



UNIVERSITAS INDONESIA

**KONTROL UKURAN PORI LOGAM BUSA PADUAN Cu-15Zn
DENGAN FABRIKASI PADAT**

TESIS

R. Ariosuko Dh.
0606003833

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM PASCASARJANA BIDANG ILMU TEKNIK**

**DEPOK
DESEMBER 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**Kontrol Ukuran Pori Logam Busa Paduan Cu-15Zn dengan
Fabrikasi Padat**

TESIS

R. Ariosuko Dh.
0606003833

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM PASCASARJANA BIDANG ILMU TEKNIK**

**DEPOK
DESEMBER 2009**

rev. 2010-02-24



UNIVERSITAS INDONESIA

**Kontrol Ukuran Pori Logam Busa Paduan Cu-15Zn dengan
Fabrikasi Padat**

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar magister teknik

R. Ariosuko Dh.
0606003833

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI dan MATERIAL
KEHUSUSAN DISAIN MANUFAKTUR**

**DEPOK
DESEMBER 2009**

rev. 2010-02-24

Universitas Indonesia

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

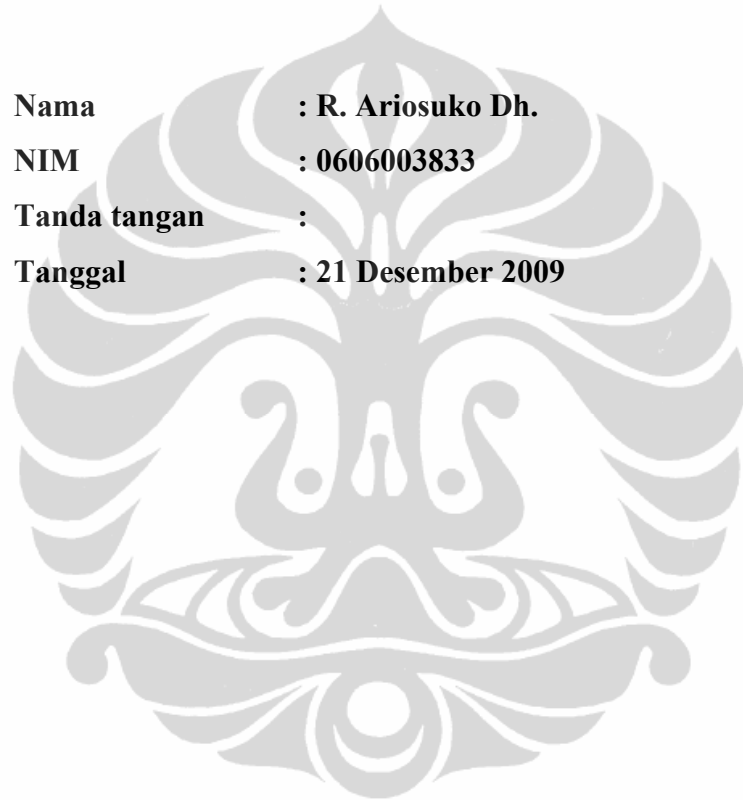
**Tesis ini adalah hasil karya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip atau dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : R. Ariosuko Dh.

NIM : 0606003833

Tanda tangan :

Tanggal : 21 Desember 2009



HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh

Nama : R. Ariosuko Dh.

NPM : 0606003833

Judul tesis : Kontrol Ukuran Pori Logam Busa Paduan Cu-15Zn
dengan Fabrikasi Padat

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material. Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Sri Harjanto (.....)

Penguji : Prof. Dr-Ing. Bambang Suharno (.....)

Penguji : Prof. Dr. Ir. Anne Zulfia, M.Sc. (.....)

Penguji : Deni Ferdian, ST., M.Sc. (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal sidang : 30 Desember 2009.

