



TUGAS AKHIR - MM091381

**ANALISA PENGARUH TEMPERATUR DAN  
WAKTU TAHAN SINTERING TERHADAP  
IKATAN ANTAR MUKA PADA KOMPOSIT  
MATRIK LOGAM Cu-10%wtSn DENGAN  
METODE METALURGI SERBUK**

Paiman Jhony  
NRP 2710 100 057

Dosen Pembimbing  
Dr.Widyastuti, S.Si,M.Si

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2014



FINAL PROJECT - MM091381

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF SINTERING  
TEMPERATURE AND HOLDING TIME ON  
INTER-FACE BONDING FOR METAL MATRIX  
COMPOSITES (MMCs) Cu-10%wtSn MADE BY  
POWDER METALLURGY**

Paiman Jhony  
NRP 2710 100 057

Advisor  
Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si

DEPARTMENT OF MATERIALS DAN METALLURGICAL ENGINEERING  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2014

# ANALISA PENGARUH TEMPERATUR DAN WAKTU TAHAN SINTERING TERHADAP IKATAN ANTAR MUKA PADA KOMPOSIT Matrik Logam Cu-10%wtSn DENGAN METODE METALURGI SERBUK

## TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Bidang Studi Material Inovatif  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**PAIMAN JHONY**  
NRP. 2710 100 057

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

Dr. Widyastuti, S.Si., M. Sc. ST. .... (Pembimbing)



# ANALISA PENGARUH TEMPERATUR DAN WAKTU TAHAN SINTERING TERHADAP IKATAN ANTAR MUKA PADA KOMPOSIT MATRIK LOGAM Cu- 10%wtSn DENGAN METODE METALURGI SERBUK

**Nama Mahasiswa** : Paiman Jhony  
**NRP** : 2710100057  
**Jurusan** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si

## Abstrak

Komposit matrik logam termasuk material yang memiliki kombinasi sifat dari dua atau lebih material yang berbeda dengan material logam sebagai matrik. Salah satu aplikasi dari komposit ini yaitu sebagai material peluru *frangible*. Material yang dimaksud yaitu komposit Cu-10%wtSn, yang didesain agar memiliki sifat mudah terpecah menjadi beberapa bagian ketika menyentuh permukaan yang keras. Metode yang digunakan dalam proses pembuatan komposit yaitu metalurgi serbuk. Serbuk tembaga dan timah, serta pelumas *ZincStearat* dicampur dengan *magnetic steering*. Kemudian dilakukan kompaksi dengan tekanan 600 Mpa. Sintering dilakukan dibawah atmosfer nitrogen dan temperatur 300, 500, 700 °C serta waktu tahan sinter 30, 60, 90 menit. Semakin tinggi temperatur sintering, laju difusivitas semakin meningkat. Pada temperatur 300 °C, terbentuk dua macam ikatan antar-muka yaitu ikatan antara Cu matrik dengan fase intermetalik (Cu<sub>3</sub>Sn, Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>) dan sesama fase intermetalik. Pada temperatur 700 °C, hanya terbentuk ikatan antar muka sesama fase intermetallic (Cu<sub>41</sub>Sn<sub>11</sub>, Cu<sub>81</sub>Sn<sub>21</sub>). Fase intermetalik yang terbentuk di antar muka komposit Cu-10%Sn adalah Cu<sub>3</sub>Sn, Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>, Cu<sub>10</sub>Sn<sub>3</sub>, Cu<sub>41</sub>Sn<sub>11</sub>, dan Cu<sub>81</sub>Sn<sub>21</sub>. Pada waktu tahan 60 menit tidak terjadi ikatan antar muka, karena adanya porositas. Komposit Cu-10%Sn pada sintering temperatur 500 °C dan waktu tahan selama 60 menit sesuai untuk aplikasi peluru frangible.

**Kata Kunci** : komposit, metalurgi serbuk, ikatan antar-muka

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF SINTERING  
TEMPERATURE AND HOLDING TIME ON INTER-FACE  
BONDING FOR METAL MATRIX COMPOSITES (MMCs)  
Cu-10%wtSn MADE BY POWDER METALLURGY**

**Name** : Paiman Jhony  
**NRP** : 2710100057  
**Department** : Materials and Metallurgical Engineering  
**Advisor** : Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si

**Abstrack**

Metal matrix composites, including materials that have combination properties of two or more different material with metal as the matrix. One of composites application is used for frangible bullet materials. It's Cu-10%Sn composite which is designed to have properties easily broken up into pieces when hit the hard surface. Manufacture method that used to make composite is powder metallurgy. Copper and tin powder, with a little Zincstearat lubricant was mixed using magnetic steering. Then it's compacted with pressure of 600 MPa. Sintering process was done under a nitrogen atmosphere and sintering temperature of 300, 500, 700 °C and holding time sintering is 30, 60, 90 minutes. Increasing in temperature sintering, the diffusion rate increased. At temperature 300 °C, there are two type of infacial bonding can be formed, interfacial bonding between Cu matrix and intermetallic phase ( $\text{Cu}_3\text{Sn}$ ,  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ ) and sesame intermetallic phase. At temperature 700 °C, only sesame intermetallic phase ( $\text{Cu}_{41}\text{Sn}_{11}$ ,  $\text{Cu}_{81}\text{Sn}_{21}$ ) bonding formed. Increasing in holding time, pores size at interfacial bonding increases. Intermetallic phase that formed in interfacial bonding composites Cu-10%Sn is  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ ,  $\text{Cu}_{10}\text{Sn}_3$ ,  $\text{Cu}_{41}\text{Sn}_{11}$ , dan  $\text{Cu}_{81}\text{Sn}_{21}$ . Composites that sintered at 500 °C and holding time during 60 minutes is available for frangible bullets application.

**Keyword:** composite, powder metallurgy, interfacial bonding

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena berkat limpahan Rahmat dan HidayatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisa Pengaruh Temperatur dan Waktu Tahan Sintering terhadap Ikatan Antar Muka Pada Komposit Matrik Logam Cu-10%wtSn dengan Metode Metalurgi Serbuk**”. Adapun laporan ini disusun dan diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan studi di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.

Penulis menyadari dengan keterbatasan ilmu, tentu laporan ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu penulis dengan senang hati menerima kritik dan saran yang bersifat membangun dari para pembaca laporan ini. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat memberi manfaat bagi kita semua. Aamiin

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Surabaya, Juli 2014

Penulis

## DAFTAR ISI

	Hal
Halaman Judul .....	i
Lembar Pengesahan .....	iii
Abstrak .....	iv
Abstract .....	v
Kata Pengantar .....	vi
Daftar Isi .....	vii
Daftar Gambar .....	ix
Daftar Tabel .....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Komposit .....	5
2.1.1 Proyektil Peluru .....	5
2.2 Metalurgi Serbuk .....	8
2.2.1 Kompaksi .....	8
2.2.2 Sintering .....	10
2.3 Cu-Sn .....	14
2.3.1 Cu dan Sn .....	14
2.3.2 Paduan Cu-Sn .....	16
2.3.3 Komposit Cu-Sn .....	17
2.4 Ikatan Antar Partikel .....	19
2.4.1 Distribusi Porositas .....	21
2.4.2 Persamaan Young's .....	22
2.4.3 Hukum Fick's I .....	23
2.4.4 Pergerakan Porositas .....	24
2.5 Penelitian Sebelumnya .....	25
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	31
3.1 Bahan .....	31

3.2 Alat.....	33
3.3 Diagram Alir Penelitian.....	40
3.3.1 Preparasi Bahan.....	41
3.3.2 Proses Penelitian.....	42
3.3.3 Pengujian .....	43
<b>BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>49</b>
4.1 Analisa Data .....	49
4.1.1 Proses Pembuatan Komposit Cu-10%Sn .....	49
4.1.2 Hasil Analisa X-Ray Diffraction (XRD).....	52
4.1.3 Hasil Analisa Morfologi SEM-EDX.....	55
4.1.4 Hasil Perhiungan Densitas .....	68
4.1.5 Hasil Analisa Sifat Mekanik.....	71
4.2 Pembahasan .....	74
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>77</b>
5.1 Kesimpulan.....	77
5.2 Saran .....	77
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>.....</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>.....</b>



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Peluru Frangible .....	8
Tabel 2.2 Sifat fisik Tembaga .....	14
Tabel 2.3 Sifat mekanik tembaga .....	14
Tabel 2.4.Sifat fisik Timah.....	15
Tabel 2.5.Sifat mekanik Timah .....	16
Tabel 3.1 Besar Beban Utama dan Indentor untuk metode Rockwell.....	39

## DAFTAR GAMBAR

Gambar. 2.1 Bagian-bagian peluru .....	6
Gambar. 2.2 Macam-macam bentuk <i>nose</i> peluru .....	7
Gambar. 2.3 Ilustrasi <i>frangible bullet</i> ketika menyentuh target yang keras .....	7
Gambar. 2.4 Kompaksi serbuk logam.....	9
Gambar. 2.5 Skema perubahan porositas selama sintering .....	12
Gambar. 2.6 Kemungkinan fenomena akhir liquid phase sintering .....	13
Gambar. 2.7 Mekanisme liquid phase sintering .....	14
Gambar. 2.8 Diagram fase paduan Cu-Sn.....	17
Gambar. 2.9 SEM dari ikatan antar partikel pada proses sintering .....	20
Gambar. 2.10 Definisi dari neck size ratio antar dua partikel ...	20
Gambar. 2.11 Posisi porositas a) pada batas butir; b) didalam butir .....	21
Gambar. 2.12 Ilustrasi persamaan Young's: a) kondisi setimbang; b) kondisi tidak setimbang .....	23
Gambar. 2.13 Mekanisme pergerakan porositas.....	24
Gambar. 2.14 Efek variasi tekanan kompaksi terhadap densitas produk sinter .....	26
Gambar. 2.15 SEM <i>backscatter electron</i> .....	27
Gambar. 2.16 a) Nilai densitas green dengan berbagai komposisi Sn; b) Nilai densitas sinter dengan berbagai tekanan kompaksi .....	28
Gambar. 3.1 Serbuk Cu (Tembaga).....	31
Gambar. 3.2 Serbuk Sn (Timah).....	32
Gambar. 3.3 Serbuk Zinc Stearat.....	32
Gambar 3.4 Spatula.....	33
Gambar 3.5 Beaker Glass.....	33
Gambar 3.6 Masker dan Sarung Tangan.....	33
Gambar 3.7 Dies .....	34
Gambar 3.8 Hot plate stirrer dan magnetic stirrer .....	34
Gambar 3.9 Jangka Sorong .....	34

Gambar 3.10 Combustion Boat .....	35
Gambar 3.11 Alat kompaksi.....	35
Gambar 3.12 Timbangan digital.....	36
Gambar 3.13 Alat Uji Kekerasan .....	36
Gambar 3.14 Horizontal furnace .....	37
Gambar 3.15 Alat Uji XRD .....	37
Gambar 3.16 Alat Uji SEM.....	38
Gambar 3.17 Alat Uji Tekan.....	39
Gambar 3.18 Skema Uji Tekan .....	44
Gambar 3.19 Mesin Uji XRD, Philips Analytical .....	47
Gambar 3.20 (a).Prinsip kerja SEM (b). Mesin Uji SEM.....	48
Gambar 4.1 Serbuk Tembaga dan Serbuk Timah.....	49
Gambar 4.2 Hasil pengujian SEM, a) Serbuk tembaga; b) Serbuk timah.....	50
Gambar 4.3 Hasil analisa XRD a) Serbuk Tembaga; b) Serbuk Timah .....	51
Gambar 4.4 Komposit Cu-10%Sn setelah dikompaksi dengan tekanan 600 MPa.....	52
Gambar 4.5 Pengaruh waktu tahan terhadap terbentuknya senyawa/fase baru Komposit Cu-10%Sn pada temperatur 300 °C .....	53
Gambar 4.6 Pengaruh waktu tahan terhadap terbentuknya senyawa/fase baru Komposit Cu-10%Sn pada temperatur 500 °C .....	54
Gambar 4.7 Pengaruh waktu tahan terhadap terbentuknya senyawa/fase baru Komposit Cu-10%Sn pada temperatur 700 °C .....	55
Gambar 4.8 Backscatter electron komposit Cu-10%Sn sintering 300 oC dan waktu tahan 90 menit; a) perbesaran 1000x; b) perbesaran 10.000x; dan c) perbesaran 15.000x .....	57
Gambar 4.9 Analisa EDX Komposit Cu-10%Sn sintering 300 °C dan waktu tahan 90 menit a) Cu matrik; b) fase Cu <sub>3</sub> Sn.....	58

Gambar 4.10 Hasil pengujian SEM komposit Cu-10%Sn sintering 500 °C selama 30 menit; a) perbesaran 1000x; b) perbesaran 5000x.....	59
Gambar 4.11 Analisa EDX Komposit Cu-10%Sn sintering 500 °C dan waktu tahan 30 menit a) Cu matrik; b) fase Cu <sub>3</sub> Sn.....	61
Gambar 4.12 Hasil pengujian SEM Komposit Cu-10%Sn ; a) dan b) sintering 500 °C selama 60 menit ; c) dan d) sintering 700 °C selama 30 menit.....	63
Gambar 4.13 Analisa EDX Komposit Cu-10%Sn sintering 500 °C dan waktu tahan 60 menit a) matrik Cu; b) fase Cu <sub>10</sub> Sn <sub>3</sub> .....	65
Gambar 4.14 Hasil pengujian SEM komposit Cu-10%Sn sintering 700 oC selama a) 60 menit; b) 90 menit.....	66
Gambar 4.15 Analisa EDX Komposit Cu-10%Sn sintering 700 °C dan waktu tahan 30 menit a) fase Cu <sub>41</sub> Sn <sub>11</sub> ; b) oksida CuO .....	67
Gambar 4.16 a) pengaruh temperatur sintering terhadap densitas sinter; b) pengaruh waktu tahan sintering terhadap densitas sinter.....	69
Gambar 4.17 a) pengaruh temperatur sintering terhadap jumlah porositas; b) pengaruh waktu tahan sintering terhadap jumlah porositas .....	70
Gambar 4.18 Pengaruh waktu tahan sintering terhadap kekuatan tekan.....	72
Gambar 4.19 Pengaruh waktu tahan sintering terhadap kekerasan .....	72



## **BAB I PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Peluru terdiri dari beberapa bagian yaitu proyektil (bullet), kelongsong (bullet base), mesiu (propellant), dan pematik (rim). Dalam sejarahnya, peluru yang digunakan yaitu peluru konvensional yang notabene terbuat dari Pb, yang sangat beracun dan ketika menyentuh permukaan yang keras bisa menyebabkan pantulan kembali (*blacksplash and ricochet*). Sedangkan untuk keperluan latihan diharapkan dapat menekan serendah mungkin terjadinya resiko. Oleh karena itu dibutuhkan peluru yang ramah lingkungan dan minim *blacksplash and ricochet*. Salah satu jenis peluru yang memenuhi permintaan tersebut yaitu frangible bullet. Dalam proses manufaktur peluru jenis ini dibuat dengan menggunakan metalurgi serbuk. Menurut Joys (2010) peluru frangible dibuat untuk berbagai aplikasi terutama digunakan pada kegiatan latihan menembak pada lingkungan yang tertutup dan terbuka dengan jarak tertentu. Peluru frangible merupakan peluru yang paling aman yang digunakan untuk latihan menembak oleh polisi dan militer serta kepemilikan sipil. Saat ini telah dikembangkan penggunaan komposit matrik logam Cu-Sn (bronze) sebagai material pada peluru frangible. Seperti yang dilakukan oleh Elliott (2004) pada patennya dalam pembuatan frangible bullet dengan menggunakan bronze. Dalam hal ini, Cu memiliki densitas yang relative tinggi, dan Sn berfungsi sebagai *minor component* yang memiliki titik lebur rendah yang memungkinkan Cu sebagai matrik untuk membentuk ikatan mekanik yang lebih kuat yang berarti akan bersifat getas sehingga mudah pecah ketika menyentuh permukaan yang keras.

Komposit matrik logam Cu-Sn ini diproduksi melalui metode metalurgi serbuk yang terdiri dari dua tahapan utama yaitu kompaksi dan sintering. Ketika proses kompaksi, digunakan tekanan sebesar 600 MPa. Sedangkan untuk proses sintering yang dilakukan dengan variasi temperatur dan waktu tahan sintering akan mempengaruhi sifat akhir dari material produk. Pengaruh



temperatur pada sintering yaitu semakin tinggi temperatur sinter akan mengakibatkan shrinkage yang lebih besar, hal ini mengindikasikan bahwa porositas semakin sedikit. Waktu tahan sintering akan berpengaruh terhadap pertumbuhan butir dan ikatan antar muka antar partikel. Dengan semakin sedikitnya porositas dan ukuran butir yang semakin besar akan didapatkan sifat mekanik material komposit matrik logam semakin meningkat. Sehingga dalam penelitian ini digunakan variasi temperatur 300, 500, 700 °C dan waktu tahan sintering 30, 60, 90 menit. Seperti yang dikatakan oleh German dalam bukunya tentang *Sintering Theory and Practice* yaitu: Temperatur dan waktu tahan sintering dapat mempengaruhi struktur mikro dan struktur mikro ini mempengaruhi sifat mekanik suatu material. Untuk memperoleh produk frangible bullet yang optimum maka dilakukan variasi temperatur dan waktu tahan dalam proses sintering.

### 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latarbelakang yang diuraikan diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh temperatur sintering terhadap ikatan antar muka komposit Cu-10%Sn?
2. Bagaimana pengaruh waktu tahan sintering terhadap ikatan antar muka komposit Cu-10%Sn?

### 1.3 Batasan Masalah

Agar didapatkan hasil akhir yang yang baik dan sesuai dengan tujuan penelitian serta tidak menyimpang dari permasalahan yang ditinjau, maka batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Lingkungan yang oxidative dianggap tidak berpengaruh
2. Distribusi campuran serbuk dianggap homogen.
3. Pengotor diabaikan
4. Fraksi berat Cu, Sn dan tekanan kompaksi yang digunakan tetap.



#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui pengaruh temperatur sintering terhadap ikatan antar muka komposit Cu-10%Sn.
2. Mengetahui pengaruh waktu tahan sintering terhadap ikatan antar muka komposit Cu-10%Sn.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan material komposit alternatif pada pembuatan core proyektil peluru frangible yang ramah lingkungan dengan menggunakan metode metalurgi serbuk. Selain itu penelitian ini juga mampu digunakan sebagai referensi untuk penelitian-penelitian selanjutnya guna mengembangkan kualitas proyektil peluru frangible dengan menggunakan proses metalurgi serbuk. Sehingga dapat dijadikan inovasi dalam pembuatan produk di bidang pertahanan dan persenjataan nasional.



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*





## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Komposit

Sebagian besar material komposit hanya tersusun atas dua fase, salah satunya disebut matrik yaitu fase kontinyu dan mengelilingi fase yang lainnya (Callister, 2001). Sulistijono (2012) didalam bukunya, juganya menyatakan bahwa komposit didefinisikan sebagai suatu material yang terdiri dari dua komponen atau lebih yang memiliki sifat atau struktur yang berbeda yang dicampur secara fisik menjadi satu dan membentuk ikatan mekanik yang berstruktur homogen secara makroskopik dan heterogen secara mikroskopik. Berdasarkan matriks penyusunnya, komposit dapat diklasifikasikan ke dalam 3 macam yaitu: komposit matrik polimer, komposit matrik keramik, dan komposit matrik logam.

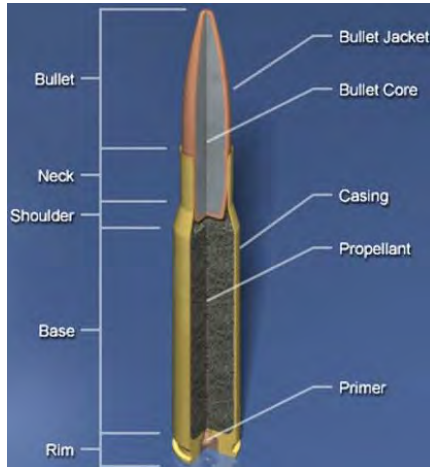
#### 2.1.1 Proyektil Peluru

Dewasa ini aplikasi komposit telah banyak dikembangkan antara lain: untuk *superalloys*, *protective surface coating*, *automobile manufacturer* dan *aerospace industry*. Selain itu, salah satu jenis komposit yaitu komposit matrik logam juga dikembangkan sebagai material *frangible bullet*, hal ini seperti yang dikatakan oleh Benini (2001) dalam penelitiannya, bahwa material komposit yang sesuai untuk digunakan untuk *frangible bullet* yaitu komposit matrik logam dengan logam atau logam paduan meliputi *copper*, *iron*, *nickel*, *gold*, *silver*, *lead*, *chromium*, dan paduannya; dan lebih baik *copper* atau paduan *copper*. Komposit yang terbuat dari campuran serbuk, German (1996) menyebutnya *bulk of material* itu sebagai fase matrik dan *minor component* untuk fase terdispersi. Dan sebagai *minor component*-nya yaitu dari *tin*, *zinc*, *gallium*, *silicon*, *arsenic*, *aluminium*, *indium*, *antimony*, *lead*, *bismuth*, dan paduannya dan lebih baik *tin* atau *tin-based alloy*.

Dalam beberapa waktu belakangan ini, telah banyak dikembangkan *frangible bullet*. Peluru *frangible* didesain agar

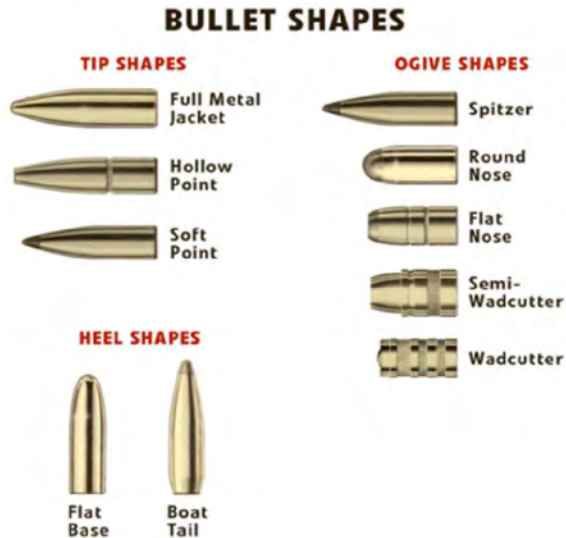


dapat terpecah menjadi beberapa bagian ketika membentur tembok atau permukaan lain yang keras untuk mencegah terjadinya pemantulan. Perkembangan peluru *frangible* tergolong masih baru, hal ini berangkat dari penggunaan proyektil standar yang masih banyak digunakan sesuai dengan jarak tembakan dan kebutuhan perlindungan pribadi. Dengan munculnya taktik penyelamatan sandera yang lebih modern di tahun 1970-an dan 1980-an, lembaga militer dan polisi mulai mencari cara untuk meminimalkan resiko dari penggunaan peluru konvensional. Maka salah satu solusi yang dapat diterima adalah penggunaan peluru *frangible*.



**Gambar 2.1** Bagian-bagian peluru (ICC ammo, 2013)

Peluru yang umum digunakan memiliki beberapa bagian yaitu proyektil (*bullet*), kelongsong (*bullet base*), mesiu (*propellant*), dan pematik (*rim*). Proyektil merupakan bagian dari peluru yang meluncur di udara dan bergerak tidak dengan dorongannya sendiri. Dalam hal ini proyektil memiliki beberapa bentuk *nose* yang dirancang sesuai kebutuhan tertentu. Gambar 2.1 menunjukkan bagian-bagian peluru dan Gambar 2.2 menunjukkan macam-macam bentuk *nose* pada proyektil.



