^{-3}}{41,26 \times 10^{-3}} = 14 \times 10^{-2} \Omega$$

Ketidakpastian ( $\Delta R$ ) :

$$\Delta R = \left( \left( \frac{0,02}{5,78} \right) + \left( \frac{0,01}{41,26} \right) \right) \cdot 14 \times 10^{-2} = 0,06 \times 10^{-2} \Omega$$

$$\therefore R = (14,00 \pm 0,06) \times 10^{-2} \Omega$$

## ❖ Komposisi 0%Sn-100%Al

No.	V (mV)	V <sup>2</sup> (mV <sup>2</sup> )	I (A)	i <sup>2</sup> (A <sup>2</sup> )
1	86,3	7447,6900	8,72	76,0384
2	82,9	6872,4100	8,72	76,0384
3	77,8	6052,8400	8,72	76,0384
4	77,8	6052,8400	8,72	76,0384
5	77,8	6052,8400	8,72	76,0384
6	77,6	6021,7600	8,65	74,8225
7	77,6	6021,7600	8,65	74,8225
8	75,1	5640,0100	8,65	74,8225
9	74,8	5595,0400	8,49	72,0801
10	69,5	4830,2500	8,49	72,0801
11	68,7	4719,6900	8,13	66,0969
12	68,7	4719,6900	8,13	66,0969
13	69,8	4872,0400	8,13	66,0969
14	69,8	4872,0400	8,13	66,0969
15	69,8	4872,0400	8,13	66,0969
16	68,4	4678,5600	8,02	64,3204
17	68,4	4678,5600	8,02	64,3204
18	68,4	4678,5600	8,02	64,3204
19	68,4	4678,5600	8,02	64,3204
20	69,1	4774,8100	7,96	63,3616
21	69,1	4774,8100	7,96	63,3616
22	69,1	4774,8100	7,96	63,3616
23	66,7	4448,8900	7,96	63,3616
24	66,7	4448,8900	7,96	63,3616
25	66,7	4448,8900	7,96	63,3616

$\Sigma V =$	1805,00	$\Sigma V^2 =$	131028,28	$\Sigma i =$	207,02	$\Sigma i^2 =$	1716,76
$(\Sigma V)^2 =$	3258025	$25 \times (\Sigma V^2) =$	3275707,00	$(\Sigma i)^2 =$	42857,28	$25 \times (\Sigma i^2) =$	42918,89
$V_{\text{rata-rata}} = 7,22 \times 10^{-2} \text{ V}$				$i_{\text{rata-rata}} = 8,28 \text{ A}$			
$\Delta V = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma V^2) - (\Sigma V)^2}{25-1}} = 0,11 \times 10^{-2} \text{ V}$				$\Delta i = \frac{1}{25} \sqrt{\frac{25(\Sigma i^2) - (\Sigma i)^2}{25-1}} = 0,06 \text{ A}$			

➤ Beda Potensial ( $V$ ) :

$$V = (7,22 \pm 0,11) \times 10^{-2} \text{ volt}$$

➤ Kuat arus ( $i$ ) :

$$i = (8,28 \pm 0,06) \text{ A}$$

➤ Resistansi sampel ( $R$ ) :

$$R = \frac{V}{i} = \frac{7,22 \times 10^{-2}}{8,28} = 8,72 \times 10^{-3} \Omega$$

Ketidakpastian ( $\Delta R$ ) :

$$\Delta R = \left( \left( \frac{0,11}{7,22} \right) + \left( \frac{0,06}{8,28} \right) \right) \cdot 8,72 \times 10^{-3} = 0,2 \times 10^{-3} \Omega$$

$$\therefore R = (8,72 \pm 0,20) \times 10^{-3} \Omega$$



#### Lampiran 4. Perhitungan Resistivitas ( $\rho$ ) Masing-masing Komposisi Paduan

➤ komposisi 100%Sn-0%Al

$$\rho = \frac{6,54 \times 10^{-3} \cdot 3,14 \times 10^{-4}}{2,76 \times 10^{-3}} = 7,40 \times 10^{-4} \Omega.m$$

$$\Delta\rho = \left( \left( \frac{0,06}{6,54} \right) + \left( \frac{0,02}{3,14} \right) + \left( \frac{0,01}{2,76} \right) \right) \times 7,40 \times 10^{-4} = 0,10 \times 10^{-4} \Omega.m$$

➤ komposisi 89,98%Sn-10,02%Al

$$\rho = \frac{8,74 \times 10^2 \cdot 3,02 \times 10^{-4}}{4,04 \times 10^{-3}} = 65,30 \Omega.m$$

$$\Delta\rho = \left( \left( \frac{0,13}{8,74} \right) + \left( \frac{0,01}{3,02} \right) + \left( \frac{0,01}{4,04} \right) \right) \times 65,30 = 1,31 \Omega.m$$

