



UNIVERSITAS INDONESIA

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

SKRIPSI

MELA ASTATIRA

0305020586

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



UNIVERSITAS INDONESIA

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

SKRIPSI

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

MELA ASTATIRA

0305020586

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI FISIKA
KEKHUSUSAN FISIKA MATERIAL DAN 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 : MELA ASTATIRA

NPM : 0305020586

Tanda Tangan :

Tanggal : 16 Juni 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : MELA ASTATIRA
NPM : 0305020586
Program Studi : Fisika Material dan Zat Mampat S1
Judul Skripsi :

STUDI PENGARUH PENAMBAHAN PB TERHADAP SIFAT STRUKTUR, TERMAL DAN SIFAT KEKERASAN DARI PADUAN SN-PB

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 Soegiono ()

Penguji I : Dr. Muhammad Hikam ()

Penguji II : Dr. techn. Djoko Triyono ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 16 Juni 2010

KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta hidayah-Nya sehingga penyusunan skripsi ini dapat diselesaikan.

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. Mama dan Papa serta saudara terdekat penulis yang selalu mendoakan, memberikan motivasi, dorongan, semangat dan fasilitas yang menunjang keberhasilannya penulisan skripsi ini, "I love you all".
2. Dr. Budhy Kurniawan selaku dosen pembimbing pertama yang telah membimbing penulis baik dalam metode penulisan, alur penelitian, mengajarkan cara melakukan presentasi ilmiah yang baik, nasehat, dorongan, semangat serta segala fasilitas yang telah diberikan dalam menyelesaikan tugas akhir ini, "Terimakasih banyak yang sedalam-dalamnya saya ucapkan pada Bapak".
3. Dr. Bambang Soegiono selaku dosen pembimbing kedua yang telah membimbing penulis dalam hal pemahaman, penelitian, ilmu pengetahuan, motivasi dan nasehat sehingga penulis memiliki banyak pengalaman serta pengetahuan yang belum diketahui oleh penulis sebelumnya, terlebih lagi penulis menjadi lebih banyak memiliki sahabat yang lebih mahir di dalam bidang material sehingga dapat membimbing penulis, "Dr Bambang, I love you full".
4. Dr. Muhammad Hikam selaku penguji I dan Dr. Djoko Triyono, M.Sc selaku penguji II atas saran, kritik serta bimbingannya sebelum penulis melakukan sidang hingga pada saat sidang berlangsung.
5. Dr. Azwar Manaf selaku pemimpin sidang atas saran serta arahan yang telah diberikan pada penulis pada saat sidang berlangsung sehingga penulis dapat mengetahui serta mengoreksi kesalahan penulis, "Dr Azwar is the best".

6. Orang yang selalu memberikan dukungan moriil, semangat, perhatian lebih serta doa kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini, orang terdekat selama perkuliahan ini, Muhammad Hafiz Syafril.
7. Mba Rahma, mba Ade, mba Fira serta mas Jan yang telah bersedia meluangkan waktu untuk diskusi, bimbingan serta bantuannya dalam menyelesaikan penelitian ini. “Thanks for All, tanpa kalian penulis tidak akan bisa bisa menyelesaikan penelitian ini”.
8. Sahabat penulis yang selalu memberikan hiburan, Mr Suneo Gadget Arya Wicaksana.
9. Teman, sahabat, saudara seperjuanganku yang sempat bersama-sama melewati perjalanan yang sama untuk mendapatkan tujuan yang sama, Manyang Panjerrino.
10. Saudara seperjuangan penulis yang selalu berkenan dihati, alm Fanny Azizi.
11. Prof. Dr. Djarwani S Soedjoko selaku pembimbing akademis penulis yang selalu memberi motivasi dan bimbingan selama kuliah di Fisika UI.
12. Mba Ratna, yang telah memberikan segala informasi dan motivasi dan seluruh dosen serta karyawan departemen Fisika atas segala ilmu dan bantuan teknis yang penulis peroleh selama menjadi mahasiswa Fisika UI.
13. Sahabat terbaik penulis, Maria Theodora, Edhitya Mutiara Sari, Astrid Triyana yang selalu sedia berbagi suka dan duka bersama penulis, “Terimakasih atas support kalian”.
14. Sahabat serta teman penulis dari dahulu hingga nanti, anak-anak USLS, Helmi Indra, Andi Sagita, Catra Darusman, Miftahul Haq, Gerry Orlando, Muhammad Subhan, Andes Rizky, Muhammad Yunanda, Novarie, Bayu Seno, “USLS mantabs gan”.
15. Teman-teman terbaikku, penghuni workshop, yang selalu menyegarkan hari-hariku saat dilanda kebosanan dan kejenuhan, Fandy Ahmad, Imam Haromain, Tri Sutrisno, Bondan Dwiseno, Dedi Swistida, Taqwa Tanjung, Akhmad Kholidin dan teman-teman satu peminatan penulis, Charles Bernando dan Pepew.
16. 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, 16 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 : Mela Astatira
NPM : 0305020586
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 PB
TERHADAP SIFAT STRUKTUR, TERMAL DAN SIFAT
KEKERASAN DARI PADUAN SN-PB**

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 memublikasikan 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 : 16 Juni 2010

Yang menyatakan

(Mela Astatira)

Nama : Mela Astatira

Program studi : Fisika

Judul skripsi : Studi Pengaruh Penambahan Pb Terhadap Sifat Struktur, Termal dan Sifat Kekerasan dari Paduan Sn-Pb

ABSTRAK

Paduan SnPb telah digunakan sebagai material solder sejak dahulu. Namun setelah ditemukan adanya kandungan racun yang berbahaya bagi manusia maka pemerintah menggalakkan bebas timbal. Hal ini tentunya memaksa industri untuk mulai mencari pengganti timbal. Berdasarkan hal tersebut dilakukan penelitian untuk melihat pengaruh bertambahnya Pb terhadap sifat struktur, termal dan kekerasan dari paduan SnPb. Paduan SnPb dipreparasi di atmosfer nitrogen dengan menggunakan metode peleburan. Dilakukan variasi kandungan Pb (persen berat) dalam paduan SnPb. Sampel paduan dikarakterisasi menggunakan XRF (*X-Ray Fluorescence*), XRD (*X-Ray Diffraction*), DSC (*Differentials Scanning Calorymetry*), SEM (*Scanning Electron Microscopic*) and *Vickers Hardness*. Hasil karakterisasi menggunakan XRD menginformasikan bahwa fasa yang terbentuk hanya fasa Sn dan fasa Pb. Ukuran kristal dihitung menggunakan formula Debye-Scherrer sedangkan parameter kisi dari setiap variasi paduan didapat dengan menggunakan program GSAS. Karakterisasi termal paduan SnPb dengan menggunakan DSC memperlihatkan bahwa semakin menjauhi komposisi eutektik, ditemukan adanya puncak endoterm yang menunjukkan fasa $L+\beta$. Dan berdasarkan hasil karakterisasi menggunakan SEM ditemukan Pb yang menggumpal pada paduan SnPb saat menjauhi komposisi eutektiknya. Sedangkan untuk sifat kekerasannya dapat diasumsikan bahwa kekerasan paduan SnPb semakin menurun ketika persen berat Pb semakin bertambah yang dikonfirmasi melalui tes *vicker hardness*.

Kata kunci : Paduan SnPb, XRD, XRF, DSC, SEM, *vicker hardness*, komposisi eutektik.

Name : Mela Astatira
Program study : Physics
Title of essay : Study of Pb Addition Effect to Structures, Thermal and Hardness
Characteristic of Sn-Pb Alloys

ABSTRACT

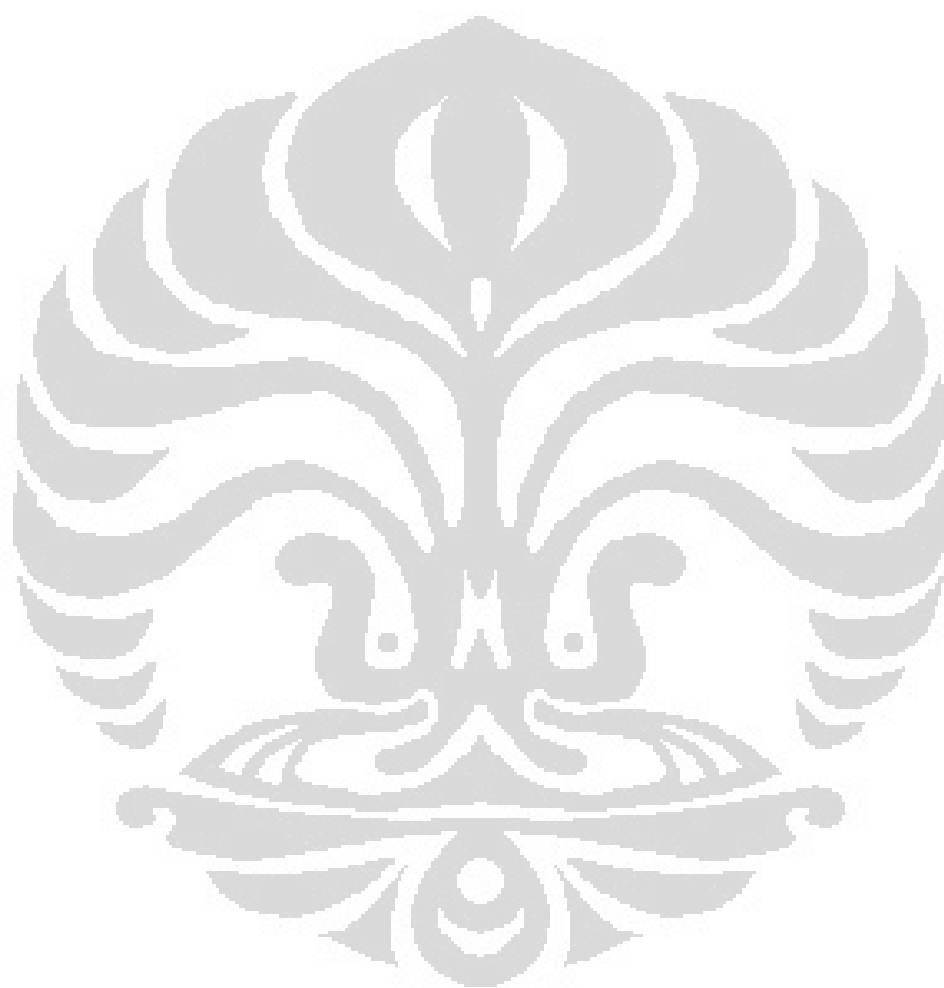
SnPb alloy had been used as a material solder from along ago. After it has discovered that lead contains neurotoxin which is harmful to humans, the government now promote a lead free movement for electronic packaging and another appliance. This is certainly forced the industry to start searching for a lead replacement. It was then conducted research to see the effect of adding Pb to structure, thermal and hardness properties of SnPb alloy. SnPb alloy prepared by fusion method within nitrogen atmosphere. The composition of Pb in SnPb alloy are varied. All sample variation are characterized using XRF (X-Ray Fluorescence), XRD (X-Ray Diffraction), DSC (Differential Scanning Calorimetry), SEM (Scanning Electron Microscopic) and Vickers Hardness. From XRD result shows only Sn phase and Pb phase are formed. Crystallite size calculated using Scherrer formula, while the lattice parameters obtained from program named GSAS. Thermal study and characterization for all SnPb alloys was measured as a function of temperature using a Differential Scanning Calorimetry. From this measurement revealed the existence of L+ β phase when SnPb alloys weren't at the eutectic composition. And based on the results of characterization using SEM found agglomeration of Pb in SnPb alloys except for an eutectic composition. From Vicker Hardness test confirmed that the hardness characteristic of SnPb alloys decreases when increasing weight percent Pb.

Keywords : SnPb Alloy , XRD, XRF, DSC, SEM, vicker hardness, eutectic composition.

DAFTAR ISI

Halaman

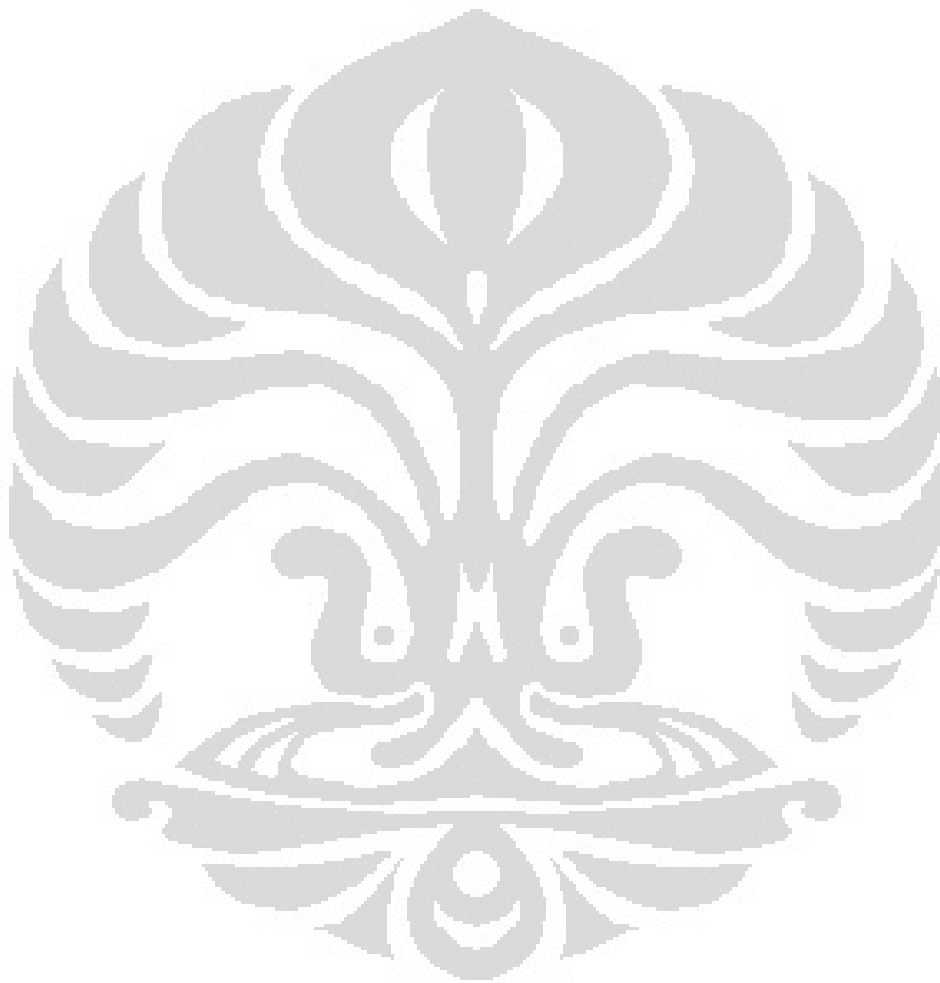
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Pembatasan Masalah.....	3
1.3 Maksud dan Tujuan.....	3
1.4 Metodologi Penelitian	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 TEORI DASAR	6
2.1 Pengertian Material Solder	6
2.2 Sifat dan Karakteristik Material Sn	8
2.3 Sifat dan Karakteristik Material Pb	11
2.4 Paduan SnPb sebagai Material Solder	11
2.4.1 Sifat Mekanik Paduan SnPb.....	12
2.4.2 Sifat Termal Paduan SnPb.....	13
2.4.3 Morfologi dan Struktur Paduan SnPb.....	17
BAB 3 EKSPERIMEN	20
3.1 Variasi Paduan SnPb	20
3.2 Material yang Dipakai	20
3.3 Proses Pembuatan.....	20
3.4 Karakterisasi Sampel	21
3.4.1 Karakterisasi dengan Menggunakan XRF.....	22
3.4.2 Karakterisasi dengan Menggunakan XRD	22
3.4.3 Karakterisasi dengan Menggunakan DSC.....	23
3.4.4 Karakterisasi dengan Menggunakan SEM	24
3.4.5 Karakterisasi dengan Menggunakan <i>Vicker Hardness</i>	25
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1 Karakterisasi Terhadap Komposisi Paduan SnPb	28
4.2 Karakterisasi Terhadap Struktur Paduan SnPb.....	29
4.3 Karakterisasi Terhadap Sifat Termal Paduan SnPb.....	40
4.4 Karakterisasi Terhadap Morfologi dan Topografi Paduan SnPb.....	44
4.5 Karakterisasi Terhadap Sifat Mekanik Paduan SnPb.....	47
BAB 5 PENUTUP	51
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran	52



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Besarnya Modulus Elastis paduan SnPb terhadap variasi fraksi berat Sn.....	12
Tabel 2.2. Besarnya <i>Yield Strength</i> paduan SnPb terhadap variasi fraksi berat Pb-Sn	12
Tabel 2.3. Besarnya <i>Shear Strength</i> paduan SnPb terhadap variasi fraksi berat Pb-Sn	13
Tabel 4.1. Hasil karakterisasi XRF pada semua variasi paduan SnPb	28
Tabel 4.2. Fasa yang terbentuk, nilai hkl, ukuran kristal, parameter kisi serta <i>space group</i> Sn plat murni yang didapat dari hasil <i>refinement</i> menggunakan GSAS dan Match.....	31
Tabel 4.3. Fasa yang terbentuk, nilai hkl, ukuran kristal, parameter kisi serta <i>space group</i> Pb murni yang didapat dari hasil <i>refinement</i> menggunakan GSAS dan Match	31
Tabel 4.4. Fasa yang terbentuk, nilai hkl, ukuran kristal, parameter kisi serta <i>space group</i> paduan 95.4/4.6 Sn/Pb yang didapat dari hasil <i>refinement</i> menggunakan GSAS dan Match	32
Tabel 4.5 Fasa yang terbentuk, nilai hkl, ukuran kristal, parameter kisi serta <i>space group</i> paduan 90.5/9.5 Sn/Pb yang didapat dari hasil <i>refinement</i> menggunakan GSAS dan Match.....	33
Tabel 4.6. Fasa yang terbentuk, nilai hkl, ukuran kristal, parameter kisi serta <i>space group</i> paduan 76.4/23.06 Sn/Pb yang didapat dari hasil <i>refinement</i> menggunakan GSAS dan Match.....	33
Tabel 4.7. Fasa yang terbentuk, nilai hkl, ukuran kristal, parameter kisi serta <i>space group</i> paduan 79.4/20.6 Sn/Pb yang didapat dari hasil <i>refinement</i> menggunakan GSAS dan Match.....	34
Tabel 4.8 . Fasa yang terbentuk, nilai hkl, ukuran kristal, parameter kisi serta <i>space group</i> paduan 65.6/34.4 Sn/Pb yang didapat dari hasil <i>refinement</i> menggunakan GSAS dan Match.....	35
Tabel 4.9. Fasa yang terbentuk, nilai hkl, ukuran kristal, parameter kisi serta <i>space group</i> paduan 64.4/35.7 Sn/Pb yang didapat dari hasil <i>refinement</i> menggunakan GSAS dan Match.....	35

Tabel 4.10. Rasio c/a pada fasa Sn terhadap persen berat Pb	38
Tabel 4.11. Besarnya titik leleh, nilai endset dan onset, entalpi serta energy kristal untuk masing-masing paduan SnPb.....	41
Tabel 4.12 Pengaruh penambahan Pb terhadap HV paduan SnPb.....	48
Tabel 4.13 Pengaruh penambahan Pb terhadap <i>yield strength</i> paduan SnPb	49



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Skematik langkah-langkah penelitian	4
Gambar 2.1.	<i>Sn-dendrites</i>	10
Gambar 2.2.	<i>Sn-needles</i>	10
Gambar 2.3.	Diagram fasa untuk Pb murni.....	14
Gambar 2.4.	Diagram fasa paduan SnPb	14
Gambar 2.5.	Diagram fasa paduan SnPb pada kondisi eutektik	16
Gambar 2.6.	Kurva XRD paduan SnPb	17
Gambar 2.7.	Susunan kristal paduan SnPb	17
Gambar 2.8	<i>Optical micrograph</i> dari paduan 37Pb-63Sn dengan <i>cooling rate</i> sebesar $10^0\text{C}/\text{min}$	18
Gambar 2.9	<i>Optical micrograph</i> dari paduan 15Pb-85Sn dengan <i>cooling rate</i> sebesar $10^0\text{C}/\text{min}$	18
Gambar 3.1.	Paduan SnPb berdasarkan persen berat Pb	21
Gambar 3.2.	Bagan pembuatan paduan SnPb secara garis besar.....	21
Gambar 3.3.	Alat XRF (<i>X-Ray Fluoresence</i>) merk JEOL Element Analyzer JSX-3211 dengan tegangan 30.0 kV dan arus sebesar 0.035 mA....	22
Gambar 3.4.	<i>X-Ray Powder Diffractometer</i> Philips PW 3710/40kv	23
Gambar 3.5.	<i>Differential Scanning Calorimetry</i> (DSC) merk Shimadzu tipe 50	24
Gambar 3.6.	SEM merk JSM-5310LV dengan tegangan sebesar 35kV	25
Gambar 3.7.	<i>Vicker Hardness</i> merk Shimadzu.....	26
Gambar 3.8.	Diagonal d1 dan d2 pada lekukan pyramid yang terbentuk pada sampel setelah diberi beban 500 gram selama 15 sekon.....	26
Gambar 3.9.	Sudut yang terbentuk antar muka beban	26
Gambar 4.1.	Gambar 4.1. Menunjukkan kurva XRD paduan SnPb dengan variasi persen berat Pb. Pada kurva ini juga diplot XRD Sn plat murni dan Pb murni sebagai referensi untuk identifikasi puncak2 pada variasi paduan	29

Gambar 4.2.	Kurva parameter kisi a dan c untuk fasa Sn terhadap persen berat Pb	37
Gambar 4.3.	Kurva parameter kisi untuk fasa Pb terhadap persen berat Pb.....	37
Gambar 4.4.	Kurva rasio parameter kisi c/ a fasa Sn terhadap persen berat Pb	38
Gambar 4.5.	<i>Crystallite Size</i> fasa Sn tetragonal.....	39
Gambar 4.6.	<i>Crystallite Size</i> fasa Pb kubik terhadap persen berat Pb	39
Gambar 4.7.	Menunjukkan kurva DSC paduan SnPb dengan variasi persen berat Pb. Pada kurva ini juga diplot kurva DSC Sn plat murni dan Pb...41	
Gambar 4.8.	Hasil karakteriasi SEM dengan menggunakan perbesaran berbeda-beda untuk paduan (a) 95.4Sn-4.6Pb, (b) 90.5Sn-9.5Pb, (c) 79.4Sn-20.6Pb (d) 76.4Sn-23.6Pb, (e) 65.6Sn-34.4Pb, (f) 64.3Sn-35.7 Pb	44
Gambar 4.9.	Hasil karakteriasi SEM dengan untuk paduan (a) 95.4Sn-4.6Pb, (b) 90.5Sn-9.5Pb, (c) 79.4Sn-20.6Pb (d) 76.4Sn-23.6Pb, (e) 65.6Sn-34.4Pb, (f) 64.3Sn-35.7 Pb dengan perbesaran yang berbeda-beda	46
Gambar 4.10.	SEM paduan 64.3Sn-35.7Pb setelah dilakukan karakterisasi <i>Vicker Hardness</i> dengan beban 500 gram	47
Gambar 4.11.	Pengaruh wt% Pb terhadap HV paduan SnPb	48
Gambar 4.12.	Pengaruh wt% Pb terhadap <i>Yield Strength</i> paduan SnPb.....	49

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam dunia industri, paduan SnPb telah banyak digunakan secara luas diantaranya dalam pembuatan badan mobil, kaleng makanan dan minuman, pipa air dan juga sebagai material solder [1,2]. Material solder merupakan campuran/paduan yang digunakan dalam proses penyolderan untuk menghubungkan komponen dengan papan PCB. Paduan/campuran yang digunakan sebagai material solder memiliki titik leleh berkisar antara 180⁰ sampai 190⁰C [3].

Paduan SnPb yang digunakan sebagai material solder berada dalam komposisi mendekati eutektik 60Sn-40Pb atau eutektik 63Sn-37Pb. Komposisi eutektik merupakan kondisi saat seluruh material penyusun pada paduan/campuran tersebut (dalam penelitian ini, terdiri dari material Sn dan Pb) dapat meleleh pada suhu yang sama. Eutektik SnPb memiliki titik leleh sebesar 183⁰C [4]. Kondisi eutektik serta titik leleh yang tidak tinggi merupakan kriteria utama suatu paduan/campuran dapat dijadikan material solder, sehingga tidak diperlukan suhu tinggi untuk membuat paduan meleleh secara menyeluruh. Hal ini penting tentunya agar komponen serta alat elektronik yang digunakan tidak rusak akibat tingginya temperatur penyolderan [5]. Selain itu, paduan/campuran yang digunakan juga harus memiliki sifat konduktifitas elektrik dan kemampuan *wetting* yang baik. Konduktifitas elektrik diperlukan agar material solder yang digunakan dapat menghantarkan arus listrik pada rangkaian elektronik. Sedangkan kemampuan *wetting* merupakan kemampuan zat cair untuk membasahi permukaan zat padat sehingga dapat terbentuk interaksi inter molekuler pada kedua zat tersebut. Dengan kemampuan ini, memungkinkan material solder untuk dapat membasahi permukaan papan PCB dengan mudah [2,5,6,7].

Selain memenuhi persyaratan sebagai material solder, paduan SnPb juga memiliki karakteristik sifat mekanik yang baik, seperti tahan terhadap

fatigue [2,5,6]. Dan yang paling penting harga paduan SnPb yang mudah dijangkau [2,5,6]. Karena keuntungan yang dimilikinya, paduan tersebut telah digunakan sebagai material solder selama beberapa dekade. Hingga akhirnya penggunaan SnPb sebagai material solder dihentikan semenjak ditemukan adanya kandungan racun pada timbal. Racun tersebut dibuktikan berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan manusia.

Untuk menanggulangnya, pemerintah mengadakan larangan atas penggunaan timbal pada tanggal 1 juli 2006 dan menyatakan Pb sebagai material RoHS (*Restriction of Certain Hazardous Substances*) [1, 8, 9]. Negara Jepang dan Eropa mulai menggalakkan bebas timbal pada dunia industri mereka. Tidak lama kemudian disusul oleh Negara Amerika yang mulai mencari pengganti penggunaan timbal pada setiap produk yang mereka hasilkan, termasuk mengganti material solder SnPb dengan Sn murni [10]. Hal ini menimbulkan adanya masalah baru, karena penggunaan Sn murni sebagai material solder menyebabkan tumbuhnya *whisker*. *Whisker* merupakan metal yang tumbuh pada permukaan β -Sn hingga lebih dari 4 mm dengan diameter berkisar antara 0,3 μm sampai 125 μm [9, 11]. *Whisker* tumbuh secara spontan tanpa perlu adanya medan listrik dari luar. Selain itu *whisker* juga tumbuh pada ruang vakum [9]. *Whisker* dapat tumbuh secara lurus, bengkok/bercabang maupun kusut [9]. Pada saat *whisker* tumbuh semakin panjang pada satu permukaan potensial elektrik hingga mencapai permukaan lain yang berbeda potensial, dapat menyebabkan terjadinya *shorting*. Hal ini akan membuat rangkaian elektronik menjadi rusak. Pertumbuhan *whisker* dapat dicegah dengan menambahkan Pb minimum 3% pada Sn [9]. Namun semenjak diberlakukannya bebas timbal maka masalah mengenai *whisker* menjadi suatu permasalahan baru yang harus dipecahkan kembali.

Karena permasalahan diatas lah, maka dalam penelitian tugas akhir ini dilakukan variasi penambahan Pb untuk melihat pengaruhnya terhadap sifat struktur, termal serta sifat kekerasan paduan SnPb. Diharapkan pula dengan adanya penelitian ini dapat dijadikan bahan acuan untuk mencari material solder pengganti yang bebas timbal dengan sifat dan karakteristik yang lebih baik dari paduan SnPb.

