



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**STUDI PENGARUH PENAMBAHAN CU TERHADAP KARAKTERISTIK  
STRUKTUR, SIFAT TERMAL DAN SIFAT KEKERASAN DARI  
PADUAN SN-CU**

**SKRIPSI**

**MUHAMMAD HAFIZ SJAFRIL**

**030502064Y**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
PROGRAM FISIKA  
DEPOK  
JUNI 2010**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**STUDI PENGARUH PENAMBAHAN CU TERHADAP KARAKTERISTIK  
STRUKTUR, SIFAT TERMAL DAN SIFAT KEKERASAN DARI  
PADUAN SN-CU**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh  
Gelar Sarjana Sains**

**MUHAMMAD HAFIZ SJAFRIL**

**030502064Y**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
PROGRAM STUDI FISIKA  
KEKHUSUSAN FISIKA MATERIAL DAN FISIKA ZAT MAMPAT  
DEPOK**

**JUNI 2010**  
**HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : MUHAMMAD HAFIZ SJAFRIL**

**NPM : 030502064Y**

**Tanda Tangan :**

**Tanggal : 22 Juni 2010**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Muhammad Hafiz Sjafril  
NPM : 030502064Y  
Program Studi : Fisika Material dan Zat Mampat  
Judul Skripsi :

Studi Pengaruh Penambahan Cu terhadap Karakteristik Struktur, Sifat Termal dan Sifat Kekerasan dari Paduan Sn-Cu

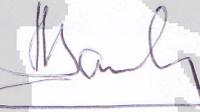
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Dr. Budhy Kurniawan

(  )

Pembimbing II : Dr. Bambang Soegijono

(  )

Penguji I : Dr. Muhammad Hikam

(  )

Penguji II : Dr. Djoko Triyono

(  )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 22 Juni 2010

## KATA PENGANTAR

Puji syukur hanya kepada Allah SWT yang selalu memberikan anugrah terindah-Nya dan kemudahan serta menuntun penulis dalam menyelesaikan skripsi ini dengan baik.

Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Sains Jurusan Fisika pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

Penulis menyadari bahwa, selesainya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dorongan dan doa yang tulus dari banyak pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini. Tanpa itu semua sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Untuk itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang setulus - tulusnya kepada:

1. Allah SWT, sumber inspirasi dan pencerahan dikala penulis terbentur pada proses penulisan.
2. Orang tua tercinta, mama Netty dan papa Sajfril, terima kasih atas doa, ilmu dan kasih sayang yang mama papa berikan. Kakak-kakak terbaik yang pernah ada, uni Vika, mas Adhi, uni Anggi, mbak Idha dan kak Edhi untuk semua motivasi baik moril dan materil juga fasilitas lainnya selama proses perkuliahan dan pembuatan tugas akhir penulis. Juga untuk keponakan-keponakan penulis yang selalu menemani penulis dalam proses penulisan skripsi, mbak Naia, kakak Caca, adek Queen, mbak Putri, mas Andi, mbak Nita dan dek Lia. Love U All so much”.
3. Dr. Bambang Soegijono dan Dr. Budhy Kurniawan selaku dosen pembimbing yang telah membimbing penulis dalam segala hal, baik dalam ilmu pengetahuan, nasehat, dorongan, semangat serta segala fasilitas yang telah diberikan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Dr. Muhammad Hikam selaku penguji I dan Dr. Djoko T. selaku penguji II yang sudah memberikan kritik dan saran dalam penulisan skripsi tugas akhir penulis
5. Dr Azwar Manaf selaku pimpinan sidang yang sudah mengkritisi dan memotivasi penulis.

6. Pak Lingga H. M.Sc. selaku pembimbing akademis penulis yang selalu memberikan wejangan dan semangat kepada penulis. Terima kasih pak.
7. Untuk Gembem, Mela Astatira, yang terus mendampingi penulis mulai dari meneliti material Nano sampai material Solder, dan juga menemani penulis menghabiskan waktu dikampus. "Abis ini mau kemana kita? Kerja apa beasiswa nh? ☺ "
8. Sahabat sejati penulis, Alm. Fanny Azizi. Teman seperjuangan penulis di Condensed Matter. Atas semua kebaikannya yang belum sempat penulis balas, penulis mengucapkan Terima Kasih Banyak. "So Long Mate.."
9. Mbak Ade (Bernadette), Mbak Rahma Mbak Vira dan Mas Jan yang telah bersedia meluangkan waktu untuk diskusi dan bimbingan sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik, "Thank untuk bantuannya para master-master GSAS. Sangat-sangat membantu penulis.☺,PS: u/ mbak rahma semoga langgeng rumah tangganya..."
10. Arya Ospara, *gadget man*, yang udah membantu penulis, mempersilahkan penulis menginap selama penulisan dan menservis habis-habisan penulis. Thanx Bos.
11. Indra yang udah bersedia menyediakan kamar kosannya kl penulis menginap selama kuliah. Hidup SINTESA!. "Tenang ndro, lu pasti bisa buktiin sama bokapnya dia. Jodoh ga akan kemana."
12. Anak-anak USLS, Catra dan Gery dengan Hokinya yg ga abis-abis, Novari, Miftahul Haq (mana, katanya mau kawin muda?), M.Subhan, M. Yunanda, Andy Sagita (magister rubik maniacs), Bayu Seno yang Mantab (jaga tuh Piril), yang semuanya sudah menjadi teman setia penulis melewati 5 tahun kuliah di Fisika. Thank you so much.
13. Fandi Akhmad, Imam H, Takwa, Dedy S, Ahmad Kholidin, Moku, Bondan, Arifin, Ading, Arfi, Rangga, Eno yang selalu membawa keceriaan di Workshop dan di Lapangan Futsal.
14. Mba Ratna, yang telah memberikan segala informasi dan motivasi.
15. Seluruh dosen dan karyawan departemen Fisika atas segala ilmu dan bantuan teknis yang penulis peroleh selama menjadi mahasiswa Fisika UI.

16. Sahabat-sahabat instruwomen 2005 yang udah lulus, Tiwi, Nurma, Idha, dan Dian. Terima kasih atas semua doa, dukungan dan bantuan selama perkuliahan.
17. Semua Jenis Aliran Musik dari yang keras sampai yang mendayu-dayu yang ikut menemani penulis dalam menetik tugas akhir ini siang malam.
18. KASKUS *The Largest Indonesian Comunity* yang telah menginspirasi penulis selama pengerjaan tugas akhir ini.
19. Terima kasih untuk semua pribadi yang secara sadar ataupun tidak, telah menjadi 'guru' dalam kehidupan penulis.

Semoga skripsi ini dapat berguna bagi siapa saja yang mengkajinya, serta dapat dikembangkan dan disempurnakan agar lebih bermanfaat untuk kepentingan orang banyak.

Depok, 22 Juni 2010

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Hafiz Sjafril  
NPM : 030502064Y  
Program Studi : Fisika Material dan Zat Mampat S1  
Departemen : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu pengetahuan Alam  
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**STUDI PENGARUH PENAMBAHAN CU TERHADAP KARAKTERISTIK  
STRUKTUR, SIFAT TERMAL DAN SIFAT KEKERASAN DARI  
PADUAN SN-CU**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*Database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal : 22 Juni 2010

Yang menyatakan

( Muhammad Hafiz Sjafril )

Nama : Muhammad Hafiz Sjafril  
Program studi : Fisika  
Judul skripsi : Studi Pengaruh Penambahan Cu terhadap Karakteristik Struktur, Sifat Termal dan Sifat Kekerasan dari Paduan Sn-Cu

## ABSTRAK

Masalah kontaminasi lingkungan yang diakibatkan oleh penggunaan timbal menjadi perhatian yang serius beberapa tahun belakangan ini. Persoalan ini kemudian menggerakkan para pelaku industri untuk perlahan-lahan meninggalkan material solder yang mengandung timbal dan mengembangkan alternatif material solder yang bebas timbal, diantaranya paduan Sn-Cu. Dalam penelitian tugas akhir ini, paduan Sn-Cu dibuat dengan menggunakan metode peleburan yang dilakukan pada atmosfer nitrogen. Variasi sampel paduan yang dibuat adalah paduan hypoeutektik, eutektik dan hypereutektik Sn-Cu. Dari hasil karakterisasi XRD memperlihatkan bahwa puncak-puncak utama yg teridentifikasi merupakan milik  $\beta$ -Sn dengan struktur kristal tetragonal dengan disertai pertumbuhan puncak yang dimiliki senyawa intermetalik  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ . Karakterisasi termal dari semua paduan yang didapatkan menggunakan DSC menunjukkan penurunan titik lebur paduan Sn-Cu keseluruhan akibat penambahan Cu. Ini terlihat dari besarnya titik lebur paduan Sn99.8%-Cu0.2% yaitu  $224.5^\circ\text{C}$  kemudian menurun menjadi  $220.1^\circ\text{C}$  pada paduan Sn98.1%-Cu1.9%. Pengaruh penambahan Cu juga terlihat pada sifat kekerasan dari semua variasi paduan Sn-Cu yaitu kekerasan paduan meningkat seiring Cu yang bertambah pada paduan. Hal ini dikonfirmasi dari hasil test menggunakan *vicker hardness test*. Peningkatan ini cukup signifikan yaitu dari  $0.56 \text{ kgf/mm}^2$  pada paduan Sn99.8%-Cu0.2% menjadi  $41.2 \text{ kgf/mm}^2$  pada paduan Sn98.1%-Cu1.9%. Kenaikan nilai kekerasan ini diakibatkan oleh pembentukan senyawa intermetalik  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  sebagaimana dibuktikan dari hasil XRD.

Kata kunci : solder bebas timbal, senyawa intermetalik, hypoeutektik, eutektik, hypereutektik, *vickers hardness test*.

Name : Muhammad Hafiz Sjafril  
Program study: Physics  
Title of essay : *Study of Cu Addition Effect  
To Structures, Thermal and Hardness Characteristics of Sn-Cu Alloys*

### **ABSTRACT**

*Environment contamination issue caused by lead utilization had become a serious interest for years back then. This issue afterwards, force industrial performer to slowly leaves solder material based on lead and developed lead-free solder materials. Sn-Cu alloys on this thesis paper have been done using fusion method within nitrogen atmosfer. All variation made consist of hypoeutectic, eutectic and hypereutectic Sn-Cu alloy. Structural characterization for all variation shows that primary peaks that observed have been identified as  $\beta$ -Sn peak with growth of intermetallic compound  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  peak. Thermal studies using DSC revealed that addition of Cu could lowering melting point of Sn-Cu totally. Lowering of melting point can be seen from Sn99.8%-Cu0.2% alloy which have 224.5°C decrease to 220.1°C for Sn98.1%-Cu1.9% alloy. Cu addition also have impact to raise hardness value of Sn-Cu alloy obtain from Vickers Hardness test. Hardness value of Sn99.8%-Cu0.2% alloy raise significantly from 0.56 kgf/mm<sup>2</sup> to 41.2 kgf/mm<sup>2</sup> for Sn98.1%-Cu1.9%. Increase on this hardness value caused by growth of intermetallic compound  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  when increasing Cu, which this result correspond with XRD result.*

**Keywords :** *Lead-free solder meterial, intermetallic compound, hypoeutectic, eutectic, hypereutectic, Vickers Hardness test*

# DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	vii
ABSTRAK .....	viii
ABSTRACT .....	ix
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR PERSAMAAN .....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Pembatasan Masalah.....	3
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Metodologi Penelitian.....	3
1.5 Sistematika Penulisan .....	4
BAB 2 TEORI DASAR .....	6
2.1 Paduan Solder Bebas Timbal .....	6
2.2 Sifat-sifat Material Sn (Timah) .....	7
2.3 Karakteristik Material Cu (Tembaga) .....	8
2.4 Karakteristik Material Paduan Sn-Cu .....	10
BAB 3 EKSPERIMEN .....	15
3.1 Variasi Pembuatan Paduan Sn-Cu .....	15
3.2 Material yang Digunakan .....	15
3.3 Proses Pembuatan Paduan.....	16
3.4 Karakterisasi Sampel Paduan .....	
3.4.1 Karakterisasi Struktur dengan XRD .....	16
3.4.2 Karakterisasi Komposisi dengan XRF .....	17
3.4.3 Karakterisasi Termal Menggunakan DSC .....	18
3.4.4 Karakterisasi Mikrostruktur Menggunakan SEM .....	19
3.4.5 Karakterisasi Sifat Mekanik dengan Vickers Hardness .....	19
BAB 4 ANALISA DAN DISKUSI .....	24
4.1 Karakterisasi Komposisi untuk Semua Variasi Paduan Sn-Cu .....	24
4.2 Karakterisasi Struktural dari Semua Variasi Paduan Sn-Cu .....	26
4.3 Karakterisasi Termal Terhadap Semua Variasi Paduan Sn-Cu .....	33
4.4 Karakterisasi Mikrostruktur untuk Semua Variasi Paduan Sn-Cu..	36
4.5 Karakterisasi Kekerasan dari Variasi Paduan Sn-Cu .....	37
BAB 5 PENUTUP .....	41
5.1 Kesimpulan .....	41
5.2 Saran .....	42
DAFTAR ACUAN .....	43

## Daftar Tabel

Tabel 2.1. Sifat Fisis pada Temperatur Ruang dan Sifat Termal dari : Tembaga murni, Timah dan Nikel, serta Senyawa Intermetalik-nya .....	9
Tabel 2.2. Perbandingan sifat fisis dan mekanik dari paduan solder Sn-Cu eutektik dengan paduan solder bebas timbal yang berbasis Sn lainnya .....	14
Tabel 4.1. Perbandingan hasil perhitungan dengan hasil pengukuran dari nilai persen berat (wt%) dari semua variasi paduan Sn-Cu menggunakan XRF .....	23
Tabel 4.2. Nilai hkl, ukuran kristal, struktur kristal, space group, parameter kisi dan fasa yang terbentuk untuk Sn murni .....	28
Tabel 4.3. Nilai hkl, ukuran kristal, struktur kristal, space group, parameter kisi dan fasa yang terbentuk untuk Cu murni.....	28
Tabel 4.4. Nilai hkl, ukuran Kristal, struktur Kristal, space group, parameter kisi dan fasa yang terbentuk untuk paduan Sn99.8%-Cu0.2% .....	28
Tabel 4.5. Nilai hkl, ukuran Kristal, struktur Kristal, space group, parameter kisi dan fasa yang terbentuk untuk paduan Sn98.9%-Cu1.1% .....	29
Tabel 4.6. Nilai hkl, ukuran Kristal, struktur Kristal, space group, parameter kisi dan fasa yang terbentuk untuk paduan Sn98.8%-Cu1.2% .....	29
Tabel 4.7. Nilai hkl, ukuran Kristal, struktur Kristal, space group, parameter kisi dan fasa yang terbentuk untuk paduan Sn98.1%-Cu1.9% .....	30
Tabel 4.8. Nilai <i>melting point</i> , entalpi ( $\Delta H$ ), Onset dan Endset untuk semua variasi paduan Sn-Cu hasil karakterisasi kurva DSC.....	35
Tabel 4.9. Nilai d (mm), Hardness Value (HV) dan Yield Strength (MPa) untuk semua variasi paduan Sn-Cu .....	38

## Daftar Gambar

Gambar 1.1.	Skematik langkah-langkah penelitian tugas akhir .....	5
Gambar 2.1.	Bentuk fisik dari timah alfa dan timah beta .....	8
Gambar 2.2.	Struktur kristal untuk masing-masing timah alfa dan timah beta ....	8
Gambar 2.3.	Sketsa tipikal <i>solder joint</i> dalam mikroelektronik serta terbentuknya senyawa intermetalik pada permukaan <i>metallization/solder joint</i> .....	11
Gambar 2.4.	Diagram fasa untuk sistem <i>binary</i> Sn-Cu .....	13
Gambar 2.5.	Mikrostruktur (SEM) dari Sn-0.7Cu dimana terlihat butir-butir dendritik dari $\beta$ -Sn dan juga dispersi yang homogen dari intermetalik eutektik $Cu_6Sn_5$ .....	13
Gambar 3.1.	Garis besar pembuatan paduan Sn-Cu pada atmosfer inert (Nitrogen).....	16
Gambar 3.2.	Alat <i>X-ray Diffractometer</i> yang berada di Pascasarjana Fisika UI salemba .....	17
Gambar 3.3.	<i>X-ray Fluorescence</i> (XRF) yang digunakan untuk analisis element/komposisi dari paduan yang telah terbentuk.....	18
Gambar 3.4.	Alat DSC ( <i>Differential Scanning Calorimeter</i> ) untuk karakterisasi sifat termal paduan Sn-Cu.....	19
Gambar 3.5.	Bentuk alat SEM yang digunakan yang berada di UI Salemba .....	20
Gambar 3.6.	Alat <i>Vickers Hardness</i> untuk pengujian <i>microhardness</i> .....	22
Gambar 3.7.	a) Bentuk indenter yang digunakan pada pengukuran Vickers Hardness dan b) bentuk lekukan yang ditinggalkan setelah beban diangkat.....	22
Gambar 4.1.	Kurva XRD untuk masing-masing variasi paduan Sn-Cu dan juga Sn murni dan Cu murni. Variasi paduan Sn-Cu yang dibuat adalah Sn99.8%-Cu0.2%, Sn98.9%-Cu1.1%, Sn98.8%-Cu01.2% dan Sn98.1%-Cu1.9% (semua dalam persen berat).....	26

Gambar 4.2.	Kurva XRD untuk semua variasi paduan (dalam persen berat) dengan bidang difraksi (hkl), a). Sn99.8%-Cu0.2% b). Sn98.9%-Cu1.1% c). Sn98.8%-Cu1.2% d). Sn98.1%-Cu1.9 dan e) Sn murni	27
Gambar 4.3.	Puncak-puncak dari bidang refleksi (002) yang dimiliki fase intermetalik Cu <sub>6</sub> Sn <sub>5</sub> pada sampel paduan a). Sn99.8%-Cu0.2% b). Sn98.9%-Cu1.1% c). Sn98.8%-Cu1.2% dan d). Sn98.1%-Cu1.9%	28
Gambar 4.4.	Pertumbuhan puncak bidang difraksi (114) yang dimiliki fasa senyawa intermetalik Cu <sub>6</sub> Sn <sub>5</sub> untuk semua variasi paduan	28
Gambar 4.5.	Plot hubungan antara parameter kisi a dan c terhadap variasi kandungan persen berat Cu (wt%) pada sampel paduan 1). Sn murni 2). Sn99.8%-Cu0.2% 3). Sn98.9%-Cu1.1% 4). Sn98.8%-Cu1.2% dan 5). Sn98.1%-Cu1.9%	32
Gambar 4.6.	Plot Crystallite Size (nm) terhadap kandungan Cu (dalam persen berat) untuk semua variasi paduan Sn-Cu yaitu a). Sn murni b). Sn99.8%-Cu0.2% c). Sn98.9%-Cu1.1% d). Sn98.8%-Cu1.2% dan e). Sn98.1%-Cu1.9%	33
Gambar 4.7.	Kurva DSC (heat flow vs. temp.) untuk masing-masing paduan Sn-Cu yang dihasilkan	34
Gambar 4.8.	Penampang mikrostruktur dari paduan a) Sn99.8%-Cu0.2% b) Sn98.9%-Cu1.1% c) Sn98.8%-Cu1.2% d) Sn98.1%-Cu1.9%.	36
Gambar 4.9.	Penampang mikrostruktur dengan perbesaran 500x dari paduan a) Sn99.8%-Cu0.2% b) Sn98.9%-Cu1.1% c) Sn98.8%-Cu1.2% d) Sn98.1%-Cu1.9% yang menunjukkan persebaran lamellar fasa $\beta$ -Sn dan juga fasa intermetaliknya	37
Gambar 4.10.	Tampilan Scanning Electron Microscope (SEM) untuk paduan Sn98.9%-Cu1.1% yang telah dilakukan tes Vickers Hardness	38
Gambar 4.11.	Kurva Plot Nilai Kekerasan (HV) terhadap variasi kandungan persen berat Cu dalam paduan	40
Gambar 4.12.	Kurva Plot Yield Strength ( $\sigma_y$ ) terhadap variasi kandungan persen berat Cu dalam paduan	40

## Daftar Persamaan

Pers. 3.2.	Persamaan yang menghubungkan antara luas permukaan A yang diberi beban dengan diameter dari jejak indenter pada sampel .....23
Pers. 3.2.	Generalisasi penggunaan persamaan untuk luas permukaan A berdasarkan persamaan 3.2 .....23
Pers. 3.3.	Persamaan untuk menghitung nilai <i>Hardness Value</i> (HV) .....23
Pers. 3.4.	Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai Yield Strength ( $\sigma_y$ ) berdasarkan hasil <i>Hardness Value</i> (HV) .....23
Pers. L.1.	Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai hkl untuk masing-masing puncak.....56
Pers. L.2.	Persamaan <i>Debye-Schererr</i> .....57
Pers. L.3.	Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai pelebaran akibat <i>lattice strain</i> .....57
Pers. L.4.	Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai pelebaran dri puncak difraksi sebagai pengaruh <i>lattice strain</i> dan <i>instrumental broadening</i> .....57
Pers. L.5.	a) dan b) Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai Crystallite size dengan linierisasi.....57

## Daftar Lampiran

Lampiran 1	Kurva hasil pengukuran XRF.....	45
Lampiran 2	Gambar hasil <i>refinement</i> menggunakan program GSAS.....	49
Lampiran 3	Tabel perhitungan nilai hkl untuk masing-masing paduan.....	55
Lampiran 4	Linearisasi untuk penghitungan Crystallite size untuk masing-masing paduan.....	57



## BAB 1

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Teknologi penyolderan memainkan peran penting di berbagai level dalam dunia industri elektronik, contohnya sebagai *solder joint* pada PCB (Printed Circuit Board). *Solder joint* merupakan bentuk interkoneksi listrik antara komponen-komponen listrik dengan PCB yang memiliki daya dukung mekanis. *Solder joint*/solder yang mengandung timbal (Pb) seperti 63Sn–37Pb, Pb–10Sn, and Pb–3Sn (semua dalam persen berat) telah digunakan dalam industri elektronik sekian lama. Hal ini terutama dikarenakan memiliki kombinasi biaya produksi yang rendah, sifat solder yang baik, cakupan temperatur lebur yang cukup rendah dan sifat-sifat fisik, mekanik, metalurgi dan ketahanan *fatigue* yang bagus [1]. Namun masalah kontaminasi lingkungan yang diakibatkan oleh penggunaan timbal menjadi perhatian yang serius beberapa tahun belakangan ini. Hal ini tersebut berujung pada kontrol yang ketat dan legislasi pada penggunaan timbal dalam dunia industri. Sebagai hasilnya, penggunaan timbal pada material non-solder seperti bahan bakar bensin dan cat telah dilarang. Dan baru-baru ini, timbal juga telah dilarang penggunaannya pada pipa-pipa air minum, kaleng-kaleng makanan dan minuman [2]. Walaupun penggunaan timbal dalam industri elektronik belum sepenuhnya dilarang, tetapi tren menuju *green world* telah menggerakkan para pelaku industri untuk perlahan-lahan meninggalkan material solder yang mengandung timbal dan mengembangkan alternatif material solder yang bebas timbal. Material solder alternatif yang bebas timbal ini tidak semata-mata dapat langsung menggantikan material solder yang mengandung timbal tersebut, melainkan harus memenuhi beberapa kriteria seperti yang berikut ini [3]:

1. Temperatur lebur yang hampir sama dengan yang dimiliki solder Sn-Pb, terutama yang Sn63-Pb37.
2. Sifat fisik yang tidak jauh berbeda dengan yang dimiliki solder Sn-Pb
3. Baik dalam ketahanan terhadap *fatigue*

4. Mampu difabrikasi kedalam beberapa bentuk seperti kawat, bulat, bubuk maupun pasta
5. Memiliki sifat konduksi listrik yang bagus
6. Relatif tidak beracun
7. Biaya produksi yang murah.

Dari usaha pencarian terhadap material solder alternatif yang bebas timbal, sejauh ini timah (Sn) masih merupakan salah satu konstituen utama dalam penyusun material solder alternatif yang baik. Namun pemilihan timah sebagai pengganti material solder kemudian memunculkan masalah baru, salah satunya adalah *whisker*. *Whisker* merupakan kristal tunggal yang berbentuk seperti rambut, bertumbuh secara spontan dari suatu permukaan yang menggunakan timah (Sn) sebagai pelapisnya [4]. Dalam dunia elektronik, masalah yang sering ditimbulkan *whisker* antara lain hubungan arus pendek yang bersifat transien maupun permanen pada sirkuit alat-alat elektronik [5]. Oleh karena itu, penambahan elemen lain yang dapat menghambat pertumbuhan whisker tersebut merupakan keputusan yang harus diambil. Terdapat beberapa kandidat elemen yang bisa digabungkan dalam sistem paduan dengan timah (Sn) dengan tujuan mendapatkan suatu rentang temperatur lebur yang memenuhi persyaratan diatas antara lain, Bi, Cd, In, Zn, Au, Tl, Ga, Hg, Cu, Sb, dan Ag [3].