➤ komposisi 80%Sn-20%Al

$$\rho = \frac{1,05 \times 10^3 \cdot 3,31 \times 10^{-4}}{4,51 \times 10^{-3}} = 76,91 \Omega.m$$

$$\Delta\rho = \left( \left( \frac{0,01}{1,05} \right) + \left( \frac{0,01}{3,31} \right) + \left( \frac{0,01}{4,51} \right) \right) \times 76,91 = 0,93 \Omega.m$$

➤ komposisi 69,89%Sn-30,11%Al

$$\rho = \frac{9,20 \times 10^2 \cdot 3,53 \times 10^{-4}}{4,28 \times 10^{-3}} = 75,88 \Omega.m$$

$$\Delta\rho = \left( \left( \frac{0,06}{9,20} \right) + \left( \frac{0,01}{3,53} \right) + \left( \frac{0,01}{4,28} \right) \right) \times 75,88 = 0,90 \Omega.m$$

➤ komposisi 59,99%Sn-40,01%Al

$$\rho = \frac{2,30 \times 10^2 \cdot 3,40 \times 10^{-4}}{4,51 \times 10^{-3}} = 17,31 \Omega.m$$

$$\Delta\rho = \left( \left( \frac{0,04}{2,30} \right) + \left( \frac{0,01}{3,40} \right) + \left( \frac{0,01}{4,51} \right) \right) \times 17,31 = 0,37 \Omega.m$$

➤ komposisi 50,01%Sn-49,99%Al

$$\rho = \frac{7,57 \times 10^2 \cdot 3,29 \times 10^{-4}}{4,85 \times 10^{-3}} = 51,33 \Omega.m$$

$$\Delta\rho = \left( \left( \frac{0,08}{7,57} \right) + \left( \frac{0,01}{3,29} \right) + \left( \frac{0,01}{4,85} \right) \right) \times 51,33 = 0,80 \Omega.m$$

➤ komposisi 39,98%Sn-60,02%Al

$$- \rho = \frac{8,84 \times 10^{-2} \cdot 2,69 \times 10^{-4}}{6,74 \times 10^{-3}} = 3,37 \times 10^{-3} \Omega.m$$

$$- \Delta\rho = \left( \left( \frac{0,04}{8,84} \right) + \left( \frac{0,01}{2,69} \right) + \left( \frac{0,01}{6,74} \right) \right) \times 3,37 \times 10^{-3} = 0,03 \times 10^{-3} \Omega.m$$

➤ komposisi 30,01%Sn-69,99%Al

$$- \rho = \frac{2,79 \times 10^{-2} \cdot 3,30 \times 10^{-4}}{6,41 \times 10^{-3}} = 1,43 \times 10^{-3} \Omega.m$$

$$- \Delta\rho = \left( \left( \frac{0,05}{2,79} \right) + \left( \frac{0,01}{3,30} \right) + \left( \frac{0,02}{6,41} \right) \right) \times 1,43 \times 10^{-3} = 0,03 \times 10^{-3} \Omega.m$$

➤ komposisi 19,99%Sn-80,01%Al

$$- \rho = \frac{12,48 \times 10^{-2} \cdot 3,19 \times 10^{-4}}{6,39 \times 10^{-3}} = 6,23 \times 10^{-3} \Omega.m$$

$$- \Delta\rho = \left( \left( \frac{0,03}{12,48} \right) + \left( \frac{0,01}{3,19} \right) + \left( \frac{0,01}{6,39} \right) \right) \times 6,23 \times 10^{-3} = 0,04 \times 10^{-3} \Omega.m$$

➤ komposisi 10%Sn-90%Al

$$- \rho = \frac{14,00 \times 10^{-2} \cdot 3,34 \times 10^{-4}}{6,63 \times 10^{-3}} = 7,05 \times 10^{-3} \Omega.m$$

$$- \Delta\rho = \left( \left( \frac{0,06}{14,00} \right) + \left( \frac{0,01}{3,34} \right) + \left( \frac{0,02}{6,63} \right) \right) \times 7,05 \times 10^{-3} = 0,07 \times 10^{-3} \Omega.m$$

➤ komposisi 0%Sn-100%Al

$$- \rho = \frac{8,72 \times 10^{-3} \cdot 3,32 \times 10^{-4}}{2,90 \times 10^{-3}} = 1,00 \times 10^{-3} \Omega.m$$

$$- \Delta\rho = \left( \left( \frac{0,20}{8,72} \right) + \left( \frac{0,01}{3,32} \right) + \left( \frac{0,01}{2,90} \right) \right) \times 1,00 \times 10^{-3} = 0,03 \times 10^{-3} \Omega.m$$