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah Robbil Alamin kami panjatkan kepada Allah SWT, atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Tesis ini disusun dalam rangka memenuhi salah 1 syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik Program Studi Teknik Metalurgi dan Material FTUI. Tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, sejak masa perkuliahan hingga penyusunan tesis ini, mustahil dapat diselesaikan. Oleh karena itu, saya mengucapkan banyak terima kasih kepada:

- (1) Bapak DR. Ir. Sri Harjanto, selaku dosen pembimbing utama yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini;
- (2) Ibu Prof. Dr. Ir. Anne Zulfia, M.Sc selaku pembimbing akademik.
- (3) Bapak Dr. Ir. Winarto, M.Sc selaku Sekretaris Departemen.
- (4) Bapak Prof. DR-Ing. Bambang Suharno selaku Ketua Departemen.
- (5) Sahabatku; Edy, dr. Deni, Herry A.P., Heri T., Haikal, Muli dan Arief yang telah membantu materil dan non-materil.
- (6) Istriku Muslimah Mattjik, anak-anakku Fildzah, Hafizhoh, Musyaffa' serta yang masih dalam kandungan, serta keluarga besar yang telah banyak bersabar dan memberi dukungan material dan moral;
- (7) Ibu Ir. Myrna, MSi, bapak Dr. Ir. Sutopo, bapak Ir. Akhmad Herman Yuwono, MPhil.Eng, Phd, serta bapak Ir. Andi Rustandi, MT selaku kepala lab yang telah memaklumkan penggunaan fasilitas lab-nya.
- (8) Para asisten Laboratorium Metalurgi UI yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan Tesis ini.
- (9) Staf tata usaha dan *cleaning service* Departemen Metalurgi dan Material UI;
- (10) Serta mas Deni Ferdian, M.Sc. yang telah banyak memberi arahan revisi tesis paska sidang.

Semoga Allah Yang Maha Esa berkenan membalas semua kebaikan mereka.

Depok, 5 Januari 2010

Penulis

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

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

Nama : R. Ariosuko Dh.
NPM : 0606003833
Program Studi :
Departemen : Teknik Metalurgi dan Material
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Tesis

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 :

Kontrol Ukuran Pori Logam Busa Paduan Cu-15Zn dengan Fabrikasi Padat

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 : 5 Januari 2010.

Yang menyatakan

(R. Ariosuko Dh.)

ABSTRAK

Nama : R. Ariosuko Dh.

NPM : 0606003833

Program Studi: Departemen Teknik Metalurgi dan Material

Judul : Kontrol Ukuran Pori Logam Busa Paduan Cu-15Zn dengan Fabrikasi Padat

Logam busa merupakan kelas material relatif baru sejak dikenalkan di penghujung tahun 1990-an. Logam busa dapat difabrikasi dengan banyak cara, namun semuanya merupakan muara dari dua metode, yakni metode cair dan metode padat. Pembuatan dari bahan serbuk termasuk metode padat, sebagaimana digunakan di penelitian ini, dikombinasi dengan proses pelarutan bahan pengisi. Serbuk utama adalah Cu-15Zn (kuningan), dan bahan pembentuk pori yang digunakan adalah *Potassium carbonate* (K_2CO_3) dan *Silica Gel* (SiO_2). Morfologi logam busa ini termasuk ukuran pori, dicoba dikontrol dengan variasi ukuran butir pengisi dan dua skema sinter.

Penelitian ini menggunakan 4 variabel ukuran bahan pengisi; 2,650 mm (SiO_2 dengan fraksi massa 30%), serta 840, 542, dan 420 μm (K_2CO_3 dengan fraksi massa 60%). Setiap bakalan hasil pencampuran dikompaksi dengan tekanan 20 MPa (200 bar) selama 2,5 menit. Diikuti oleh dua skema proses sinter, yaitu 12 sampel dengan temperatur 900°C selama 45 menit (skema S1) dan 12 sampel dengan skema 850°C selama 1 jam (skema S2), dengan atmosfer gas nitrogen. Pengisi *potassium carbonate* dilarutkan dengan air hangat ($\sim 65^\circ C$) selama 2 jam dengan cara diaduk secara magnetik, sedangkan pengisi *silica gel* direndam dalam larutan asam hidrof luorida (HF) dengan konsentrasi 25%.