Diantara elemen-elemen tersebut, Cu merupakan salah satu kandidat yang sangat baik untuk digabungkan dalam sistem paduan bersama Sn [6]. Beberapa alasannya adalah ketersediaan Cu di alam yang cukup banyak, biaya yang murah serta tidak beracun [7]. Paduan Sn-Cu yang digunakan sebagai material solder merupakan paduan eutektik dengan proporsi Sn dan Cu adalah Sn 99.3% - Cu 0.7%. Paduan eutektik merupakan paduan dari dua buah logam (Sn dan Cu) yang kemudian melebur pada temperatur yang sama. Atas beberapa alasan diatas, maka pada tugas akhir ini dibuatlah paduan Sn-Cu dengan beberapa variasi persen berat Sn terhadap Cu.

## 1.2 Pembatasan Masalah

Penelitian ini terbatas pada pembuatan paduan Sn-Cu yang eutektik dan non-eutektik yaitu hipoeutektik dan hiperuektik, dengan menggunakan metode peleburan. Paduan Sn-Cu dibuat menggunakan reagen-reagen Sn bubuk (memiliki ukuran partikel 0.1 – 0.8 mm, dengan kemurnian 99.8%) dan Cu bubuk (ukuran partikel < 63  $\mu\text{m}$ , dengan kemurnian 99.7%).

Karakterisasi struktural yang dilakukan pada semua variasi paduan Sn-Cu menggunakan X-Ray Diffractometer (XRD) antara lain untuk melihat fasa yang terbentuk dan parameter kisi untuk setiap variasi yang dibuat. Karakterisasi terhadap morfologi dan topografi dari paduan dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Untuk analisis dan karakterisasi termal dari paduan Sn-Cu seperti entalpi dan temperatur lebur digunakan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC). Sedangkan untuk melihat komposisi elemen-elemen dari paduan Sn-Cu yang dibuat, digunakanlah X-Ray Fluorescence (XRF).

## 1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan paduan Sn-Cu dengan komposisi hipoeutektik, eutektik, hipereutektik dan juga melihat pengaruh penambahan Cu pada sifat struktur, termal serta kekerasan dari paduan Sn-Cu.

## 1.4 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian dalam penelitian ini terdiri dari tiga tahap utama yaitu:

1. Studi literatur

Studi literatur dilakukan untuk mencari informasi yang berkaitan dengan penelitian ini dari berbagai sumber seperti jurnal-jurnal ilmiah, buku-buku terkait, media internet serta penjelasan yang diberikan pembimbing dan mahasiswa yang kompeten dalam bidang yang berkaitan dengan penelitian.

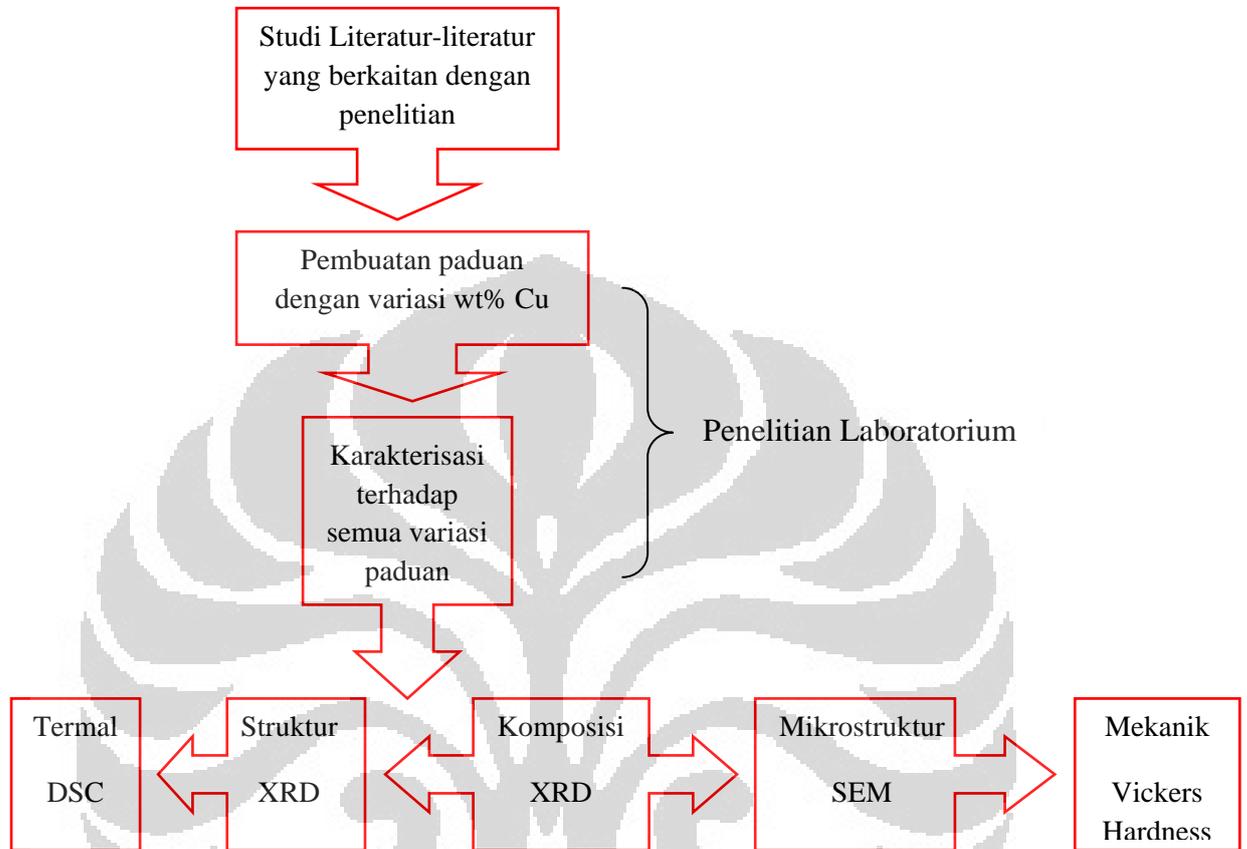
## 2. Penelitian Laboratorium

Penelitian laboratorium adalah melakukan pembuatan paduan Sn-Cu menggunakan metode peleburan biasa. Setelah paduan Sn-Cu terbentuk, dilakukan karakterisasi menggunakan XRD, XRF dan DSC.

### 1.5 Sistematika Penulisan

Dalam penulisan skripsi ini, pembahasannya terbagi kedalam lima bab utama. Bab 1 merupakan bab pendahuluan. Bab ini membahas latar belakang dan tujuan penelitian, metode yang digunakan dalam penelitian serta pembatasan masalah pada penelitian yang dilakukan. Bab 2 berisi tentang teori dasar yang membahas secara garis besar teori-teori yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan. Bab 3 adalah bab eksperimen yang menjelaskan mekanisme dan prosedur eksperimen yang berupa proses sintesis dari paduan Sn-Cu, variasi kandungan Cu didalam paduan Sn-Cu (dalam persen berat) juga macam-macam karakterisasi yang dilakukan pada semua variasi paduan Sn-Cu. Bab 4 menjelaskan analisis terhadap hasil penelitian berupa kurva-kurva dan data-data lain yang berhubungan dengan sampel yang dihasilkan. Bab terakhir, yaitu bab 5, berisi tentang kesimpulan dan saran yaitu kesimpulan dari hasil penelitian dan pemberian saran yang mendukung untuk pengembangan selanjutnya sehingga dapat memberikan hasil yang lebih baik lagi.

Langkah-langkah penelitian tugas akhir ini dilakukan seperti yang digambarkan dalam diagram skematik dalam gambar 1.1 dibawah.



Gambar 1.1 Skematik langkah-langkah penelitian tugas akhir

## BAB 2

### TEORI DASAR

#### 2.1 Paduan Solder Bebas Timbal

Pelarangan penggunaan Pb dalam material solder memaksa dunia industri mencari solusi alternatif dengan mengembangkan material solder yang bebas timbal. Selama 12 tahun dari tahun 1994 sampai dengan 2006, paduan solder ini menemui beberapa pengembangan diantaranya dalam hal manufakturing, performa dan ketahanan uji material solder bebas timbal yang semakin kompleks ketika kemudian dikaitkan pada konstruksi papan sirkuit, desain komponen dan materialnya [8]. Pencarian terhadap paduan solder bebas timbal ini tentunya berdasarkan kriteria tertentu yang mengacu pada sifat-sifat basis paduan Sn-Pb. Sebagai contoh, karakteristik seperti besarnya titik leleh merupakan hal utama yang perlu diperhatikan. Rentang titik lebur yang harus dimiliki paduan solder pengganti ini setidaknya mendekati rentang titik lebur yang dimiliki paduan solder Sn37-Pb eutektik dalam rangka meminimalisir *stress* yang diakibatkan oleh termal dan degradasi dari material kemasannya [9]. Paduan solder bebas timbal ini harus berada dalam komposisi yang eutektik karena paduan yang eutektik akan memiliki titik lebur tunggal. Lebih lanjut, proses dan teknologi yang telah digunakan pada solder Sn-Pb eutektik ataupun solder yang mengandung timbal lainnya sebaiknya dapat disesuaikan dengan paduan solder pengganti bebas timbal tanpa menimbulkan perubahan besar dalam proses manufakturing maupun infrastrukturnya. *Wettability* atau kemampuan pembasahan dari solder pengganti yang bebas timbal juga sedapat mungkin lebih baik atau setara dengan yang dimiliki paduan solder Sn-Pb [10]. Dan terakhir, ketersediaan material-material ini di alam yang menentukan tinggi rendahnya biaya produksi yang dibutuhkan adalah faktor penting dalam menentukan paduan solder yang baik untuk menggantikan paduan solder berbasis timbal.

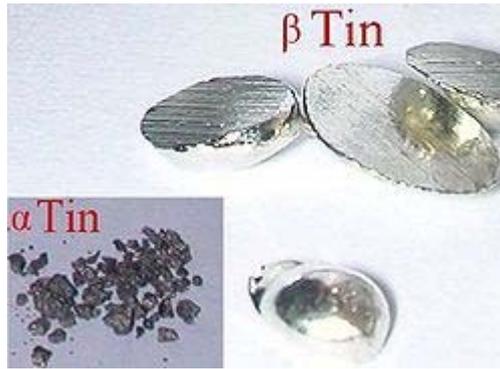
Beberapa material seperti Ag, Cu, Ni dan Au memiliki temperatur lebur yang terlalu tinggi untuk menjadi basis material dan beberapa diantaranya cukup mahal apabila dijadikan paduan solder bebas timbal. Kandidat lain seperti Indium (In), walaupun memiliki titik lebur yang cukup rendah, namun material ini

terhitung sangat mahal ketika digunakan dalam kuantitas sebagai basis paduan untuk material solder. Timahlah (Sn) kemudian yang tersisa dan ternyata merupakan material yang bisa memenuhi kriteria diatas. Timah memiliki titik lebur yang rendah yaitu berada pada rentang 120°-280°C sehingga layak dijadikan basis paduan untuk menggantikan material solder Sn-Pb [10].

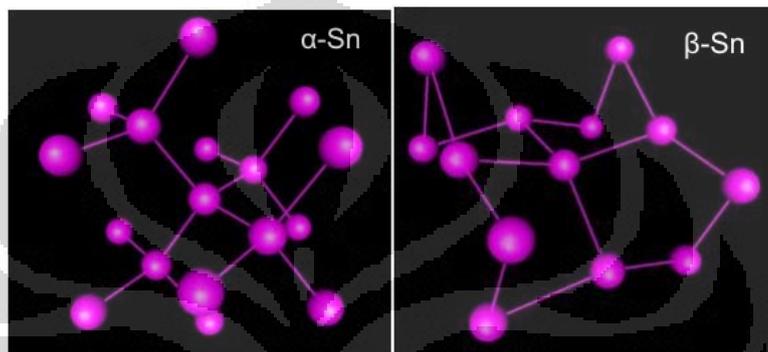
## 2.2 Sifat-sifat Material Sn (Timah)

Sn (timah) merupakan logam perak keputih-putihan yang *malleable* (lunak), *ductile*, dengan kekristalan yang tinggi. Timah dikenal juga sebagai logam *allotroph* dikarenakan timah memiliki dua bentuk struktur pada tekanan normal. Jika dipanaskan, timah abu-abu (timah  $\alpha$ ) dengan struktur kubus berubah pada 13,2°C menjadi timah putih (timah  $\beta$ ) yang memiliki struktur tetragonal. Ketika timah didinginkan sampai suhu 13,2°C, maka timah tersebut pelan-pelan berubah dari putih menjadi abu-abu. Perubahan bentuk dari beta ke bentuk alfa maupun sebaliknya ini dinamakan *tin pest*. Transformasi ini mengakibatkan kenaikan volume sampai dengan 26% [11]. Bentuk fisik dari timah  $\alpha$  dan timah  $\beta$  dapat dilihat serta struktur kristalnya dapat dilihat pada gambar 2.1 dan 2.2.

Dengan adanya perlarangan terhadap penggunaan semua jenis aplikasi yang berbasis timbal yaitu regulasi *RoHS (Restriction of Hazardous Substance)* di eropa dan amerika maka kemudian permasalahan *tin pest* ini muncul kembali kepermukaan. Hal tersebut dikarenakan beberapa industri dan manufaktur beralih pada timah murni untuk menggantikan paduan solder SnPb eutektik. *Tin pest* ini merupakan permasalahan yang cukup serius di daratan eropa, seperti di eropa bagian utara pada abad ke 18, dimana pipa-pipa organa yang terbuat dari paduan timah kemudian termakan karat selama musim salju yang panjang. Dan kini, komponen-komponen elektronik berlapis timah murni juga mengalami kejadian yang sama yaitu terjadi tranformasi dari timah yang mengakibatkan hubungan pendek arus listrik pada rangkaian elektronik dan berujung dengan kerusakan alat-alat listrik [11].



Gambar 2.1. Bentuk fisik dari timah alfa dan timah beta [11].



Gambar 2.2. Struktur kristal untuk masing-masing timah alfa dan timah beta [11].

Memadukan timah dengan logam-logam yang memiliki kelarutan padat dalam timah yang bagus seperti Bi dan Sb terbukti dapat meredam terjadinya transisi dari timah beta ke timah alfa maupun sebaliknya. Kemungkinan hal ini diakibatkan oleh penguatan terhadap matrix karena konsentrasi terlarut yang tinggi dimana kemudian menghambat pertumbuhan dari *tin pest*. Element dengan kelarutan dalam timah yang rendah, seperti Zn, Al, Mg dan Mn cenderung untuk mempercepat laju pertumbuhan *tin pest* [11].

Sifat lain yang dihasilkan oleh paduan timah dengan logam-logam seperti tembaga, cadmium, dan perak antara lain dapat meningkatkan kekerasan dari paduan secara keseluruhan. Manfaat yang diberikan oleh timah sebagai pelapis adalah timah tahan terhadap korosi yang diakibatkan oleh air tawar maupun air laut (asin) [12].

## 2.2 Karakteristik Material Tembaga (Cu)

Tembaga atau Cu merupakan logam dengan warna kemerah-merahan yang memiliki struktur kristal *Face-centered Cubic* (FCC). Tembaga mempunyai sifat

yang hampir sama dengan timah seperti lunak (*malleable*), ductile dan juga konduktor yang sangat bagus baik untuk listrik maupun panas. Tembaga memiliki reaktifitas kimia yang rendah. Pada udara yang lembab tembaga ini akan perlahan-lahan membentuk permukaan *film* kehijau-hijauan yang dinamakan *patina*; dimana lapisan ini melindungi metal dari serangan-serangan seperti korosi [13].

Kebanyakan tembaga digunakan pada peralatan listrik dengan kuantitas sekitar 60%, dalam konstruksi atap dan pipa-pipa sebanyak 20% dan sisanya digunakan pada industri pembuatan mesin-mesin sebagai paduan (5%) dan *heat exchanger* (15%). Beberapa paduan utama dengan tembaga seperti perunggu, kuningan (paduan tembaga-zinc), paduan tembaga-timah-zinc, paduan tembaga dengan nikel yang dikenal juga dengan *cupronickel*, digunakan pada aplikasi-aplikasi seperti pembuatan senjata dan meriam dan juga sebagai logam alternatif untuk dibuat menjadi mata uang logam. Tembaga sangat ideal untuk dijadikan kabel listrik karena memiliki konduktifitas listrik yang bagus. Nilai konduktifitas listrik dari tembaga adalah sekitar  $59.6 \times 10^6$  S/m yang merupakan konduktifitas listrik tertinggi kedua setelah perak. Hal ini dikarenakan semua elektron valensi berkontribusi dalam proses konduksi [14].

Tembaga sebaiknya tidak mengalami kontak langsung dengan logam lain yang memiliki potensial listrik berbeda, seperti kontak antara sambungan pipa tembaga dengan pipa besi terlebih lagi dalam keadaan lembab. Hal tersebut mengakibatkan sambungan tersebut berlaku sebagai *electrochemical cell* yang mana reaksi *electrochemical* ini akan mengakibatkan besi bertransformasi menjadi suatu senyawa lain sehingga merusak fungsi-fungsinya secara keseluruhan [13]. Permasalahan ini dapat diatasi dengan memberikan pembatas antara pipa tembaga dengan pipa besi berupa bahan tidak konduktif seperti plastik atau karet. Tembaga tidak bereaksi terhadap air, namun secara perlahan bereaksi dengan atmosfer oksigen dan membentuk lapisan tembaga oksida berwarna coklat kehitaman. Tembaga dapat bereaksi dengan hidrogen sulfida dan larutan mengandung sulfida lainnya dan akan terbentuk tembaga sulfida pada permukaannya. Hal ini mengakibatkan permukaan yang mengandung tembaga

**Tabel 2.1. Sifat Fisis pada Temperatur Ruang dan Sifat Termal dari : Tembaga murni, Timah dan Nikel, serta Senyawa Intermetalik-nya [14]**

Property	Cu	Sn	Ni	Cu <sub>6</sub> Sn <sub>5</sub>	Cu <sub>3</sub> Sn	Ni <sub>3</sub> Sn <sub>4</sub>
Density (g/cm <sup>3</sup> )	8.9	7.3	8.9	8.28	8.9	8.65
Young's Modulus (GPa)	117	41	213	85.56	108.3	133.3
Shear Modulus (GPa)				50.21	42.41	45.0
Toughness (MPa·m <sup>-1/2</sup> )				1.4	1.7	1.2
Vickers Hardness (kg/mm <sup>2</sup> )	30	100	15	378	343	365
Electrical Resistivity (μO·cm)	1.7	11.5	7.8	17.5	8.93	28.5
Thermal Conductivity (W/(m·K))	3.98	0.67	0.905	34.1	70.4	19.6
Thermal Diffusivity (cm <sup>2</sup> /s)				0.145	0.24	0.083
Specific Heat (J/(kg·K))	0.385	0.227	0.439	286	326	272
Thermal Expansion (10 <sup>-6</sup> /K)	17.1	23	12.9	16.3	19.0	13.7

akan mengalami korosi apabila terjadi kontak dengan udara yang mengandung sulfur [14].

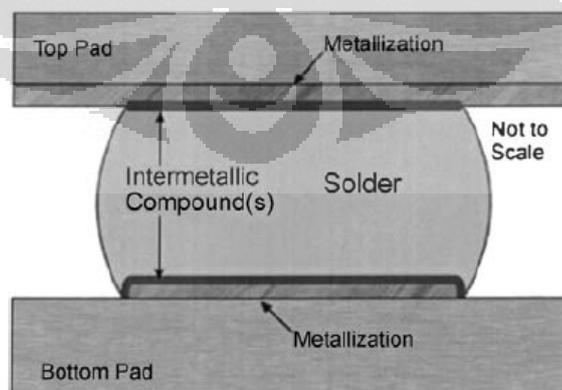
Tabel 2.1 menyajikan data-data spesifik mengenai sifat fisis pada temperatur ruang dan juga sifat thermal dari logam-logam murni tembaga, timah dan nikel yang dikeluarkan oleh *National Institute of Standards & Technology and Colorado School of Mines* tahun 2002.

### 2.3 Karakteristik material paduan Sn-Cu

Material solder pada umumnya adalah sebuah paduan eutektik dengan sistem *binary* dan atau *ternary* yaitu paduan yang terdiri dari dua maupun tiga komponen penyusun, misalnya Sn-Cu dan Sn-Ag-Cu. Komposisi eutektik menyatakan suatu komposisi dari komponen-komponen yang tersusun sedemikian rupa sehingga paduan dari material solder ini dapat melebur secara keseluruhan

dan bersamaan [15]. Campuran dari beberapa logam, contohnya nikel dan tembaga, dapat larut secara keseluruhan baik dalam keadaan padat ataupun cair untuk semua konsentrasi dari kedua logam tersebut. Hal ini berarti paduan ini dapat melebur pada temperatur yang sama meskipun konsentrasi dari kedua logam tersebut diubah-ubah dimana dimungkinkan karena tembaga dan nikel memiliki struktur kristal (FCC) sama [16]. Paduan Cu dan Ni ini dikenal dengan paduan yang *isomorph*. Kontras dengan paduan Cu dan Ni, paduan Sn dan Pb adalah eutektik karena logam-logam ini hanya dapat larut secara parsial antara satu sama lain pada saat dalam keadaan padat [17]. Sn dan Pb memiliki struktur kristal yang berbeda (Sn memiliki struktur BCT sedangkan Pb adalah FCC). Untuk paduan Sn-Pb, diperlukan suatu komposisi tertentu yaitu komposisi eutektik Sn 61.9 wt% dan Pb 38.1 wt% agar logam-logam Sn dan Pb ini dapat larut satu sama lain dalam keadaan padatnya dan melebur pada temperatur yang relatif rendah. Sebagaimana juga untuk paduan solder bebas timbal seperti Sn-Cu, komposisi eutektiknya adalah Sn99.3%-Cu0.7% (dalam persen berat) [18].

Paduan Sn-Cu memiliki sistem *binary* yang kompleks. Seperti yang terlihat pada gambar 2.4, terdapat 7 macam senyawa intermetalik yaitu  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\zeta$ ,  $\delta$ ,  $\epsilon$ -Cu<sub>3</sub>Sn,  $\eta$ -Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> dan  $\eta'$ -Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> [19]. Senyawa intermetalik sangat berpengaruh pada sifat-sifat material solder/*solder joint* terutama sifat mekaniknya. Senyawa intermetalik dapat terbentuk di solder *bulk* dan juga pada permukaan dari *metallization/solder joint*. *Metallization* merupakan posisi kontak antara permukaan logam dari komponen elektronik dengan solder (Gambar 2.3) [19].



**Gambar 2.3** Sketsa tipikal *solder joint* dalam mikroelektronik serta terbentuknya senyawa intermetalik pada permukaan *metallization/solder joint* [19]

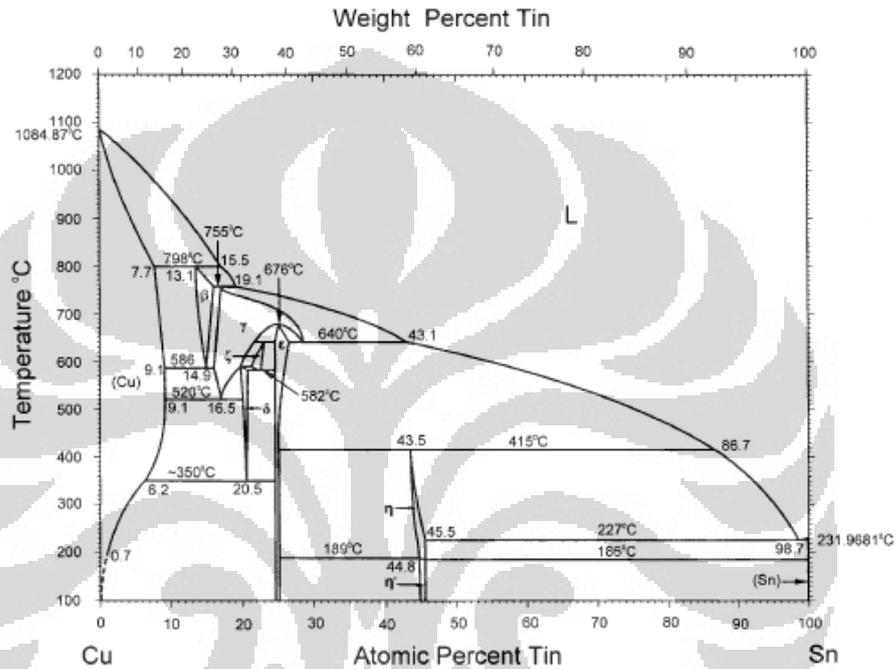
Senyawa intermetalik ini dapat tumbuh pada saat proses solder; yaitu ketika terjadi interaksi antara solder dengan *metallization*, namun dapat juga merupakan bagian dari solder tersebut yang terbentuk ketika pembuatan paduan material solder [19].