**Gambar 2.2** Macam-macam bentuk *nose* peluru (Robert, 2013)



**Gambar 2.3** Ilustrasi frangible bullet ketika menyentuh target yang keras (Towsley, 2011)

Gambar 2.3 menunjukkan ilustrasi peluru *frangible* ketika menyentuh permukaan yang keras. Nampak pada gambar bahwa peluru hancur menjadi serbuk kembali. Adapun karakteristik peluru frangible adalah sebagai berikut:

**Tabel 2.1** Karakteristik Peluru frangible (Rydlo, 2010)

Frangible Bullet	Sinterfire	SR
Caliber $d$ [m]	0.009	0.009
Length of bullet $l_s$ [m]	0.0161	0.01435
Mass of bullet $m_s$ [kg]	0.00648	0.0055
Density of bullet $\rho_s$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	7443	6763
Elastic modulus in compression $K_s$ [MPa]	10597	3999
Maximal relative compression of the bullet $\epsilon_{xx,lim}$ [1]	0.01172	0.01255
Limit velocity of the bullet $v_{s,lim}$ [m.s <sup>-1</sup> ]	69.4	32.9
Limit kinetic energy of the bullet $E_{ks,lim}$ [J]	15.6	2.9
Kinetic energy of the bullet in the distance 2 m from barrel muzzle $E_{k2}$ [J]	470.3	366.4
Frangibility Factor of the bullet $FF$ [1]	30.1	126.3

## 2.2 Metalurgi Serbuk

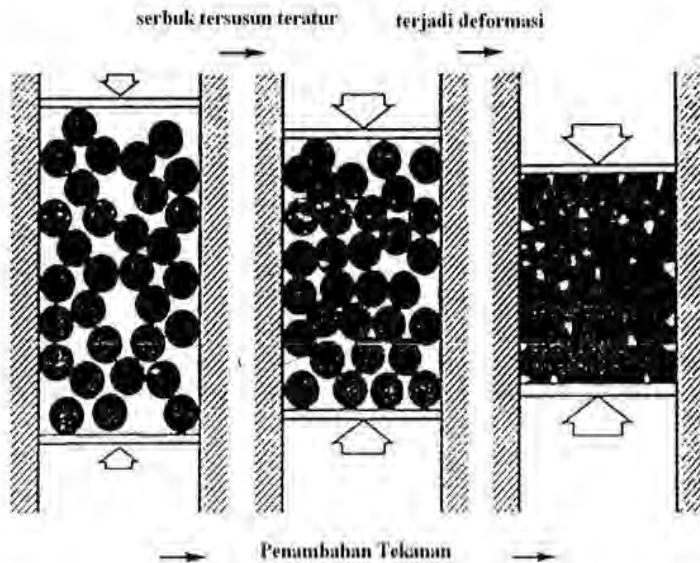
Proses metalurgi serbuk adalah proses manufaktur *near-net* atau *net-shape* yang mengkombinasikan fitur-fitur teknologi *shape-making* untuk kompaksi serbuk dengan mengembangkan sifat dan desain akhir material (sifat fisik dan mekanik) selama proses densifikasi dan konsolidasi (contoh sintering) (ASM Metal Handbook, 1998). Ada dua proses utama dalam teknik metalurgi serbuk, yaitu: proses kompaksi dan sintering.

### 2.2.1 Kompaksi

Kompaksi merupakan suatu proses pembentukan atau pemampatan terhadap serbuk murni atau paduan atau campuran



dari berbagai macam serbuk sehingga mempunyai bentuk tertentu dan mempunyai kekuatan yang cukup untuk mengalami proses selanjutnya. Kompaksi berkaitan erat dengan tekanan yang diberikan dari luar untuk mendeformasi serbuk menjadi massa yang memiliki densitas tinggi, selain memberikan bentuk dan mengontrol ukuran serbuk. Artinya tekanan yang diberikan pada serbuk, perilaku mekanik, dan laju penekanan merupakan parameter proses utama yang menentukan hasil kepadatan serbuk. Peningkatan penekanan akan memberikan hasil *packing* yang lebih baik dan penurunan porositas, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4.



**Gambar 2.4** Kompaksi serbuk logam (German, 1984)

Ketika tekanan kompaksi dinaikkan, jumlah partikel yang mengalami deformasi plastis akan meningkat (Hewitt, 1971). Pada tekanan rendah, aliran plastis dipusatkan pada kontak partikel. Ketika tekanan dinaikkan, aliran plastis yang homogen terjadi seluruhnya. Dengan penekanan yang cukup, seluruh



partikel akan mengalami *strain hardening* ketika jumlah porositas berkurang (German, 1984).

### 2.2.2 Sintering

Sintering merupakan proses pemanasan produk awal hasil kompaksi pada suatu temperatur yang dilakukan untuk membentuk suatu ikatan antar partikel melalui mekanisme difusi atom sehingga kekuatan produk awal meningkat.

Adapun parameter proses sintering yang perlu diperhatikan sebagai berikut (German, 1984) :

1. Temperatur sintering  
Dengan temperatur sintering yang tinggi akan terjadi shrinkage yang lebih besar, pertumbuhan butir, dan biaya yang mahal.
2. Ukuran partikel serbuk  
Semakin halus serbuk maka semakin cepat laju sintering, dan level impuritas yang semakin baik.
3. Waktu sintering  
Semakin lama proses penyinteran berlangsung maka diameter serbuk semakin besar. Waktu sintering juga menentukan densifikasi tetapi tidak terlalu berpengaruh dibandingkan dengan temperatur sintering.
4. *Green density*  
Densitas meningkat akan mengakibatkan terjadinya penyusutan yang kecil, terbentuk porositas yang lebih kecil dan diperoleh dimensi yang *uniform*.
5. Tekanan kompaksi  
Semakin tinggi tekanan kompaksi akan memperbanyak dislokasi sehingga mempercepat sintering. Selain itu produk awal kompaksi yang ditekan pada tekanan rendah akan menyusut (*shrinkage*) lebih besar dari pada produk awal yang ditekan dengan tekanan tinggi karena tekanan kompaksi mengurangi porositas dan menaikkan densitas produk awal.



### a) Solid State Sintering

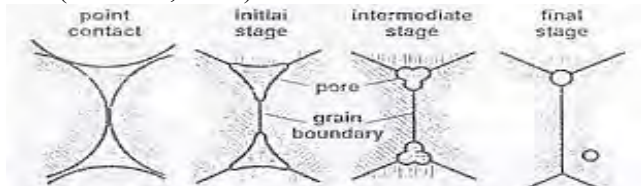
Pada solid state sintering membentuk ikatan antar partikel padat ketika dipanaskan. Ikatan ini menurunkan energi permukaan dengan *removing free surface*, dengan mengeliminasi *grain boundary area* via *grain growth*. Temperatur dibutuhkan untuk membentuk ikatan sinter jika dibandingkan dengan densifikasi yang bergantung pada material dan ukuran partikel. *Homologous temperature* adalah temperatur sintering absolute dibagi dengan *temperature melting absolute*. Material dengan stabilitas kimia yang tinggi dibutuhkan *homologous* yang tinggi pula, rata-rata material memiliki *homologous* antara 0,5-0,8.

Selama sintering terdapat dua fenomena utama yaitu penyusutan (*shrinkage*) dan pertumbuhan butir (*grain growth*). Berikut ini adalah tahapan sintering yang terdiri dari tiga tahap yaitu:

1. Tahapan awal (*initial stage*)  
Tahap pengaturan kembali (*rearrangement*). Partikel akan mengalami pengaturan kembali posisinya sehingga bidang kontak antar partikel akan menjadi lebih baik. Pertumbuhan *neck* mulai terjadi pada daerah kontak antar partikel sehingga memungkinkan terbentuknya fase baru. Pada tahapan ini, *shrinkage* yang terjadi mencapai 4 – 5% dan densitas relatif antara 50-60%.
2. Tahapan menengah (*intermediate stage*)  
Tahap pertumbuhan butir. Pada tahap ini struktur porositas menjadi lebih halus, tetapi tetap saling berhubungan hingga akhir sintering. Pertumbuhan butir yang terjadi pada tahapan ini akan menghasilkan porositas yang mengecil sebanding dengan perbesaran butir.
3. Tahapan Akhir (*Final stage*)  
Tahapan ini terjadi porositas yang tertutup akan mengecil sebagai hasil dari proses difusi dan memungkinkan terjadinya transformasi fasa. Peristiwa



tersebut akan mengakibatkan material komposit mengalami penyusutan. Densitas relatif di atas 95% (Waldron, 1978)



**Gambar 2.5** Skema perubahan porositas selama sintering (German, 1984)

### b) Liquid Phase Sintering

German (1984) menerangkan bahwa *liquid phase sintering* merupakan proses sinter yang dilakukan pada temperatur tertentu dengan melibatkan fasa cair. Syarat material logam yang dapat dilakukan proses *liquid phase sintering* adalah cairan logam harus dapat membentuk lapisan di sekeliling fasa padatan dan cairan logam harus memiliki kelarutan terhadap fasa padat, contohnya ialah Fe-Cu, Cu-Sn, W-Cu, dan lain-lain.

Dengan temperatur yang lebih tinggi, waktu yang lebih lama, atau ukuran partikel yang lebih kecil, *bond grows* akan lebih cepat dan terjadinya densifikasi bisa dijadikan bukti. *Neck growth* antar partikel yang bersentuhan merupakan aspek yang jelas dari sintering, dan untuk sintering dengan waktu yang sangat lama, batas butir akan bergeser dan partikel menyatu menjadi *single sphere* dengan diameter akhir  $2^{1/3}$  kali diameter awal. Pada proses *liquid phase sintering*, terdapat dua kelarutan yang harus diperhatikan, yaitu kelarutan cairan dalam padatan dan kelarutan padatan dalam cairan. Kelarutan cairan dalam padatan yang tinggi tidak diharapkan karena mendorong fasa cair masuk ke dalam fasa padat. Selanjutnya terbentuk kelarutan yang tidak seimbang sehingga timbul porositas dan terjadi pengembangan selama proses sinter. Peristiwa timbulnya porositas ini sering disebut dengan istilah *swelling*. Sedangkan kelarutan padatan dalam



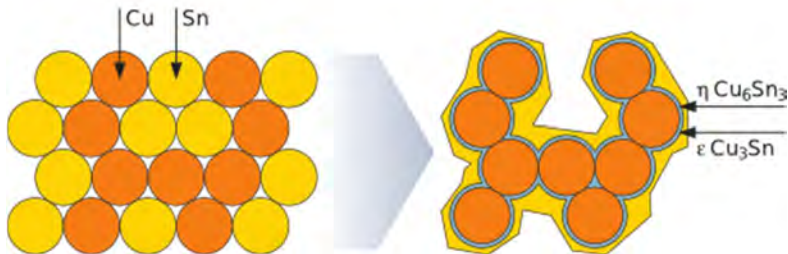


cairan yang semakin besar sangat diinginkan karena mendorong fasa padat masuk ke dalam fasa cair sehingga mengisi porositas yang berada di dalam matriks.

		solid solubility in liquid	
		low	high
liquid solubility in solid	low	limited densification, rearrangement	extensive densification
	high	swelling, transient liquid	mixed effect swelling & densification

**Gambar 2.6** Kemungkinan fenomena akhir liquid phase sintering (German, 1996)

Peristiwa terisinya porositas ini disebut dengan istilah *shrinkage*. Kelarutan partikel padat tergantung pada ukuran partikel dimana semakin kecil ukuran partikel, maka kelarutan akan semakin tinggi. Kelarutan yang baik bermanfaat bagi pembasahan, pengendapan kembali, pertumbuhan butir, dan perubahan dimensi selama proses sinter. (Ekawati, 2008)



**Gambar 2.7** Mekanisme *liquid phase sintering* (Thomas, 2011)

## 2.3 Cu-Sn

### 2.3.1 Cu dan Sn

Tembaga (Cu) merupakan salah satu kelompok utama logam yang komersial. Tembaga memiliki warna kemerahan dengan struktur kristal *Face Centered Cubic* (FCC). Tembaga merupakan logam yang lunak lebih lunak daripada seng (Zn). Memiliki sifat mampu tempa yang baik, ulet, dan konduktor yang sangat baik. Berikut sifat fisik tembaga pada tabel dibawah ini:

**Tabel 2.2** Sifat fisik Tembaga (Li, 2012)

No.	Sifat	Keterangan
1	Nomor Atom	29
2	Massa Atom	63.54g/mol
3	Melting Point	1083 °C
4	Density	8.96 g/cm <sup>3</sup>

**Tabel 2.3** Sifat mekanik tembaga (Li, 2012)

No.	Sifat	Keterangan
1	Hardness	37 HRB
2	Yield Strength	68.95 Mpa
3	Modulus Young	118.6 Gpa
4	Impact	81.35 J
5	Poisson ration	0.36



Material tembaga banyak digunakan karena konduktivitas listrik dan thermal yang sangat baik, ketahanan korosi yang sangat baik, kemudahan fabrikasi, dan memiliki kekuatan dan ketahanan terhadap *fatigue* yang baik. Tembaga murni memiliki permasalahan, rentan terhadap keretakan permukaan, porositas, dan pembentukan pada celah, maka perlu ditambahkan sejumlah elemen paduan (seperti *beryllium*, *silicon*, nikel, timah, seng, dan krom) yang digunakan untuk dapat meningkatkan karakteristik dari tembaga. Elemen paduan dalam jumlah tertentu juga dapat meningkatkan properties dari tembaga. Selain itu, tembaga merupakan salah satu unsur yang berpotensi untuk digunakan sebagai matrix pada komposit matrik logam yang membutuhkan konduktivitas termal dan kekuatan yang baik pada temperatur tinggi. (ASM Metals Handbook Vol 2)

Penggunaan paduan tembaga yang sering digunakan saat ini antara lain perunggu (*bronze*), kuningan (*brass*), paduan tembaga-timah-seng. Paduan-paduan tersebut dapat digunakan untuk pembuatan senjata dan meriam yang tangguh, yang dikenal dengan istilah *gun metal*. Tembaga dengan densitas  $8,96 \text{ g/cm}^3$  dapat digunakan untuk penggunaan material aplikatif pengganti timbal pada peluru *frangible* dengan jarak tertentu. (Nadkarni, 2003).

Timah (Sn) merupakan logam yang lunak, ulet, berwarna putih keperakan. Timah tidak mudah teroksidasi dan tahan terhadap korosi karena timah dilindungi oleh lapisan oksida. Timah memiliki kekerasan yang rendah, berat jenis  $7,3 \text{ g/cm}^3$ , serta mempunyai sifat konduktivitas panas dan listrik yang tinggi. Properties dari timah ditampilkan pada tabel 2.3 dan 2.4 sebagai berikut:

**Tabel 2.4.** Sifat fisik Timah (ASM Vol 2)

No.	Sifat	Keterangan
1.	Nomor Atom	50
2.	Massa Atom	118.69 g/mol
3.	Melting point	232 °C




---

4. Densitas  $7.3\text{g/cm}^3$

---

**Tabel 2.5.**Sifat mekanik Timah (ASM Vol 2)

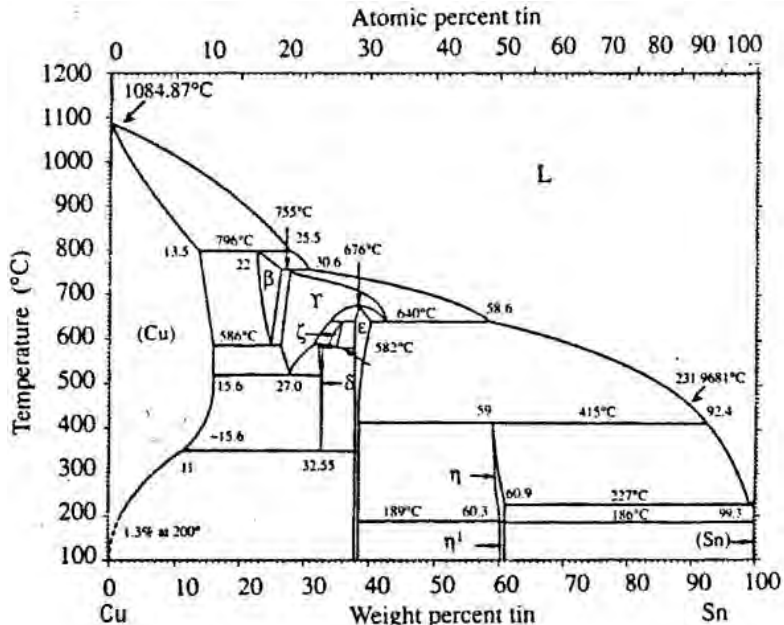
No.	Sifat	Keterangan
1.	Hardness	3.9 HB
2.	Yield strength	11.0 Mpa
3.	Modulus Young	50 Gpa
4.	Impact strength	44.1 J
5.	Poisson ratio	0.33

Karena sifatnya yang unik yaitu *wet* dan *spread ability* yang melebar ke area permukaan logam, maka timah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi. Namun penggunaan timah murni sangat dihindari. Perlakuan pemanasan dan pendinginan yang berulang akan menyebabkan deformasi plastis dan terkadang terbentuk *crack* pada batas butir.

Sama seperti tembaga, timah juga bersifat lunak dan ulet. Nilai kekerasan timah lebih rendah daripada tembaga. Warnanya putih keperakan namun ketika dicetak warnanya akan dipengaruhi oleh lapisan timah oksida. Timah dapat dipadukan dengan banyak jenis logam. Leburan timah dapat menyebar dengan mudah pada permukaan substrat seperti tembaga, paduan tembaga, nikel, dan paduan nikel. (Tan, 1993).

### 2.3.2 Paduan Cu-Sn

Perunggu dalam arti yang sempit merupakan paduan antara tembaga (Cu) dan timah (Sn). Tetapi dalam arti yang luas berarti paduan Cu dengan unsur paduan lainnya selain dari Sn. Perunggu merupakan paduan yang mudah dicor, memiliki kekuatan yang lebih tinggi, ketahanan aus dan ketahanan korosi sehingga dipergunakan untuk berbagai komponen mesin, bantalan dan pegas.



Gambar 2.8 Diagram Fase Paduan Cu-Sn (ASM HandBook, 1992)

### 2.3.3 Komposit Cu-Sn

Selain sebagai paduan, Cu-Sn juga diaplikasikan sebagai komposit matrik metal. Dalam aplikasi metalurgi serbuk, Cu sebagai *bulk of material* yang ditambahkan Sn sebagai *minor component*. Pada jurnal internasional tentang metalurgi serbuk (2007) menjelaskan bahwa tembaga (Cu) digunakan untuk material proyektil karena memiliki syarat densitas cukup tinggi serta memiliki *high green strength* sehingga sesuai jika digunakan pada produk peluru *frangible*. Organisasi *Oak Ridge National Laboratory* menyatakan bahwa material tembaga dapat digunakan untuk menggantikan *frangible bullet* berbahan dasar timbal (Pb). Anil V. Nadkarni pada patennya (2003) menerangkan pemilihan tembaga sebagai material alternatif selain karena termasuk material *non-toxic*, tembaga juga merupakan material yang lunak



sehingga dapat menjadi pelumas ketika menjadi peluru pada penggunaan senapan. Penambahan unsur timah (Sn) dapat menambah kekuatan dari matrix tembaga (Cu) sehingga akan mempengaruhi modulus elastisitas dari komposit Cu-Sn (Yokota, 2012). Selain itu timah memiliki *melting point* yang rendah sehingga dianjurkan untuk digunakan sebagai pengikat (*binder*). Karena timah cair cenderung lebih mudah membasahi serbuk tembaga. Sistem ini akan mampu membentuk permukaan partikel tembaga yang rapuh sehingga dapat meningkatkan *frangibility* dari peluru (Nadkarni, 2003).

Untuk mengetahui sifat komposit selain dengan pengambilan data pada eksperimen, juga bisa didapatkan secara teori. Dengan menggunakan *Rule of Mixture (ROM)* yang dinyatakan dengan persamaan :

$$\rho_c = \rho_m \cdot V_m + \rho_f \cdot V_f \dots \dots \dots \text{pers}(2.1)$$

Dimana:

$\rho_c$	= densitas komposit
$\rho_m$	= densitas matriks
$\rho_f$	= densitas penguat
$V_m$	= fraksi volume matriks
$V_f$	= fraksi volume penguat

$$\rho = \frac{m}{v} \dots \dots \dots \text{pers (2.2)}$$

Dimana :

$\rho$	= densitas
$m$	= massa
$v$	= volum

Dengan menggunakan rumus densitas (2.2) dan maka akan diperoleh fraksi massa.

Dengan perumusan berikut,

$$m_m = a \cdot m_c \text{ dan } m_f = b \cdot m_c \dots \dots \dots \text{pers (2.3)}$$

Dimana :

$m_m$	= massa matrik
-------	----------------



$m_f$	= massa penguat
$m_c$	= massa komposit
$a$	= fraksi massa matriks
$b$	= fraksi massa penguat

Massa serbuk yang terdiri dari massa matriks dan massa *reinforced* dibutuhkan untuk pembuatan komposit dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut.

- Massa matriks

$$m_m = a \cdot \frac{\rho_m \cdot \rho_f}{a \cdot \rho_f + b \cdot \rho_m} \cdot v_c \dots\dots \text{pers (2.4)}$$

- Massa *reinforced*

$$m_f = b \cdot \frac{\rho_m \cdot \rho_f}{a \cdot \rho_f + b \cdot \rho_m} \cdot v_c \dots\dots\dots \text{pers (2.5)}$$

Dimana :

$V_c$  = volum komposit

Menurut Ekawati (2008), untuk perhitungan porositas pada komposit dapat diketahui dari densitas teoritik dan densitas sinter pada komposit tersebut. Perhitungannya dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\Phi = 1 - (\rho_s / \rho_t) \dots\dots\dots \text{pers (2.6)}$$

Di mana;

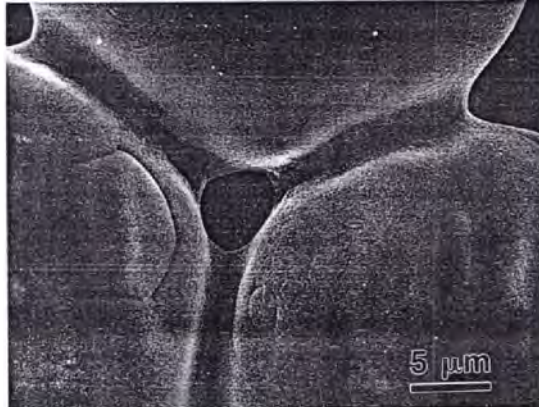
$\Phi$	= Porositas
$\rho_s$	= Sinter Density ( $\text{gr/cm}^3$ )
$\rho_t$	= densitas teoritik ( $\text{gr/cm}^3$ )

## 2.4 Ikatan Antar Partikel

Serbuk yang telah dikompaksi meningkatkan *surface contact* antar partikel, yang berarti telah menurunkan porositas serbuk. Berbicara tentang struktur serbuk, *compact density* sering dinyatakan dalam fraksi atau prosentase dari densitas teori, disimbolkan dengan  $V_s$  untuk fraksi volum fase solid, sehingga  $V_s = \rho / \rho_T$  dimana  $\rho_T$  adalah densitas teori (German, 1984). Selama sintering, surface area  $S$  menurun dari initial value  $S_0$ . Perubahan surface area didapatkan dengan cara dimensionless

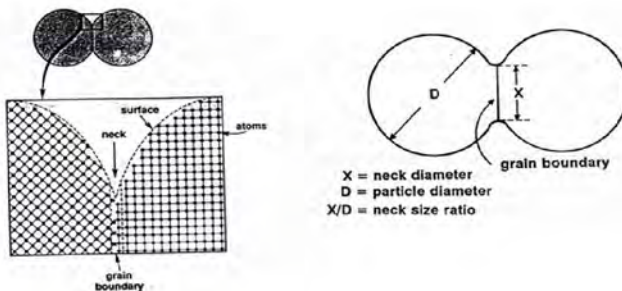


parameter  $\Delta S/S_0$ , dimana  $\Delta S/S_0 = 1 - S/S_0$ . Surface area bisa ditentukan dengan analisa mikroskopik, *gas absorption*, atau teknik *gas permeability*.