1.2 Pembatasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada pembuatan paduan SnPb dengan menggunakan metode peleburan serta menganalisa pengaruh penambahan Pb terhadap sifat struktur, termal dan kekerasan paduan SnPb. Paduan SnPb dipreparasi dalam *inert* atmosfer (gas nitrogen). Pada pembuatan paduan SnPb digunakan material solder SnPb (60Sn-40Pb) serta Sn plat dengan kemurnian 99,8%.

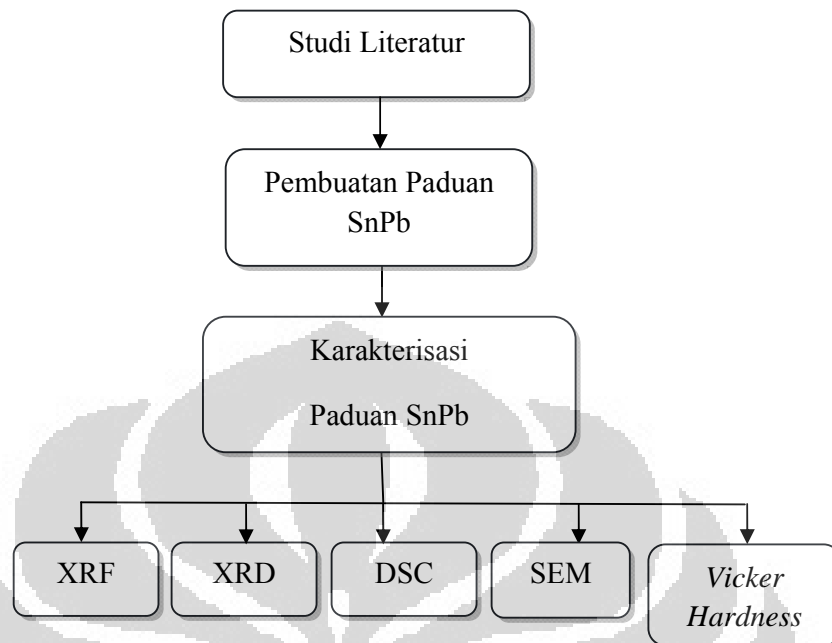
Karakterisasi dilakukan pada seluruh paduan SnPb yang telah dibuat. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui komposisi, struktur, sifat termal, morfologi serta sifat kekerasan dari paduan tersebut. Karakterisasi menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF) dilakukan untuk mengetahui komposisi serta konsentrasi elemen yang terkandung pada paduan SnPb. Sedangkan karakterisasi secara struktural dengan menggunakan *X-Ray Powder Diffractometer* (XRD) untuk mengetahui parameter kisi, fasa yang terbentuk serta *space group* dari paduan SnPb yang dihasilkan. Karakterisasi menggunakan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) ditujukan untuk mengetahui sifat termal paduan tersebut. Karakterisasi *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Vicker Hardness* digunakan untuk melihat morfologi dan sifat kekerasan paduan SnPb secara berturut-turut.

1.3 Maksud dan Tujuan

Maksud dan tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk menghasilkan paduan SnPb dengan teknik peleburan, mengetahui pengaruh penambahan Pb terhadap sifat struktur, termal dan kekerasan dari paduan SnPb tersebut.

1.4 Metodologi Penelitian

Metode yang dilakukan pada penelitian ini, dilakukan atas beberapa tahapan, yaitu studi literatur, penelitian laboratorium dan karakterisasi sampel. Studi literatur dilakukan untuk memperoleh informasi dan sumber-sumber yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan. Studi literatur didapatkan dari jurnal-jurnal ilmiah, buku-buku serta informasi melalui internet. Sedangkan penelitian



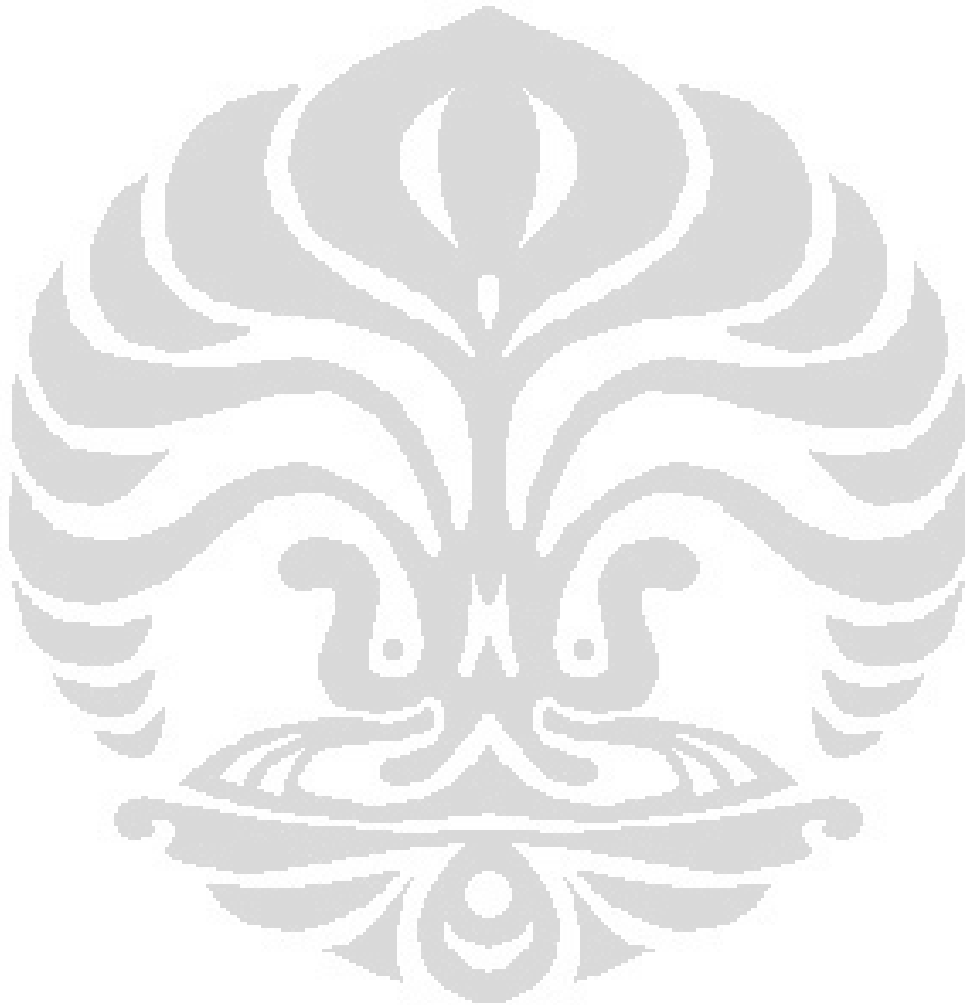
Gambar 1.1. Skematik langkah-langkah penelitian

laboratorium dilakukan untuk membuat paduan SnPb dengan beberapa variasi yang telah ditentukan. Paduan SnPb dibuat dengan menggunakan teknik peleburan dalam *inert* atmosfer. Dan karakterisasi sampel dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan Pb terhadap sifat struktur, termal dan kekerasan paduan SnPb. Karakterisasi yang dilakukan antara lain XRF, XRD, DSC, SEM dan *Vicker Hardness*. Skematik langkah-langkah penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.1.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan terdiri atas lima bab. Bab 1 memuat mengenai latar belakang dari penelitian, pembatasan masalah pada penelitian, maksud dan tujuan serta metode yang digunakan. Bab 2 merupakan garis besar dari teori dasar yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan. Bab 3 membahas prosedur eksperimen yang meliputi proses pembuatan paduan SnPb, variasi yang dilakukan, material yang digunakan serta karakterisasi terhadap seluruh sampel.

Bab 4 berisi penjelasan mengenai hasil karakterisasi sampel yang telah dilakukan, kurva dan data-data yang bersangkutan dengan sampel tersebut serta menganalisa hasil yang didapat. Dan bab 5 merupakan kesimpulan dari seluruh penelitian yang telah dilakukan.



Bab 2

Teori Dasar

2.1 Pengertian Material Solder

Solder berasal dari bahasa latin yaitu *solidare* yang artinya membuat menjadi solid atau padat. Sedangkan penyolderan merupakan proses penggabungan 2 metal/paduan (komponen dan papan PCB) dengan menggunakan metal/paduan ketiga. Metal/paduan ketiga yang digunakan pada proses penyolderan disebut sebagai material solder. Material solder memiliki titik leleh paling rendah dibandingkan kedua metal/alloy lainnya [10].

Bahan yang digunakan sebagai paduan/campuran material solder berupa metal yang bersifat *fusible* dengan rentang titik leleh antara 90° sampai 450°C ($194\text{-}1000^{\circ}\text{F}$) [12]. Metal *fusible* merupakan metal yang mudah melebur/mencair dengan temperatur rendah. Metal *fusible* biasa digunakan untuk membuat *soft solder*. Contoh dari *soft solder* antara lain Indinium (In), bismuth (Bi), antimony (Sb), perak (Ag) dan paduan SnPb. Namun, *soft solder* yang paling sering digunakan memiliki rentang titik leleh antara 180°C sampai 300°C . Berbeda dengan *soft solder*, *hard solder* justru membutuhkan temperatur tinggi untuk melelehkan metal/paduan tersebut. *Hard solder* digunakan untuk *brazing*. *Brazing* merupakan metode untuk menggabungkan 2 metal/paduan dengan menggunakan temperatur diatas 450°C . Beberapa contoh *hard solder* adalah emas (Au), seng (besi), aluminium (Al) dan silicon (Si) [12].

Selain metal *fusible*, adapula beberapa kriteria utama sebuah paduan/campuran dapat dijadikan material solder antara lain [1, 4, 13, 14] :

1. Titik leleh yang tidak terlalu tinggi
2. Paduan/campuran yang digunakan berada pada kondisi eutektik atau mendekati eutektik

3. Paduan/campuran yang digunakan tidak lebih dari 3 elemen (*ternary composition*)
4. Memiliki kemampuan *wetting* yang baik
5. Memiliki sifat konduktifitas elektrik
6. Memiliki sifat mekanik yang baik, seperti tahan terhadap *mechanical stress*, *thermomechanical fatigue*, *thermal shock* dan vibrasi.
7. Harga relatif murah

Besarnya titik leleh suatu paduan/campuran merupakan hal utama yang perlu diperhatikan. Karena hal ini menentukan apakah paduan/campuran tersebut layak atau tidak digunakan sebagai material solder. Semakin tinggi titik leleh paduan/campuran maka temperatur penyolderan yang digunakan akan semakin tinggi pula. Tingginya temperatur yang dipakai tentunya akan merusak komponen listrik. Komposisi eutektik adalah komposisi paduan/campuran dimana campuran tersebut memiliki titik leleh yang sama, sehingga paduan/campuran tersebut dapat meleleh secara keseluruhan pada waktu yang bersamaan [15]. Maka pada kriteria kedua, paduan yang akan digunakan sebagai material solder harus berada pada kondisi eutektik. Sedangkan kriteria ketiga memaparkan bahwa paduan/campuran material solder sebaiknya hanya terdiri dari 2 atau 3 material penyusun. Karena semakin banyak material penyusun pada paduan/campuran material solder maka akan semakin sulit untuk menemukan komposisi eutektiknya. Selain itu, kemampuan *wetting* yang baik, dibutuhkan bagi suatu material solder untuk dapat dengan mudah membasahi papan PCB dan komponennya pada saat proses penyolderan berlangsung.

Paduan SnPb merupakan paduan yang memenuhi kriteria diatas. Paduan tersebut telah digunakan sebagai material solder selama beberapa dekade. Namun setelah ditemukannya kandungan racun pada timbal yang berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan manusia maka industri elektronik mulai menggalakkan gerakan bebas timbal (*lead-free*).

Tanggal 1 Juli 2006, *European Union's* (EU) menyatakan timbal sebagai material RoHS (*Restriction of Certain Hazardous Substance*) [3, 6, 7, 16]. Pengurangan penggunaan Pb pun telah dilakukan oleh departemen industri dan

perdagangan internasional di Jepang. Pengurangan tersebut mencapai angka 50% pada tahun 2001 dan 67% pada tahun 2003 untuk produksi kendaraan bermotor dan alat-alat elektronik. Disusul oleh EU dan Amerika yang mulai mencari pengganti timbal pada setiap produk yang mereka gunakan, termasuk salah satunya adalah menggunakan Sn murni sebagai material solder [17]. Penggunaan Sn murni sebagai material solder menyebabkan timbulnya masalah lain, yaitu tumbuhnya *whisker*. *Whisker* dapat menyebabkan hubungan pendek (*short circuit*) pada rangkaian elektronik [18]. Beberapa tahun sebelumnya, industri elektronik menghambat pertumbuhan *whisker* dengan menambahkan sedikit Pb pada Sn, namun semenjak industri elektronik mulai menggalakkan bebas timbal, masalah mengenai *whisker* kembali muncul [3].

2.2 Sifat dan Karakteristik Material Sn

Material Sn atau lebih dikenal sebagai timah merupakan elemen kimia pada golongan ke-14. Timah berasal dari bahasa latin yaitu *stannum*. Timah memiliki nomor atom 50 dalam tabel periodik dan bilangan oksidasi +2 dan +4. Selain dapat diaplikasikan menjadi material solder, timah (Sn) juga dapat digunakan sebagai *coating* pada baja serta *food packaging* karena dapat mencegah terjadinya korosi serta tidak mengandung racun [19].

Pada tahun 1999, sekitar 21 negara telah memanfaatkan timah secara maksimal. Berdasarkan data tahun 1999 yang diambil selama 32 tahun, diketahui bahwa kebutuhan dunia terhadap timah setiap tahunnya adalah sebesar 200.000 ton. Kebutuhan terhadap Sn semakin meningkat terutama di Asia dan Amerika bagian selatan. Posisi 6 negara teratas antara lain negara Cina (31%) yang merupakan produsen terbesar pada saat itu, diikuti dengan Indonesia (24%), Peru (15%), Brazil (7%), Bolivia (6%) dan Australia (5%). Pada tahun tersebut timah telah dimanfaatkan dalam berbagai bidang, antara lain kaleng makanan sebanyak 22%, elektronik 22%, konstruksi sebesar 13% dan 32% di bidang lainnya [20].

Timah (Sn) bersifat lunak dan *ductile* pada saat dipanaskan namun bersifat *brittle* pada saat didinginkan (Wikipedia). Karena perbedaan sifat tersebut Sn

disebut sebagai material *allotropic*, yaitu memiliki struktur kristal yang berbeda pada temperatur dan tekanan yang berbeda [11]. Sn memiliki 3 jenis *allotropic*. Jenis pertama yaitu Sn normal atau β -Sn dengan struktur kristal *body centered tetragonal* (BCT) dan rapat jenis 7.31 g/cm³. Jenis kedua yaitu Sn abu-abu atau α -Sn dengan struktur kristal *diamond cubic* dan rapat jenis 5.77 g/cm³. Jenis ketiga adalah γ -Sn dengan struktur kristal rhombohedral [21]. Transisi dari jenis pertama ke jenis kedua terjadi pada temperatur dibawah 13,2°C atau sering disebut sebagai *Sn-pest*. Sedangkan transisi dari jenis pertama ke jenis ketiga terjadi pada temperatur diatas 202,8°C. *Sn-pest* dapat menyebabkan volum Sn menjadi mengembang. Dan apabila volum Sn terus mengembang maka lama kelamaan Sn tersebut menjadi hancur. Hal ini dapat dicegah dengan menambahkan impuritas seperti Sb atau Bi [21]. Selain *Sn-pest*, ada 2 fenomena lainnya yang terjadi pada material timah, yaitu *Sn-cry* dan *Sn-whisker*.

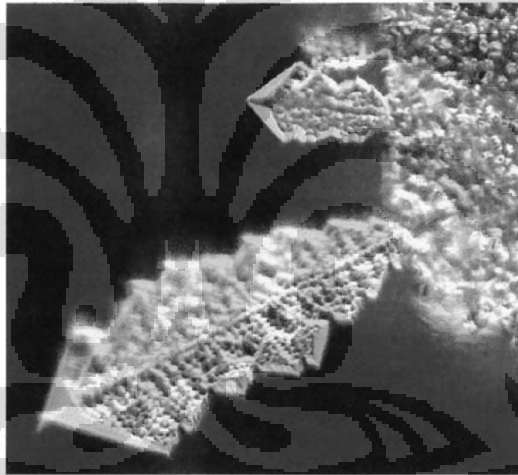
Sn cry merupakan fenomena dimana pada saat Sn dibengkokkan akan terdengar bunyi menyerupai tangisan/teriakan. Suara tersebut merupakan efek yang disebabkan oleh pergesaran kristal pada metal. Hal ini tidak hanya terjadi pada Sn saja, melainkan pada niobium, indium dan gallium [22].

Sedangkan *Sn-whisker* merupakan fenomena tumbuhnya metal secara spontan pada permukaan β -Sn dengan diameter berkisar antara 0,3 μ m sampai 125 mm. *Whisker* dapat tumbuh secara lurus ataupun berkelok-kelok. Rasio panjang *whisker* terhadap lebarnya pada umumnya > 2 [21, 23]. Walaupun telah diteliti sejak 50 tahun yang lalu, tapi sampai saat ini masih belum dapat ditemukan mengenai penyebab utama tumbuhnya *whisker*. Namun beberapa peneliti setuju bahwa tumbuhnya *whisker* diakibatkan oleh *compressive stress* secara mekanik, termal maupun kimia [24].

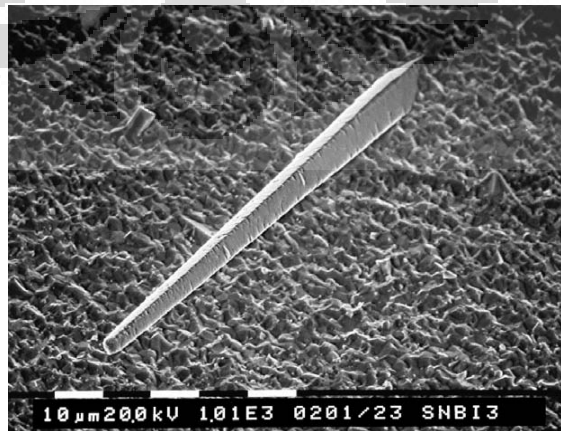
Pada umumnya Sn normal atau β -Sn yang merupakan tempat tumbuhnya *whisker*, memiliki parameter kisi sebesar $a=b=0,58194$ nm dan $c=0,31753$ nm. Rasio c/a pada fasa β -Sn, lebih kecil dari 1 ($c/a=0,5456$) sehingga unit sel tetragonal Sn lebih panjang di salah satu sisinya (atau berada pada keadaan anisotropi). Selain itu, koefisien temperatur ekspansi pada sisi a (sisi yang lebih panjang) lebih besar dibandingkan sisi b (sisi yang lebih pendek). Hal ini dapat

menyebabkan *stress* internal pada material solder [21]. *Stress* internal dapat menyebabkan tumbuhnya *whisker*. Metal yang memiliki struktur dengan rasio c/a lebih kecil dari 1 akan memiliki kemungkinan akan adanya pertumbuhan *whisker*, seperti seng (Zn) dan kadmium (Cd) yang memiliki struktur heksagonal.

Selain *Sn-whisker*, terdapat juga *Sn-dendrite* dan *Sn-needles*. *Sn-dendrite* tidak seperti *Sn whisker* dapat tumbuh secara spontan, melainkan diperlukan adanya gangguan dari luar seperti medan listrik luar dan keadaan yang lembab. *Sn-dendrite* merupakan polikristal dengan bentuk seperti pohon yang ditunjukkan pada gambar 2.1. Sedangkan *Sn-needles*, sesuai dengan namanya, berbentuk seperti jarum, dimana di salah satu ujungnya membesar sedangkan di ujung lainnya mengecil seperti ditunjukkan pada gambar 2.2. Berbeda dengan *Sn whisker* yang memiliki diameter yang sama di setiap sisi nya[12].



Gambar 2.1. *Sn-dendrites* [12]



Gambar 2.2 *Sn-needles* [12]

2.3 Sifat dan Karakteristik Material Pb

Plumbum merupakan elemen kimia dengan simbol Pb dan nomer atom 82. Plumbum merupakan bahasa latin. Penggunaan Pb sebagai material solder telah dilakukan sejak dahulu. Karena Pb dapat meleleh pada suhu yang tidak tinggi serta harganya yang terjangkau [25].

Plumbum berwarna putih kebiru-biruan ketika baru dipotong dan berwarna bercak keabu-abuan serta tidak mengkilap ketika potongan tersebut sudah terkena udara (teroksidasi). Namun saat plumbum melebur menjadi cairan, material ini berubah warna menjadi perak mengkilap [26]. Karena kemudahan untuk mendapatkan dan mengaplikasikan material Pb, menjadikan material ini digunakan sejak ribuan tahun yang lalu. Pb dapat diaplikasikan sebagai konstruksi bangunan, *lead-acid batteries*, peluru, material solder, *pewter*, *fusible alloy* dan pelindung radiasi [26].

Plumbum bersifat lembut, *malleable* serta merupakan salah satu metal berat. Seperti merkuri dan jenis logam berat lainnya, timbal juga berpotensi memiliki *neurotoxin*. Racun pada timbal pertama kali di temukan oleh Roma, Yunani dan Cina [21]. Racun tersebut berbahaya bagi tubuh manusia, terutama peredaran darah serta sistem saraf [25]. Hal inilah yang menyebabkan industri elektronik berupaya keras dalam mencari pengganti Pb untuk setiap produk yang akan dibuat.

2.4 Paduan SnPb sebagai Material Solder

Paduan SnPb telah diaplikasikan dalam dunia elektronik selama 20 abad. Pertama kali paduan tersebut digunakan pada radio serta alat telekomunikasi. Berbagai sifat dan karakteristik paduan SnPb sangat dipengaruhi oleh banyaknya kandungan Sn atau kandungan Pb pada paduan tersebut [12]. Sifat termal, mekanik, struktur serta morfologi paduan SnPb mempengaruhi baik atau tidaknya paduan tersebut untuk dijadikan sebagai material solder. Sehingga penentuan rasio fraksi berat Sn terhadap Pb merupakan kunci utama dalam pembuatan material solder SnPb.

2.4.1. Sifat Mekanik Paduan SnPb

Kandungan Sn yang banyak pada paduan SnPb akan membuat paduan tersebut menjadi lebih kaku dan keras. Selain itu paduan tersebut akan memiliki sifat *tensile* dan *shear strength* yang baik [17].

Pengaruh penambahan Sn terhadap Modulus Elastis (GPa), *Yield Strength* (MPa) serta *shear strength* (MPa) ditunjukkan pada tabel 2.1, 2.2 dan 2.3. Paduan SnPb yang diuji telah di *anneal* 24 jam pada temperatur 100⁰C untuk menstabilisasi mikrostruktur paduan SnPb.

Tabel 2.1. Besarnya Modulus Elastis paduan SnPb terhadap variasi fraksi berat Sn [17]

Fraksi Berat Sn (wt %)	Modulus Elastis (GPa)
10	19
20	20
30	23
40	30
50	35

Tabel 2.2 . Besarnya *Yield Strength* paduan SnPb terhadap variasi fraksi berat Pb-Sn [17]

Komposisi Solder (wt %)	<i>Yield Strength</i> (MPa)
90Pb-10Sn	13.9
40Pb-60Sn	14.2
37Pb-63Sn	16.1

20Pb-80Sn	29.6
-----------	------

Tabel 2.3. Besarnya *Shear Strength* paduan SnPb terhadap variasi fraksi berat Pb-Sn [17]

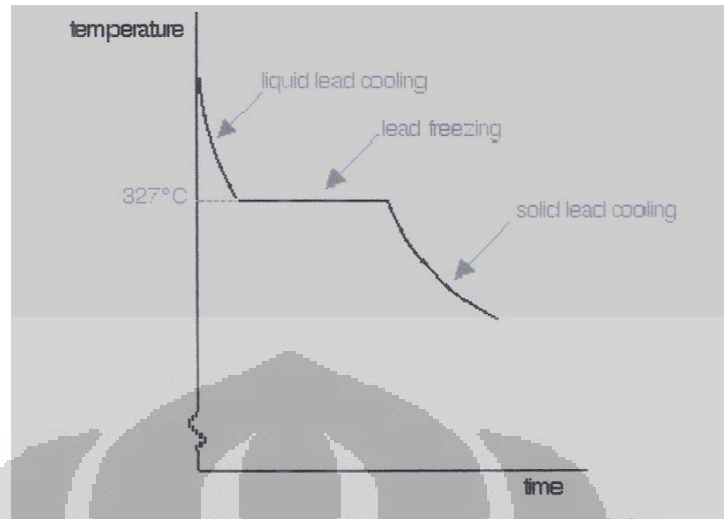
Komposisi Solder (wt%)	<i>Shear Strength</i> (MPa)
90Pb-10Sn	20
80Pb-20Sn	23
40Pb-60Sn	27

Dari Tabel 2.1, 2.2 dan 2.3 terbukti bahwa besarnya komposisi Sn pada paduan SnPb mempengaruhi sifat mekanik paduan tersebut.

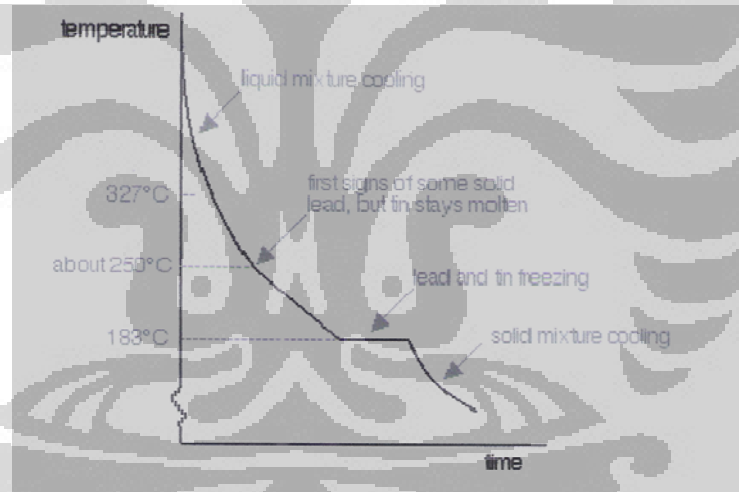
2.4.2. Sifat Termal Paduan SnPb

Kandungan Pb yang banyak atau kandungan Sn yang banyak memiliki dampak terhadap sifat termal material solder yang dihasilkan. Semakin banyak kandungan timbal yang digunakan pada paduan SnPb maka akan semakin lambat paduan tersebut memadat. Hal ini tentunya merupakan suatu keuntungan tersendiri. Karena pada saat paduan SnPb digunakan untuk menyatukan pipa, maka pipa dapat dipasang dengan benar terlebih dahulu sebelum akhirnya paduan tersebut memadat. Sama halnya pada saat diaplikasikan sebagai material solder, dimana komponen akan terpasang pada papan PCB dengan benar terlebih dahulu sebelum akhirnya paduan SnPb menjadi padat [27].

Penambahan Sn pada Pb juga dapat merendahkan titik leleh (melting point) [28]. Hal ini terbukti pada perbandingan kurva pada Gambar 2.3 dan 2.4.