Penampakan mikrostruktur Sn-0.7Cu dapat dilihat pada gambar 5, yang mana terdiri atas butir-butir dendritik yang relatif besar dari timah beta dan dikelilingi oleh jaringan-jaringan mikrostruktur eutektik yang terdiri dari senyawa intermetalik  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  [11]. Senyawa  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  dan juga  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  merupakan senyawa intermetalik yang biasa ditemukan pada banyak *solder joint* dimana merupakan hasil dari reaksi antara metalisasi Cu dan Sn dari solder [15, 16].

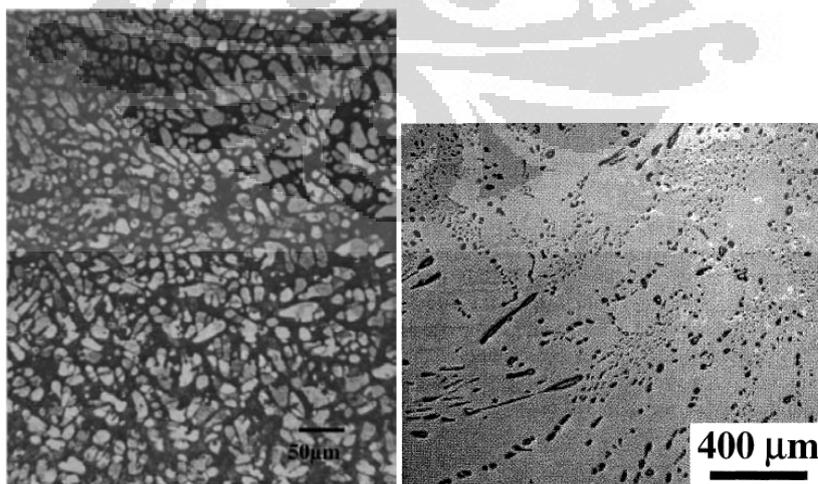
Sn-Cu eutektik (Sn-0.7Cu) memiliki temperatur lebur  $227^\circ\text{C}$  yaitu lebih tinggi dibandingkan temperatur lebur paduan Sn-Pb eutektik yang hanya sebesar  $183^\circ\text{C}$ . Akan tetapi temperatur yang lebih tinggi ini berguna dalam aplikasi *flip chip* [17]. Aplikasi flip chip ini adalah suatu bentuk metode pengkoneksian elektrik dari sebuah komponen dengan permukaan yang menghadap kebawah (sebab itu dinamakan “flip”) ke suatu substrat (substrat organik) atau papan sirkuit dengan menggunakan *conductive bumps*, yaitu paduan Sn-Cu. Pada aplikasi *flip chip* ini, persambungan yang tidak boleh meleleh terlebih dahulu ketika suatu komponen direkatkan pada papan sirkuit. Oleh karena itu, material solder dengan rentang temperatur lebur  $190^\circ\text{C}$  sampai dengan  $260^\circ\text{C}$  sangat cocok untuk dipakai pada aplikasi ini. Metode flip chip ini sendiri memiliki keuntungan dalam dunia industri perakitan seperti, memangkas penggunaan area kemasan yang sangat besar sekitar 95% sehingga dapat meminimalisir penggunaan area PCB yang tentunya berimbas pada efektifitas dan ekonomis. Selain itu, metode flip chip menawarkan performa elektrik yang jauh lebih baik dibandingkan metode perakitan lain. Ini dikarenakan flip chip dapat mereduksi induksi dan kapasitansi yang tertunda pada saat proses koneksi hingga skala faktor 10 dan juga memperpendek jarak hingga 25 sampai 100x lebih pendek. Dan yang terpenting adalah biaya produksi yang murah.

Sebagaimana yang telah diketahui, solder dalam penggunaannya pada alat-alat elektronik akan terekspos oleh panas sehingga akan mengakibatkan *thermal fatigue* dan juga stress mekanik [15, 16]. Hal-hal seperti resistansi terhadap *creep*,

*shear strength* dan *tensile strength* dari paduan solder tentu menjadi perhatian utama. *Tensile strength* yang dimiliki paduan solder Sn-0.7Cu lebih rendah daripada yang dimiliki paduan Sn-Pb eutektik yaitu sekitar 30 MPa (pada temperatur 20°C),[4] namun *tensile strength* yang rendah ini dibutuhkan sekali pada aplikasi flip chip seperti yang telah dikemukakan pada paragraf sebelumnya.



Gambar 2.4. Diagram fasa untuk sistem *binary* Sn-Cu [18].



Gambar 2.5. Mikrostruktur (SEM) dari Sn-0.7Cu dimana terlihat butir-butir dendritik dari  $\beta$ -Sn dan juga dispersi yang homogen dari intermetalik eutektik  $Cu_6Sn_5$  [10].

Akan tetapi, *temperature dependence* dari sifat *tensile* yang dimiliki paduan solder bebas timbal, yaitu seperti paduan Sn-0.7Cu ternyata memiliki *tensile strength* yang lebih tinggi dibandingkan paduan Sn-3.5Ag dan Sn-3.8Ag-0.7Cu, pada temperatur 100°C dan 180° C [10].

Perbandingan sifat-sifat fisis dan mekanik lainnya antara paduan Sn-Cu eutektik dengan paduan solder berbasis Sn lainnya dapat dilihat pada tabel 2.2.

Dan yang menjadikan paduan Sn-Cu eutektik sebagai alternatif untuk material solder bebas timbal berbasis Sn adalah biaya produksi yang sangat rendah bila dibandingkan paduan-paduan bebas timbal lainnya. Sebagai contoh, biaya produksi dari kebanyakan paduan-paduan solder bebas timbal sekitar 2 sampai 3 kali lebih mahal dibandingkan paduan solder Sn-Pb karena substitusi dari logam Pb yang sangat mahal. Akan tetapi, biaya produksi dari paduan solder Sn-Cu eutektik (Sn-0.7Cu) hanya sekitar 1.3 kali lebih mahal dibandingkan paduan solder Sn-Pb eutektik sehingga menjadikan paduan solder Sn-0.7Cu adalah sangat tepat untuk digunakan dan diproduksi dalam skala besar [15, 16, 19].

**Tabel 2.2. Perbandingan sifat fisis dan mekanik dari paduan solder Sn-Cu eutektik dengan paduan solder bebas timbal yang berbasis Sn lainnya [10].**

Alloy (in wt.%)	Young's modulus (GPa)	Resistivity $\times 10^{-8}$ (ohm · m)	Volume Fraction of the matrix %	Young's modulus of the matrix (GPa)	Resistivity of the matrix $\times 10^{-8}$ (ohm · m)
Sn-0.7Cu	64.1	11.14	99.38	63.96	11.1
Sn-33Cd	48.5	16.5	74.32	48.12	19.67
Sn-0.5Al	47.6	19.67	100	47.6	19.67
Sn-38Pb	39.77	29.49	71	47.39	26.87
Sn-9Sb	43.6	29.17	92.13	40.8	28.23
Sn-58Bi	31.17	51	50	30.46	–

## BAB 3

### EKSPERIMEN

#### 3.1 Variasi Pembuatan Paduan SnPb

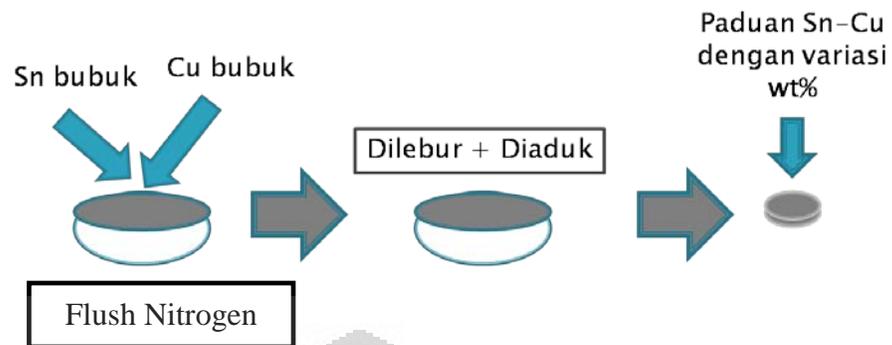
Pada tugas akhir ini, disintesa paduan Sn-Cu dengan menggunakan metode peleburan. Sintesis paduan Sn-Cu dilakukan di atmosfer nitrogen. Sampel dibuat berdasarkan variasi rasio fraksi berat Sn terhadap Cu dengan Sn-rich. Variasi ini dibuat untuk melihat pengaruh penambahan Cu terhadap karakteristik-karakteristik paduan Sn-Cu. Variasi paduan Sn-Cu yang dipreparasi adalah Sn 99.6 wt% - Cu 0.4 wt%, Sn 99.3 wt% - Cu 0.7 wt%, Sn 98.6 wt% - Cu 1.4 wt% dan Sn 97.2 wt% - Cu 2.8%.

#### 3.2 Material yang Digunakan

Pada penelitian ini digunakan material *reagent* Sn (kemurnian 99.8%) berbentuk bubuk dengan morfologi kasar (*coarse powder*) dan mempunyai ukuran butiran 0.1 – 0.8 mm. Sedangkan untuk material *reagent* Cu yang dipakai merupakan bubuk dengan morfologi lebih halus (*fine powder*) yang memiliki kemurnian 99.7% dan ukuran butiran < 63  $\mu\text{m}$ . Semua reagent ini didapat dari Merck dengan kualitas *Pro-Analysis* dan digunakan tanpa pemurnian lebih lanjut.

#### 3.3 Proses Pembuatan Paduan

Pembuatan paduan Sn-Cu dilakukan dengan metode peleburan dan dilakukan di atmosfer inert. Secara garis besar proses pembuatan paduan Sn-CU ini dapat diperlihatkan pada bagan proses sintesis dalam gambar 3.1.



Gambar 3.1 . Garis besar pembuatan paduan Sn-Cu pada atmosfer inert (Nitrogen).

Pada pembuatan paduan Sn-Cu, yang pertama kali dilakukan adalah mencampur material reagent Sn bubuk (99.8%) dengan material reagent Cu bubuk (99.7%) sesuai dengan variasi persen berat Sn terhadap Cu. Pencampuran tersebut kemudian dilebur didalam tabung kuarsa pada suhu sekitar  $600^{\circ}\text{C}$  selama 10 hingga 15 menit sambil dilakukan pengadukan. Hasil peleburan ini kemudian didiamkan dan didinginkan pada suhu ruang hingga menjadi padatan.

### 3.4 Karakterisasi Sampel Paduan

Untuk mempelajari pengaruh dari penambahan material Cu terhadap paduan Sn-Cu yang dihasilkan maka perlu dilakukan karakterisasi pada seluruh sampel, yaitu untuk mengetahui struktur dan fasa yang terbentuk, kuantitas komposisi dari paduan Sn-Cu keseluruhan, sifat termal, dan juga morfologi dan topografi dari paduan Sn-Cu yang dihasilkan.

#### 3.4.1 Karakterisasi Struktur dengan XRD (*X-ray powder Diffractometer*)

Karakterisasi struktur, fasa dan parameter kisi digunakan metode yang dinamakan difraksi sinar-X. Alat *X-Ray Powder Diffractometer* yang digunakan adalah Philips PW 3710/40 kV yang berlokasi di Salemba yang ditunjukkan oleh gambar 3.2. Beroperasi pada tegangan 40 kV dengan arus sebesar 30 mA. Berkas  $\text{Co-K}\alpha$  digunakan sebagai sumber radiasi dengan panjang gelombang elektromagnetik  $\lambda$



**Gambar3. 2. Alat X-ray Diffractometer yang berada di Pascasarjana Fisika UI salemba.**

xsebesar  $1,78897 \text{ \AA}$ . *Scan step* XRD dilakukan sebesar  $0,02^{\circ}$ , mulai dari sudut  $2\theta$  sebesar  $25.00^{\circ}$  hingga  $99.86^{\circ}$ .

Dengan menggunakan data XRD, maka dapat dilakukan proses identifikasi selanjutnya terhadap struktur dari sampel dengan cara mencocokkan tiga puncak tertinggi dari kurva XRD dengan *database* ICDD dan juga program MATCH! yang kemudian diolah dengan menggunakan metode analisis Rietveld pada program GSAS.

### **3.4.2 Karakterisasi Komposisi dengan XRF (X-ray Fluorescence)**

Metode XRF adalah metode yang digunakan untuk mengukur kuantitas komposisi elemental dari suatu material menggunakan proses emisi sinar-X. Gambar alat XRF dapat dilihat pada gambar 3.3. Berdasarkan kebutuhan, XRF tidak selalu dihasilkan dari emisi sinar-X tetapi juga dihasilkan oleh sumber eksitasi primer lainnya seperti partikel alpha, proton ataupun elektron dengan energy tinggi. Dikarenakan dengan menggunakan metode ini tidak merusak sampel, maka XRF merupakan pilihan yang tepat untuk analisis komposisi paduan ini.



**Gambar 3.3. X-ray Fluorescence (XRF) yang digunakan untuk analisis element/komposisi dari paduan yang telah terbentuk**

Alat XRF yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah merk JEOL Element Analyzer JSX-3211 yang berlokasi di Salemba, Jakarta. Alat ini menggunakan tegangan sebesar 30.0 kV untuk beroperasi dan pengukuran dilakukan dalam kondisi vakum. Pengambilan data dilakukan selama 110 detik.

### **3.4.3 Karakterisasi Termal Menggunakan DSC (*Differential Scanning Calorimeter*)**

Untuk karakterisasi termal pada sampel dilakukan dengan menggunakan *Differential Scanning Calorimeter* (DSC) merk Shimadzu tipe 50 yang terdapat di UI Salemba. DSC adalah alat analisa termal untuk mengukur energi yang diserap atau diemisikan oleh sampel sebagai fungsi waktu atau suhu. Baik sampel maupun standar, temperaturnya dijaga untuk sama selama pengambilan data berlangsung. Fungsi utama dari DSC ini adalah untuk mengetahui transisi fasa seperti titik lebur, *glass transition* dan dekomposisi eksotermik. Proses transisi ini bisa terjadi karena adanya perubahan energy atau perbahan kapasitas panas.

Paduan Sn-Cu dikarakterisasi dengan *heating rate* 5<sup>0</sup>C/menit dengan rentang suhu dari temperatur 25<sup>0</sup>C sampai 400<sup>0</sup>C. Krusibel (*sample holder*) yang digunakan terbuat dari bahan alumunium. Sedangkan sampel standar yang dipakai adalah



**Gambar 3.4. Alat DSC (*Differential Scanning Calorimeter*) untuk karakterisasi sifat termal paduan Sn-Cu**

alumina. Hal ini dikarenakan alumina merupakan logam yang nilai kapasitas panasnya tidak akan berubah apabila dipanaskan/digunakan berkali-kali.

Pengukuran dilakukan pada atmosfer inert argon, dengan kecepatan aliran gas argon 5 ml/menit. Untuk mendeteksi temperatur  $T$  dan perbedaan temperatur  $\Delta T$  digunakan termokopel tipe Dumbbell (Pt-Pt.10% Rhodium). Data yang didapat dari DSC, selanjutnya diolah dan dianalisa menggunakan program TA-50 WS untuk mengetahui besarnya entalpi ( $\Delta H$ ), temperatur terjadinya reaksi eksoterm/endoterm serta mengetahui peak apa saja yang terbentuk. Alat DSC yang digunakan untuk karakterisasi ini dapat dilihat pada gambar 3.4.



**Gambar 3.5.** Bentuk alat SEM yang digunakan yang berada di UI Salemba

#### **3.4.4. Karakterisasi Mikrostruktur Menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*)**

Karakterisasi mikrostruktur terhadap paduan dilakukan menggunakan alat *Scanning Electron Microscope* (SEM). SEM merupakan sebuah mikroskop elektron yang berfungsi untuk melihat/menganalisa suatu permukaan dari sampel dengan cara menembakkan elektron dengan energy tinggi pada sampel. Elektron ini kemudian berinteraksi dengan atom-atom pada sampel sehingga sampel akan memproduksi sinyal-sinyal yang mengandung informasi mengenai topografi permukaan dari sampel. Karakterisasi ini penting, karena paduan solder yang dihasilkan haruslah memiliki kontur serta morfologi yang homogen untuk mencegah timbulnya *dendrite*, *whisker* dan juga *crack* pada material solder. Alat SEM yang digunakan adalah merek JSM-5310LV dengan tegangan yang digunakan adalah 35kV x 500. Pengukuran dilakukan dalam keadaan vakum. Bentuk dari alat *Scanning Electron Microscope* ini dapat dilihat pada gambar 3.5.

### 3.4.5 Karakterisasi sifat mekanik variasi paduan Sn-Cu menggunakan *Vickers Hardness*

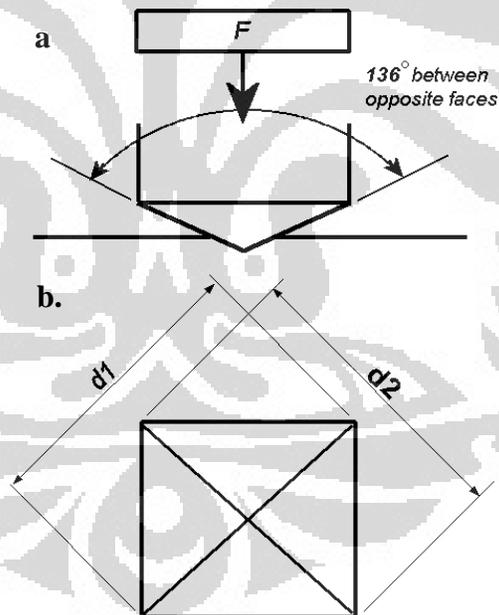
Tes Vickers Hardness merupakan metode yang digunakan untuk mengukur kekerasan dari suatu bahan atau material. Pada prinsipnya, pengukuran ini dilakukan untuk mengobservasi kemampuan suatu bahan atau material untuk menahan deformasi plastis dari keadaan semula bahan tersebut. Tes *Vickers* ini lebih mudah dilakukan dibanding tes kekerasan lainnya karena kalkulasi yang dibutuhkan pada tes ini tidak bergantung terhadap ukuran *indenter*, dan *indenter* ini dapat digunakan untuk semua bahan atau material. Satuan dari kekerasan yang diberikan Vickers Pyramid Number (HV) [20]. Bilangan kekerasan (Hardness number) ditentukan oleh beban yang diberikan pada suatu luas area yang akan dilakukan pengujian. Alat *Vickers Hardness* ini dapat dilihat pada gambar 3.6.

Pada tes ini, *indenter* yang digunakan harus mampu menghasilkan sebuah jejak geometrikan; jejak ini harus jelas sehingga mudah untuk diukur. Sebuah *diamond* dengan dasar kotak berbentuk pyramid terbalik dan memiliki sudut sebesar  $136^\circ$  antara permukaan yang berlawanan memenuhi prasyarat untuk menjadi *indenter* [20]. Bentuk *indenter* ini dapat dilihat pada gambar 3.7a. Bagian permukaan dari *indenter* yang berbentuk pyramid tersebut kemudian ditekan pada permukaan bahan atau material yang ingin di uji. Besarnya beban yang diberikan adalah sebesar 500gr atau 0.5 kgf (kilogram force) dan beban ini ditekan pada permukaan bahan yang di uji selama 15 detik.

Sebuah lekukan berbentuk seperti gambar 3.7b. terlihat pada mikroskop, dan diagonal rata-rata ( $d_1$  dan  $d_2$  pada gambar 3.7a) kemudian dihitung untuk mencari



Gambar 3.6. Alat *Vickers Hardness* untuk pengujian *microhardness*



Gambar 3.7. a) bentuk indenter yang digunakan pada pengukuran *Vickers Hardness* dan b) bentuk lekukan yang ditinggalkan setelah beban diangkat [20].

bilangan HV. Bilangan HV merupakan rasio  $F/A$  dimana  $F$  merupakan gaya yang diberikan oleh indenter terhadap permukaan bahan uji (satunya dalam kilogram force/kgf) dan  $A$  merupakan luas area permukaan yang melekur akibat ditekan oleh

*indenter* (satunya mm<sup>2</sup>). *A* dapat dihitung menggunakan persamaan (3.1) dan (3.2) dibawah [20].

$$A = \frac{d^2}{2 \sin(136^\circ/2)} \quad (3.1)$$

$$A \approx \frac{d^2}{1.8544} \quad (3.2)$$

Dimana *d* merupakan panjang rata-rata dari bagian diagonal pada lekukan yang terbentuk. Maka bilangan HV dapat dihitung menggunakan persamaan (3.3) [20], yaitu

$$HV = \frac{F}{A} \approx \frac{1.8544F}{d^2} \quad (3.3)$$

Dan dari hasil HV ini dapat di konversi kedalam yield strength  $\sigma_y$  yaitu dengan menggunakan persamaan (3.4) [20],

$$\sigma_y = \frac{H_V}{c} \approx \frac{H_V}{3} \quad (3.4)$$

Dimana *c* merupakan suatu konstanta yang ditentukan oleh factor geometrikal, umumnya bernilai antara 2 sampai 4 [20].

## BAB 4

### ANALISIS DAN DISKUSI

#### 4.1 Karakterisasi Komposisi untuk Semua Paduan Sn-Cu

Dari hasil pengukuran XRF (gambar kurva hasil pengukuran XRF terlampir pada Lampiran 1) dari masing-masing paduan Sn99.6%-Cu0.4%, Sn99.3%-Cu0.7%, Sn98.6%-Cu1.4% dan Sn97.2%-Cu2.8% (semua dalam persen berat), menunjukkan bahwa komposisi yang terkandung pada sampel hanya terdiri dari unsur Sn (timah) dan unsur Cu (tembaga). Perbandingan hasil perhitungan dengan hasil pengukuran menggunakan XRF terhadap variasi persen berat paduan Sn-Cu dapat dilihat pada tabel 4.1. Berdasarkan hasil pengukuran XRF diketahui bahwa komposisi antara Sn dan Cu dari variasi sampel paduan yang telah dibuat, memiliki nilai yang tidak jauh berbeda antara hasil perhitungan dan hasil pengukuran.