**Gambar 2.9** SEM dari ikatan antar partikel pada proses sintering

Selain itu, analisa lain yang bisa digunakan untuk mengamati ikatan antar partikel selama sintering yaitu dengan *relative neck size ratio* ( $X/D$ ) seperti yang di ilustrasikan gambar dibawah ini.



**Gambar 2.10** Definisi dari *neck size ratio* antar dua partikel

Apabila terjadi pertumbuhan *neck*, maka terjadi *shrinkage*, densifikasi, dan kekuatan meningkat. Walau demikian, densifikasi

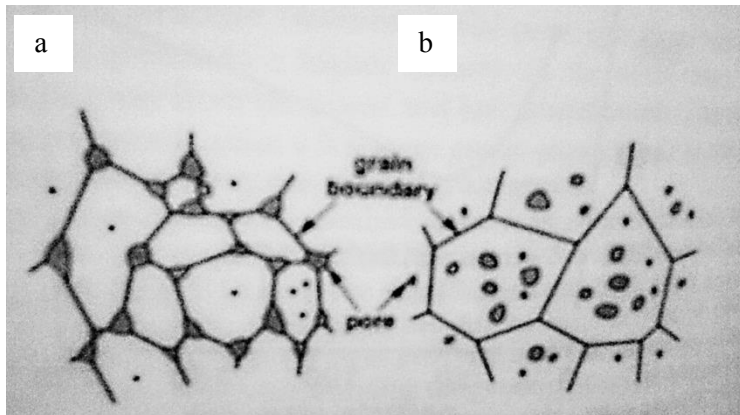




tidak terlalu penting untuk dijadikan aspek dari sintering. Pertumbuhan *neck* antar partikel dengan *surface area* yang berkurang, terkadang dalam beberapa serbuk tidak terjadi densifikasi.

#### 2.4.1 Distribusi Porositas

Secara mikrostruktur yang dihasilkan dari *Liquid Phase Sintering* (LPS) terdapat dua macam distribusi porositas, yaitu porositas pada batas butir dan porositas didalam butir. Sebuah interaksi yang kompleks antara partikel, porositas, pengotor, batas butir, dan atmosfer terlihat di sebagian besar siklus sintering. Pada *final stage* sintering, interaksi antara porositas dan batas butir ada 3 macam. Porositas menghambat pertumbuhan butir ke titik, menyebabkan batas butir untuk melengkung dan memperlambat gerakan porositas. Porositas dapat digeser oleh batas butir yang bergerak, atau batas butir dapat memisahkan diri dari porositas, sehingga porositas terisolasi di dalam butir.



**Gambar. 2.11** Posisi porositas a) pada batas butir; b) didalam butir (German, 1996)

Pada temperatur sintering, banyak material menunjukkan tingkat pertumbuhan butir dari sedang-tinggi. Porositas yang



tinggi menghambat pertumbuhan butir, sehingga pori-pori tetap melekat pada batas butir pada awal sintering. Sebagaimana temperatur atau densitas meningkat, laju gerak batas butir meningkat. Pengaruh tegangan dari batas butir yang bergerak, porositas bergerak dengan difusi volume, difusi permukaan, atau penguapan-kondensasi di porositas. Dengan *pore elimination*, laju pertumbuhan butir meningkat ke titik di mana batas-batas melepaskan diri dari porositas. Porositas pada batas butir menyusut lebih cepat daripada porositas didalam butiran. Dengan demikian, pemisahan batas butir dari porositas harus dihindari untuk mendapatkan densitas sinter yang tinggi, membutuhkan manipulasi strukturmikro dan densifikasi selama pemanasan.

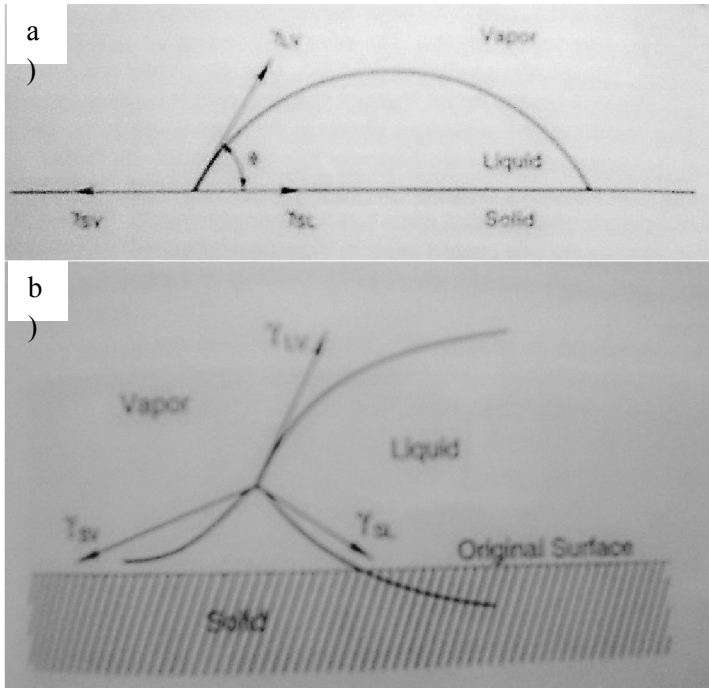
#### 2.4.2 Persamaan Young's

Mekanisme pembasahan merupakan aspek yang sangat penting selama *Liquid Phase Sintering* (LPS). Ada dua parameter penting yang digunakan untuk menentukan daya kapilaritas yaitu *contact angle* dan *surface tension*. Hubungan antara sudut kontak fase liquid, uap, dan padat ditunjukkan oleh persamaan Young's dibawah ini:

$$\gamma_{sv} - \gamma_{sl} = \gamma_{lv} \cos\theta \dots\dots\dots \text{pers. (2.7)}$$

dimana :

- $\gamma_{sv}$  = tegangan permukaan antar-muka padat dan uap
- $\gamma_{sl}$  = tegangan permukaan antar-muka padat dan cair
- $\gamma_{lv}$  = tegangan permukaan anta-muka cair dan uap
- $\theta$  = sudut kontak



**Gambar 2.12** Ilustrasi persamaan Young's: a) kondisi setimbang; b) kondisi tidak setimbang (German, 1996)

### 2.4.3 Hukum Fick's I

Hukum Fick's I menjelaskan tentang laju difusi diantara dua komponen/senyawa yang berbeda konsentrasi, berdasarkan hukum Fick's I yang menjelaskan *sintering rate*.

$$J = -D_v(dC/dx) \dots\dots\dots \text{pers. (2.8)}$$

Dimana :

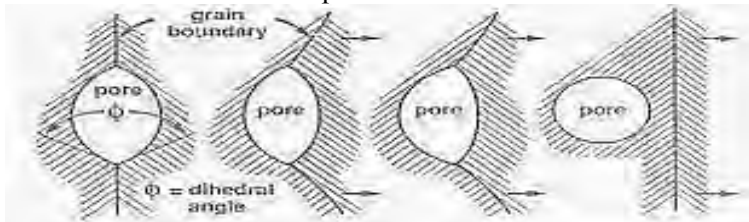
- $J$  = laju difusi
- $D_v$  = difusifitas
- $dC$  = konsentrasi porositas
- $dx$  = jarak



Difusifitas dipengaruhi oleh jumlah dan pergerakan *vacancy*, kedua hal ini merupakan parameter yang berlaku secara thermal serta dipengaruhi oleh komposisi dan temperatur.

#### 2.4.4 Pergerakan Porositas

Sebuah porositas dan batas butir memiliki energi ikatan karena porositas mengurangi luas daerah batas butir total. Energi ikatan ini meningkat seiring jumlah porositas dan ukuran porositas, yang berarti bahwa energi ikatan menurun selama densifikasi. Pertumbuhan butir memaksa batas butir menjadi melengkung, yang mengarah ke peningkatan yang progresif di daerah batas butir sebagai batas butir yang melengkung untuk mempertahankan kontak dengan porositas yang bergerak lebih lambat. Oleh karena itu, seperti digambarkan pada Gambar 2.13, kondisi kritis dicapai di mana itu memungkinkan bagi batas butir untuk memisahkan diri dari porositas.



**Gambar 2.13** Mekanisme Pergerakan Porositas (German, 1996)

Pemisahan menyebabkan pengurangan batas butir yang melengkung dan gaya geser pada batas butir dari porositas, yang memberikan mobilitas batas butir meningkat. Pada *intermediate stage* sintering dengan porositas yang tinggi ada kelebihan energi yang besar untuk pemisahan batas porositas. Densifikasi mengurangi kelebihan ini. Akibatnya, mobilitas batas butir harus dimanipulasi untuk mempertahankan strukturmikro yang kondusif untuk densifikasi tahap akhir.

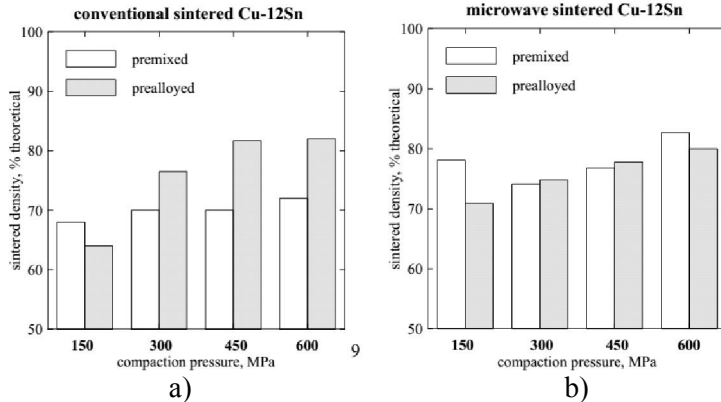
Sebuah masalah kritis terkait dengan laju densifikasi relatif, pertumbuhan butir, dan migrasi porositas. Pada banyak material,



proses ini memiliki energi aktivasi yang sama, terutama untuk densifikasi dan pertumbuhan butir. Dengan demikian, manipulasi proses ini terbukti sulit melalui pengendalian temperatur. Jika pertumbuhan butir yang cepat dibandingkan dengan mobilitas porositas, porositas terisolasi jauh dari batas butir, sehingga terjadi densifikasi dengan lambat akibat jarak difusi volume yang panjang. Atau, jika mobilitas porositas tinggi, melalui difusi permukaan atau penguapan-kondensasi, porositas dapat tetap melekat bergerak batas butir dan terus menyusut.

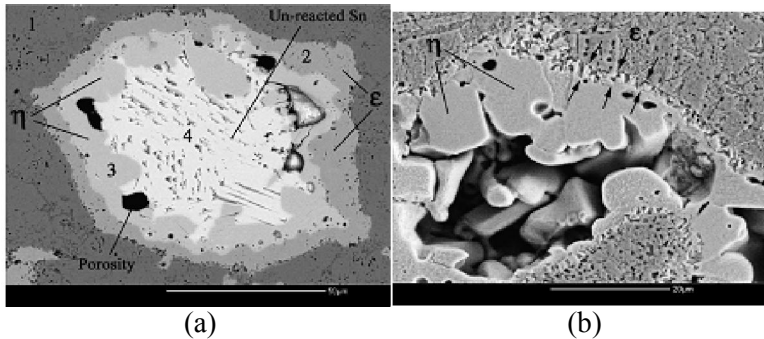
## 2.5 Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian yang dilakukan oleh Upadhyaya (2002) tentang densifikasi *premixed* dan *prealloyed* Cu-12 wt% Sn. Pada penelitian ini dilakukan variasi tekanan kompaksi (150, 300, 450, dan 600 Mpa) serta variasi temperatur sintering ( $450^{\circ}\text{C}$ ,  $775^{\circ}\text{C}$ , dan  $830^{\circ}\text{C}$ ) dengan menggunakan variasi sintering konvensional (*tubular furnace*) dan sintering *microwave oven*. Pemilihan variasi temperatur didasarkan pada kondisi *transient*, *solid-state*, dan *supersolidus liquid phase sintering*. Hasil analisa menunjukkan porositas berkurang seiring dengan meningkatnya tekanan kompaksi. Pada Gambar 2.14 (a) menunjukkan efek variasi tekanan kompaksi terhadap densitas produk sinter pada sintering konvensional, gambar tersebut dapat diketahui bahwa pada sintering konvensional pada produk *premixed* nilai densitas mengalami peningkatan pada variasi (150, 300, 450 dan 600 MPa) dan pada tekanan 300 MPa dan 450 Mpa memiliki nilai densitas yang sama. Sedangkan pada produk *prealloyed* densitas meningkat seiring meningkatnya tekanan kompaksi variasi tekanan (150, 300, 450, dan 600 Mpa). Pada gambar (b) menunjukkan densitas produk sinter pada *microwave oven*. Pada produk *premixed* nilai densitas meningkat seiring dengan meningkatnya tekanan kompaksi pada variasi (300, 450, dan 600 MPa). Pada produk *prealloyed* nilai densitas meningkat seiring meningkatnya tekanan kompaksi variasi tekanan (150, 300, 450, dan 600 Mpa).



**Gambar. 2.14** Efek variasi tekanan kompaksi terhadap densitas produk sinter pada; a) sintering konvensional; b) *microwave* sintering (Upadhyaya, 2002)

Kruachatturat (2009) pada penelitiannya tentang efek sintering material Cu-Sn untuk peluru *frangible*, dengan variasi komposisi serbuk Cu-Sn (95:5 %wt, 90:10 %wt, dan 85:15 %wt) dan variasi temperatur sintering (800°C, 850°C, dan 900°C) selama 45 menit pada lingkungan gas hidrogen. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa *properties* maksimum diperoleh pada campuran serbuk dengan variasi 90:10 %wt. Hasil kekuatan tekan menunjukkan pada kisaran 49-214 MPa, jika dibandingkan dengan peluru *frangible* komersial kekuatan tekannya pada kisaran 31-310 MPa. Berdasarkan hasil pengujian *firing* ditemukan bahwa sampel pada temperatur sintering 800°C merupakan sampel yang sesuai dengan produk peluru *frangible* komersial.



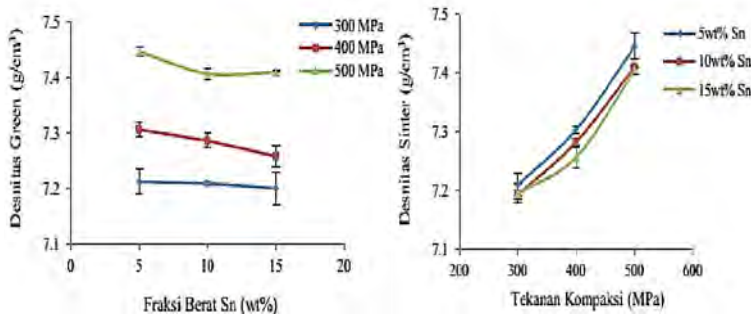
**Gambar 2.15** SEM *backscatter electron* menunjukkan (a) porositas (hitam) dikelilingi oleh fasa minor senyawa intermetalik Cu-Sn, (b) butiran nodular fasa  $\eta$ (Cu<sub>6</sub>Sn) dan layer halus fasa  $\epsilon$ (Cu<sub>3</sub>Sn) (Banovic, 2007).

Banovic (2007) melakukan penelitian tentang karakterisasi mikrostruktur dan perilaku mekanik dari peluru *frangible* Cu-Sn. Hasil dari penelitian ini nantinya akan digunakan dalam permodelan yang nantinya akan dikembangkan untuk memprediksi performa impact terhadap *soft body armor*. Pada penelitian ini digunakan metode metalurgi serbuk dengan komposisi Cu-Sn (90:10 %wt) dilakukan perlakuan panas pada temperatur 260°C selama 30 menit pada lingkungan gas nitrogen. Hasil analisa menunjukkan bahwa pembuatan peluru dengan menggunakan serbuk tembaga dan timah pada berbagai ukuran, dicampur, dikompaksi, dan diberi perlakuan panas pada temperatur rendah. Hasil mikrostruktur menunjukkan bahwa pada temperatur antara 232°C hingga 415°C yang sesuai untuk digunakan dan terdapat pada literatur yang ada. Porositas dikelilingi oleh senyawa intermetalik Cu-Sn [ $\epsilon$ (Cu<sub>3</sub>Sn),  $\eta$ (Cu<sub>6</sub>Sn)], dan *un-reacted* Sn yang terdistribusi merata pada matriks Cu seperti ditunjukkan pada gambar 2.15 (a). Selain itu, selama perlakuan panas pada temperatur rendah, fasa  $\epsilon$ (Cu<sub>3</sub>Sn) berkembang menjadi bentuk layer halus dan pada fasa  $\eta$ (Cu<sub>6</sub>Sn)



berbentuk butiran nodular seperti ditunjukkan pada gambar 2.15 (b).

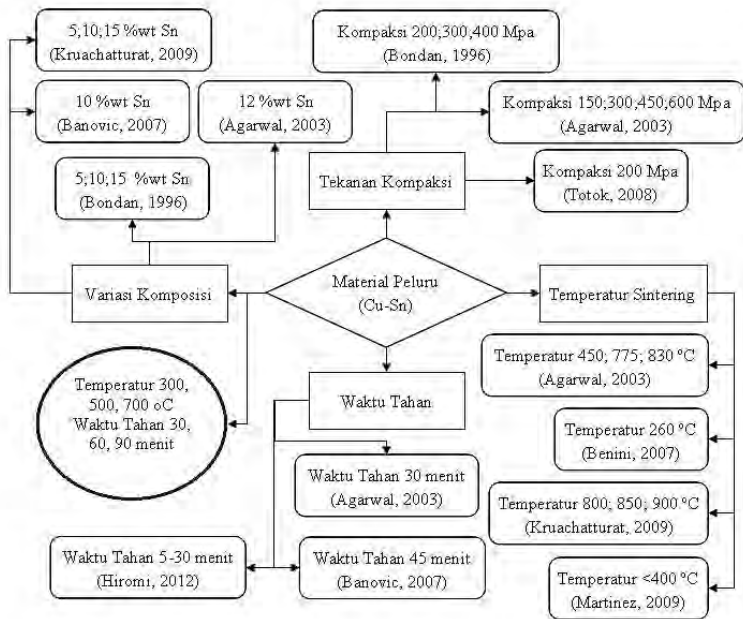
Vicko (2014) dalam penelitiannya dengan variasi komposisi timah (Sn) 5; 10; dan 15 % serta variasi tekanan kompaksi 300; 400; dan 500 MPa mengatakan bahwa semakin meningkatnya komposisi timah (Sn) maka nilai densitas green dan densitas sinter dari komposit Cu-Sn semakin menurun. Seperti yang ditunjukkan gambar dibawah ini.



**Gambar 2.16** a) Nilai densitas green dengan berbagai komposisi Sn; b) Nilai densitas sinter dengan berbagai tekanan kompaksi. (Vicko, 2014)

Sebaliknya, dengan meningkatnya tekanan kompaksi maka nilai dari densitas green dan densitas sinter meningkat. Selain itu, juga dapat meningkatkan nilai kekerasan dan kekuatan tekan dari komposit Cu-Sn.







*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah serbuk Cu sebagai *bulk of material* dan serbuk Sn sebagai *minor component*.

1. Serbuk Cu

Serbuk Cu dengan kemurnian 99% produk Sigma-Aldrich dengan spesifikasi sebagai berikut:

Ar	: 63,55 g/mol
Densitas	: 8,96 g/cm <sup>3</sup>
Temperatur <i>melting</i>	: 1083 °C
Ukuran serbuk	: <75 μm



Gambar 3.1 Serbuk Cu (Tembaga)

2. Serbuk Sn

Serbuk Sn dengan kemurnian 99,8% produk Sigma-Aldrich dengan spesifikasi sebagai berikut:

Ar	: 118,71 g/mol
Densitas	: 7,3 g/cm <sup>3</sup>
Temperatur <i>melting</i>	: 232 °C
Ukuran serbuk	: <45 μm

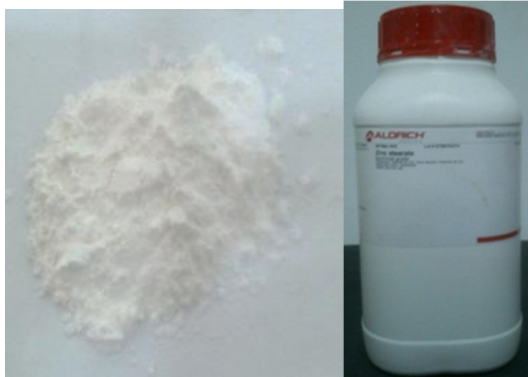


**Gambar 3.2** Serbuk Sn (Timah)

3. Pelumas

Pelumas digunakan untuk mengurangi gesekan yang terjadi antar serbuk maupun antara serbuk dengan dinding *dies* cetakan saat dilakukan kompaksi. Pelumas yang digunakan adalah *Zinc Stearat* produk Sigma-Aldrich dengan spesifikasi sebagai berikut:

Densitas : 1,09 g/cm<sup>3</sup>  
Temperatur *melting* : 130°C



**Gambar 3.3** Serbuk Zinc Stearat



### 3.2 Alat

Adapun peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Spatula

Untuk mengambil serbuk Cu dan Sn.



**Gambar 3.4** Spatula

2. *Beaker glass*

Digunakan sebagai tempat pencampuran serbuk dengan menggunakan *magnetic stirrer*.



**Gambar 3.5** *Beaker Glass*

3. Masker dan Sarung tangan

Digunakan sebagai alat keamanan untuk mengantisipasi pencemaran serbuk.



**Gambar 3.6** Masker dan Sarung Tangan

4. *Dies*

Sebagai cetakan untuk menghasilkan bentuk *pellet* saat proses kompaksi.



**Gambar 3.7** *Dies*

5. *Hot plate stirrer dan Magnetic stirrer*

Digunakan pada saat proses pencampuran serbuk Cu dan Sn.



**Gambar 3.8** *Hot plate stirrer dan magnetic stirrer*

6. *Jangka sorong*

Digunakan untuk mengukur dimensi dari komposit Cu-Sn setelah dikompaksi.



**Gambar 3.9** *Jangka Sorong*



7. *Combustion Boat*

Digunakan untuk wadah spesimen ketika proses sintering.



**Gambar 3.10** *Combustion Boat*

8. Alat kompaksi

Alat kompaksi *Carver* dengan menggunakan tekanan 600 MPa. Alat ini digunakan untuk mengkompaksi serbuk Cu dan Sn yang telah dicampur (*mixing*) sebelum dilakukan sintering.