Hasil karakterisasi produk logam busa; dihasilkan ukuran pori dengan rata-rata penyusutan 25%. Terbentuk berbagai jenis pori; pori terhubung (interkonek), pori tertutup, dan pori terbuka. Bentuk sel cenderung bulat mengikuti bentuk pengisi, terdiri dari jenis sel tertutup di sebagian permukaan dan jenis sel terbuka di sebagian besar permukaan. Densitas produk di kisaran $\sim 1,3 \text{ g/cm}^3$ untuk pengisi potasium semua ukuran dan $\sim 1,73 \text{ g/cm}^3$ untuk pengisi silica gel. Porositas di kisaran $\sim 81\%$ untuk pengisi potasium dan $\sim 76\%$ untuk pengisi silica gel. Dari dua skema sinter, semuanya menghasilkan fasa paduan Cu-15Zn. Konduktivitas listrik hasil skema sinter S1, tertinggi $1,93 \text{ [m}\Omega \cdot \text{m]}^{-1}$ pada sampel hasil pembentukan pengisi 0,542 mm, terendah $1,34 \text{ [m}\Omega \cdot \text{m]}^{-1}$ hasil pembentukan pengisi 0,841 mm.

Kata kunci : Logam Busa, Kuningan, Cu-15Zn, Metalurgi Serbuk, Sinter dan Pelarutan.

ABSTRACT

Name : R. Ariosuko Dh.
 NPM : 0606003833
 Study Programme : Departement of Metallurgy dan Materials
 Title : Controlling of Pore Size on Cu-15Zn Metal Foam by Solid Fabrication

Metal foam represents a new class of material, since introduced in the end year of 1990. Metal foam can be fabricated variously, but altogether have just 2 path, namely melt and solid fabrication. Fabrication from powder is one of solid fabrication band which is used in this research, joined with dissolution of filler substance. The main powders are Cu-15Zn, the fillers are potassium carbonates (K_2CO_3) and silica gel (SiO_2). The morphology of porous including pore size tried to be controlled by variation of fillers diameter and sintering schemes.

Filler substances are classified into 4 particles size, those are 2.650 mm (30% mass fraction of SiO_2) and 840 μm , 542 μm , and 420 μm (60% mass fraction of K_2CO_3). Each mixture was then compacted with same pressure of 20 MPa (200 bar), followed by two sintering schemes, those are 12 samples in 900°C for 45 minutes (S1 and 12 others samples in 850°C for 1 hour (S2). The dissolution process of potassium carbonates filler was undertaken in warm water (~65°C) for 2 hours by magnetic stirring, and silica gel dissolved by soaking in hidrofluorida (HF) acid solution by 25% of concentration.

Macrostructure with cell shape tend to circular similar to the shape of fillers. Size shrinkage was observed about ~25% compare to initial filler size. Various pore morphology are formed in i.e. ; interconnected pore, closed pore, and open pore. The densities of metal foams were around ~1.3 g/cm³ for potassium carbonate fillers on all granular size and around ~1.73 g/cm³ for silica gel filler. Porosities were around ~81% for potassium carbonates fillers and ~76% for silica gel fillers. Almost all the samples have Cu-Zn alloys phase. It meant that the sintering schedule are suitable enough for alloying. The smallest electrical conductivity for sinter scheme S1, were 1.93 [m Ω .m]⁻¹ from filler size 0.542 mm. The largest were 1.34 [m Ω .m]⁻¹ from 0.841 mm filler size.

Key words : *Cu15Zn Metal Foam, Sintering and Dissolution, Powder Metallurgy, Electrical conductivity.*