**Tabel 4.1.** Perbandingan hasil perhitungan dengan hasil pengukuran dari nilai persen berat (wt%) dari semua variasi paduan Sn-Cu menggunakan XRF

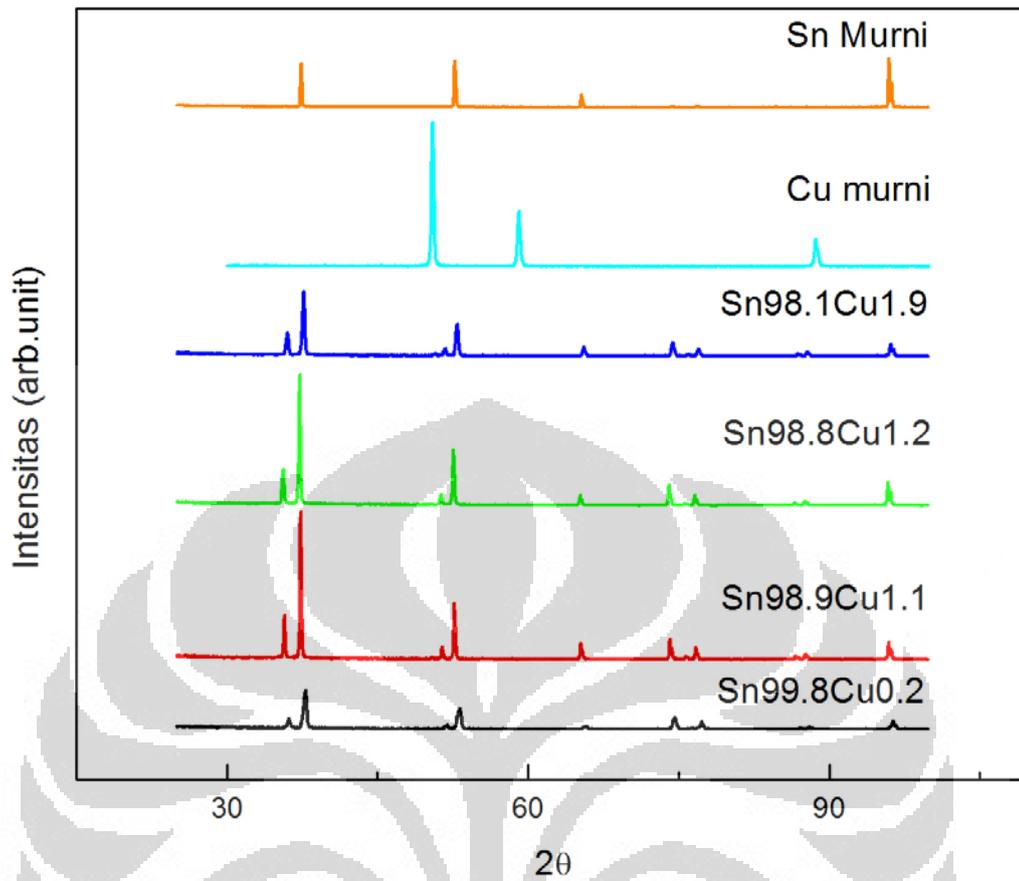
Sn-0.4Cu					
No.	Atom/chem formula	wt(%)	at/mole(%)	Integral Int.	Standard dev.
1	Cu (29)	0.1978	0.3688	405	0.8527
2	Sn (50)	99.8022	99.6312	70539	2.6868
Sn-0.7Cu					
No.	Atom/chem formula	wt(%)	at/mole(%)	Integral Int.	Standard dev.
1	Cu (29)	1.0926	2.0215	2280	0.8493
2	Sn (50)	98.9074	97.9785	71113	2.6795
Sn-1.4Cu					
No.	Atom/chem formula	wt(%)	at/mole(%)	Integral Int.	Standard dev.
1	Cu (29)	1.2012	2.2203	2475	0.8037
2	Sn (50)	98.7988	97.7797	70109	2.5361
Sn-2.8Cu					
No.	Atom/chem formula	wt(%)	at/mole(%)	Integral Int.	Standard dev.
1	Cu (29)	1.8777	3.4509	3826	0.8154
2	Sn (50)	98.1223	96.5491	68794	2.5753

## 4.2 Karakterisasi Struktural dari Semua Variasi Paduan Sn-Cu

Hasil analisis terhadap struktur paduan Sn-Cu dengan variasi persen berat Cu dapat dilihat pada Gambar 4.1. Pada kurva tersebut juga terdapat kurva XRD untuk Sn murni dan Cu murni yang berfungsi untuk identifikasi terhadap puncak-puncak dari kurva-kurva paduan Sn-Cu yang ada.

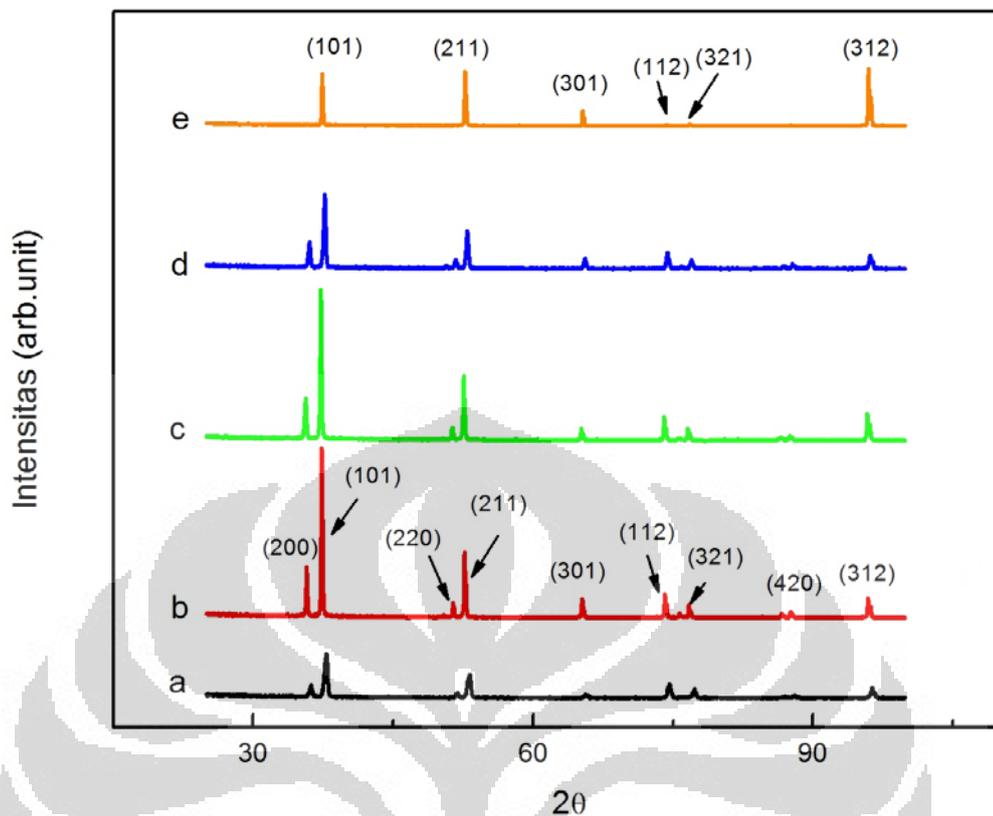
Kurva XRD Sn murni pada gambar 4.1 memiliki puncak dengan bidang hkl (101), (211), (301) dan (312), yang mana puncak-puncak itu juga terlihat pada paduan Sn99.8%-Cu0.2%, Sn98.9%-Cu1.1%, Sn98.8%-Cu01.2% dan Sn98.1%-Cu1.9%. Hal tersebut membuktikan bahwa puncak-puncak utama dari paduan Sn-Cu yang dihasilkan merupakan milik fasa dari  $\beta$ -Sn [21]. Hal ini didukung oleh identifikasi terhadap puncak yang dimiliki paduan Sn99.8%-Cu0.2%, Sn98.9%-Cu1.1%, Sn98.8%-Cu01.2% dan Sn98.1%-Cu1.9% dengan menggunakan program **Match!**<sup>®</sup> dan **GSAS** (program *fitting* kurva XRD menggunakan metode *Rietveld*) didapati bahwa semua paduan memiliki fasa dominan yaitu  $\beta$ -Sn. Selain itu ditemukan pula adanya fasa sekunder yaitu senyawa intermetalik  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ . Fasa Sn yang dimiliki oleh semua variasi paduan memiliki struktur kristal tetragonal dengan *space group*-nya  $I41/a$  m d. Sedangkan untuk senyawa intermetalik  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ , fasa ini memiliki struktur kristal kubik dengan *space group*  $F$  m-3 m. Bidang-bidang difraksi (hkl), ukuran kristal, parameter kisi serta fasa yang terbentuk dari semua variasi paduan dapat dilihat pada tabel 4.2 sampai tabel 4.7.

Dari kurva pada gambar 4.1 terlihat bahwa intensitas puncak-puncak (200) dan (220) dari paduan Sn98.9%-Cu1.1% sampai dengan paduan Sn98.1%-Cu1.9%, terjadi pertumbuhan yang relatif signifikan dibandingkan pada paduan Sn99.8%-Cu0.2%. Bidang difraksi lain yang mengalami pertumbuhan adalah bidang (211). Selain itu, pada bidang (112) dan (321) juga terlihat adanya pertumbuhan puncak seiring kandungan Cu bertambah, yang pada kurva XRD dari Sn murni, puncak tersebut tidak terlalu terlihat dan kurang signifikan. Gambar 4.2 memperlihatkan puncak-puncak yang dimiliki oleh masing-masing paduan dan Sn murni disertai dengan bidang-bidang difraksinya (hkl).



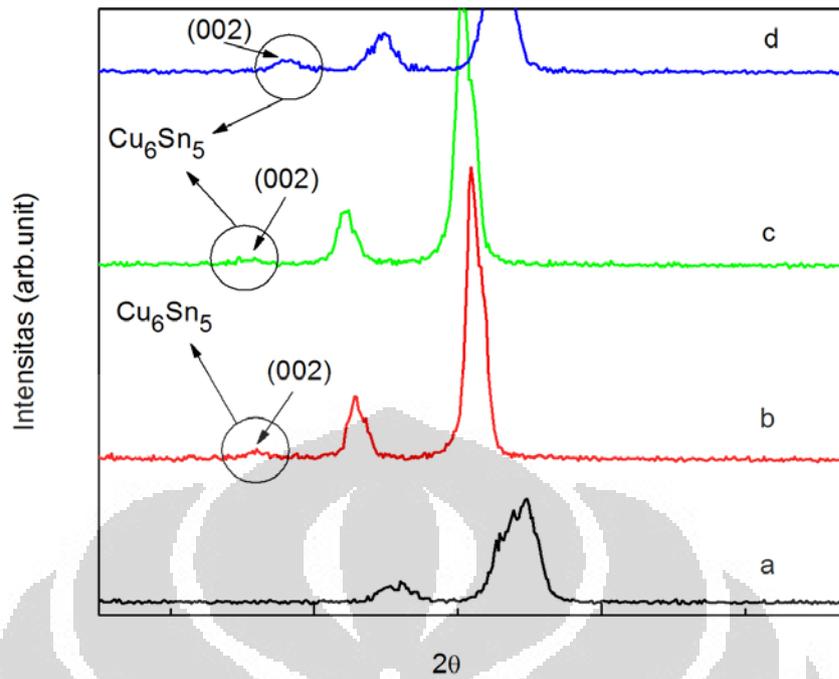
**Gambar 4.1.** Kurva XRD untuk masing-masing variasi paduan Sn-Cu dan juga Sn murni dan Cu murni. Variasi paduan Sn-Cu yang dibuat adalah Sn99.8%-Cu0.2%, Sn98.9%-Cu1.1%, Sn98.8%-Cu01.2% dan Sn98.1%-Cu1.9% (semua dalam persen berat)

Selain pertumbuhan bidang-bidang utama seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, pada paduan juga terlihat munculnya bidang (002). Bidang ini dimiliki oleh senyawa intermetalik Sn-Cu yaitu Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>. Pertumbuhan puncak dengan bidang (002) ini dimulai pada paduan Sn98.9%-Cu1.1% sampai dengan paduan Sn98.1%-Cu1.9%. Pada paduan Sn99.8%-Cu0.2%, bidang ini belum muncul yang dikarenakan sedikitnya kandungan Cu yang berikatan dengan Sn dalam paduan. Kemunculan puncak dengan bidang difraksi (002) yang dimiliki senyawa intermetalik Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> ini dapat dilihat pada Gambar 4.3.

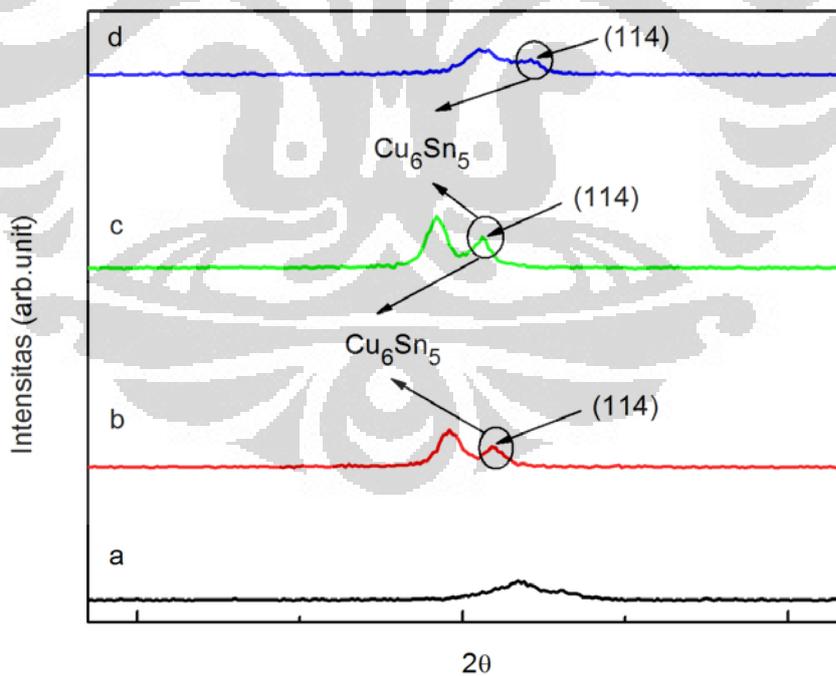


**Gambar 4.2.** Kurva XRD untuk semua variasi paduan (dalam persen berat) dengan bidang difraksi (hkl), a). Sn99.8%-Cu0.2% b). Sn98.9%-Cu1.1% c). Sn98.8%-Cu1.2% d). Sn98.1%-Cu1.9 dan e) Sn murni

Pertumbuhan puncak juga diamati pada bidang difraksi (114) yang berada pada rentang sudut  $2\theta$  mulai dari  $96.13^\circ$  sampai  $96.45^\circ$  dimana dapat dilihat pada Gambar 4.4. Bidang ini setelah dikonfirmasi juga merupakan puncak yang dimiliki oleh senyawa intermetalik  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  [21]. Pertumbuhan puncak ini dimulai dari paduan Sn98.9%-Cu1.1%, Sn98.8%-Cu1.2% hingga paduan Sn98.1%-Cu1.9% dengan intensitas relatif yang lebih kecil dibandingkan pada bidang (002).



**Gambar 4.3.** Puncak-puncak dari bidang refleksi (002) yang dimiliki fase intermetalik Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> pada sampel paduan a). Sn99.8%-Cu0.2% b). Sn98.9%-Cu1.1% c). Sn98.8%-Cu1.2% dan d). Sn98.1%-Cu1.9%



**Gambar 4.4.** Pertumbuhan puncak bidang difraksi (114) yang dimiliki fase senyawa intermetalik Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> untuk semua variasi paduan

**Tabel 4.2. Nilai hkl, ukuran Kristal, struktur Kristal, space group, parameter kisi dan fasa yang terbentuk untuk Sn murni**

Paduan	Fase terbentuk	Parameter Kisi			Struktur kristal	Space Group	Crystallite size (nm)	hkl	2 $\theta$
		a	b	c					
Sn Murni	$\beta$ -Sn	5.8310	5.8310	3.1820	Tetragonal	I41/amd	46.69	101	37.39
								211	52.69
								301	65.31
								112	74.26
								321	76.76
								312	95.95

**Tabel 4.3. Nilai hkl, ukuran Kristal, struktur Kristal, space group, parameter kisi dan fasa yang terbentuk untuk Cu murni**

Paduan	Fase terbentuk	Parameter Kisi			Struktur kristal	Space Group	Crystallite size (nm)	hkl	2 $\theta$
		a	b	c					
Cu Murni	Cu	3.6331	3.6331	3.6331	Cubic	F m -3 m	33.54	111	50.48
								200	59.10
								220	88.64

**Tabel 4.4. Nilai hkl, ukuran Kristal, struktur Kristal, space group, parameter kisi dan fasa yang terbentuk untuk paduan Sn99.8%-Cu0.2%**

Paduan	Fase terbentuk	Parameter Kisi			Struktur kristal	Space Group	Crystallite size (nm)	hkl	2 $\theta$
		a	b	c					
Sn99.8%-Cu0.2%	$\beta$ -Sn	5.8269	5.8276	3.1791	Tetragonal	I41/amd	31.76	200	36.18
								101	37.84
								220	51.93
								211	53.22
								301	65.68
								112	74.67
								321	77.28
								420	87.98
								312	96.34

**Tabel 4.5. Nilai hkl, ukuran Kristal, struktur Kristal, space group, parameter kisi dan fasa yang terbentuk untuk paduan Sn98.9%-Cu1.1%**

Paduan	Fase terbentuk	Parameter Kisi			Struktur kristal	Space Group	Crystallite size (nm)	hkl	2 $\theta$
		a	b	c					
Sn98.9%-Cu1.1%	$\beta$ -Sn	5.8303	5.8303	3.1731	Tetragonal	I41/amd	45.63	200	35.72
								101	37.34
	Cu <sub>6</sub> Sn <sub>5</sub>	11.056	7.2801	9.8412	monoklinik	C 1 2/c 1		002	50.40
	$\beta$ -Sn	5.8303	5.8303	3.1731		I41/amd		220	51.43
								211	52.63
								301	65.27
					Tetragonal			112	74.13
								400	75.68
								321	76.69
								420	87.62
						312	95.91		
	Cu <sub>6</sub> Sn <sub>5</sub>	11.055	7.2804	9.8412	monoklinik	C 1 2/c 1	114	96.20	

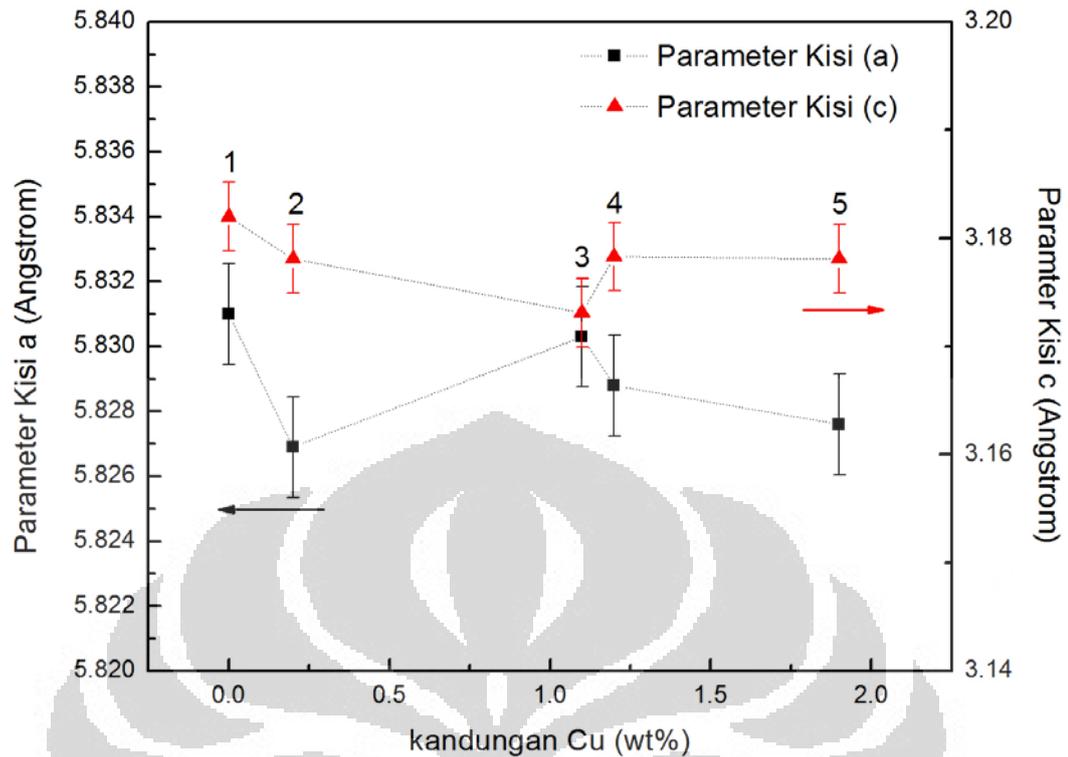
**Tabel 4.6. Nilai hkl, ukuran Kristal, struktur Kristal, space group, parameter kisi dan fasa yang terbentuk untuk paduan Sn98.8%-Cu1.2%**

Paduan	Fase terbentuk	Parameter Kisi			Struktur kristal	Space Group	Crystallite size (nm)	hkl	2 $\theta$
		a	b	c					
Sn98.8%-Cu1.2%	$\beta$ -Sn	5.8288	5.8288	3.1783	Tetragonal	I41/amd	36.09	200	35.61
								101	37.25
	Cu <sub>6</sub> Sn <sub>5</sub>	11.0561	7.2803	9.8713	monoklinik	C 1 2/c 1		002	50.73
								220	51.32
								211	52.54
								301	65.20
								112	74.05
								400	75.58
								321	76.61
								420	87.49
						312	95.86		
	Cu <sub>6</sub> Sn <sub>5</sub>	11.0521	7.2803	9.8731	monoklinik	C 1 2/c 1	114	96.13	

**Tabel 4.7. Nilai hkl, ukuran Kristal, struktur Kristal, space group, parameter kisi dan fasa yang terbentuk untuk paduan Sn98.9%-Cu1.9%**

Paduan	Fase terbentuk	Parameter Kisi			Struktur kristal	Space Group	Crystallite size (nm)	hkl	2θ
		a	b	c					
Sn98.1%-Cu1.9%	β-Sn	5.8276	5.8276	3.1781	Tetragonal	I41/amd	29.98	200	36.04
								101	37.67
	Cu <sub>6</sub> Sn <sub>5</sub>	11.059	7.1801	9.749	monoklinik	C 1 2/c 1		002	50.73
								220	51.76
	β-Sn	5.8276	5.8276	3.1781	Tetragonal	I41/amd		211	52.92
								301	65.56
								112	74.39
								400	75.94
								321	76.99
								420	87.84
Cu <sub>6</sub> Sn <sub>5</sub>	11.046	7.1801	9.779	monoklinik	C 1 2/c 1	312	96.08		
						114	96.45		

Dari semua kurva hasil XRD maka dapat diasumsikan bahwa puncak-puncak yang teridentifikasi merupakan puncak yang didominasi oleh fasa β-Sn. Hal ini dikarenakan memang kandungan Sn pada semua variasi paduan adalah dominan atau bisa dikatakan semua paduan merupakan paduan *Sn-rich*. Dan pengaruh penambahan Cu terlihat dari terbentuknya fasa intermetalik Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> pada paduan dimulai dari paduan Sn98.9%-Cu1.1% sampai dengan paduan Sn98.1%-Cu1.9% yaitu dengan adanya pertumbuhan puncak dengan hkl (002) dan (114) pada sudut (2θ) 50.4° sampai dengan 50.73°, dan puncak (114) yang berada pada sudut 96.13° sampai 96.45°.