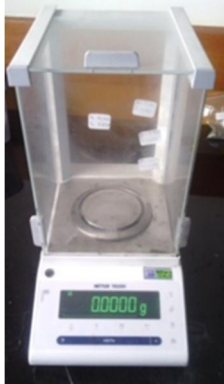


**Gambar 3.11** Alat kompaksi



9. Timbangan digital

Digunakan untuk menimbang massa serbuk Cu dan Sn serta sampel setelah proses sintering.



**Gambar 3.12** Timbangan digital

10. Alat uji kekerasan

Alat ini digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan dari sampel komposit Cu -Sn setelah dilakukan proses metalurgi serbuk. Uji *hardness* ini menggunakan skala Rockwell F.



**Gambar 3.13** Alat Uji Kekerasan





### 11. *Horizontal furnace*

*Furnace* yang digunakan untuk pemanasan pada proses sintering



**Gambar 3.14** *Horizontal furnace*

### 12. Alat uji XRD

Pengamatandengan menggunakan XRD bertujuan untuk mengidentifikasi fasa yang terbentuk, penentuan komposisi, penentuan struktur kristal, dan lain-lain. Pengujian ini dilakukan pada semua sampel komposit Cu - Sn.



**Gambar 3.15** Alat Uji XRD



### 13. Alat uji SEM-EDX

Alat SEM-EDX digunakan untuk mengetahui morfologi serbuk Cu dan Sn sebelum dilakukan proses metalurgi serbuk dan sampel komposit Cu – Sn setelah dilakukan proses metalurgi serbuk dengan variasi tekanan kompaksi dan fraksi berat Sn.



**Gambar 3.16** Alat Uji SEM

### 14. Alat uji tekan (*Universal Testing Machine*)

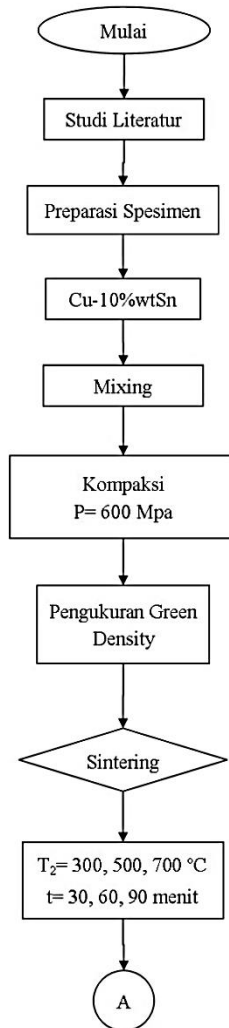
Alat ini digunakan untuk mengetahui sifat mekanik dari sampel komposit Cu -Sn setelah diproduksi dengan proses metalurgi serbuk. Modulus elastisitas didapatkan melalui kurva tegangan regangan di daerah elastis yang ditunjukkan oleh sifat mekanik.

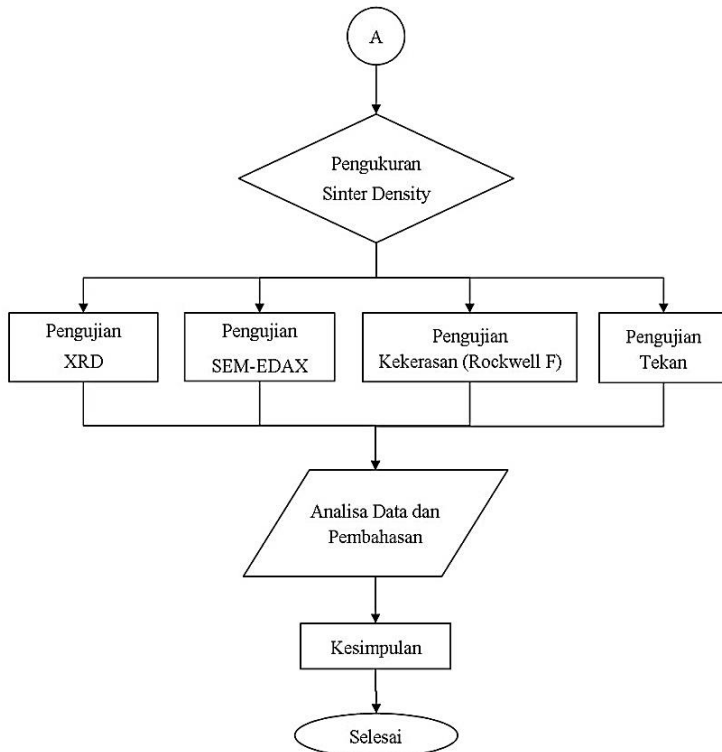


**Gambar 3.17** Alat Uji Tekan



### 3.3 Diagram Alir Penelitian





### 3.3.1 Preparasi Bahan

Sebelum melakukan proses penelitian maka hal yang harus dilakukan adalah preparasi bahan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Penimbangan serbuk berdasarkan persentase berat yang telah ditentukan. Penentuan massa serbuk menggunakan persamaan 2.3 dan 2.4. Komposisi yang digunakan yaitu Cu-10%wtSn ( $M_m = 17.0174$  gr;  $M_f = 1.8091$  gr). Menyiapkan masing-masing serbuk Cu dan Sn untuk 36 sampel.



2. Mixing serbuk Cu-Sn dengan cara memasukkan serbuk ke dalam *beaker glass* serta ditambahkan Zinc Stearat 0.5% dari berat campuran Cu-Sn, kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* agar terjadi pencampuran yang homogen. Proses ini dilakukan selama 30 menit/proses/sampel.

### 3.3.2 Proses Penelitian

- a. Proses kompaksi  
Pada proses ini serbuk yang telah dimixing dimasukkan ke dalam dies untuk ditekan agar memadat. Tekanan yang digunakan saat kompaksi yaitu 600 Mpa.
- b. Menimbang massa sampel hasil kompaksi menggunakan neraca digital (merk Metler Toledo).
- c. Mengukur dimensi (tinggi dan diameter) sampel setelah kompaksi menggunakan jangka sorong serta menghitung volumenya.
- d. Menghitung densitas setelah dikompaksi (*green density*).
- e. Proses sinterring  
Pada proses ini furnace yang digunakan yaitu *horizontal tube furnace* (merk Carbolite Tube Furnace STF 16/450). Sinterring dilakukan dengan variasi temperatur yaitu 300, 500, dan 700 °C serta variasi waktu sinter yaitu 30, 60, dan 90 menit.
- f. Menimbang massa sampel setelah proses sinterring (massa kering) menggunakan neraca *digital* (merk Metler Toledo). Dan menimbang massa sampel didalam air menggunakan neraca *pocket digital* (merk Constant) serta menimbang massa basah sampel.
- g. Menghitung densitas setelah sinterring (*sinter density*) menggunakan prinsip hukum Archimedes.
- h. Sampel dikeringkan menggunakan *hair dryer* supaya kadar air dapat dihilangkan
- i. Melakukan uji *hardness* (kekerasan) menggunakan metode Rockwell F.



- j. Melakukan uji tekan (*compression test*) dengan menggunakan mesin *Universal Testing Machine* (merk Gotech GT-7001-LC50) untuk mengetahui kekuatan tekan dari sampel.
- k. Melakukan pengujian XRD untuk mengetahui fasa dan pengujian SEM-EDX untuk mengetahui morfologi sampel yang dihasilkan.

### 3.3.3 Pengujian

#### 1. Pengujian Densitas

Pengujian densitas dilakukan untuk mengetahui densitas setelah proses metalurgi serbuk. Pengujian densitas dilakukan dua kali, yaitu: *Green density* dan *Sinter density*. Untuk pengukuran *green density* dilakukan dengan menimbang massa specimen uji dan melakukan pengukuran dimensi menggunakan jangka sorong. Sedangkan pengukuran *sinter density* dilakukan dengan teknik Archimedes.

$$\rho_1 = m/V \dots\dots\dots 3.1$$

$$V = \frac{1}{4}\pi \cdot D^2 \cdot t \dots\dots\dots 3.2$$

$$\rho_2 = \frac{W_1 \cdot \rho_w}{W_2 - (W_3 - W_w)} \dots\dots\dots 3.3$$

(Sumber: German, 1996)

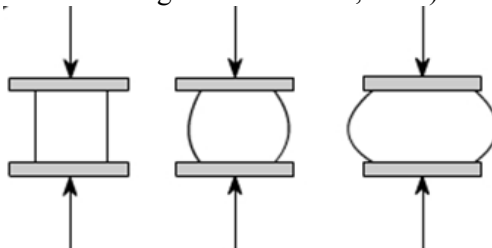
Dimana:

- $\rho_1$  = *green density*(g/cm<sup>3</sup>)
- $\rho_2$  = *sinter density*(g/cm<sup>3</sup>)
- $\rho_w$  = densitas air(g/cm<sup>3</sup>)
- $m$  = massa(g)
- $V$  = Volum(cm<sup>3</sup>)
- $D$  = Diameter(cm)
- $t$  = tinggi(cm)
- $W_1$  = massa kering(g)



- $W_2$  = massa basah(g)
  - $W_3$  = massa didalam air(g)
  - $W_w$  = massa benang(g)
2. Pengujian Tekan (*Compression Test*)

Pengujian tekan merupakan pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan sifat mekanik, pengujian ini dilakukan sebagai alternatif dari uji tarik. Pengujian dengan *compression test* memiliki berbagai kelebihan diantaranya yaitu spesimen yang digunakan lebih sederhana tidak memerlukan ulir atau penambahan panjang ujung spesimen untuk *gripping* seperti pada uji tarik. Proses pengujian dilakukan dengan memberikan beban untuk penekanan pada sampel hingga terjadi *fracture* pada material. Hasil dari pengujian tekan adalah didapatkan grafik tegangan dan regangan material yang diuji. Berdasarkan grafik tersebut dapat didapatkan sifat mekanik meliputi kekuatan tekan dan modulus elastisitas. (ASM Metals Handbook Volume 8 Mechanical Testing and Evaluation, 2000)



**Gambar 3.18** Skema Uji Tekan

Langkah pengujian tekan yang dilakukan sebagai berikut :

- 1) Melakukan preparasi spesimen sehingga permukaan sampel pada bagian atas dan bawah yang mendapatkan kontak dengan *punch* rata
- 2) Pengukuran dimensi sampel yaitu diameter dan tinggi dengan menggunakan jangka sorong untuk mendapatkan luas permukaan yang dikenai beban.





- 3) Meletakkan sampel pada *punch* dengan posisi *punch* atas hampir menyentuh sampel
- 4) Memilih laju beban pada mesin uji kemudian memberikan beban secara kontinu dengan kenaikan beban laju pembebanan tertentu.
- 5) Mengamati defleksi yang terjadi pada sampel
- 6) Menghentikan pengujian ketika sampel telah berdeformasi plastis

### 3. Pengujian Kekerasan dengan Metode Rockwell

Pada metode Rockwell memiliki beberapa skala pada penggunaannya tergantung pada kombinasi jenis indenter dan besar beban utama yang digunakan. Pada tabel 3.3 dapat diketahui beberapa skala dengan jenis indenter dan besar beban utamanya. Untuk logam biasanya digunakan skala B atau skala C, dan angka kekerasannya dinyatakan dengan  $R_b$  dan  $R_c$ . Sedangkan untuk pengujian material Cu-10%Sn menggunakan skala F dengan indenter 1/16" bola dan beban utama 60 kg .

**Tabel 3.1** Besar Beban Utama dan Indenter untuk metode Rockwell

Skala	Beban Utama (Kgf)	Indenter	Aplikasi
A	60	<i>Brale</i>	<i>Cemented carbides, thin steel</i>
B	100	1/16" bola	Paduan tembaga, <i>soft steels</i>
C	150	<i>Brale</i>	Baja, <i>hard cast iron</i>
D	100	<i>Brale</i>	<i>Thin steel</i>
F	60	1/16" bola	Besi tuang, Aluminium
G	150	1/16" bola	<i>Malleable iron, phospor bronze</i>

(Sumber: ASM vol 8.)



Langkah pengujian kekerasan yang dilakukan sebagai berikut :

- 1) Meratakan permukaan sampel yang akan diuji dengan menggunakan *grinding* menggunakan kertas amplas dengan grid 180, 240, 600, 800, 1000, dan 1500
  - 2) Sampel diletakkan pada *holder* khusus untuk menjepit sampel uji *hardness* dengan ukuran kecil
  - 3) Pada mesin uji dipilih indentor untuk uji kekerasan dengan skala Rockwell F. Kemudian melakukan pengaturan beban yang akan diberikan saat indentasi.
  - 4) Jejak indentasi diukur dengan cara menggerakkan garis pengukur yang dilihat menggunakan mikroskop pada alat uji *hardness*. Menghentikan pengujian ketika sampel telah berdeformasi plastis.
4. Pengujian Fasa (XRD)

*X-Ray Diffractometer* adalah alat yang dapat memberikan data-data difraksi dan kuantitas intensitas difraksi pada sudut-sudut difraksi ( $2\theta$ ) dari suatu material. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan fasa struktur material dan mengetahui fasa yang terbentuk selama proses pembuatan sampel uji. Tujuan dilakukannya pengujian analisis struktur kristal adalah untuk mengetahui perubahan fasa struktur bahan dan mengetahui fasa apa saja yang terbentuk selama proses pembuatan sampel uji. Tahapan pengujian XRD yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

- 1) Sampel diletakkan pada *holder*, agar penembakan dengan XRD sesuai dengan yang diinginkan, maka spesimen harus memiliki permukaan yang rata dengan *holder*.
- 2) *Holder* diletakkan pada mesin XRD.
- 3) Data yang ditampilkan pada layar komputer berupa grafik dengan puncak pada sudut tertentu.



**Gambar 3.19** Mesin Uji XRD, Philips Analytical

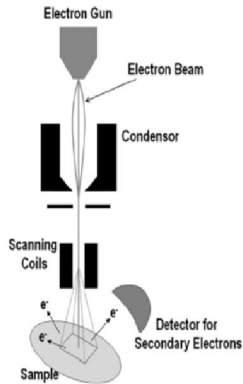
Dari data yang dihasilkan dilakukan analisa kualitatif dengan menggunakan program komputer *High Score Plus* (HSP), yakni pencocokan puncak kurva dari data terukur hasil XRD dengan data JCPDF. Dan atau dilakukan pencocokan secara manual dengan data JCPDF yang diperoleh dari program komputer PCPDFWIN yang berisi database puncak XRD.

5. Pengujian Morfologi dan Komposisi (SEM-EDX)

SEM (*Scanning Electron Microscopy*) berfungsi untuk mengetahui struktur mikro sehingga tingkat homogenitas sampel dan daerah *interface* dapat diketahui. Pengamatan dengan SEM memiliki resolusi yang tinggi dari perbesaran 10 sampai dengan 100.000 kali dan kedalaman hingga 3 – 100 nm. Mekanisme pengambilan data pada SEM adalah *electron gun* yang memproduksi *electron beam*, anoda menangkap *electron beam* yang diarahkan ke sampel kemudian lensa magnetik akan memfokuskan *beam* dan menembakkan ke sampel. *Scanner* membaca struktur permukaan sampel yang selanjutnya menangkap sinyal dari *secondary* dan *back scattered electron* untuk dikirim ke sistem kontrol sehingga dapat dilihat gambarnya pada monitor. Tahapan yang akan dilakukan pada pengujian SEM-EDX adalah sebagai berikut:



- 1) Sampel diletakkan pada *holder*, dimana *holder* telah ditempel dengan *tape*.
- 2) Spesimen kemudian dimasukkan ke dalam *chamber* dengan kondisi vakum. Kemudian *beam* siap dinyalakan.



(a)

(b)

**Gambar 3.20** (a).Prinsip kerja SEM (b). Mesin Uji SEM

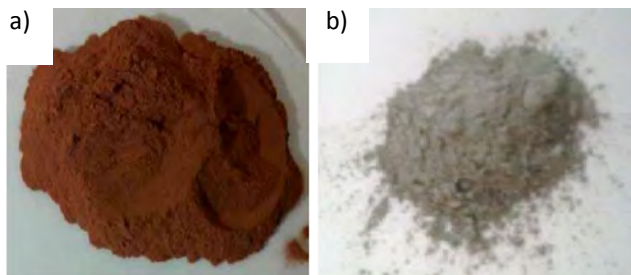


## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Analisa Data

#### 4.1.1 Proses Pembuatan Komposit Cu-10%Sn

Pada penelitian ini, komposit Cu-10%Sn dibuat dengan teknologi metalurgi serbuk. Dibutuhkan masing-masing serbuk tembaga dan serbuk timah sebanyak sebanyak 17,017 gram dan 1,891 gram.

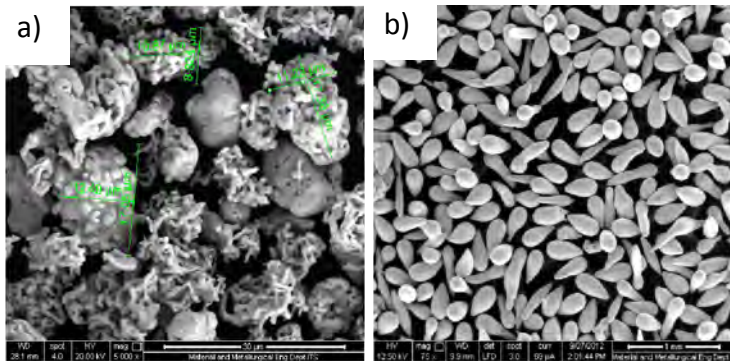


**Gambar. 4.1** Serbuk Tembaga dan Serbuk Timah

Serbuk tembaga secara fisik berwarna merah kecoklatan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1a. Sebagai matrik, serbuk tembaga mempengaruhi sifat komposit yang akan dihasilkan, salah satu sifat yang sangat penting untuk aplikasi peluru frangible yaitu densitas. Densitas serbuk tembaga sebesar  $8,96 \text{ gr/cm}^3$ , densitas ini akan menghasilkan daya akurasi yang tinggi sehingga nantinya densitas komposit yang diperoleh tidak terlalu berkurang dari densitas tembaga murni. Dilihat dari hasil uji SEM pada Gambar 4.2a. serbuk tembaga memiliki bentuk serbuk yang termasuk dalam jenis *irregular* dan juga *sponge*. Bentuk tersebut diakibatkan karena proses pembuatannya yaitu bisa dengan proses elektrolisis atau *chemical*. Proses tersebut dipilih karena serbuk yang dihasilkan memiliki kemurnian yang tinggi yaitu sekitar 99,5%.



Gambar 4.1b. merupakan penampakan serbuk timah secara visual yaitu berwarna putih keabu-abuan. Serbuk timah disini berfungsi sebagai *minor component* yang tujuannya untuk mengikat serbuk tembaga sehingga dapat meningkatkan kualitas ikatan mekanik pada komposit Cu-10%Sn. Pada serbuk Sn, bentuk serbuk termasuk jenis bentuk *tear drop* seperti pada Gambar 4.2b.



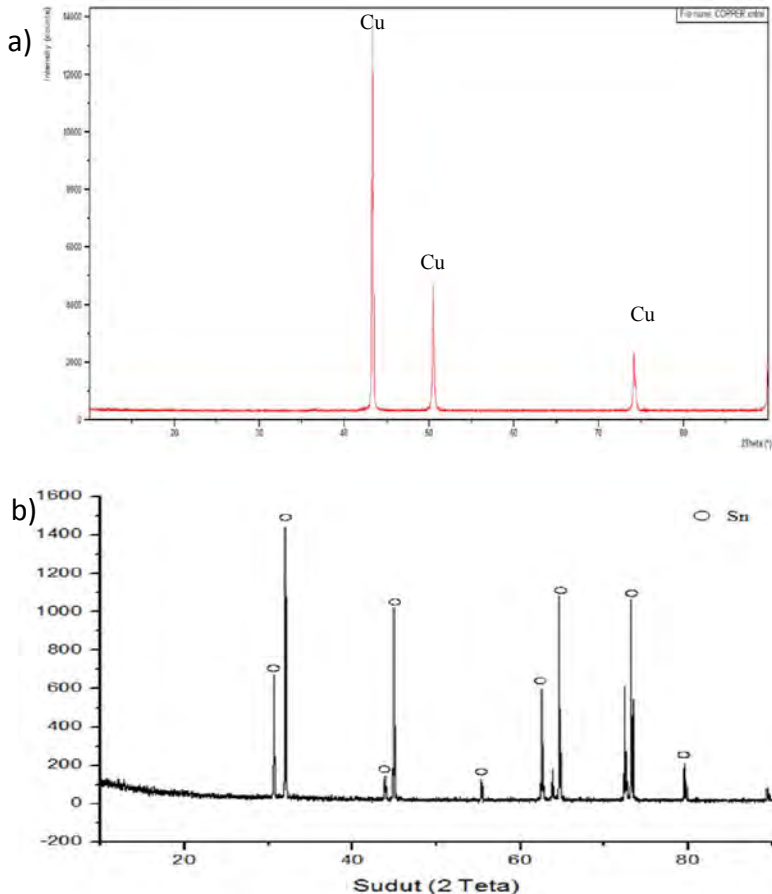
**Gambar. 4.2** Hasil pengujian SEM, a) Serbuk tembaga; b) Serbuk timah

Gambar 4.4a merupakan hasil analisa XRD dari serbuk tembaga, dan pada Gambar 4.4b hasil analisa XRD dari serbuk timah.

Kemudian dilakukan pencampuran kedua serbuk tersebut dengan menggunakan *hot plate magnetic steerer*, pada pencampuran ini ditambahkan sedikit *ethanol* untuk mencegah terjadinya oksidasi pada serbuk tembaga selama proses pencampuran. Supaya hasil pencampuran tidak terdapat *ethanol* lagi maka digunakan temperatur 10 °C diatas titik didih *ethanol* atau 85 °C. Hasil pencampuran serbuk tembaga dan timah kemudian dikompaksi dengan tekanan sebesar 600 MPa. Ketika proses pelepasan sampel dari cetakan, sering terjadi masalah yaitu sampel susah untuk dikeluarkan dan tidak jarang hingga pecah. Oleh karena itu pada bagian dalam cetakan dilumasi *zinc stearate*



untuk mempermudah dalam melepas sampel dari cetakan. Sampel yang dibuat sebanyak 36 buah dengan rincian 4 sampel untuk masing-masing proses sintering dengan berbagai variabel. Variabel yang dimaksud yaitu temperatur (300, 500, dan 700 °C) dan waktu tahan (30, 60, dan 90 menit).



**Gambar 4.3** Hasil analisa XRD a) Serbuk Tembaga; b) Serbuk Timah



**Gambar. 4.4** Komposit Cu-10%Sn setelah dikompaksi dengan tekanan 600 MPa

Sebelum dilakukan sintering, dihitung dahulu densitas yang dihasilkan dari proses kompaksi. Densitas ini yang disebut dengan *green density*. Perhitungan densitas ini dilakukan dengan mengukur dimensi (diameter dan tinggi) sampel serta menimbang massa. Dengan memperoleh dimensi dan massa, maka densitas bisa dihitung dengan rumus umum massa dibagi dengan volum. Proses berikutnya yaitu sintering dilakukan dengan variabel seperti yang disebutkan diatas. Kemudian dilakukan perhitungan densitas dengan menggunakan prinsip achimedes.

Setelah proses diatas selesai, berikutnya melakukan persiapan sampel untuk dilakukan beberapa pengujian yang antara lain : uji kekerasan, uji tekan, uji XRD, dan uji SEM.

