



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH LOGAM Cu TERHADAP STRUKTUR MIKRO
DAN KAPASITAS PANAS MATERIAL SOLDER Sn-Cu**

TESIS

**BERNADETTE HERMA NURHATI
0706304744**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI ILMU MATERIAL
SALEMBA
2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Bernadette Herma Nurhati

NPM : 0706304744

Tanda tangan :

Tanggal : 29 Mei 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh

Nama : Bernadette Herma Nurhati
NPM : 0706304744
Program Studi : Ilmu Material
Judul Tesis : Pengaruh Cu terhadap Struktur Mikro dan Kapasitas Panas Material Solder Sn Cu

Telah berhasil dipertahankan di hadapan dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Science pada Program Studi Material Science, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Bambang Soegijono ()

Penguji : Dr. Muhammad. Hikam ()

Penguji : Dr. Budhy Kurniawan ()

Penguji : Dr. Azwar Manaf, M.Met ()

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal : 29 Mei 2010

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Bernadette Herma Nurhati
NPM : 0706304744
Program Studi : Ilmu Material
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis karya : Tesis

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

Pengaruh Cu terhadap Struktur Mikro dan Kapasitas Panas Material Solder Sn-Cu

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat di : Jakarta
Pada tanggal : 7 Mei 2010

Yang menyatakan

(Bernadette Herma Nurhati)

UCAPAN TERIMA KASIH

To GOD be the glory. Berkat kemurahan hati Yesus dan bunda Maria, segala proses pembuatan tesis ini dapat selesai. Bersyukur untuk waktu, kesempatan dan kekuatan yang dianugerahkan Yesus kepada penulis . Di balik proses penelitian dan penulisan tesis ini, ada orang – orang istimewa yang sungguh setia membimbing, membantu, memberi semangat dan mendoakan. Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Bambang Soegijono selaku pembimbing utama dan Ketua Program studi Ilmu Material yang selalu siap sedia membimbing, mengarahkan, bertukar pikiran dan memfasilitasi penggunaan instrumen untuk proses karakterisasi material penelitian.
2. Para dosen pengajar di program pascasarjana Ilmu Material yang telah mentransfer ilmu yang amat berharga dan memberi inspirasi.
3. Para dosen penguji : Dr. Muhammad Hikam, Dr. Budhy Kurniawan dan Dr. Azwar Manaf, M.Met yang telah bersedia memberi masukan dan koreksi untuk tesis ini.
4. Para staf tata usaha Ilmu Material yang senantiasa membantu dalam proses administrasi: mbak Lilik, mbak Siti, pak Suroto, Juga mas Eko yang selalu menunggu hingga matahari terbenam.
5. Papa dan mama yang terkasih, Stefanus Herman dan Maria Karundeng yang telah berjasa luar biasa. Memberi dukungan doa, semangat dan kasih tak berkesudahan. Papa dan mama sungguh adalah seluruh hidupku. Berkat Tuhan diberikan melalui doa dan karya papa dan mama.
6. Teman-teman matsci 2008. Pak Jan dengan keahlian GSAS nya, literatur e-book dan grafik-grafiknya. Kawan seperjuanganku Rahma dengan grafik kapasitas panas DSC. Bu ema yang rajin (jangan stres lagi ya,bu...). Pak Nendar (tetap semangat...). Pak Jonny , pak Heru, pak Hendro, Dhewa, Nandang, mas Tri, mas Ferry, Dizi dan Feti. Jangan lupa pake jaketnya dikala udara dingin atau sedang rindu ruang kuliah. Miss u all..... frends forever....

7. Hafiz untuk grafik-grafiknya dan GSASnya (we are a good team. Engga kapok, kan?)
8. Para suster di komunitas Bunda Pemersatu Gedono Salatiga. Doa-doanya benar-benar menguatkan.
9. Sohib-sohibku : mbak Siwi yang menemani di waktu- waktu begadang, Swandi Barus yang membuat kata pengantar begitu filosofisnya, pak Pras (terima kasih untuk doa dan ijin-ijin yang diberikan. Maaf sudah bener-bener merepotkan), dan mbak Yayuk.
10. Rekan-rekan lain yang tidak mungkin disebutkan satu persatu.

Sungguh bahagia dapat memiliki banyak orang istimewa dan sahabat dalam hidup ini. Tuhan senantiasa memberkati.

Jakarta, 22 Mei 2010

Penulis

ABSTRAK

Nama : Bernadette Herma Nurhati
Program Studi : Ilmu Material
Judul : Pengaruh logam Cu terhadap Struktur Mikro dan Kapasitas Panas Material Solder Sn-Cu

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan dan karakterisasi sampel Sn - Cu menggunakan XRF, XRD dan SEM. Penentuan kapasitas panas sebagai fungsi temperatur $C_p(T)$ dari material solder Sn - Cu menggunakan alat uji DSC dari suhu 31° C hingga 400 °C dan laju 5 °C/menit. Material solder Sn - Cu pada penelitian ini berasal dari unsur-unsur murninya yang dicampur, digerus dengan mortar sekitar 10 menit dan kemudian dilebur pada suhu sekitar 700 °C selama 10 sampai 15 menit. Persen berat Cu dibanding Sn yang digunakan adalah 0,2 %, 1,1%, 1,2 % dan 1,9%. Kapasitas panas paduan logam Sn - Cu sebagai fungsi temperatur sebagai berikut : $C_p(T) = a + bT + cT^2$ J/mol. K. Dimana a, b dan c adalah konstanta yang tergantung pada jenis material. Hasil menunjukkan bahwa dengan kenaikan Cu, menurunkan kapasitas panas sampel Sn - Cu dan cenderung menghambat pertumbuhan Kristal Sn.

Kata kunci :
Material solder Sn-Cu, Kapasitas panas

ABSTRACT

Name : Bernadette Herma Nurhati
Study Program : Material Science
Title : The Influence of Cu to The Microstructure and Heat Capacity of Soldering Material Sn-Cu

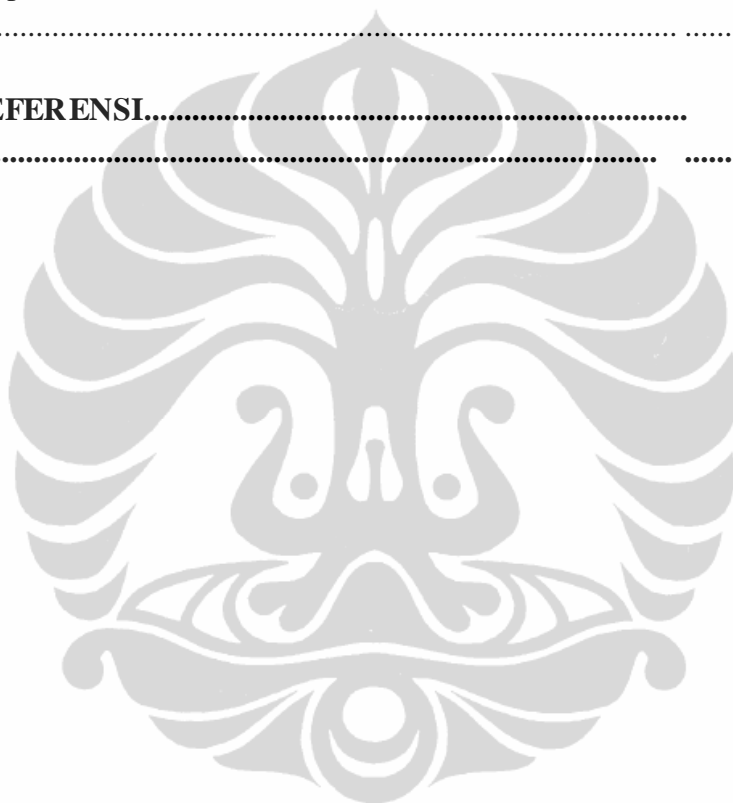
This experiment focusing on making and characterizing sample Sn - Cu by using XRF, XRD and SEM. Measuring the heat capacity $C_p(T)$ by using DSC at temperature 31° C to 400 °C and the heat flow 5 °C/minute. Soldering material that is used in this experiment made from its pure material, blended and grinded using mortar for approximately 10 minutes and then heated to 700 °C for approximately 10 to 15 minutes. The sample consist of 0,2%, 1,1% , 1,2% and 1,9% weight of Cu. The heat capacity of the sample can be calculated by the formula $C_p(T) = a + bT + cT^2$ J/mol. Where a, b and c are the constants according to each material. The result of thid experiment shows that the addition of copper to each SnCu sample may lower the melting temperature, heat capacity and tendence to inhibit the crystal size of Sn.

Key words:
Sn - Cu soldering material, Heat Capacity

DAFTAR ISI

HALAMAN ORISINALITAS.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	v
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vii
ABSTRAK.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Hipotesa Penelitian.....	3
1.5. Batasan Penelitian.....	3
1.6. Sistematika Penulisan.....	3
2. TINJAUAN LITERATUR.....	5
2.1. Sifat Fisik dan Thermal Material Solder Sn – Cu Eutectic	9
2.2. Pola Difraksi Sn – Cu.....	10
2.3. Mikrografi Sn – Cu Eutectic.....	13
2.4. Karakteristik Thermal Paduan Sn.....	16
2.5. Diagram Fasa Sn – Cu.....	18
3. METODE PENELITIAN.....	21
3.1. Diagram Alir Penelitian.....	21
3.2. Variasi Paduan Sn – Cu.....	21
3.3. Material.....	22
3.4. Proses Pembuatan.....	22
3.4.1. Karakterisasi Sampel	23
3.4.2. Karakterisasi dengan Menggunakan XRD (X-Ray Diffractometer).....	23
3.4.3. Karakterisasi dengan Menggunakan XRF (X-Ray Flouresence).....	23
3.4.4. Karakterisasi dengan Menggunakan DSC (Differential Scanning Calorimeter).....	24
3.4.5. Karakterisasi dengan Menggunakan SEM (Scanning Electron Microscope)	26
3.4.6. Bahan dan Alat Penunjang Lainnya	27

4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	28
4.1. Hasil Uji XRF untuk Perbandingan Komposisi Sn – Cu.....	28
4.2. Hasil Uji XRD pada Sampel.....	29
4.3. Ukuran Kristalit.....	36
4.4. Paramater Unit Sel.....	42
4.5. Hasil Uji dengan SEM.....	46
4.6. Kapasitas Panas.....	47
5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	59
5.1. Kesimpulan.....	59
5.2. Saran.....	60
DAFTAR REFERENSI.....	61
LAMPIRAN.....	63



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Material solder Sn – Pb telah banyak digunakan secara luas dalam industri elektronik sejak lama. Material solder Sn – Pb mempunyai keunggulan yang antara lain harga yang murah, sifat-sifat soldering yang baik, melting temperatur yang sesuai, berpadu dengan sifat fisik, mekanik dan resistensi terhadap fatigue yang baik (Lee, 2007). Komposisi material solder di pasaran yang mengandung Pb adalah 63 Sn – 37 Pb dalam satuan persen berat (wt%). Komposisi persen berat Pb 37% dipilih karena pada komposisi itu menurut diagram fasa, Sn – Pb berada pada titik eutectic.

Sifat Pb yang toksik menjadi alasan yang kuat bagi Negara Uni Eropa untuk menerbitkan peraturan Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) yang melarang penggunaan bahan solder Sn – Pb mulai tahun 2006 (Yanfu, Lifang, Keke & Jiuba, 2007). Akibatnya, material solder yang mengandung Pb dilarang digunakan pada pipa air, kaleng untuk makanan dan minuman, industri automobil. Industri elektronik pun berusaha mencari material solder bebas Pb sebagai pengganti material solder Sn-Pb yang selama ini digunakan. Karena sampah elektronik berpotensi besar dalam pencemaran tanah.

Ada banyak jenis paduan logam yang sudah dibuat untuk menggantikan material solder Sn – Pb eutectic. Paduan logam itu misalnya Sn - 58 Bi eutectic, Sn – Zn – Bi system, Sn – 0,7Cu eutectic alloy, Sn – 3,5Ag eutectic alloy, Sn – Ag – Cu sistem, dan masih banyak yang lainnya (Handwerker, Kattner, Moon, Bath, Bradley & Snugovsky, 2007). Dan banyak diantaranya yang telah dipatenkan oleh Amerika dan Jepang. Dibandingkan material solder Sn – Pb, material solder yang bebas Pb pada umumnya memiliki persen berat Sn yang lebih besar (rich tin).

Jika dibandingkan dengan material solder Sn – Pb , Lee (2007) menuliskan bahwa material solder bebas Pb yang akan digunakan sebagai alternatif harus memenuhi kriteria sebagai berikut :

1. Mempunyai melting temperatur mirip dengan material solder Sn – Pb, yaitu 183 °C;
2. Komposisi paduan logamnya tidak lebih dari tiga macam (ternary composition);
3. Sifat – sifat fisik yang baik;
4. Resisten terhadap *fatigue*;
5. Komposisinya berada pada titik eutectic atau dekat titik eutectic;
6. Dapat diproduksi dalam berbagai bentuk, misalnya pasta, powder, pita (ribbon), kawat (wire) dan lain-lainnya sesuai kebutuhan;
7. Relatif tidak beracun (non toxic);
8. Kompatibel dengan sistem liquid flux yang sudah ada;
9. Murah.

Penelitian tentang material solder bebas Pb sebagai alternatif pengganti material solder Sn – Pb pertama-tama didasarkan pada titik leleh (melting point) pada paduan logam yang akan dibuat. Dan biasanya diambil pada titik eutectic pada diagram fasa setiap paduan logam.

Paduan logam Sn – 0,7 Cu pada titik eutectic memiliki melting temperatur pada 227 °C (Carol et.al, 2007). Keuntungan utama pada paduan logam ini adalah harganya yang termurah dibanding dengan material solder bebas Pb yang lainnya. Oleh sebab itu, Handwerker, Kattner, Moon, Bath, Bradley & Snugovsky (2007) berpendapat paduan logam ini berpotensi besar sebagai alternatif pengganti material solder Sn - Pb dalam proses *wave soldering dan reflow soldering* . Wave soldering adalah proses pensolderan dalam skala besar dimana komponen elektronik disolder pada suatu PCB untuk membentuk suatu rangkaian elektronik.

Dalam penelitian ini, akan dilakukan pembuatan dan karakterisasi material Sn – Cu dengan XRF dan XRD, pengamatan perubahan titik lebur pada tiap variasi sampel dengan uji DSC dan menghitung ukuran kristalit.

1.2. Perumusan Masalah

Pada penelitian ini, akan dibahas tentang bagaimana pengaruh penambahan Cu terhadap struktur mikro dan terhadap kapasitas panas (C_p) suatu material solder Sn – Cu.

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Pembuatan dan karakterisasi material solder Sn – Cu
2. Mengamati perubahan titik lebur pada tiap variasi sampel
3. Mengamati perubahan ukuran Kristal
4. Menghitung kapasitas panas C_p

1.4. Hipotesa Penelitian

Penambahan Cu akan mempengaruhi ukuran kristalit, titik lebur dan kapasitas panas pada paduan Sn – Cu.

1.5. Batasan Penelitian

Pada penelitian ini akan membahas tentang pengaruh penambahan Cu terhadap titik lebur dan ukuran kristal pada material solder Sn dengan komposisi persen massa Sn $100-x$ Cu $_x$ (wt%) dimana variasi harga $x = 0,2$, $x = 1,1$, $x = 1,2$ dan $x = 1,9$.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tesis ini adalah sebagai berikut :

Bab 1 menjelaskan tentang latar belakang permasalahan, perumusan masalah, tujuan penelitian, hipotesa penelitian dan batasan penelitian.

Bab 2 menjelaskan tentang tinjauan pustaka yang berisi teori dasar yang dipergunakan dalam penelitian ini

Bab 3 menjelaskan tentang metode eksperimen, yaitu prosedur yang dilakukan dalam eksperimen

Bab 4 menjelaskan tentang analisa dan pembahasan mengenai hasil eksperimen

Bab 5 menjelaskan tentang kesimpulan dan saran dari hasil penelitian dan hasil teoritis



BAB 2 TINJAUAN LITERATUR

Solder yang mengandung Pb, terutama Sn-Pb telah lama digunakan secara luas di bidang industri. Alasan utamanya adalah karena harganya yang murah, sifat solder yang baik, temperturnya yang sesuai. Namun perlu diperhatikan juga bahwa unsur Pb merupakan unsur yang beracun terhadap lingkungan dan terutama terhadap manusia. Sehingga dibutuhkan material lain sebagai pengganti Pb yang terkandung dalam material solder yang telah ada.

Antara tahun 1991-2003, di Amerika, Uni Eropa dan Jepang membentuk tim riset untuk mempelajari tentang material solder bebas Pb sebagai alternatif pengganti material solder Sn – Pb *eutectic* yang sekarang banyak digunakan.

Ada banyak unsur yang dapat digunakan sebagai pengganti Pb. Pada tabel 2.1 berikut ini dicantumkan unsur-unsur yang memiliki titik leleh rendah yang dapat digunakan sebagai pengganti Pb dalam material solder .

Tabel.2.1. Unsur-unsur dengan titik leleh rendah yang ditambahkan pada Sn
(Lee,2007)

Unsur	Wt %	<i>Solidus</i> <i>range °C</i>	<i>Liquidus</i> <i>range °C</i>	Toksisitas	Harga	Ketersediaan
Bi	0 – 100	138	138 – 270	Tidak	Cukup	Cukup
Cd	0 – 100	188	177 - 320	Tinggi	Cukup	Cukup
In	0 – 100	117 - 150	117 - 232	Tinggi	Menengah	Sedikit
Zn	0 -90	198	198 - 400	Tidak	Murah	Cukup banyak
Au	0 – 82	218 -	218 -	Tidak	Sangat	Sedikit

		310	400		Mahal	
Tl	0 – 100	165	165 - 300	Sangat tinggi	Tidak diketahui	Sedikit
Ga	0 – 100	18	18 - 232	Tidak	Mahal	Sedikit
Hg	0 - 100	140	140 - 232	Sangat tinggi	Mahal	Sedikit

Selain unsur-unsur yang tercantum dalam tabel 2.1 di atas, pada tabel 2.2 berikut ini dicantumkan beberapa unsur yang dapat juga ditambahkan ke dalam Sn sebagai material solder. Akan tetapi, wt% unsur-unsur yang terdapat dalam tabel 2.2 jauh lebih kecil dibandingkan dengan wt% unsur-unsur dalam tabel 2.1. Fungsi semua unsur dalam kedua tabel itu adalah menurunkan titik lebur Sn.

Tabel 2.2. Unsur-unsur ditambahkan pada Sn dalam jumlah sedikit (Lee, 2007)

Unsur	Wt%	<i>Solidus temp °C</i>	<i>Liquidus temp °C</i>	Toksistas	Harga	Ketersediaan
Ag	10	221	221-300	Tidak	Mahal	Cukup
Cu	3	227	227-320	Tidak	Murah	Tinggi
Sb	5	232-236	236-240	Tidak	Cukup	Melimpah

Tabel 2.3 berikut ini adalah semua paduan logam (alloy) yang telah diteliti sebagai alternatif pengganti material solder Sn – Pb

Tabel 2.3. Alloy pengganti Sn – Pb *eutectic* (Lee, 2007)

Alloy	Komposisi	<i>Solidus</i> (°C)	<i>Liquidus</i> (°C)	Catatan	Density	Peneliti
Sn – Pb	63 Sn-37 Pb	183	183	eutectic	8,40	
Au – Sn	80 Au-20 Sn	280	280	eutectic	14,51	
Bi – Cd	60 Bi-40 Cd	144	144	eutectic	9,31	Indium

Bi – In	67 Bi-33 In	109	109	eutectic	8,81	Indium
Bi-In-Sn	57Bi-26In-17Sn	79	79	eutectic		
Bi – Sn	58 Bi-42 Sn	138	138	eutectic	8,56	
	95 Bi-5 Sn	134	251		9,64	Indium
Bi-Sn-Fe	54.4 Bi-43 Sn- 2.5 Fe		137			AT&T
Bi-Sn-In	56Bi-42Sn-2In		138			IBM
Bi-Sb	95 Bi-5 Sb	~275	~308			Ford
In – Ag	97 In-3 Ag	143	143	eutectic	7,38	Indium
	90 In-10 Ag	141	237		7,54	Indium
In-Bi-Sn	48.8 In-31.6 Bi- 19.6 Sn	59	59	eutectic		
	51.0 In-32.5 Bi- 16.5 Sn	60	60	eutectic	7,88	Indium
In – Sn	60 In-40 Sn	118	~127			
	52 In-48 Sn	118	118	eutectic	7,30	Indium
	50 In-50 Sn	118	125		7,30	Indium
Sn	100 Sn	232	232		7,28	Indium
Sn – Ag	96.5 Sn-3.5 Ag	221	221	eutectic	7,36	Indium
	95 Sn-5 Ag	221	~250			
Sn-Ag- Cu	93.6 Sn-4.7 Ag- 1.7 Cu	216	216	eutectic		Iowa
Sn-Ag- Cu-Sb	96.2 Sn-2.5 Ag- 0.8 Cu-0.5 Sb	210	217			AIM (CASTIN)
Sn-Ag- Sb	65 Sn-25 Ag- 10 Sb		233			Motorola
Sn – Ag- Zn	95.5Sn-3.5Ag- 1.0Zn		217			AT&T
Sn- Ag- Zn-Cu	95 Sn-3.5 Ag- 1.0 Zn-0.5 Cu					AT&T
Sn-Bi-	91.8 Sn-4.8 Bi-		211			Sandia

Ag	3.4 Ag					
Sn-Bi- Ag-Cu	91.0 Sn-4.5 Bi- 3.5 Ag- 1.0 Cu		210			Senju
Sn-Bi- Cu-Ag	48 Sn-46 Bi- 4.0 Cu- 2.0 Ag					IBM
Sn-Bi- Cu-Ag-P	Bi0.08-20, Cu0.02-1.5,Ag 0.01-1.5,P0- 0.20,campuran rare earth0- 0.2, sisanya Sn					Cookson
Sn – Cd	67.8 Sn- 32.2Cd	177	177	eutectic	7,68	Indium
Sn - Cu	99.3 Sn- 0.7 Cu	227	227			
	99 Sn- 1.0 Cu	227	227	eutectic		
	97 Sn- 3 Cu	227	~330			Ford
Sn-Cu- Ag	95.5 Sn- 4 Cu- 0.5 Ag	225	349(260)			Engelhard (silvabrite 100)
Sn-Cu- Sb-Ag	95.5 Sn - 3 Cu - 1 Sb - 0.5 Ag		256			Motorola
Sn – In	70 Sn – 30 In	120	~175			
	58 Sn – 42 In	118	145		7,30	Indium
Sn-In-Ag	77.2 Sn – 20 In- 2.8 Ag	175	187		7,25	Indium
Sn-In- Ag-Sb	88.5 Sn – 10 In- 1.0 Ag- 0.5 Sb		211			Qualitek
Sn-In-Bi	90 Sn–8 In-2 Bi					IBM
	80 Sn –10 In- 10 Bi	153	199			IBM
Sn – In- Bi - Ag	80 Sn–10 In- 9.5 Bi – 0.5 Ag	179	201			Ford

	78.4 Sn-9.8 In- 9.8 Bi- 2 Ag					
Sn – Sb	95 Sn – 5 Sb	~234	240			Motorola
Sn-Sb- Bi-Ag	Sn 90-95, Sb 3 – 5,Bi 1-4.5- Ag0.1-0.5					Willard Industries
Sn – Zn	91 Sn – 9 Zn	199	199	eutectic	7,27	Indium
Sn-Zn-In	87 S – 8 Zn -5In	175	188			AT&T
Sn-Zn- In-Ag	87 S – 8 Zn - 5 In-0.1 Ag					AT&T
Sn-Zn- In-Cu	87 S – 8 Zn - 5 In-0.1 Cu					AT&T

Paduan logam Sn – Cu dengan komposisi persen massa 99,3 Sn – 0,7 Cu pada titik *eutectic* menjadi salah satu bahan yang berpotensi untuk menggantikan Sn Pb. Hal ini disebabkan karena paduan Sn – Cu tidak beracun, relatif murah dan memiliki *melting point* yang mendekati Sn – Pb .