DAFTAR ISI

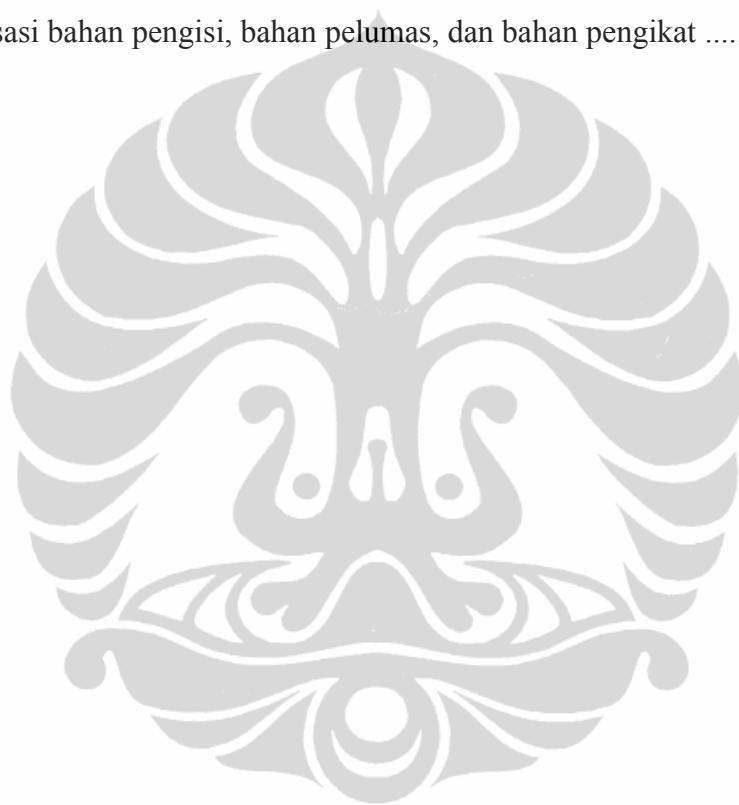
	Halaman
PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
PERSETUJUAN PUBLIKASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR SINGKATAN	xiv
DAFTAR NOTASI	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
1. PENDAHULUAN	1
1. Latar Belakang	1
2. Rumusan Masalah	3
3. Tujuan Penelitian	3
4. Manfa'at Penelitian.....	4
5. Batasan Masalah	4
6. Sistematika Penulisan	5
2. STUDI LITERATUR	7
1. Logam Busa	7
1.1 Definisi	
1.2 Kriteria	
1.3 Parameter	
1.4 Metode Produksi Jalur Padat	
(a) Sintering-Dissolution Processing	
(b) <i>Lost Carbonates Sintering</i>	
(c) <i>Pressing Around Fillers/Space-Holding Fillers</i>	
(d) <i>Metal Powder /Binder Methode</i>	
(e) <i>Metallic Hollow Sphere Structures</i>	
(f) <i>Sintering of Powders or Fibers</i>	
2. Tembaga Busa	20
3. Kuningan (Cu-15Zn) Busa	22
4. Tahap Penting pada Fabrikasi Jalur Padat	24
4.1 Sinter	
4.2 Pelarutan	
3. DISAIN PENELITIAN	29
1. Diagram Alir Penelitian	29
2. Bahan Penelitian	30
2.1 Bahan Baku	
2.2 Peralatan	

2.3 Peralatan Karakterisasi	
3. Prosedur Penelitian	34
3.1 Karakterisasi Bahan Baku	
3.2 Penimbangan	
3.3 Pengkodean Sampel	
3.4 Kompaksi	
3.5 Proses Sinter	
3.6 Pelarutan	
4. Karakterisasi Hasil Percobaan	40
4.1 Pengamatan Visual	
4.2 Uji Densitas	
4.3 Uji Porositas	
4.4 Uji Morfologi Pori	
(a) Struktur Makro	
(b) Struktur Mikro	
4.5 Uji Komposisi Kimia	
4.6 Uji Properti Listrik	
4. HASIL dan ANALISA	47
1. Karakterisasi Bahan	47
2. Karakterisasi Hasil Kompaksi	49
3. Karakterisasi Hasil Sinter	51
4. Karakterisasi Produk Akhir Logam Busa	52
5. Morfologi Logam Busa.....	57
5.1 Hasil Pengamatan Struktur Makro	57
5.2 Hasil Uji Struktur Mikro	60
6. Hasil Uji Komposisi Kimia (EDX).....	61
7. Hasil Uji Konduktivitas Listrik	63
5. PENUTUP	65
1. Kesimpulan	
2. Saran	

DAFTAR REFERENSI

DAFTAR TABEL

2.1 Properti fisika Cu-Zn dan C23000	22
3.1 Rekapitulasi kebutuhan bahan	34
4.1 Karakterisasi serbuk Cu dan Zn	47
4.2 Karakterisasi bahan pengisi, bahan pelumas, dan bahan pengikat	48