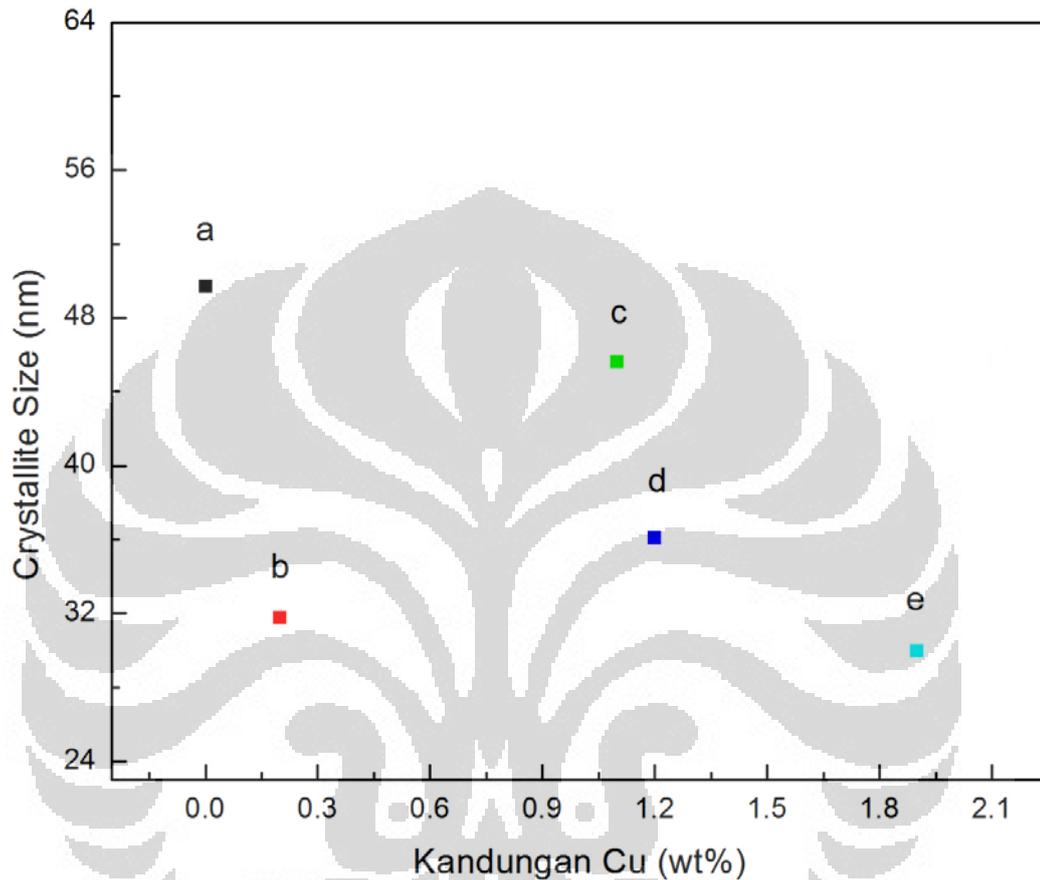


**Gambar 4.5. Plot hubungan antara parameter kisi a dan c terhadap variasi kandungan persen berat Cu (wt%) pada sampel paduan 1). Sn murni 2). Sn99.8%-Cu0.2% 3). Sn98.9%-Cu1.1% 4). Sn98.8%-Cu1.2% dan 5). Sn98.1%-Cu1.9%**

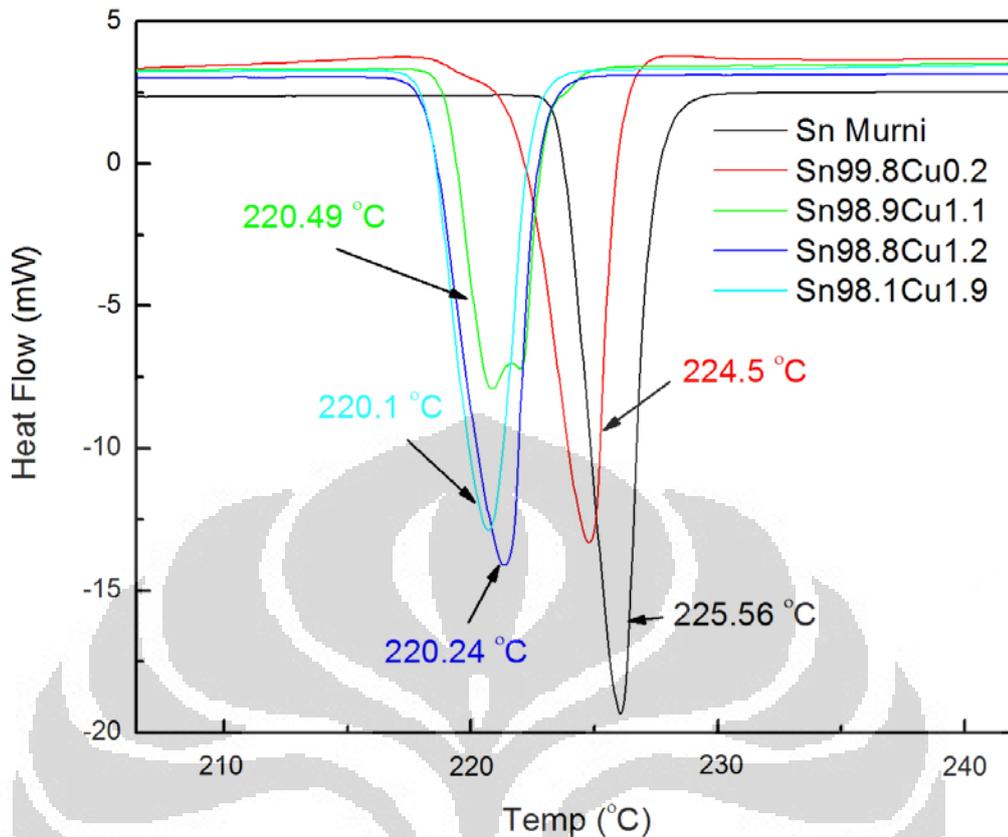
Plot hubungan antara parameter kisi a dan c terhadap variasi kandungan Cu (dalam persen berat) dalam paduan dapat dilihat pada Gambar 4.5. Pada plot tersebut terlihat adanya perubahan dari parameter kisi Sn tetragonal seiring penambahan kandungan Cu. Unsur Cu memiliki radius atomik sekitar 3.6 Å yang mana lebih kecil dibandingkan radius atomik Sn yang besarnya sekitar 5.8 Å. Hal ini memungkinkan Cu untuk mensubstitusi dan berdifusi kedalam susunan kristal Sn, sehingga menyebabkan parameter kisi Sn berubah [22].

Gambar 4.6 merupakan kurva yang berisi plot *crystallite size* fasa Sn terhadap persen berat Cu. Dari kurva tersebut, *crystallite size* fasa Sn tidak memperlihatkan adanya keteraturan tertentu ketika persen berat Cu ditambahkan. Ini diperkirakan karena berat atom Sn yang relatif kecil (118.69 amu) sehingga pada saat pembentukan kristal, pembentukannya relatif tidak stabil. Hal tersebut dapat mengakibatkan *crystallite size* yang naik turun (tidak beraturan) [23]. Pada plot kurva terlihat sampel Sn murni dengan *crystallite size* berukuran 46.69 nm menurun menjadi 31.76 nm untuk paduan Sn99.8%-Cu0.2%. Tetapi kemudian

terjadi kenaikan *crystallite size* yaitu pada paduan Sn98.9%-Cu1.1% dengan ukuran sebesar 45.63 nm. Selanjutnya mulai dari paduan Sn98.8%-Cu1.2% sampai dengan paduan Sn98.1%-Cu1.9%, *crystallite size* menunjukkan penurunan yaitu 36.09 dan 29.98 nm berturut-turut.



Gambar 4.6. Plot Crystallite Size (nm) terhadap kandungan Cu (dalam persen berat) untuk semua variasi paduan Sn-Cu yaitu a). Sn murni b). Sn99.8%-Cu0.2% c). Sn98.9%-Cu1.1% d). Sn98.8%-Cu1.2% dan e). Sn98.1%-Cu1.9%



Gambar 4.7. Kurva DSC (heat flow vs. temp.) untuk masing-masing paduan Sn-Cu yang dihasilkan.

#### 4.3 Karakterisasi Termal Terhadap Semua Variasi Paduan Sn-Cu

Dari hasil karakterisasi termal yang dilakukan menggunakan DSC maka didapatkan kurva *heat flow* terhadap temperatur untuk semua variasi paduan Sn-Cu seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.7. Nilai *melting point*, entalpi ( $\Delta H$ ), Onset dan Endset untuk masing-masing variasi paduan Sn-Cu berikut dengan Sn murni ditunjukkan pada tabel 4.8.

Kurva pada Gambar 4.7 menunjukkan adanya pergeseran *melting point* dimulai dari paduan Sn murni yang kemudian bergeser ke kiri hingga paduan Sn98.1%-Cu1.9%. Dari kurva DSC Sn murni, diketahui nilai *melting point* -nya berada pada temperatur 225.56°C dengan satu puncak endotermik. Hasil ini tidak jauh dengan yang didapatkan literatur [24,25,26]. Pada paduan Sn99.8%-Cu0.2%, nilai *melting point*-nya adalah 224.5°C. Pergeseran nilai *melting point* antara paduan Sn murni terhadap paduan Sn99.8%-Cu0.2% adalah sebesar 3.44°C. Nilai

*melting point* dari paduan Sn98.9%-Cu1.1% juga apabila dibandingkan *melting point* yang dimiliki oleh paduan Sn99.8%-Cu0.2% mengalami penurunan, yaitu sekitar 4.01°C dan bergeser sebesar 5.07°C jika dibandingkan dengan *melting point* yang dimiliki Sn murni. Paduan Sn98.9%-Cu1.1% sendiri memiliki nilai *melting point* 220.49°C. Pada paduan Sn98.8%-Cu1.2% dan paduan Sn98.1%-Cu1.9% juga terjadi penurunan *melting point* dibandingkan dengan *melting point* paduan dengan persen berat Cu yang lebih sedikit. Misalnya untuk paduan Sn98.8%-Cu1.2% memiliki *melting point* lebih rendah dibandingkan paduan Sn98.9%-Cu1.1% dan juga *melting point* paduan Sn98.1%-Cu1.9% yang lebih rendah dibandingkan paduan Sn98.8%-Cu1.2%.

Hal tersebut diatas menunjukkan bahwa penambahan Cu ternyata berpengaruh pada *melting point* dari keseluruhan paduan yang dihasilkan. *Melting point* dari semua paduan yang diamati mengalami penurunan seiring dengan penambahan kandungan Cu (dalam persen berat) sehingga dapat diasumsikan bahwa penambahan Cu dapat menurunkan *melting point* Sn dan paduan secara menyeluruh. Hal ini jelas berkebalikan dengan teori dimana penambahan Cu akan meningkatkan temperatur lebur dari paduan [27] dikarenakan temperatur lebur Cu yang tinggi yaitu sekitar 1084.62°C. Dapat diasumsikan bahwa konduktifitas termal yang dimiliki oleh Cu memiliki pengaruh terhadap penurunan temperatur lebur akibat penambahan kandungan Cu dan sebagaimana yang didapati oleh J. Bilek *et.al.* [28]. Konduktifitas termal dari Cu adalah sebesar 385 W/m-K yang mana lebih tinggi dibandingkan konduktifitas termal Sn yang hanya sebesar 66.8 W/m-K, sehingga penambahan Cu kedalam paduan dapat menurunkan titik lebur paduan Sn-Cu tersebut dikarenakan material yang memiliki konduktifitas tinggi akan sangat mudah menyerap energi dan dengan demikian dapat mempercepat proses peleburan [29]. Selain itu, kehadiran fase intermetalik pada paduan yang dikonfirmasi dengan hasil XRD juga berpengaruh pada titik lebur paduan. Senyawa intermetalik Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> ini juga memiliki konduktifitas termal yang baik sehingga proses peleburan dapat terjadi pada temperatur yg lebih rendah.

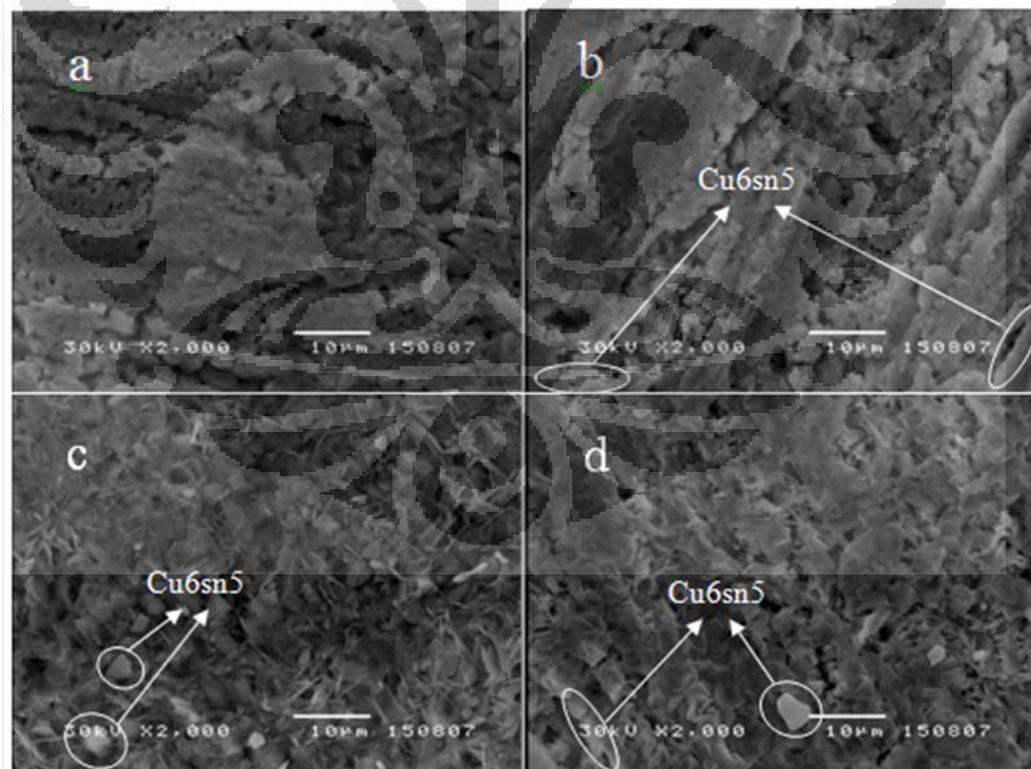
Dari semua variasi paduan yang dikarakterisasi, termasuk Sn murni, hanya terdapat satu puncak endotermik yang mana puncak endotermik ini mengkonfirmasi terjadinya proses peleburan/melting pada sampel paduan [30].

Hasil ini juga menunjukkan tidak adanya fasa Cu yang berdiri sendiri atau tidak berikatan dengan Sn yang sesuai dengan hasil XRD dan juga sesuai dengan yang didapatkan secara eskperimental oleh Soares *et.al*.

**Tabel 4.8. Nilai *melting point*, entalpi ( $\Delta H$ ), Onset dan Endset untuk semua variasi paduan Sn-Cu hasil karakterisasi kurva DSC**

No	Sampel	Persen berat		DSC				
				<i>Melting Point</i>	$\Delta H$	Onset	Endset	Selisih
		Sn	Cu	(celcius)	(Cal/gr)	(Celcius)	(Celcius)	(Celcius)
1	Sn Murni	100	-	225.56	-19.75	223.97	229.11	-5.14
2	Sn-0.2Cu	99.80	0.2	224.50	-18.31	222.12	227.98	-5.86
3	Sn-1.1Cu	98.91	1.1	220.49	-13.19	224.82	239.46	-14.64
4	Sn-1.2Cu	98.80	1.2	220.24	-19.02	218.53	224.29	-5.76
5	Sn-1.9Cu	98.12	1.9	220.10	-20.18	218.43	224.04	-5.61

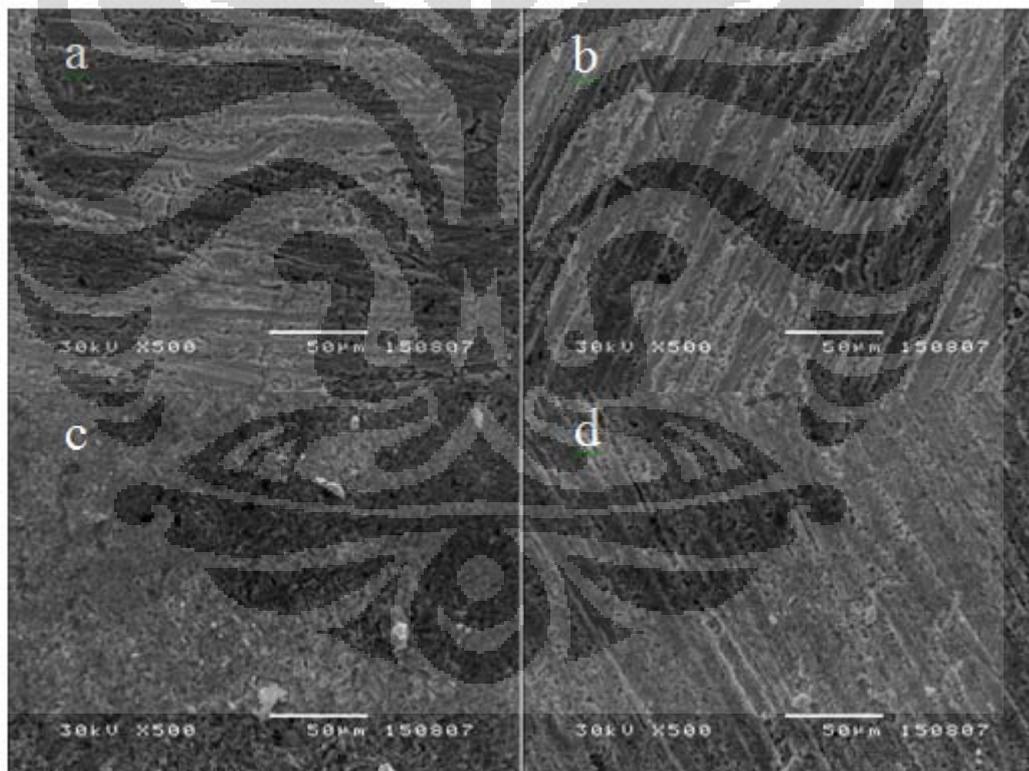
#### 4.4 Karakterisasi Mikrostruktur untuk Semua Paduan Sn-Cu



**Gambar 4.8. Penampang mikrostruktur dari paduan a) Sn99.8%-Cu0.2% b) Sn98.9%-Cu1.1% c) Sn98.8%-Cu1.2% d) Sn98.1%-Cu1.9%**

Gambar 4.8 menunjukkan penampang mikrostruktur untuk masing-masing variasi paduan Sn-Cu dimulai dari kandungan persen berat Cu yang terendah hingga kandungan persen berat Cu yang tertinggi. Perbesaran yang diambil untuk tiap variasi adalah sebesar 2000x.

Dari hasil SEM terhadap semua variasi sampel paduan dapat dikonfirmasi bahwa pada sampel paduan terdapat *lamellar-lamellar* yang berwarna terang atau keabu-abuan yang merupakan *lamellar-lamellar* dari fasa dengan kandungan Sn-*rich* yaitu  $\beta$ -Sn, sedangkan *lamellar* dengan warna gelap atau kehitam-hitaman merupakan *lamellar-lamellar* dari senyawa intermetalik  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  yang sesuai dengan hasil dari Jun Shen *et.al.*[31]. Hasil ini mengkonfirmasi hasil XRD yang menyatakan dari semua variasi sampel paduan memiliki fasa dominan  $\beta$ -Sn dengan diikuti pertumbuhan fasa intermetalik-nya.



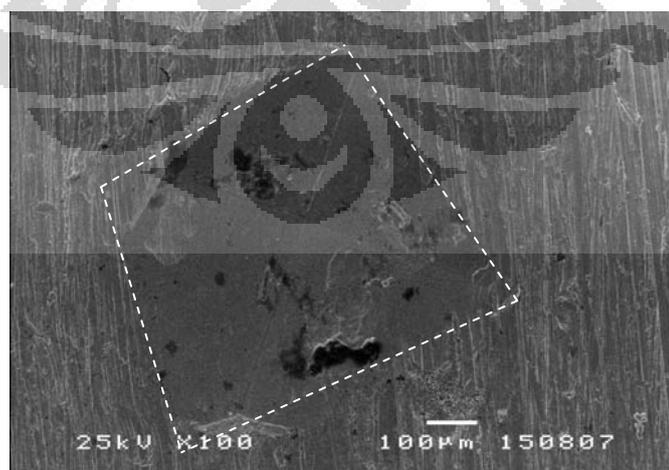
**Gambar 4.9.** Penampang mikrostruktur dengan perbesaran 500x dari paduan a) Sn99.8%-Cu0.2% b) Sn98.9%-Cu1.1% c) Sn98.8%-Cu1.2% d) Sn98.1%-Cu1.9% yang menunjukkan persebaran lamellar fasa  $\beta$ -Sn dan juga fasa intermetaliknya.

Letak senyawa intermetalik pada sampel paduan Sn-Cu yang dihasilkan ini tersusun parallel dengan *lamellar-lamellar* Sn. Gambar 4.9 merupakan penampang mikrostruktur untuk semua sampel paduan pada perbesaran 500x yang memperlihatkan adanya persebaran senyawa intermetalik pada paduan Sn-Cu dan juga orientasi grain dari lamellar  $\beta$ -Sn.

#### 4.5 Karakterisasi Kekerasan dari Variasi Paduan Sn-Cu

Gambar 4.10 menunjukkan hasil tes vikers Hardness menggunakan *diamond indenter* dengan lamanya *loading time* 15 detik. Sehingga dihasilkan jejak seperti layang-layang pada sampel. Hasil tes Vickers Hardness ini kemudian diambil penampang permukaannya menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM) pada perbesaran 100x. Hasil tes berupa *Hardness Value* (HV) dengan satuannya  $\text{kgf/mm}^2$ ,  $d$  yang terukur (dalam  $\text{mm}$ ) dan hasil konversi ke dalam *yield strength* ( $\sigma_y$ ) dalam satuan MPa dapat dilihat pada tabel 4.9.

Secara umum, logam maupun paduan yang memiliki struktur *grain* yang halus dan baik akan menghasilkan *yield strength* ataupun kekerasan yang tinggi dikarenakan mekanisme penguatan batas *grain* yang dikenal dengan *Hall-Petch relationship* [32]. Selain itu, nilai kekerasan pada paduan juga berkorelasi dengan karakterisasi dari senyawa intermetalik seperti ukuran, distribusi dan kuantitasnya, dibandingkan ukuran grain dari  $\beta$ -Sn-nya [33].

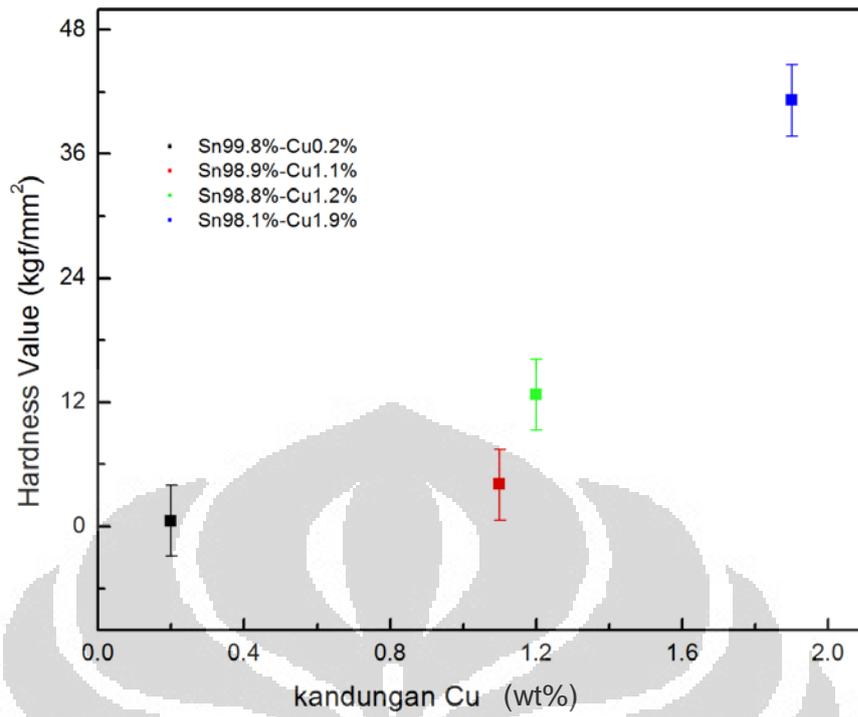


**Gambar 4.10. Tampilan Scanning Electron Microscope (SEM) untuk paduan Sn98.9%-Cu1.1% yang telah dilakukan tes Vickers Hardness**

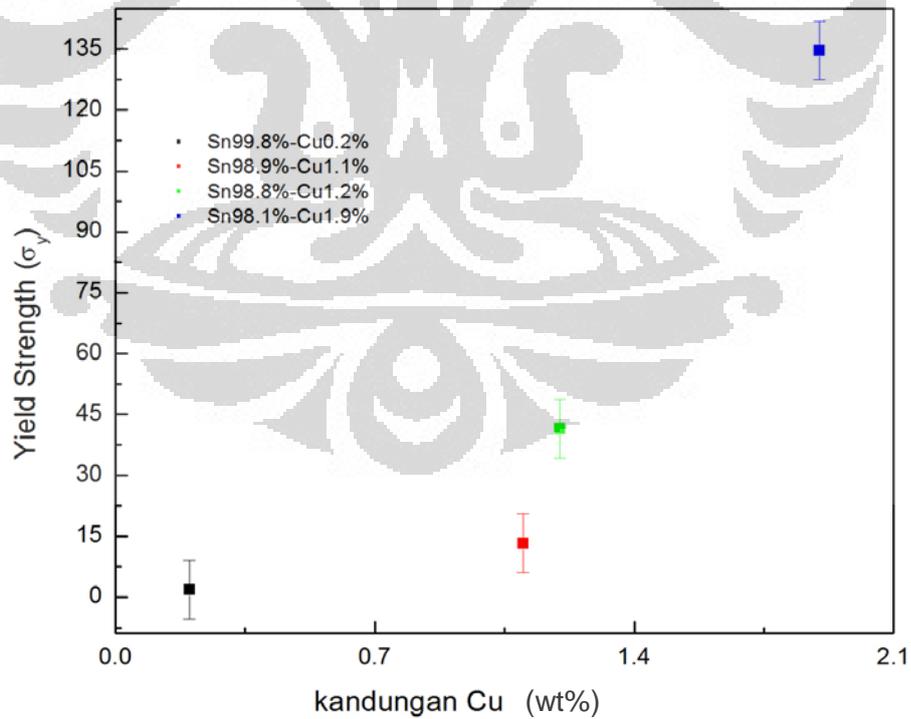
Dari hasil pengukuran kekerasan terlihat bahwa *Hardness Value* (HV) yang dimiliki masing-masing paduan akan semakin besar seiring dengan penambahan atom Cu. Ini juga diperkuat dengan hasil eksperimen yang dilakukan oleh Lee *et.al.* yang mendapati bahwa seiring penambahan Cu, maka intermetalik yang terbentuk yaitu  $Cu_6Sn_5$  akan menaikkan nilai kekerasan paduan secara keseluruhan. Dalam penelitiannya, Lee *et.al.* membandingkan antara paduan Sn-Ag dengan paduan Sn-Cu yang pada keduanya masing-masing dilakukan variasi penambahan kandungan Ag dan Cu berturut-turut. Hasil pengukuran kekerasan yang dilakukan menunjukkan bahwa penambahan Cu lebih berpengaruh dan efektif dalam menaikkan kekerasan paduan secara keseluruhan. Plot nilai kekerasan (HV) dan juga plot *Yield Strength* terhadap kandungan Cu dalam paduan dapat dilihat pada Gambar 4.11 dan 4.12.