2.1. Sifat Fisik dan Thermal Material Solder Sn - Cu *Eutectic*

Berikut ini adalah tabel 2.4 yang mencantumkan hasil penelitian yang dikeluarkan oleh National Institute of Standards & Technology and Colorado School of Mines tahun 2002 tentang sifat fisik dan sifat thermal pada material solder Sn – Cu *eutectic* dan Sn – Pb *eutectic*.

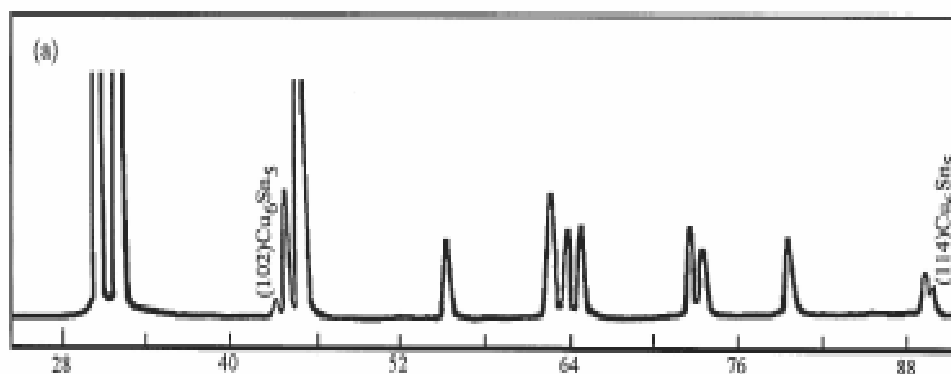
Tabel 2.4. Sifat fisik dan thermal Sn, Sn - Cu dan Sn Pb *eutectic* pada 25 °C

Sifat	Sn	Sn 0,7Cu	Sn 37Pb
Kerapatan g/cm ³	7,3	7,3	8,4
Titik leleh °C	231,9	227	183
Konduktivitas elektrik	66,6	13	11.9
<i>Specific Heat</i> (J/mol.K) pada suhu 505 K	30,76		

Setiap paduan material solder yang akan digunakan untuk menggantikan material solder Sn – Pb seharusnya mempunyai sifat fisik maupun thermal yang mendekati paduan Sn – Pb . Dalam tabel 2.4 di atas terdapat perbandingan sifat fisik dan thermal antara Sn murni, paduan Sn – 0,7Cu *eutectic* dan paduan Sn – Pb *eutectic*. Dapat dilihat bahwa penambahan Cu dapat menurunkan titik leleh dan konduktivitas elektrik Sn sehingga mendekati titik leleh dan konduktivitas elektrik material solder SnPb.

2.2 Pola Difraksi Sn - Cu

Uji pola difraksi dengan XRD terhadap sampel Sn – 0,7 Cu *eutectic* yang hasilnya dapat diamati dalam gambar 2.1 berikut :



Gambar 2.1. Hasil uji XRD terhadap Sn-0,7 Cu (El-Asram,2005)

Fasa-fasa yang diperoleh dari hasil uji XRD pada sampel yang digunakan dalam penelitian terhadap sampel Sn-0,7 Cu *eutectic* dicantumkan dalam tabel 2.5 berikut :

Tabel 2.5 Fasa Hasil XRD Sn – 0,7Cu (El-Asram, 2005)

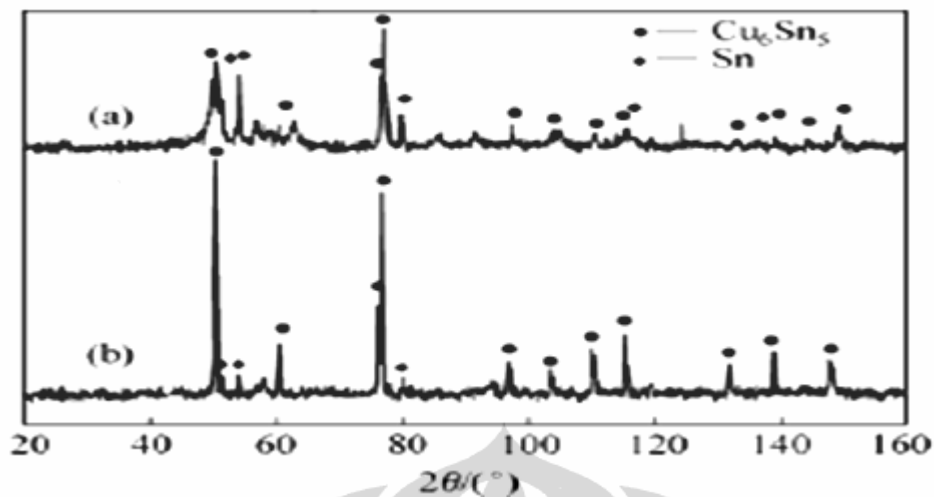
Aloy (wt%)	fasa	Sistem kristal	Space group	Parameter kisi β -Sn (\AA)	c/a untuk β -Sn
Sn – 0,7Cu	Sn	Tetragonal	I4 ₁ /amd	a= 5,7828	0,5476
	Cu ₆ Sn ₅	Hexagonal	P6 ₃ /mmc	c = 3,1668	

Intermetallic powder Sn – Cu dapat dibuat dengan *teknik solid liquid reaction milling* (Ding, Wei, Zhen hua, Ding fa, Gang, 2007). Hasil milling yang diperoleh pada sistem Sn – Cu dengan suhu yang berbeda, diperoleh hasil yang tercantum dalam tabel 2.6.

Tabel 2.6 Hasil Milling Lelehan Sn (Ding, Wei, Zhen hua, Ding fa, Gang, 2007)

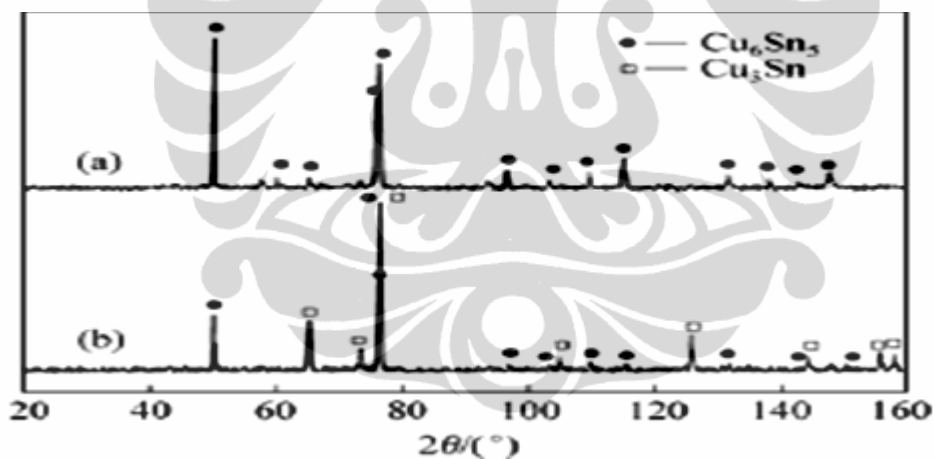
Suhu milling (K)	Hasil milling 6 jam	Hasil milling 12 jam
573	Cu ₆ Sn ₅ , Sn	Cu ₆ Sn ₅
673	Cu ₆ Sn ₅	Cu ₆ Sn ₅ , Cu ₃ Sn
773	Cu ₃ Sn, Sn	Cu ₃ Sn

Pola difraksi yang terjadi pada hasil milling lelehan Sn di temperatur 573 K dengan waktu milling selama 6 jam dan 12 jam, dapat dilihat pada gambar 2.2 berikut ini.



Gambar 2.2 Hasil milling pada 573 K selama a) 6 jam dan b) 12 jam (Ding, Wei, Zhen hua, Ding fa, Gang, 2007)

Hasil milling pada temperatur 673 K dengan waktu milling 6 dan 12 jam menghasilkan pola difraksi seperti dalam gambar 2.3 ini.



Gambar 2.3. Hasil milling pada 673 K selama a) 6 jam dan b) 12 jam (Ding, Wei, Zhen hua, Ding fa, Gang, 2007)

Dari pola difraksi yang terjadi dapat dilihat bahwa fasa intermetalik yang dihasilkan dipengaruhi oleh temperatur dan waktu milling yang dilakukan. Pada gambar 2.2 suhu milling 573 K dan waktu milling 6 jam dihasilkan campuran antara Sn dengan Cu_6Sn_5 sebagai fasa intermetalik. Sedangkan pada waktu milling 12 jam dihasilkan fasa intermetalik Cu_6Sn_5 . Pada gambar 2.3 suhu milling

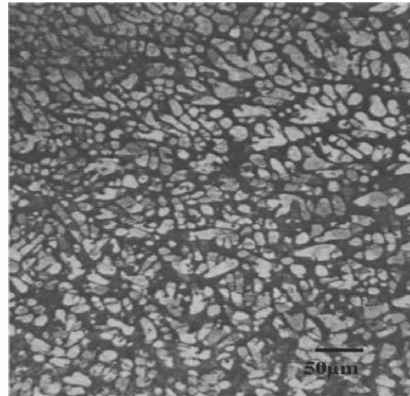
673 K dengan waktu milling 6 jam dihasilkan fasa intermetalik Cu_6Sn_5 dan pada waktu milling 12 jam dihasilkan 2 macam fasa intermetalik yaitu Cu_6Sn_5 dan Cu_3Sn .

2.3 Mikrofografi Sn - Cu Eutectic

Pada dasarnya, teknik SEM ini adalah merupakan pemeriksaan dan analisis permukaan. Gambar permukaan yang diperoleh merupakan gambar topografi dengan segala tonjolan dan lekukan permukaan. Gambar topografi diperoleh dari penangkapan pengolahan elektron sekunder yang dipancarkan oleh spesimen. Kata kunci dari prinsip SEM adalah *scanning* yang berarti bahwa berkas elektron "menyapu" permukaan spesimen, titik demi titik dengan sapuan membentuk garis demi garis mirip seperti gerakan mata yang membaca. Sinyal elektron sekunder yang dihasilkan adalah dari titik pada permukaan, yang selanjutnya ditangkap oleh SE detektor dan kemudian diolah dan ditampilkan pada layar CRT (TV). *Scanning coil* yang mengarahkan berkas elektron bekerja secara sinkron dengan pengarah berkas elektron pada tabung layar TV, sehingga didapatkan gambar permukaan spesimen pada layar TV.

Kemampuan SEM yang tinggi serta penyiapan spesimen yang mudah telah membuat teknik ini sangat populer serta luas penggunaannya. Informasi yang dapat diperoleh dengan pengamatan melalui teknik ini sangat beragam, gambar struktur permukaan (fraktografi), struktur mikro, dan analisis unsur kimia serta distribusinya.

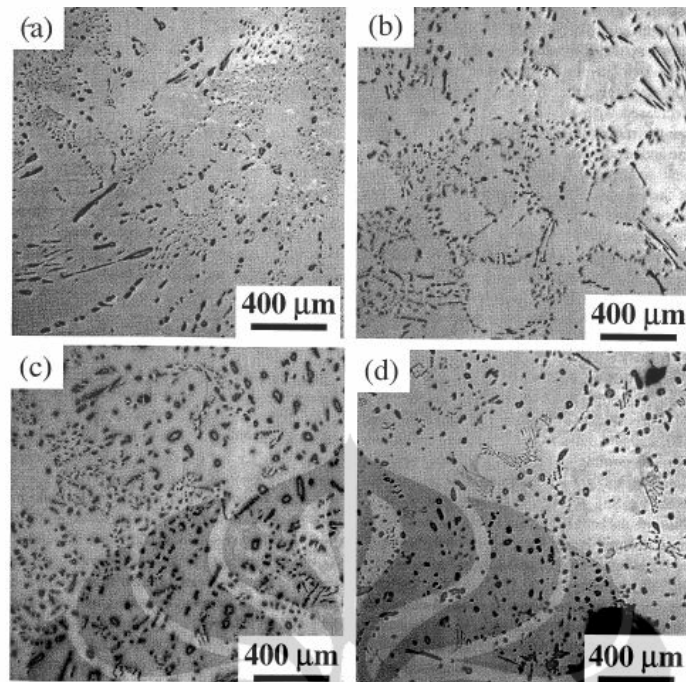
Gambar 2.4, gambar 2.5 dan gambar 2.6 di bawah ini merupakan hasil- hasil SEM yang menampilkan struktur mikro (*microstructure*), *optical micrograph*, maupun fraktur (patahan) yang mungkin timbul dalam suatu paduan logam Sn – Cu.



Gambar 2.4. *microstructure* alloy Sn – 0,7 Cu (Puttlitz & Stalter, 2004)

Gambar 2.4 adalah *microstructure* alloy Sn – 0,7 Cu *eutectic* yang disolidifikasi pada suhu 5°C/menit. Gambar tersebut menunjukkan butiran β Sn dendritik yang dikelilingi oleh Cu_6Sn_5 intermetalik.

Gambar 2.5 berikut ini menunjukkan *micrograph* hasil uji SEM untuk paduan Sn – Cu masing-masing dengan komposisi weight % yang berlainan. Gambar (a) untuk sampel dengan komposisi Sn – 0,7 Cu, gambar (b) untuk sampel dengan komposisi Sn – 0,7 Cu – 100 ppm Ni, gambar (c) untuk sampel dengan komposisi Sn – 0,7 Cu – 600 ppm Ni dan gambar (d) untuk sampel dengan komposisi Sn – 0,7 Cu – 1000 ppm Ni.



Gambar 2.5 *Optical micrograph* (a) Sn - 0,7 Cu, (b) Sn-0,7 Cu-100 ppm Ni, (c) Sn-0,7 Cu -600ppm Ni, (d) Sn-0,7 Cu -1000 ppm Ni (Nogita, Read, Nishimura, Sweatman, Suenaga & Dahle, 2005)

Dalam semua sampel yang digunakan terdapat butiran Sn dendritik yang dikelilingi oleh fasa intermetalik Cu_6Sn_5 yang bentuknya seperti jarum (*needle-like*). Dengan penambahan Ni yang ditunjukkan pada gambar 2.5(b) , 2.5(c) dan 2.5(d) dapat diamati bahwa terdapat perbedaan morfologi dibanding gambar 2.5(a) yang merupakan morfologi untuk sampel tanpa penambahan Ni. Dengan bertambahnya Ni, maka fraksi dendritnya semakin berkurang dan bentuk Cu_5Sn_6 cenderung membulat (*rounded*).

Gambar 2.6 menunjukkan adanya patahan (fraktur) pada permukaan paduan 99,3 Sn - 0,7 Cu komposisi *eutectic*.

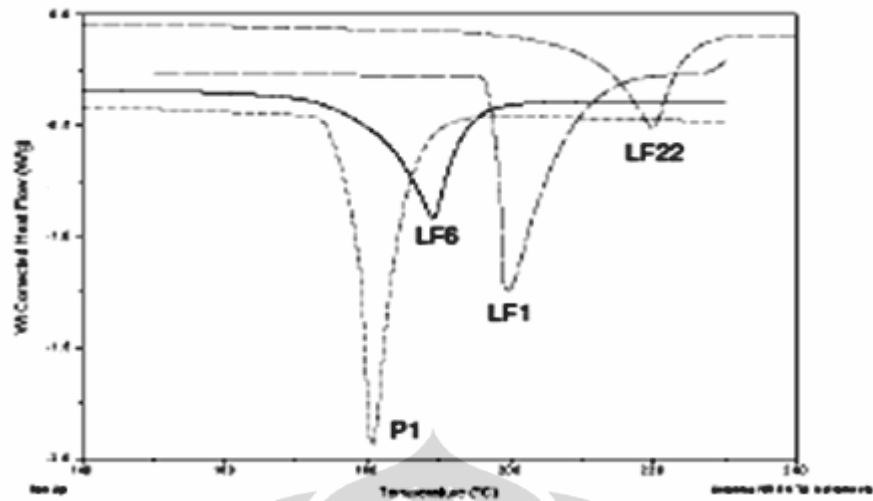


Gambar 2.6. Fraktur Intergranular pada Sn – 0 ,7 Cu (Yanfu, Lifang, Keke & Jiuba, 2007)

Pada hasil SEM untuk paduan logam Sn – 0 ,7 Cu *eutectic* dapat terlihat adanya patahan (*creep fracture*). Dapat digunakan partikel Ag untuk mengatasi fracture tersebut sehingga paduan Sn – 0 ,7 Cu *eutectic* dapat lebih resisten terhadap *creep fracture* tersebut. Dan dengan SEM, dapat diketahui juga distribusi partikel Ag yang digunakan (Yanfu, Lifang, Keke & Jiuba, 2007).

2.4. Karakteristik Thermal Paduan Sn

Dalam paduan material solder Sn, karakteristik thermal merupakan hal yang penting untuk diobservasi. Sifat-sifat thermal yang umumnya diteliti meliputi Tg, Tm, Tc, ΔH dan lain-lain. Alat uji yang digunakan adalah DSC dan DTA. Pada gambar 2.7 adalah kurva hasil pengukuran melting point yang dilakukan dengan alat uji DSC.



Gambar 2.7. Kurva DSC pada alloy (Soares, Vilarinho,Barbosa,Silva, Castro, 2005)

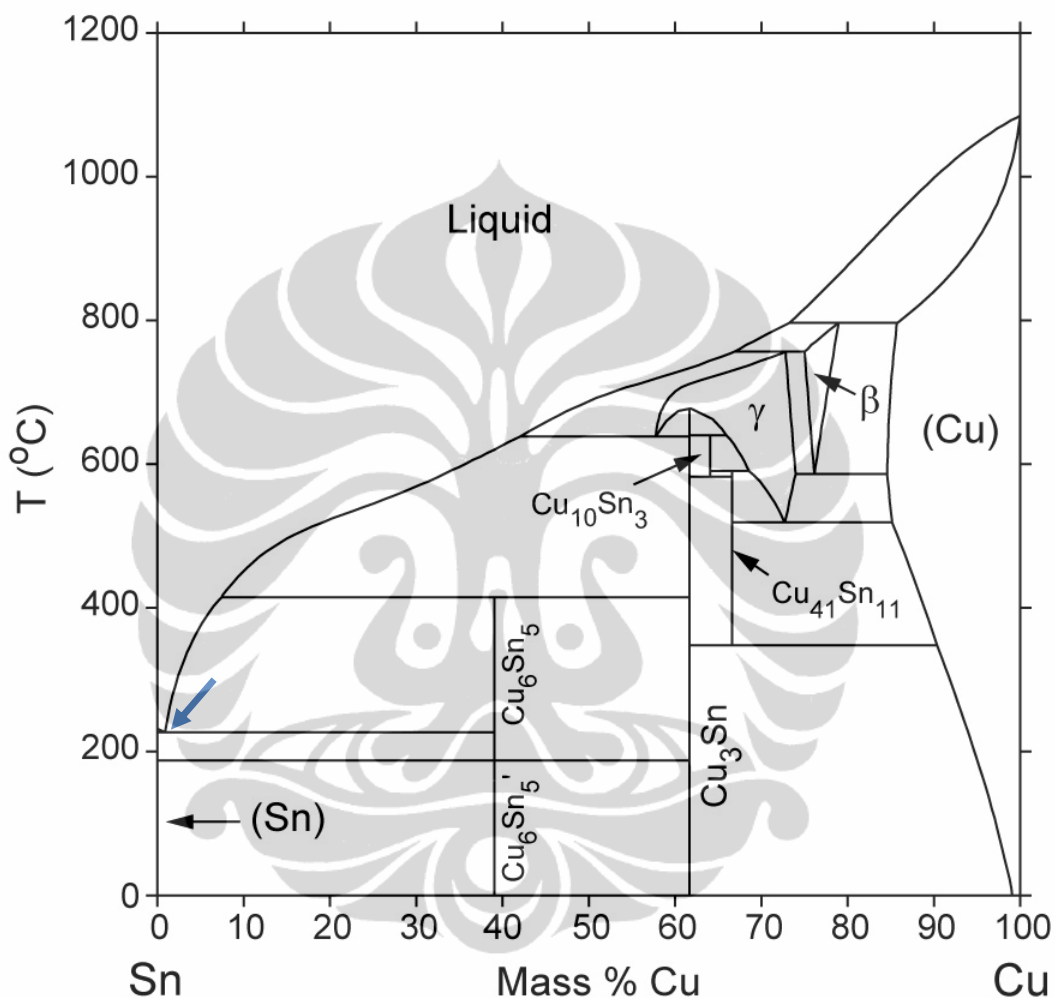
P1 adalah alloy Sn – Pb , LF1 dan LF6 adalah alloy Sn – Zn dan LF22 adalah alloy Sn – Cu . Hasil uji XRF menunjukkan masing - masing paduan mempunyai komposisi wt% yang berbeda seperti dalam tabel 2.7. Dapat dilihat bahwa adanya logam yang ditambahkan pada Sn, akan mempengaruhi *melting point* alloy tersebut.