Gambar 2.3. Diagram fasa untuk Pb murni [27]

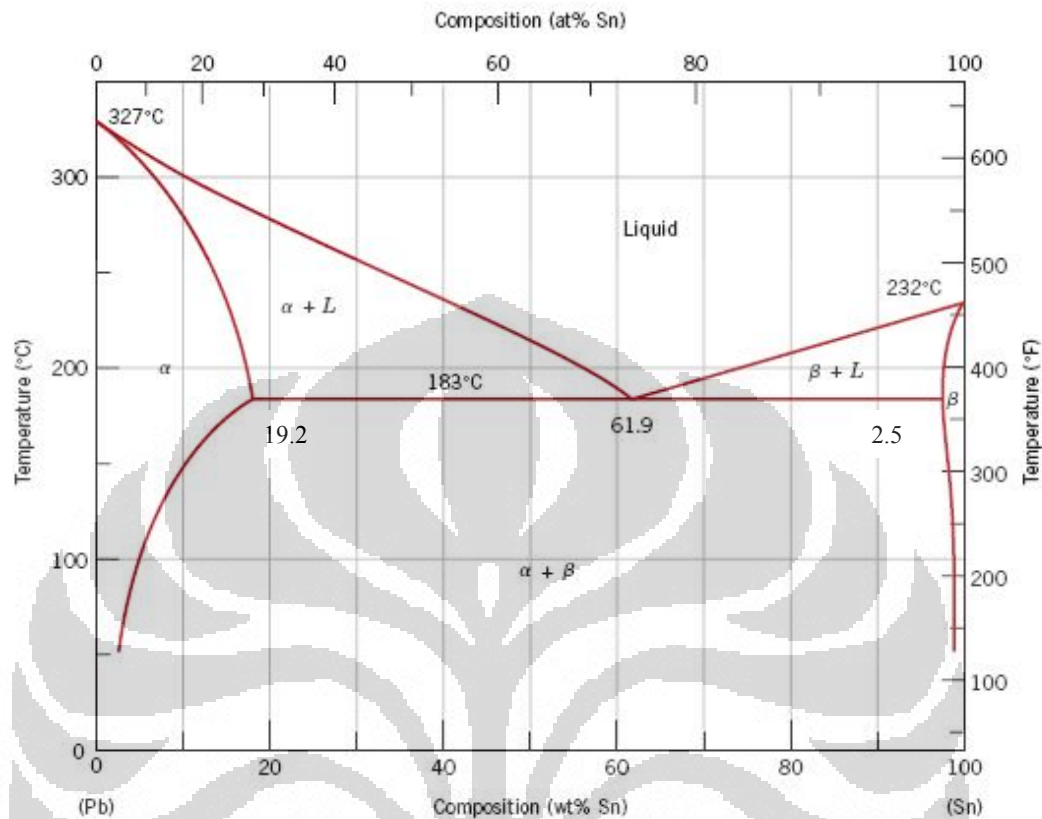


Gambar 2.4. Diagram fasa paduan SnPb [27]

Pada saat timbal cair murni dibiarkan hingga berubah fasa menjadi padat maka kurva akan terbentuk seperti pada Gambar 2.3. Timbal berubah fasa dari cair ke padat pada suhu 327°C dan melepaskan panas ke lingkungan. Namun pada saat ditambahkan timah, maka kurva yang terbentuk akan berbeda. Kurva pada Gambar 2.4. merupakan kurva paduan 67 wt% Pb dan 33 wt% Sn. Pada kurva tersebut dapat terlihat bahwa terjadi perubahan fasa dari cair ke padat pada suhu

250⁰C. Tetapi hanya sebagian dari Pb yang membeku, sedangkan sisanya masih berada dalam fasa cair. Dan pada suhu 183⁰C, seluruh campuran tersebut baru dapat membeku. Hal ini membuktikan bahwa penambahan Sn pada Pb dapat merendahkan titik leleh paduan tersebut [27].

Paduan SnPb memiliki 2 fasa pada saat paduan tersebut berada dalam keadaan padat. Hal ini dapat terjadi karena Pb dan Sn memiliki struktur kristal yang berbeda yaitu (FCC dan BCT) dan juga jari-jari atom Pb jauh lebih besar dari atom Sn. Sehingga campuran hanya dapat terlarut sebagian antara satu sama lain dalam keadaan padat [29]. Tidak seperti paduan tembaga dan nikel yang dapat tercampur secara keseluruhan baik dalam keadaan cair maupun padat untuk seluruh konsentrasi pada kedua metal. Karena tembaga dan nikel memiliki struktur kristal yang sama dan jari-jari atom yang hampir sama pula menyebabkan kedua metal dapat terlarut satu sama lainnya. Paduan/campuran dari 2 atau lebih metal yang memiliki struktur kristal yang sama, dapat tercampur secara keseluruhan baik dalam keadaan cair maupun padat disebut sebagai *isomorphous*. Sedangkan paduan/campuran dari 2 atau lebih metal yang tidak larut satu sama lain dalam keadaan padat disebut eutektik. Eutektik berasal dari bahasa Yunani. Paduan SnPb memadat pada fasa Sn murni dan Pb murni, dimana Sn tidak larut di dalam Pb begitupun Pb tidak larut didalam Sn. Selain itu, Pb tidak dapat bereaksi secara kimia dengan Sn sehingga pada paduan SnPb tidak terbentuk *interfacial intermetallic compounds* (IMCs) seperti pada paduan SnCu. Karena itulah, Pb sering disebut sebagai “*neutral diluents*” bagi Sn [12].



Gambar 2.5. Diagram fasa paduan SnPb pada kondisi eutektik [30]

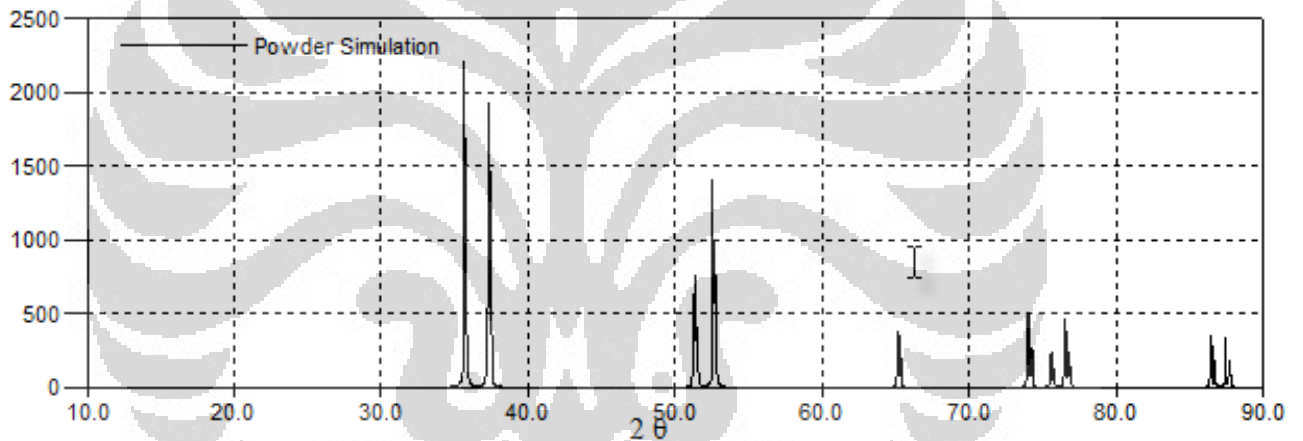
Campuran eutektik memiliki komposisi dimana campuran tersebut dapat meleleh/memadat seluruhnya pada suhu yang sama. Paduan SnPb memiliki komposisi eutektik sebesar 61,9 wt% dengan titik leleh 183⁰C (361,4⁰F) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5 [15]. SnPb eutektik memiliki 2 fasa padat, fasa padat pertama mengandung paling besar 19,2% Sn (fasa α) dan fasa padat kedua mengandung maksimum 2,5 wt% Pb (fasa β). Dengan kata lain, tidak lebih dari 19,2 wt% Sn padat dapat larut dalam Pb padat dan tidak lebih dari 2,5 wt% Pb padat dapat larut pada Sn padat [31].

Mikrostruktur padatan SnPb juga dipengaruhi oleh proses pendinginan material tersebut. Semakin cepat proses pendinginan dilakukan maka susunan atom Sn dan Pb menjadi tidak teratur. Hal ini menyebabkan padatan SnPb yang dihasilkan menjadi tidak homogen. Komposisi paduan juga mempengaruhi morfologi dari padatan SnPb yang dihasilkan. Pada komposisi eutektik, padatan

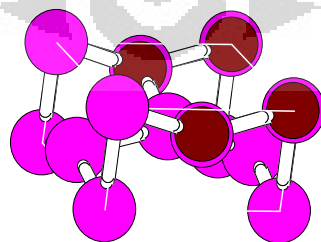
SnPb yang dihasilkan akan lebih homogen dibandingkan pada komposisi non-eutektik.

2.4.3. Morfologi dan Struktur Paduan SnPb

Paduan SnPb yang digunakan dalam dunia elektronik pada umumnya memiliki komposisi eutektik (63Sn-37Pb) atau mendekati eutektik (60Sn-40Pb) [25]. Berdasarkan data yang didapat dari ICSD (*Inorganic Crystal Structure Database*), paduan SnPb atau disebut juga sebagai *soft solder* memiliki kurva XRD serta susunan kristal seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6 dan 2.7.

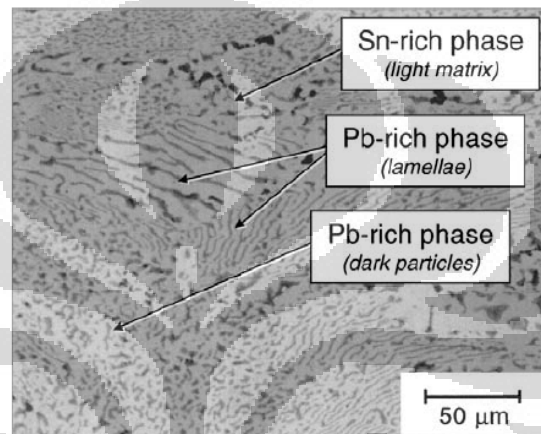


Gambar 2.6. Kurva XRD paduan SnPb (ICSD)

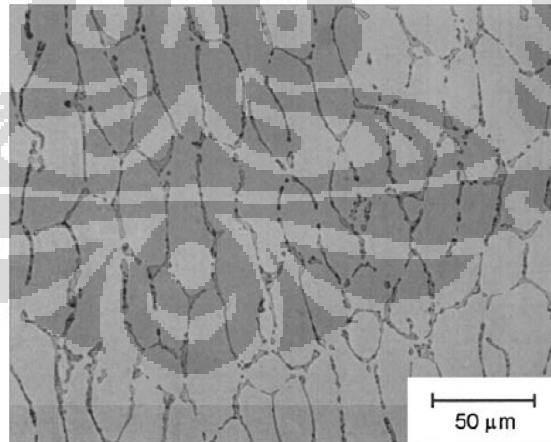


Gambar 2.7. Susunan kristal paduan SnPb (ICSD)

Gambar 2.8 dan 2.9 menunjukkan paduan SnPb pada komposisi eutektik dan non eutektik secara berturut-turut. Dimana abu-abu terang menggambarkan Sn sedangkan abu-abu gelap merupakan Pb. Dari kedua gambar tersebut dapat dibandingkan bahwa persebaran Sn dan Pb pada Gambar 2.8 lebih homogen dibandingkan Gambar 2.9 [12]. Hal ini membuktikan bahwa komposisi mempengaruhi morfologi paduan SnPb.



Gambar 2.8. *Optical micrograph* dari paduan 37Pb-63Sn dengan *cooling rate* sebesar $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ [12].



Gambar 2.9. *Optical micrograph* dari paduan 15Pb-85Sn dengan *cooling rate* sebesar $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ [12].

Selain yang telah dijelaskan diatas, penambahan Pb pada Sn juga ditujukan untuk menghaluskan permukaan paduan, mempertinggi tingkat *ductility*, mengkilapkan permukaan alloy, mengurangi tekanan permukaan SnPb cair sehingga dapat meningkatkan kemampuan *wetting* paduan tersebut, serta yang paling penting adalah untuk menghambat pertumbuhan *Sn-whisker* dan *Sn-dendrite* [12, 17]. Pertumbuhan *whisker* pada β -Sn dapat dihambat dengan menambahkan kandungan material Pb pada Sn setidaknya lebih dari 3% [3].

Namun semenjak dimulainya gerakan bebas timbal, industri elektronik mulai mencari pengganti Pb pada paduan SnPb. Beberapa persyaratan yang diperlukan untuk membuat paduan material solder baru tanpa adanya kandungan timbal adalah sebagai berikut [1,4]:

1. Memiliki titik leleh mendekati titik leleh SnPb (terutama untuk paduan Sn63Pb37)
2. Memiliki komposisi atau mendekati eutektik
3. Memiliki sifat yang lebih baik atau sama baiknya dengan SnPb
4. Relatif murah
5. Dapat digunakan pada proses fabrikasi

Namun, sampai saat ini belum ada yang dapat menggantikan Pb secara maksimal. Oleh karena itu pada tugas akhir ini dilakukan penelitian terhadap paduan SnPb untuk dapat mempelajari pengaruhnya terhadap sifat struktur, termal serta sifat kekerasan paduan SnPb. Diharapkan pula dengan adanya penelitian ini dapat dijadikan bahan acuan untuk mencari material solder pengganti yang bebas timbal.

BAB 3

EKSPERIMEN

3.1 Variasi paduan SnPb

Dalam penelitian ini, digunakan metode peleburan untuk membuat paduan SnPb. Preparasi sampel dilakukan pada *inert* atmosfer (gas nitrogen). Sampel yang divariasikan berdasarkan persen berat Pb. Variasi ini dilakukan untuk melihat pengaruh penambahan Pb pada paduan SnPb. Paduan SnPb yang dihasilkan adalah 95Sn-5Pb, 90Sn-10Pb, 80Sn-20Pb, 70Sn-30Pb, 67Sn-37Pb dan 60Sn-40Pb. Paduan yang dibuat memiliki kandungan Sn lebih banyak dibandingkan kandungan Pb. Hal ini disebabkan karena adanya kandungan racun pada Pb seperti yang telah dijelaskan pada bab 2. Maka dalam penelitian mencoba untuk meminimalisir penggunaan Pb.

3.2 Material yang Dipakai

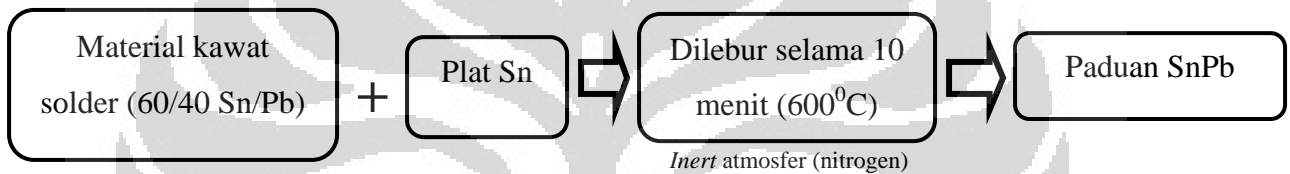
Pada pembuatan paduan SnPb digunakan material kawat solder (60Sn-40Pb) yang dijual bebas dipasaran serta plat Sn dengan kemurnian 99,8%.

3.3 Proses Pembuatan

Hal pertama yang dilakukan untuk membuat paduan SnPb adalah dengan menimbang material kawat solder (60Sn-40Pb) dan plat Sn sesuai dengan variasi paduan yang dibutuhkan. Kemudian kedua bahan tersebut dicampurkan dan dilebur selama 10 menit pada temperatur 600⁰C. Selama proses peleburan berlangsung, paduan berada dalam *inert* atmosfer (gas nitrogen). Setelah itu, paduan dituang ke wadah dan didiamkan (didinginkan pada suhu ruang) hingga menjadi padatan. Padatan SnPb yang dihasilkan berwarna abu-abu mengkilap seperti yang dilustrasikan pada Gambar 3.1. Secara garis besar proses serta langkah-langkah pembuatan paduan SnPb diilustrasikan pada bagan di Gambar 3.2.



Gambar 3.1. Paduan SnPb berdasarkan persen berat Pb



Gambar 3.2 . Bagan pembuatan paduan SnPb secara garis besar.

3.4 Karakterisasi Sampel

Karakterisasi dilakukan pada seluruh sampel. Hal ini ditujukan untuk melihat pengaruh penambahan Pb terhadap fasa struktur yang terbentuk, komposisi, sifat termal, morfologi serta sifat kekerasan dari paduan SnPb yang dihasilkan.

Untuk mengetahui komposisi paduan SnPb dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Fluorescence (XRF)*. Struktur serta fasa yang terbentuk pada paduan SnPb diketahui dengan melakukan karakterisasi menggunakan *X-Ray Powder Diffractometer (XRD)*. *Differential Scanning Calorimetry (DSC)* digunakan untuk mengetahui sifat termal dan untuk mengetahui morfologi dari paduan SnPb dilakukan karakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscope (SEM)*. Sedangkan sifat kekerasan paduan SnPb diketahui dengan melakukan karakterisasi *Vicker Hardness*.



Gambar 3.3. Alat XRF (*X-Ray Fluorescence*) merk JEOL Element Analyzer JSX-3211 dengan tegangan 30.0 kV dan arus sebesar 0.035 mA.

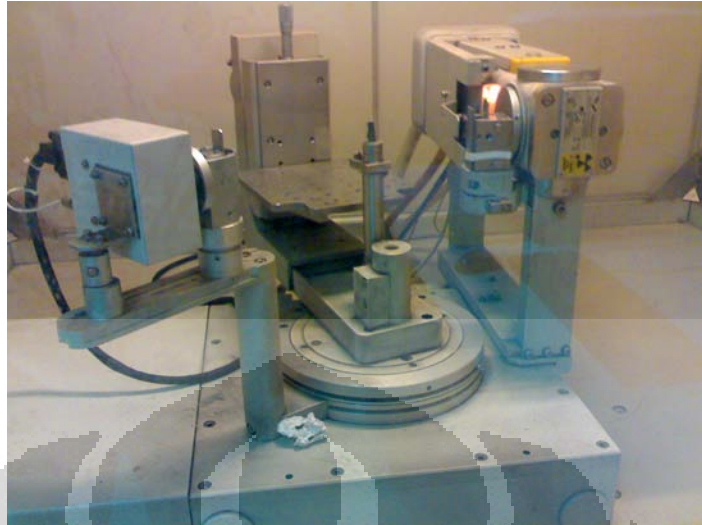
3.4.1 Karakterisasi dengan Menggunakan XRF

X-Ray Fluorescence (XRF) merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui komposisi serta konsentrasi elemen yang terkandung pada paduan SnPb [32].

Alat XRF yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah merk JEOL Element Analyzer JSX-3211. Alat ini menggunakan tegangan sebesar 30.0 kV dengan besarnya arus yang digunakan 0.035 mA. Pengukuran dilakukan dalam kondisi vakum selama 110 menit. Alat XRF yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.3.

3.4.2 Karakterisasi dengan Menggunakan XRD

X-Ray Powder Diffractometer yang digunakan dalam penentuan struktur paduan SnPb adalah Philips PW 3710/40kv yang berlokasi di Salemba seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4. Beroperasi pada tegangan 40 kV dengan arus sebesar 30 mA. Berkas Co-K α digunakan sebagai sumber radiasi dengan panjang



Gambar 3.4. X-Ray Powder Diffractometer Philips PW 3710/40kv

gelombang elektromagnetik λ sebesar $1,78897 \text{ \AA}$. *Scan step* XRD dilakukan sebesar $0,02^\circ$, mulai dari sudut 2θ sebesar $25,00^\circ$ hingga $99,86^\circ$.

Selain informasi mengenai struktur kristal dari kurva XRD, dapat diketahui pula mengenai parameter kisi, fasa yang terbentuk, serta *space group* dari mengolah data XRD yang ada menggunakan program Match[©] dan GSAS.

Sedangkan besarnya *crystallite size* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Debye-Scherrer [33], yaitu:

$$D_{hkl} = \frac{0,9 \cdot \lambda}{B \cdot \cos \theta} \quad (1)$$

D_{hkl} merupakan besarnya nilai *crystallite size*, sedangkan λ merupakan panjang gelombang berkas pada sumber radiasi sinar-x, B merupakan FWHM (*Full Width Half Maximum*, dalam satuan radian) puncak XRD dan θ merupakan nilai besarnya sudut (dalam besaran radian) puncak tersebut.

3.4.3. Karakterisasi dengan Menggunakan DSC

Karakterisasi termal dilakukan dengan menggunakan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) merk Shimadzu tipe 50. DSC adalah alat analisa termal yang mengukur energi yang diserap atau diemisikan oleh sampel sebagai

fungsi waktu atau suhu ditunjukkan pada gambar 3.5 [34]. Paduan dikarakterisasi dengan *heating rate* 5⁰C/menit dengan rentang suhu dari temperatur 25⁰C sampai 400⁰C.

Paduan yang akan dikarakterisasi ditimbang sebanyak 10 mg. Kemudian sampel tersebut ditempatkan pada krusibel (*sample holder*) yang terbuat dari bahan alumunium. Sampel standar yang digunakan adalah alumina (Al₂O₃). Selama pengukuran, paduan dan sampel standar di alirkan gas argon dengan kecepatan 5 ml/menit.

Data yang didapat dari DSC, selanjutnya diolah menggunakan program TA-50 WSI untuk mengetahui besarnya entalpi serta temperatur terjadinya reaksi eksoterm/endoterm.

3.4.3. Karakterisasi dengan Menggunakan SEM

Karakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dilakukan untuk setiap sampel yang dihasilkan. SEM digunakan untuk melihat morfologi (tekstur) luar dan topografi suatu sampel [35]. Alat SEM yang digunakan adalah merek JSM-5310LV dengan tegangan yang digunakan adalah 35kV dan perbesaran maksimum 35000 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.6. Pengukuran dilakukan dalam keadaan vakum.



Gambar 3.5. *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) merk Shimadzu tipe 50



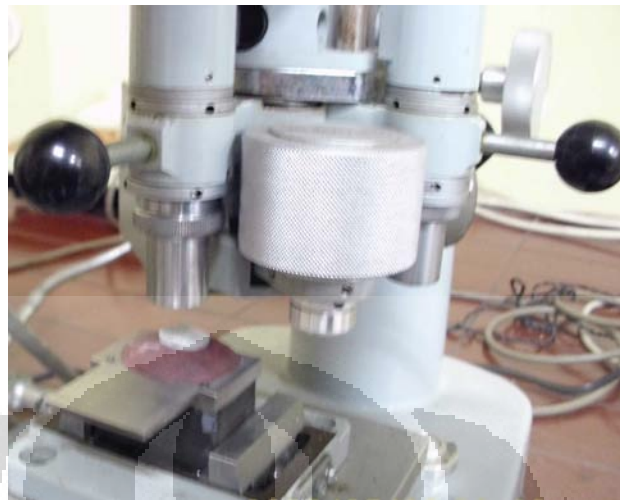
Gambar 3.6. SEM merek JSM-5310LV dengan tegangan sebesar 35kV

3.4.4. Karakterisasi dengan Menggunakan Vicker Hardness

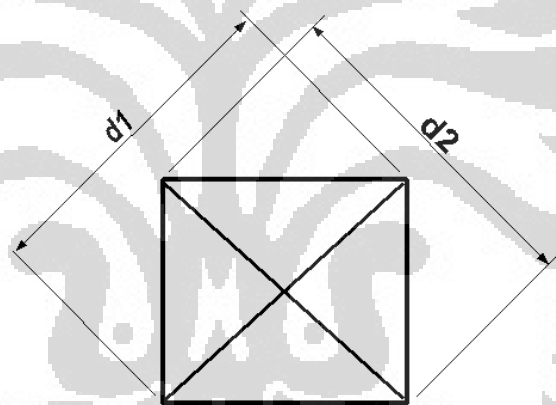
Uji ketahanan dari paduan solder dilakukan untuk melihat seberapa kuat sampel tahan terhadap *compressive stress* secara mekanik. Uji ketahanan dilakukan dengan menggunakan alat *Vicker Hardness*. Alat yang digunakan adalah merk Shimadzu seperti diilustrasikan pada gambar 3.7.

Pada saat pengukuran *Vicker Hardness* digunakan beban sebesar 500 gram dengan *loading time* selama 15 menit. Setelah beban menekan sampel, dalam hal ini paduan SnPb, maka akan terbentuk lekukan piramida seperti ditunjukkan pada Gambar 3.8.

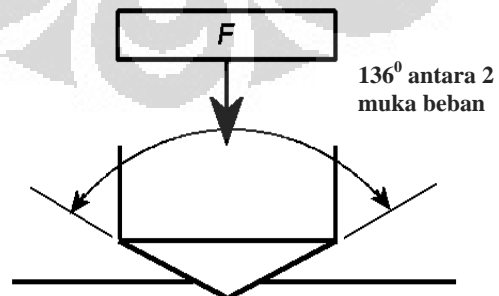
Dari karakterisasi ini didapatkan nilai HV dengan menggunakan persamaan (2). Dengan besarnya masing-masing diagonal lekukan piramida (d_1 dan d_2), harus dirata-rata kan terlebih dahulu sebelum dimasukkan ke persamaan



Gambar 3.7. *Vicker Hardness* merk Shimadzu



Gambar 3.8. Diagonal d_1 dan d_2 pada lekukan pyramid yang terbentuk pada sampel setelah diberi beban 500 gram selama 15 sekon. [36]



Gambar 3.9. Sudut yang terbentuk antar muka beban.[36]

(2) untuk mencari luas bidang lekukan piramida. Setelah itu digunakan persamaan (3) untuk mendapatkan *Hardness Value* (HV) dalam besaran kg-force (kgf). Dan untuk mendapatkan *Hardness Value* (HV) dalam satuan SI (MPa) dikalikan dengan 9.807 [36].

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

$$A \approx \frac{d^2}{1.8544}$$

$$HV = \frac{F}{A} \approx \frac{1.8544F}{d^2} \quad (3)$$

Dengan A adalah luas bidang piramida (mm^2), d adalah diagonal piramida rata-rata (mm), HV adalah *Hardnes Value* (kgf/mm^2) dan F adalah gaya (Newton). Besarnya sudut antar muka beban seperti ditunjukkan pada Gambar 3.9 adalah sebesar 136° , maka sudut di salah satu sisi beban adalah $136^\circ/2$ atau 22° [36]. Pengukuran *Vicker Hardness* dilakukan untuk semua variasi paduan SnPb.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil karakterisasi paduan SnPb serta pembahasannya akan dijelaskan pada bab ini. Karakterisasi tersebut terdiri dari karakterisasi komposisi, struktural, termal, morfologi dan topografi serta sifat kekerasan paduan SnPb.

4.1 Karakterisasi Terhadap Komposisi Paduan SnPb

Untuk mengetahui komposisi serta konsentrasi elemen yang terkandung pada paduan SnPb maka dilakukan pengukuran XRF. Pengukuran dilakukan untuk semua variasi paduan SnPb. Kurva beserta data yang didapat dari pengukuran XRF dilampirkan pada Lampiran 1. Hasil pengukuran XRF ditunjukkan pada Tabel 4.1.