**Tabel 4.9. Nilai d (mm), Hardness Value (HV) dan Yield Strength (MPa) untuk semua variasi paduan Sn-Cu**

no.	paduan	d (mm)	HV (kgf/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_y$ (Mpa)
1	Sn99.8%-Cu0.2%	1.29	0.56	1.83
2	Sn98.9%-Cu1.1%	0.48	4.06	13.26
3	Sn98.8%-Cu1.2%	0.27	12.72	41.58
4	Sn98.1%-Cu1.9%	0.15	41.20	134.68



Gambar 4.11. Kurva Plot Nilai Kekerasan (HV) terhadap variasi kandungan persen berat Cu dalam paduan.



Gambar 4.12. Kurva Plot Yield Strength ( $\sigma_y$ ) terhadap variasi kandungan persen berat Cu dalam paduan.

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil penelitian pada tugas akhir ini dapat disimpulkan bahwa penambahan unsur Cu kedalam paduan Sn-Cu akan mempengaruhi beberapa karakteristik dari paduan secara keseluruhan, yaitu sifat struktur, sifat termal dan juga sifat mekanik, dalam hal ini adalah nilai kekerasan paduan.

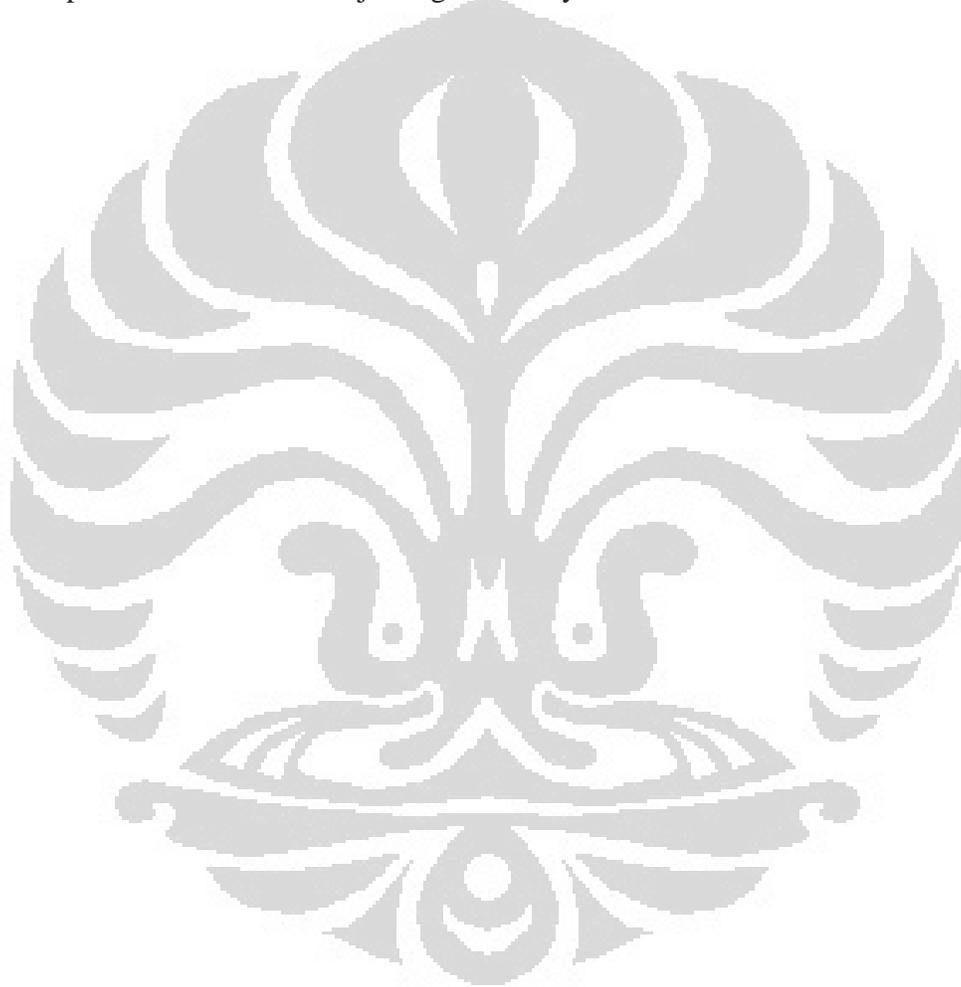
Secara struktural yang dikonfirmasi oleh hasil karakterisasi XRD untuk semua variasi paduan, Sn99.8%-Cu0.2%, Sn98.9%-Cu1.1%, Sn98.8%-Cu0.2% dan Sn98.1%-Cu1.9%, ditemukan adanya fasa  $\beta$ -Sn yang merupakan fasa utama, karena kandungan paduan Sn-Cu merupakan kandungan yang kaya akan Sn. Sedangkan pada seluruh paduan Sn-Cu yang dihasilkan, tidak ditemukan adanya fasa Cu itu sendiri, melainkan ditemukan adanya fasa intermetalik  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  yang tumbuh antara  $2\theta$  sebesar  $50,4^\circ$  sampai  $50,73^\circ$  untuk bidang (002) dan antara  $96,2^\circ$  sampai  $96,45^\circ$  untuk bidang (114). Namun puncak tersebut tidak ditemukan pada paduan Sn99.8%-Cu0.2%.

Dari sifat termal ditemukan bahwa semakin banyak penambahan persen berat Cu maka titik leleh paduan Sn-Cu semakin turun. Hal ini dibuktikan oleh karakterisasi menggunakan DSC. Namun titik leleh SnCu ini masih lebih tinggi dibanding titik leleh SnPb. Pada paduan Sn-1.9Cu, yang memiliki komposisi Cu terbanyak, memiliki titik leleh sebesar  $220,1^\circ\text{C}$  sedangkan titik leleh paduan eutektik 63Sn-37Pb adalah sebesar  $183^\circ\text{C}$ .

Penambahan Cu juga memiliki peranan terhadap kekerasan dari paduan yang dihasilkan. Seperti yang dinyatakan oleh Lee et.al. bahwa penambahan Cu memiliki pengaruh yang signifikan dalam meningkatkan nilai kekerasan keseluruhan paduan. Hal ini dikarenakan adanya pertumbuhan senyawa intermetalik  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ , sebagaimana dikonfirmasi dari hasil XRD dan SEM, yang mempengaruhi nilai kekerasan dari paduan.

## 5.2 Saran

Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk melihat pengaruh penambahan Cu terhadap konduktivitas listrik paduan SnCu. Selain itu dibutuhkan pula peninjauan pengaruh variasi kandungan Cu terhadap pencegahan pertumbuhan *whisker*. Karena *grain boundary* Cu dapat menahan laju pertumbuhan *whisker* yang merupakan masalah utama pada material solder sejak digalakkannya bebas timbal.

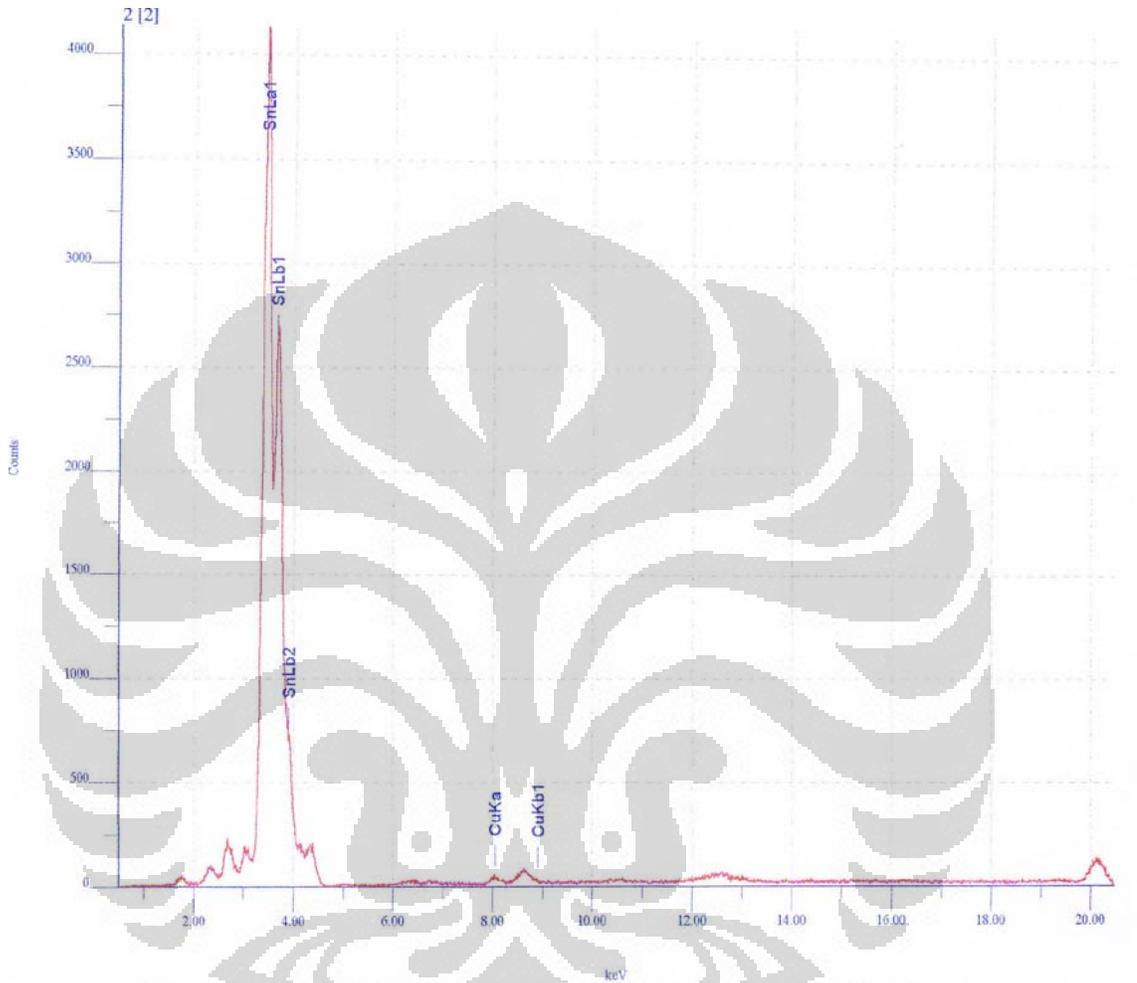


## DAFTAR ACUAN

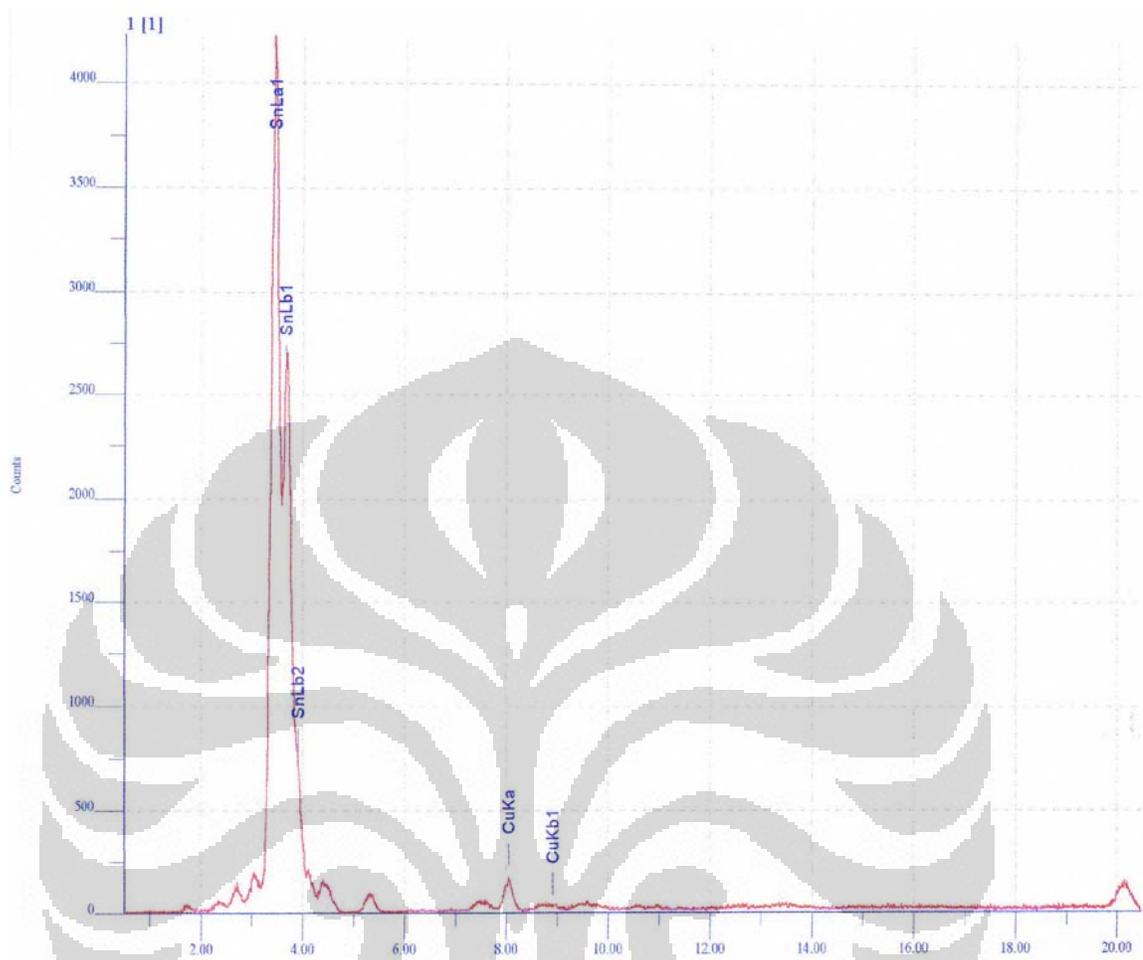
- [1] L.R. Gracia, Wislei R.O., Leandro C.P., A. Garcia. *Journal of Electronic Material* Vol. 38 No 11. 2009.
- [2] Wang, H.S. Liu, L.B. Liu, dan Z.P. Jin, *Journal of Electronic Materials*, Vol. 35, No. 10. 2006.
- [3] Dr. Ning-Cheng Lee. *Getting Ready For Lead Free Solders*. Indium Corporation of America: 2007.
- [4] Q. Sun and D. Selvaduray. *Understanding and Minimizing Tin Whiskers: A Review of the Literature*. Chemical and Materials Engineering Department. San Jose State University: 2003.
- [5] Jay A. Brusse, Gary J. Ewell, and Jocelyn P. Siplon. *Tin Whiskers: Attributes And Mitigation*. Cartes Europe 2002: 16<sup>th</sup> Passive Components Symposium.
- [6] B. Balakrisnan, C.C. Chum, M. Li, Z. Chen, dan T. Cahyadi, *Journal of Electronic Materials*, Vol. 32, No. 3, 2003 Regular Issue Paper
- [7] Carol A. H, Ursula K, K Moon, J Bath, E Bradley, and P Snugovsky, *Lead-Free Electronics book chapter: Alloy Selection*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, 2007.
- [8] K.S. Bae, S.J. Kim, *J Mater Res* 17, 743 (2002)
- [9] K. Sukanuma, *Curr Opin Solid State Mater Sci* 5, 55 (2001)
- [10] Lin, J.K.; DeSilva, A.; Frear, D.; Guo, Y.; Jang, J.; Li, L.; Mitchell, D.; Yeung, B.; Zhang, C. Characterization of lead-free solders and under bump metallurgies for flip-chip package. Proc 51<sup>st</sup> ECTC, Orlando, FL, IEEE: Piscataway, NJ, May 2001; 455–462.
- [11] C.M.L.Wu, D.Q. Yu, C.M.T. Law, and L.Wang, *Journal of Electronic Materials*, Vol. 31, No. 9, 2002
- [12] J.K. Kim, M.S. Suk, and H.Y. Kwon, *Surf. Coating Technol.* 82, 23 (1996).
- [13] R.E. Pratt, E.I. Stromwold, and D.J. Quesnal, *J. Electron. Mater.* 23, 375 (1994).
- [14] Y.C. Chan, A.C.K. So, and J.K.L. Lai, *Mater. Sci. Eng. B* 55, 5 (1998).
- [15] P.L. Tu and Y.C. Chan, *IEEE Trans. Comp. Pack. Manuf. Technol., Part B* 20, 87 (1997).
- [16] C.H. Zhong and S. Yi, *Soldering & Surface Mount Technol.* 11, 44 (1999).
- [17] Y.G. Lee and J.G. Duh, *J. Mater. Sci.: Mater. Electron.* 10, 33
- [18] Frear, D.R.; Jang, JW.; Lin, J.K.; Zhang, C. Pb-free solders for flip-chip interconnects. *JOM* June 2001, 53 (6), 28–32
- [19] N. Saunders, A.P. Miodownik, *Bull. Alloy Phase Diagrams* 11, 278 (1990).
- [20] [www.gordonengland.co.uk/vickerhadnesstest.htm](http://www.gordonengland.co.uk/vickerhadnesstest.htm) diunduh tanggal 1 April 2010 pukul 15.00.
- [21] El-Ashram T., The relation between valency, axial ratio, Young's modulus and resistivity of rapidly solidified tin-based eutectic alloys, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 16 (2005) 501-505

- [22] Kamal M., El-Bedewi A.B., T.E-Ashram, *J. Mater. Sci. Mater. Electr.* **15** (2004) 211.
- [23] Y.A Geller and A.G Rakhshadt, "Science of Materials", (Mir Publishers, Moscow, 1977) p. 138.
- [24] [www.webelements.com](http://www.webelements.com) diunduh tanggal 3 mei 2010 pukul 10.30
- [25] [www.EnvironmentalChemistry.com](http://www.EnvironmentalChemistry.com) diunduh tanggal 10 mei 2010 pukul 13.55
- [26] W.K Choi, S.K. Kang and D.-Y Shih, A Study of the Effects of Solder Volume on the Interfacial Reactions in Solder Joints Using the Differential Scanning Calorimetry Technique, *Journal of Electronic Materials* Vol.31, 11 (2002)
- [27] E. P. Wood and K. L Nimmo, In search of new lead-free electronic solders, *Mater* 23(8):709–713, 1994.
- [28] J. Bilek, J. K. Atkinson, and W. A. Wakeham, Thermal Conductivity of Molten Lead-Free Solders, *International Journal of Thermophysics*, Vol. 27, No. 1, January 2006
- [29] M. Onishi and H. Fujibuchi, "Reaction Diffusion in the Cu-Sn System," *Trans. JIM*, Vol.16 (1975), pp 539-547
- [30] Yu C.H. and Lin K.L., "The atomic-scale studies of the behavior of the crystal dissolution in molten metals", *Chemical Physics Letters*, Vol. 418, pp. 433–436.
- [31] Andrew K. G and Michael E.B, "Kinetic background to thermal analysis and calorimetry", *Handbook of Thermal Analysis and Calorimetry* Vol.1 (2003).
- [32] Jun Shen, Yongchang Liu, Y. Han and H. Gao, Microstructure and mechanical properties of Lead-free Sn–Cu solder composites prepared by rapid directional solidification, *J. Mater Sci: Mater Electron* 18 (2007) 1235-1238.
- [33] Sun-Kyoung Seo, Sung K. Kang, Da-Yuan Shih, And Hyuck Mo Lee, An Investigation of Microstructure and Microhardness of Sn-Cu and Sn-Ag Solders as Functions of Alloy Composition and Cooling Rate, *Journal of Electronic Materials*, Vol. 38, 2 (2009).
- [34] Cullity B.D, *Elements of X-ray Diffraction*, Addison-Wesley Publishing Company inc., copyright 1956

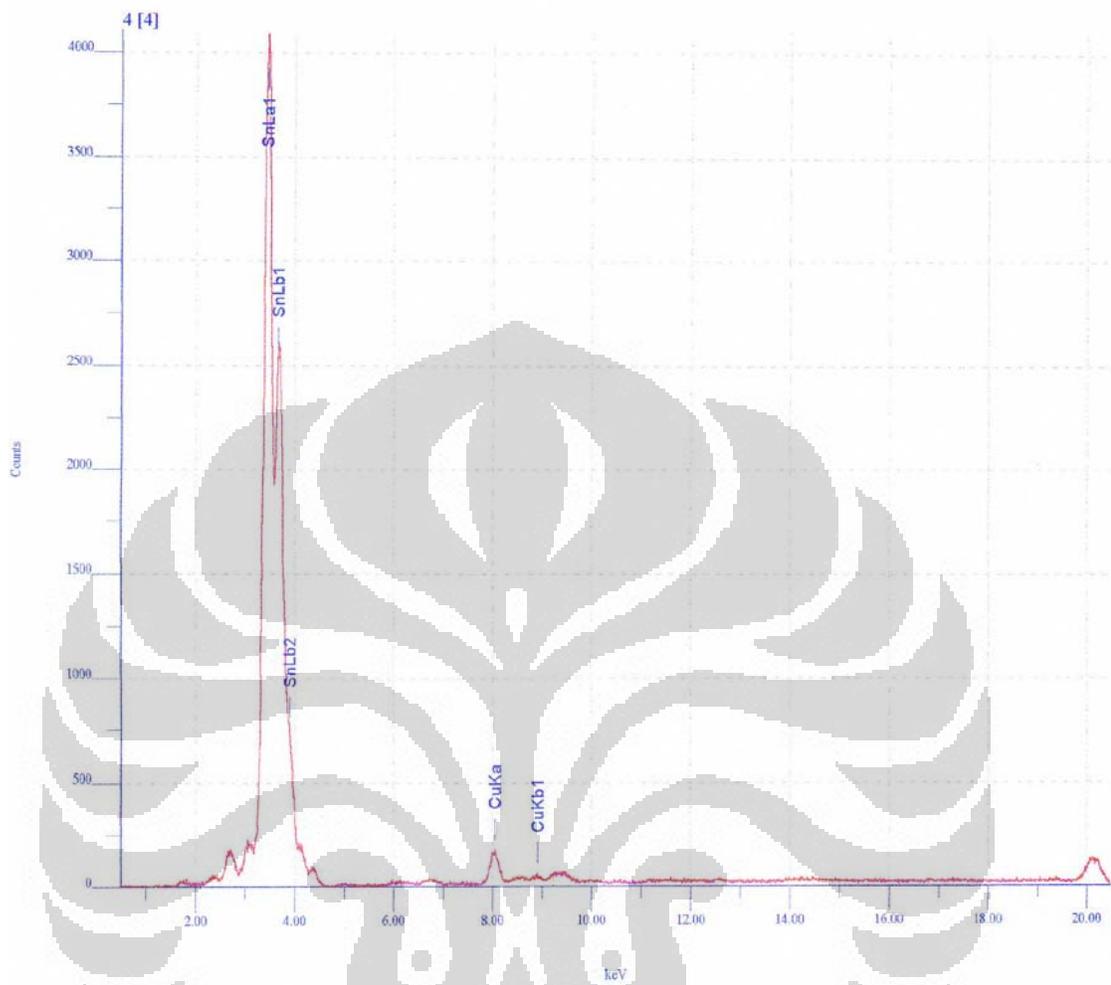
**Kurva XRF untuk masing-masing paduan Sn-Cu.**