Tabel 2.7. Komposisi wt% alloy (Soares, Vilarinho,Barbosa,Silva, Castro, 2005)

Solder	% Zn	% Cu	% Pb	% Al	% Bi	% Sn	Titik leleh (°C)
P1			34,7		2,6	sisanya	174 – 181
LF1	8,3			0,9		sisanya	196 – 200
LF6	9,5			1,1	7,6	sisanya	173 – 189
LF27		0,6				sisanya	226 – 230
LF22		0,8			5,6	sisanya	204 – 221

2.5. Diagram Fasa Sn - Cu

Gambar 2.8 berikut ini adalah diagram fasa Sn – Cu. Diagram fasa ini berguna untuk menentukan fasa-fasa apa saja yang mungkin terbentuk.



Gambar 2.8. Diagram fasa sistem biner Sn – Cu (NIST,2002)

Dalam diagram fasa paduan Sn Cu di atas diperoleh fasa-fasa apa saja yang terdapat dalam wt% dan suhu Sn Cu yang bervariasi. Komposisi *eutectic* terdapat pada 99,3 Sn – 0,7 Cu wt%. Pada komposisi *eutectic*, terjadi perubahan fasa dari padat menjadi cair dan titik leleh pada komposisi ini adalah 227 °C yang ditandai dengan tanda panah warna biru.

Pada tabel 2.8 dicantumkan fasa- fasa yang ada pada diagram fasa Sn – Cu dengan wt % Sn dan suhu yang bervariasi.

Tabel 2.8 Fasa-fasa pada Diagram fasa Sn – Cu (NIST,2002)

Reaction	Fasa	% massa Cu	% massa Sn
L + (Cu) -> beta 796,0 °C	Liquid	73,25	26,75
	(Cu)	85,70	14,30
	beta	78,91	21,09
L + beta -> gamma 756,5 °C	Liquid	66,87	33,13
	beta	74,99	25,01
	gamma	72,78	27,22
gamma -> L + Cu ₃ Sn 638,4 °C	gamma	57,74	43,26
	Liquid	42,05	57,95
	Cu ₃ Sn	61,63	38,37
L + Cu ₃ Sn -> Cu ₆ Sn ₅ 415,0 °C	Liquid	13,07	86,93
	Cu ₃ Sn	61,63	38,37
	Cu ₆ Sn ₅	39,07	60,93
L -> Cu ₆ Sn ₅ + (Sn) 226,8 °C	Liquid	0,89	99,11
	Cu ₆ Sn ₅	39,07	60,93
	(Sn)	0,01	99,99
beta -> (Cu) + gamma 585,9 °C	beta	76,12	23,88
	(Cu)	84,56	15,44
	gamma	73,94	26,06
gamma -> (Cu) + Cu ₄₁ Sn ₁₁ 518,7 °C	gamma	72,71	27,29
	(Cu)	85,15	14,85
	Cu ₄₁ Sn ₁₁	66,56	33,44
gamma + Cu ₃ Sn -> Cu ₁₀ Sn ₃ 640,1 °C	gamma	72,68	27,32
	Cu ₃ Sn	61,63	38,37
	Cu ₁₀ Sn ₃	64,06	35,94
gamma + Cu ₁₀ Sn ₃ -> Cu ₄₁ Sn ₁₁ 590,0 °C	gamma	68,56	31,44
	Cu ₁₀ Sn ₃	64,06	35,94
	Cu ₄₁ Sn ₁₁	66,56	33,44
Cu ₁₀ Sn ₃ -> Cu ₄₁ Sn ₁₁ + Cu ₃ Sn 582,5 °C	Cu ₁₀ Sn ₃	64,06	35,94
	Cu ₄₁ Sn ₁₁	66,56	33,44
	Cu ₃ Sn	61,63	38,37
Cu ₄₁ Sn ₁₁ -> (Cu) + Cu ₃ Sn	Cu ₄₁ Sn ₁₁	66,56	33,44
	(Cu)	90,36	9,64

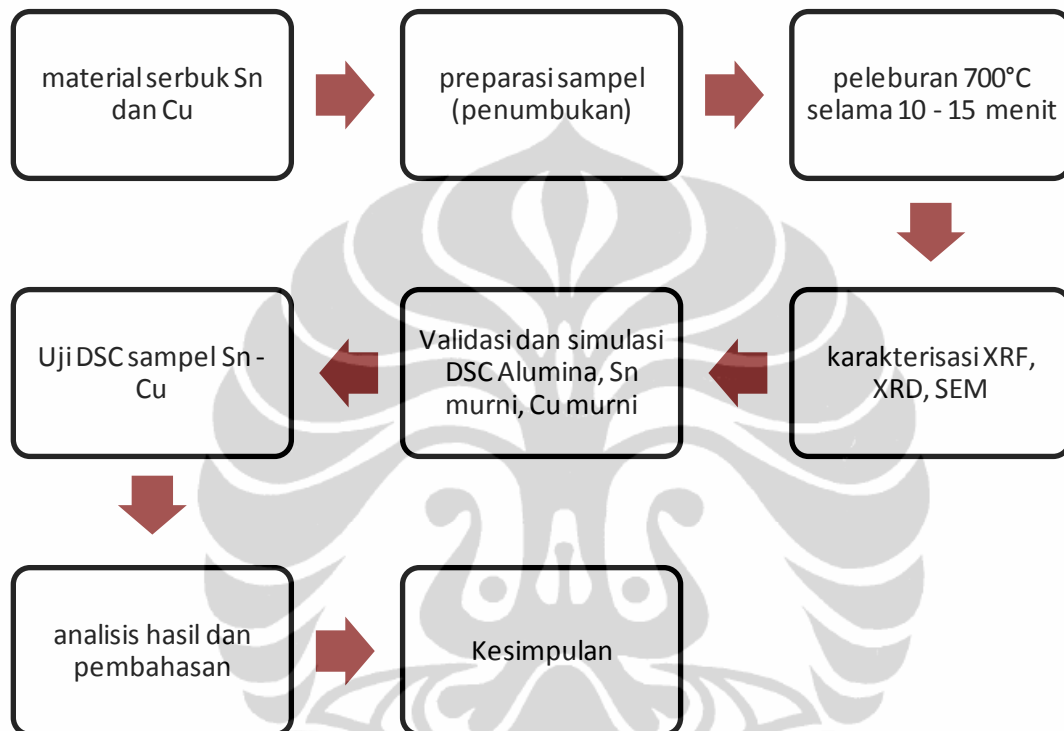
348,1 °C	Cu_3Sn	61,63	38,37
gamma \rightarrow Cu_3Sn	<i>congruent point</i>	61,63	38,37
677,0 °C	$\text{Cu}_6\text{Sn}_5 \rightarrow \text{Cu}_6\text{Sn}_5'$	39,07	60,93
187,5 °C	<i>allotropic transformation</i>		

Dari tabel 2.8 dapat dilihat adanya fasa-fasa yang terbentuk, termasuk fasa intermetalik untuk setiap variasi komposisi wt% Sn dan variasi suhu.



BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir yang menjadi acuan kegiatan penelitian

3.2 Variasi paduan Sn - Cu

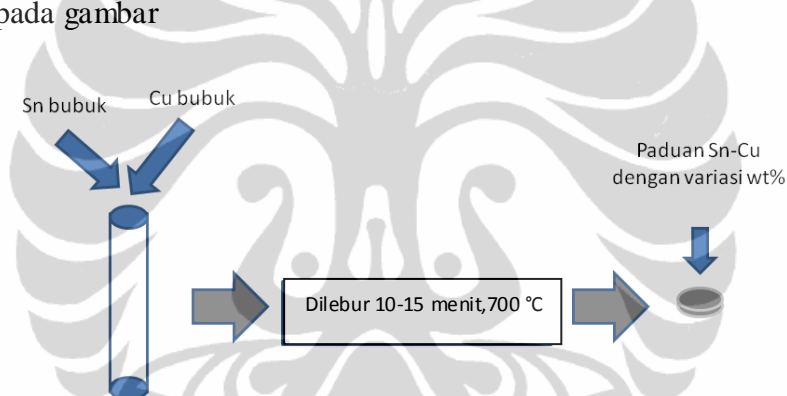
Pada tesis ini, disintesa paduan Sn – Cu dengan menggunakan metode peleburan. Sintesis paduan Sn – Cu dilakukan di udara terbuka. Sampel dibuat berdasarkan variasi rasio fraksi berat Sn terhadap Cu dengan Sn-rich. Variasi ini dibuat untuk melihat pengaruh penambahan Cu terhadap karakteristik paduan Sn – Cu. Variasi paduan Sn – Cu yang dipreparasi adalah $\text{Sn}_{100-x} - \text{Cu}_x$ (wt %). Nilai x bervariasi yaitu $x = 0,2$, $x = 1,1$, $x = 1,2$ dan $x = 1,9$.

3.3. Material

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 μm . Semua reagent ini didapat dari Merck dengan kualitas *Pro-Analysis* dan digunakan tanpa pemurnian lebih lanjut.

3.4. Proses Pembuatan

Pembuatan paduan Sn – Cu dilakukan dengan metode peleburan dan dilakukan di udara terbuka. Secara garis besar proses pembuatan paduan Sn – Cu ini dapat digambarkan pada gambar



Gambar 3.2 Garis besar pembuatan paduan Sn – Cu pada udara terbuka.

Pada pembuatan paduan Sn – Cu yang dapat dilihat pada bagan dalam gambar 3.1, 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 di dalam tabung kuarsa pada suhu sekitar 700⁰C selama 10 hingga 15 menit sambil dilakukan pengadukan. Suhu peleburan digunakan 700⁰C, diatas titik lebur Sn yaitu 232⁰C dan mendekati titik leleh Cu yaitu 1083⁰C sehingga diharapkan terjadi difusi Cu yang lebih banyak ke dalam Sn. Hasil peleburan ini kemudian didiamkan dan didinginkan pada suhu ruang hingga menjadi padatan.

3.5 Karakterisasi Sampel

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

3.5.1 Karakterisasi dengan Menggunakan XRD (X-ray Diffractometer)

Karakterisasi struktur, fasa dan parameter kisi digunakan metode yang dinamakan difraksi sinar-X. Alat *X-Ray Diffractometer* yang digunakan adalah Philips PW 3710/40 kV yang berlokasi di Salemba. Beroperasi pada tegangan 40 kV dengan arus sebesar 30 mA. Berkas Co-K α digunakan sebagai sumber radiasi dengan panjang gelombang elektromagnetik λ sebesar 1,78897 Å. *Scan step* XRD dilakukan sebesar 0,02⁰, mulai dari sudut 2 θ sebesar 25,00⁰ hingga 99,86⁰.

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 ,program MATCH! dan program GSAS.

3.5.2. Karakterisasi dengan Menggunakan XRF (X-ray Fluorescence)

Metode XRF adalah metode yang digunakan untuk mengukur kuantitas komposisi elemental dari suatu material menggunakan proses emisi sinar-X. 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.

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.

3.5.3. Karakterisasi dengan Menggunakan DSC (Differential Scanning Calorimeter)

Kapasitas panas suatu material adalah energi thermal yang dibutuhkan untuk mengubah suhu material tersebut. Kapasitas panas biasanya diukur dalam tekanan tetap (Ragone, 1995).

Penentuan kapasitas panas dapat dilakukan dengan teknik kalorimeter seperti DSC (Differential Scanning Calorimetry). Dan secara empirik mengikuti persamaan :

$$C_p = a + bT + cT^{-2} \text{ J/mol K} \quad (3.1)$$

Pengukuran yang sebenarnya untuk kapasitas panas material iron ore telah dilakukan dalam penelitian sebelumnya (Yulistianti, 2006). Dengan menggunakan alat DSC-50, pengukuran kapasitas panas dilakukan mengikuti 3 cara di bawah ini dengan kondisi suhu yang sama, yaitu :

1. Pengukuran pertama, krusibel kiri dan kanan dalam keadaan kosong
2. Pengukuran kedua, krusibel sampel sebelah kiri dalam keadaan kosong dan krusibel kanan diisi dengan material referensi dalam hal ini adalah alumina dengan massa dinotasikan dengan m_0 (g)
3. Pengukuran ketiga, krusibel sampel sebelah kiri kosong dan krusibel kanan diisi dengan sampel Sn - Cu yang akan diuji kapasitas panasnya dengan massa dinotasikan sebagai m (g)

Notasi untuk tempat krusibel sampel adalah C_s^h dan krusibel sampelnya C_r^h . Notasi material referensi adalah C_0 dan sampel adalah C . ketiga konfigurasi tersebut dapat dituliskan dalam persamaan berikut :

$$C_s^h - C_r^h = \kappa S_1 \quad (3.2)$$

$$(C_s^h + m_0 C_0) - C_r^h = \kappa S_2 \quad (3.3)$$

$$(C_s^h + mc) - C_r^h = \kappa S_3 \quad (3.4)$$

dimana S_1 , S_2 dan S_3 adalah pengukuran sinyal DSC dalam kondisi stabil (Yulistianti,2006).

Dari ketiga persamaan tersebut,diperoleh rumus untuk menentukan kapasitas panas suatu material sebagai berikut :

$$C_p = \frac{m_o C_o}{m} \times \left[\frac{S_3 - S_1}{S_2 - S_1} \right] \quad (3.5)$$

dimana :

- m_o = massa awal dari S_2 (signal 2) yaitu sampel standar/referensi
- m = massa sampel dari S_3 (signal 3) yaitu sampel uji
- S_1 = signal 1 yang diperoleh dari pengukuran pertama dimana kedua krusibel kiri dan kanan dalam keadaan kosong.
- S_2 = signal 2 yang diperoleh dari pengukuran kedua dimana krusibel kiri dalam keadaan kosong dan krusibel kanan diisi material referensi yaitu alumina.
- S_3 = signal 3 dari pengukuran ketiga dimana krusibel kiri dalam keadaan kosong dan krusibel kanan berisi material Sn – Cu.

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 perubahan kapasitas panas.

Paduan Sn-Cu dikarakterisasi dengan *heating rate* 5⁰C/menit dengan rentang suhu dari temperatur 31⁰C sampai 400⁰C. Krusibel (*sample holder*) yang digunakan

terbuat dari bahan aluminium. Sedangkan sampel standar yang dipakai adalah 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 ΔT 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 (ΔH), temperatur terjadinya reaksi eksoterm/endoterm serta mengetahui peak apa saja yang terbentuk.



Gambar 3.2. DSC 50 (Shimadzu)

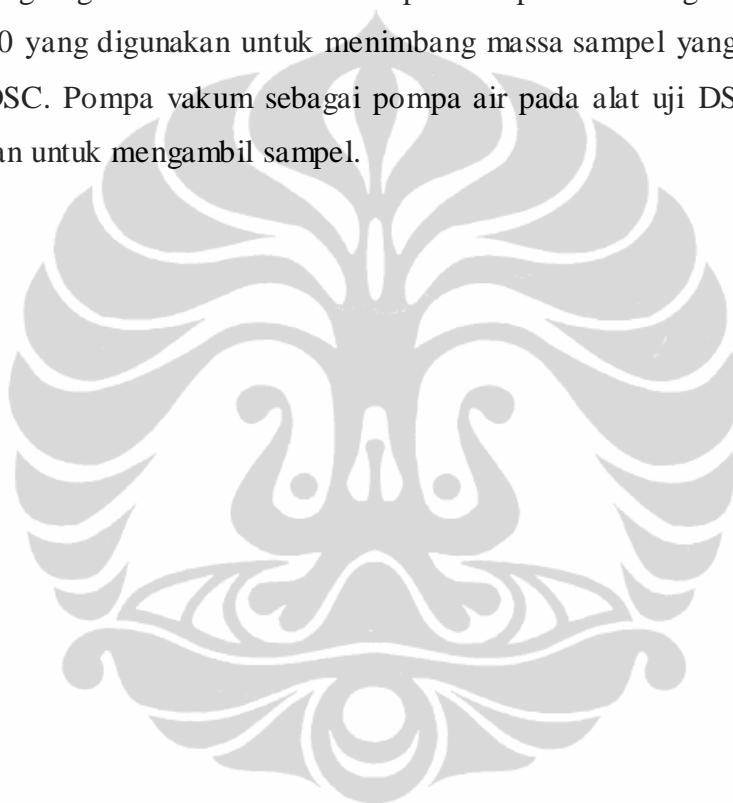
3.5.4. Karakterisasi dengan Menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*)

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 komposisi dan beberapa karakteristik lain seperti konduktifitas listrik. 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.

3.5.5. Alat dan Bahan Penunjang Lainnya

Alat dan bahan penunjang lain yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel standar alumina sebagai sampel validasi untuk kalibrasi alat DSC dan penentuan model teoritis C_p . Alkohol 90% yang digunakan membersihkan mortar dan penumbuk yang digunakan untuk mencampur sampel. Timbangan elektronik Boch SAE 200 yang digunakan untuk menimbang massa sampel yang akan diuji dengan alat DSC. Pompa vakum sebagai pompa air pada alat uji DSC. Spatula yang digunakan untuk mengambil sampel.



BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Uji XRF untuk Perbandingan Komposisi Sn – Cu

Sampel material solder yang dipakai disini sebanyak 4 macam dengan komposisi persen berat yang berbeda. Pada tabel 4.1 dicantumkan hasil analisis dengan XRF untuk komposisi massa Sn dan Cu yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 4.1. Hasil Uji XRF sampel Material Solder

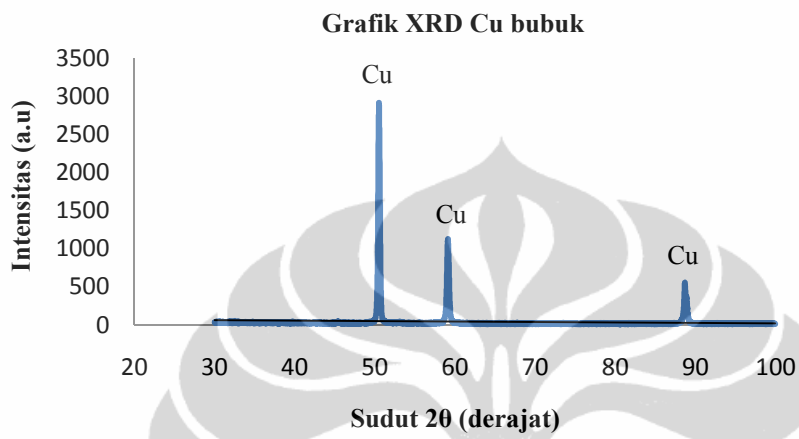
No. sampel	Wt % Sn	Wt % Cu	At/mole (%) Sn	At/mole (%) Cu
2	99,8022	0,1978	99,6312	0,3688
1	98,9074	1,0926	97,9785	2,0215
4	98,7988	1,2012	97,7797	2,2203
3	98,1223	1,8777	96,5491	3,4509

Pada tabel 4.2 dicantumkan komposisi wt% sampel yang akan direncanakan dalam penelitian ini.

Tabel 4.2 Komposisi sampel yang direncanakan

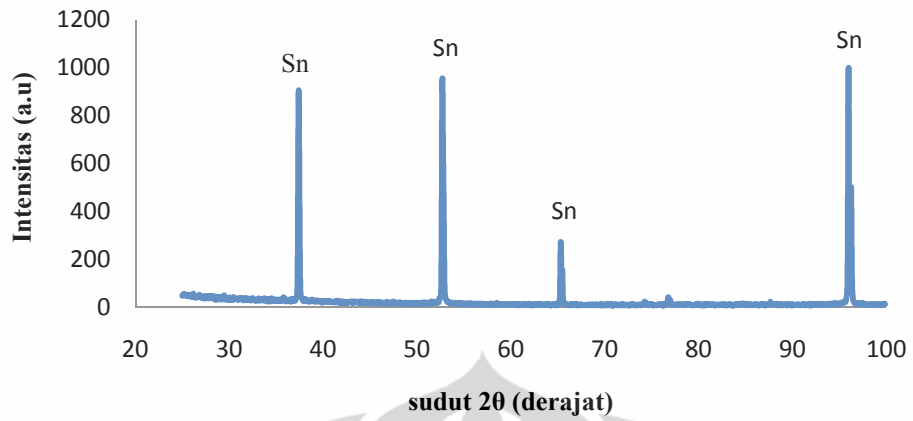
No. sampel	Wt % Sn	Wt % Cu
2	99,8	0,2
1	98,9	1,1
4	98,8	1,2
3	98,1	1,9

Dari tabel 4.1 yang merupakan hasil uji XRF pada material solder dengan tabel 4.2 yang merupakan komposisi wt% material solder yang direncanakan, tidak terdapat perbedaan yang signifikan.