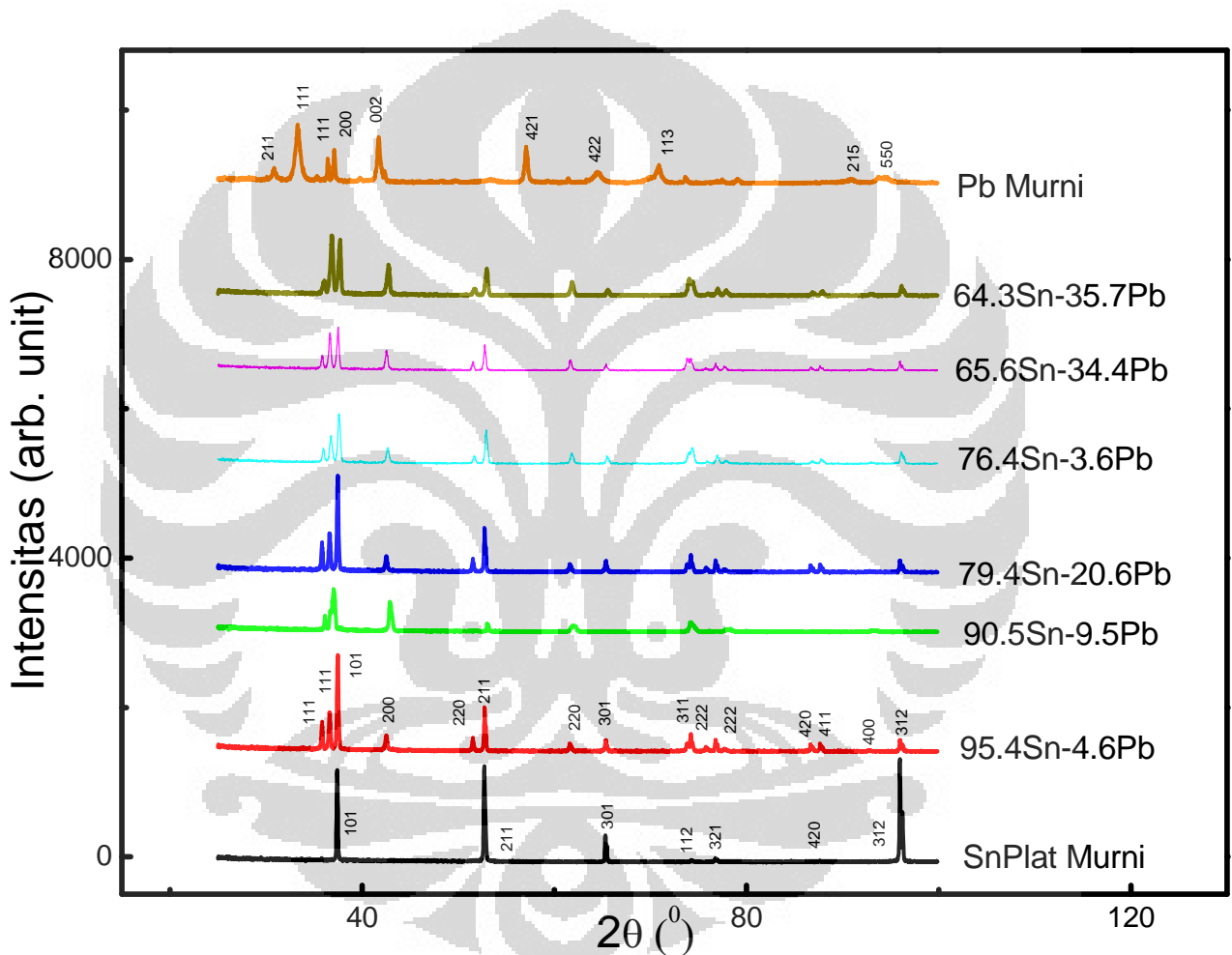
Dari Tabel 4.1, terlihat bahwa persen berat yang didapatkan dari pengukuran XRF memiliki nilai yang tidak jauh berbeda dengan persen berat SnPb yang diharapkan. Selain itu tidak ditemukan pula adanya elemen lain, selain Sn dan Pb. Sehingga dapat disimpulkan bahwa metode yang digunakan dalam penelitian ini cukup akurat untuk menghasilkan paduan SnPb.

Tabel 4.1. Hasil karakterisasi XRF pada semua variasi paduan SnPb

No	Sampel	Atom/Chem Formula	wt(%)	at/mole(%)	K-ratio	Integral Int.	Standar dev.
1	95Sn-5Pb	50 Sn	95.4	97.3	1.18	94258	0.88
		82 Pb	4.6	2.7	0.08	11424	0.67
2	90Sn-10Pb	50 Sn	90.5	94.3	1.08	80125	0.82
		82 Pb	9.5	5.7	0.18	22471	0.59
3	80Sn-20Pb	50 Sn	79.4	87.1	0.68	63271	0.46
		82 Pb	20.6	12.9	0.30	48361	0.30
4	70Sn-30Pb	50 Sn	76.4	85.0	1.01	73021	0.56
		82 Pb	23.6	15.0	0.54	67799	0.35
5	63Sn-37Pb	50 Sn	65.6	76.9	0.99	54371	0.31
		82 Pb	34.4	23.1	0.88	92345	0.18
6	60Sn-40Pb	50 Sn	64.3	75.9	1.03	48332	0.22
		82 Pb	35.7	24.1	1.08	87548	0.13

4.1 Karakterisasi Terhadap Struktur Paduan SnPb

Kurva XRD paduan SnPb untuk semua variasi persen berat Pb diilustrasikan pada Gambar 4.1. Variasi paduan SnPb tersebut berdasarkan hasil XRF adalah 64.3Sn-35.7Pb, 65.6Sn-34.4Pb, 76.4Sn-23.6Pb, 79.4Sn-20.6Pb, 90.5Sn-9.5Pb, 95.4Sn-4.6Pb. Dalam gambar ini, diplot juga kurva XRD Sn plat murni dan Pb murni sebagai acuan terhadap pertumbuhan puncak paduan SnPb.



Gambar 4.1. Menunjukkan kurva XRD paduan SnPb dengan variasi persen berat Pb. Pada kurva ini juga diplot XRD Sn plat murni dan Pb murni sebagai referensi untuk identifikasi puncak2 pada variasi paduan.

Puncak Sn plat murni pada Gambar 4.1 memiliki nilai hkl (101), (211), (301), (112), (321), (420), (312). Sedangkan fasa Pb murni memiliki nilai hkl sebesar (211), (111), (112), (200), (002), (220), (422), (113), (311), (222), (400), (215), (550). Fasa yang terbentuk, nilai hkl, ukuran kristal, parameter kisi serta *space group* dari Sn plat murni dan Pb murni ditunjukkan pada tabel 4.2 dan 4.3. Pada tabel tersebut juga ditunjukkan ukuran kristal Sn plat murni dan Pb murni yang didapat dari persamaan (1).

Kurva XRD pada Gambar 4.1 menunjukkan adanya pertumbuhan puncak-puncak Sn plat murni dan Pb murni untuk semua variasi paduan SnPb. Puncak Sn plat murni yang tumbuh pada paduan SnPb adalah fasa Sn dengan nilai hkl (111), (101), (220), (211), (301), (112), (400), (222), (321), (420), (411), (312). Sedangkan puncak Pb murni yang tumbuh pada paduan SnPb adalah fasa Pb dengan nilai hkl (111), (200), (220), (311), (222), (400). Hal ini membuktikan bahwa paduan SnPb hanya terdiri dari 2 fasa, yaitu fasa Sn dan fasa. Dibuktikan juga dari hasil *refinement* menggunakan program GSAS dan Match[®] yang ditunjukkan pada Lampiran 2. Keenam paduan SnPb yang dihasilkan tidak bersifat amorf melainkan sudah berupa kristal.

Pada paduan 95.4Sn-4.6Pb terlihat adanya semua puncak-puncak fasa Pb dan fasa Sn. Puncak tertinggi fasa Sn pada paduan 95.4Sn-4.6Pb memiliki nilai hkl (101). Pada saat persen berat Pb ditambahkan hingga mencapai 9.5% terjadi penurunan pertumbuhan fasa Sn puncak (101). Hal ini pun disebabkan karena semakin sedikitnya kandungan Sn pada paduan tersebut. Namun terjadi keanehan saat Pb ditambahkan dari 9.5% menjadi 20.6%, yaitu pertumbuhan puncak Sn (101) menjadi lebih baik dibandingkan paduan 90.5Sn-9.5Pb. Dan pada saat Pb ditambahkan lagi menjadi 23.6%, 34.4% dan 35.7% pertumbuhan puncak (101) kembali menurun dibandingkan paduan SnPb sebelumnya. Penurunan puncak fasa Sn (101) juga diikuti oleh meningkatnya pertumbuhan puncak fasa Pb (111) seiring pertambahan persen berat Pb pada paduan SnPb. Pada Gambar 4.1 juga menunjukkan adanya keanehan pada paduan 90.5Sn-9.5Pb, terdapat beberapa puncak fasa Sn dan fasa Pb yang tidak ditemukan pada paduan ini. Puncak

tersebut adalah (220), (301), (400), (321), (420), (411), (312) untuk fasa Sn dan puncak (111) untuk fasa Pb .

Nilai parameter kisi, *space group*, nilai hkl serta fasa yang tumbuh pada masing-masing sampel yang didapatkan dari hasil *refinement* dengan menggunakan program GSAS dan Match[©] ditunjukkan pada tabel 4.4 sampai 4.9. Besarnya *crystallite size* dengan menggunakan persamaan (1) yang telah dilinearisasi (hasil linerisasi ditunjukkan Lampiran 5), juga dipaparkan pada tabel tersebut.

Tabel 4.2. Fasa yang terbentuk, nilai hkl, ukuran kristal, parameter kisi serta *space group* Sn plat murni yang didapat dari hasil *refinement* menggunakan GSAS dan Match[©].

No	Fasa	Struktur Kristal	hkl	2 θ	Ukuran Kristal (nm)	Parameter Kisi (\AA)			<i>Space Group</i>
						a	b	c	
1	Sn	Tetragonal	101	37.385	42.37	5.8227	5.8227	3.1728	I 41/amd
			211	52.69					
			301	65.31					
			112	74.235					
			321	76.76					
			420	87.62					
			312	95.955					

Tabel 4.3. Fasa yang terbentuk, nilai hkl, ukuran kristal, parameter kisi serta *space group* Pb murni yang didapat dari hasil *refinement* menggunakan GSAS dan Match[©].

No	Fasa	Struktur Kristal	hkl	2 θ	Ukuran Kristal (nm)	Parameter Kisi (\AA)			<i>Space Group</i>
						a	B	c	
1	Pb	Kubik	111	36.415	48.79	4.9407	4.9407	4.9407	F m -3m
			200	42.35					
			220	61.43					
			311	73.62					
			222	77.46					
2	PbO	Ortorombik	111	33.265	55.52	5.6253	5.6253	5.0259	Cmma
			200	37.1					

			002	39.855					
			422	57.22					
			113	70.855					
			400	79.04					
3	Pb ₃ O ₄	Tetragonal	211	30.805	48.79	8.7405	8.7405	6.6997	P42/mbc
			112	35.3					
			422	64.64					
			215	90.865					
			550	93.645					

Tabel 4.4. Fasa yang terbentuk, nilai hkl, ukuran kristal, parameter kisi serta *space group* paduan 95.4Sn-4.6Pb yang didapat dari hasil *refinement* menggunakan GSAS dan Match[©].

No	Fasa	Struktur Kristal	hkl	2 θ	Ukuran Kristal (nm)	Parameter Kisi (Å)			<i>Space Group</i>
						a	B	c	
1	Sn	Tetragonal	101	37.86	35.78	5.8214	5.8214	3.1734	I 41/a m d
			220	52.87					
			211	53.13					
			301	65.71					
			112	74.41					
			400	76.11					
			321	76.74					
			420	87.91					
			411	88.18					
			312	96.19					
2	Sn	Kubik	111	36.27	230.00	5.0283	5.0283	5.0283	F m -3 m
			222	77.96					
3	Pb	Kubik	111	37.635	73.18	4.9377	4.9377	4.9377	F m -3 m
			200	42.90					
			220	62.05					
			311	74.24					
			222	77.02					
			400	93.00					

Tabel 4.5. Fasa yang terbentuk, nilai hkl, ukuran kristal, parameter kisi serta *space group* paduan 90.5Sn-9.5Pb yang didapat dari hasil *refinement* menggunakan GSAS dan Match[®].

No	Fasa	Struktur Kristal	hkl	2θ	Ukuran Kristal (nm)	Parameter Kisi (\AA)			<i>Space Group</i>
						a	B	c	
1	Sn	Tetragonal	101	37.00	230.00	5.8269	5.8269	3.1732	I 41/a m d
			220	-					
			211	52.99					
			301	-					
			112	74.13					
			400	-					
			321	-					
			420	-					
			411	-					
			312	-					
2	Sn	Kubik	111	36.13	107.33	5.0270	5.0270	5.0270	F m -3 m
			222	76.12					
3	Pb	Kubik	111	-	76.67	4.9381	4.9381	4.9381	F m -3 m
			200	42.86					
			220	62.23					
			311	74.16					
			222	78.02					
			400	93.08					

Tabel 4.6. Fasa yang terbentuk, nilai hkl, ukuran kristal, parameter kisi serta *space group* paduan 79.4Sn-20.6Pb yang didapat dari hasil *refinement* menggunakan GSAS dan Match[®].

No	Fasa	Struktur Kristal	hkl	2θ	Ukuran Kristal (nm)	Parameter Kisi (\AA)			<i>Space Group</i>
						a	b	C	
1	Sn	Tetragonal	101	37.48	53.67	5.8276	5.8276	3.1771	I 41/a m d
			220	51.51					
			211	52.74					
			301	65.36					
			112	75.77					

			400	76.00					
			321	76.77					
			420	86.65					
			411	87.925					
			312	96.19					
2	Sn	Kubik	111	35.81	55.52	5.0243	5.0243	5.0243	F m -3 m
			222	77.72					
3	Pb	Kubik	111	36.6	70.00	4.9395	4.9395	4.9395	F m -3 m
			200	42.54					
			220	61.59					
			311	74.215					
			222	76.98					
			400	92.72					

Tabel 4.7. Fasa yang terbentuk, nilai hkl, ukuran kristal, parameter kisi serta *space group* paduan 76.4Sn-23.06Pb yang didapat dari hasil *refinement* menggunakan GSAS dan Match[®].

No	Fasa	Struktur Kristal	hkl	2θ	Ukuran Kristal (nm)	Parameter Kisi (\AA)			<i>Space Group</i>
						a	B	c	
1	Sn	Tetragonal	101	37.57	73.18	5.8231	5.8231	3.1722	I 41/a m d
			220	51.67					
			211	52.91					
			301	65.46					
			112	74.35					
			400	75.85					
			321	76.91					
			420	86.83					
			411	87.74					
			312	96.95					
2	Sn	Kubik	111	35.975	32.86	5.0230	5.0230	5.0230	F m -3 m
			222	77.825					
3	Pb	Kubik	111	36.72	50.31	4.9396	4.9396	4.9396	F m -3 m
			200	42.685					
			220	61.73					
			311	73.95					
			222	81.15					
			400	92.91					

Tabel 4.8. Fasa yang terbentuk, nilai hkl, ukuran kristal, parameter kisi serta *space group* paduan 65.6Sn-34.4Pb yang didapat dari hasil *refinement* menggunakan GSAS dan Match[®].

No	Fasa	Struktur Kristal	hkl	2θ	Ukuran Kristal (nm)	Parameter Kisi (\AA)			<i>Space Group</i>
						a	b	c	
1	Sn	Tetragonal	101	37.48	40.25	5.8290	5.8290	3.1708	I 41/a m d
			220	51.54					
			211	52.775					
			301	65.37					
			112	74.21					
			400	75.78					
			321	76.765					
			420	86.71					
			411	87.64					
			312	96.205					
2	Sn	Kubik	111	35.86	48.48	5.0209	5.0209	5.0209	F m -3 m
			222	-					
3	Pb	Kubik	111	36.68	268.34	4.9403	4.9403	4.9403	F m -3 m
			200	42.53					
			220	61.66					
			311	73.78					
			222	77.67					
			400	95.98					

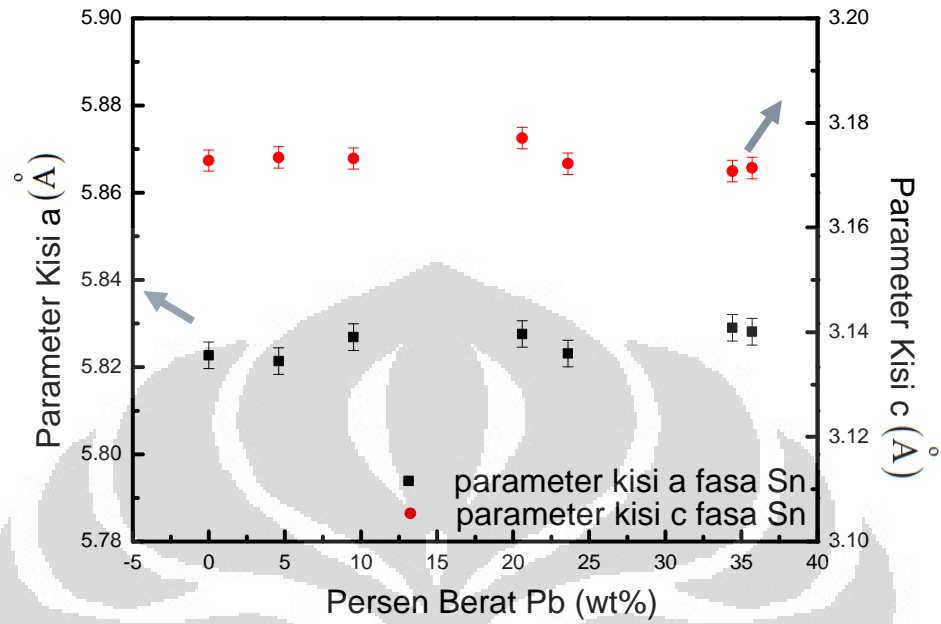
Tabel 4.9. Fasa yang terbentuk, nilai hkl, ukuran kristal, parameter kisi serta *space group* paduan 64.4Sn-35.7Pb yang didapat dari hasil *refinement* menggunakan GSAS dan Match[®].

No	Fasa	Struktur Kristal	hkl	2θ	Ukuran Kristal (nm)	Parameter Kisi			<i>Space Group</i>
						a	b	c	
1	Sn	Tetragonal	101	37.74	50.31	5.8281	5.8281	3.1714	I 41/a m d
			220	42.84					
			211	53.08					
			301	65.64					
			112	74.50					

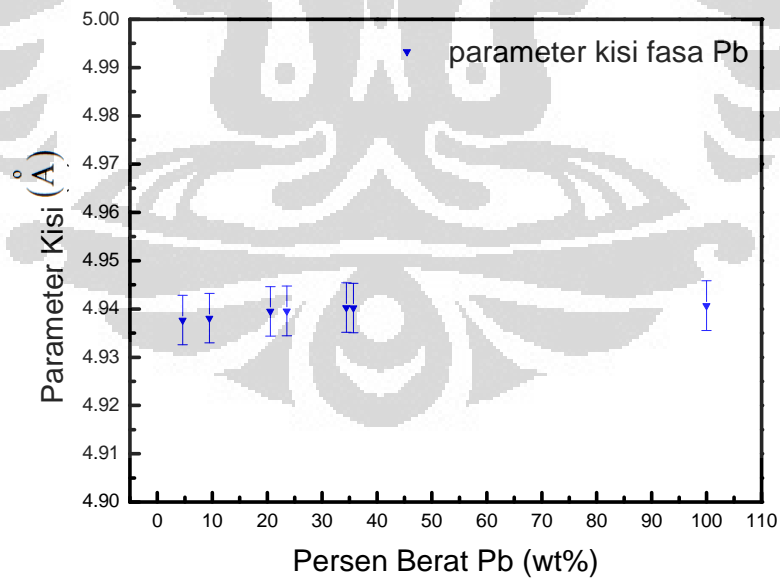
			400	-					
			321	77.08					
			420	86.96					
			411	87.94					
			312	96.17					
2	Sn	Kubik	111	36.16	94.71	5.0212	5.0212	5.0212	F m -3 m
			222	76.08					
3	Pb	Kubik	111	36.89	268.34	4.9402	4.9402	4.9402	F m -3 m
			200	37.79					
			220	61.91					
			311	74.09					
			222	77.95					
			400	92.95					

Berdasarkan nilai parameter kisi yang ditunjukkan pada tabel 4.2 sampai tabel 4.9, dapat diplot kurva parameter kisi untuk fasa Sn dan fasa Pb terhadap persen berat Pb. Gambar 4.2 merupakan kurva parameter kisi a dan c untuk fasa

Sn terhadap persen berat Pb. Simbol ■ melambangkan parameter kisi a sedangkan ● melambangkan parameter kisi c. Dari Gambar 4.2 dapat terlihat bahwa penambahan persen berat Pb dari 0% hingga 35.7% tidak memperlihatkan dampak yang signifikan baik pada parameter kisi a maupun parameter kisi c dari fasa Sn. Sedangkan Gambar 4.3 merupakan kurva plot antara parameter kisi fasa Pb terhadap persen berat Pb. Gambar 4.3 memperlihatkan bahwa semakin banyak persen berat Pb yang ditambahkan pada paduan SnPb juga tidak memperlihatkan perubahan yang signifikan terhadap parameter kisi fasa Pb seperti halnya pada parameter kisi fasa Sn di Gambar 4.2. Dari kedua gambar tersebut, yaitu Gambar 4.2 dan Gambar 4.3, dapat diasumsikan bahwa struktur kristal fasa Sn dan Pb tidak mengalami perubahan ketika persen berat Pb semakin banyak. Hal ini sesuai dengan hasil GSAS yang memperlihatkan paduan SnPb hanya memiliki 2 fasa yaitu fasa Sn dan Pb serta tidak memiliki senyawa SnPb.



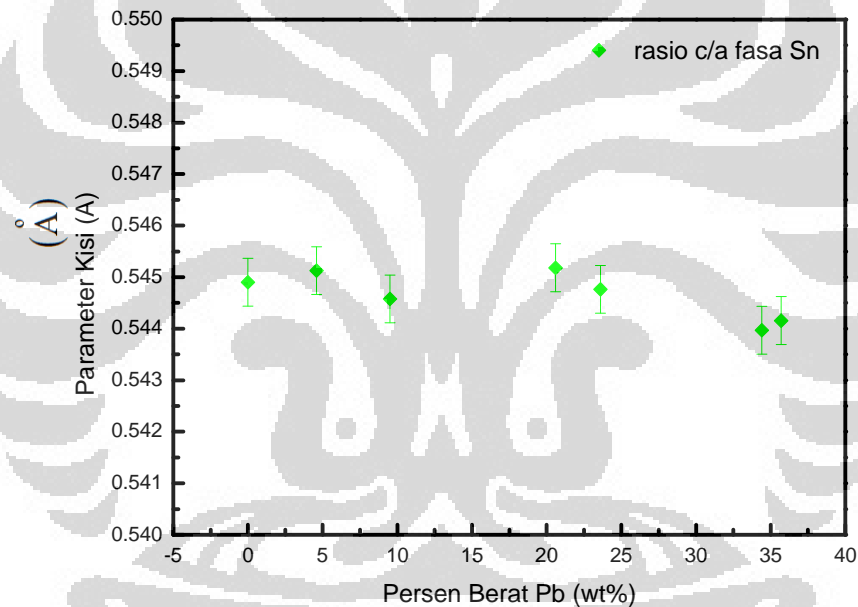
Gambar 4.2 Kurva parameter kisi a dan c untuk fasa Sn tetragonal terhadap persen berat Pb.



Gambar 4.3 Kurva parameter kisi untuk fasa Pb kubik terhadap persen berat Pb.

Tabel 4.10. Rasio c/a pada fasa Sn terhadap persen berat Pb

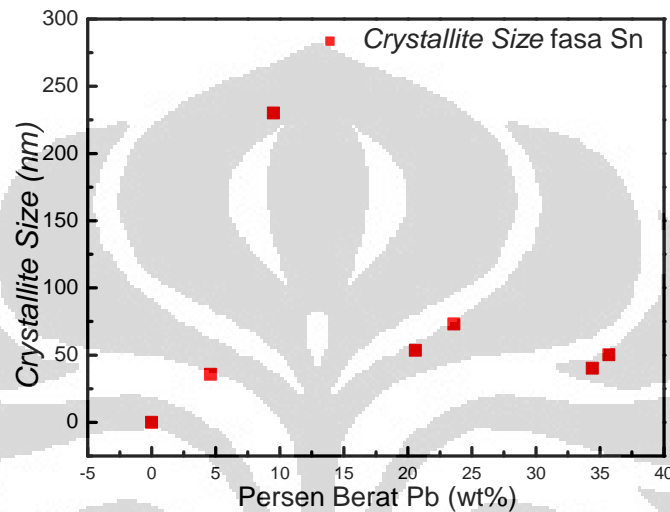
No	Fasa	Struktur kristal	Wt% Pb	a (Å)	c (Å)	c/a (Å)
1	Sn	Tetragonal	0	5.8227	3.1728	0.544902
			4.6	5.8214	3.1734	0.545127
			9.5	5.8269	3.1732	0.544578
			20.6	5.8276	3.1771	0.545182
			23.6	5.8231	3.1722	0.544761
			34.4	5.8290	3.1708	0.54397
			35.7	5.8281	3.1714	0.544157



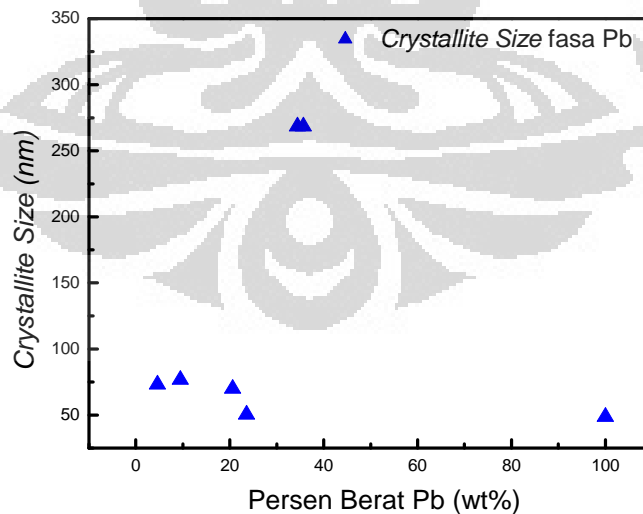
Gambar 4.4. Kurva rasio parameter kisi c/ a fasa Sn tetragonal terhadap persen berat Pb

Pada Tabel 4.10 dan Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa rasio c/a fasa Sn tidak mengalami perubahan nilai yang cukup besar ketika kandungan Pb dalam paduan semakin banyak. Dan dari tabel 4.10 terlihat bahwa rasio c/a memiliki nilai < 1 . Seperti yang telah dijelaskan pada bab 2, untuk nilai rasio c/a < 1 maka pada paduan akan terjadi *stress* internal yang merupakan salah satu faktor penyebab tumbuhnya whisker [21]. Dari data pada tabel 4.10 dapat diperkirakan

penambahan Pb tidak menghilangkan *stress* internal secara keseluruhan, yang dapat menyebabkan *whisker*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa Pb dapat mencegah pertumbuhan *whisker* walaupun tidak menutup kemungkinan *whisker* tersebut tetap tumbuh karena adanya *stress* internal pada fasa Sn tetragonal [21].