DAFTAR GAMBAR

1.1	Klasifikasi material (a) Tahun 2002. (b) Tahun 2005	1
1.2	Busa aluminium dengan berbagai ukuran pori.	2
1.3	Skema sinter untuk percobaan ini.	5
2.1	Contoh sel terbuka di sebelah kiri (a), serta contoh sel tertutup (b)	7
2.2	Perbedaan pori dan sel.	9
2.3	Ilustrasi jenis pori, (a) langsung pada objek. (b) diagram.	9
2.4	Metode produksi logam busa (a) Versi Degischer. (b) Versi Banhart. (c) Versi Wadley.	11
2.5	Ilustrasi proses SDP.	12
2.6	Ilustrasi proses LCS.	12
2.7	Skema sinter pada LCS.	13
2.8	Ilustrasi tahapan teknik <i>space holder</i>	14
2.9	Sel titanium dibuat dengan PM, menggunakan polimer (kiri) atau bulir magnesium (kanan) sebagai <i>space holder</i>	15
2.10	Contoh produk dengan teknik <i>space-holding fillers</i>	15
2.11	Proses pembuatan logam selular dengan orientasi porositas tertentu, dibuat dari serbuk logam.	16
2.12	Sampel besi berpori dengan arah orientasi sel tertentu dan penampang lintang berbentuk hexagonal. (porositas 86%).	17
2.13	Proses pelapisan styrofoam untuk membuat struktur bola berongga.	18
2.14	Ilustrasi struktur bola berongga terbuka yang dibuat dari bola-bola stainless steel dengan proses sintering: sesudah dan sebelum deformasi axial. Diameter komponen ini sekitar 20 mm.	19
2.15	Contoh aplikasi tembaga busa (a) pipa panas (heat pipe), (b) pelat pendidih, dan (c) Tungku gas (gas burner).	21
2.16	Contoh busa kuning dengan struktur sel terbuka.	23
2.17	Rekristalisasi saat Sinter, ditandai dengan terbentuknya 'leher' atau 'neck' di pertemuan butir.	24
2.18	Kurva densifikasi dan 3 tahap sintering.	25
2.19	Ilustrasi model 2 partikel untuk tahap awal sinter. (a) tanpa penyusutan. (b)	

terjadi penyusutan.	25
2.20 Ilustrasi model 2 partikel menurut Coble, untuk (a) tahap <i>intermediate</i> sinter. (b) tahap akhir sinter.	26
2.21 Ilustrasi pelarutan. (a) sebelum. (b) sesudah.	27
3.1 Diagram alir penelitian	29
3.2 Kemasan serbuk logam Cu (warna putih) dan Zn (warna abu-abu)	30
3.3 Pengisi K_2CO_3 dengan 3 distribusi butir : 20 mesh, 30 mesh, dan 40 mesh.	
3.4 Pengisi SiO_2 atau Silica Gel (hanya 1 distribusi butir)	30
3.5 Silinder pencampur dari bahan baja biasa.	31
3.6 Dies kompaksi yang tersedia di lab metalurgi UI. (a) terangkai. (b) terurai sisi 1. (c) terurai sisi 2.	31
3.7 Mesin pres yang digunakan di penelitian ini.....	32
3.8 Panel kontrol dapur listrik, jenis dapur gas, merk Nabertherm buatan tahun 1988, dengan kemampuan dapat diprogram.	32
3.9 Makromikroskop untuk memoto struktur makro. Perbesaran 6,3x hingga maksimum 32x.	33
3.10 <i>Measuring-microscope</i> untuk mengukur struktur pori. Perbesaran antara 5x hingga 100x. Dengan 100x struktur mikro sudah mulai tampak.	33
3.11 Contoh mili Ω -meter.	34
3.12 Penimbangan 85% berat serbuk Cu dan 15% berat serbuk Zn.	35
3.13 Penimbangan serbuk K_2CO_3	35
3.14 Serbuk bakalan dituang ke kaviti.	36
3.15 Hasil kompaksi masih di dalam kaviti.	37
3.16 Mengeluarkan hasil kompaksi. Bakalan dicegah terjatuh ke lantai untuk menghindari pecah.	37
3.17 Contoh rencana <i>lay-out</i> peletakkan sampel	38
3.18 Sampel sudah dimasukkan ke dalam dapur.	39
3.19 Parameter dapur yang perlu diprogram. Tampak pula suhu dapur saat itu...39	
3.20 Tanda dapur sedang beroperasi	39
3.21 Langkah pelarutan potasium karbonat. a) persiapan sekat. b) penandaan kelompok sampel. c) pelarutan dengan <i>magnetic stierer</i>	40
3.22 Proses pelarutan silica gel.....	40