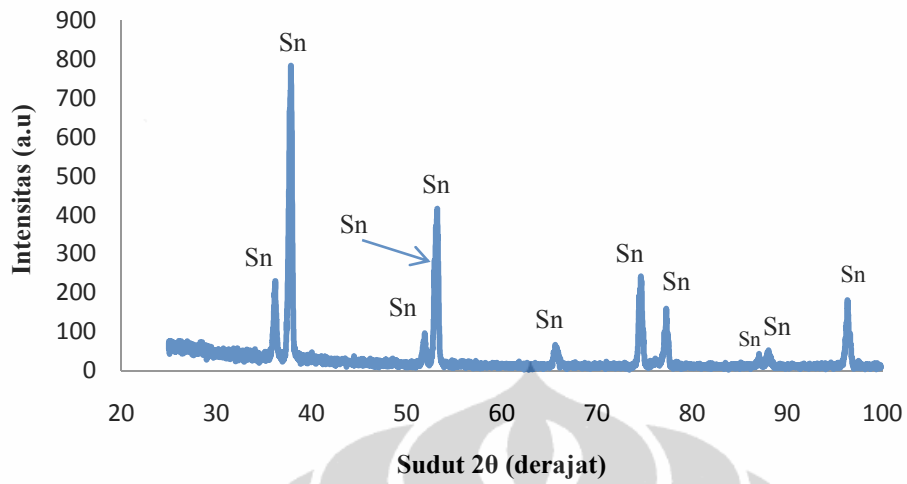
No	2 θ	Intensitas	h k l
1	50,49	2884	1 1 1
2	59,10	1129	2 0 0
3	88,64	380	2 2 0

Grafik XRD Sn bubuk

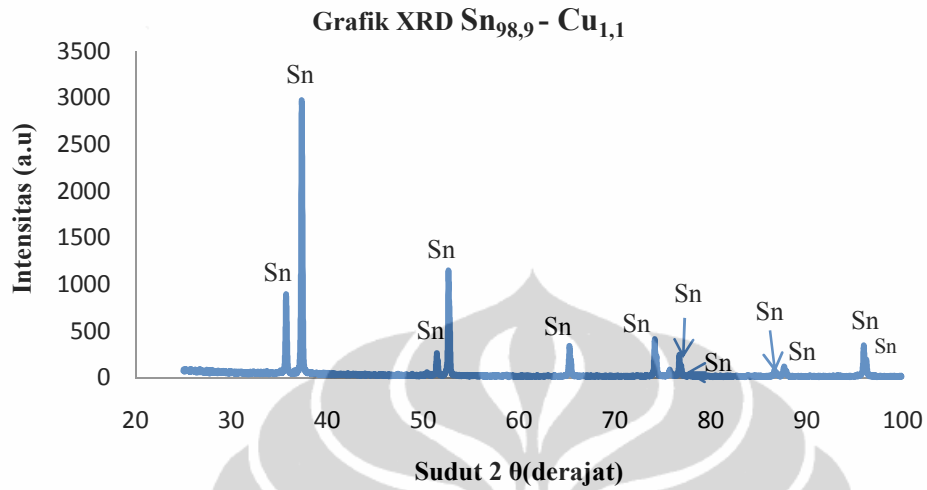


No	2 θ	Intensitas	h k l
1	37,39	876	1 0 1
2	52,69	955	2 1 1
3	65,31	272	3 0 1
4	65,48	156	3 0 1
5	95,95	999	3 1 2
6	96,23	548	3 1 2

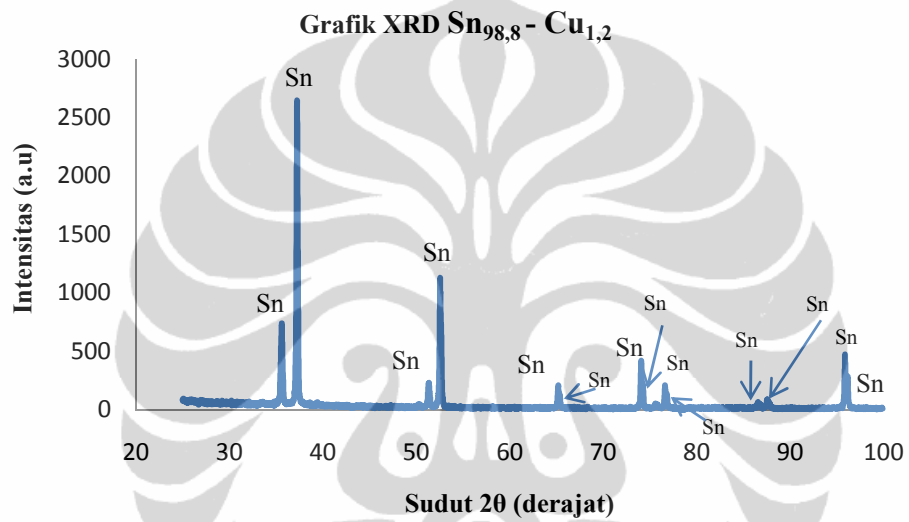
Grafik XRD Sn_{99,8} - Cu_{0,2}



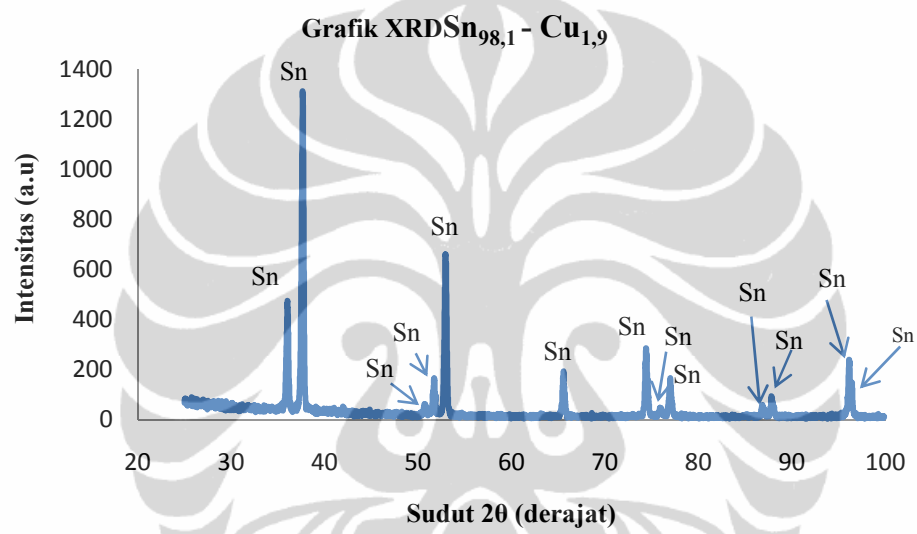
No	2 θ	Intensitas	Fasa	h k l
1	36,18	156	Sn	2 0 0
2	37,84	751	Sn	1 0 1
3	52,91	202	Sn	2 1 1
4	53,20	392	Sn	2 1 1
5	74,67	283	Sn	1 1 2
6	77,28	137	Sn	3 2 1
7	96,34	172	Sn	3 1 2



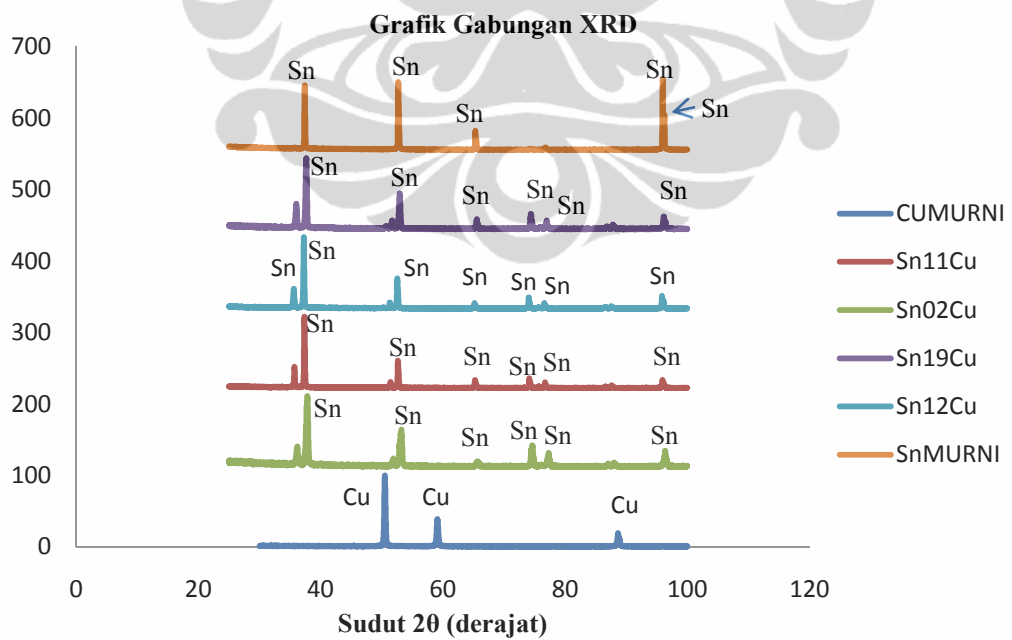
No	2 θ	Intensitas	Fasa	h k l
1	35,72	847	Sn	2 0 0
2	37,34	2894	Sn	1 0 1
3	51,43	243	Sn	2 2 0
4	52,63	1109	Sn	2 1 1
5	65,27	303	Sn	3 0 1
6	74,13	384	Sn	1 1 2
7	76,69	225	Sn	3 2 1
8	76,89	117	Sn	3 2 1
9	95,91	296	Sn	3 1 2
10	96,20	177	Sn	3 1 2



No	2 θ	Intensitas	Fasa	hkl
1	35,61	697	Sn	2 0 0
2	37,25	2621	Sn	1 0 1
3	51,32	204	Sn	2 2 0
4	52,54	1109	Sn	2 1 1
5	65,20	166	Sn	3 0 1
7	74,05	388	Sn	1 1 2
9	76,61	182	Sn	3 2 1
13	95,86	437	Sn	3 1 2
14	96,13	272	Sn	3 1 2



No	2 θ	Intensitas	Fasa	hkl
1	36,04	408	Sn	2 0 0
2	37,67	1293	Sn	1 0 1
3	51,76	139	Sn	2 2 0
4	52,92	640	Sn	2 1 1
5	65,46	128	Sn	3 0 1
6	65,56	182	Sn	3 0 1
7	74,39	266	Sn	1 1 2
8	76,99	151	Sn	3 2 1
9	96,08	199	Sn	3 1 2
10	96,45	108	Sn	3 1 2



Pada diagram fasa yang terdapat di bab 2, memuat adanya fasa intermetalik yaitu Cu_6Sn_5 yang mungkin terbentuk pada pencampuran antara Sn dengan Cu. Dari pola difraksi material solder pada gambar 4.7 dapat dilihat bahwa yang ada hanyalah fasa Sn. Fasa intermetalik dan fasa Cu tidak muncul. Tidak munculnya fasa intermetalik pada pencampuran Sn dengan Cu dalam penelitian ini dapat disebabkan karena wt % Cu yang sangat sedikit, sehingga Cu tidak muncul sebagai fasa intermetalik melainkan Cu menyisip ke dalam atom Sn. Namun dari gambar 4.7 tersebut dapat dilihat adanya perbedaan intensitas fasa Sn dan pergeseran puncak-puncak Sn yang ada dalam setiap sampel. Pada Sn murni, intensitas tertinggi berada pada sudut 2θ sebesar $95,95^\circ$ dengan bidang $3\ 1\ 2$. Pada penambahan Cu sebesar 0,2 wt%, 1,1 wt%, 1,2 wt% dan 1,9 wt% menggeser puncak Sn yang mempunyai intensitas tertinggi. Pada setiap penambahan Cu, puncak Sn dengan intensitas tertinggi berada pada sudut 2θ sekitar $37,25^\circ$ sampai $37,84^\circ$ dengan bidang $1\ 0\ 1$. Pada penambahan Cu sebesar 0,2 wt% menyebabkan naiknya intensitas Sn pada bidang $2\ 0\ 0$ dan $1\ 1\ 2$. Pada penambahan Cu sebesar 1,1 wt%, 1,2 wt% dan 1,9 wt% menyebabkan naiknya intensitas Sn pada bidang $1\ 1\ 2$, bidang $2\ 0\ 0$, bidang $2\ 2\ 0$ dan bidang $3\ 2\ 1$.

4.3 Ukuran Kristalit

Besarnya ukuran Kristalit pada sampel yang digunakan dalam penelitian ini dihitung dengan formula Debye - Scherrer (Cullity, 1978).

$$L_{hkl} = \frac{K \cdot \lambda}{\beta_{hkl} \cdot \cos \theta} \quad (4.1)$$

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

$$B_{strain} = \eta \tan \theta \quad (4.2)$$

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

$$B_r \cos \theta = \frac{k\lambda}{L} + \eta \sin \theta \quad B_r = B_{crystallite} + B_{strain} \quad (4.3)$$

Maka dari persamaan (4.2) dan (4.3) maka didapatkan,

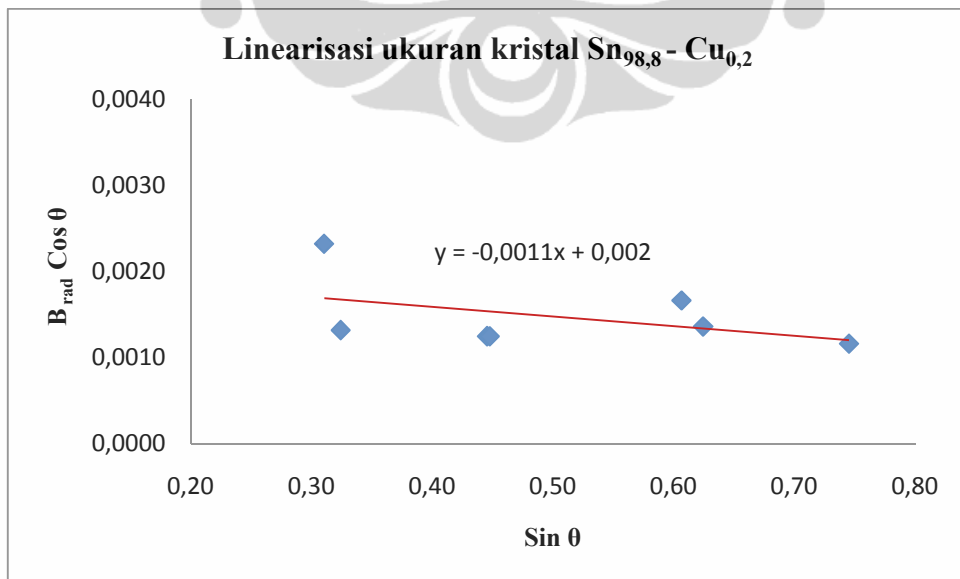
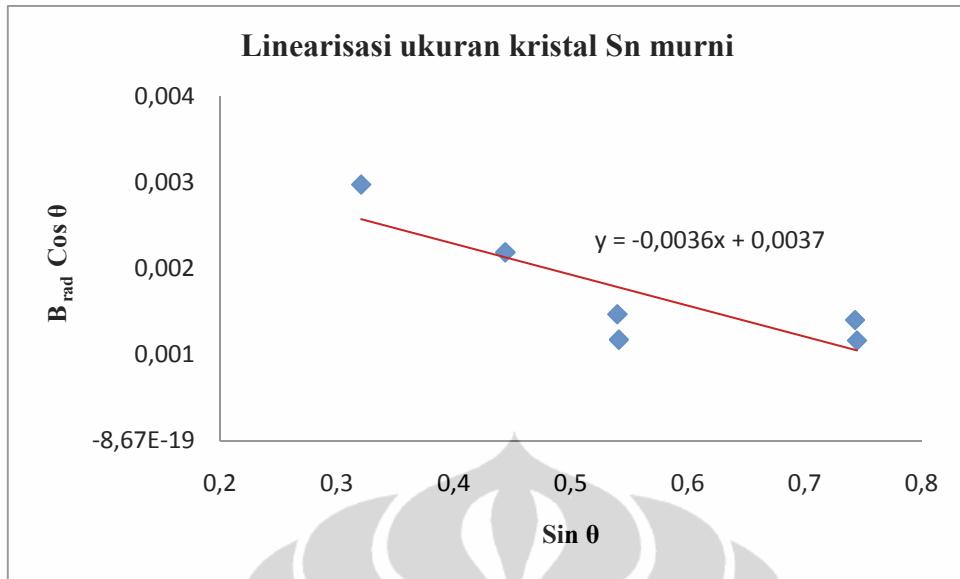
$$B_r = \frac{k\lambda}{L \cos \theta} + \eta \tan \theta \quad (4.4)$$

membagi persamaan (4.4) dengan $\cos \theta$ maka persamaannya menjadi,

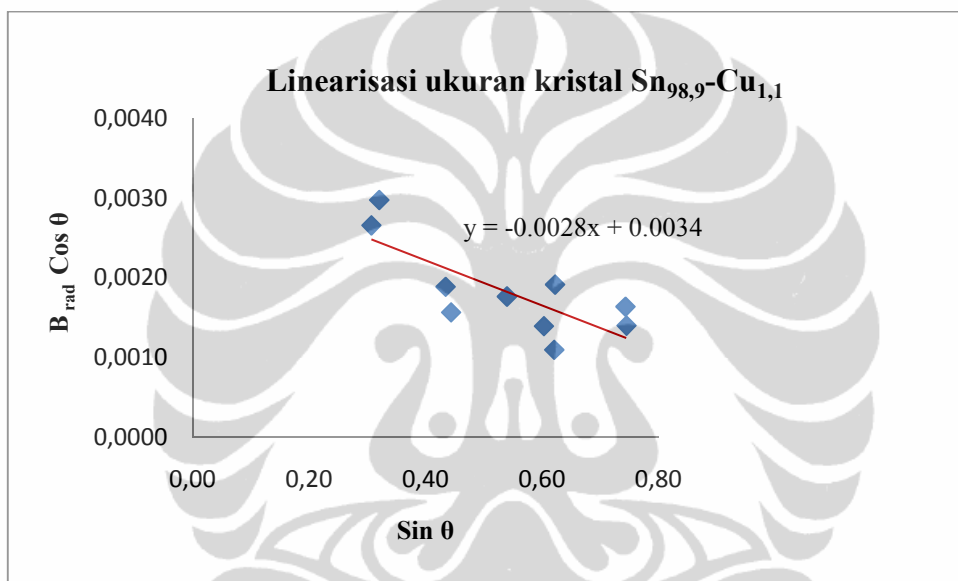
$$B_r \cos \theta = \frac{k\lambda}{L} + \eta \sin \theta \quad (4.5)$$

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*. Dalam penelitian ini digunakan panjang gelombang 1,7889 nm.

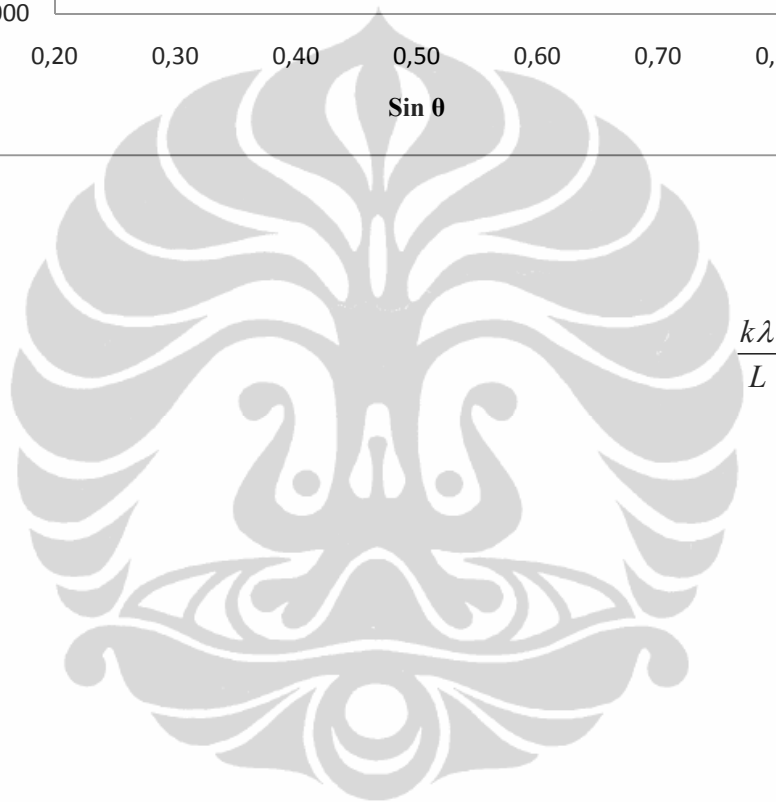
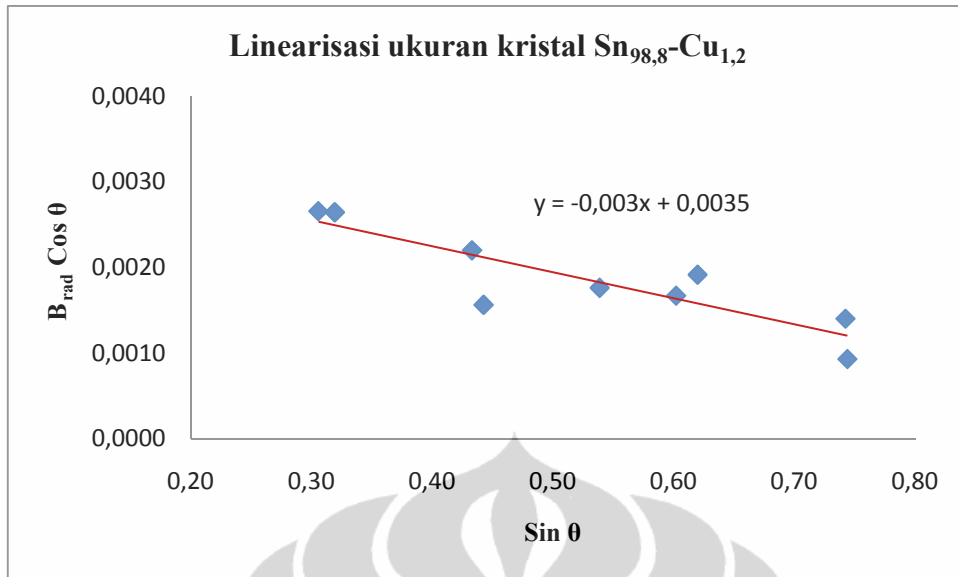
Pada gambar 4.8 di bawah ini adalah hasil plotting $B_r \cos \theta$ terhadap $\sin \theta$ yang menghasilkan persamaan garis $y = -0,0036x + 0,0037$ untuk Sn murni.