Gambar 4.5. *Crystallite Size* fasa Sn tetragonal



Gambar 4.6. *Crystallite Size* fasa Pb kubik terhadap persen berat Pb

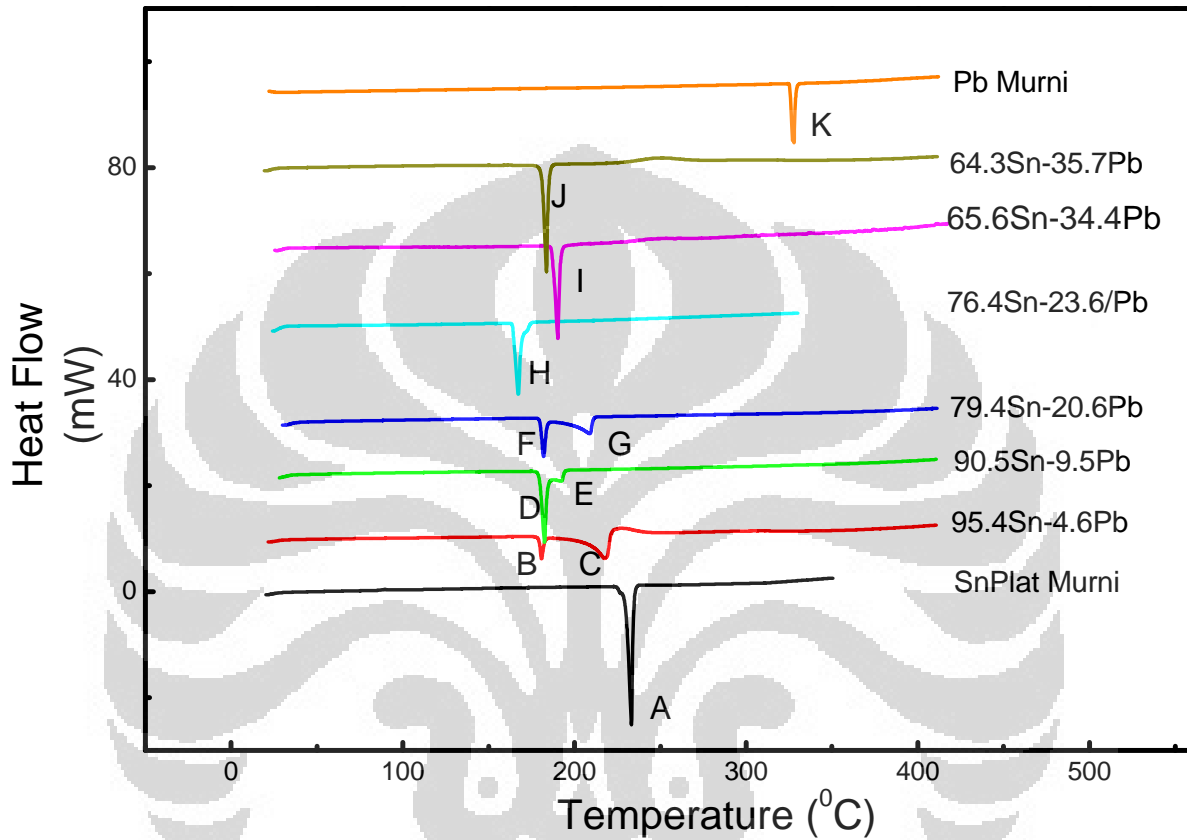
Berdasarkan tabel 4.2 sampai tabel 4.9, dapat diplot *crystallite size* masing-masing paduan terhadap penambahan persen berat Pb. Gambar 4.5 merupakan *crystallite size* fasa Sn tetragonal sedangkan gambar 4.6 mengilustrasikan *crystallite size* fasa Pb kubik. Dari kedua gambar tersebut terlihat bahwa tidak terlihat adanya keteraturan *crystallite size* baik untuk fasa Sn maupun fasa Pb pada saat persen berat Pb semakin banyak ditambahkan. Hal ini memperlihatkan bahwa penambahan persen berat Pb tidak mempengaruhi nilai parameter kisi maupun *crystallite size* baik untuk fasa Sn maupun fasa Pb.

4.3 Karakterisasi Terhadap Sifat Termal Paduan SnPb

Pengukuran DSC merupakan pengukuran yang paling penting dalam penelitian ini. Karena seperti yang telah dijelaskan pada Bab 2.1, sifat dari kawat solder yang baik adalah memiliki titik leleh yang rendah agar tidak merusak komponen listrik. Karakterisasi DSC dilakukan untuk semua variasi paduan SnPb. Dari hasil pengukuran DSC juga dapat diketahui pengaruh penambahan Pb terhadap sifat termal paduan SnPb. Kurva DSC diilustrasikan pada Gambar 4.7. Pada gambar ini juga di plot kurva DSC Sn plat murni dan Pb murni sebagai referensi. Besarnya titik leleh, nilai endset dan onset serta entalpi untuk masing-masing kurva DSC ditunjukkan pada tabel 4.11.

Kurva DSC pada gambar 4.7 memperlihatkan bahwa Pb murni memiliki titik leleh yang lebih tinggi dibandingkan Sn plat murni. Titik leleh Pb murni dan Sn plat murni secara berturut-turut adalah sebesar 330.13°C dan 231.19°C . Hal tersebut sesuai dengan referensi yaitu titik leleh Pb ($327,5^{\circ}\text{C}$) lebih besar dibandingkan titik leleh Sn ($231,9^{\circ}\text{C}$) [12]. Namun pada saat Pb dan Sn membentuk paduan SnPb, titik leleh paduan tersebut menjadi lebih rendah dibandingkan titik leleh kedua elemen penyusunnya. Selain itu, kurva DSC menunjukkan bahwa semakin banyak penambahan Pb pada paduan SnPb, puncak endoterm yang terbentuk menjadi berkurang. Pada paduan 95.4Sn-4.6Pb, 90.5Sn-9.5Pb dan 79.4Sn-20.6Pb memiliki 2 puncak endoterm. Dan pada saat Pb terus ditambahkan menjadi 76.4Sn-23.6Pb, 65.6Sn-34.4Pb serta 64.3Sn-35.7Pb, hanya terbentuk 1 puncak endoterm. Hal ini membuktikan bahwa semakin banyak komposisi Pb pada paduan SnPb,

menjadikan paduan tersebut lebih mudah berubah dari fasa padat ke fasa cair. Atau dengan kata lain, semakin mendekati komposisi eutektik (61.9Sn-38.1Pb) maka paduan SnPb dapat langsung berubah dari fasa padat ke fasa cair.



Gambar 4.7. Menunjukkan kurva DSC paduan SnPb dengan variasi persen berat Pb. Pada kurva ini juga diplot kurva DSC Sn plat murni dan Pb murni sebagai referensi.

Tabel 4.11. Besarnya titik leleh, nilai endset dan onset, entalpi serta energy kristal untuk masing-masing paduan SnPb.

No	Sampel	Puncak	Titik Leleh (°C)	Entalpi (Cal/gr)	Endset (Celcius)	Onset (Celcius)
1	Pb Murni	A	330.13	-8.06	326.37	322.87
2	95.4Sn-4.6Pb	B	181.02	-2.48	179.26	175.03

		C	216.93	-19.29	217.61	201.15
3	90.5Sn-9.5Pb	D	182.62	-10.43	181.23	177.12
		E	192.04	-1.2	190.93	184.23
4	79.4Sn-20.6Pb	F	182.59	-5.73	182.59	174.93
		G	207.34	-9.58	207.26	192.19
5	76.4Sn-23.6Pb	H	183	-16.83	185.44	176.00
6	65.6Sn-34.4Pb	I	189.66	-14.17	183.06	176.59
7	64.3Sn-35.7Pb	J	184.43	-15.95	182.77	174.54
8	Sn Plat M	K	231.19	-22.47	230.07	225.15

Pada paduan dengan kandungan Pb paling kecil yaitu 95.4Sn-4.6Pb, terbentuk 2 puncak endoterm pada suhu 181.02⁰C (puncak B) dan 216.93⁰C (puncak C). Pada puncak B, paduan SnPb masih berada dalam fasa padat 100% dengan komposisi 97.25Sn-2.75Pb [12]. Pada saat temperatur dinaikkan menjadi 216.93⁰C, terbentuk puncak C yang terdiri dari fasa L+β, dimana L merupakan fasa cair dan β merupakan fasa padat proeutektik yang kaya akan Sn. Puncak C terdiri dari 0.81% fasa β dan 99.19% fasa L. Pada fasa L terkandung 80Sn-20Pb dan pada fasa β terdiri dari 98Sn-2Pb.

Pada paduan 90.5Sn-9.5Pb terbentuk 2 puncak endoterm yaitu pada temperatur 182.62⁰C (puncak D) dan 192.04⁰C (puncak E). Puncak E menandakan paduan masih berada pada kondisi 100% padat dengan komposisi 91.26Sn-8.74Pb. Dan pada saat temperatur terus dinaikkan menjadi 192.04⁰C (puncak E), fasa 100% padat tadi berubah menjadi fasa L+β. Fasa L terdiri dari 99.3 % dan fasa β sebesar 0.7%. Fasa L memiliki kandungan sebesar 82.2Sn-17.8Pb dan fasa β sebesar 87.5Sn-12.5Pb.

Saat Pb terus ditambahkan menjadi 79.4Sn-20.6Pb, terbentuk 2 puncak endoterm pada suhu 182.59⁰C (puncak F) dan 207.34⁰C (puncak G). Pada puncak F, paduan sepenuhnya berada dalam keadaan 100% padat dengan kandungan 78.26Sn-21.74Pb. Sedangkan pada puncak H, fasa 100% padat tersebut berubah menjadi fasa L+β seperti 2 paduan sebelumnya. Fasa L sebesar 99.72% dan fasa β

sebesar 0.27. Dimana fasa L terdiri dari 72.42Sn-27.58Pb sedangkan fasa β terdiri dari 98Sn-2Pb.

Penambahan Pb mencapai 23.6%, yaitu pada paduan 76.4Sn-23.6Pb, menyebabkan perubahan sifat termal paduan SnPb. Pada paduan 76.4Sn-23.6Pb tidak lagi terbentuk 2 puncak endoterm seperti pada paduan sebelumnya. Paduan ini hanya memiliki 1 puncak saja, yaitu pada temperatur 182⁰C (puncak H). Puncak ini terdiri dari 2 fasa yaitu fasa L+ fasa β . Dengan fasa L sebesar 99.65% memiliki kandungan 97.8Sn-2.2Pb dan fasa β sebesar 0.375% memiliki kandungan sebesar 61.9Sn-38.1Pb. Paduan ini tidak memiliki puncak endoterm kedua yang merupakan puncak fasa Pb yang menggumpal.

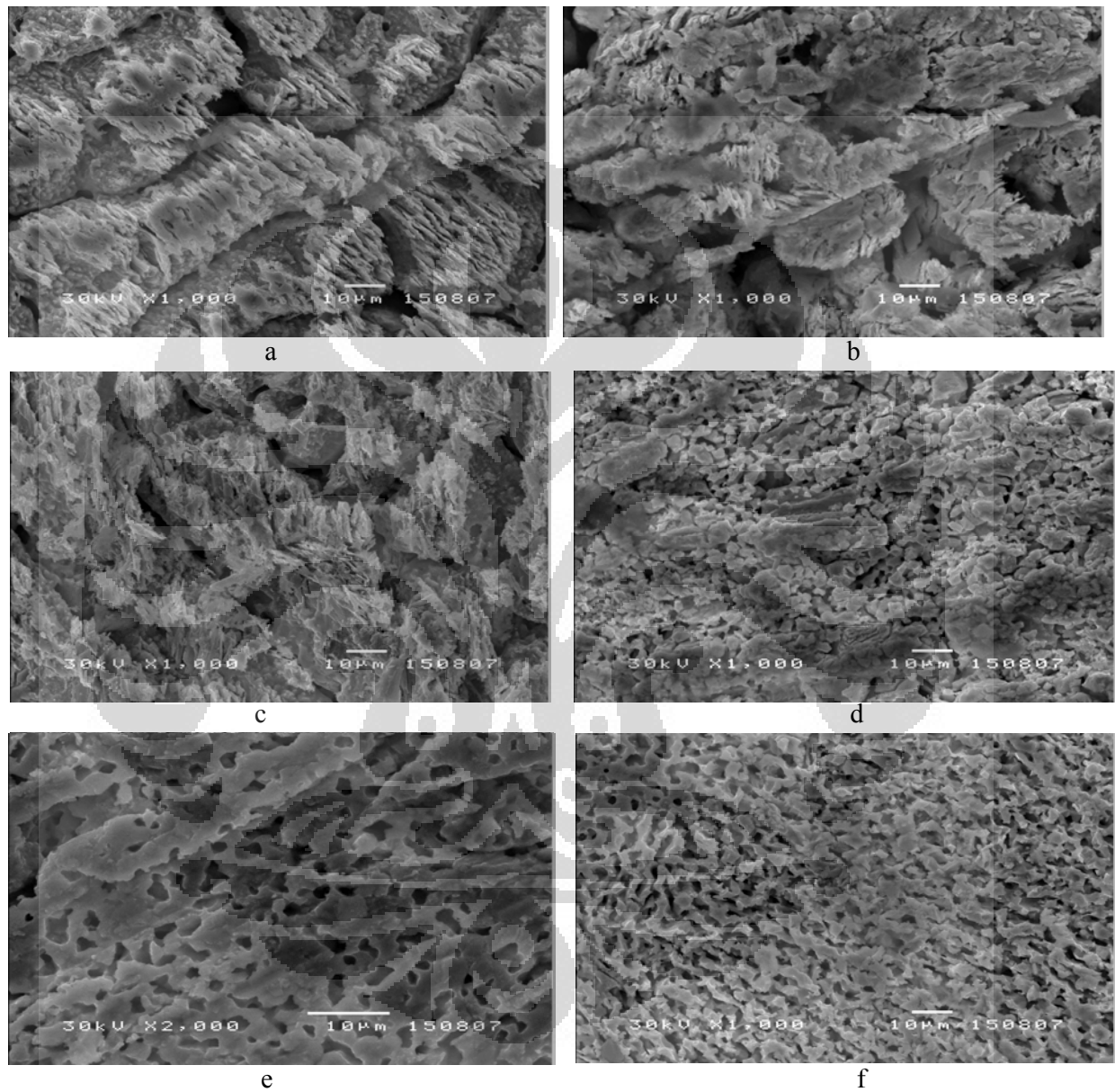
Pada paduan 65.6Sn-34.4Pb dan paduan 64.3Sn-35.7Pb, yang memiliki kandungan Pb terbanyak dan merupakan komposisi eutektik/mendekati eutektik, memiliki 1 puncak endoterm seperti pada paduan 76.4Sn-23.6Pb. Puncak endoterm paduan 65.6Sn-34.4Pb berada pada suhu 189.66⁰C (puncak I). Puncak ini sudah berada pada fasa 100% cair. Tidak seperti paduan-paduan sebelumnya, yang harus melewati fasa L+ β terlebih dahulu sebelum memasuki fasa cair. Namun terjadi keanehan pada paduan 64.3Sn-35.7Pb, paduan tersebut tidak dapat langsung memasuki fasa cair seperti pada paduan 63Sn-37Pb. Karena puncak J yang terbentuk di suhu 184.43⁰C terdiri dari fasa L + fasa β . Fasa L sebesar 99.83% memiliki kandungan 61.9Sn-38.1Pb. Dan fasa β sebesar 0.17% memiliki kandungan 97.8Sn-2.2Pb. Pada paduan 65.6Sn-34.4Pb dan 64.3Sn-35.7Pb juga tidak memiliki puncak endoterm kedua seperti pada paduan 79.4Sn-20.6Pb.

Dari pernyataan diatas, dapat dilihat bahwa puncak endoterm yang terbentuk semakin berkurang pada saat semakin banyak persen berat Pb yang ditambahkan. Bahkan pada paduan 65.6Sn-34.4Pb, puncak endoterm yang terbentuk sudah merupakan fasa cair 100%.

Berdasarkan data titik leleh yang didapat dari analisis menggunakan program TasyS© untuk seluruh paduan, dapat dibuat kurva diagram fasa yang diilustrasikan pada Lampiran 6.

4.4 Karakterisasi Terhadap Morfologi dan Topografi Paduan SnPb

Karakterisasi SEM dilakukan pada semua variasi paduan SnPb yang telah dibuat. Pengukuran ini dilakukan untuk melihat persebaran Sn dan Pb serta

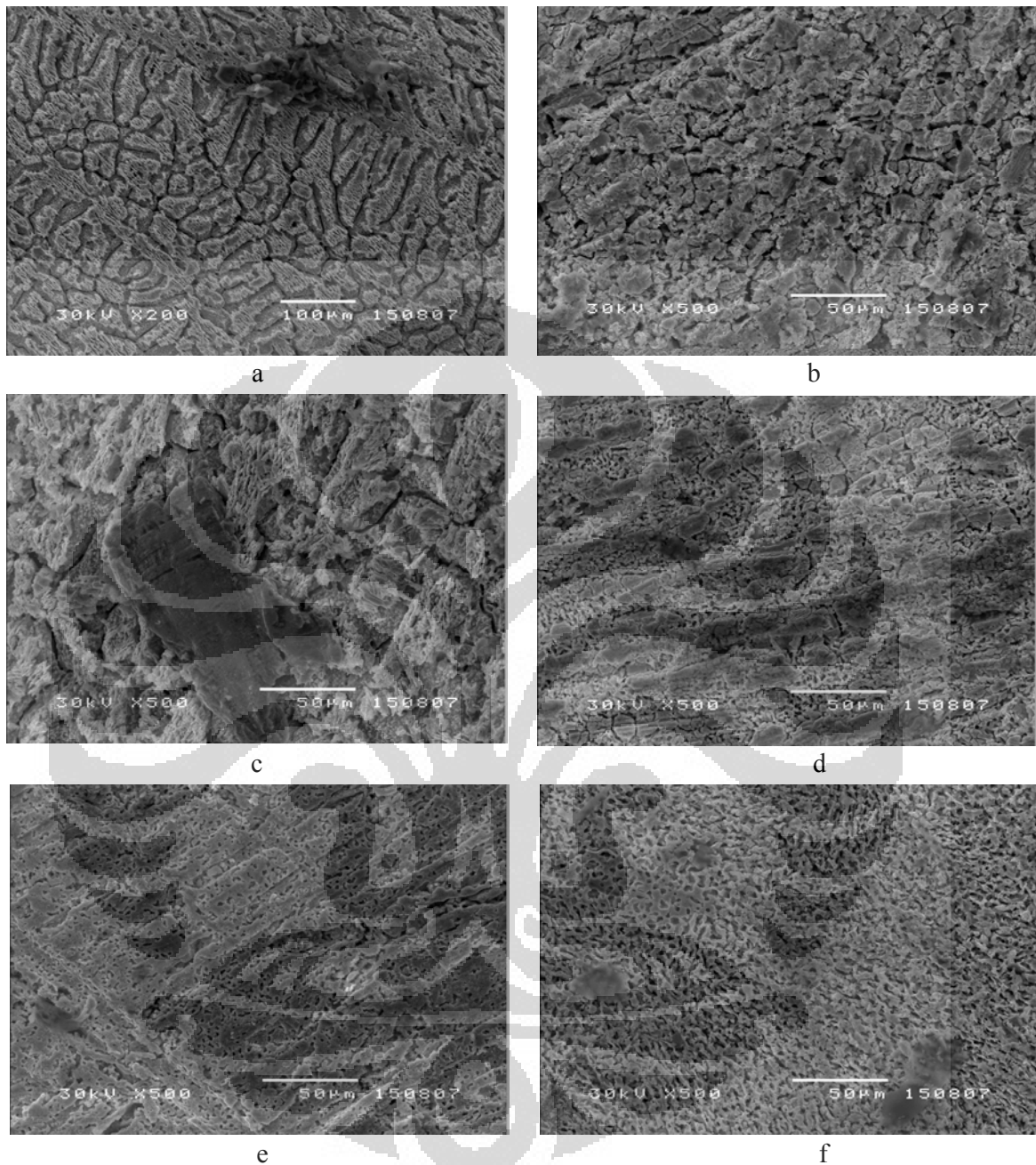


Gambar 4.8. Hasil karakterisasi SEM dengan menggunakan perbesaran berbeda-beda untuk paduan (a) 95.4Sn-4.6Pb, (b) 90.5Sn-9.5Pb, (c) 79.4Sn-20.6Pb (d) 76.4Sn-23.6Pb, (e) 65.6Sn-34.4Pb, (f) 64.3Sn-35.7Pb.

morfologi dan topografi paduan SnPb. Karakterisasi SEM untuk 64.3Sn-35.7Pb, 65.6Sn-34.4Pb, 76.4Sn-23.6Pb, 79.4Sn-20.6Pb, 90.5Sn-9.5Pb, 95.4Sn-4.6Pb dilustrasikan pada Gambar 4.8 dan 4.9. Secara keseluruhan, pada Gambar 4.8 dan 4.9 terdiri dari 2 warna yaitu abu-abu muda yang menggambarkan Sn dan abu-abu tua yang menggambarkan Pb.

Pada Gambar 4.8.a memperlihatkan bahwa paduan 95.4Sn-4.6Pb memiliki dendrit paling banyak dibandingkan paduan lainnya. Hal ini diakibatkan karena paduan tersebut memiliki kandungan Sn terbanyak dibandingkan paduan lainnya. Seperti yang telah dijabarkan pada bab 2, salah satu fenomena yang dapat terjadi pada timah Sn adalah Sn-dendrit. Sedangkan pada paduan 90.5Sn-9.5Pb (Gambar 4.8.b), pertumbuhan dendrit lebih sedikit dibandingkan paduan sebelumnya walaupun masih tetap ditemukan dendrit pada paduan tersebut. Begitupula halnya pada paduan 79.4Sn-20.6Pb (Gambar 4.8.c) yang masih ditemukan adanya dendrit, namun pertumbuhannya jauh lebih sedikit dibandingkan paduan 90.5Sn-9.5Pb dan 95.4Sn-9.5Pb. Sedangkan Gambar 4.8.d, SEM pada paduan 76.4Sn-23.6Pb, tidak lagi ditemukan adanya pertumbuhan dendrit. Hal tersebut diakibatkan karena kandungan Sn semakin sedikit serta kandungan Pb yang semakin banyak. Paduan 65.6Sn-34.4Pb dan 64.3Sn-35.7Pb yang merupakan paduan mendekati eutektik, memiliki karakteristik morfologi paling baik dibandingkan paduan lainnya. Selain bentuk dan ukuran yang lebih homogen dibandingkan ketiganya paduan sebelumnya, paduan ini pun tidak memperlihatkan lagi adanya pertumbuhan dendrit. Namun hal tersebut tidak menutup kemungkinan adanya pertumbuhan dendrit saat keadaan lembab [12].

Gambar 4.9 menunjukkan SEM untuk keenam paduan SnPb dengan perbesaran yang berbeda-beda. Gambar 4.9.a merupakan SEM untuk paduan 95.4Sn-4.6Pb dengan perbesaran 200x. Dan Gambar 4.9.b, 4.9.c, 4.9.d, 4.9.e dan 4.9.f mengilustrasikan paduan 90.5Sn-9.5Pb, 79.4Sn-20.6Pb, 76.4Sn-23.6Pb, 65.6Sn-34.4Pb, 64.3Sn-35.7Pb dengan perbesaran untuk masing-masing paduan yaitu 500x. Apabila dari Gambar 4.8 dapat dilihat pengaruh variasi penambahan Pb terhadap pertumbuhan dendrit paduan SnPb, maka Gambar 4.9 mengilustrasikan pengaruh variasi penambahan Pb terhadap distribusi Pb paduan tersebut. Gambar 4.9.a memperlihatkan persebaran Pb (abu-abu tua) yang tidak merata pada paduan



Gambar 4.9. Hasil karakterisasi SEM dengan untuk paduan (a) 95.4Sn-4.6Pb, (b) 90.5Sn-9.5Pb, (c) 79.4Sn-20.6Pb (d) 76.4Sn-23.6Pb, (e) 65.6Sn-34.4Pb, (f) 64.3Sn-35.7Pb dengan perbesaran yang berbeda-beda.

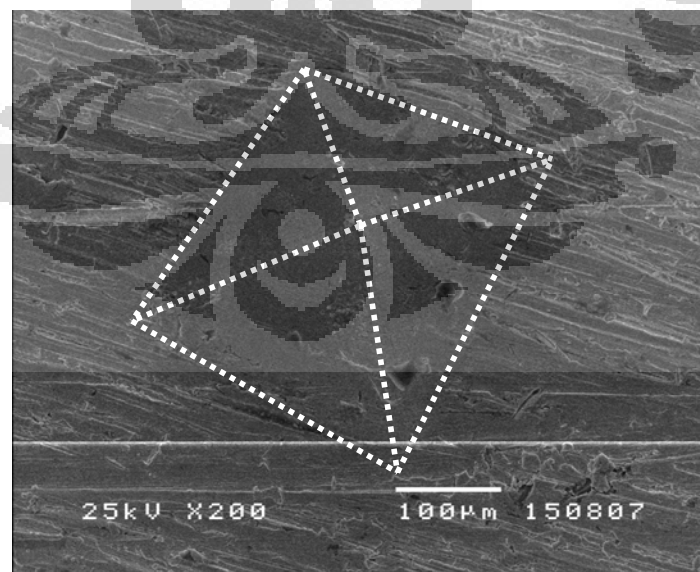
95.4Sn-4.6Pb, selain itu terlihat adanya gumpalan fasa Pb. Hal ini sesuai dengan kurva DSC paduan 95.4Sn-4.6Pb yang memiliki puncak endoterm tambahan

berupa fasa Pb yang menggumpal. Namun pada paduan 90.5Sn-9.5Pb sudah tidak terlihat adanya gumpalan Pb seperti pada Gambar 4.9.a dan distribusi Pb pada paduan ini lebih merata dibandingkan paduan 95.4Sn-4.6Pb. Dalam Gambar 4.9.c, yaitu SEM untuk paduan 79.4Sn-20.6Pb, gumpalan Pb yang sebelumnya ditemukan pada paduan 95.4Sn-4.6Pb, ditemukan kembali pada paduan ini. Distribusi Pb terhadap Sn pada paduan 79.4Sn-20.6Pb ini pun tidak lebih baik dibandingkan paduan 90.5Sn-9.5Pb. Berbeda halnya dengan paduan 76.4Sn-23.6Pb, 65.6Sn-34.4Pb dan 64.3Sn-35.7Pb yang sudah tidak terlihat adanya gumpalan Pb. Dan distribusi persebaran Pb terhadap Sn yang paling homogen ditemukan pada paduan 65.6Sn-34.4Pb dibandingkan dengan paduan lainnya.

Dari ilustrasi pada Gambar 4.8 dan 4.9, terlihat bahwa paduan SnPb yang mendekati nilai eutektiknya, yaitu paduan 65.6Sn-34.4Pb dan 64.3Sn-35.7Pb, memiliki karakteristik morfologi serta distribusi persebaran Pb paling baik dibandingkan variasi paduan lainnya. Selain itu ukuran *grain* paduan 64.3Sn-35.7Pb lebih kecil dibandingkan kelima paduan sebelumnya.

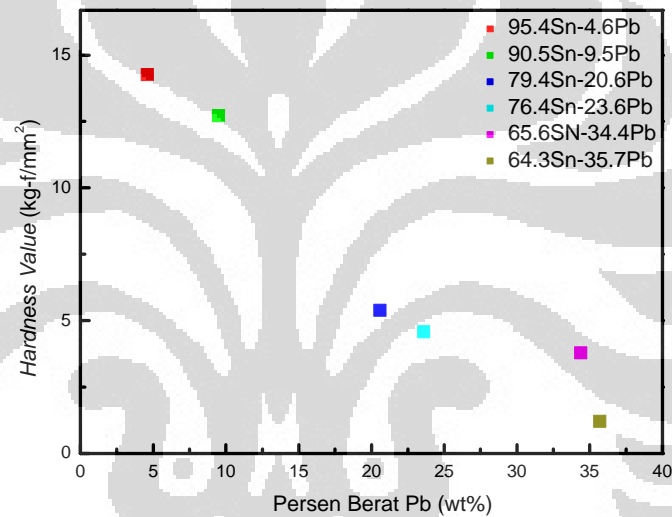
4.5 Karakterisasi Terhadap Sifat Mekanik Paduan SnPb

Karakterisasi menggunakan *Vicker Hardness* dilakukan untuk semua variasi paduan SnPb. Gambar 4.8 menunjukkan SEM paduan 64.3Sn-35.7Pb



Gambar 4.10. SEM paduan 64.3Sn-35.7Pb setelah dilakukan karakterisasi *Vicker Hardness* dengan beban 500 gram.

setelah dilakukan karakterisasi *Vicker Hardness*. Terlihat adanya lekukan piramida pada sampel tersebut. Panjang diagonal rata-rata pada semua sampel ditunjukkan pada Tabel 4.12. Dengan menggunakan persamaan (2) dan (3) dapat dihitung luas bidang piramida (A) dan *Hardness Value* (HV) untuk semua variasi rasio fraksi berat Sn terhadap Pb. Luas bidang piramida dan HV beserta keterangan beban serta *loading time* yang digunakan pada saat pengukuran juga ditunjukkan pada tabel 4.12. Pengaruh penambahan Pb pada HV paduan SnPb diilustrasikan pada Gambar 4.10.