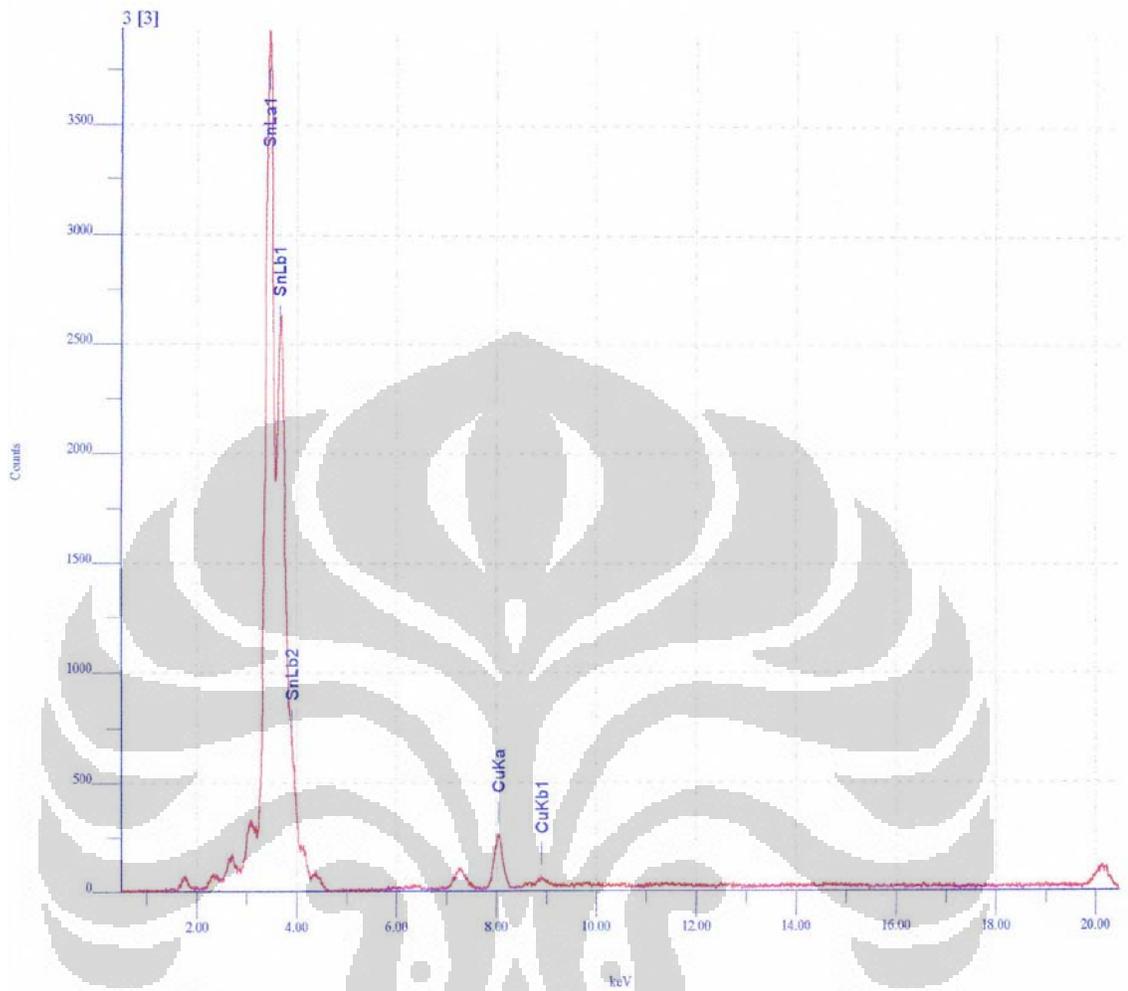
**a) Paduan Sn99.8%-Cu0.2%**



**b) Paduan Sn98.9%-Cu1.1%**

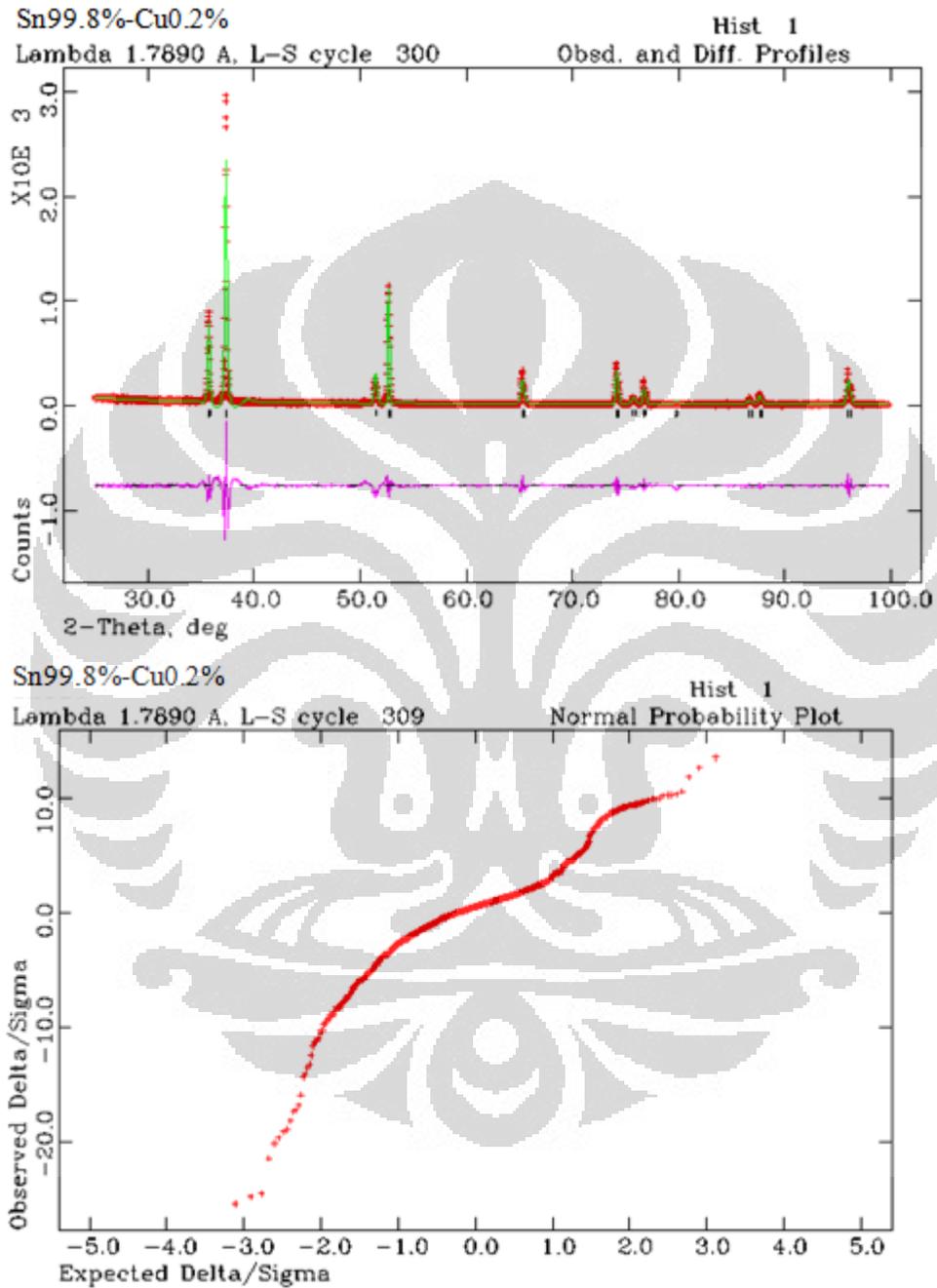


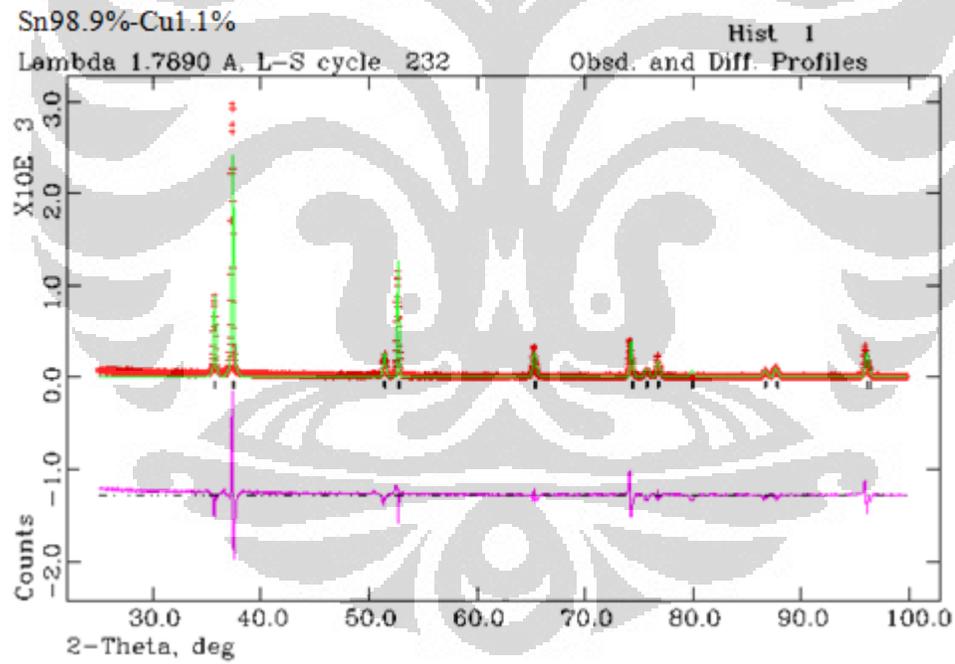
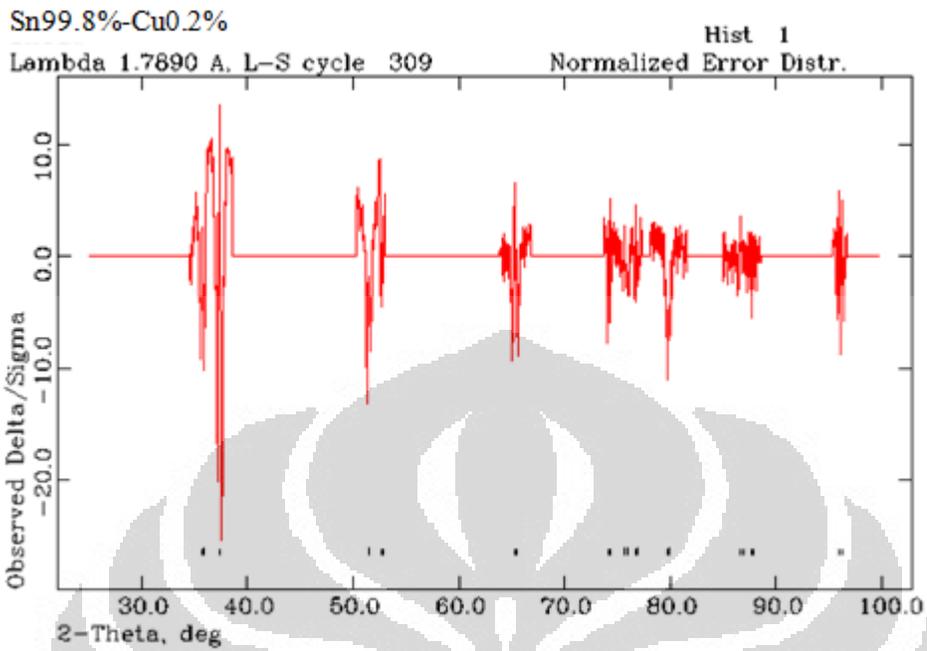
**c) Paduan Sn98.8%-Cu1.2%**

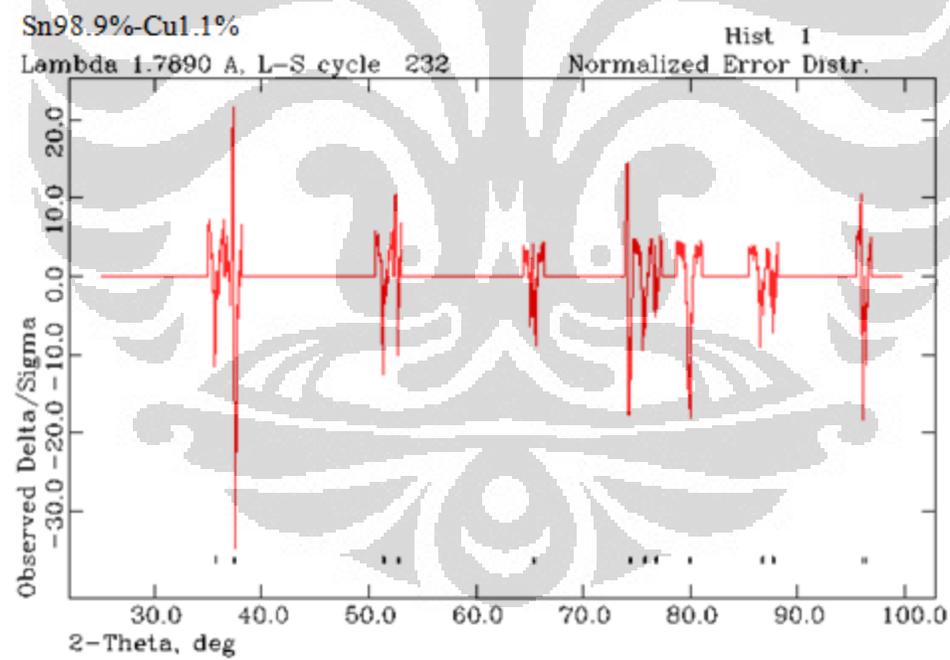
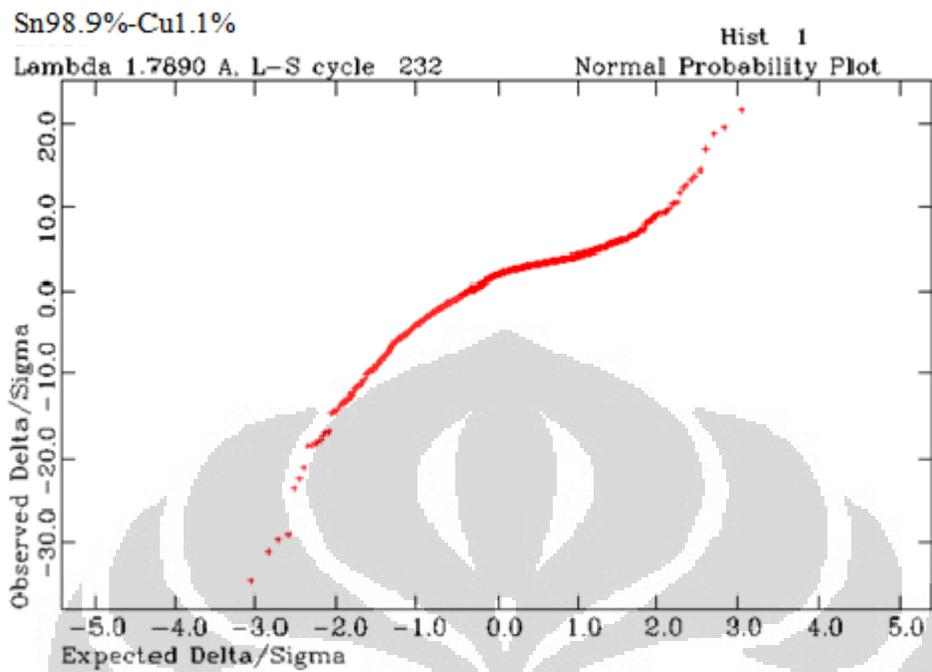


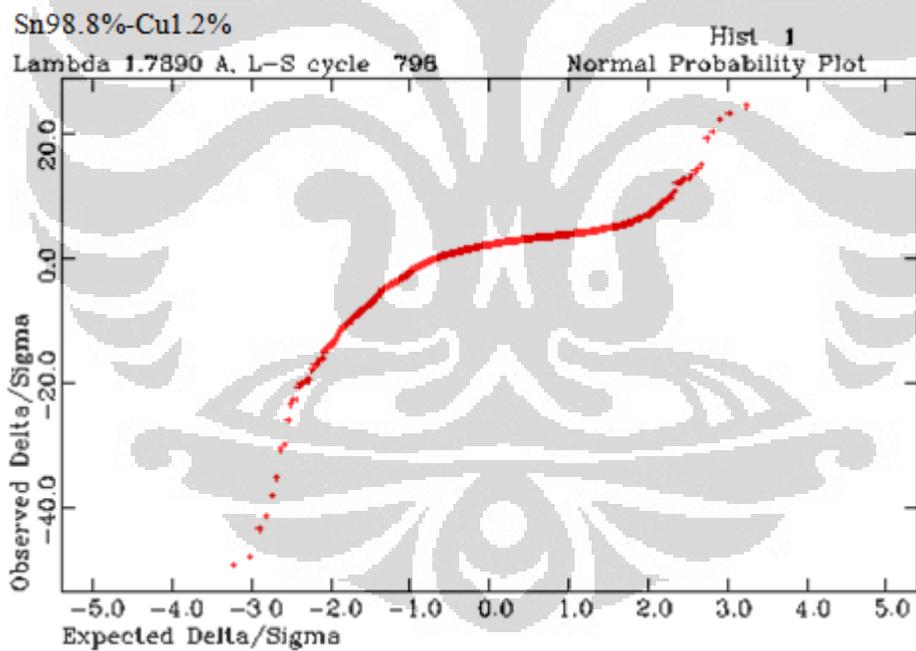
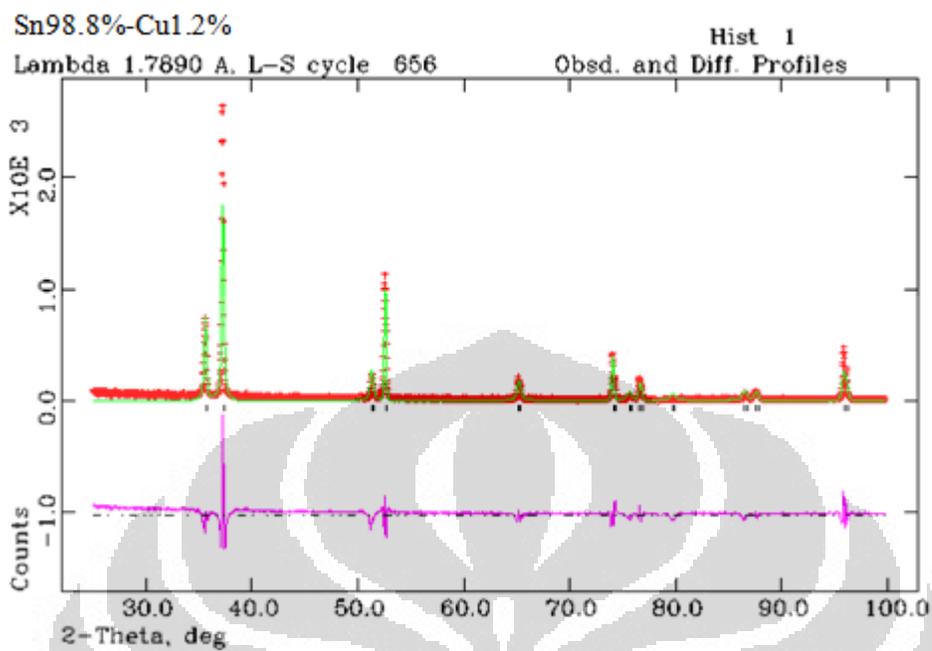
**d) Paduan Sn98.1%-Cu1.9%**

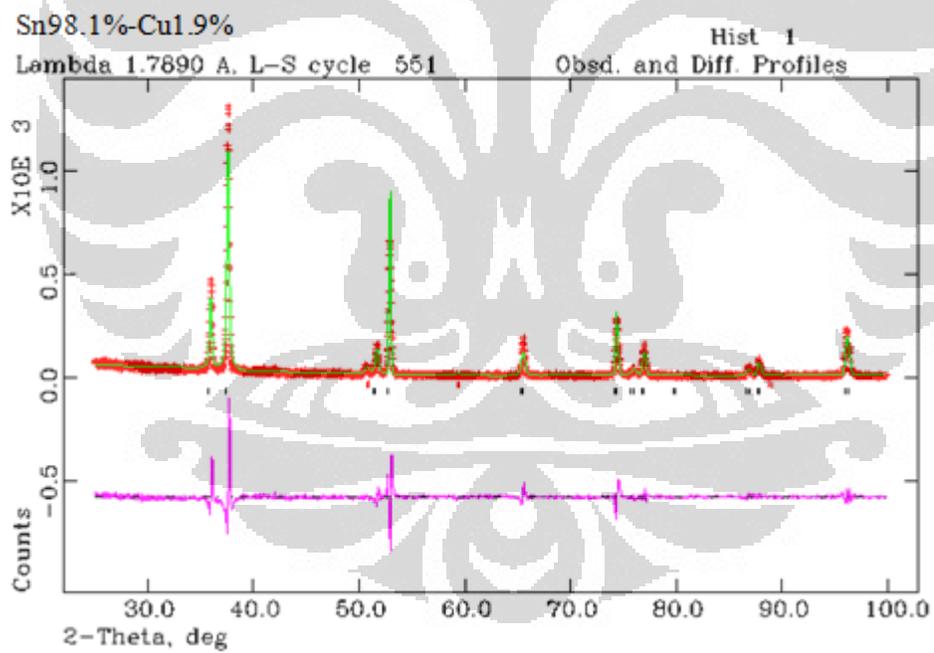
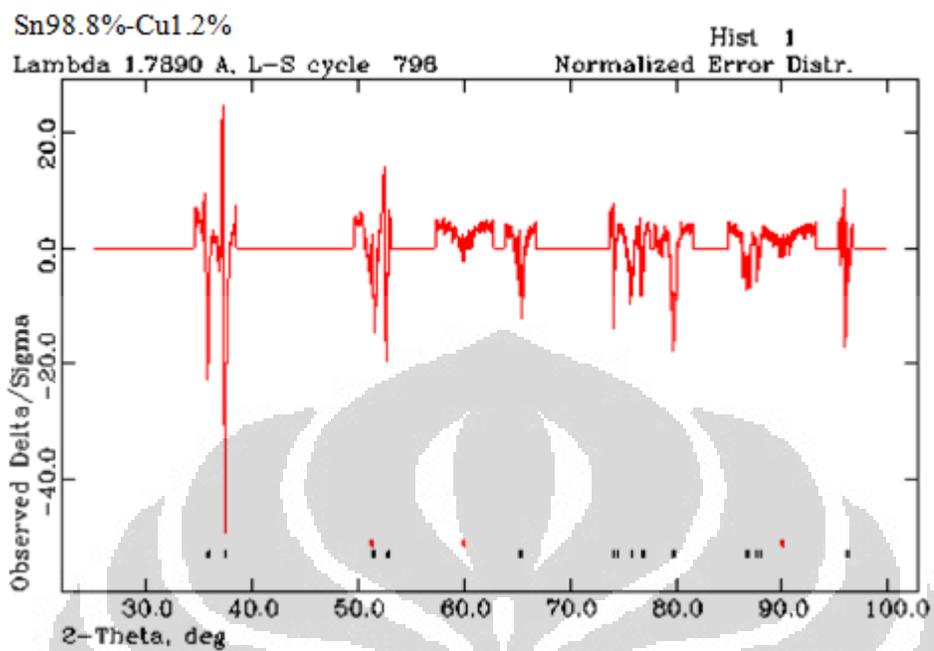
Gambar Hasil *refinement* menggunakan program GSAS

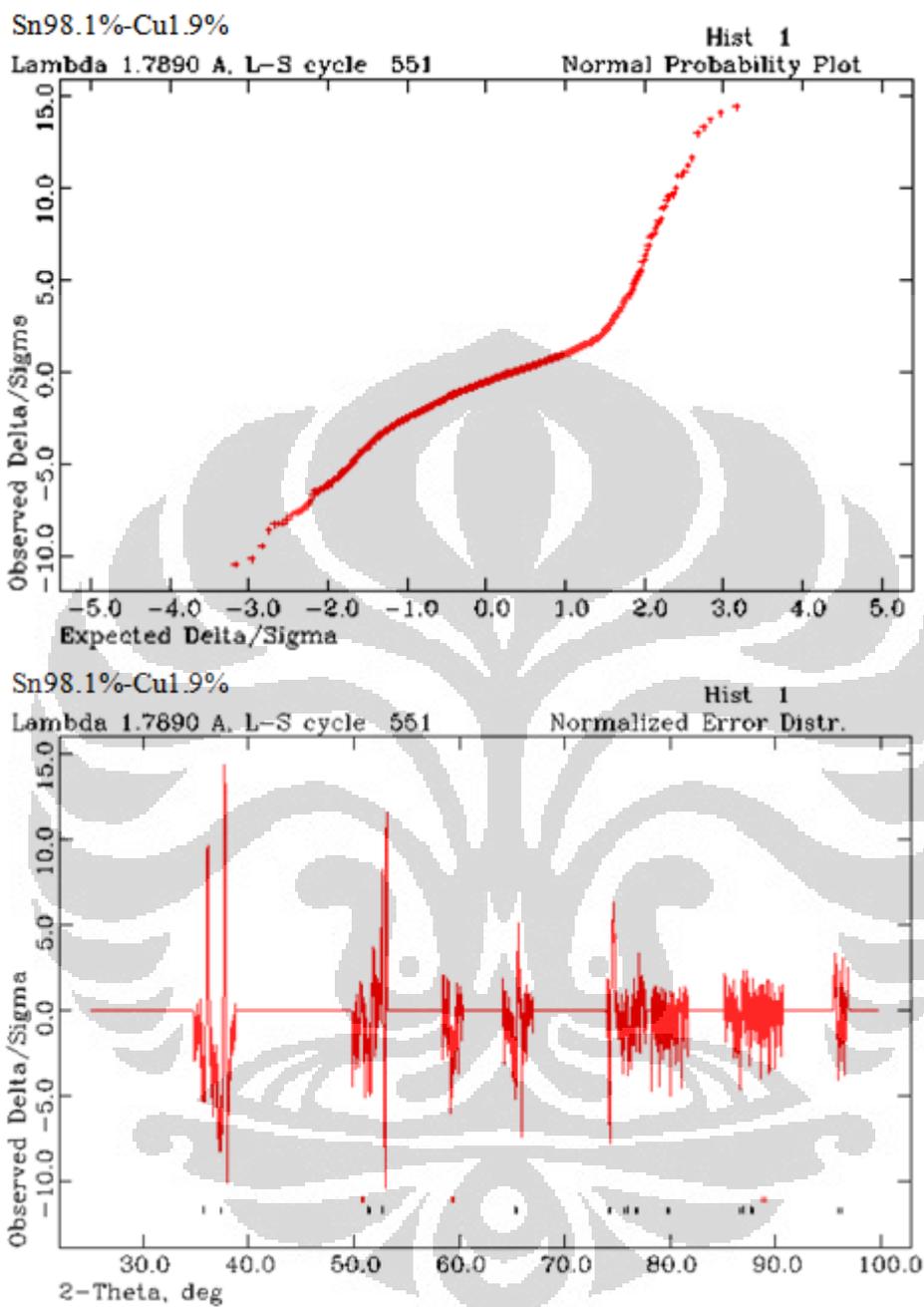












LAMPIRAN 3

Tabel penghitungan nilai hkl untuk masing-masing paduan.