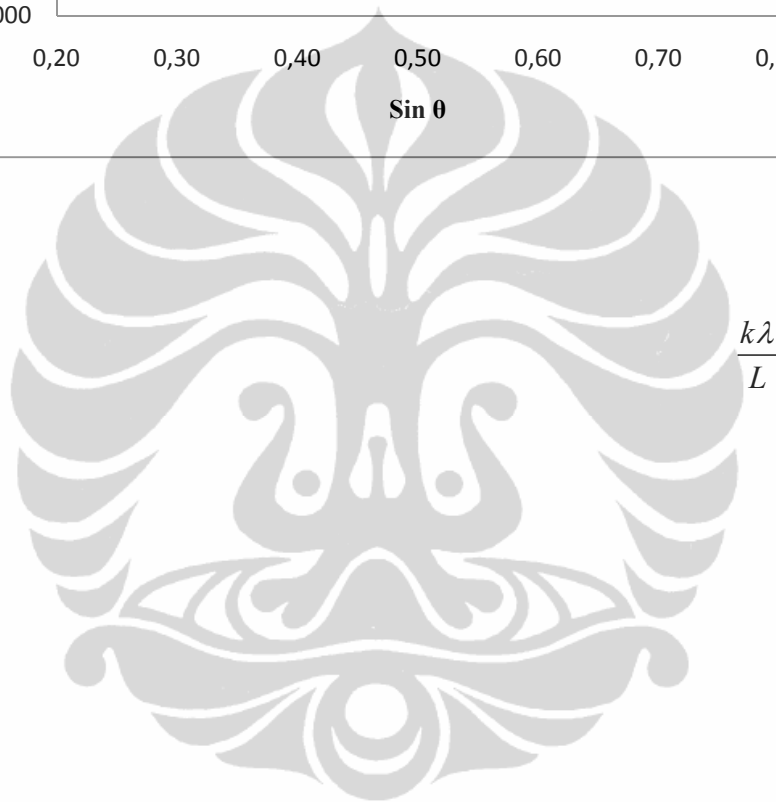
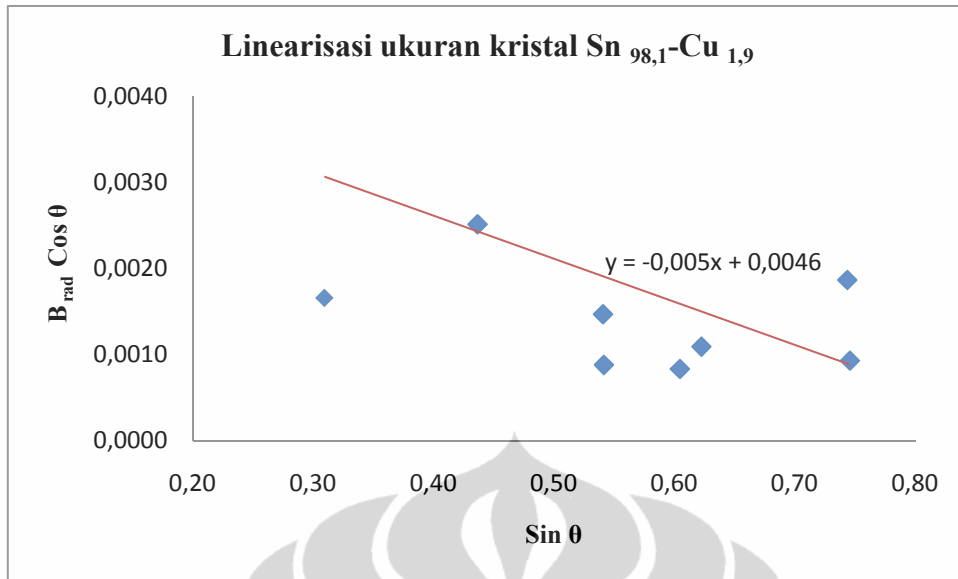


$$\frac{k\lambda}{L}$$



$$\frac{k\lambda}{L}$$





No	Paduan	Ukuran Kristal (nm)
1	Sn	435
2	Sn _{99,8} -Cu _{0,2}	805
3	Sn _{98,9} -Cu _{1,1}	474
4	Sn _{98,8} -Cu _{1,2}	460
5	Sn _{98,1} -Cu _{1,9}	350

Pada tabel 4.8 yang memuat ukuran kristal material solder yang digunakan dalam penelitian ini, diperoleh bahwa penambahan Cu dengan wt% yang bervariasi dapat memengaruhi ukuran kristal Sn.

Pada penambahan Cu sebesar 0,2 wt%, 1,1 wt % dan 1,2 wt % mendorong pertumbuhan kristal Sn sehingga ukuran kristalitnya menjadi lebih besar jika dibandingkan dengan ukuran kristalit Sn murni. Pertumbuhan kristal Sn yang terbesar adalah pada penambahan Cu sebanyak 0,2 wt %. Namun pada penambahan Cu sebesar 1,9 wt % ternyata ukuran kristalitnya menjadi lebih kecil dibanding pada Sn murni. Berarti penambahan Cu sebanyak 1,9 wt% mulai menghambat pertumbuhan kristal Sn.

4.4 Parameter Unit Sel

Berdasarkan analisis GSAS yang dilakukan untuk semua sampel pada penelitian ini, diperoleh sistem kristal yang sama yaitu tetragonal. Untuk sistem kristal tetragonal, nilai parameter kisinya $a = b \neq c$. Untuk sampel Sn murni, diperoleh data fasa, space group, struktur kristal dan parameter kisi yang dicantumkan dalam tabel 4.9 berikut ini.

Tabel 4.9 Parameter unit sel Sn

Fasa	Space Group	Struktur kristal	Parameter kisi (Å)			h	k	l
			a	b	c			
Sn	I4 ₁ /amd	Tetragonal	5,8134	5,8134	3,175	1	0	1
						2	1	1
						3	0	1
						3	1	2

Dari tabel 4.9 dapat dilihat parameter kisi untuk Sn adalah $a = b = 5,8134$ dan $c = 3,175$. Struktur kristalnya adalah tetragonal dan space groupnya adalah I4₁/amd.

Analisis GSAS yang dilakukan untuk sampel $\text{Sn}_{99,8} - \text{Cu}_{0,2}$ menghasilkan data yang dicantumkan dalam tabel 4.10 di bawah ini.

Tabel 4. 10 Parameter unit sel $\text{Sn}_{99,8} - \text{Cu}_{0,2}$

Fasa	Space Group	Struktur kristal	Parameter kisi (Å)			h	k	l
			a	b	c			
Sn	$I4_1/amd$	Tetragonal	5,8269	5,8269	3,17961	2	0	0
						1	0	1
						2	2	0
						2	1	1
						1	1	2
						3	2	1
						4	2	0
						3	1	2

Dari analisis GSAS yang dilakukan untuk sampel $\text{Sn}_{99,8} - \text{Cu}_{0,2}$ diperoleh struktur kristal yang sama dengan struktur kristal pada Sn murni, yaitu tetragonal. Space groupnya juga adalah $I4_1/amd$. Jika dibandingkan dengan parameter kisi pada Sn murni, ada perbedaan parameter kisi pada sampel yang diberi Cu sebanyak 0,2 wt%. Nilai $a = b = 5,8269 \text{ \AA}$ dan $c = 3,17961 \text{ \AA}$ pada sampel $\text{Sn}_{99,8} - \text{Cu}_{0,2}$ lebih besar, jika dibandingkan nilai $a = b = 5,8134 \text{ \AA}$ dan nilai $c = 3,175 \text{ \AA}$ pada Sn murni. Hal ini menunjukkan bahwa Cu yang ditambahkan ke dalam Sn dapat memengaruhi parameter kisi pada Sn. Meningkatnya nilai a dan c pada sampel $\text{Sn}_{99,8} - \text{Cu}_{0,2}$ dapat menyebabkan ukuran kristalit pada sampel tersebut jauh lebih besar jika dibanding ukuran kristalit Sn murni.

Hasil analisis GSAS yang dilakukan terhadap sampel $\text{Sn}_{98,9} - \text{Cu}_{1,1}$ dicantumkan dalam tabel 4.11 berikut ini.

Tabel 4.11 Parameter unit sel Sn_{98,9} – Cu_{1,1}

Fasa	Space Group	Struktur kristal	Parameter kisi (Å)			h	k	l
			a	b	c			
Sn	I4 ₁ /amd	Tetragonal	5,8303	5,8303	3,1731	2	0	0
						1	0	1
						2	2	0
						2	1	1
						3	0	1
						1	1	2
						3	2	1
						4	2	0
						4	1	1
						3	1	2

Hasil analisis GSAS untuk sampel Sn_{98,9} – Cu_{1,1} menunjukkan bahwa sampel ini mempunyai struktur kristal yang sama dengan Sn murni, yaitu tetragonal. Space groupnya adalah I4₁/amd . Jika dibandingkan dengan Sn murni, ada perbedaan nilai pada parameter kisi. Pada sampel Sn_{98,9} – Cu_{1,1} mempunyai nilai a = b = 5,8303 Å yang lebih besar dibanding nilai a = b = 5,8134 Å pada Sn murni. Sedangkan nilai c = 3,1731 Å pada sampel Sn_{98,9} – Cu_{1,1} lebih kecil dibandingkan nilai c = 3,175 Å pada Sn murni. Perbedaan parameter kisi ini dapat memengaruhi ukuran kristalit sampel Sn_{98,9} – Cu_{1,1}. Ukuran kristalit sampel Sn_{98,9} – Cu_{1,1} menjadi lebih besar dibanding ukuran kristalit Sn murninya.

Hasil analisis GSAS untuk sampel Sn_{98,8} – Cu_{1,2} dicantumkan dalam tabel 4.12 berikut ini.

Tabel 4.12 Parameter unit sel Sn_{98,8} – Cu_{1,2}

Fasa	Space Group	Struktur kristal	Parameter kisi (Å)			h	k	l
			a	b	c			
Sn	I4 ₁ /amd	Tetragonal	5,8288	5,8288	3,1783	2	0	0
						1	0	1
						2	2	0
						2	1	1
						3	0	1
						1	1	2
						3	2	1
						3	1	2

Analisis GSAS untuk sampel Sn_{98,8} – Cu_{1,2} menghasilkan struktur kristal tetragonal dan space group I4₁/amd. Nilai parameter kisi a = b = 5,8288 Å dan nilai c = 3,1783 Å. Nilai parameter kisi ini berbeda dengan nilai parameter kisi pada Sn murni. Nilai parameter kisi a = b = 5,8288 Å dan nilai c = 3,1783 Å pada sampel Sn_{98,8} – Cu_{1,2} lebih besar jika dibanding nilai parameter kisi pada Sn murni. Perbedaan parameter kisi ini dapat menyebabkan ukuran kristalit sampel Sn_{98,8} – Cu_{1,2} lebih besar dibandingkan dengan ukuran kristalit pada Sn murninya.

Hasil analisis GSAS untuk sampel Sn_{98,1} – Cu_{1,9} dicantumkan dalam tabel 4.13 di bawah ini.

Tabel 4.13 Parameter unit sel Sn_{98,1} – Cu_{1,9}

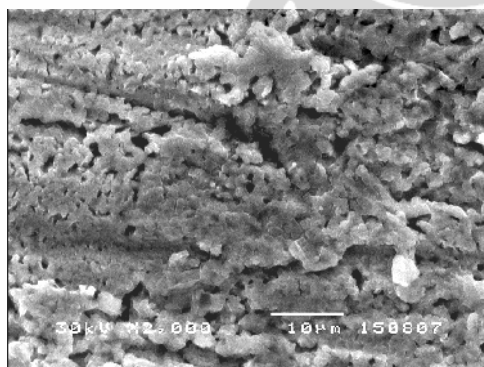
Fasa	Space Group	Struktur kristal	Parameter kisi (Å)			h	k	l
			a	b	c			
Sn	I4 ₁ /amd	Tetragonal	5,8166	5,8166	3,1814	2	0	0
						1	0	1
						2	2	0
						2	1	1
						3	0	1
						1	1	2
						3	2	1
						3	1	2

Hasil analisis GSAS menunjukkan bahwa struktur kristal dan space group yang dimiliki oleh sampel $\text{Sn}_{98,1}-\text{Cu}_{1,9}$ sama dengan yang dimiliki oleh Sn murni. Perbedaannya terletak pada parameter kisi. Nilai $a = b = 5,8166 \text{ \AA}$ dan nilai $c = 3,1814 \text{ \AA}$ pada sampel $\text{Sn}_{98,1}-\text{Cu}_{1,9}$ lebih kecil jika dibandingkan dengan parameter kisi pada Sn murni. Hal ini dapat menyebabkan ukuran kristalit sampel $\text{Sn}_{98,1}-\text{Cu}_{1,9}$ yaitu 350 nm, ternyata lebih kecil dibandingkan ukuran kristalit Sn murni.

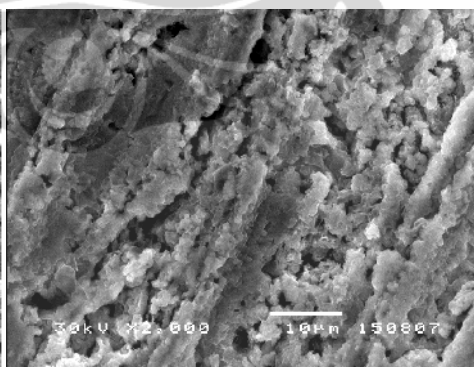
Pada hasil analisis GSAS yang dilakukan untuk setiap sampel yang digunakan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa semua sampel mempunyai space group yang sama yaitu $I4_1/amd$ dan mempunyai struktur kristal yang sama yaitu tetragonal. Berarti penambahan Cu untuk setiap sampel dengan wt% berbeda-beda, tidak mempengaruhi space group dan struktur kristal yang terbentuk. Penambahan Cu akan memengaruhi nilai parameter kisi untuk setiap sampel.

4.5 Hasil Uji dengan SEM

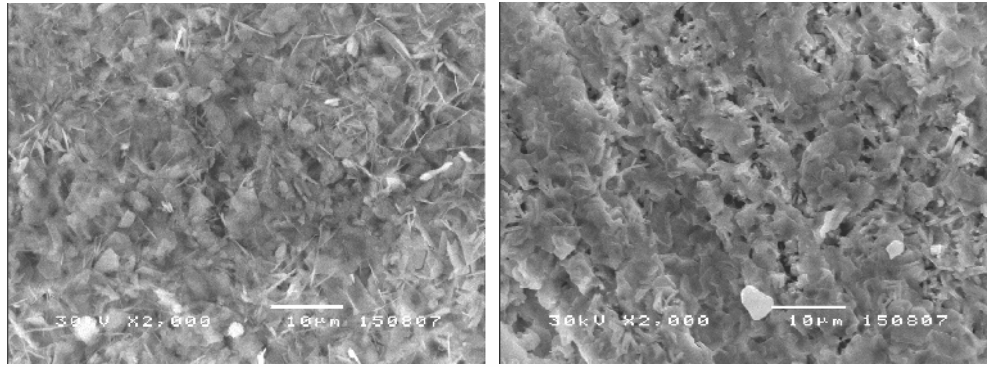
Berikut ini adalah hasil SEM untuk sampel material solder yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 4.13. SEM sampel $\text{Sn}_{99,8}-\text{Cu}_{0,2}$ perbesaran 2000x



Gambar 4.13. SEM sampel $\text{Sn}_{98,9}-\text{Cu}_{1,1}$ perbesaran 2000x



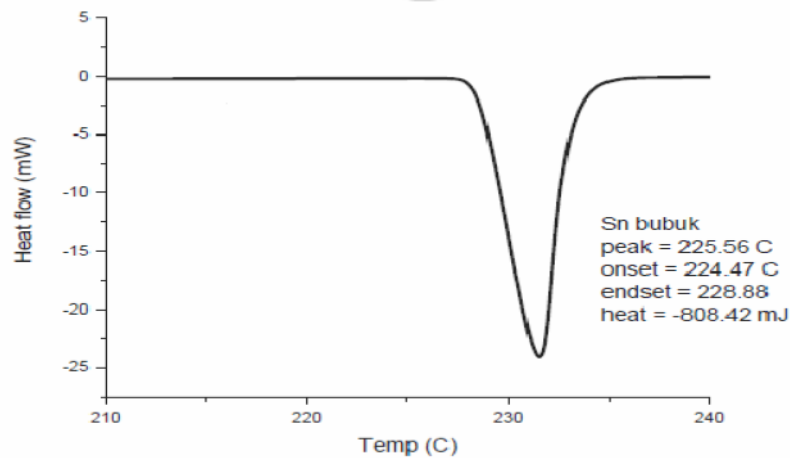
Gambar 4.15. SEM sampel Sn 98,8Cu_{1,2} perbesaran 2000x

Gambar 4.16. SEM sampel Sn 98,1Cu_{1,9} perbesaran 2000x

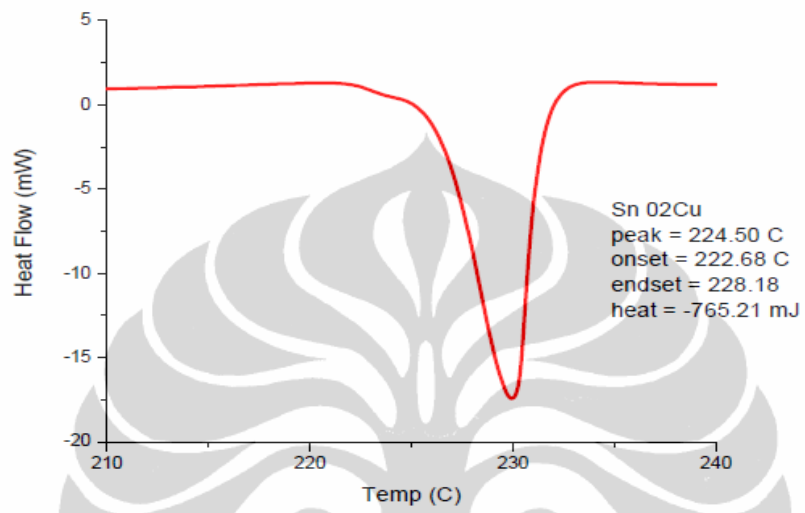
Dari mikrografi dengan SEM gambar 4.13, 4.14, 4.15 dan 4.16 dapat dilihat bahwa fasa Sn yang mendominasi (*Sn rich*) pada setiap sampel. Pada hasil SEM, terlihat bahwa terdapat homogenitas untuk setiap sampel. Pada gambar 4.15 dan 4.16, semakin banyak Cu yang ditambahkan, terlihat gumpalan putih yang diakibatkan ketidak sempurnaan pencampuran antara Sn dengan Cu.

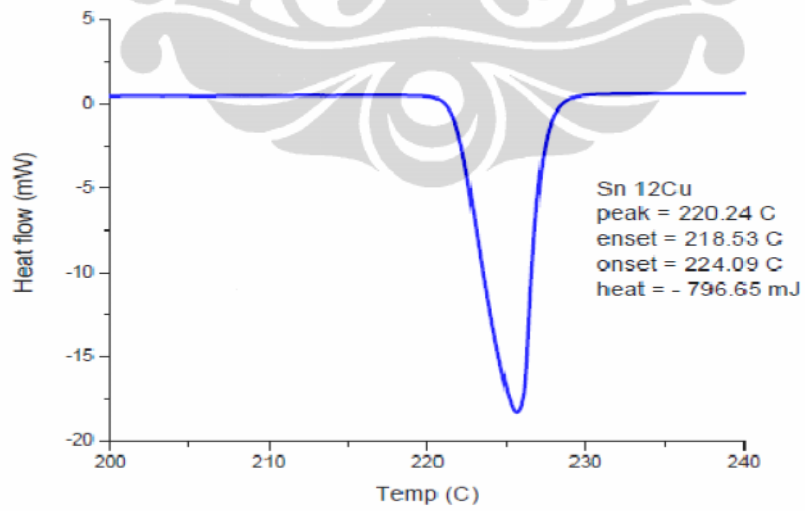
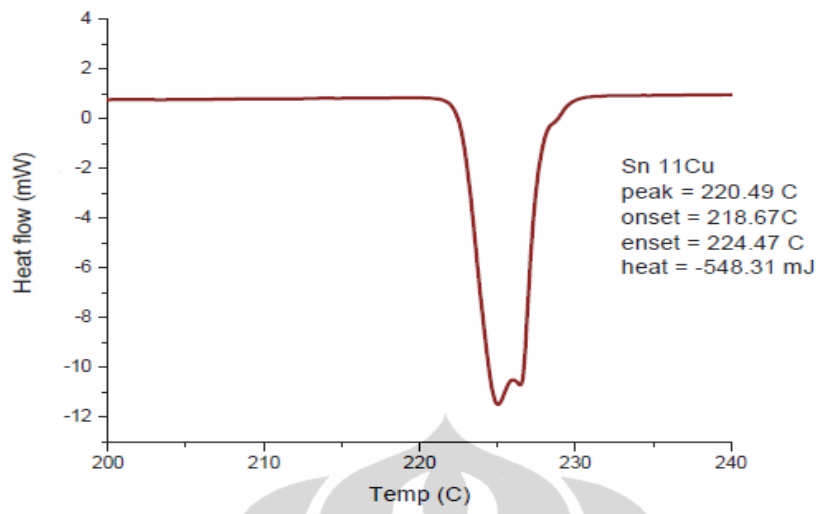
4.6. Kapasitas Panas

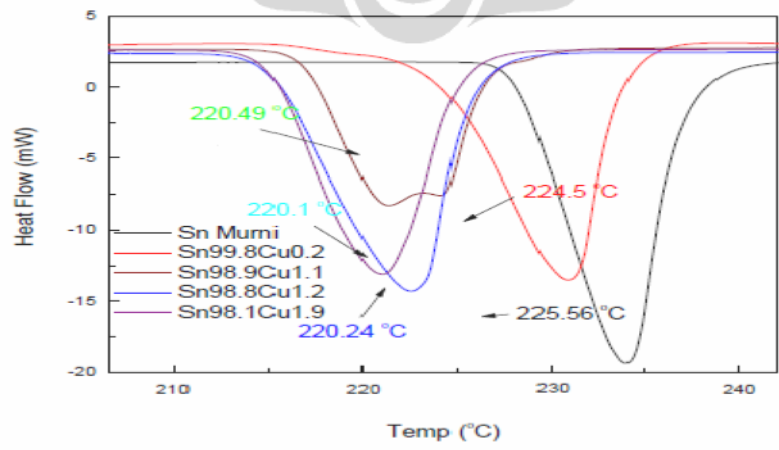
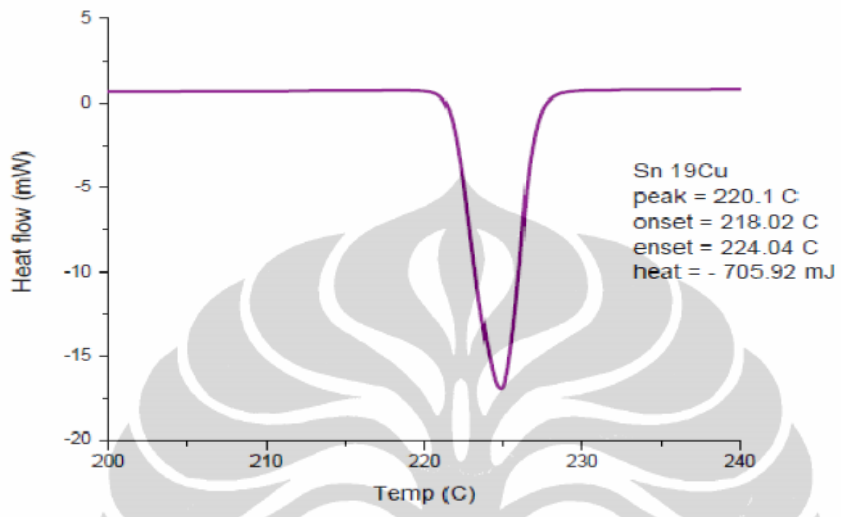
Untuk menentukan kapasitas panas sampel material solder Sn–Cu dalam penelitian ini digunakan uji DSC dengan suhu 31° C – 400 °C. Kurva hasil pengukuran dengan DSC untuk Sn murni dapat dilihat dalam gambar 4.17 berikut ini.