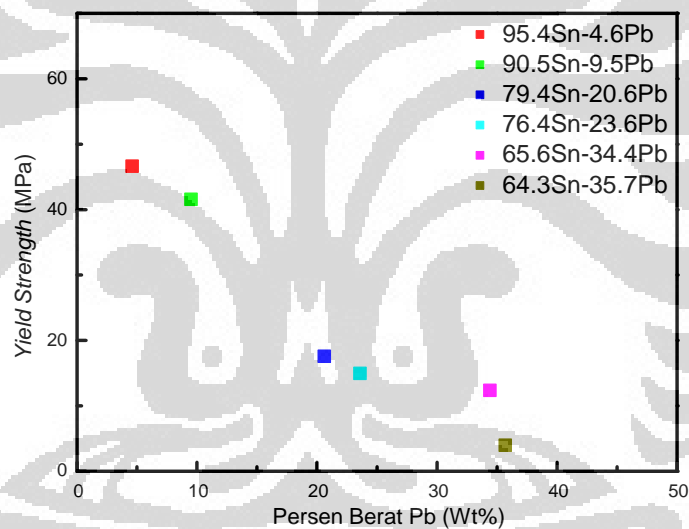
Tabel 4.12. Pengaruh penambahan Pb terhadap HV paduan SnPb

Variasi Paaduan SnPb	d (mm)	A (mm ²)	HV (kg-f/mm ²)	HV (MPa)
95.4Sn-4.6Pb	0.255	0.035	14.260HV0.5/15	139.839
90.5Sn-9.5Pb	0.270	0.039	12.720HV0.5/15	124.733
79.4Sn-20.6Pb	0.415	0.093	5.380HV0.5/15	52.797
76.4Sn-23.6Pb	0.450	0.109	4.580HV0.5/15	44.904
65.6Sn-34.4Pb	0.495	0.132	3.780HV0.5/15	37.112
64.3Sn-35.7Pb	0.875	0.413	1.210HV0.5/15	11.876

Gambar 4.11. Pengaruh persen berat Pb terhadap HV paduan SnPb

Tabel 4.13. Pengaruh penambahan Pb terhadap *yield strength* paduan SnPb

Variasi Paduan SnPb	Yield Strength (MPa)
95.4Sn-4.6Pb	46.61
90.5Sn-9.5Pb	41.58
79.4Sn-20.6Pb	17.59
76.4Sn-23.6Pb	14.97
65.6Sn-34.4Pb	12.37
64.3Sn-35.7Pb	3.96

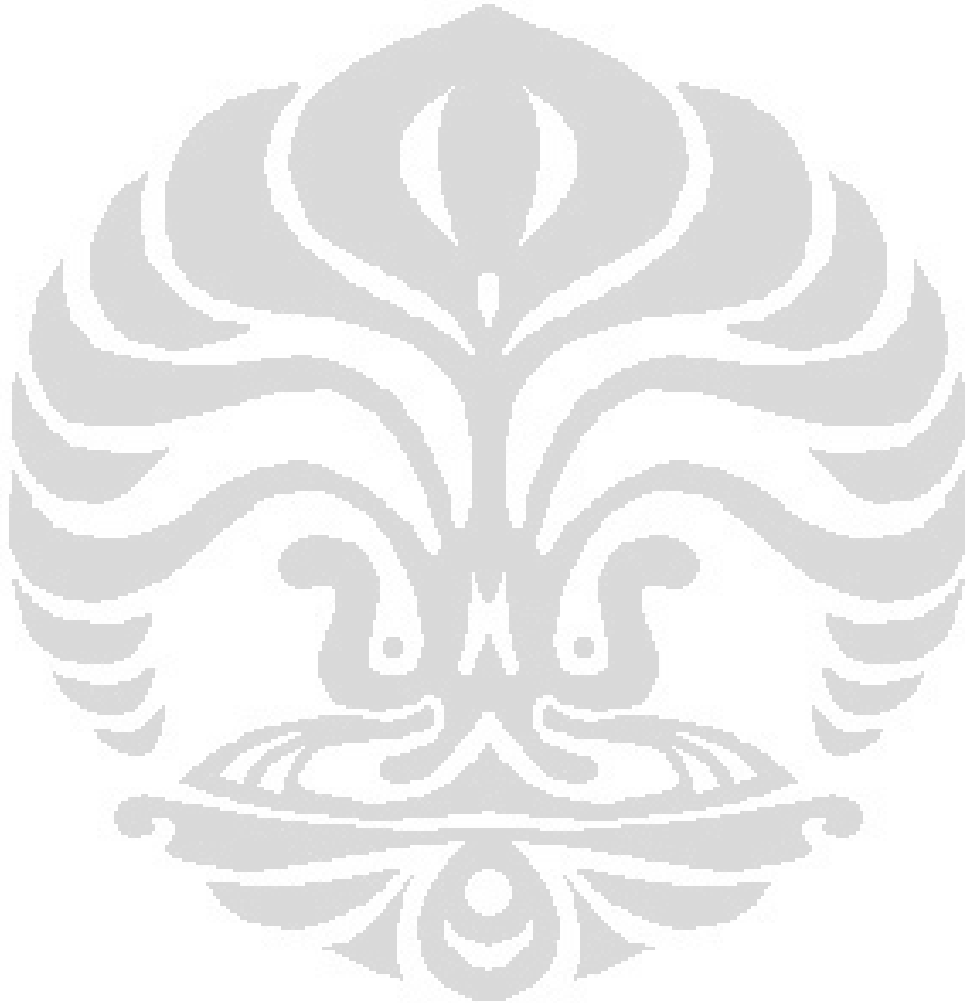
Gambar 4.12. .Pengaruh persen berat Pb terhadap *Yield Strength* paduan SnPb

Dengan menggunakan rumus (5) maka dapat diketahui pengaruh penambahan Pb terhadap *yield strength* paduan SnPb yang ditunjukkan pada tabel 4.13 dan Gambar 4.11.

$$\sigma_y = \frac{HV}{c} \approx \frac{HV}{3} \quad (5)$$

Yield strength (MPa) ditunjukkan oleh σ_y , HV merupakan *Hardness Value* (kg-f) dan c adalah faktor geometri.

Dari Gambar 4.11 dan 4.12 membuktikan bahwa semakin banyak penambahan Pb pada paduan SnPb membuat nilai HV dan *Yield Strength* semakin kecil. Karena seperti ditunjukkan pada tabel 4.12, diagonal piramida yang terbentuk pada saat pengukuran *Vicker Hardness* semakin panjang pada saat Pb semakin banyak. Hal ini sesuai dengan penjelasan pada Bab 2.4.1, yaitu semakin banyak kandungan Sn maka paduan SnPb akan menjadi lebih kaku dan keras [12].



BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

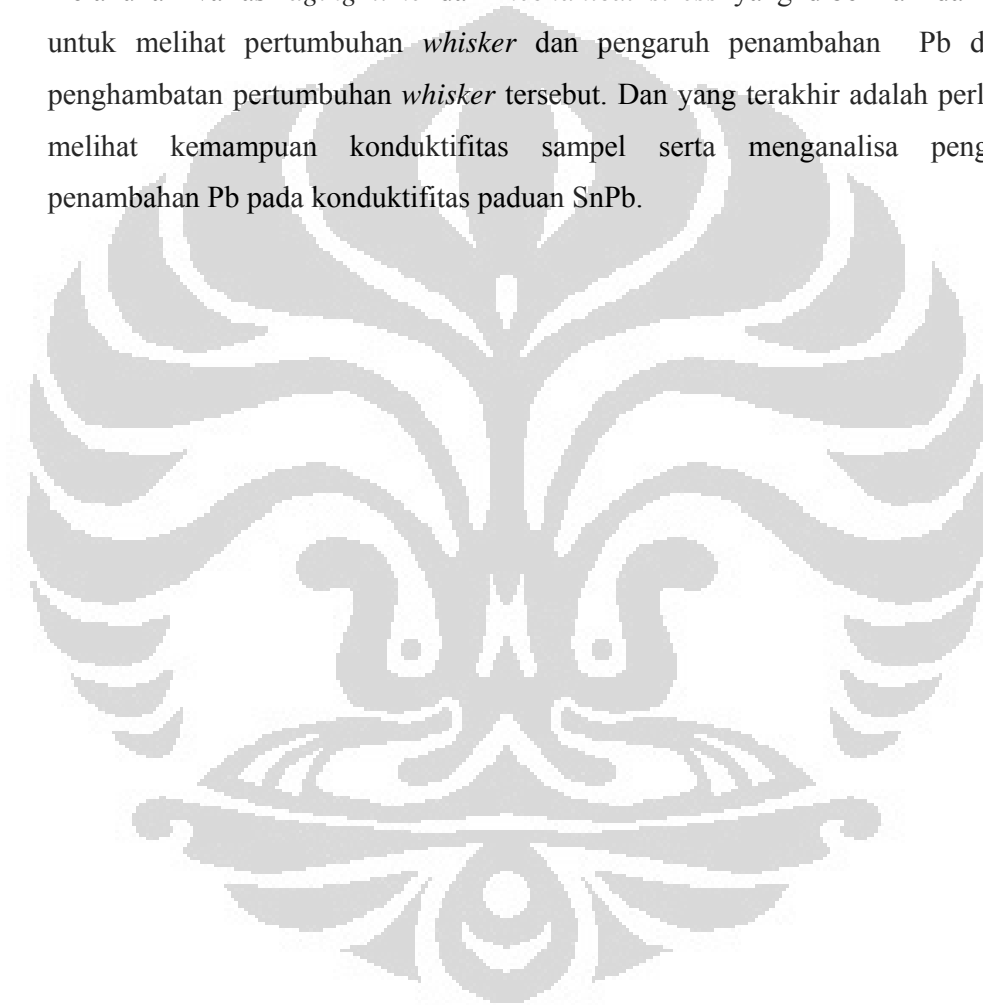
Berdasarkan hasil karakterisasi paduan SnPb dengan menggunakan XRF, XRD, DSC, SEM dan *Vicker Hardness* dapat diambil beberapa kesimpulan. Dari karakterisasi struktural menggunakan XRD, berdasarkan hasil *refinement* menggunakan program GSAS, hanya ditemukan fasa Sn dan fasa Pb. Dan parameter kisi kedua fasa tersebut cenderung konstan ketika persen berat Pb pada paduan SnPb semakin banyak. Secara termal, ditemukan munculnya puncak endoterm kedua yang merupakan puncak dari fasa L+ β saat persen berat Pb pada paduan tidak berada pada komposisi eutektik. Namun saat penambahan persen berat Pb semakin banyak, hingga mendekati komposisi eutektiknya, puncak endoterm kedua yang merupakan puncak dari fasa L+ β sudah tidak ditemukan lagi. Hal ini sesuai dengan diagram fasa SnPb, yaitu perubahan dari fasa solid menjadi *liquid* semakin mudah bila berada pada komposisi/mendekati komposisi eutektik. Pernyataan tersebut juga didukung berdasarkan hasil karakterisasi SEM yang memperlihatkan distribusi persebaran Pb semakin homogen saat paduan berada pada kondosisi eutektik. Distribusi persebaran Pb yang semakin homogen membuat laju pendinginan paduan semakin seragam. Hal ini berdampak pada perubahan fasa *liquid* paduan SnPb menjadi fasa padat $\alpha+\beta$ dapat memiliki laju pendinginan yang sama sehingga tidak lagi ditemukan adanya fasa L+ β pada puncak kurva DSC. Selain sifat termal, sifat kekerasan paduan SnPb dipengaruhi oleh penambahan persen berat Pb. Nilai HV (*Hardness Value*) paduan SnPb semakin kecil saat kandungan Pb yang semakin banyak (dari 14.260HV0.5/15 turun hingga 1.210HV0.5/15). Hal tersebut dikarenakan Sn yang lebih bersifat *brittle* daripada Pb. Sehingga penambahan Pb dapat mengurangi *Hardness Value* dari paduan SnPb.

Dari hasil penelitian terhadap sifat struktur, sifat termal dan sifat kekerasan paduan, maka dapat disimpulkan bahwa penambahan Pb tidak memperlihatkan adanya pengaruh dari sifat struktur paduan SnPb. Namun

penambahan Pb ini memiliki peran yang besar pada sifat termal dan kekerasan paduan SnPb.

5.2 Saran

Penelitian lebih lanjut tentunya dibutuhkan agar didapatkan data yang lebih akurat mengenai pengaruh penambahan Pb pada paduan SnPb. Seperti melakukan variasi *aging time* dan *mechanical stress* yang diberikan dari luar untuk melihat pertumbuhan *whisker* dan pengaruh penambahan Pb dalam penghambatan pertumbuhan *whisker* tersebut. Dan yang terakhir adalah perlunya melihat kemampuan konduktifitas sampel serta menganalisa pengaruh penambahan Pb pada konduktifitas paduan SnPb.



DAFTAR ACUAN

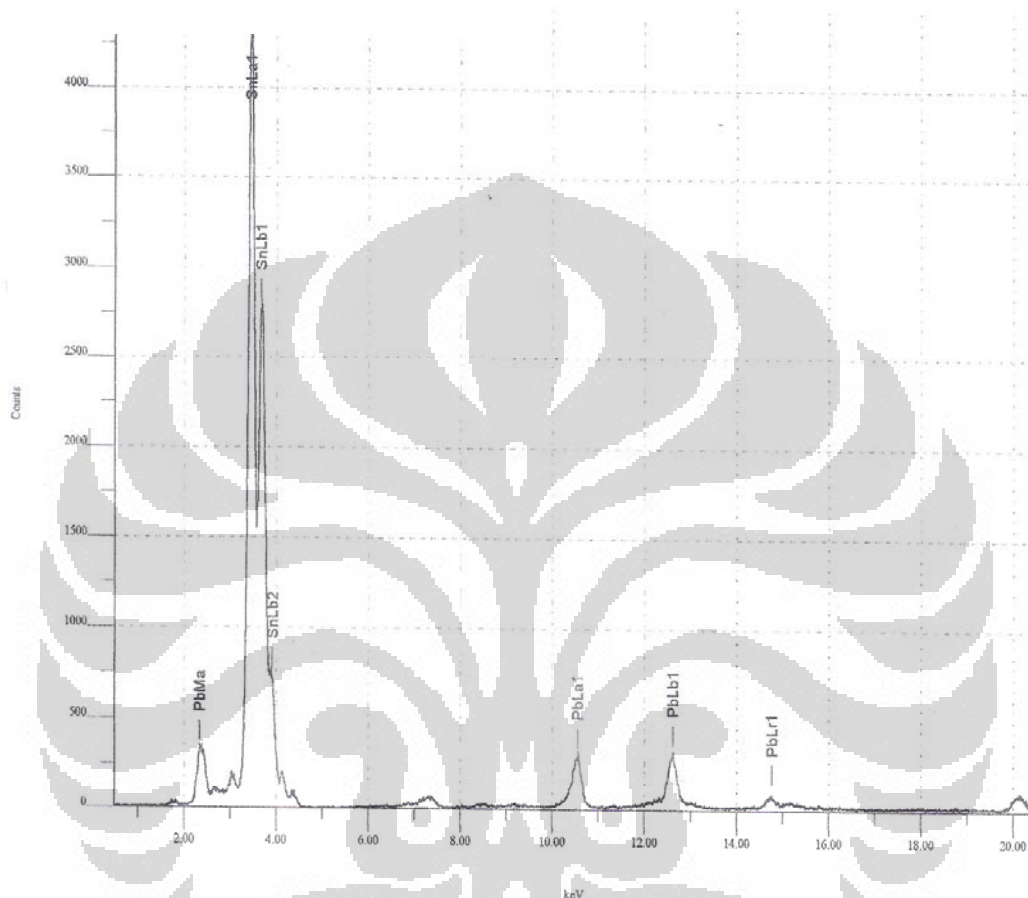
- [1] Dr. Ning-Cheng Lee. *Getting Ready For Lead Free Solders*. Indium Corporation of America, Utica, NY, USA
- [2] Jay A. Brusse, Gary J. Ewell, Jocelyn P. Siplon. *Tin Whisker : Attributes and Mitigation*. Carts Europe 2002: 16th Passive Component Symposium
- [3] Leonardo R. Garcia, Wislei R. Oso, Rio, Leandro C. Peixoto, Amauri Garcia. *Wetting Behavior and Mechanical Properties of Sn-Zn and Sn-Pb Solder Alloys*. Journal of Electronic Materials Vol. 38, No. 11 (2009).
- [4] J. Wang, H.S. Liu, L.B. Liu, Z.P. Jin. *Interfacial Reaction between Sn-Bi Alloy and Ni Substrate*. Journal of Electronic Materials Vol. 35, No. 10 (2006).
- [5] M.O. Alam, Y.C. Chan, K.C Hung. *Interfacial Reaction of Pb-Sn Solder and Sn-Ag Solder with Electroless Ni Deposit during Reflow*. Journal of Electronic Materials Vol. 31, No. 10 (2002).
- [6] M. Kamal and E. S. Gouda. *Enhancement of solder properties of Sn-9Zn lead-free solder alloy*. Cryst. Res. Technol. 41, No. 12, (2006) 1210 – 1213.
- [7] Mustafa Kamal, El Said Gouda. *Effect of Zinc Additions on Structure and Properties of Sn-Ag Eutectic Lead-Free Solder Alloy*. J Mater Sci: Mater Electron. 19 (2008) 81–84.
- [8] Jay Brusse. *Tin Whisker: Revisiting an Old Problem*. Unisys Corp at NASA Goddard (301) 286-2019.
- [9] Fuqian Yang, J.C.M. Li. *Deformation behaviour of Tin and Some Tin Alloys*. Lead-Free Electronic Solders:191-210.
- [10] http://www.webpage_intro/cfm.html diakses pada tanggal 11 Januari 2010 pukul 20.30
- [11] Fuqian Yang J. C. M. Li. *Deformation Behavior of Tin and Some Tin Alloys*. Springer Science Business Media:2006.
- [12] Karl J. Puttlitz, Kathleen A. Stalter. *Handbook of lead-Free Solder Technology for Microelectronic Assemblies*. USA:2004.

- [13] Jean-Paul Clech. Review and Analysis of Lead-Free Solder Material Properties. Willey-Interscience. A John Willey and Sons Inc.Kanada:2007.
- [14] Paul T. Vianco.*The Metallurgy Aspect, Properties and Application of Solders from the Lead-Tin System*.Sandia National Laboratories, Albuquerque, New Mexico, USA.
- [15] Carol A Handwerker, Ursula Kattner, Kilwon Moon, Jasbir Bath, Edwin Bradley, Polina Snugovsky *Alloy Selection*. Willey-Interscience. A John Willey and Sons Inc.Kanada:2007.
- [16] Kerl J Puttlitz, George T. Gaylon. Impact of the ROHS Directive on High-performance Electronic System.J Mater Sci:Mater Electro (2007)18:347-365.
- [17] Edwin Bradley, Carol A. Handwerker, Jasbir Bath, Richard D. Parker, Ronald W. Gedney. *Lead-free Electronics inemi Projects Lead to Successful Manufacturing*. Willey-Interscience. A John Willey and Sons Inc.Kanada:2007.
- [18] Ronald C. Lasky, Ph.D., P.E. Tin Pest:A Forgotten Issue in Lead-free Soldering?. Indium Corporation of America. Utica, New York:2007.
- [19] Stwertka, Albert (1998). "Tin". *Guide to the Elements* (Revised ed.). Oxford University Press.
- [20] James F. Cariin Jr.*Tin*.Amerika:1999.
- [21] Greenwood, N. N.; Earnshaw, A. (1997). *Chemistry of the Elements* (2nd ed.). Oxford: Butterworth-Heinemann
- [22] Heidi I. Reynolds, C. J. Lee, Joe Smetana.*Tin Whiskers: Mitigation Strategies and Testing*. Willey-Interscience. A John Willey and Sons Inc.Kanada:2007.
- [23] Tu Nung, Ki. *Solder Joint Technology Material Properties and Reliability*. Los Angeles 90095–6595.
- [24] D. R. Frear .*Trends and Issues in Pb-free Soldering for Electronic Packaging*. 118. Jg. 2001). H. 2
- [25] Paul T. Vianco.*The Metallurgy Aspect, Properties and Application of Solders from the Lead-Tin System*.Sandia National Laboratories, Albuquerque, New Mexico, USA.

- [26] Linus, Pauling (1947). *General Chemistry*. W.H. Freeman.
- [27] <http://www.chemguide.co.uk> diakses pada tanggal 10 Februari 2010 pukul 09.30
- [28] B. A. Hunter, C. J. Howard, D. -J. Kim. *Neutron Diffraction Study of Tetragonal Zirconias Containing Sn*. *Physica B: Condensed Matter* Volumes 241-243 (1997) 1249-1251.
- [29] <http://www.benbest.com/cryonics/lessons.html> diakses pada tanggal 17 Februari 2010 pukul 21.30 WIB
- [30] [http://www.google.co.id/imglanding/phase diagram sn-pb.html](http://www.google.co.id/imglanding/phase%20diagram%20sn-pb.html) diakses pada tanggal 17 Februari 2010 pukul 19.30
- [31] Paul T. Vianco. *The Metallurgy Aspect, Properties and Application of Solders from the Lead-Tin System*. Sandia National Laboratories, Albuquerque, New Mexico, USA
- [32] www.panalytical.com diakses pada tanggal 18 Februari 2010 pukul 20.30
- [33] Cullity, B. D. *Elements of X-Ray Diffraction Second Edition*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. Indiana: 1956.
- [34] chem.-is-try.org diakses pada tanggal 15 Februari 2010 pukul 21.00
- [35] http://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/techniques/SEM.html diakses pada tanggal 17 Februari 2010 pukul 21.16 WIB
- [36] <http://www.indentec.com/lowloadvickers.htm> diakses pada tanggal 18 Februari 2010 pukul 20.00

Kurva XRF untuk masing-masing paduan Sn-Pb

Paduan 95Sn-5Pb



File Name : D:\USER\RAMRANGS\SNPB05.SPC Acq. Time: 2009/10/28 5:13:44

Sample Name: 95/5 Sn/Pb

1

Acq. Cond. : Voltage: 30.0kV Current: 0.051mA Live time: 110.00sec Pass: Vac

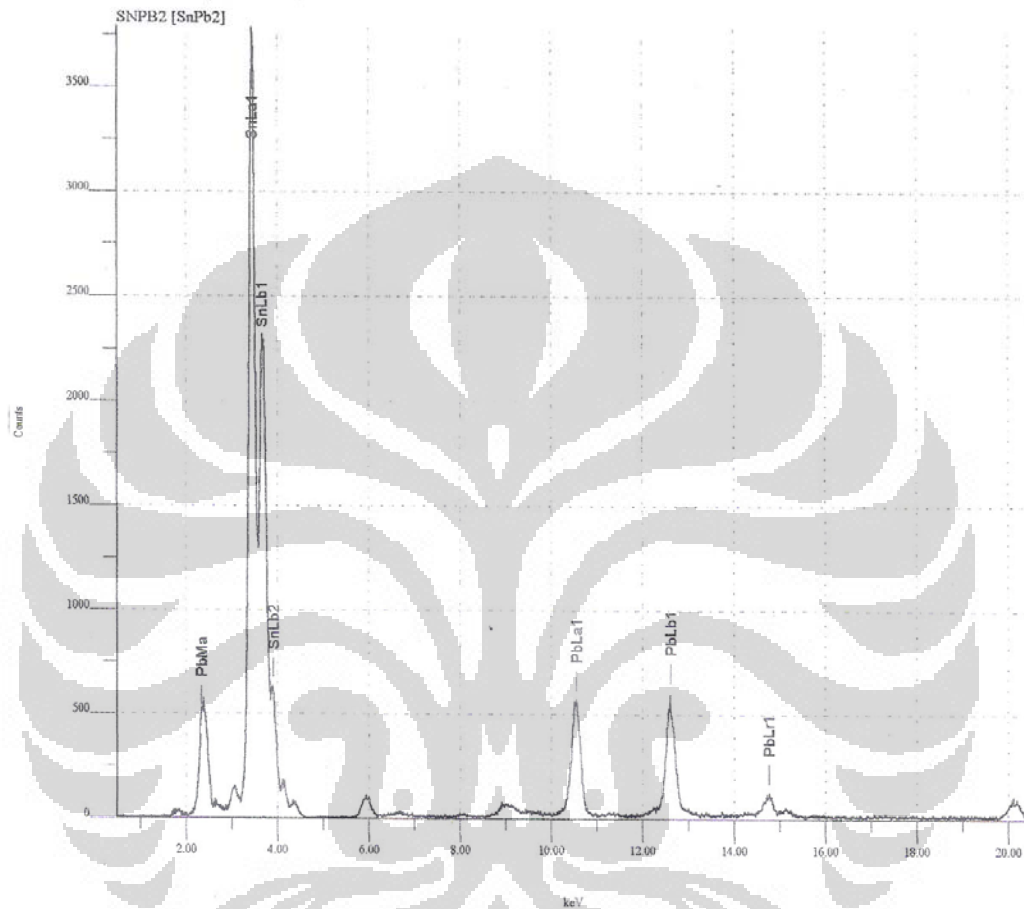
Analysis Element: Sn,Pb

Num	Atom/Chem. Formula	wt(%)	at/mole(%)	K-ratio	Integral Int.	Standard dev.
1	50 Sn	95.4362	97.3336	1.1786453	94258	0.8825
2	82 Pb	4.5638	2.6664	0.0828028	11424	0.6657

(lanjutan)

Paduan 90Sn-10Pb

Print: 2009/10/30 1:30:34



File Name : DAUSER\BAMBANGS\SNPB2.SPC Acq. Time: 2009/10/28 5:16:45
Sample Name: 90/10 Sn/Pb

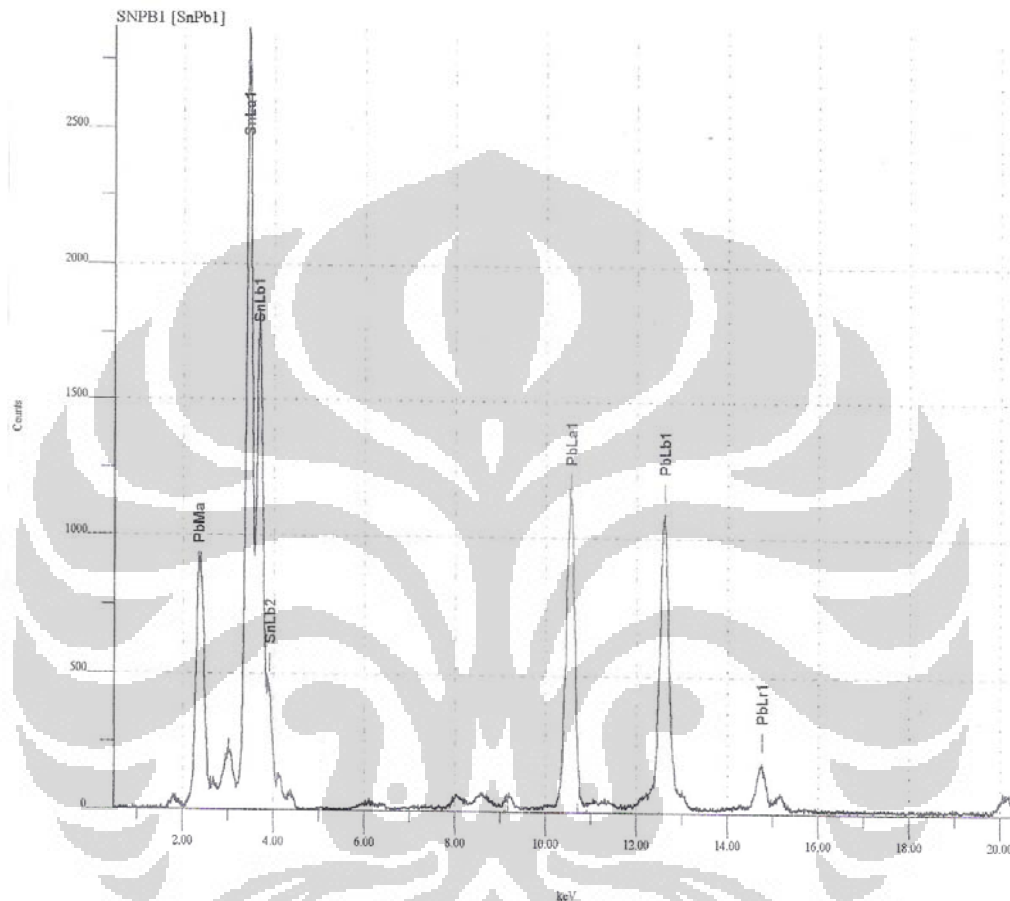
Acq. Cond. : Voltage: 30.0kV Current: 0.047mA Live time: 110.00sec Pass:Vac
Analysis Element: Sn,Pb