a) Paduan Sn98,9%-Cu1.1%

No	Fasa	Struktur Kristal	Parameter Kisi (Angstrom)			dhkl	a/dhkl	h	k	l
			a	b	c					
1	Sn	Tetragonal	5.8269	5.8269	3.1791	2.92	2.00	2	0	0
						2.79	2.09	1	0	1
						2.06	2.83	2	2	0
						2.02	2.89	2	1	1
						1.66	3.52	3	0	1
						1.48	3.93	1	1	2
						1.46	4.00	4	0	0
						1.44	4.05	3	2	1
						1.29	4.47	4	2	0
1.20	4.84	3	1	2						

b) Paduan Sn98.9%-Cu1.1%

No	Fasa	Struktur Kristal	Parameter Kisi (Angstrom)			dhkl	a/dhkl	h	k	l
			a	b	c					
1	Sn	Tetragonal	5.8303	5.8303	3.1731	2.92	2.00	2	0	0
						2.79	2.09	1	0	1
						2.06	2.83	2	2	0
						2.02	2.89	2	1	1
						1.66	3.51	3	0	1
						1.48	3.93	1	1	2
						1.46	4.00	4	0	0
						1.44	4.04	3	2	1
						1.29	4.51	4	2	0
1.20	4.84	3	1	2						

c) Paduan Sn98.8%-Cu1.2%

No	Fasa	Struktur Kristal	Parameter Kisi (Angstrom)			dhkl	a/dhkl	h	k	l
			a	b	c					
1	Sn	Tetragonal	5.8288	5.8276	3.1783	2.92	2.00	2	0	0
						2.79	2.09	1	0	1
						2.06	2.83	2	2	0
						2.02	2.89	2	1	1
						1.66	3.52	3	0	1
						1.48	3.93	1	1	2
						1.46	4.00	4	0	0
						1.44	4.05	3	2	1
						1.29	4.47	4	2	0
1.20	4.84	3	1	2						

**d) Paduan Sn98.1%-Cu1.9%**

No	Fasa	Struktur Kristal	Parameter Kisi (Angstrom)			dhkl	a/dhkl	h	k	l
			a	b	c					
1	Sn	Tetragonal	5.8276	5.8276	3.1781	2.92	2.00	2	0	0
						2.79	2.09	1	0	1
						2.06	2.83	2	2	0
						2.02	2.89	2	1	1
						1.66	3.52	3	0	1
						1.48	3.93	1	1	2
						1.46	4.00	4	0	0
						1.44	4.05	3	2	1
						1.29	4.47	4	2	0
						1.20	4.84	3	1	2

Perhitungan nilai hkl dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut [34],

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2 (a^2/c^2)}} \quad (\text{L.1})$$

Dikarenakan untuk sistem kristal tetragonal nilai parameter kisi a dan c tidak sama, maka dalam persamaan diatas sedikit berbeda dibandingkan perhitungan nilai hkl untuk sistem kristal kubik.

## LAMPIRAN 4

### Linearisasi untuk penghitungan Crystallite size untuk masing-masing paduan

Crystallite size dihitung menggunakan rumus Debye-Schererr [34] yaitu,

$$B_{crystallite} = \frac{k\lambda}{L \cos \theta} \quad (L.2)$$

dimana B adalah FWHM (Full Width Half Maximum),  $\lambda$  adalah panjang gelombang dari sumber X-ray yang digunakan,  $\theta$  adalah sudut Bragg,  $L$  adalah *crystallite size* rata-rata dan  $k$  adalah konstanta (biasanya  $\approx 0.9$ ). Dikarenakan nilai pelebaran  $B$  (broadening) dipengaruhi juga oleh *lattice strain* yang direpresentasikan oleh persamaan,

$$B_{strain} = \eta \tan \theta \quad (L.3)$$

dengan  $\eta$  adalah *strain* didalam material. Sehingga untuk nilai pelebaran dari puncak difraksi  $B_r$  (setelah dikurangi efek pelebaran instrumentasi) menjadi,

$$B_r \cos \theta = \frac{k\lambda}{L} + \eta \sin \theta \quad B_r = B_{crystallite} + B_{strain} \quad (L.4)$$

Maka dari persamaan (L.2) dan (L.3) maka didapatkan,

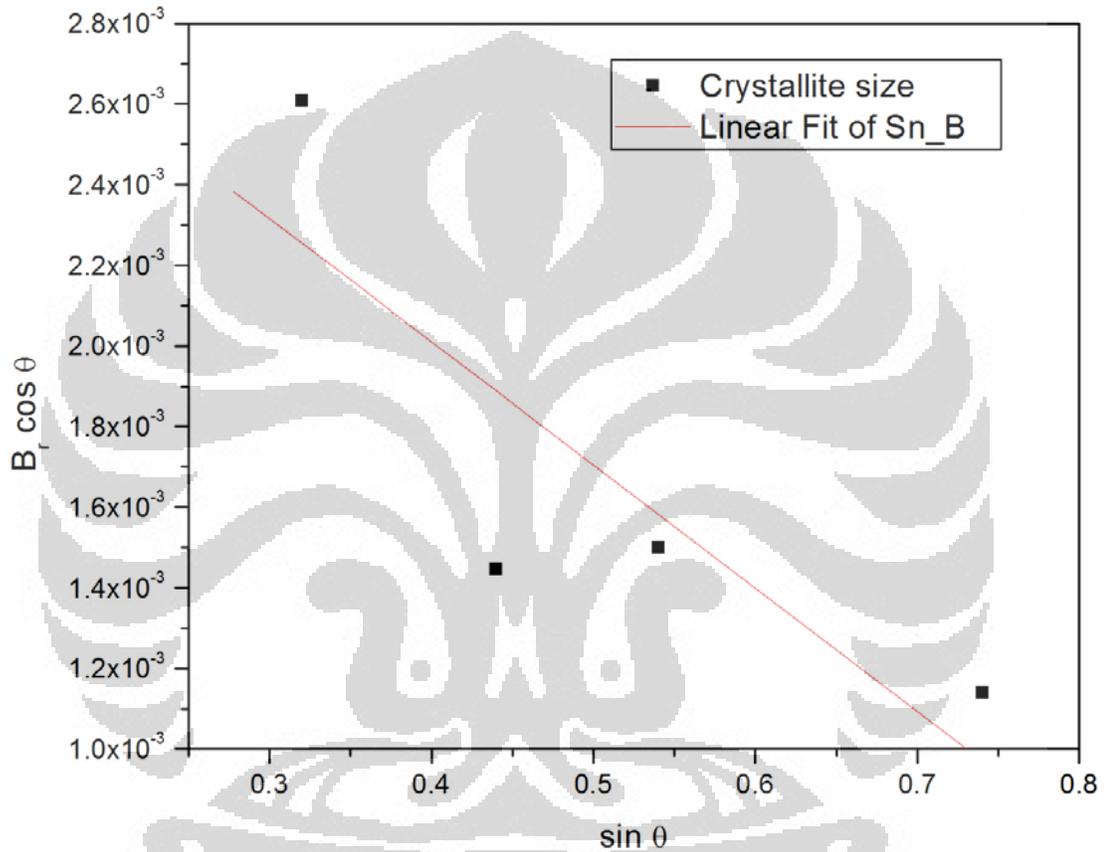
$$B_r = \frac{k\lambda}{L \cos \theta} + \eta \tan \theta \quad (L.5.a)$$

membagi persamaan (L.5.a) dengan  $\cos \theta$  maka persamaannya menjadi,

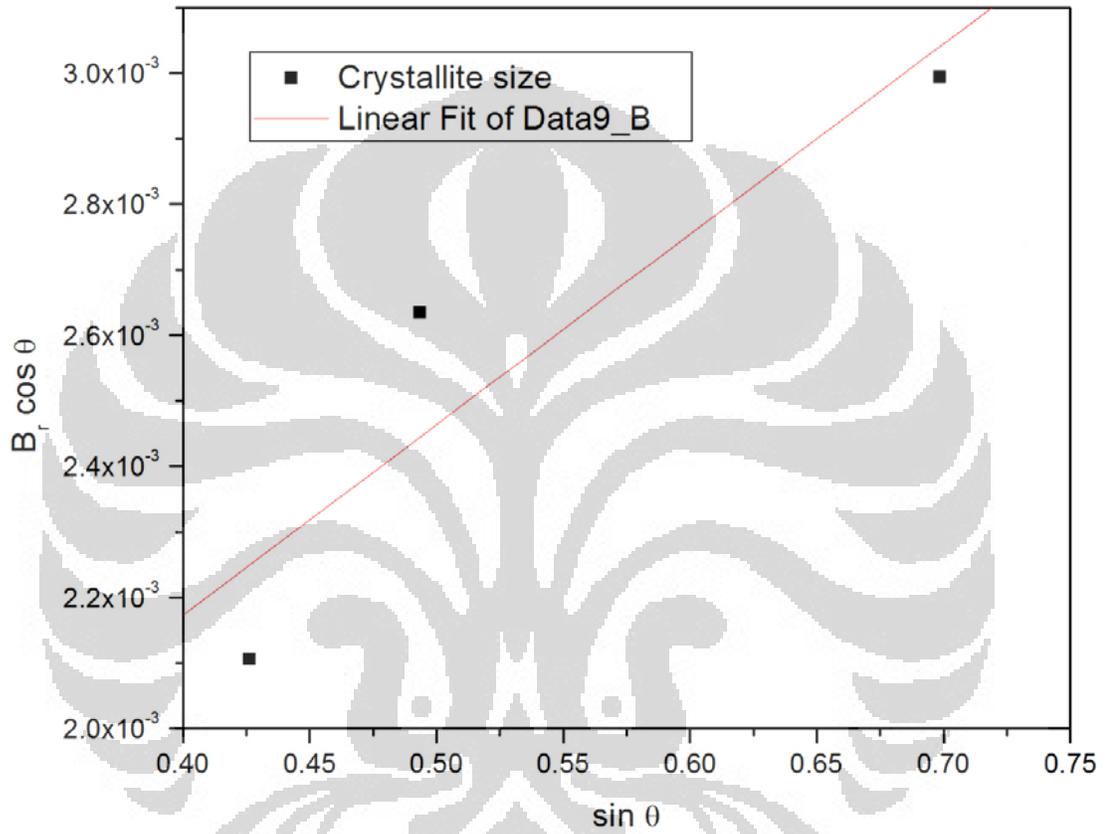
$$B_r \cos \theta = \frac{k\lambda}{L} + \eta \sin \theta \quad (L.5.b)$$

Dengan memplot  $B_r \cos \theta$  terhadap  $\sin \theta$  maka akan didapatkan suatu persamaan linear yaitu nilai garis singgung maka akan didapatkan nilai untuk  $\frac{k\lambda}{L}$  yang digunakan untuk mencari nilai *crystallite size*.

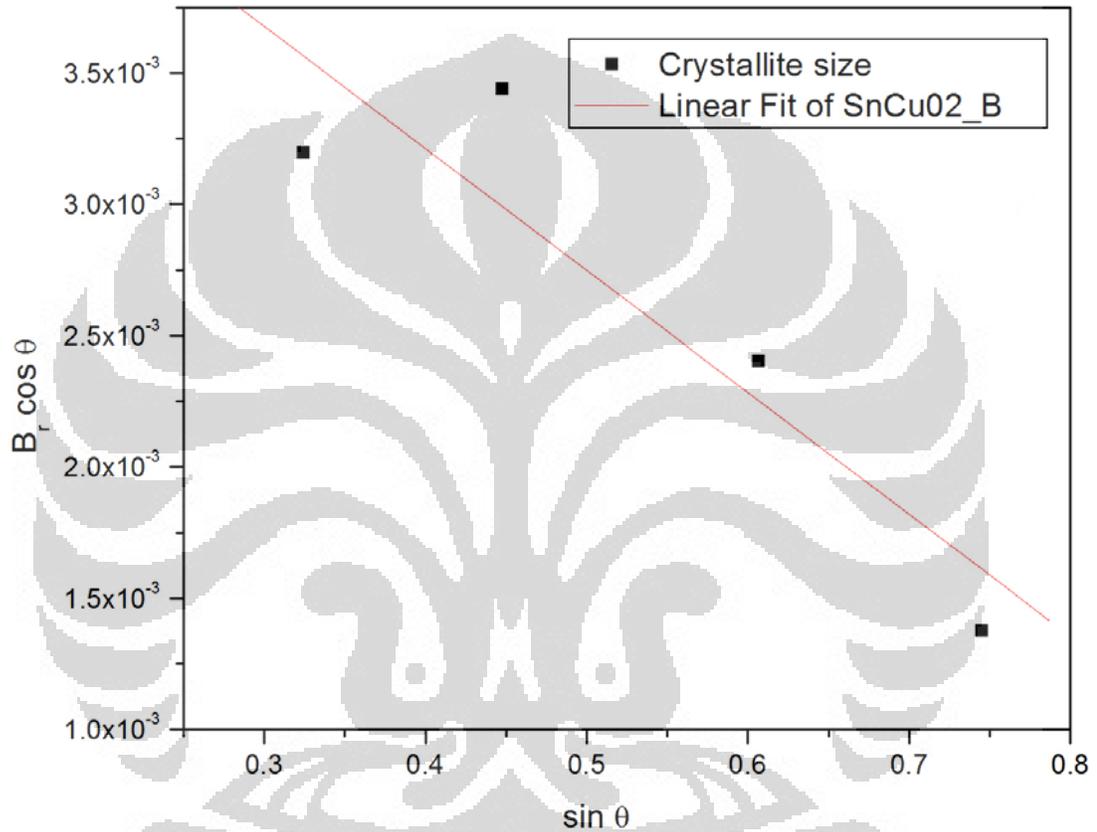
Material: Sn Murni		Radiasi: Co K $\alpha$		$\lambda = 0.17889$ nm		
peak #	$2\theta(^{\circ})$	$\sin\theta$	hkl	$B_0(^{\circ})$	$B_0(\text{rad})$	$B_r \cos\theta$
1	37.39	0.32	101	0.18	0.0031	0.0030
2	52.69	0.44	211	0.14	0.0024	0.0022
3	65.31	0.54	301	0.10	0.0017	0.0015
4	95.95	0.74	312	0.12	0.0021	0.0014



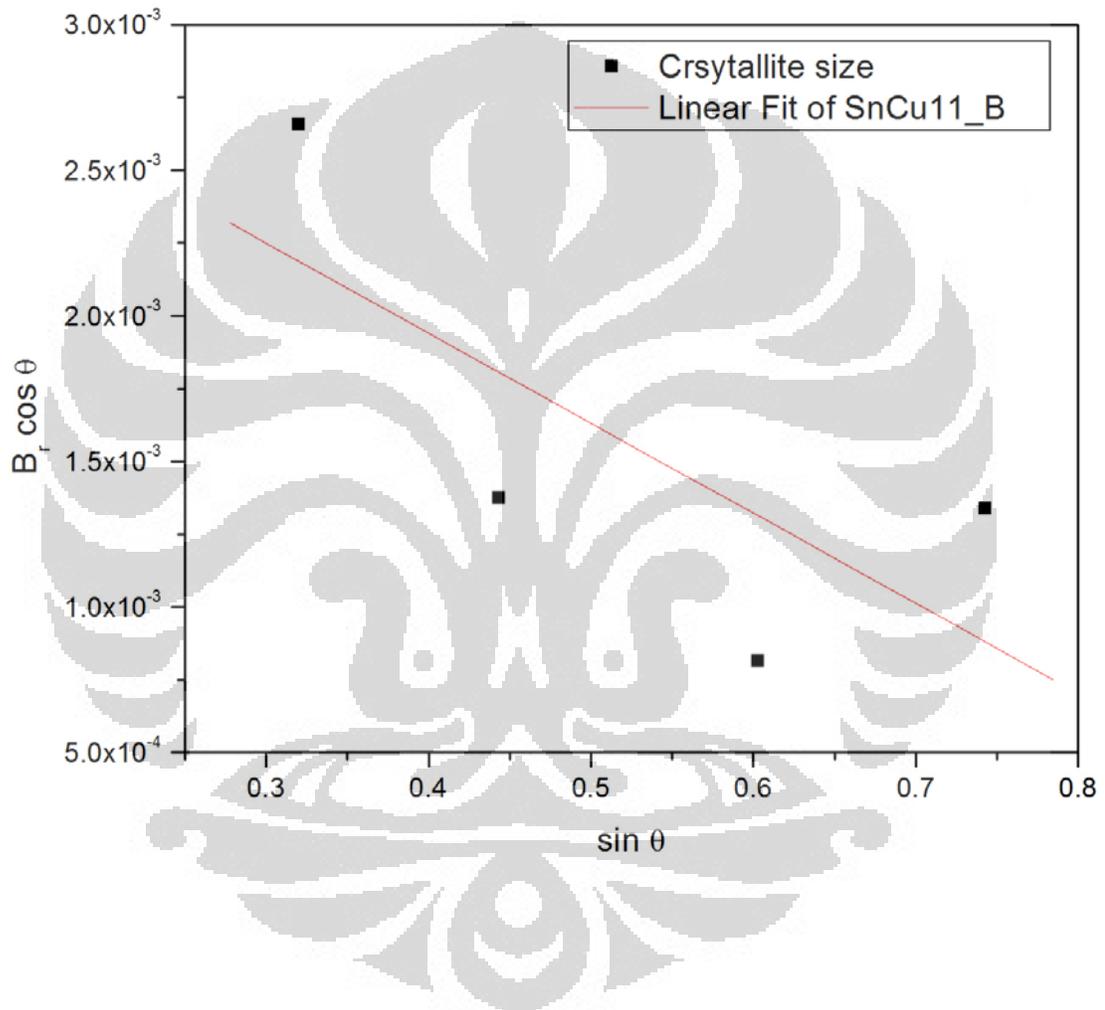
Material: Cu Murni		Radiasi: Co K $\alpha$		$\lambda = 0.17889 \text{ nm}$		
peak #	$2\theta(^{\circ})$	$\sin\theta$	hkl	$B_0(^{\circ})$	$B_0(\text{rad})$	$B_r \cos\theta$
1	50.46	0.43	111	0.18	0.0031	0.0028
2	59.12	0.49	200	0.22	0.0038	0.0033
3	88.63	0.70	220	0.16	0.0028	0.0020



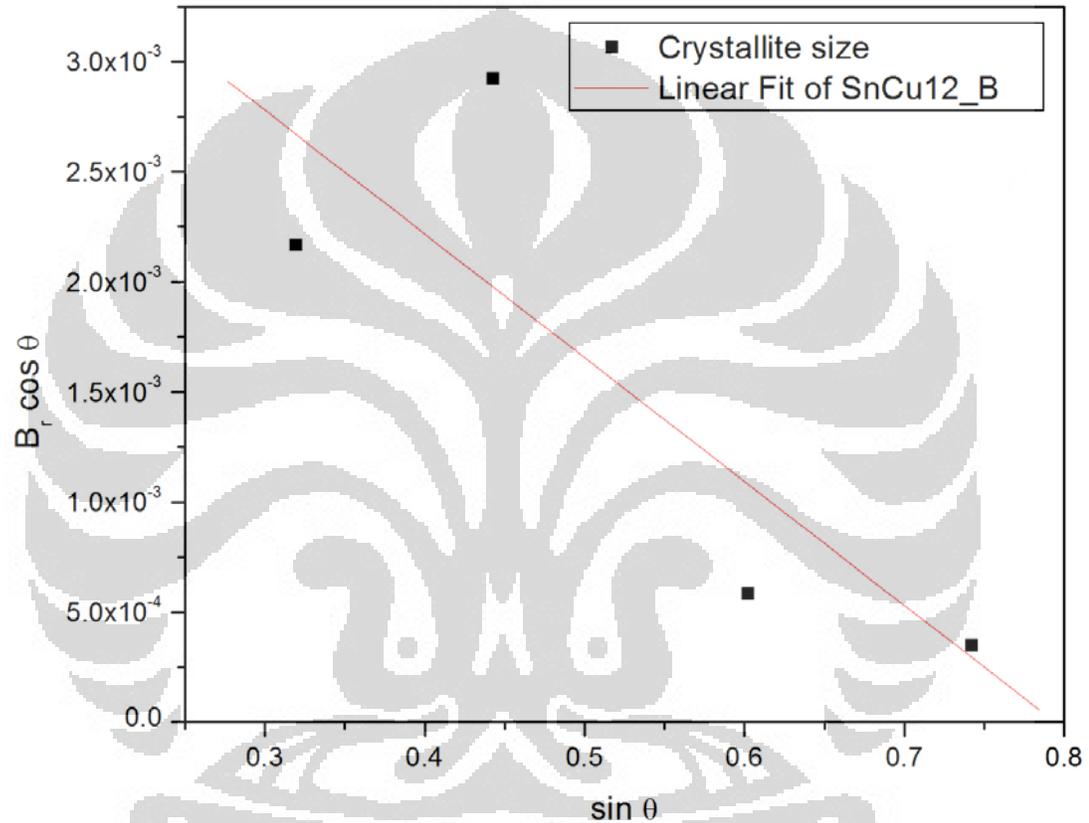
Material: Sn99.8%-Cu0.2%		Radiasi: Co K $\alpha$		$\lambda = 0.17889$ nm		
peak #	$2\theta(^{\circ})$	$\sin\theta$	hkl	$B_0(^{\circ})$	$B_0(\text{rad})$	$B_r \cos\theta$
1	37.84	0.32	101	0.08	0.0014	0.0013
2	53.20	0.45	211	0.08	0.0014	0.0012
3	74.67	0.61	112	0.12	0.0021	0.0017
4	95.34	0.75	312	0.10	0.0017	0.0012



Material: Sn98.9%-Cu1.1%		Radiasi: Co K $\alpha$		$\lambda = 0.17889$ nm		
peak #	$2\theta(^{\circ})$	$\sin\theta$	hkl	$B_0(^{\circ})$	$B_0(\text{rad})$	$B_r \cos\theta$
1	37.34	0.32	101	0.18	0.0031	0.0030
2	52.63	0.44	211	0.10	0.0017	0.0016
3	74.13	0.60	112	0.10	0.0017	0.0014
4	95.91	0.74	312	0.14	0.0024	0.0016



Material: Sn98.8%-Cu1.2%		Radiasi: Co K $\alpha$		$\lambda = 0.17889 \text{ nm}$		
peak #	$2\theta(^{\circ})$	$\sin\theta$	hkl	$B_0(^{\circ})$	$B_0(\text{rad})$	$B_r \cos\theta$
1	37.25	0.32	101	0.16	0.0028	0.0026
2	52.54	0.44	211	0.1	0.0017	0.0016
3	74.05	0.60	112	0.12	0.0021	0.0017
4	95.86	0.74	312	0.12	0.0021	0.0014



Material: Sn98.1%-Cu1.9%		Radiasi: Co K $\alpha$		$\lambda = 0.17889$ nm		
peak #	$2\theta(^{\circ})$	$\sin\theta$	hkl	$B_0(^{\circ})$	$B_0(\text{rad})$	$B_r \cos\theta$
1	37.67	0.32	101	0.26	0.0045	0.0043
2	52.92	0.45	211	0.26	0.0045	0.0041
3	74.39	0.60	112	0.06	0.0010	0.0008
4	96.08	0.74	312	0.16	0.0028	0.0019