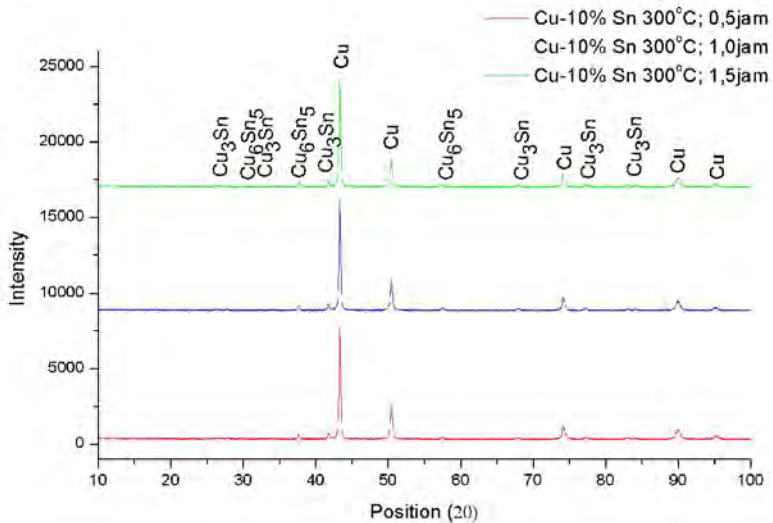
#### 4.1.2 Hasil Analisa X-Ray Diffraction (XRD)

X-ray Diffraction (XRD) dilakukan untuk mengetahui senyawa atau fase yang terdapat pada suatu material. Pada penelitaian ini, uji XRD ditujukan untuk mengetahui perubahan/timbulnya senyawa baru akibat dari pengaruh temperatur dan waktu tahan sintering. Pengaruh waktu tahan terhadap terbentuknya senyawa/fase baru teridentifikasi dari munculnya puncak-puncak pada *pattern* yang diperoleh dari pengujian XRD. Gambar 4.5 menunjukkan perbandingan hasil XRD pada temperatur 300 °C dengan waktu tahan selama 30, 60, dan 90 menit. Puncak yang terbentuk setelah menit yaitu  $2\theta = 43,32; 50,44; \text{ dan } 74,13$  serta ketiga puncak tertinggi ini teridentifikasi sebagai unsur tembaga (Cu). Sintering pada





temperatur ini puncak yang dihasilkan identic meskipun dengan waktu tahan yang berbeda, sehingga bisa dikatakan identic atau tidak terbentuk fase baru dengan waktu tahan yang semakin lama.

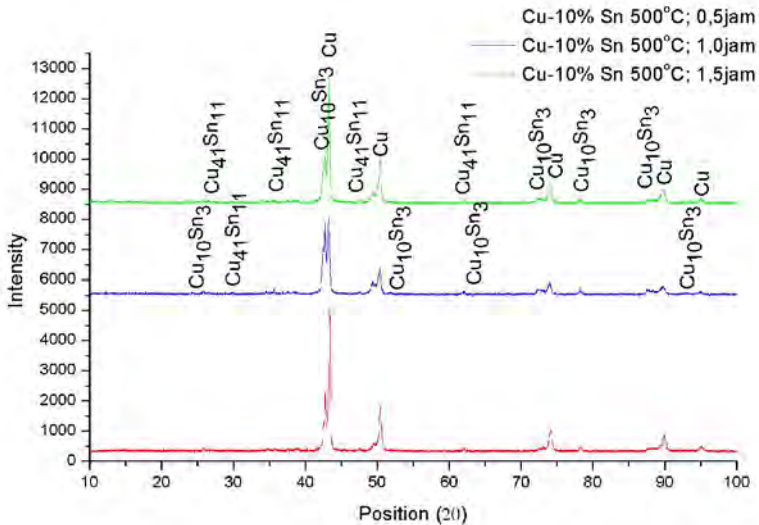


**Gambar 4.5** Pengaruh waktu tahan terhadap terbentuknya senyawa/fase baru Komposit Cu-10%Sn pada temperatur 300 °C

Pada sintering temperatur 500 oC, dari Gambar 4.6 terlihat bahwa terdapat puncak-puncak baru, yaitu  $2\theta = 42,78$  ( $\text{Cu}_{10}\text{Sn}_3$ );  $43,38$  (Cu); dan  $50,45$  (Cu). Dari ketiga puncak tertinggi ini terdapat satu puncak baru yang mengidentifikasi sebagai fase  $\text{Cu}_{10}\text{Sn}_3$ . Dengan semakin lamanya waktu sintering seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.6 selain pada ketiga puncak tertinggi, teridentifikasi fase baru yang menunjukkan adanya difusi, fase yang terbentuk yaitu  $\text{Cu}_{41}\text{Sn}_{11}$ . Dan jika dibandingkan dengan

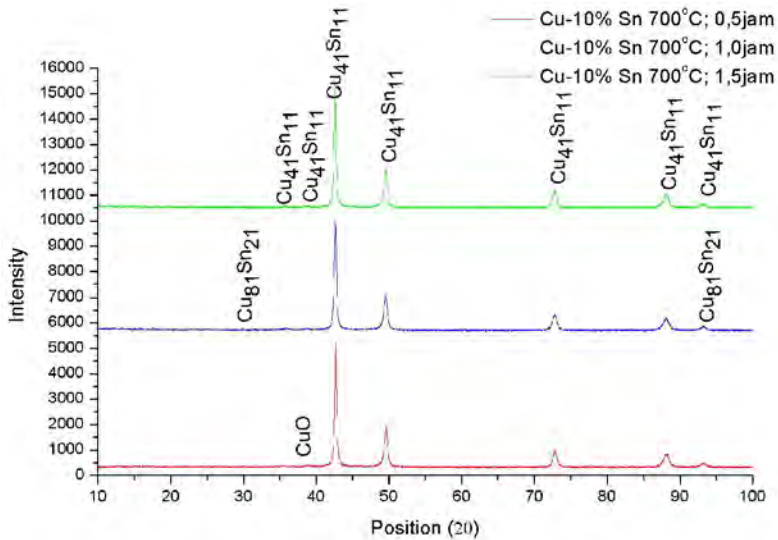


Gambar 4.5 maka ada dua fase yang tidak teridentifikasi lagi yaitu fase  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  dan  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ .



**Gambar 4.6** Pengaruh waktu tahan terhadap terbentuknya senyawa/fase baru Komposit Cu-10%Sn pada temperatur 500 °C

Hasil pengujian XRD yang dilakukan pada komposit Cu-10%Sn yang disintering pada temperatur 700 °C ditunjukkan oleh Gambar 4.7. Dari hasil XRD ini terdapat perbedaan dari hasil XRD komposit Cu-10%Sn yang disintering pada temperatur lebih rendah. Pada ketiga puncak tertingginya yaitu  $2\theta = 42,61$ ;  $49,62$ ; dan  $72,73$  yang teridentifikasi sebagai  $\text{Cu}_{41}\text{Sn}_{11}$ . Sedangkan puncak yang terjadi pada  $2\theta = 38,82$  teridentifikasi senyawa oksida  $\text{CuO}$  pada sintering dengan waktu tahan selama 30 menit. Dan puncak yang terjadi pada  $2\theta = 29,86$  teridentifikasi senyawa  $\text{Cu}_{81}\text{Sn}_{21}$  pada sintering dengan waktu tahan selama 60 menit.



**Gambar 4.7** Pengaruh waktu tahan terhadap terbentuknya senyawa/fase baru Komposit Cu-10%Sn pada temperatur 700 °C

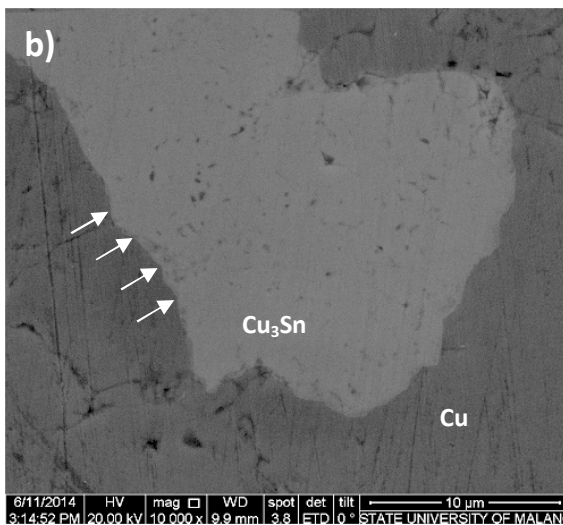
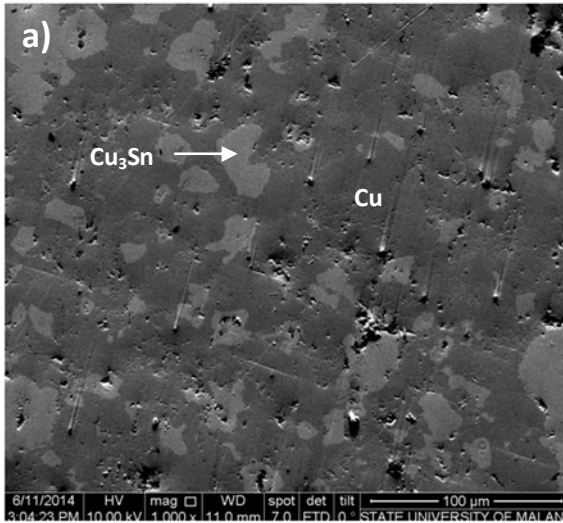
### 4.1.3 Hasil Analisa Morfologi SEM-EDX

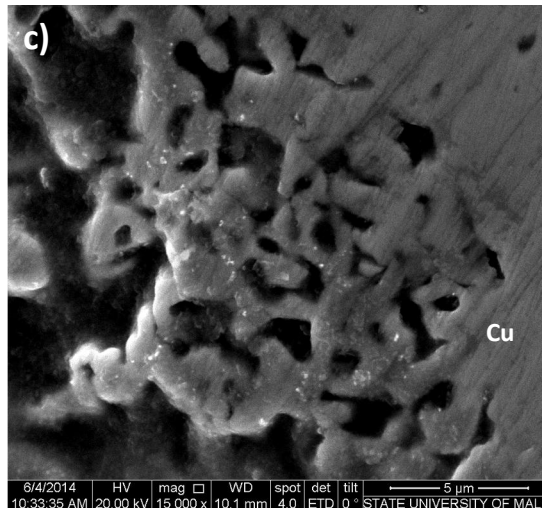
Sintering yang dilakukan pada produk metalurgi serbuk dengan tujuan dapat meningkatkan propertis akhir sesuai yang diinginkan. Adanya perubahan propertis ini tidak akan begitu berarti apabila tidak disertai perubahan struktur mikro pada komposit metalurgi serbuk. Untuk mengetahui hal tersebut, digunakan analisa uji SEM (*Scanning Electron Microscopy*). Serta detektor yang digunakan untuk analisa ialah *backscatter electron*, karena detektor ini dapat membedakan fase/unsur yang berbeda dengan menunjukkan perbedaan intensitas warna.

Analisa morfologi dengan menggunakan SEM pada proses sintering dengan temperatur 300 °C selama 90 menit ditunjukkan oleh Gambar 4.8. pada daerah yang berwarna terang teridentifikasi sebagai fase intermetallik  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  dan daerah yang



gelap merupakan matrik Cu. Gambar 4.8a. menunjukkan distribusi fase intermetallik yang heterogen didalam matrik Cu.

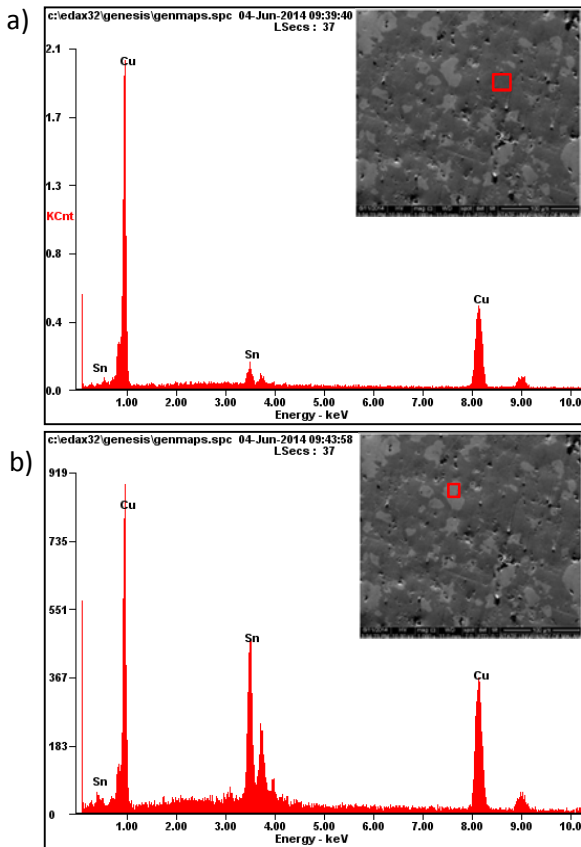




**Gambar. 4.8** *Backscatter electron* komposit Cu-10%Sn sintering 300 °C dan waktu tahan 90 menit; a) perbesaran 1000x; b) perbesaran 10.000x; dan c) perbesaran 15.000x

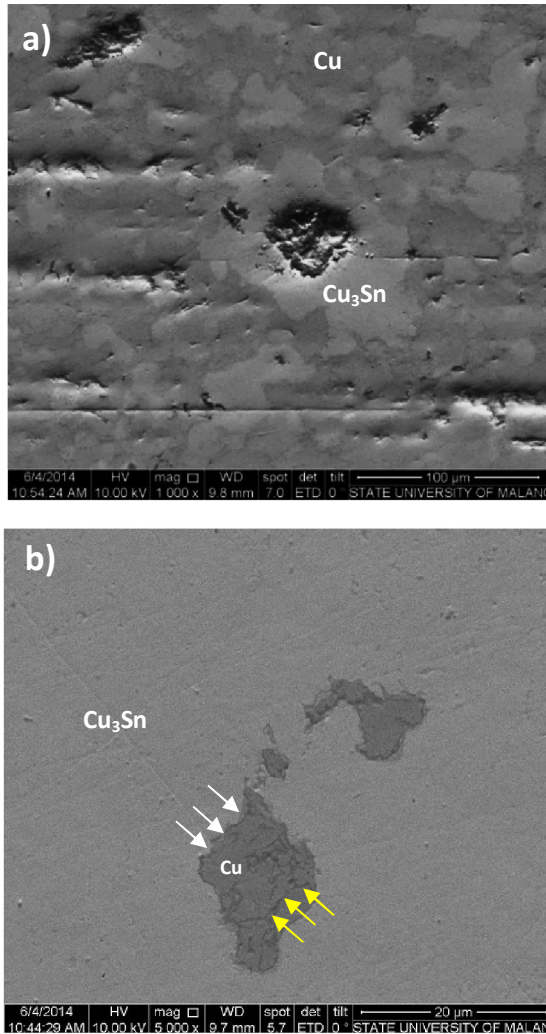
Pada perbesaran 10.000x seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.8b terlihat telah terbentuk ikatan antar muka antara matrik Cu (daerah yang gelap) dengan fase intermetalik (daerah yang terang). Selain itu, terdapat fase intermetalik  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  dan fase ini teridentifikasi melalui analisa *X-ray Diffraction* (XRD).

Gambar 4.8c merupakan hasil SEM dengan perbesaran 15.000x, dari gambar terlihat bahwa adanya porositas yang terbentuk berupa *network porosity* yang berarti antara porositas satu dengan yang lainnya terhubung. Selain itu bentuk dari fase padat terlihat tidak beraturan.



**Gambar. 4.9** Analisa EDX Komposit Cu-10%Sn sintering 300 °C dan waktu tahan 90 menit a) Cu matrik; b) fase  $\text{Cu}_3\text{Sn}$

Gambar 4.9 diatas merupakan hasil analisa EDX, dimana pada daerah gelap menunjukkan matrik Cu dan daerah terang menunjukkan fase intermetalik yaitu  $\text{Cu}_3\text{Sn}$ .



**Gambar. 4.10** Hasil pengujian SEM komposit Cu-10%Sn sintering 500 °C selama 30 menit; a) perbesaran 1000x; b) perbesaran 5000x





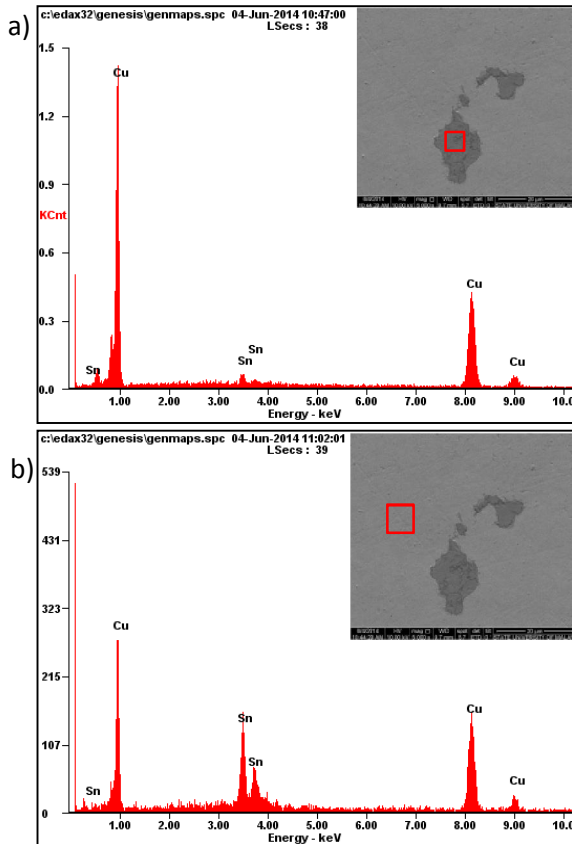
Hasil pengujian SEM komposit Cu-10%Sn pada sinterring 500 °C ditunjukkan oleh Gambar 4.10 a dan b. Adanya porositas yang terdapat pada fase intermetalik seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.10a, porositas ini menunjukkan bahwa timah telah mencair serta mengalami difusi volum sehingga meninggalkan porositas dengan ukuran yang besar.

Selain itu Gambar 4.10b yang mendeskripsikan bahwa adanya ikatan antar muka sesama matrik tembaga yang ditunjukkan oleh panah kuning dan matrik tembaga dengan fase intermetallic yang ditunjukkan oleh panah putih. Ikatan antar muka sesama matrik ini terbentuk sebagai akibat butiran serbuk tembaga berdampingan dengan serbuk tembaga ketika selesai dilakukan pencampuran dan kompaksi.

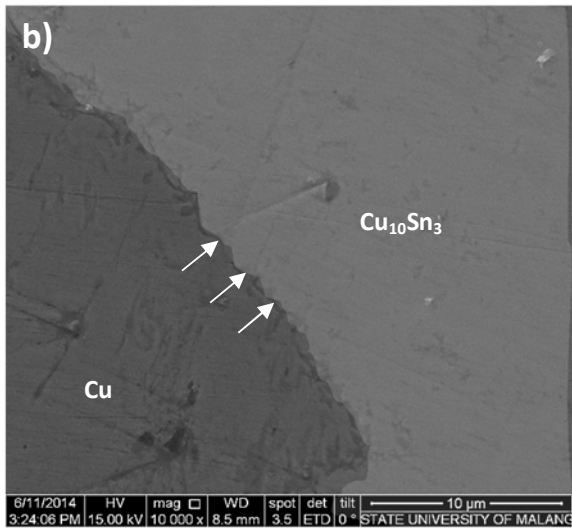
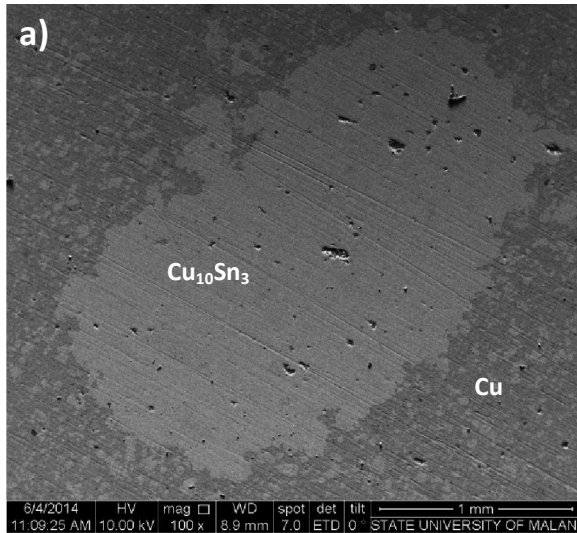
Gambar 4.11 hasil analisa EDX dari komposit Cu-10%Sn yang disinterring pada temperatur 500 oC selama 30 menit. Pada Gambar 4.11a yaitu daerah gelap menunjukkan jumlah yang tinggi ditemukan pada unsur Cu, sehingga bisa dikatakan bahwa pada daerah gelap merupakan matrik Cu.

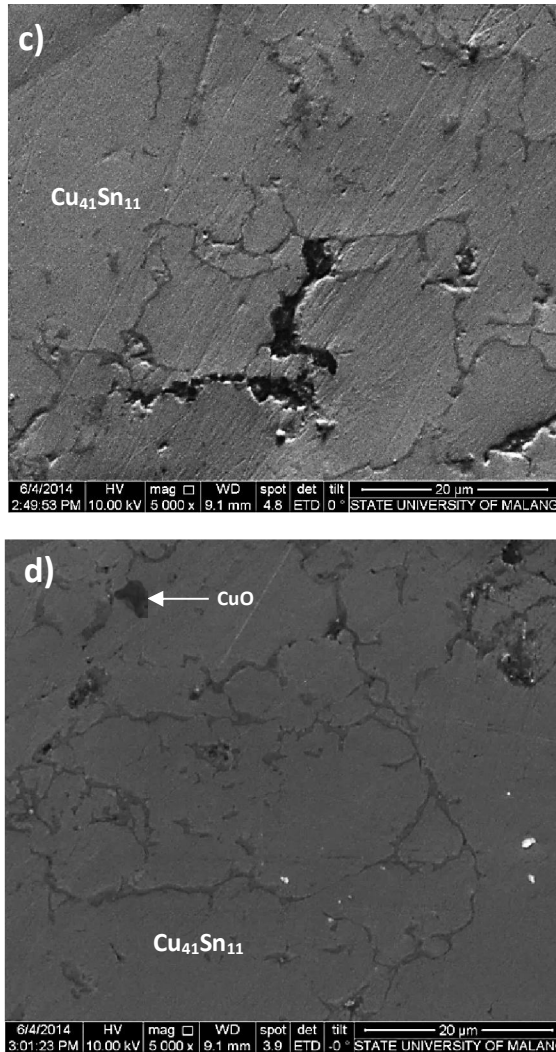
Pada Gambar 4.11b atau lebih tepatnya pada daerah terang hasil Analisa EDX pada komposit Cu-10%Sn terlihat bahwa ada peningkatan jumlah yang terjadi pada unsur Sn. Hal ini diakibatkan adanya difusi dari timah cair kedalam butiran serbuk tembaga, dan menghasilkan fase intermetalik yaitu  $Cu_3Sn$ .