Num	Atom/Chem.Formula	wt(%)	at/mole(%)	K-ratio	Integral Int.	Standard dev.
1	50 Sn	90.4867	94.3194	1.0810223	80125	0.8206
2	82 Pb	9.5133	5.6806	0.1757332	22471	0.5881

(lanjutan)

Paduan 80Sn-20Pb

Print: 2009/10/30 1:33:18



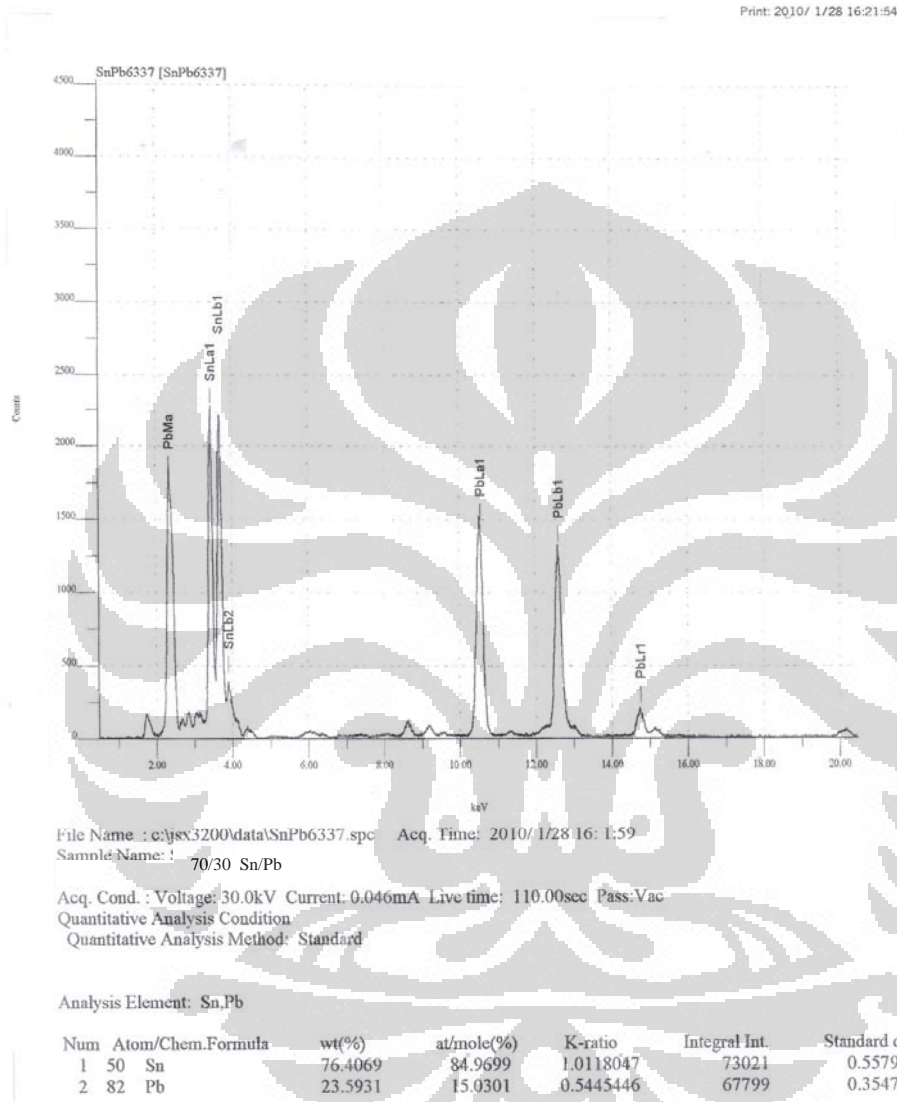
File Name : D:\USER\BAMBANGS\SNPB1.SPC Acq. Time: 2009/10/28 5:7:33
Sample Name: 80/20 Sn/Pb

Acq. Cond. : Voltage: 30.0kV Current: 0.060mA Live time: 110.00sec Pass: Vac
Analysis Element: Sn,Pb

Num	Atom/Chem. Formula	wt(%)	at/mole(%)	K-ratio	Integral Int.	Standard dev.
1	50 Sn	79.3649	87.0365	0.6757923	63271	0.4650
2	82 Pb	20.6351	12.9635	0.2994115	48361	0.3024

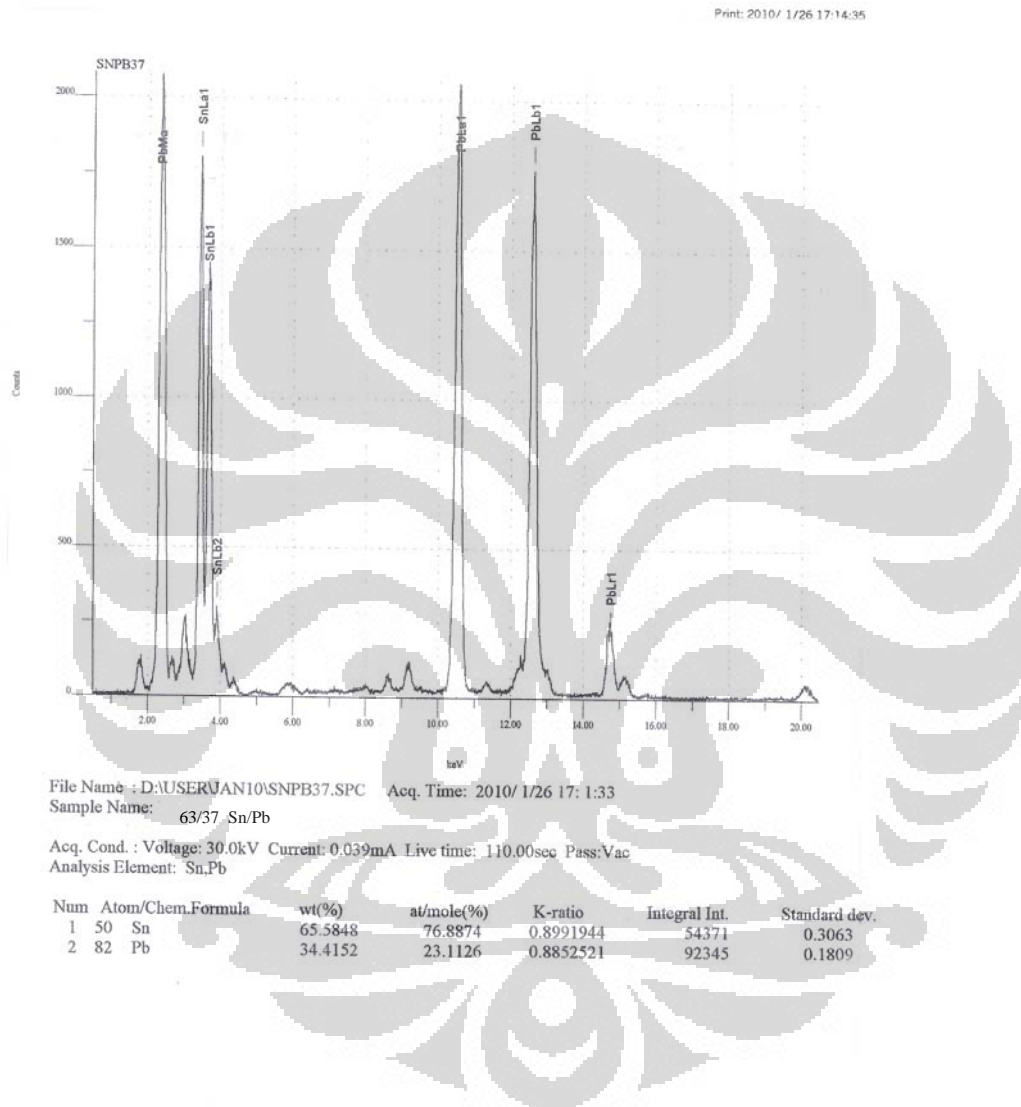
(lanjutan)

Paduan 70Sn-30Pb



(lanjutan)

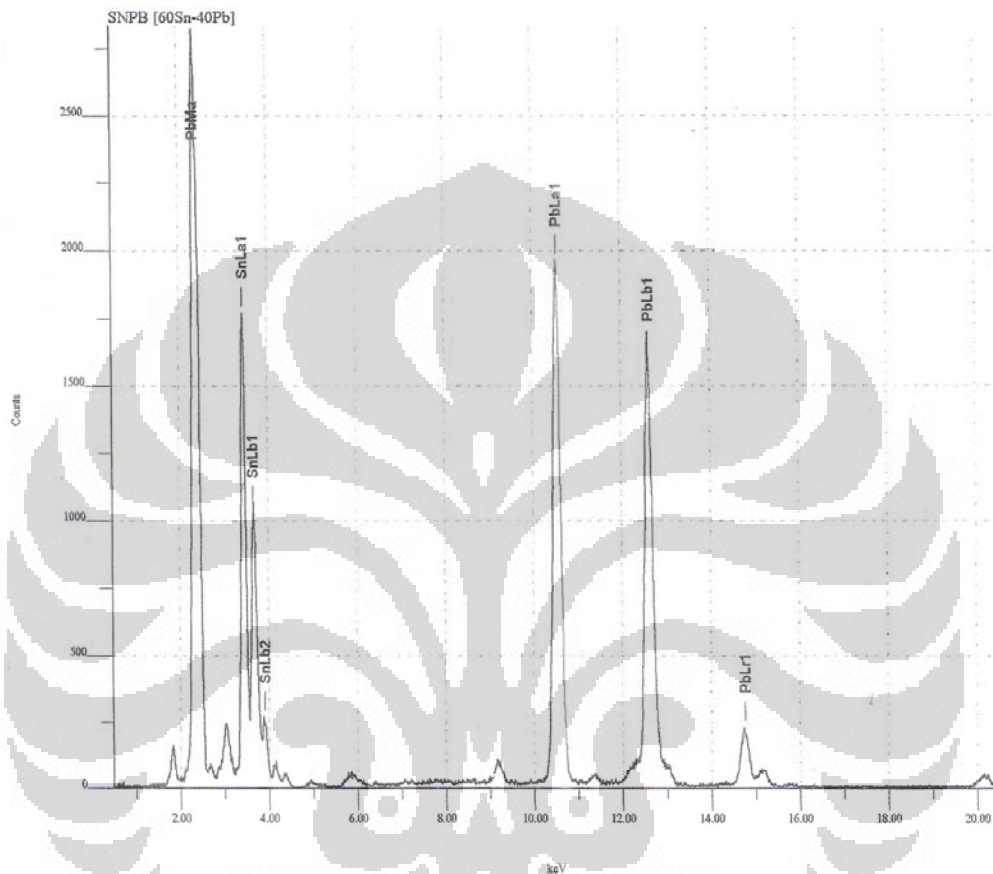
Paduan 63Sn-37



(lanjutan)

Paduan 60Sn-40Pb

Print: 2009/11/ 1 0:20:56



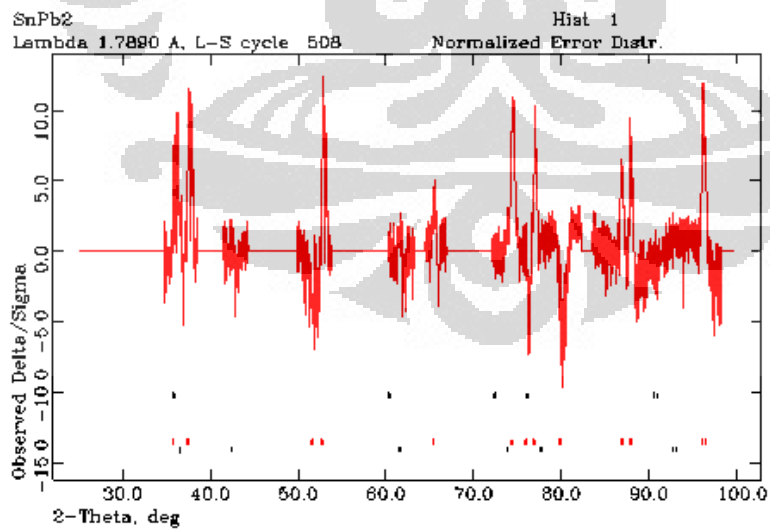
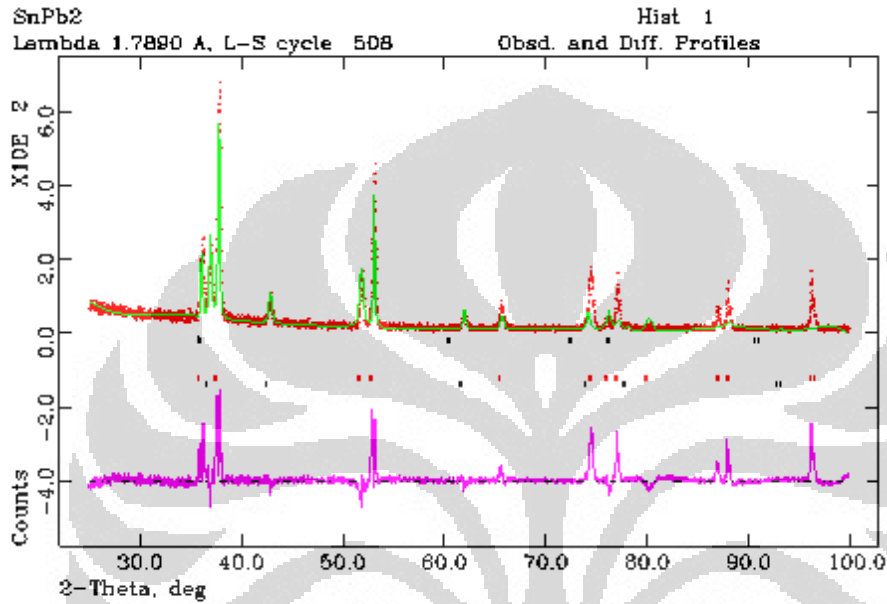
File Name : D:\USER\SEPTEM-1\ASNPB.SPC Acq. Time: 2009/ 9/30 13: 6:57
Sample Name: 60/40 Sn/Pb

Acq. Cond. : Voltage: 30.0kV Current: 0.030mA Live time: 110.00sec Pass:Vac
Analysis Element: Sn,Pb

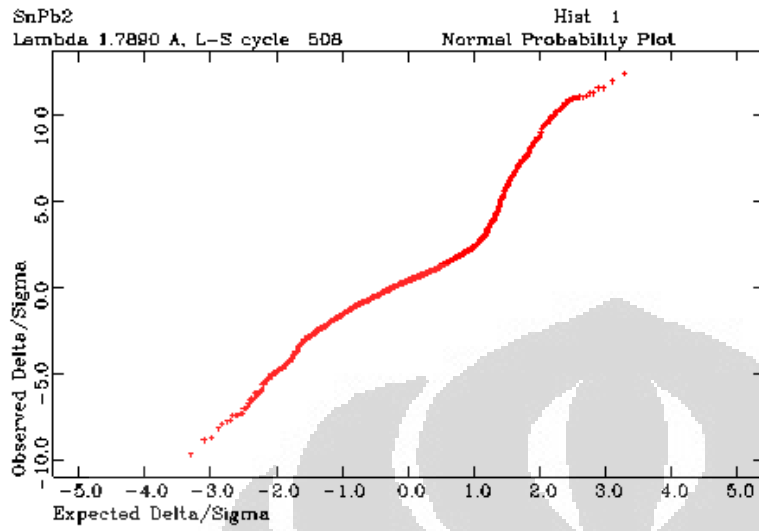
Num	Atom/Chem. Formula	wt(%)	at/mole(%)	K-ratio	Integral Int.	Standard dev.
1	50 Sn	64.2995	75.8690	1.0324587	48332	0.2185
2	82 Pb	35.7005	24.1310	1.0840544	87548	0.1280

Gambar Hasil *Refinement* Menggunakan Program GSAS

Paduan 95.4Sn-4.6Pb

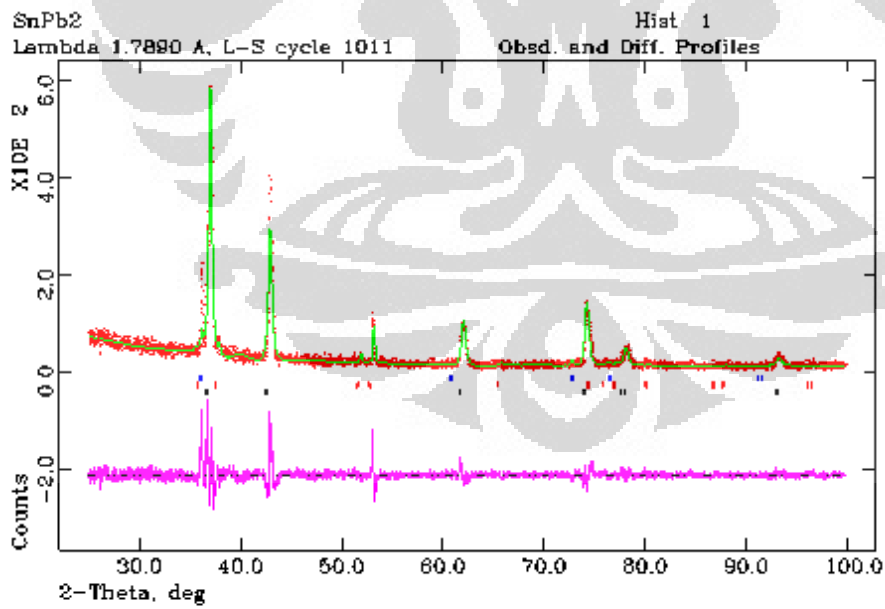


(lanjutan)

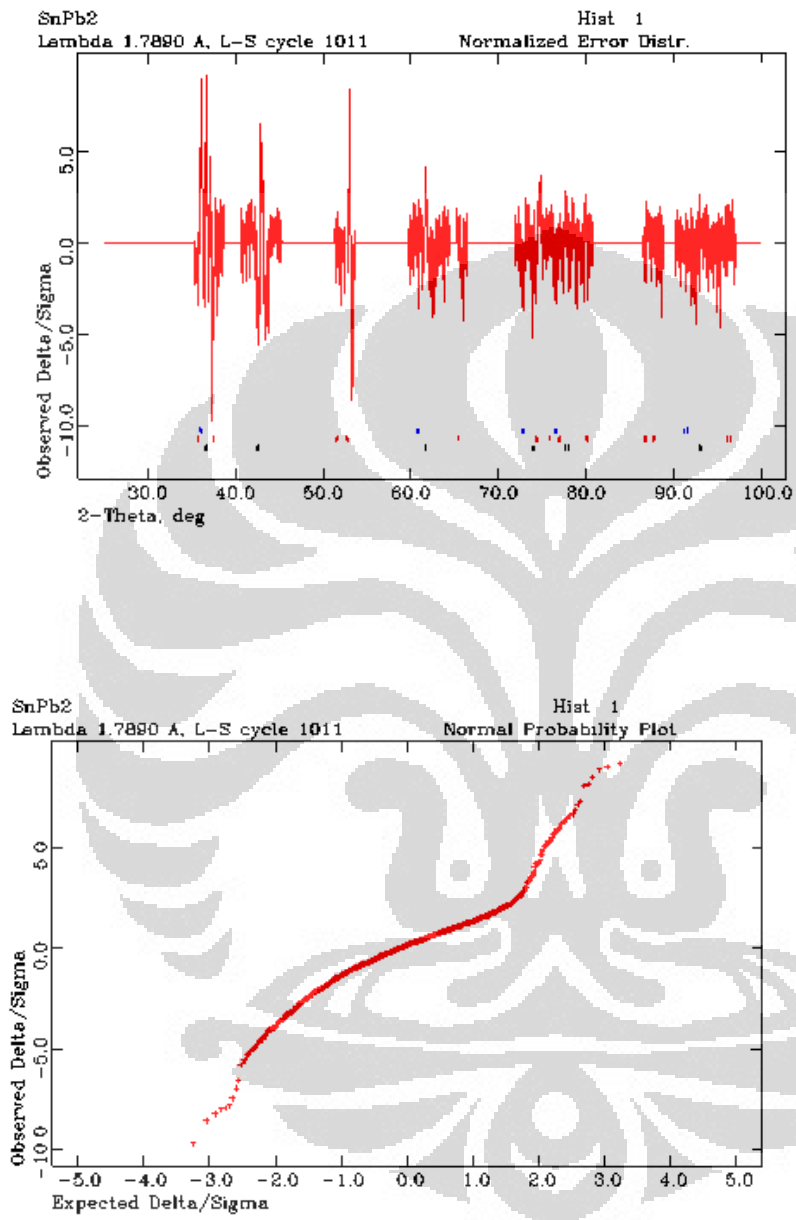


Chi Square = 5.436

Paduan 90.5Sn-9.5Pb



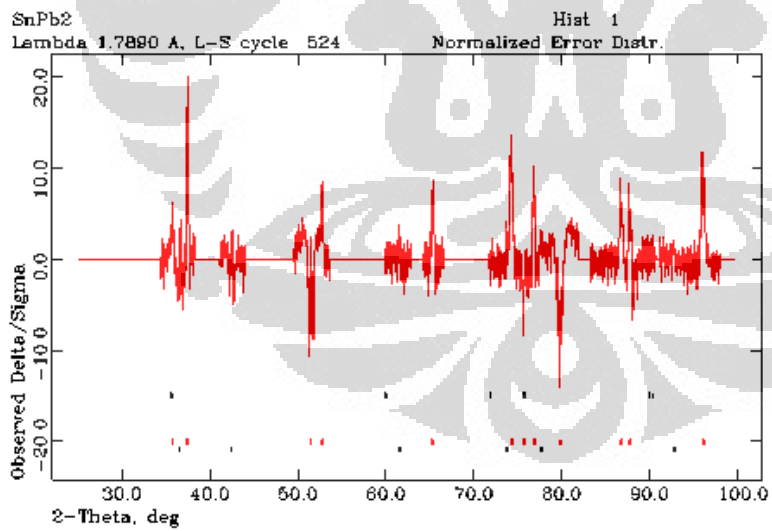
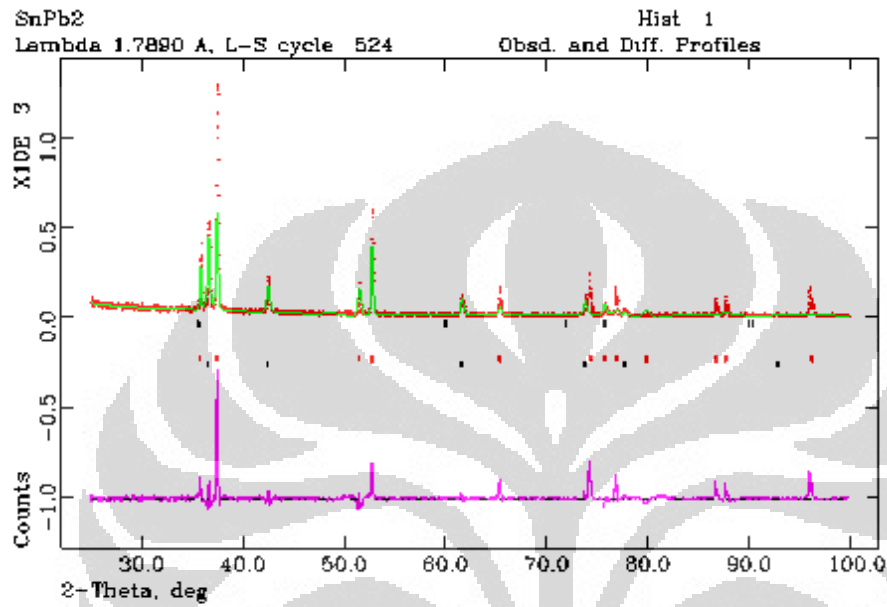
(lanjutan)



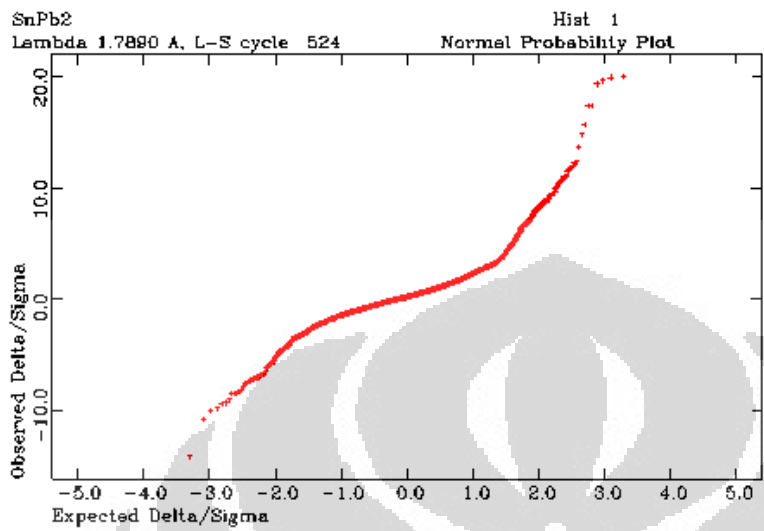
Chi Square = 2.146

(lanjutan)

Paduan 79.4Sn-20.6Pb

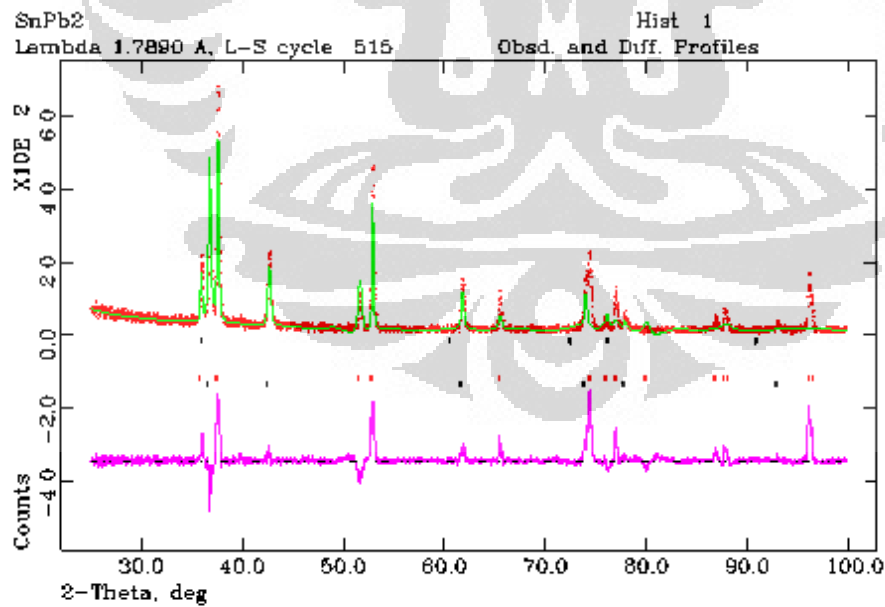


(lanjutan)