Gambar 4.17. Hasil pengukuran DSC sampel Sn murni







Jika dibandingkan dengan unsur Sn murni, puncak kurva material solder yang telah ditambah Cu lebih rendah dan tidak setajam Sn murni. Luas kurva juga berbeda. Dan terjadi pergeseran kurva ke arah kiri seperti yang tampak pada gambar 4.22. Pergeseran puncak kurva yang terjadi dapat disebabkan oleh mulai terbentuknya fasa pro eutectic Cu_6Sn_5 dengan adanya penambahan Cu dalam setiap sampel material solder pada eksperimen ini. Tabel 4.14 berikut menyatakan perbedaan terdapat dalam setiap material yang digunakan.

Tabel 4.14. Data DSC material solder

Sampel	Puncak °C	Onset °C	Endset °C	Energi mJ
Sn bubuk	225,56	224,47	228,88	-808,42
$\text{Sn}_{99,8} - \text{Cu}_{0,2}$	224,5	222,68	228,18	-765,21
$\text{Sn}_{98,9} - \text{Cu}_{1,1}$	220,49	218,67	224,47	-548,31
$\text{Sn}_{98,8} - \text{Cu}_{1,2}$	220,24	218,53	224,09	-796,65
$\text{Sn}_{98,1} - \text{Cu}_{1,9}$	220,1	218,02	224,04	-705,92

Kenaikan wt% Cu pada material solder Sn menyebabkan adanya penurunan puncak, penurunan onset dan penurunan endset. Penurunan yang cukup signifikan terjadi pada penambahan Cu sebanyak 1,1 wt%.

Luas kurva pada DSC menunjukkan energi yang dibutuhkan untuk melebur. Unsur Sn murni membutuhkan energi yang terbesar untuk melebur dan energi untuk melebur yang terkecil ada pada sampel 1 yaitu sebesar 548,31 mJ. Komposisi wt % Cu pada sampel 1 adalah 1,1%. Ini mendekati komposisi eutectic Sn - Cu yaitu pada wt% Cu 0,7. Penambahan Cu pada material solder Sn dapat menurunkan energi yang dibutuhkan untuk melebur.

Setelah dilakukan pengujian dengan DSC, maka dilakukan perhitungan kapasitas panas (C_p) untuk setiap material yang digunakan. Penghitungan kapasitas panas ini untuk mengetahui bagaimana pengaruh penambahan Cu dengan wt% berbeda terhadap kapasitas panas material solder Sn - Cu .

Dari nilai C_p yang diukur dengan alat uji DSC pada suhu $31\text{ }^{\circ}\text{C} - 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan kecepatan $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ per menit ditentukan kapasitas panas paduan logam Sn – Cu sebagai fungsi temperatur sebagai berikut :

$$C_p(T) = a + b T + c T^{-2} \quad \text{J/mol. K} \quad (4.6)$$

Dimana a, b dan c adalah konstanta yang tergantung pada jenis material (Ragone, 1995).

Dalam tabel 4. 15 dicantumkan nilai konstanta a dan b untuk unsur Sn dan Cu

Tabel 4.15 Nilai konstanta a dan b untuk Sn dan Cu (Ragone, 1995)

Sampel	a	b
Sn	21,59	0,01816
Cu	22,64	0,00628

Dalam tabel 4.16 dicantumkan persamaan C_p yang digunakan dalam penelitian ini untuk Sn dan Cu yang sesuai dengan persamaan (4.6).

Tabel 4.16. Persamaan C_p untuk Sn dan Cu

Sampel	Range temperatur (K)	$C_p(T)$
Sn	298 - 505	$21,59 + 0,01816 T$
Cu	298 - 1356	$22,64 + 0,00628 T$

Menurut literatur, nilai C_p untuk Sn pada temperatur 505 K adalah $30,76\text{ J/mol K}$ dan nilai C_p untuk Cu pada temperatur 505 K adalah $25,81\text{ J/mol K}$. Cu mempunyai nilai C_p yang lebih kecil dibandingkan Sn, yang berarti bahwa Cu melepas panas lebih cepat jika dibanding Sn.

Nilai C_p dan koefisien a, b, c diperoleh menggunakan program Excel. Persamaan yang diperoleh dianggap merupakan persamaan regresi linier, maka dilakukan pengolahan data dengan program Excel untuk mendapatkan koefisien a, b, c. Dari hasil pengolahan data Regresi Linier, diperoleh nilai koefisien a, b, c seperti yang dicantumkan dalam tabel 4.17 berikut ini.

Tabel 4.17. Nilai konstanta a, b dan c hasil eksperimen

Sampel	a	b	c
Sn	87,20	-0,0077	-3165874
Cu	191,66	-0,29	383313,7

Tabel 4.18. Nilai Cp eksperimen Sn dan Cu pada suhu 505 K

Nilai	Sn	Cu
a	87,20	191,66
b	-0,0077	-0,29
c	-3165874	383313,7
Cp (T)	70,91	48,95

Persamaan yang digunakan untuk menghitung Cp pada material solder Sn – Cu yang digunakan dalam eksperimen ini adalah :

$$C_p (T) = (V_1 \times C_{p1}) + (V_2 \times C_{p2}) \quad (4.7)$$

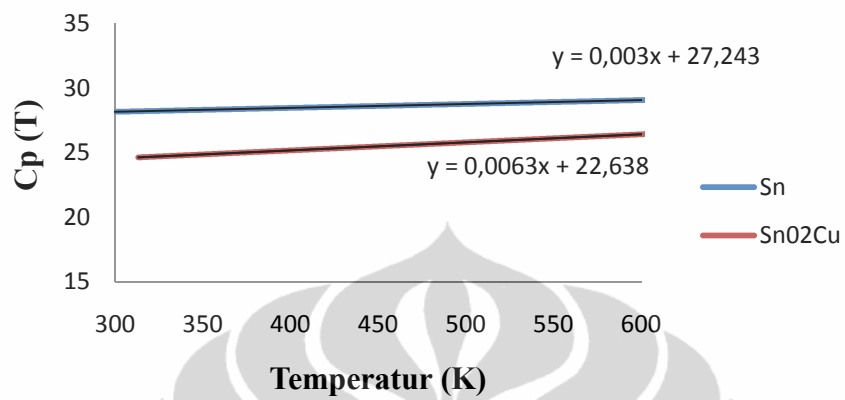
dimana :

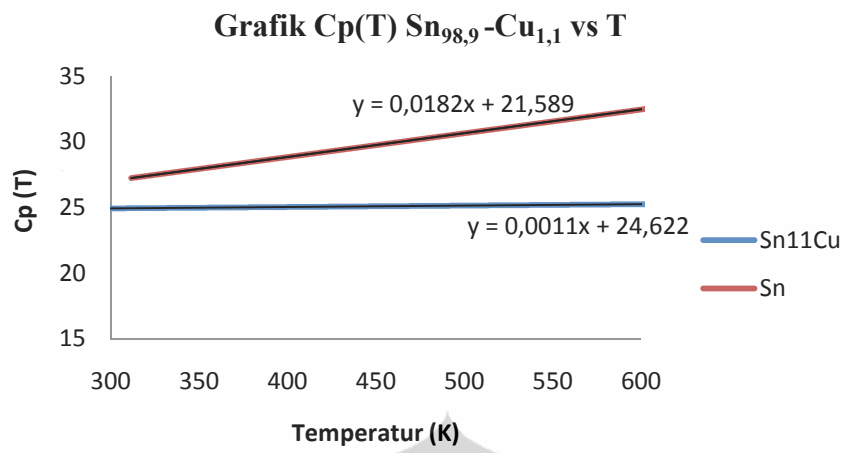
- V_1 = fraksi volume Sn
- V_2 = fraksi volume Cu
- C_{p1} = Cp (T) Sn
- C_{p2} = Cp (T) Cu
- T = temperatur (Kelvin)

Tabel 4.19. Nilai Cp eksperimen sampel Sn – Cu pada 505 K

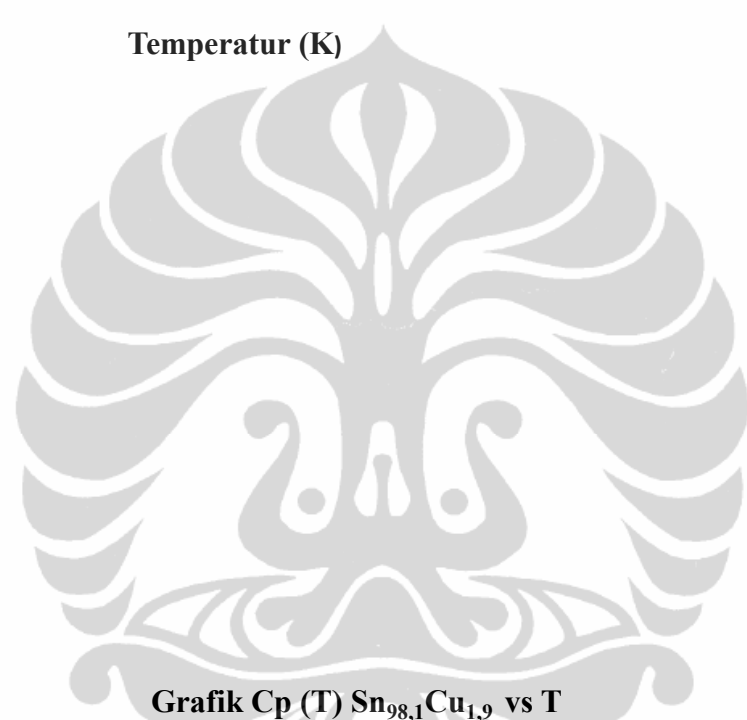
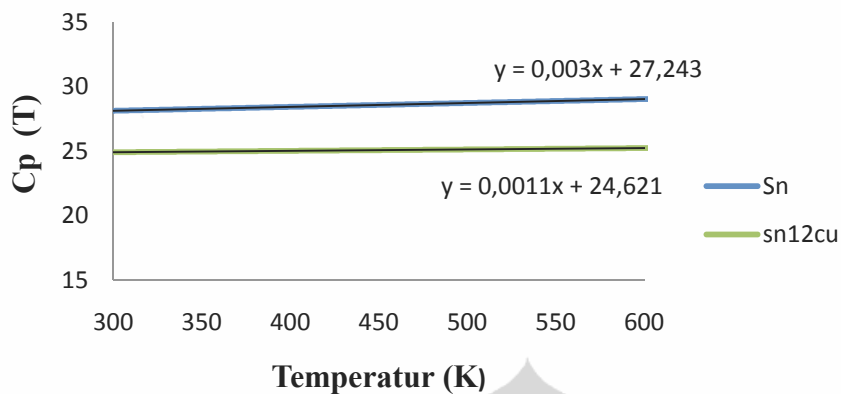
sampel	Sn _{99,8} - Cu _{0,2}	Sn _{98,9} - Cu _{1,1}	Sn _{98,8} - Cu _{1,2}	Sn _{98,1} - Cu _{1,9}
Cp (T)	24,23	24,14	24,12	24,05

Grafik Cp(T) Sn_{99,8}-Cu_{0,2} vs T

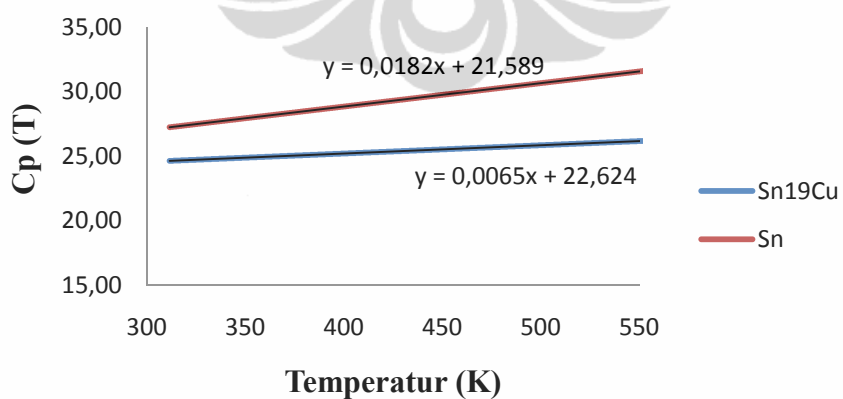




Grafik Cp (T) Sn_{98,8}-Cu_{1,2} vs T



Grafik Cp (T) Sn_{98,1}Cu_{1,9} vs T



Pada gambar 4.21 tampak bahwa nilai kapasitas panas pada sampel $\text{Sn}_{98,1} - \text{Cu}_{1,9}$ lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai kapasitas panas Sn menurut literatur.

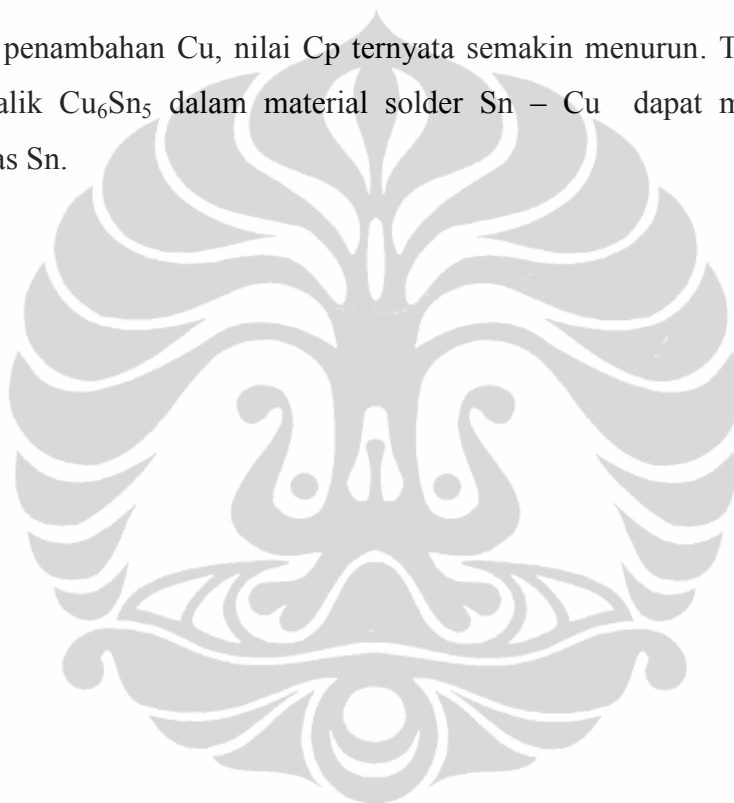
Pada gambar 4.18 dapat diamati bahwa ada perbedaan antara kapasitas panas sampel $\text{Sn}_{99,8} - \text{Cu}_{0,2}$ yang diuji jika dibandingkan dengan kapasitas panas Sn yang diperoleh dari literatur. Demikian juga dengan nilai kapasitas panas pada sampel $\text{Sn}_{98,9} - \text{Cu}_{1,1}$ yang nilainya lebih tinggi rendah kapasitas panas Sn menurut literatur. Namun pada sampel $\text{Sn}_{99,8} - \text{Cu}_{0,2}$ dan sampel $\text{Sn}_{98,9} - \text{Cu}_{1,1}$ belum mulai terbentuk komposit atau ikatan intermetalik antara Sn dengan Cu, sehingga nilai kapasitas panas yang ada pada kedua sampel tersebut adalah merupakan nilai kapasitas panas paduan logam Sn dan Cu. Pada sampel $\text{Sn}_{99,8} - \text{Cu}_{0,2}$ dan sampel $\text{Sn}_{98,9} - \text{Cu}_{1,1}$ hanya terdapat fasa Sn dan fasa Cu. Pada sampel $\text{Sn}_{98,8} - \text{Cu}_{1,2}$, kapasitas panasnya juga menurun jika dibandingkan dengan nilai kapasitas panas Sn menurut literaturnya. Penurunan terbesar terjadi pada sampel uji yang terakhir yaitu $\text{Sn}_{98,1} - \text{Cu}_{1,9}$. Penurunan nilai kapasitas panas pada sampel $\text{Sn}_{98,8} - \text{Cu}_{1,2}$ dan sampel $\text{Sn}_{98,1} - \text{Cu}_{1,9}$ dapat disebabkan oleh mulai terbentuknya komposit antara Sn dengan Cu. Menurut diagram fasa antara Sn dengan Cu, pada sampel $\text{Sn}_{98,8} - \text{Cu}_{1,2}$ dan sampel $\text{Sn}_{98,1} - \text{Cu}_{1,9}$ terdapat terdapat fasa Sn, fasa Cu dan fasa Cu_6Sn_5 . Fasa Cu_6Sn_5 inilah yang dapat menyebabkan turunnya kapasitas panas pada material solder Sn – Cu.

Tabel 4.20 mencantumkan nilai C_p (T) pada suhu 505 K untuk setiap sampel uji yang digunakan. Tabel ini nilainya relatif karena *heat capacity* pada alat DSC yang digunakan dalam penelitian ini belum dikalibrasi.

Tabel 4.20. Nilai Cp (T) pada temperatur 505 K

Kapasitas Panas	Teoritis	Eksperimen
Sn	30,76	70,91
Sn _{99,8} Cu _{0,2}	25,82	24,23
Sn _{98,9} Cu _{1,1}	25,87	24,13
Sn _{98,8} Cu _{1,2}	25,87	24,12
Sn _{98,1} Cu _{1,9}	25,91	24,05

Dalam setiap penambahan Cu, nilai Cp ternyata semakin menurun. Terdapatnya fasa intermetalik Cu₆Sn₅ dalam material solder Sn – Cu dapat menurunkan kapasitas panas Sn.



BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan yaitu :

1. Struktur mikro pada sampel uji $\text{Sn}_{99,8}\text{-Cu}_{0,2}$, $\text{Sn}_{98,9}\text{-Cu}_{1,1}$, $\text{Sn}_{98,8}\text{-Cu}_{1,2}$ dan $\text{Sn}_{98,1}\text{-Cu}_{1,9}$ tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Pada hasil mikrografi hasil SEM menunjukkan bahwa fasa yang ada didominasi oleh Sn (*Sn rich*). Pada penambahan Cu sebanyak 1,2 wt% dan 1,9 wt% tampak gumpalan putih Cu pada struktur mikro sampel uji.
2. Penambahan Cu 0,2 wt%, 1,1 wt% dan 1,2 wt% dapat memperbesar pertumbuhan kristal fasa Sn, sedangkan penambahan Cu sebesar 1,9 wt% dapat menghambat pertumbuhan kristal fasa Sn.

No	Paduan	Ukuran Kristal (nm)
1	Sn	435
2	$\text{Sn}_{99,8}\text{-Cu}_{0,2}$	805
3	$\text{Sn}_{98,9}\text{-Cu}_{1,1}$	474
4	$\text{Sn}_{98,8}\text{-Cu}_{1,2}$	460
5	$\text{Sn}_{98,1}\text{-Cu}_{1,9}$	350

3. Diperoleh juga nilai C_p (T) pada temperatur 505 K untuk setiap sampel yang nilainya menurun apabila wt% Cu dinaikkan.

Kapasitas Panas	Teoritis	Eksperimen
Sn	30,76	70,91
$\text{Sn}_{99,8}\text{Cu}_{0,2}$	25,82	24,23
$\text{Sn}_{98,9}\text{Cu}_{1,1}$	25,87	24,13
$\text{Sn}_{98,8}\text{Cu}_{1,2}$	25,87	24,12
$\text{Sn}_{98,1}\text{Cu}_{1,9}$	25,91	24,05

5.2. Saran

1. Perlu dilakukan lagi simulasi perhitungan koefisien a, b, c untuk sampel Sn dan paduannya dalam material solder.
2. Pada penelitian selanjutnya, dapat dilakukan variasi persen berat lagi untuk Cu dan variasi suhu peleburan yang lebih tinggi lagi.



DAFTAR REFERENSI

<http://www.ptli.com/testlopedia/tests/DSC-d3417.asp>

www.npl.co.uk/upload/img_400/DSC.jpg

ASM Handbook Committee. (1992). *ASM Handbook Volume 3: Alloys Phase Diagrams*. USA: ASM International.

Lee, Ning Cheng (2007). *Getting Ready for Lead Free Solders*. USA: Indium Corporation of America Utica NY

Yanfu, Yan et al. (2007). Influence of Temperature on Creep Behaviour of Ag Particle Enhancement SnCu Based Composite Solder. *TSINGHUA SCIENCE AND TECHNOLOGY ISSN 1007-0214 10/18 pp 296-301, Volume 12, number 3, June*.

A. Handwerker, Carol et al. (2007). *Alloy Selection; Lead Free Electronic; edited by Bradley, Handwerker, Bath and Gedney*. New York :The Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

Puttlitz, Karl J and Stalter, Kathleen A. (2004). *Handbook of Lead-Free Solder Technology for Microelectronic Assemblies*. New York: Marcel Dekker Inc.

Tarek El-Ashram. (2005). The Relation between Valency, Axial Ratio, Young's Modulus and Resistivity of Rapidly Solidified Tin-based Eutectic Alloy. *Journal of Material Science in Electronics* 16, 501-505.

D Soares et al. (2005). *Study of the interface reactions between two Lead-free Solders and Copper substrates*. Portugal.

National Institute of Standards & Technology, Colorado School of Mines. (2002). *Database for Solder Properties with Emphasis on New Lead-free Solders Release 4.0: Properties of Lead free Solders*. USA

Sidorov, V et al. (2008). *Physical Properties of some Sn-Cu Melts at High Temperature*. *Journal of Physics : Conference Series* 98,062018

Nogita, Kasuhiro et al. (2005). *Microstructure Control in Sn-0.7 mass % Cu Alloys*. *Material Transactions* Volume 46,11, 2419-2425. Japan : The Japan Institute of Metal.

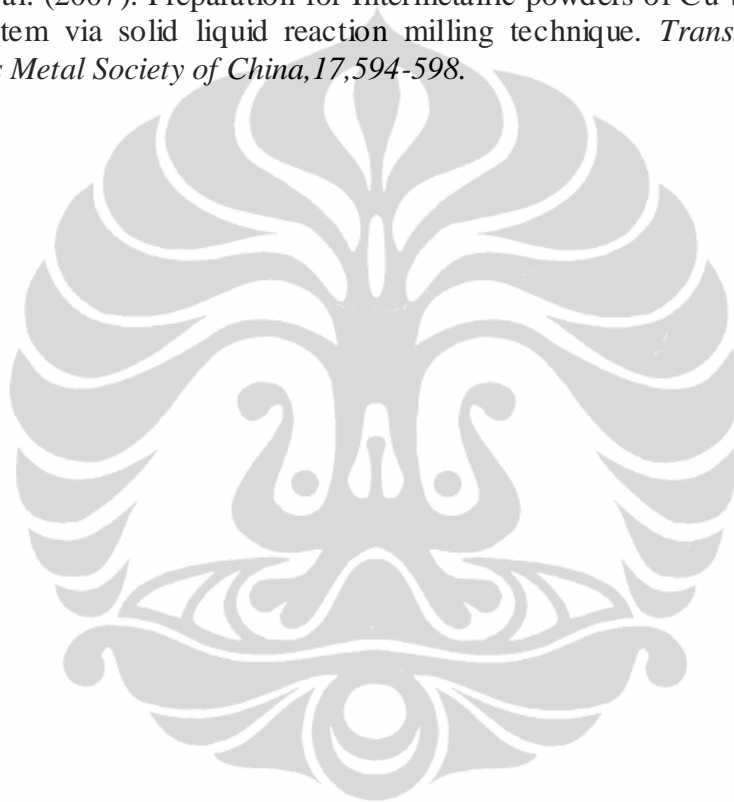
Ragone, V David. (1995). *Thermodynamics of Materials volume 3*. Canada : John Wiley & Sons.