**Gambar. 4.11** Analisa EDX Komposit Cu-10%Sn sintering 500 °C dan waktu tahan 30 menit a) Cu matrik; b) fase  $\text{Cu}_3\text{Sn}$





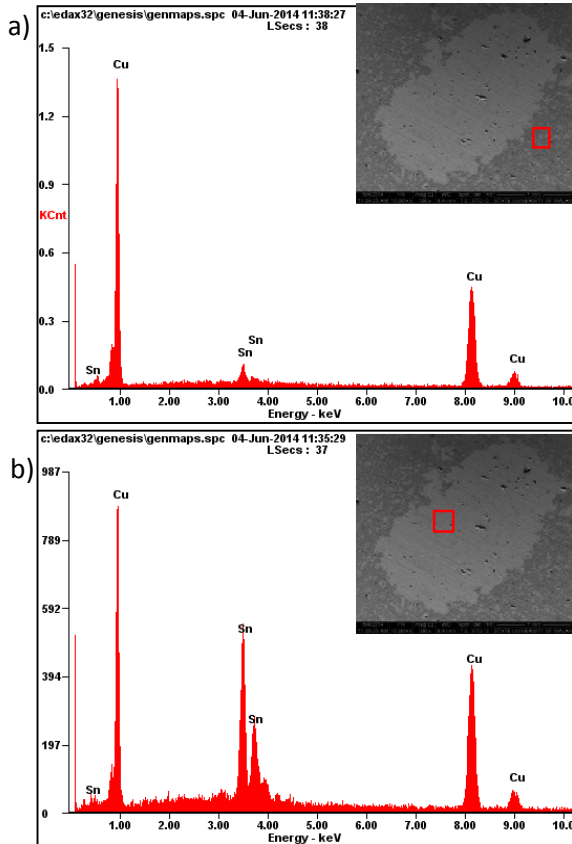
**Gambar. 4.12** Hasil pengujian SEM Komposit Cu-10%Sn; a) dan b) sinterring 500 °C selama 60 menit; c) dan d) sinterring 700 °C selama 30 menit



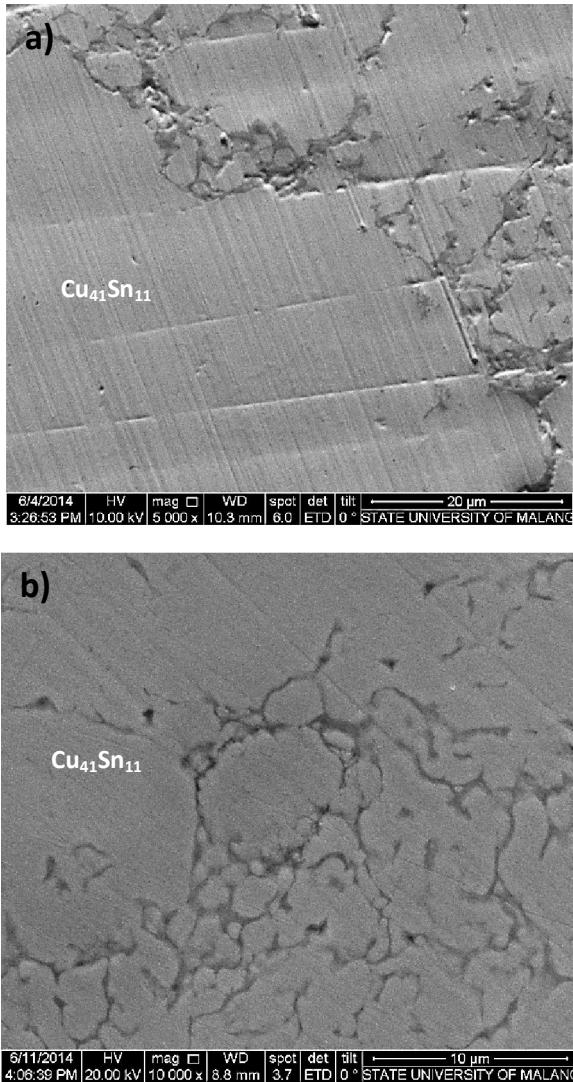
Adapun distribusi morfologi antara matrik tembaga dengan fase intermetalik sangat dipengaruhi oleh metode pencampuran yang dilakukan. Pencampuran yang kurang homogen akan berdampak pada distribusi fase intermetalik, hal ini ditunjukkan oleh Gambar 4.12a dibawah ini. Dengan perbesaran 100x sudah terlihat jelas terjadi pengumpulan fase intermetalik yang ditandai oleh daerah warna terang. Ikatan antar muka yang terjadi seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.12b, IMCs nampak berperan sebagai pengikat mekanik antara serbuk tembaga.

Ketika dilakukan sinter pada temperatur 700 oC, maka seperti yang terlihat pada Gambar 4.12c dan d pada proses sinter ini sudah tidak teridentifikasi lagi matrik tembaga hal ini ditandai dengan tidak ada perbedaan warna gelap terang pada hasil analisa SEM *backscatter*. Berdasarkan hasil tersebut bisa dikatakan telah terjadi difusi timah cair ke matrik tembaga secara sempurna. Seperti dijelaskan sebelumnya, timah cair akan dengan baik membasahi butir matrik tembaga, maka dengan berdifusinya timah ke matrik tembaga hal ini akan menimbulkan porositas pada daerah ikatan antar muka. Gambar 4.12c menunjukkan porositas yang terjadi pada ikatan antar muka.

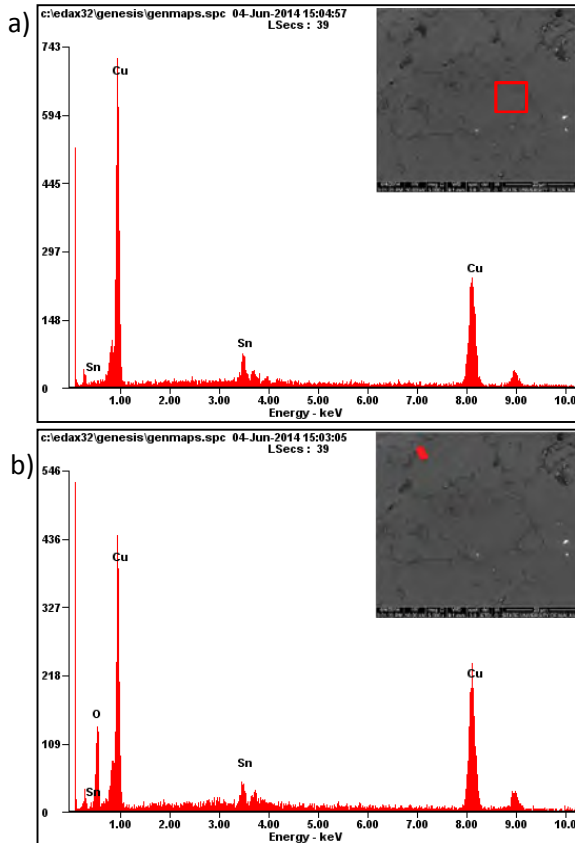
Selama proses sintering juga tidak bisa dihindari terjadinya oksidasi yang tidak diinginkan, dalam hal ini hanya bisa diusahakan untuk meminimalisir terbantuknya oksida dengan melakukan proses sintering dalam keadaan vakum dan kondisi atmosfer gas inert. Gambar 4.12d menunjukkan adanya oksida CuO yang terbentuk akibat adanya oksidasi selama proses sintering.



**Gambar. 4.13** Analisa EDX Komposit Cu-10%Sn sintering 500 °C dan waktu tahan 60 menit a) matrik Cu; b) fase  $Cu_{10}Sn_3$



**Gambar. 4.14** Hasil pengujian SEM komposit Cu-10%Sn sintering 700 oC selama a) 60 menit; b) 90 menit



**Gambar. 4.15** Analisa EDX Komposit Cu-10%Sn sintering 700 °C dan waktu tahan 30 menit a) fase  $\text{Cu}_{41}\text{Sn}_{11}$ ; b) oksida CuO

Sintering pada temperatur tinggi mengakibatkan difusi dari fase liquid ke fase padat terjadi secara sempurna, sehingga fase liquid yang mengelilingi butiran fase padat secara keseluruhan akan larut kedalam fase padat. Hal ini dibuktikan dengan hasil analisa SEM yang ditunjukkan oleh Gambar 4.14. dari gambar tersebut bisa terlihat bahwa porositas merupakan sisa

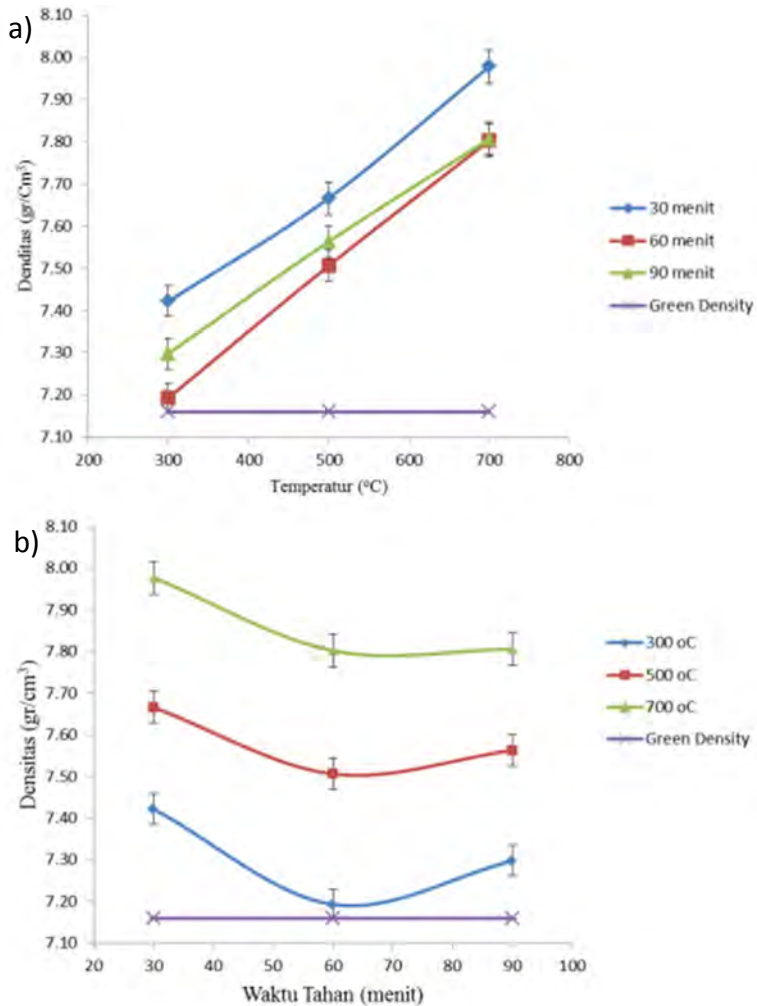


ruang bekas fase cair yang mengelilingi butiran fase padat. Dengan kata lain, porositas yang terbentuk juga mengelilingi butiran fase padat yang antara satu porositas dengan porositas yang lain terhubung atau juga disebut *network porosity*.

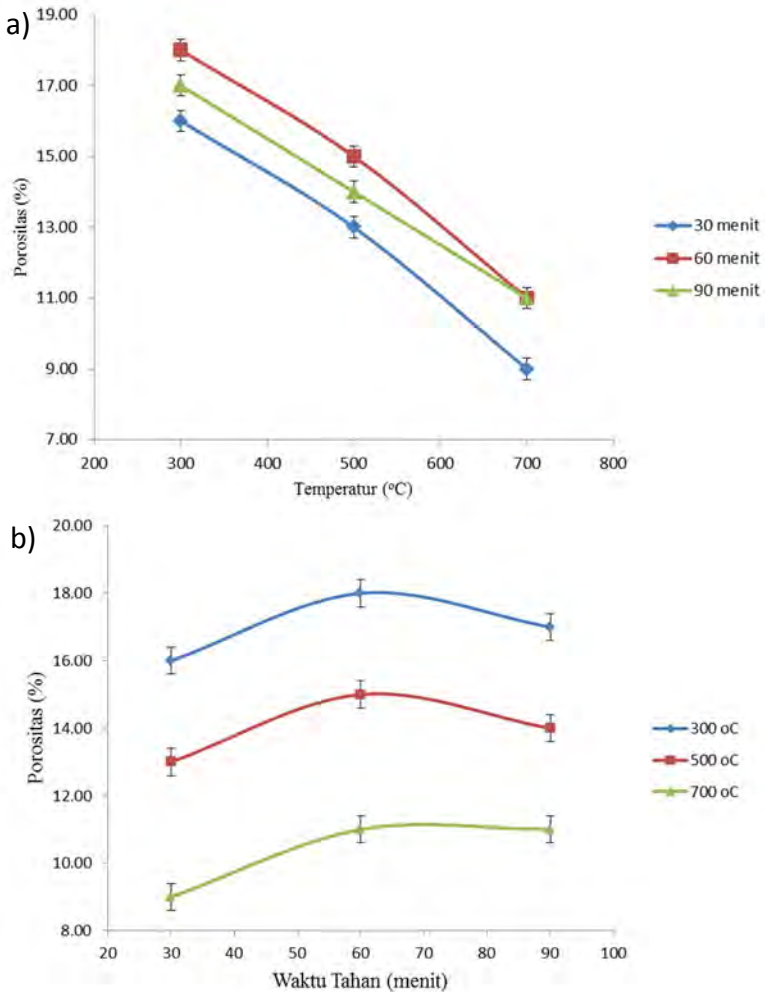
#### 4.1.4 Hasil Perhitungan Densitas

Proses utama dalam teknologi metalurgi serbuk yaitu kompaksi dan sintering. Masing-masing proses ini menghasilkan densitas yang berbeda, *green density* merupakan densitas dari proses kompaksi, dan *sinter density* merupakan densitas setelah dilakukan sintering. Temperatur yang diaplikasikan diatas temperatur leleh dari Timah (Sn) 232 °C, sehingga dalam proses sintering ini melibatkan fase cair dari Timah (Sn). Temperatur sintering yang dimaksud yaitu 300, 500, dan 700 °C. Gambar 4.16a merupakan perubahan densitas sinter yang dipengaruhi oleh temperatur, pada gambar tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur sintering maka semakin tinggi densitas sinter yang dihasilkan. Hubungan antara densitas sinter dan temperatur yaitu berbanding lurus. Hal ini tidak sejalan dengan pengaruh waktu tahan sintering terhadap densitas sinter seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.16b. densitas sinter menurun dari waktu tahan 30 menit sampai 60 menit, dan akan mengalami sedikit peningkatan jika waktu tahan sintering selama 90 menit. Dari gambar tersebut bisa dilihat sinter densitas semakin tinggi pada temperatur sintering yang tinggi. Sedangkan pada waktu tahan selama 60 menit untuk setiap temperatur sintering, terjadi penurunan densitas yang signifikan.





**Gambar 4.16** a) pengaruh temperatur sintering terhadap densitas sinter; b) pengaruh waktu tahan sintering terhadap densitas sinter



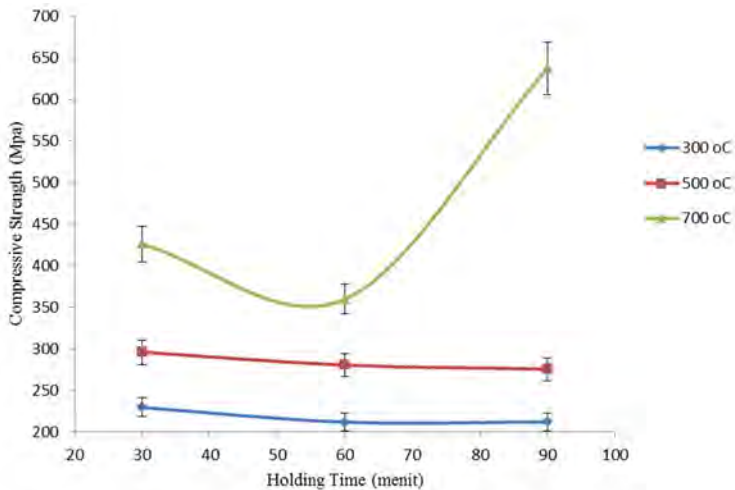
**Gambar 4.17** a) pengaruh temperatur sintering terhadap jumlah porositas; b) pengaruh waktu tahan sintering terhadap jumlah porositas



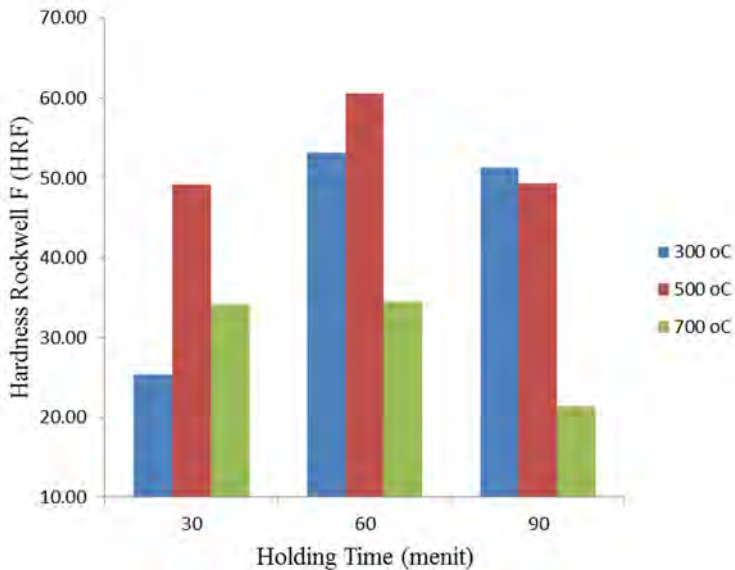
Dalam teknologi manufaktur setalurgi serbuk, adanya porositas tidak bisa dihindari. Salah satu cara yang bisa dilakukan yaitu mengurangi jumlah porositas dengan dilakukan sintering. Pengaruh temperatur sinter terhadap jumlah porositas seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.17a yaitu jumlah porositas akan berkurang dengan meningkatnya temperatur sinter. Gambar 4.17b menunjukkan pengaruh waktu tahan sintering terhadap jumlah porositas. Sintering dengan waktu tahan dari 30 menit ke 60 menit terjadi peningkatan jumlah porositas, dan pada waktu tahan selama 90 menit terjadi penurunan jumlah porositas.

#### 4.1.5 Hasil Analisa Sifat Mekanik

Sifat mekanik yang di observasi yaitu kekuatan tekan (*compressive strength*). Gambar 4.18 menjelaskan respon kekuatan tekan akibat pengaruh temperatur dan waktu tahan sintering. Temperatur disini memiliki pengaruh seperti pada densitas, yaitu semakin tinggi temperatur maka semakin tinggi kekuatan tekan. Dengan banyaknya jumlah porositas pada produk komposit, berarti banyak pula terdapat daerah yang rawan akan terbentuknya inisiasi retak yang berakibat pada menurunnya kekuatan dari material. Terdapat perbedaan kekuatan tekan yang signifikan pada produk komposit yang disinter pada temperatur 700 °C dan ditahan selama 90 menit. Hal ini merupakan fenomena yang menarik dari respon komposit Cu-10%Sn, pada kondisi ini terdapat dua mekanisme transport massa yaitu *surface transport* dan *bulk transport*.



**Gambar 4.18** Pengaruh waktu tahan sintering terhadap kekuatan tekan



**Gambar 4.19** Pengaruh waktu tahan sintering terhadap kekerasan



Gambar 4.19 menunjukkan hasil uji kekerasan pada komposit setelah dilakukan sintering. Dari data tersebut, dengan meningkatnya temperatur sintering maka kekerasan juga meningkat, tetapi hal ini hanya sebatas hingga sintering temperatur 500 °C. Dan kekerasan menurun jika temperatur terus naik melebihi 500 °C. Berarti temperatur yang optimum untuk menghasilkan sifat mekanik kekerasan yaitu ketika dilakukan sintering maksimal temperatur 500 °C. kecenderungan nilai kekerasan ini sedikit berbeda dengan yang ditunjukkan oleh kekuatan tekan, yang dengan meningkatnya temperatur diikuti dengan meningkatnya kekuatan tekan dari komposit.



## 4.2 Pembahasan

Sintering yang dilakukan pada produk metalurgi serbuk dengan tujuan dapat meningkatkan propertis akhir sesuai yang diinginkan. Adanya perubahan propertis ini tidak akan begitu berarti apabila tidak disertai perubahan struktur mikro pada komposit metalurgi serbuk. Untuk mengetahui hal tersebut, digunakan analisa uji SEM. Serta detektor yang digunakan untuk analisa ialah *backscatter electron*, karena detektor ini dapat membedakan fase/unsur yang berbeda dengan menunjukkan perbedaan intensitas warna.

Gambar 4.8 merupakan hasil SEM dengan detektor *backscatter electron* yang dapat membedakan fase yang berlainan dengan intensitas warna. Pada Gambar 4.8a terlihat bahwa distribusi fase intermetalik yang heterogen didalam matrik Cu. Pencampuran dan kompaksi awal dari serbuk tembaga dan serbuk timah yang menentukan lokasi dari fase intermetalik dan porositas pada struktur akhir. Fase intermetalik ini adalah keadaan dimana posisi serbuk timah ketika masih dalam bentuk *green body* (Banovic, 2007). Fase  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  ini terbentuk sebagai akibat dari diffusi Sn cair ke Cu padat dengan batas kelarutan tertentu. Selain itu, terlihat juga ada dua macam distribusi porositas yang ditunjukkan oleh Gambar 4.8a yaitu porositas pada batas butir dan porositas didalam batas butir. Hal ini sesuai dengan yang dijelaskan oleh German (1996) sebagaimana telah dikutip pada bab 2 sebelumnya, lebih jelaskan ditunjukkan pada Gambar 2.11.

Dari hasil analisa pada Gambar 4.17a dijelaskan bahwa porositas pada batas butir akan cepat menyusut, fenomena ini terjadi dikarenakan adanya *pore elimination*. *Pore elimination* adalah proses melepasnya porositas yang terdapat pada batas butir. Dengan adanya fenomena *pore elimination* ini mengakibatkan sinter density yang dihasilkan tinggi dengan meningkatnya temperatur sintering seperti pada Gambar 4.16a. Sedangkan porositas dalam butir penyusutannya lebih lambat, sehingga ketika sintering dilakukan pada temperatur 300-500 °C akan meninggalkan porositas dalam butir seperti yang



ditunjukkan oleh Gambar 4.10a. Apabila sintering ini dilakukan dengan waktu yang semakin lama, maka porositas dalam butir tersebut akan tumbuh atau bisa dikata terjadi *pore coarsening* seperti pada Gambar 4.17b. Pore coarsening dapat menurunkan densitas sinter yang akan dihasilkan. Gambar 4.16b menunjukkan fenomena ini.