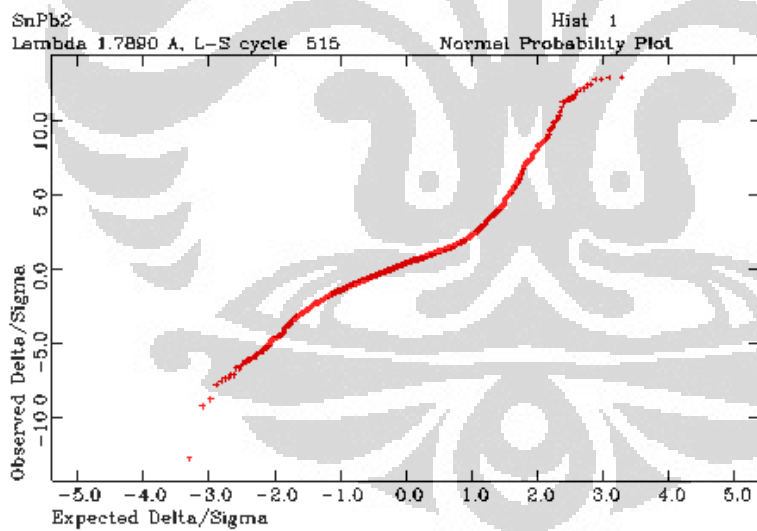
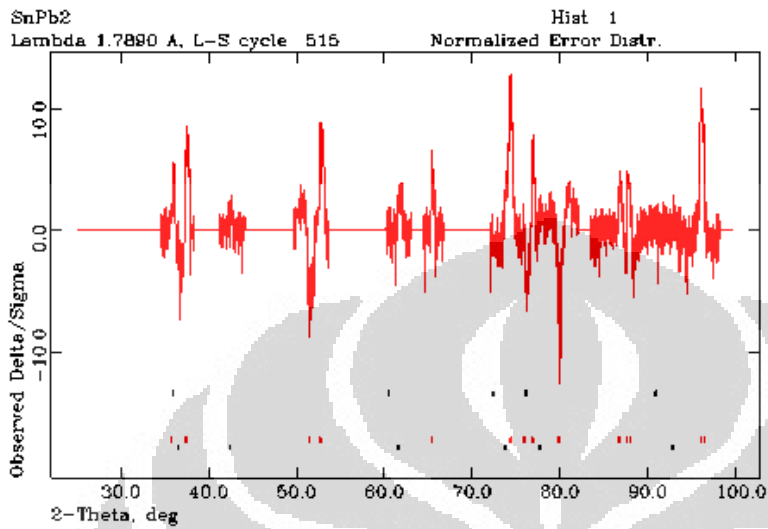


Chi Square = 5.141

Paduan 76.4Sn-23.06Pb



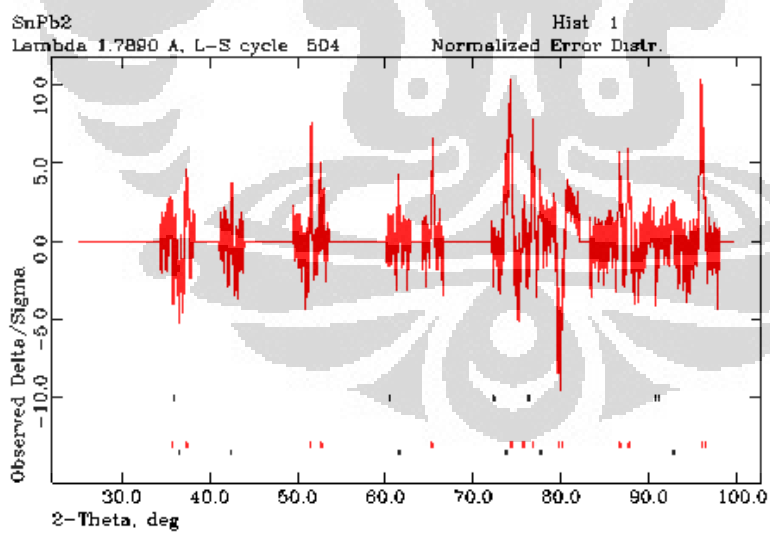
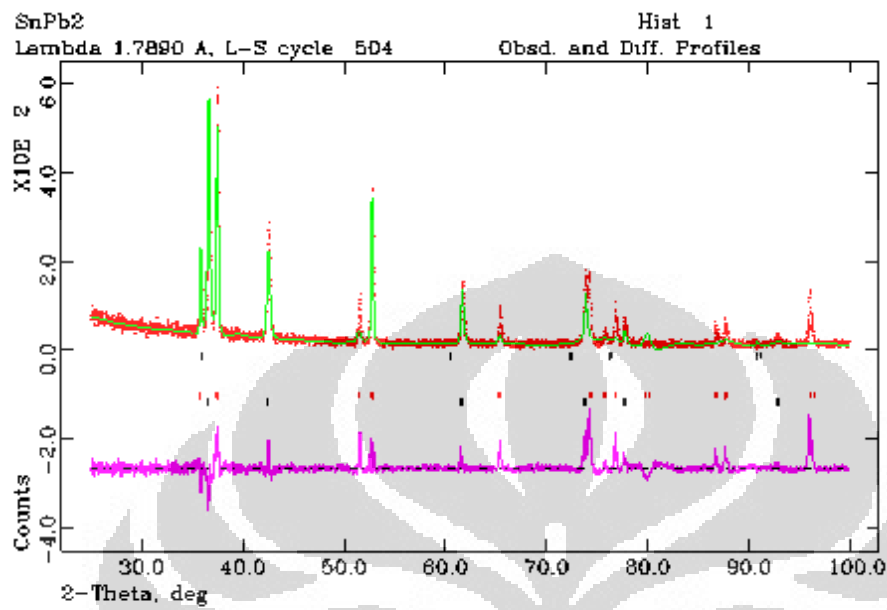
(lanjutan)



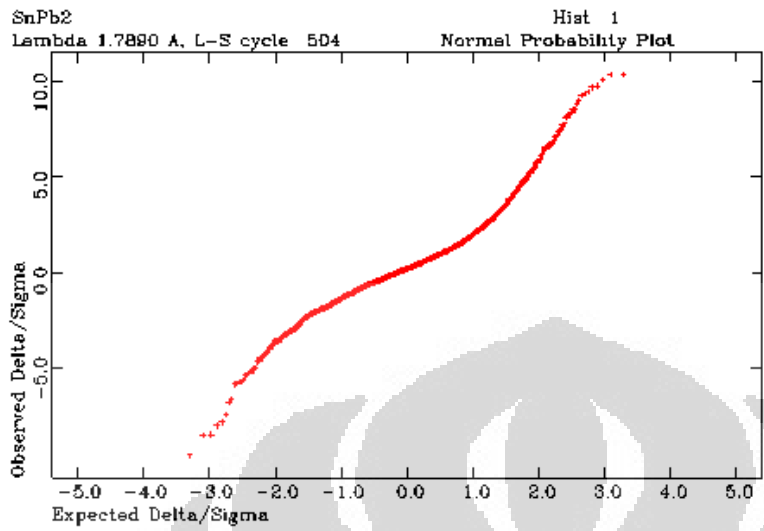
Chi Square = 4.613

(lanjutan)

Paduan 65.6Sn-34.4Pb

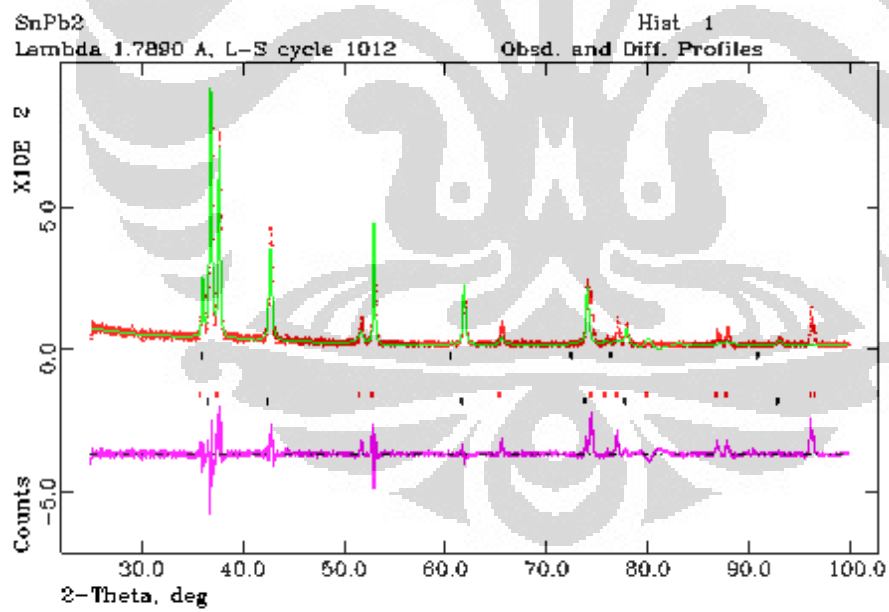


(lanjutan)

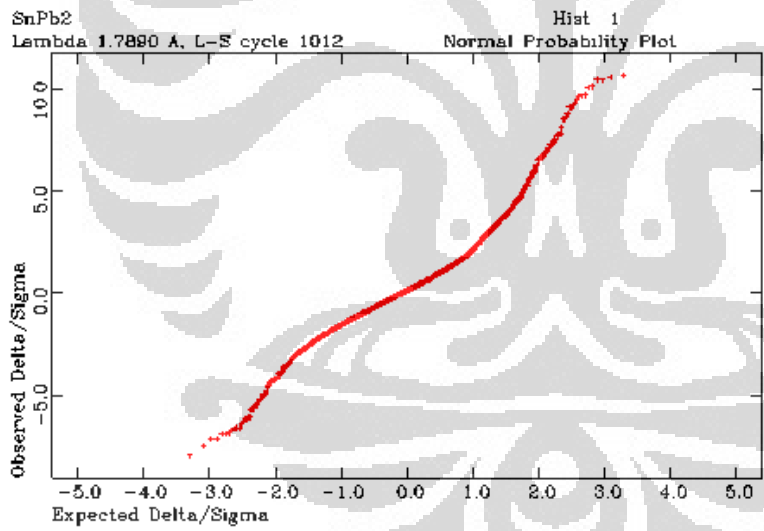
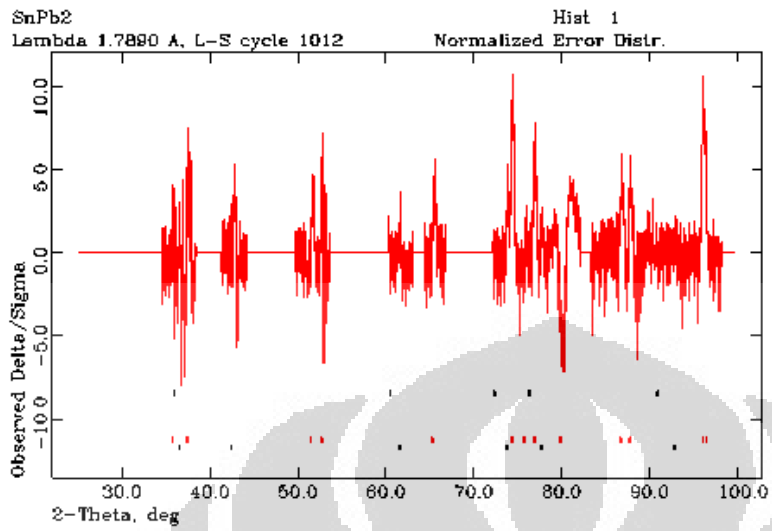


Chi Square = 3.071

Paduan 64.4Sn-35.7Pb



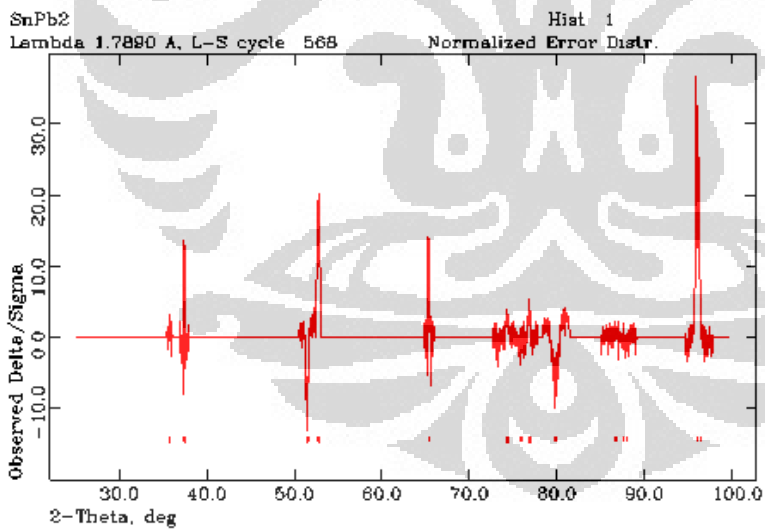
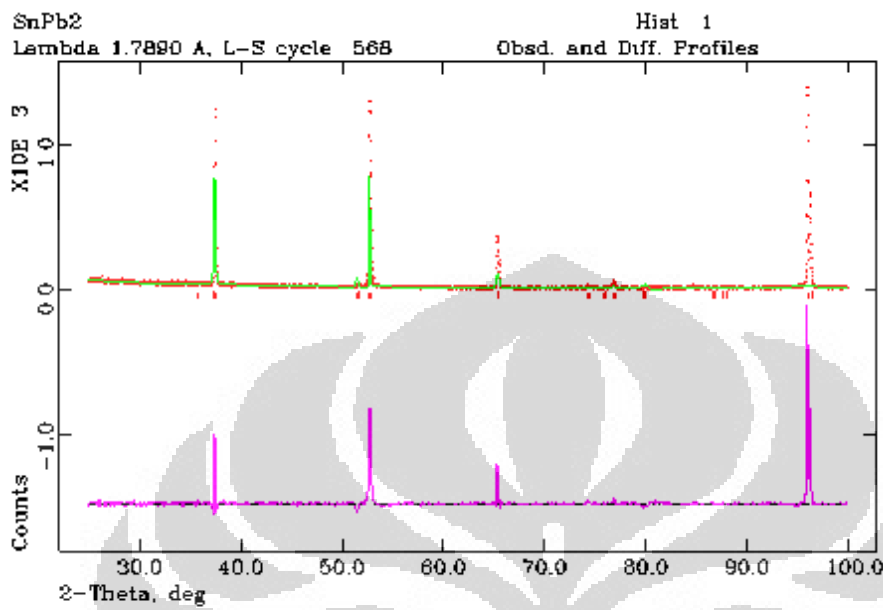
(lanjutan)



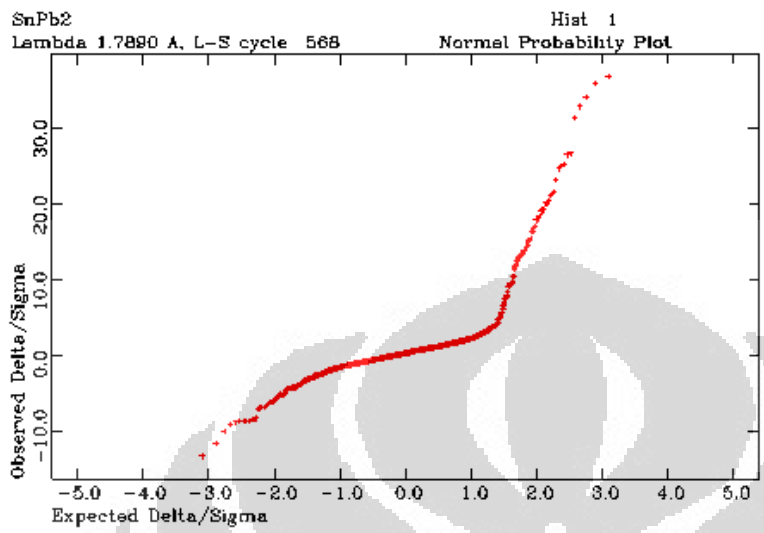
Chi Square = 3.543

(lanjutan)

Sn plat murni

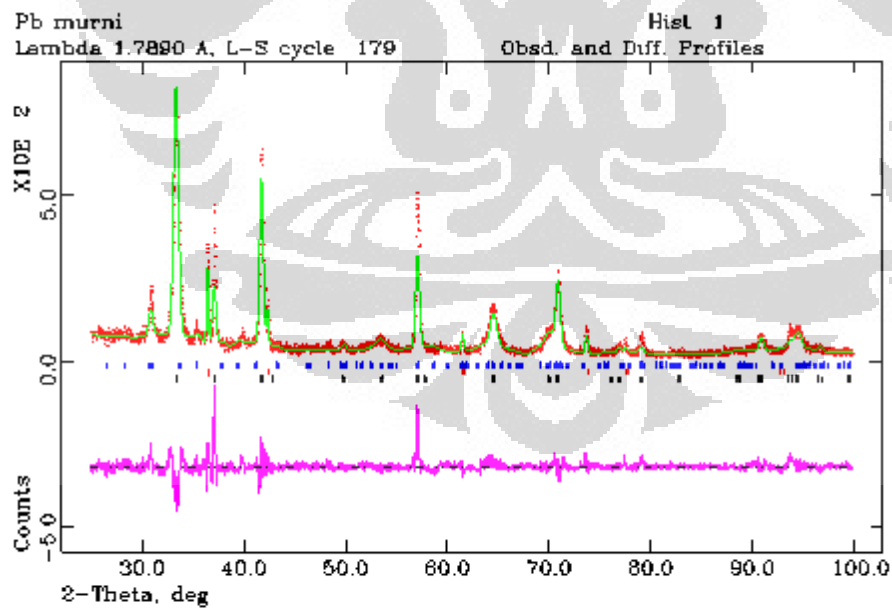


(lanjutan)

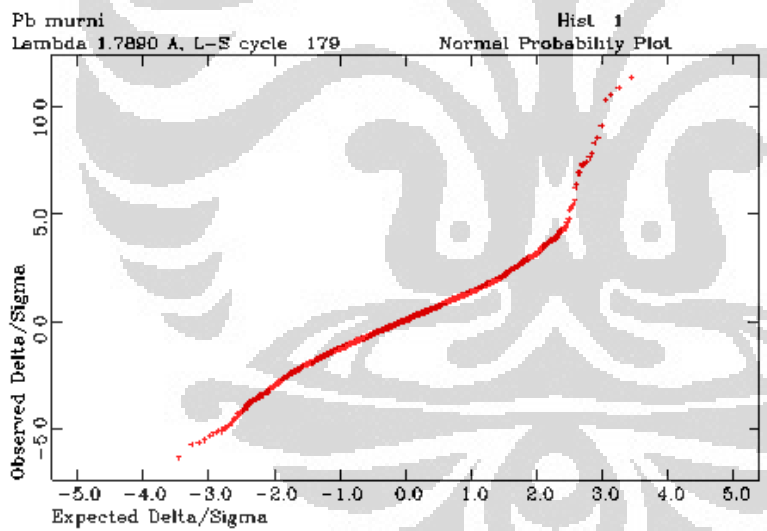
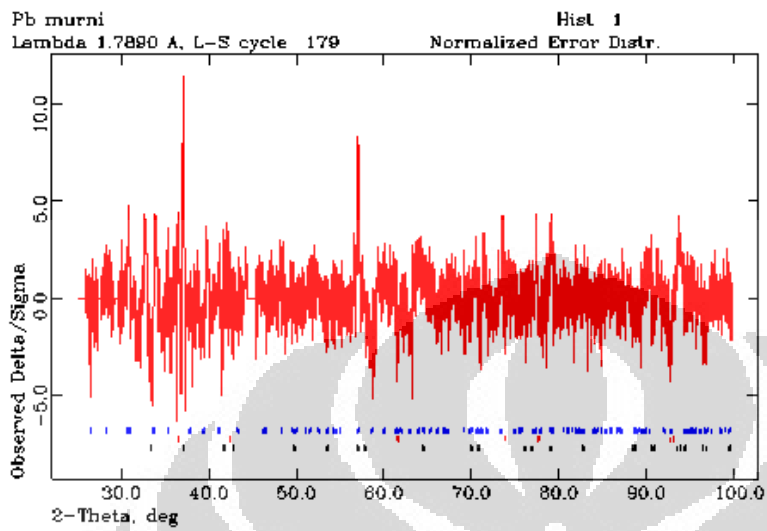


Chi Square = 7.931

Pb murni



(lanjutan)



Chi Square = 2.326

LAMPIRAN 3

Tabel Komposisi Paduan Berdasarkan Hasil GSAS

No	Sampel	Wt%	
		Sn	Pb
1	95Sn-5Pb	84.07	15.00
2	90Sn-10Pb	93.39	6.55
3	80Sn-20Pb	74.88	25.00
4	70Sn-30Pb	71.24	28.60
5	63Sn-37Pb	54.65	45.30
6	60Sn-40Pb	50.73	49.30

LAMPIRAN 4

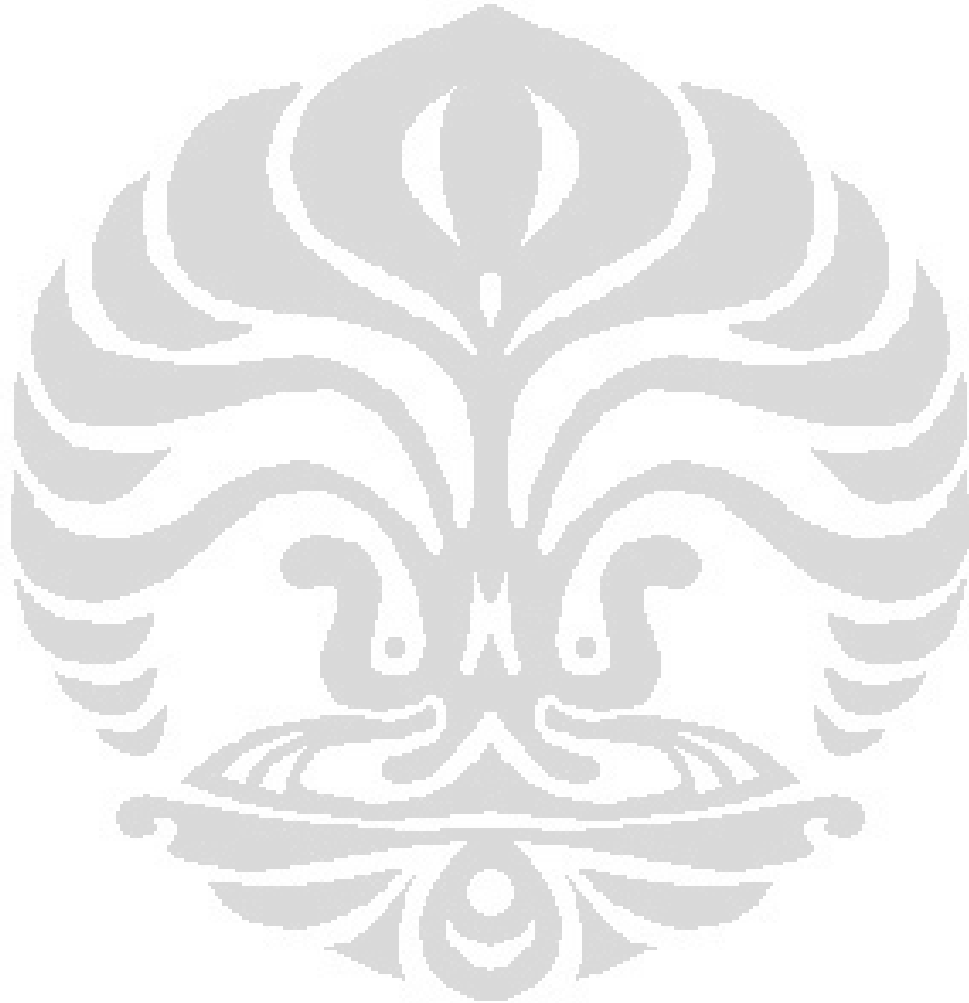
Tabel Penghitungan Nilai hkl untuk Paduan 64.4Sn-35.7Pb

Dengan menggunakan persamaan dibawah, didapatkan nilai hkl untuk fasa Sn tetragonal.

$$\text{Tetragonal : } d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2 \left(\frac{a^2}{c^2} \right)}}$$

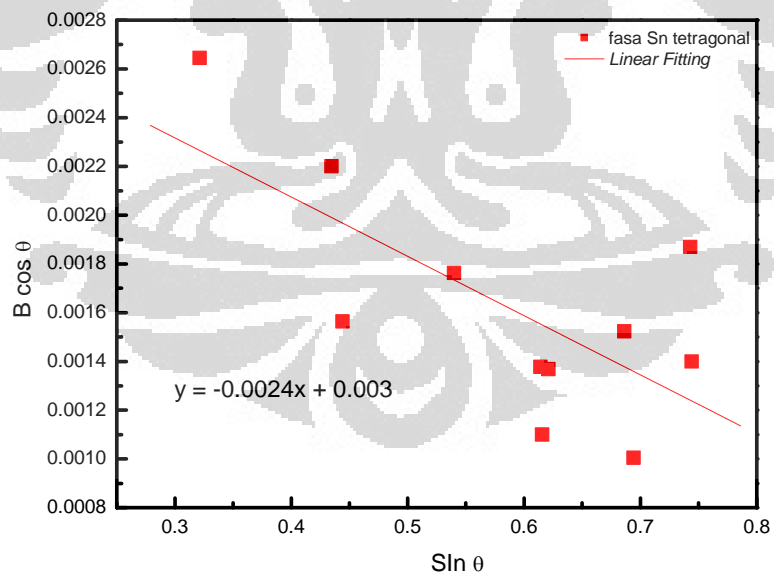
No	Fasa	Struktur Kristal	Parameter Kisi (Å)			d _{hkl}	a/d _{hkl}	h	k	l
			a	b	c					
1	Sn	Tetragonal	5.8231	5.8231	3.1722	2.78	2.10	1	0	1
						2.05	2.84	2	2	0
						2.01	2.90	2	1	1
						1.65	3.52	3	0	1
						1.48	3.93	1	1	2
						1.46	4.00	4	0	0
						1.44	4.05	3	2	1
						1.30	4.47	4	2	0
						1.29	4.51	4	1	1
1.20	4.84	3	1	2						
2	Sn	Kubik	5.0230	5.0230	5.0230	2.90	1.73	1	1	1
						1.42	3.53	2	2	2
3	Pb	Kubik	4.9396	4.9396	4.9396	2.84	1.74	1	1	1
						2.46	2.01	2	0	0
						1.74	2.83	2	2	0
						1.49	3.32	3	1	1

						1.38	3.59	2	2	2
						1.23	4.00	4	0	0



Perhitungan Crystallite Size untuk Fasa Sn Tetragonal pada Paduan 79.4Sn-20.6Pb dengan Menggunakan Persamaan (1) yang Telah Dilinearisasi.

2θ	θ	B (FWHM)	$\sin \theta$	B $\cos \theta$
37.48	18.74	0.16	0.3213	0.0026
51.51	25.76	0.14	0.4345	0.0022
52.74	26.37	0.10	0.4442	0.0016
65.36	32.68	0.12	0.5399	0.0018
75.77	37.88	0.10	0.6140	0.0014
76.00	38.00	0.08	0.6156	0.0011
76.77	38.38	0.10	0.6209	0.0014
86.65	43.33	0.12	0.6861	0.0015
87.93	43.96	0.08	0.6942	0.0010
92.72	46.36	0.32	0.7439	0.0014
95.96	47.98	0.16	0.7429	0.0019



Crystallite Size paduan 79.4Sn-20.6Pb = 53.67 nm

LAMPIRAN 6

Diagram Fasa Paduan SnPb Berdasarkan Titik Leleh yang Didapat Dari Analisis Menggunakan Program Tasys© .