3.23 Titik pengamatan.	42
3.24 Ilustrasi tahapan pembuatan mounting. (a) Sampel awal. (b) Sampel digerinda sebagian agar bisa diletakkan tegak. (c) Sampel di posisi tegak dengan alas bagian yang digerinda tadi. (d) Sampel dicor dengan resin+pengeras. Siap diampelas di bagian yang rata. (e) Mounting dapat ditinggikan hingga seluruh sampel mengambang. (f) Sampel dibalik, siap diuji.	42
3.25 Sampel yang disiapkan untuk pengamatan struktur mikro. Jumlah sesuai dengan 8 variasi parameter.	43
3.26 Contoh perbandingan citra pada permukaan patahan alumina. (a) SE. (b) BSE dengan semua 4 detektor aktif. (c) BSE dengan hanya 1 detektor aktif.	
4.1 Contoh pengamatan visual segregasi hasil kompaksi	49
4.2 Kalkulasi densitas bakalan paska kompaksi	50
4.3 Densitas paska sinter. (a) Skema sinter S1. (b) Skema sinter S2.....	51
4.4 Perbandingan metode pelarutan SiO ₂	52
4.5 Pengaruh ukuran pengisi terhadap Densitas logam busa	53
4.6 Perbandingan Densitas Relatif Fraksi Berat dan Fraksi Volume.....	55
4.7 Perbandingan Porositas Fraksi Berat dan Fraksi Volume.....	56
4.8 Pengaruh Ukuran Pengisi terhadap Ukuran Sel	58
4.9 Grafik penyusutan ukuran pengisi. (a) Hasil penelitian ini. (b) Dibandingkan dengan penelitian lain	59
4.10 Contoh hasil foto makro dengan perbesaran 32x pada sampel S1203	60
4.11 Foto mikroskop perbesaran 500x pada sampel S1403_1 (hasil skema sinter S1): Fasa Cu berwarna lebih gelap kemerahan, fasa Zn berwarna lebih terang. Ukuran masing-masing fasa tampak lebih besar dibanding gambar 4.12	60
4.12 Foto perbesaran 500x pada sampel S2402_1 (hasil skema sinter S2): Fasa Cu dan Zn tampak lebih berbaur di sini dan berukuran lebih kecil.....	61
4.13 Contoh hasil EDX di 2 titik pengamatan. (a) Titik tinjauan. (b) dan (c) Grafik unsur titik tinjauan. (d) dan (e) Tabel komposisi.	62
4.14 Hasil pengujian konduktivitas listrik	63

DAFTAR SINGKATAN

<i>AES</i>	<i>Auger electron spectroscopy</i>
<i>CRT</i>	<i>cathode ray tube</i>
<i>EDX</i>	<i>energy-dispersive X-ray</i>
<i>EDXS</i>	<i>energy-dispersive X-ray spectroscopy</i>
<i>EELS</i>	<i>electron energy-loss spectroscopy</i>
<i>EPMA</i>	<i>electron probe microanalysis</i>
<i>ESCA</i>	<i>electron spectroscopy for chemical analysis</i>
<i>ESEM</i>	<i>environmental scanning electron microscope</i>
<i>FET</i>	<i>field-effect transistor</i>
<i>FWHM</i>	<i>full width at half maximum</i>
<i>REELS</i>	<i>reflection electron energy-loss spectroscopy</i>
<i>SDD</i>	<i>silicon drift detector</i>
<i>SEM</i>	<i>scanning electron microscope</i>
<i>STEM</i>	<i>scanning transmission electron microscope</i>
<i>TEM</i>	<i>transmission electron microscope</i>
<i>VP-SEM</i>	<i>variable-pressure scanning electron microscope</i>
<i>WDS</i>	<i>wavelength-dispersive spectroscopy</i>
<i>XPS</i>	<i>X-ray photoelectron spectroscopy</i>
<i>XRF</i>	<i>X-ray fluorescence</i>

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	1	Data hasil penelitian
Lampiran	2	Pengolahan data
Lampiran	3	Lain-lain