Cullity, B.D. (1978). *Elements of X-Ray Diffraction second edition*. USA : Addison-Wesley Publishing Company, inc.

Hikam, Muhammad. (2007). *Catatan kuliah Kristalografi dan Teknik Difraksi Program Studi Ilmu Material*. Departemen Fisika FMIPA. Jakarta : Universitas Indonesia.

Yulistianti. (2006). *Penentuan Kapasitas Panas Material Iron Ore Mengandung Ilmenite*. Tesis. Program Pasca Sarjana. Program studi Ilmu Material. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Jakarta : Universitas Indonesia.

Chen Ding et al. (2007). Preparation for Intermetallic powders of Cu-Sn and Cu-Ni-Sn system via solid liquid reaction milling technique. *Transactions of Nonferrous Metal Society of China*, 17, 594-598.



LAMPIRAN 1

HASIL UJI XRD SAMPEL MATERIAL SOLDER Sn Cu













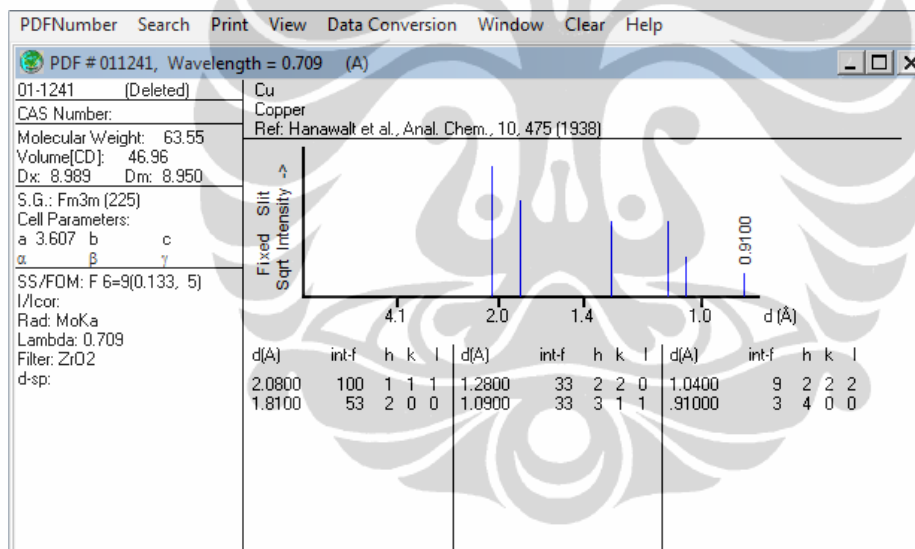
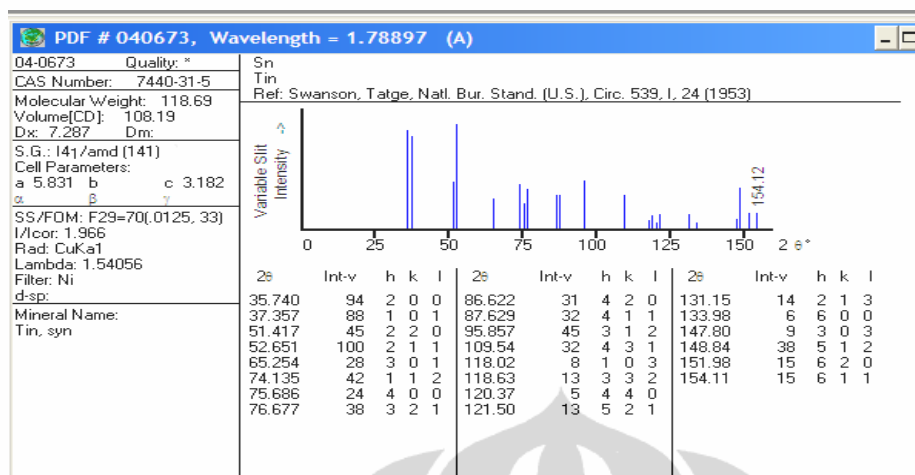


LAMPIRAN 2

PCPDFWIN YANG DIGUNAKAN SEBAGAI REFERENSI



Universitas Indonesia

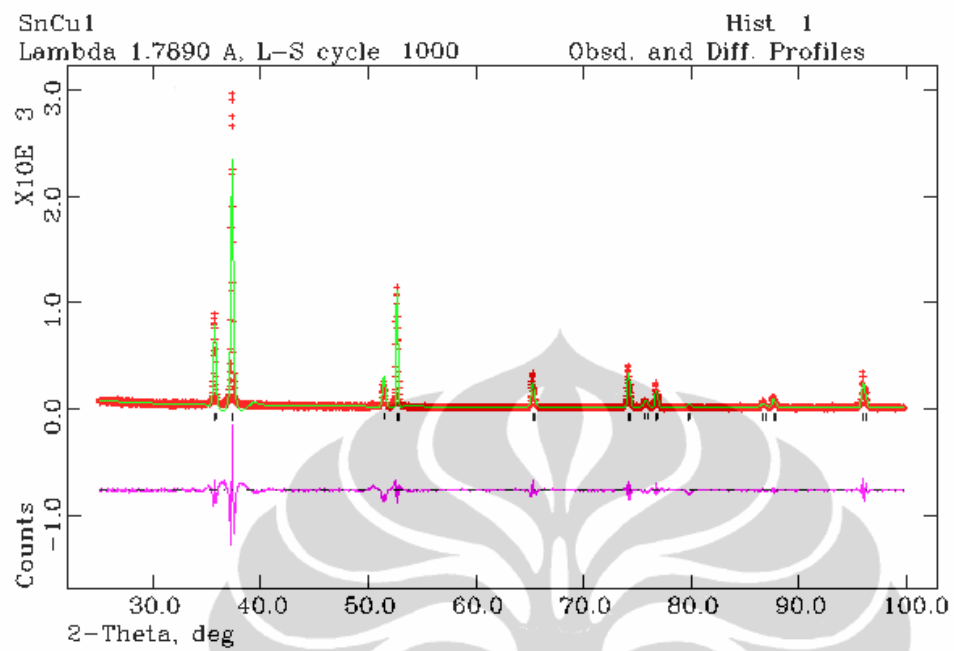


LAMPIRAN 3

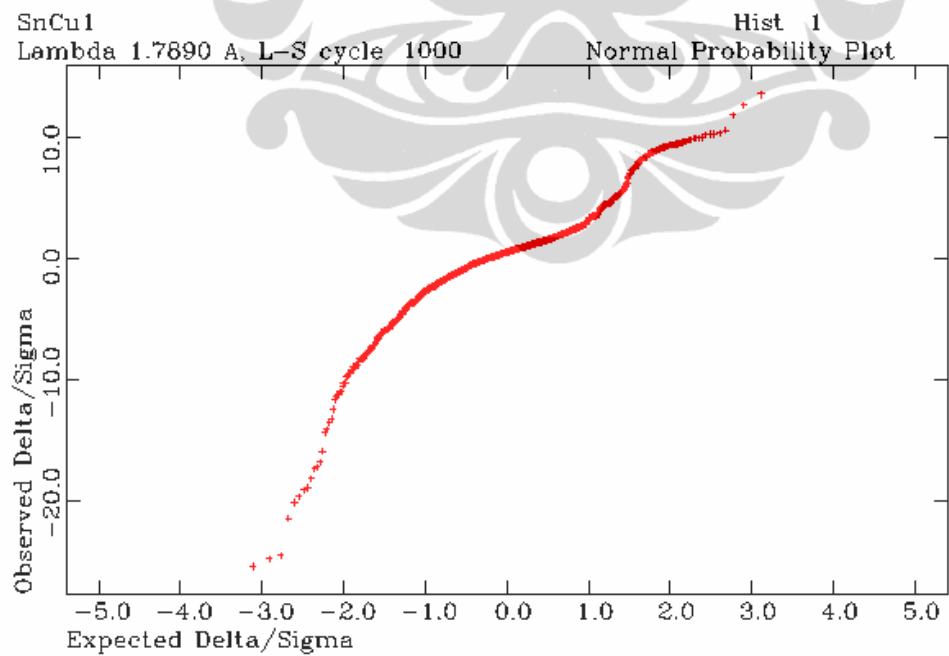
HASIL *REFINEMENT* MENGGUNAKAN PROGRAM GSAS