Pada Gambar 4.8b dan Gambar 4.12b terbentuk ikatan antar-muka antara fase intermetalik dengan matrik Cu, fase intermetalik tersebut yaitu  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  dan  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  pada komposit Cu-10%Sn yang disinter pada temperatur 300 °C yang ditunjukkan dari hasil analisa XRD pada Gambar 4.5. Fase intermetalik yang terbentuk disini berperan sebagai pengikat mekanik antar serbuk Cu. Hal ini bisa diamati bahwa serbuk tembaga tidak berikatan secara metalurgi selama perlakuan panas pada temperatur rendah serta bisa terlihat terpisah antar partikel ketika mengamati mode kegagalan selama *diametral compression testing* (Banovic, 2007). Hasil uji SEM Ikatan antar-muka pada komposit Cu-10%Sn seperti pada Gambar 4.8b dan 4.12b nampak fase intermetalik yang terbentuk berbeda yaitu  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  dan  $\text{Cu}_{10}\text{S}_3$  secara berurutan, perbedaan fase intermetalik yang terbentuk ini juga ditunjukkan dari hasil analisa XRD yaitu pada Gambar 4.5 dan 4.6. Terbentuknya fase yang berbeda ini dipengaruhi oleh laju difusi, yang mana dijelaskan dengan hukum Fick's I pada bab 2, yaitu persamaan 2.8. Dengan semakin meningkatnya temperatur maka laju difusi semakin meningkat, akibatnya difusi yang terjadi antara matrik Cu dan timah (Sn) cair terjadi secara sempurna. Gambar 4.12c;d dan Gambar 4.14 yang merupakan sintering pada temperatur 700 °C, menunjukkan difusi terjadi secara sempurna yang ditandai dengan tidak adanya perbedaan warna pada hasil SEM *beckscatter electron*. Hal ini sesuai dengan hasil analisa XRD yang menunjukkan bahwa sudah tidak teridentifikasi serbuk Cu pada komposit Cu-10%Sn yaitu pada Gambar 4.7.

Dari hasil analisa XRD pada Gambar 4.7 ada fenomena yang menarik untuk didiskusikan, yaitu pada analisa fase



komposit Cu-10%Sn sintering 700 °C dan waktu tahan 90 menit. Pada hasil XRD tersebut, fase yang teridentifikasi hanya fase  $\text{Cu}_{41}\text{Sn}_{11}$  yang berbeda dengan hasil XRD pada komposit Cu-10%Sn dengan sintering yang lain. Fase tunggal yang teridentifikasi ini sangat berpengaruh pada sifat mekanik yang dimiliki oleh komposit Cu-10%Sn. Pengaruh tersebut seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.18 dimana kekuatan tekan yang dimiliki komposit sangat tinggi dan tidak sesuai dengan tren yang ditunjukkan oleh kekuatan tekan komposit Cu-10%Sn dengan perlakuan sintering yang lain.

Gambar 4.8c mendiskripsikan porositas yang diakibatkan oleh difusi volum, porositas merupakan bekas tempat dari timah cair. Bisa dipastikan bahwa sebelumnya telah terjadi pembasahan pada batas butir tembaga oleh timah cair. Mekanisme pembasahan ini salah satu aspek penting dalam *liquid phase sintering* (LPS). Dari Gambar 4.8c juga bisa dilihat bahwa bentuk dari fase padat sudah tidak beraturan lagi, hal ini bisa dijelaskan dengan menggunakan persamaan 2.7. Pada keadaan setimbang, tegangan permukaan tidak mengakibatkan deformasi pada fase padat. Tetapi pada keadaan yang tidak setimbang, misal tegangan permukaan cair-uap meningkat maka akan mengubah sudut kontak antar fase padat dan cair. Perubahan ini mengakibatkan kondisi yang tidak setimbang dari persamaan Young's dan menyebabkan terjadinya deformasi pada permukaan fase padat (tembaga).





## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Semakin tinggi temperatur sintering, laju difusivitas semakin meningkat. Pada temperatur 300 °C, terbentuk dua macam ikatan antar-muka yaitu ikatan antara Cu matrik dengan fase intermetalik ( $\text{Cu}_3\text{Sn}$ ,  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ ) dan sesama fase intermetalik. Pada temperatur 700 °C, hanya terbentuk ikatan antar muka sesama fase intermetallic ( $\text{Cu}_{41}\text{Sn}_{11}$ ,  $\text{Cu}_{81}\text{Sn}_{21}$ ).
2. Fase intermetalik yang terbentuk di antar muka komposit Cu-10%Sn adalah  $\text{Cu}_3\text{Sn}$ ,  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ ,  $\text{Cu}_{10}\text{Sn}_3$ ,  $\text{Cu}_{41}\text{Sn}_{11}$ , dan  $\text{Cu}_{81}\text{Sn}_{21}$ .
3. Pada waktu tahan 60 menit tidak terjadi ikatan antar muka, karena adanya porositas.
4. Komposit Cu-10%Sn pada sintering temperatur 500 °C dan waktu tahan selama 60 menit sesuai untuk aplikasi peluru frangible.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan hasil penelitian maka hal-hal yang dapat disarankan adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan pengujian lebih lanjut pada sintering temperatur 500 °C dan waktu tahan selama 60 menit.
2. Pengujian kemampuan cetak komposit Cu-10%Sn pada kelongsong.
3. Pengujian tembak untuk mengetahui tingkat ketelitian proyektil.



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## DAFTAR PUSTAKA

- Al-Qureishi, H.A. dkk. 2008. "Analysis of The Fundamental Parameter of Cold Die Compaction of Powder Metallurgy". **Journal of Materials Processing Technology** 199 (2008) 417-424
- Banovic, S.W. 2007. "Microstrutural Characterization and Mechanical Behavior of Cu-Sn Frangibl Bullets." **Materials Science and Engineering A** 460-461 (2007) 428-435
- Benini, Joseph C. 2001. **Frangible Metal Bullets, Ammunition, and Method of Making Such Articles**. Amerika Serikat. Nomer Paten : US 6,263,798 B1
- Carlucci dan Donald E. 2012. **Ballistics: Theory and Design of Guns and Ammunition**. New Jersey
- Chandrawan, David dan Myrna Ariati. 1999. **Metalurgi Serbuk: Teori dan Aplikasi Jilid I**, Depok.
- Chawla, K. Khrishan. 1987. **Composite Material: Science and Engineering**. London: Springer-Verlag
- Collins John M. And Don Mikko. 2000. **U.S. Military Green Bullet**. <URL: [http://www.firearmsid.com/Feature\\_Articles/GreenBullets/GreenBullets.htm](http://www.firearmsid.com/Feature_Articles/GreenBullets/GreenBullets.htm)>
- Dufosse, Thierry. 1998. " Comparison of Bullets Alloys by Chemical analysis: Use of ICP-MS Methode". **Forensic Science International**. 91. 197-206
- Ekawati, Dhian. 2008. **Pengaruh Temperatur Sintering Terhadap Karakteristik Komposit Aluminium Grafit dengan Wetting Agent Tembaga**. Depok
- Elliott, Kenneth H., 2004. **Medium Density Bronze Shot**. Paten Internasional: WO 2004/090464 A1
- Flores, E.A. 2011. "Balistic Performance of Multi Layered Metallic Plates Impacted by a 7.62 mm APM2 Projectile". **International Journal of Impact Engineering**. (38). 1022 - 1032
-



- German, Randall M. 1984. **Powder Metallurgy Science**. (USA: Metal powder Industries Federation,)
- Jones, W.D. 1960. **Fundamental Principles of Powder Metallurgy**. Edward Aronold. London.
- Joys, Jessu. 2009. **Lead Free Frangible Bullets**. Amerika Serikat. Nomor Paten: US 8,225,718 B2
- Kelter, Rick. 2011. **Cast Bullet Alloys & Alloy Maintenance**. <URL: [www.lasc.us/Kelter\\_Cast\\_Bullet\\_Alloys2.pdf](http://www.lasc.us/Kelter_Cast_Bullet_Alloys2.pdf)>
- Kruachaturrat, S dkk. 2009. "Sintering Cu-Sn Materials for Frangible Bullets." **The 3rd Thailand Metallurgy Conference (TMETC-3): Metallurgical Research for Thailand Development**. Bangkok, Thailand
- Martinelli, Dean. 2010. "Corrosion Materials/Process Development for 5,56mm Green Ammunition." **NDCEE**
- Mikko, Don., Michael Kelley dan Jerry Miller. 2008. Frangible Bullets, Dynamic Research Technolgies. **AFTE Journal**- Volume 40 Number 1—Winter 2008
- Nadkarni, Anil V., 2003. **Lead-Free Frangible Bullets and Process for Making Same**. Amerika Serikat Nomor Paten: US 6,536,352 B1
- Nematzadeh, M. 2012. Compressive Strength and Modulus of Elasticity of Freshly Compressed Concrete. **Construction and Bulding Materials**. 34. 476 - 485
- Petraco, N., DeForest. P. 1990. "Trajectory Reconstructions I: Trace Evidence in Flight". **Journal of Forensic Sci**. 35 (6), 1284-1296
- R.L. Hewitt, W. Wallace dan M.C. Demalherbe, **Plastic Deformation in Metal Powder Compaction** (Powder Met., 1971, vol 17, hal.1-12)
- Rydlo, M. 2010. "Theoretical Criterion for Evaluation of the Frangibility Factor". **Advances in Military Technology** Vol.5, No. 2
- RUAG 308 Frangible Ammunition. **Catalogue Law Enforcement Targets. Inc**. Blaine, USA

- Schwartz, Mel M. 1984. **Composite Materials Handbook**. United States of America: McGraw-Hill
- Sulistijono. 2012. **Mekanika Material Komposit**. Surabaya: ITSPress.
- Tan A.C., editor. 1993. **Tin and Solder Plating in the Semiconductor Industry**. London: Chapman and Hall
- Tiara, Bondan. 1996. **Pengaruh Kandungan Sn Dan Variabel Proses Metalurgi Serbuk Terhadap Karakteristik Paduan Dari Serbuk Cu Dan Sn**. Depok
- Towsley, Bryce M., 2011. **Frangible Ammo**, <URL: <http://www.shootingillustrated.com/index.php/7782/frangible-ammo/>>
- Upadhyaya, A. dkk. 2002. "Densification of Pre-mixed and Prealloyed Cu-12Sn Bronze During Microwave and Conventional Sintering. **Federation Princeton, NJ, USA**, 13 pp 364-375
- Von See, C., K. H. Bormann, P. Schumann, F. Goetz, N.C. Gellrich, dan M. Rücker. "Forensic Imaging of Projectiles Using Cone-Beam Computed Tomography". **Forensic Sci Int**. 2009 Sep 10;190(1-3):38-41.
- Waldron, M.B. dan B. L. Daniel. 1978. **Sintering**. London : Hayden & Sons.
- \_\_\_\_\_. 1992. **ASM Metal Handbook Volume 2 Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials**. Ohio: ASM International
- \_\_\_\_\_. 1992. **ASM Metal Handbook Volume 3 Alloy Phase Diagrams**. Ohio: ASM International
- \_\_\_\_\_. 1998. **ASM Metal Handbook Volume 7 Powder Metal Technologies and Applications**. Ohio: ASM International
- \_\_\_\_\_. 2000. **ASM Metal Handbook Volume 8 Mechanical Testing and Evaluation**. Ohio: ASM International
- \_\_\_\_\_. 2005. ASTM E 140. **Standard Hardness Conversion Tables for Metals Relationship Among Brinell**



LAPORAN TUGAS AKHIR

---

**Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Superficial Hardness, Knoop Hardness, and Scleroscope Hardness.** ASTM International USA

\_\_\_\_\_. 2007. **International Journal of Powder Metallurgy.** New Jersey: APMI International



**LAMPIRAN I**  
**PERHITUNGAN GREEN DENSITY**

Tabel I. Hasil Perhitungan Green Density

No.	$\Phi$ (mm)	Tinggi (mm)	Berat (gram)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )
1	14.45	15.85	18.72	2.60	7.21
2	14.45	15.65	18.55	2.57	7.23
3	14.45	15.65	18.73	2.57	7.30
4	14.45	15.8	18.59	2.59	7.18
5	14.45	15.85	18.67	2.60	7.19
6	14.42	15.55	18.41	2.54	7.25
7	14.45	15.9	18.58	2.61	7.13
8	14.45	16	18.7	2.62	7.13
9	14.45	15.1	17.79	2.48	7.19
10	14.45	15.5	18.29	2.54	7.20
11	14.45	15.3	17.96	2.51	7.16
12	14.45	15.3	18.11	2.51	7.22
13	14.45	16.5	19.34	2.70	7.15
14	14.45	16	18.61	2.62	7.10
15	14.45	15.85	18.54	2.60	7.14
16	14.45	15.65	18.4	2.57	7.17
17	14.45	15.85	18.61	2.60	7.16
18	14.45	15.6	18.08	2.56	7.07
19	14.45	15.8	18.53	2.59	7.16
20	14.45	15.6	18.36	2.56	7.18
21	14.45	15.65	18.16	2.57	7.08
22	14.45	15.5	18.18	2.54	7.16
23	14.45	16	18.81	2.62	7.17
24	14.45	15.9	18.49	2.61	7.09



## LAPORAN TUGAS AKHIR

25	14.45	16.1	18.67	2.64	7.07
26	14.45	15.65	18.19	2.57	7.09
27	14.45	16	18.54	2.62	7.07
28	14.5	14.5	17.23	2.39	7.20
29	14.5	14.65	17.42	2.42	7.20
30	14.5	15.15	18.03	2.50	7.21
31	14.5	15	17.79	2.48	7.19
32	14.5	14.6	17.29	2.41	7.18
33	14.45	15.6	18.27	2.56	7.15
34	14.5	15.6	18.36	2.57	7.13
35	14.5	15.5	18.06	2.56	7.06
36	14.5	15	17.82	2.48	7.20
Densitas rata-rata					7.16





## LAMPIRAN II PERHITUNGAN SINTER DENSITY

Tabel II. Hasil Perhitungan Sinter Density

Temperatur (°C)	Waktu Tahan (menit)	W1 (gram)	W2 (gram)	W3 (gram)	Sinter density (gram/cm <sup>3</sup> )	Rata-rata
300	30	17.71	17.71	17.48	7.37	7.42
		17.95	17.95	17.68	7.40	
		17.34	17.35	17.17	7.51	
		17.12	17.12	16.97	7.40	
	60	18.53	18.53	18.14	7.14	7.19
		18.36	18.37	18.02	7.15	
		18.4	18.4	18.02	7.27	
		18.05	18.05	17.73	7.20	
	90	18.66	18.67	18.25	7.17	7.30
		18.04	18.04	17.74	7.28	
		18.04	18.04	17.72	7.45	
		18.24	18.25	17.9	7.30	
500	30	18.36	18.37	17.96	7.66	7.67
		18.05	18.08	17.66	7.73	
		18.45	18.47	18.05	7.59	
		18.23	18.25	17.87	7.70	
	60	18.28	18.45	17.8	7.57	7.51
		18.39	18.55	17.94	7.58	
		19.09	19.36	18.66	7.39	
		17.88	18	17.56	7.50	
	90	17.68	17.69	17.28	7.55	7.56
		18	18.02	17.59	7.58	



## LAPORAN TUGAS AKHIR

		17.51	17.52	17.18	7.63	
		18.35	18.45	17.77	7.48	
700	30	18.24	18.3	17.83	8.06	7.94
		18.32	18.34	18.03	8.00	
		17.03	17.02	16.78	7.80	
		17.82	17.85	17.51	7.90	
	60	18.4	18.55	18	7.68	7.80
		18.32	18.56	18.11	7.90	
		17.9	17.93	17.58	7.84	
		17.61	17.65	17.33	7.78	
	90	17.44	17.41	17.23	7.87	7.81
		18.45	18.46	17.98	7.91	
		18.27	18.35	17.86	7.96	
		18.45	18.56	18.05	7.50	

Pengujian *sinter density* menggunakan Prinsip Archimedes (German, 1996). Adapun perhitungannya menggunakan persamaan berikut:

$$\rho = \frac{W1 \cdot \rho_w}{W2 - (W3 - Ww)}$$

Dimana:

- $\rho$  = *sinter density* (g/cm<sup>3</sup>)
- $\rho_w$  = densitas air (g/cm<sup>3</sup>)
- $W1$  = massa kering (g)
- $W2$  = massa basah (g)
- $W3$  = massa didalam air (g)
- $Ww$  = massa benang (g)



### LAMPIRAN III PERHITUNGAN POROSITAS

Tabel III. Hasil Perhitungan Porositas

Temperatur (°C)	Waktu Tahan (menit)	Densitas Sinter (gr/cm <sup>3</sup> )	Densitas Teori (gr/cm <sup>3</sup> )	Porositas (%)
300	30	7.42	8.80	16.00
	60	7.19		18.00
	90	7.30		17.00
500	30	7.67		13.00
	60	7.51		15.00
	90	7.56		14.00
700	30	7.94		9.00
	60	7.80		11.00
	90	7.81		11.00

Perhitungan porositas pada komposit dapat diketahui dari densitas teoritik dan densitas sinter pada komposit tersebut Effendi (2008). Perhitungannya dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\Phi = [1 - (\rho_s / \rho_t)] \times 100\%$$

Di mana;

$\Phi$  = Porositas

$\rho_s$  = Sinter Density (gr/cm<sup>3</sup>)

$\rho_t$  = densitas teoritik (gr/cm<sup>3</sup>)



---

LAPORAN TUGAS AKHIR

---

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**LAMPIRAN IV**  
**HASIL UJI KEKERASAN**

Tabel IV. Hasil Uji Kekerasan

Temperatur (°C)	Waktu Tahan (menit)	Kekerasan pada Titik (HRF)						Rata- rata
		1	2	3	4	5	6	
300	30	24	26	25	26	27	24	25.33
	60	51	54	53	55	53	53	53.17
	90	51	51	52	50	53	51	51.33
500	30	51	50	51	47	47	49	49.17
	60	69	54	61	60	59	61	60.67
	90	49	51	50	50	48	48	49.33
700	30	34	36	35	34	34	32	34.17
	60	34	33	33	35	37	35	34.50
	90	19	20	23	21	22	23	21.33



---

LAPORAN TUGAS AKHIR

---

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



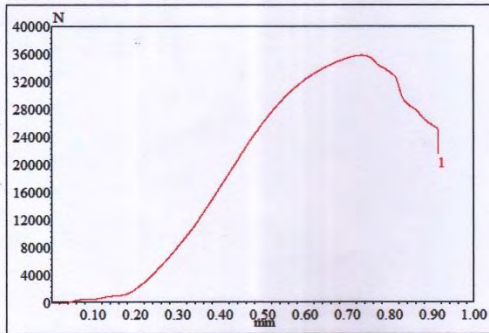
## LAMPIRAN IV HASIL UJI KEKERASAN

### 1. Sintering 300 oC, Waktu Tahan 30 menit



Laboratorium Metalurgi  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Compression Test



Specimen Code	Diameter mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compressive Strength MPa
Cu10Sn-33	14.00	153.94	35836.12	232.80
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---

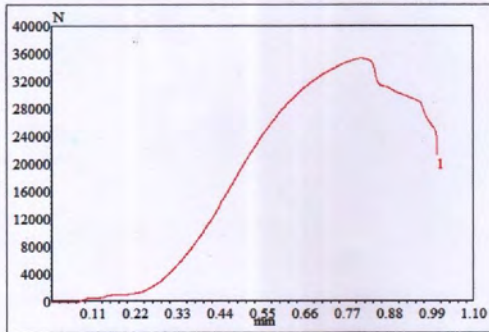


# LAPORAN TUGAS AKHIR



**Laboratorium Metalurgi**  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

## Compression Test



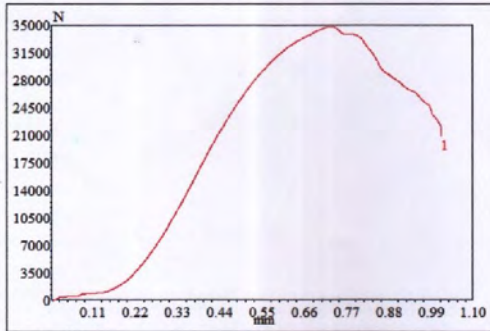
Specimen Code	Diameter mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compressive Strength MPa
Cu10Sn-34	14.00	153.94	35342.31	229.59
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---





Laboratorium Metalurgi  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Compression Test



Specimen Code	Diameter mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compressive Strength MPa
Cu10Sn-36	14.00	153.94	34820.06	226.20
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---

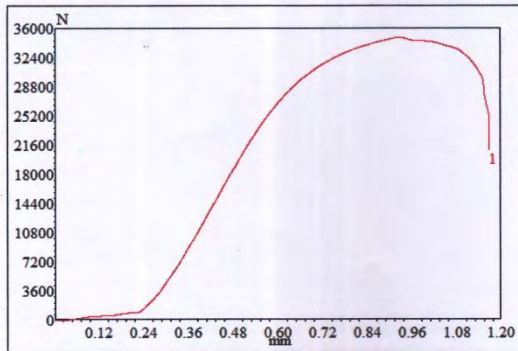


## 2. Sintering 300 oC, Waktu Tahan 60 menit



Laboratorium Metalurgi  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

### Compression Test

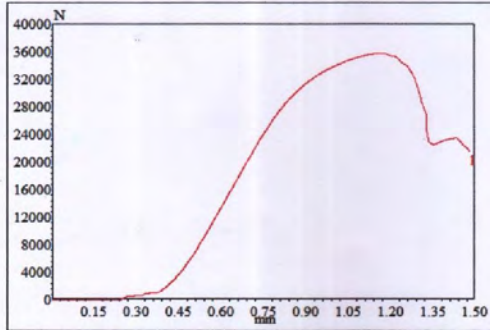


Specimen Code	Diameter mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compressive Strength MPa
Cu10Sn-29	14.45	163.99	34913.79	212.90
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---



**Laboratorium Metalurgi**  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

**Compression Test**



Specimen Code	Diameter mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compressive Strength MPa
Cu10Sn-31	14.45	163.99	35828.82	218.48
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---

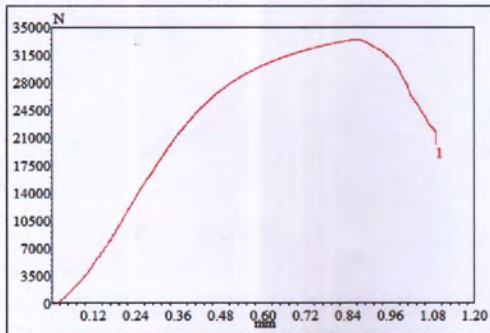


# LAPORAN TUGAS AKHIR



**Laboratorium Metalurgi**  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

## Compression Test



Specimen Code	Diameter mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compressive Strength MPa
Cu10Sn-32	14.45	163.99	33460.53	204.04
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---

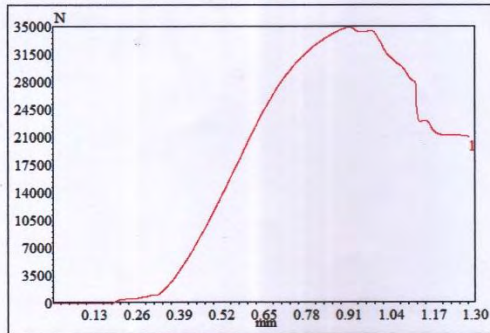


### 3. Sintering 300 oC, Waktu Tahan 90 menit



Laboratorium Metalurgi  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Compression Test



Specimen Code	Diameter mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compressive Strength MPa
Cu10Sn-25	14.45	163.99	34896.64	212.79
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---