Universita s Indone sia

$\text{Sn}_{99.8}\text{-Cu}_{0.2}$

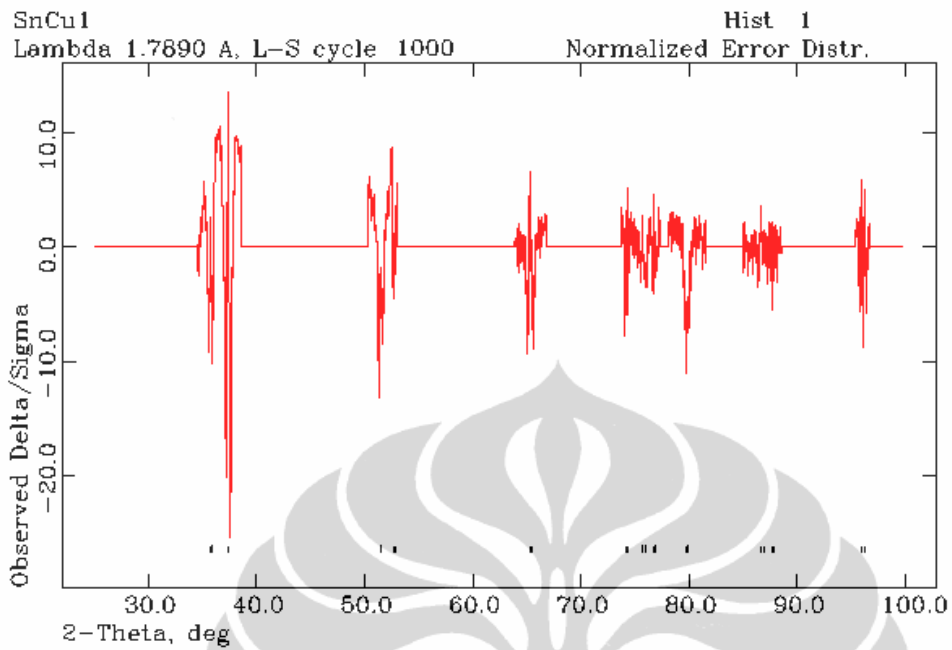


$\text{Sn}_{99.8}\text{-Cu}_{0.2}$

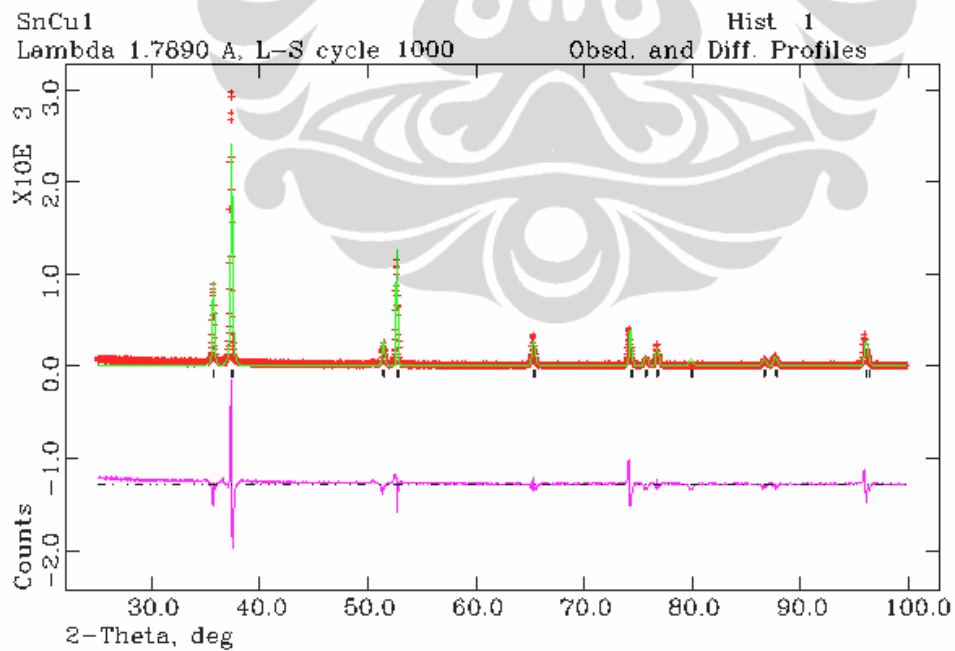


Universitas Indonesia

Sn_{99,8}-Cu_{0,2}

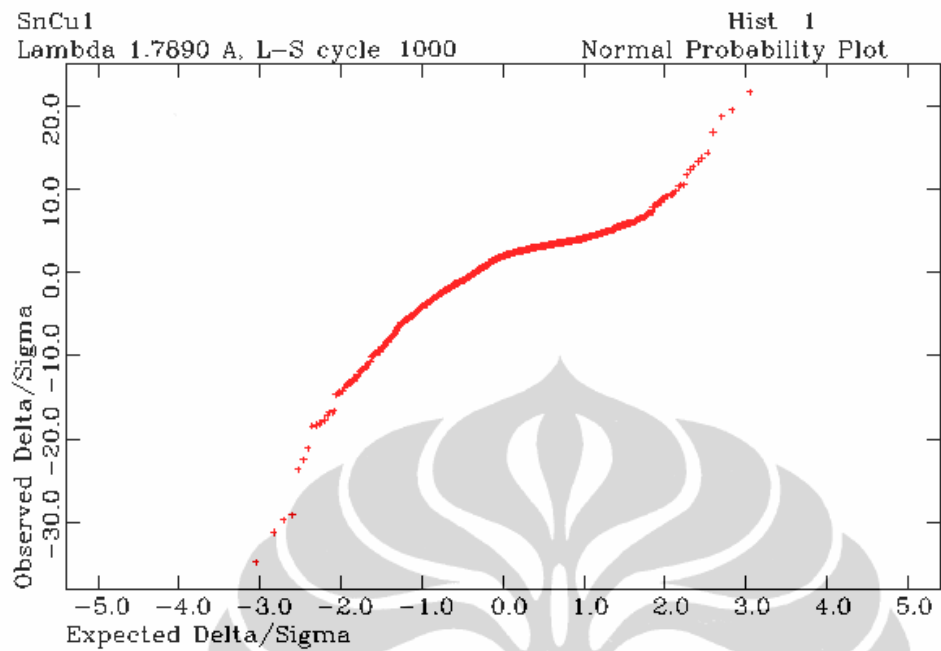


Sn_{98,9}-Cu_{1,1}

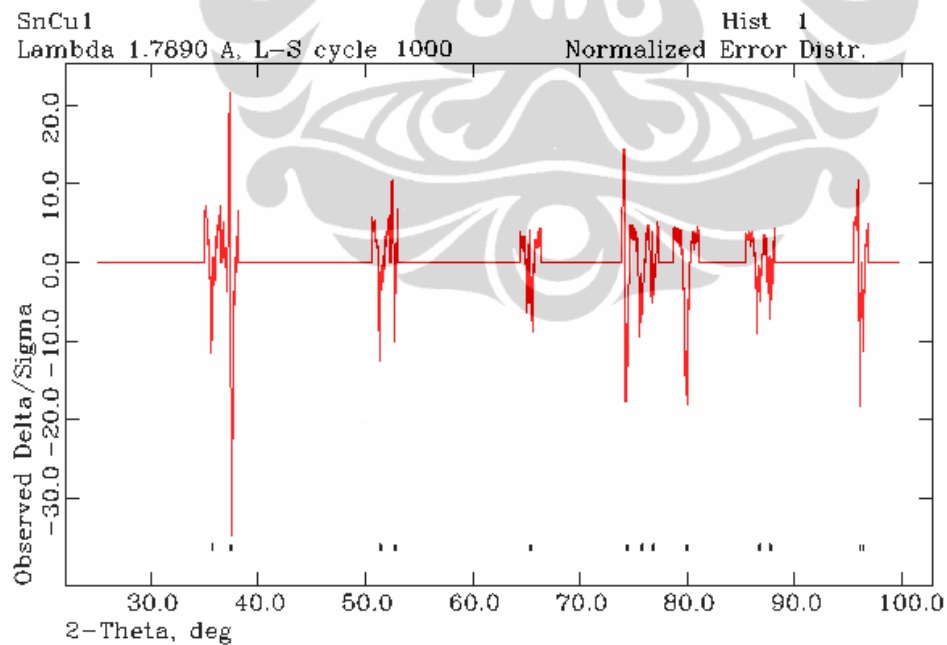


Universita Indonesia

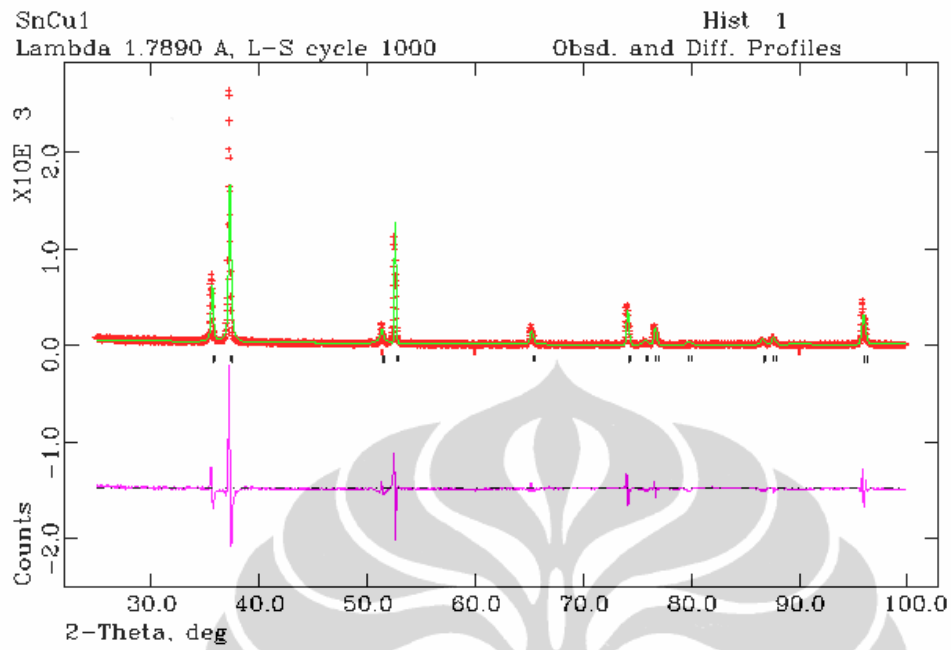
Sn_{98,9}-Cu_{1,1}



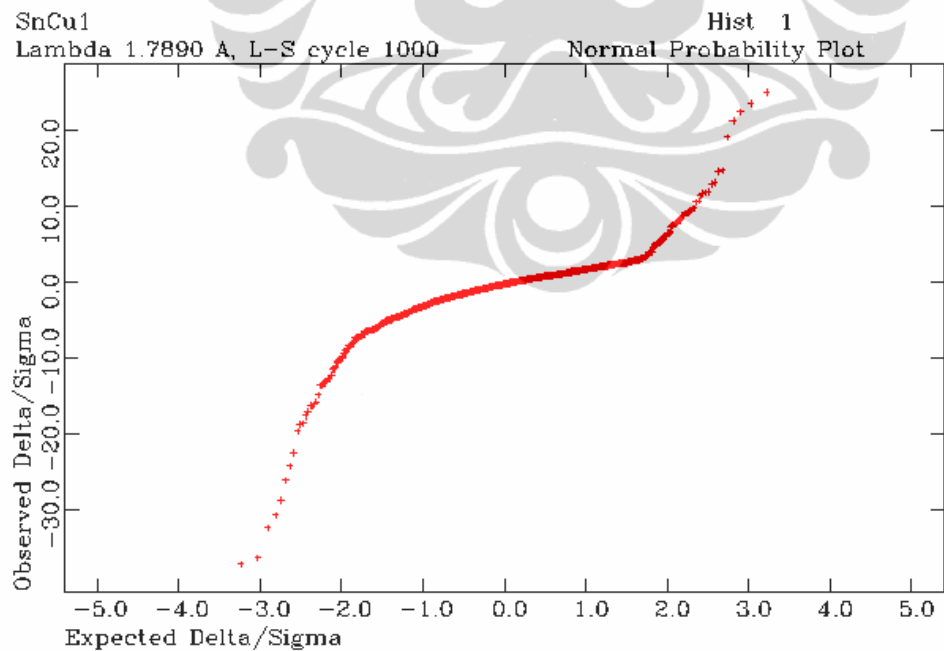
Sn_{98,9}-Cu_{1,1}



Sn_{98,8}-Cu_{1,2}

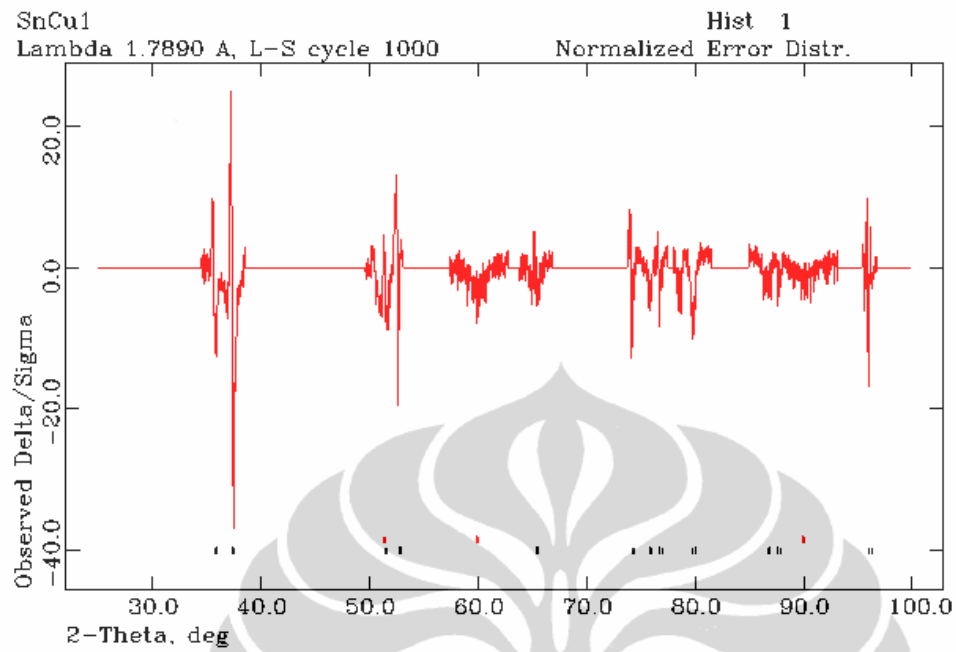


Sn_{98,8}-Cu_{1,2}

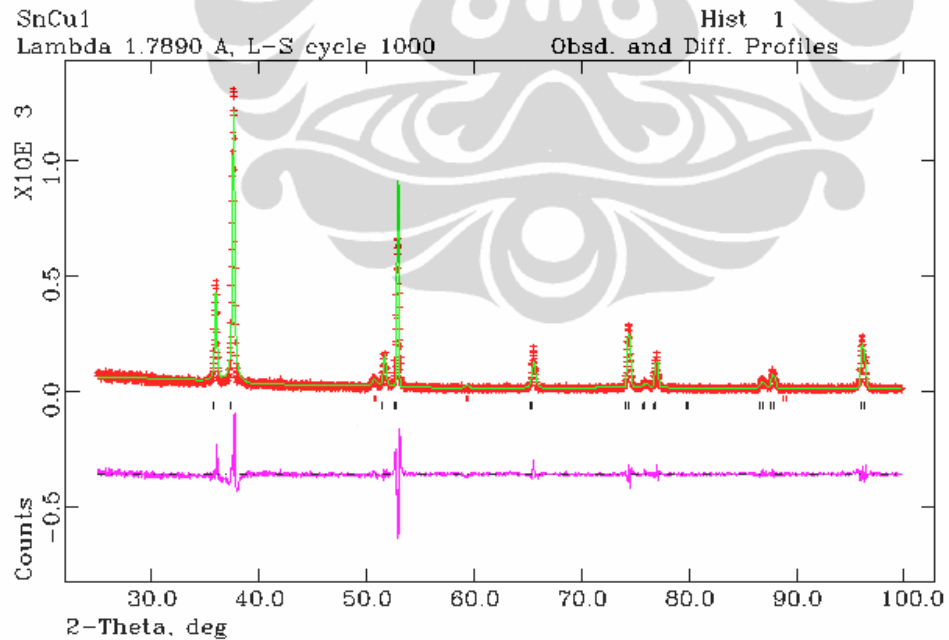


Universita Indonesia

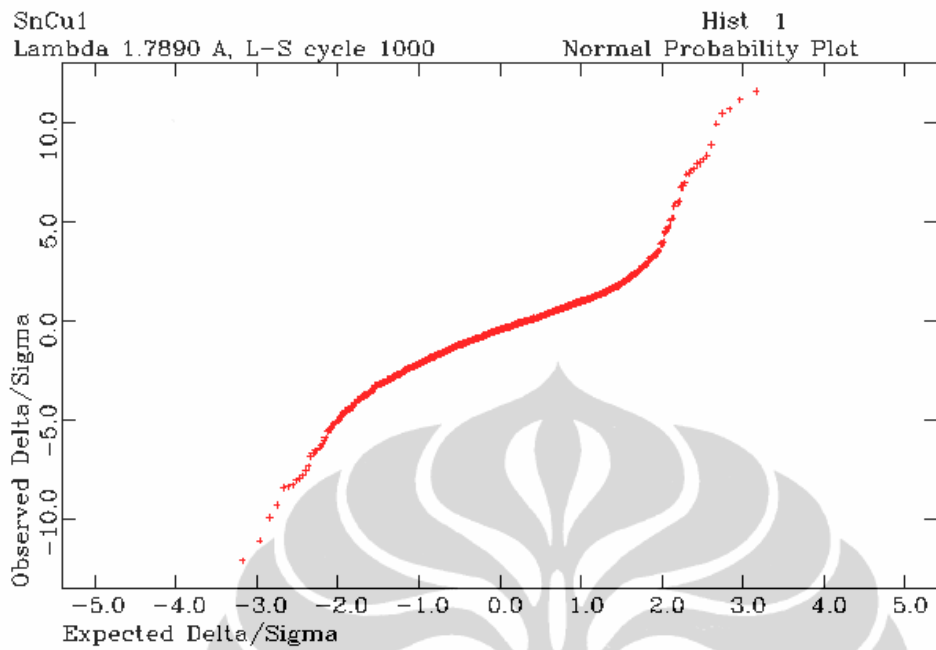
Sn_{98,8}-Cu_{1,2}



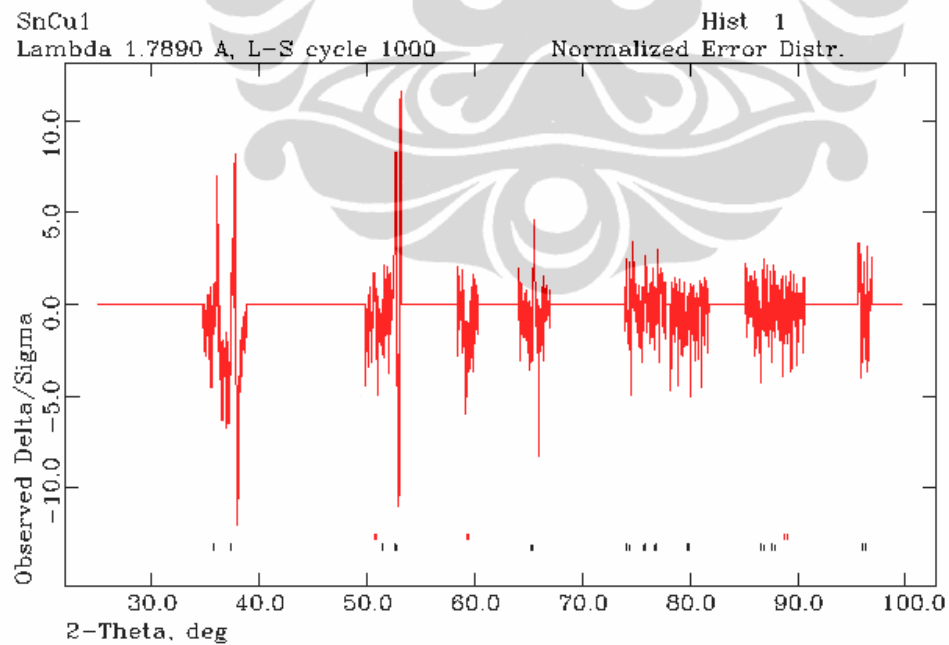
Sn_{98,1}-Cu_{1,9}



Sn_{98,1}-Cu_{1,9}



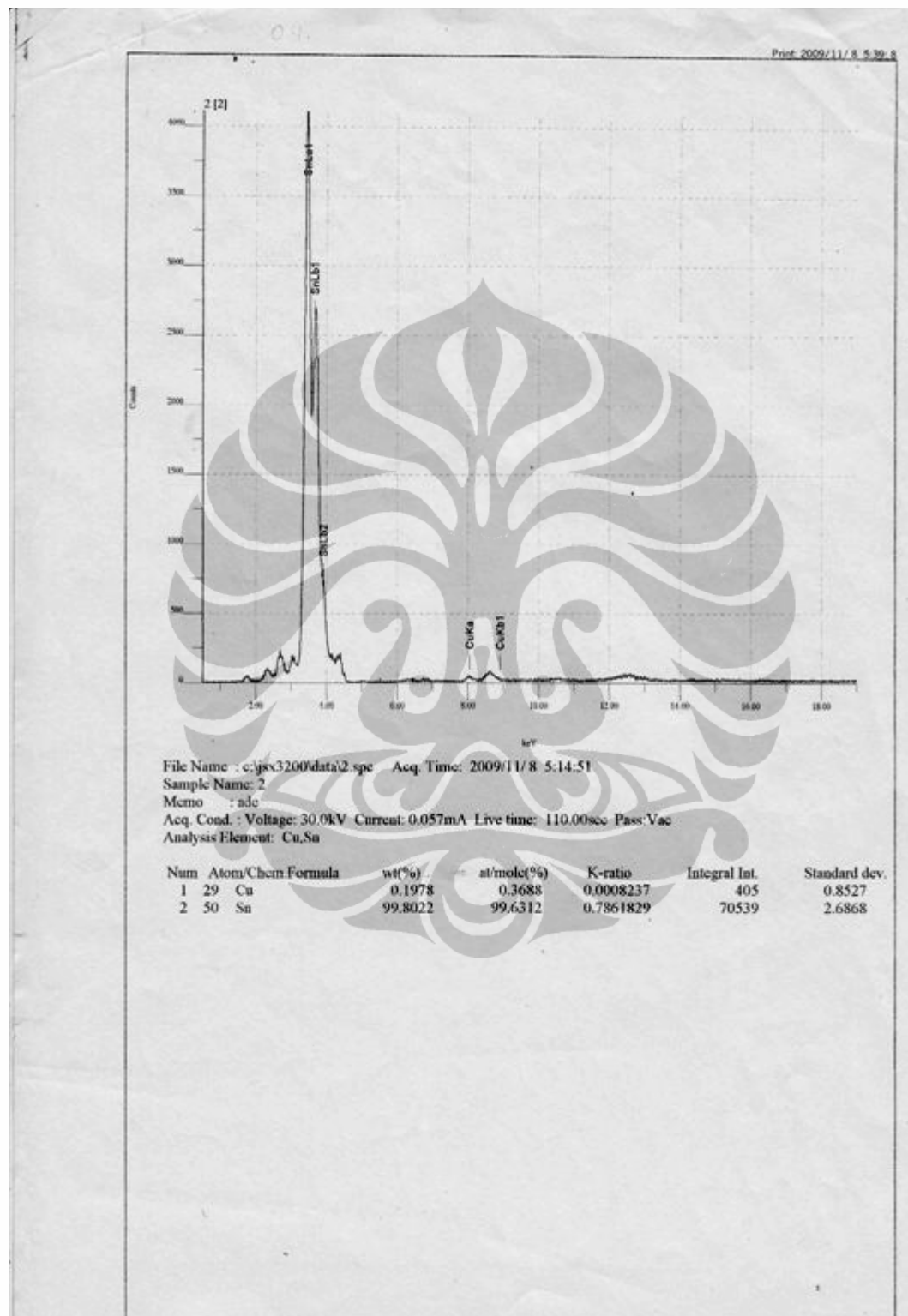
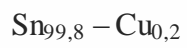
Sn_{98,1}-Cu_{1,9}

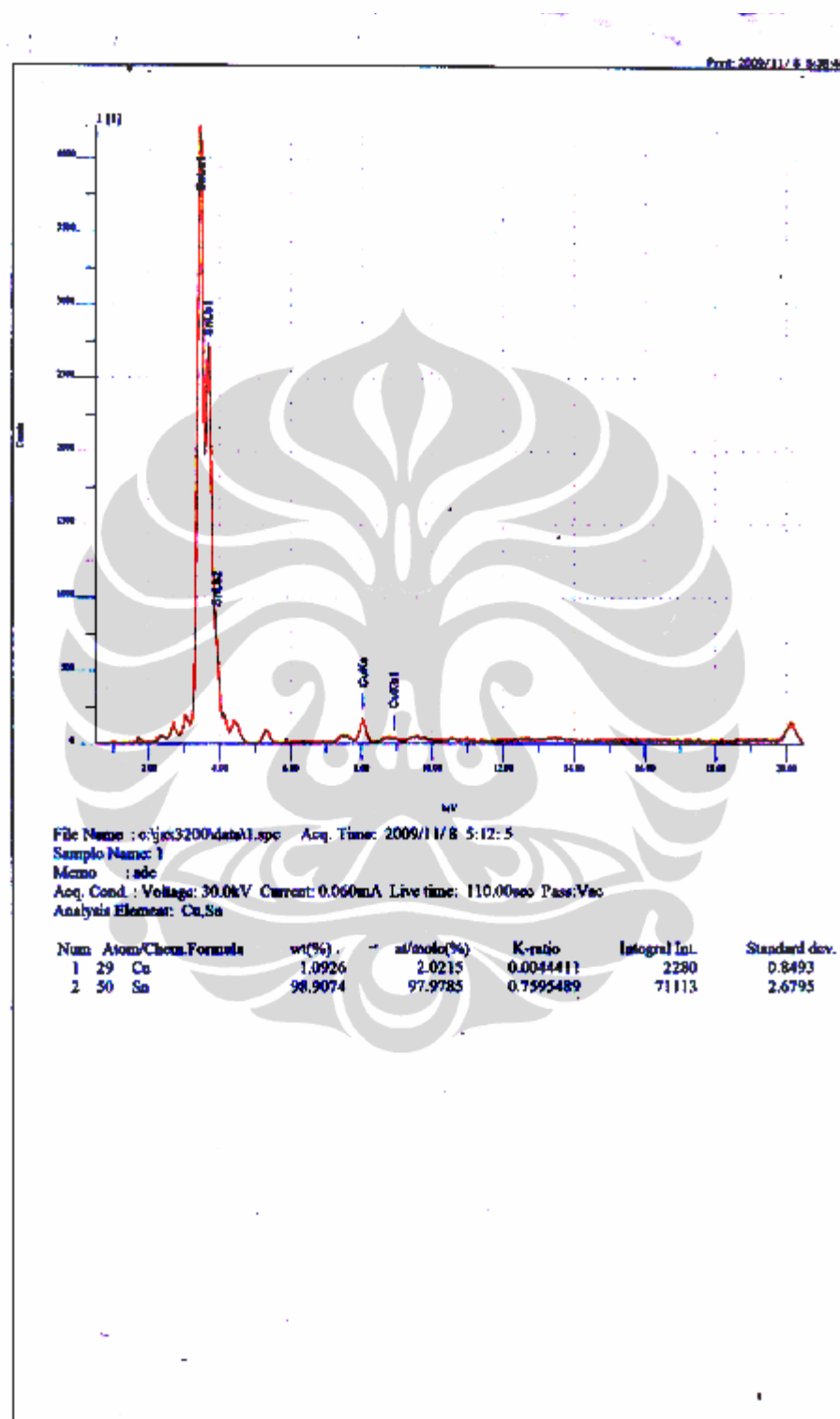
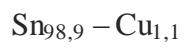


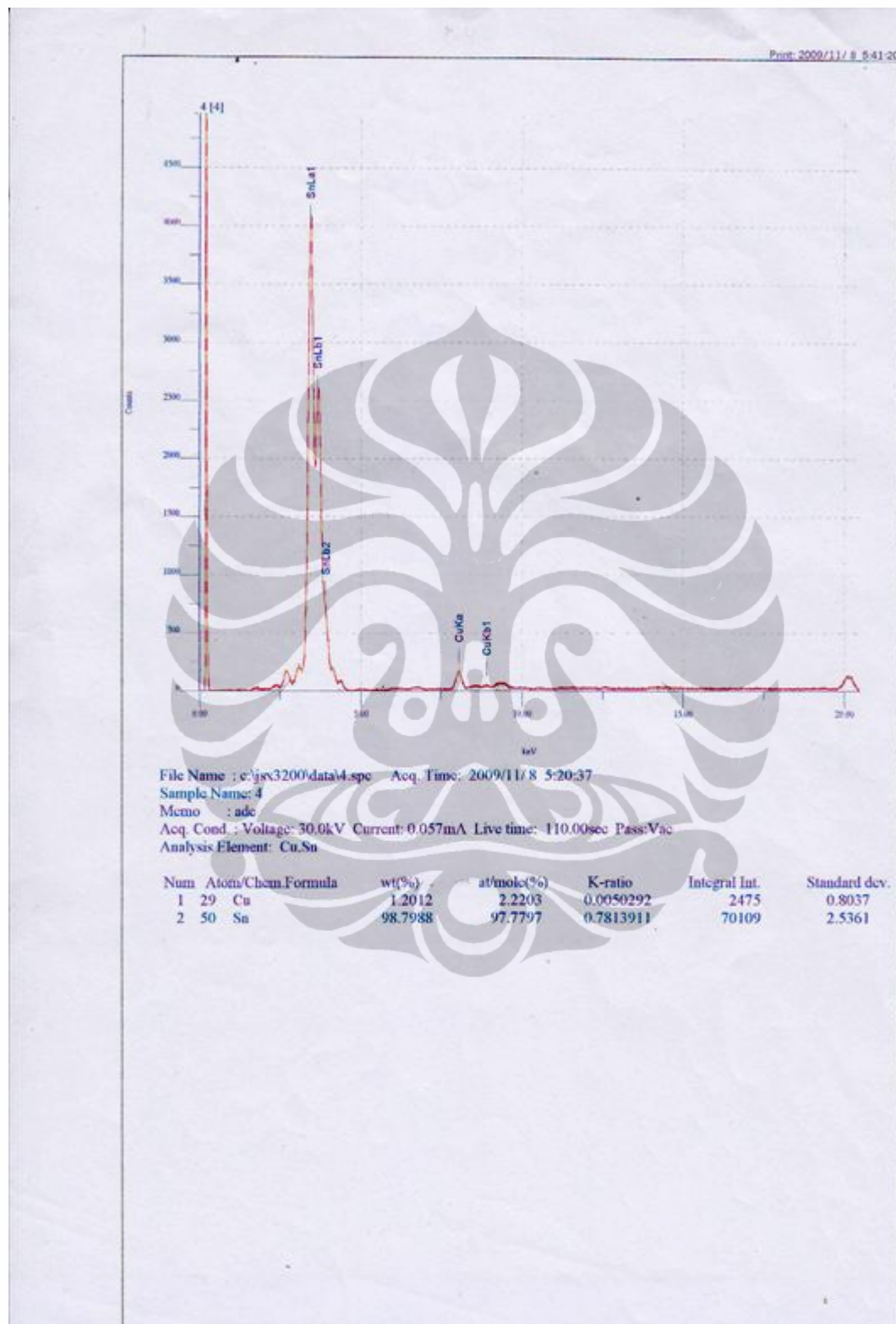
LAMPIRAN 4

HASIL UJI XRF MATERIAL SOLDER Sn Cu

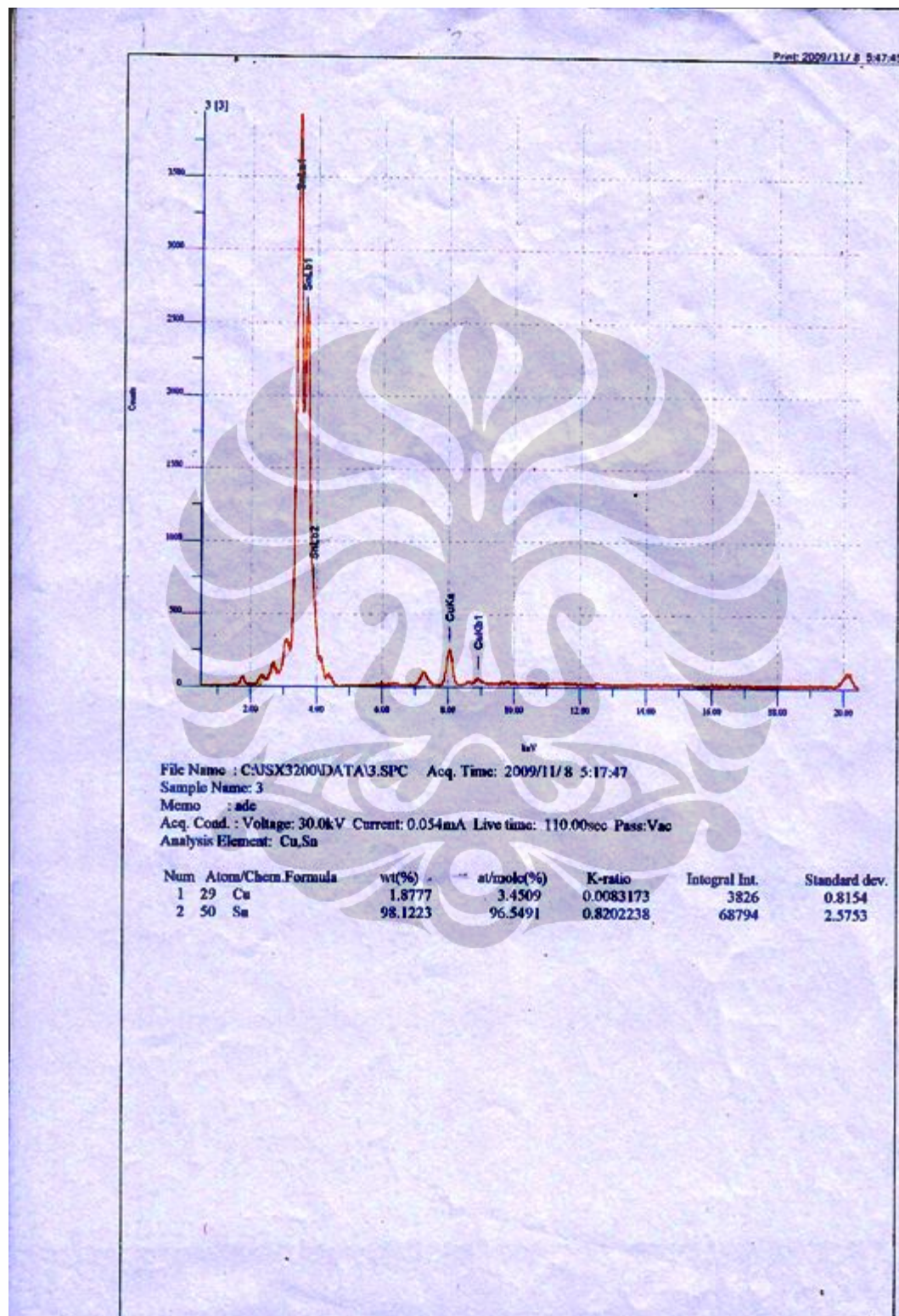






$\text{Sn}_{98,8} - \text{Cu}_{1,2}$


Universitas Indonesia

$\text{Sn}_{98,1} - \text{Cu}_{1,9}$


Universitas Indonesia