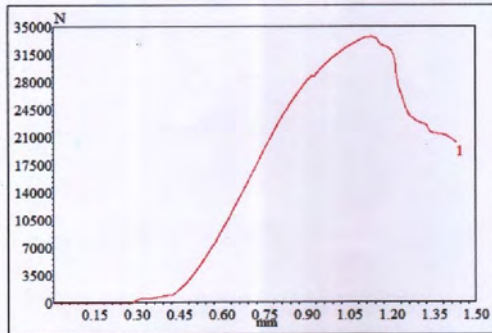


# LAPORAN TUGAS AKHIR



**Laboratorium Metalurgi**  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

## Compression Test

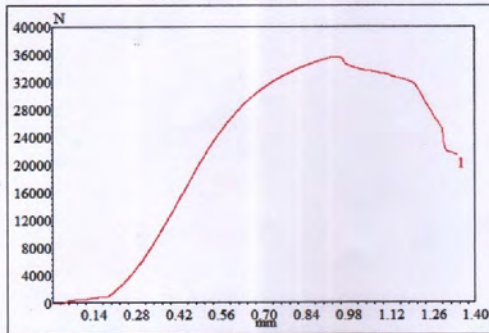


Specimen Code	Diameter mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compressive Strength MPa
Cu10Sn-26	14.45	163.99	33732.44	205.69
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---



Laboratorium Metalurgi  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Compression Test



Specimen Code	Diameter mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compressive Strength MPa
Cu10Sa-27	14.45	163.99	35690.14	217.63
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---



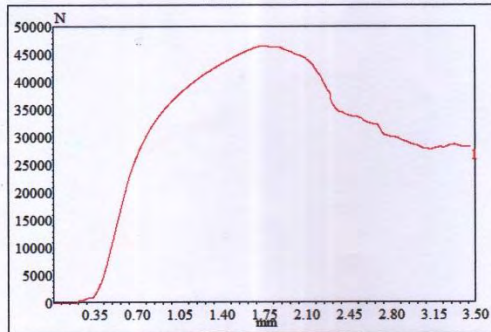


#### 4. Sintering 500 oC, Waktu Tahan 30 menit



Laboratorium Metalurgi  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Compression Test



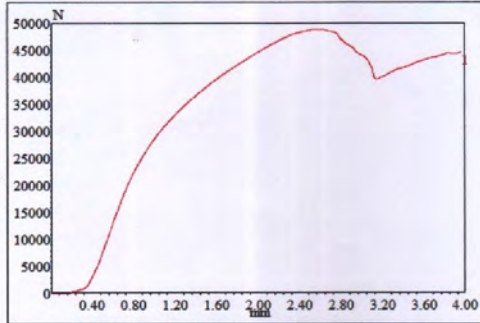
Specimen Code	Diameter mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compressive Strength MPa
Cu10Sn-21	14.45	163.99	46506.37	283.59
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---





Laboratorium Metalurgi  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Compression Test



Specimen Code	Diameter mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compressive Strength MPa
Cu10Sn-23	14.45	163.99	48953.06	298.51
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---

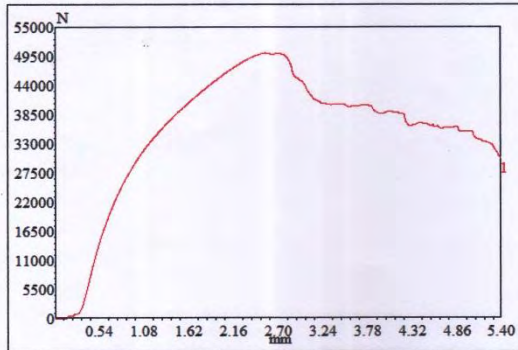


# LAPORAN TUGAS AKHIR



**Laboratorium Metalurgi**  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

## Compression Test



Specimen Code	Diameter mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compressive Strength MPa
Cu10Sn-24	14.45	163.99	50162.24	305.88
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---

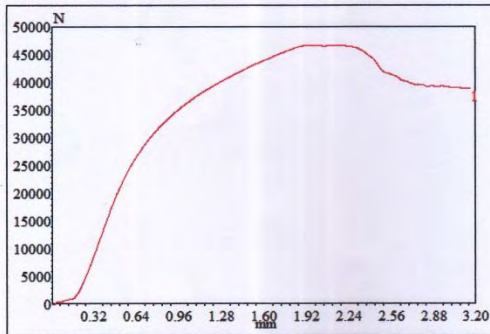


## 5. Sintering 500 oC, Waktu Tahan 60 menit



Laboratorium Metalurgi  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

### Compression Test



Specimen Code	Diameter mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compressive Strength MPa
Cu10Sn-17	14.45	163.99	46660.92	284.53
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---

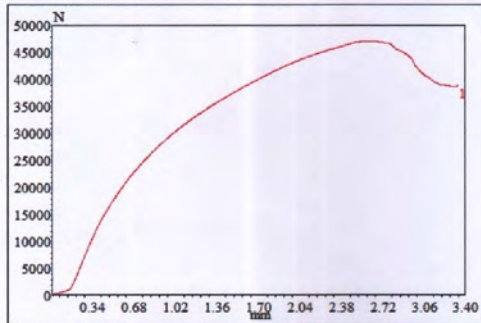


# LAPORAN TUGAS AKHIR



**Laboratorium Metalurgi**  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

## Compression Test

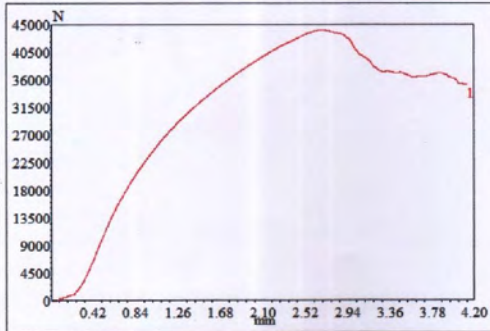


Specimen Code	Diameter mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compressive Strength MPa
Cu10Sn-19	14.45	163.99	47158.45	287.56
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---



**Laboratorium Metalurgi**  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

**Compression Test**



Specimen Code	Diameter mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compressive Strength MPa
Cu10Sn-20	14.45	163.99	44155.05	269.25
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---



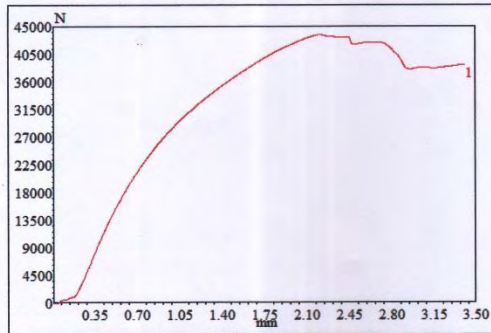
## LAPORAN TUGAS AKHIR

### 6. Sintering 500 oC, Waktu Tahan 90 menit



Laboratorium Metalurgi  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Compression Test

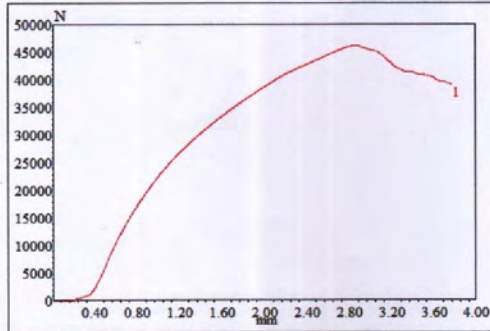


Specimen Code	Diameter mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compressive Strength MPa
Cu10Sn-14	14.45	163.99	43682.09	266.37
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---



Laboratorium Metalurgi  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Compression Test



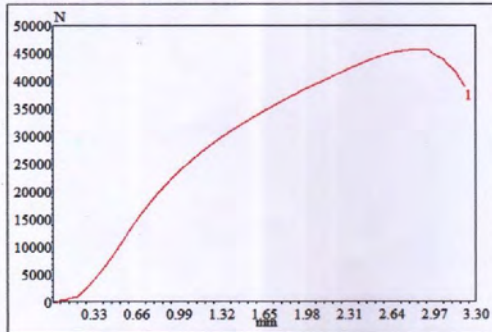
Specimen Code	Diameter mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compressive Strength MPa
Cu10Sn-15	14.45	163.99	46136.69	281.33
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---





**Laboratorium Metalurgi**  
 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
 Fakultas Teknologi Industri  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

**Compression Test**



Specimen Code	Diameter mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compressive Strength MPa
Cu10Sn-16	14.45	163.99	45744.88	278.94
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---



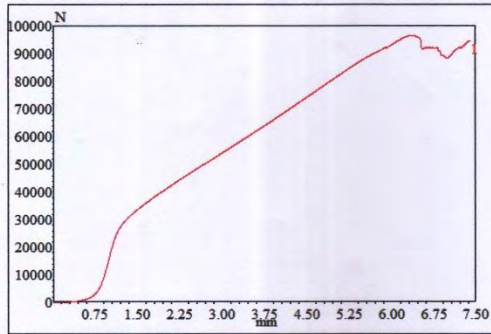


## 7. Sintering 700 oC, Waktu Tahan 30 menit



Laboratorium Metalurgi  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

### Compression Test



Specimen Code	Diameter mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load	
			N	Compressive Strength MPa
Cu10Sn-10	14.42	163.31	96632.71	591.70
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---

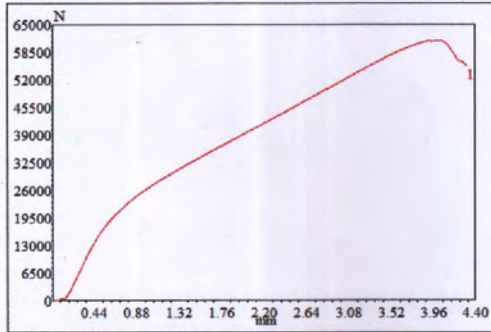


# LAPORAN TUGAS AKHIR



**Laboratorium Metalurgi**  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

## Compression Test

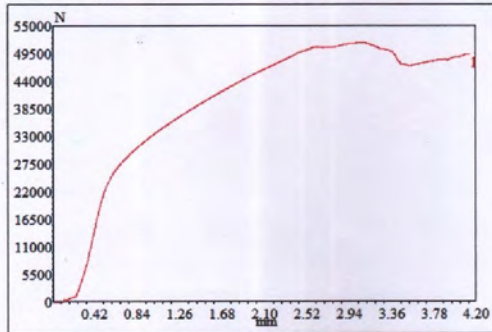


Specimen Code	Diameter mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compressive Strength MPa
Cu10Sn-37	14.50	165.13	61248.51	370.91
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---



Laboratorium Metalurgi  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Compression Test



Specimen Code	Diameter mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compressive Strength MPa
Cu10Sn-38	14.45	163.99	51647.46	314.94
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---



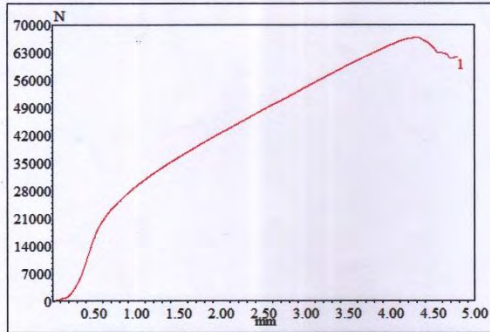
## LAPORAN TUGAS AKHIR

### 8. Sintering 700 oC, Waktu Tahan 60 menit



Laboratorium Metalurgi  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

#### Compression Test

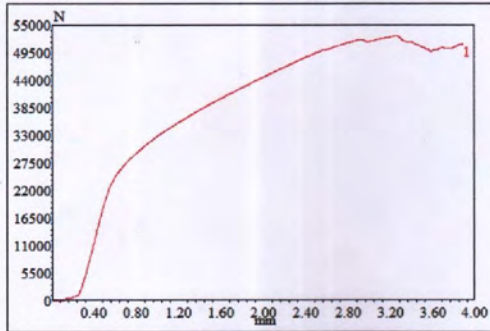


Specimen Code	Diameter mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compressive Strength MPa
Cu10Sn-4	14.45	163.99	66841.56	407.59
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---



Laboratorium Metalurgi  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Compression Test



Specimen Code	Diameter mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compressive Strength MPa
Cu10Sn-39	14.50	165.13	52877.76	320.22
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---

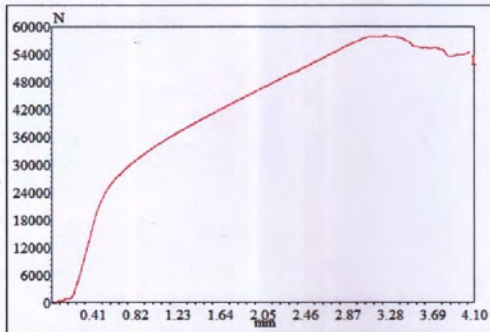


# LAPORAN TUGAS AKHIR



**Laboratorium Metalurgi**  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

## Compression Test



Specimen Code	Diameter mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compressive Strength MPa
Cu10Sn-40	14.50	165.13	58036.37	351.46
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---



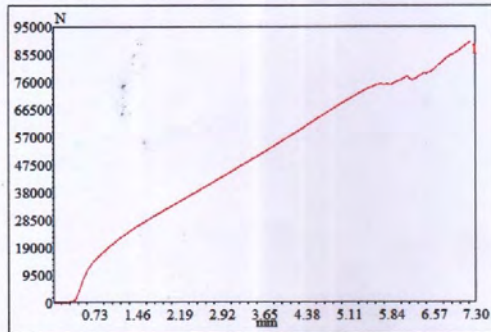


## 9. Sintering 700 oC, Waktu Tahan 90 menit



Laboratorium Metalurgi  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

### Compression Test



Specimen Code	Diameter mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compressive Strength MPa
Cu10Sn-2	14.45	163.99	90207.95	550.07
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---

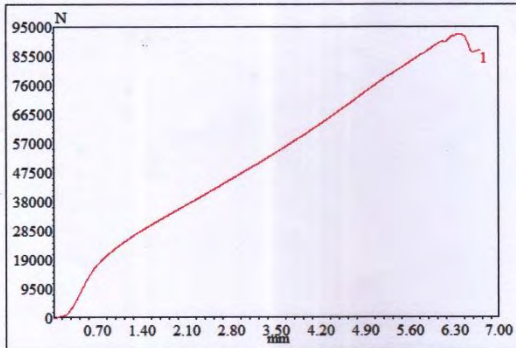


# LAPORAN TUGAS AKHIR



**Laboratorium Metalurgi**  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

## Compression Test



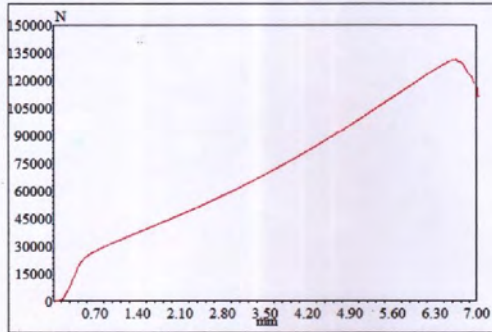
Specimen Code	Diameter mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compressive Strength MPa
Cu10Sn-3	14.45	163.99	92687.14	565.19
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---





Laboratorium Metalurgi  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Compression Test



Specimen Code	Diameter mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compressive Strength MPa
Cu10Sn-41	14.50	165.13	131485.20	796.25
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---



---

LAPORAN TUGAS AKHIR

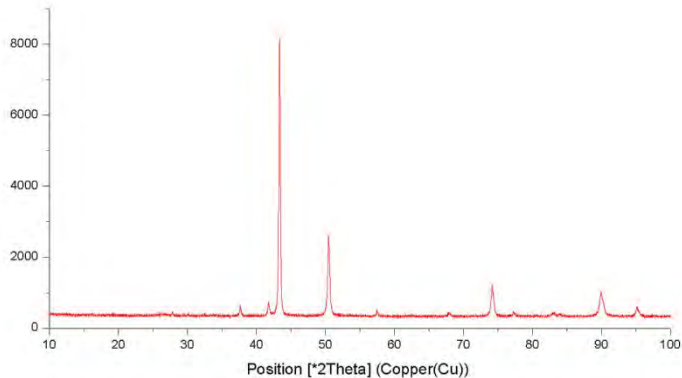
---

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*



**LAMPIRAN V**  
**HASIL ANALISA XRD**

**1. Sintering 300 °C, Waktu Tahan 30 menit**

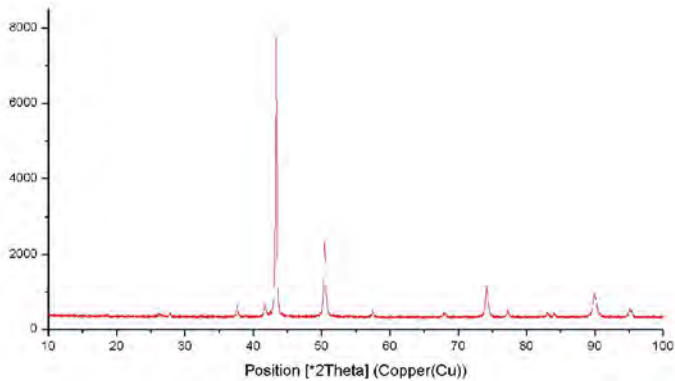


**Peak List**

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
26.3102	40.01	0.8029	3.38742	0.52
27.7891	76.85	0.2007	3.21043	0.99
30.1105	45.33	0.2007	2.96799	0.58
37.6162	300.95	0.0836	2.39124	3.88
41.7346	380.04	0.0669	2.16431	4.90
43.3231	7750.95	0.1836	2.08683	100.00
43.4506	4473.49	0.0816	2.08618	57.72
50.4383	2240.40	0.1836	1.80787	28.90
52.4638	24.03	0.1224	1.74274	0.31
57.4067	134.71	0.0816	1.60387	1.74
67.9464	99.86	0.2856	1.37848	1.29
74.1328	829.64	0.2448	1.27799	10.70
77.2160	123.53	0.1224	1.23448	1.59
82.9412	92.38	0.3264	1.16318	1.19
83.9166	59.69	0.4080	1.15213	0.77
89.9688	623.15	0.3264	1.08966	8.04
93.9191	25.57	0.2448	1.05394	0.33
95.1016	225.84	0.2040	1.04394	2.91



## 2. Sintering 300 °C, Waktu Tahan 60 menit

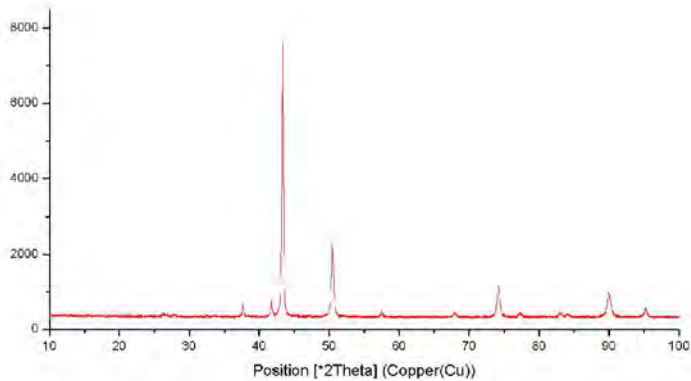


### Peak List

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
27.8431	71.66	0.1673	3.20432	0.98
32.4325	35.45	0.3346	2.76061	0.48
37.6477	304.94	0.1004	2.38932	4.16
41.7242	367.15	0.1004	2.16483	5.01
43.3278	7334.29	0.1632	2.08662	100.00
43.4495	4253.10	0.0612	2.08623	57.99
50.4375	1986.47	0.1020	1.80789	27.08
50.5570	1572.61	0.1020	1.80390	21.44
57.4258	162.98	0.1632	1.60338	2.22
67.8701	100.41	0.2040	1.37984	1.37
74.0878	863.69	0.0816	1.27866	11.78
74.3433	564.55	0.2040	1.27490	7.70
77.2544	155.96	0.1224	1.23396	2.13
82.9364	121.46	0.1632	1.16323	1.66
83.9618	116.73	0.1224	1.15162	1.59
89.9320	650.39	0.2448	1.09001	8.87
90.1477	492.42	0.2856	1.08797	6.71
95.1349	232.94	0.1632	1.04366	3.18



### 3. Sintering 300 °C, Waktu Tahan 90 menit

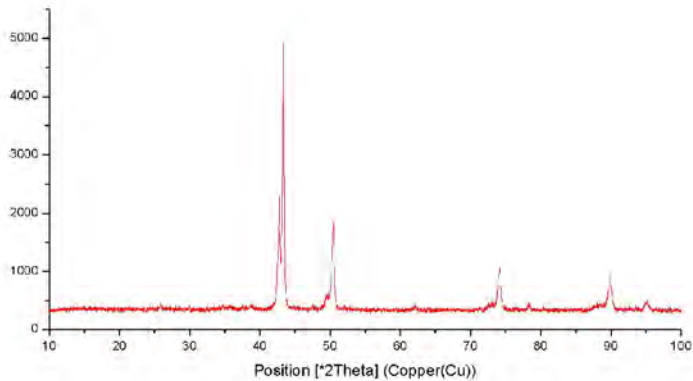


#### Peak List

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
26.3418	74.17	0.3346	3.38344	0.99
27.7735	65.77	0.2676	3.21219	0.88
32.3933	41.99	0.2007	2.76386	0.56
37.6765	290.69	0.1673	2.38756	3.88
41.7320	398.96	0.0502	2.16444	5.33
43.3202	7489.31	0.1836	2.08697	100.00
43.4558	4032.86	0.0816	2.08594	53.85
50.4273	1936.50	0.1836	1.80823	25.86
57.4254	184.57	0.1020	1.60339	2.46
67.9683	111.47	0.4896	1.37808	1.49
74.1400	868.79	0.1224	1.27789	11.60
74.3180	622.79	0.1632	1.27527	8.32
77.2015	144.67	0.1224	1.23467	1.93
82.9933	121.31	0.4080	1.16258	1.62
84.1251	62.50	0.6528	1.14980	0.83
89.8905	586.85	0.2856	1.09041	7.84
95.1348	217.26	0.2448	1.04366	2.90



#### 4. Sintering 500 °C, Waktu Tahan 30 menit

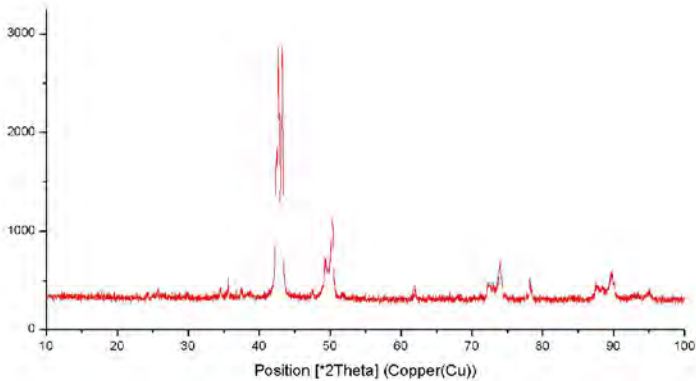


#### Peak List

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
25.8661	90.83	0.1004	3.44457	1.97
29.9602	49.26	0.1004	2.98253	1.07
34.7101	63.18	0.2676	2.58451	1.37
37.5497	73.62	0.1171	2.39533	1.60
42.4588	675.61	0.1338	2.12906	14.65
42.7860	1932.18	0.0669	2.11353	41.89
43.3780	4612.95	0.1506	2.08605	100.00
47.5404	48.03	0.4015	1.91267	1.04
50.4560	1455.98	0.1171	1.80877	31.56
62.0283	100.98	0.1004	1.49624	2.19
64.0738	26.30	0.4015	1.45332	0.57
72.5325	84.95	0.2007	1.30327	1.84
74.1212	648.89	0.1338	1.27922	14.07
78.2326	180.30	0.0612	1.22096	3.91
89.9117	518.60	0.3011	1.09111	11.24
93.5020	44.67	0.1632	1.05755	0.97
95.0931	134.25	0.4015	1.04488	2.91



## 5. Sintering 500 °C, Waktu Tahan 60 menit

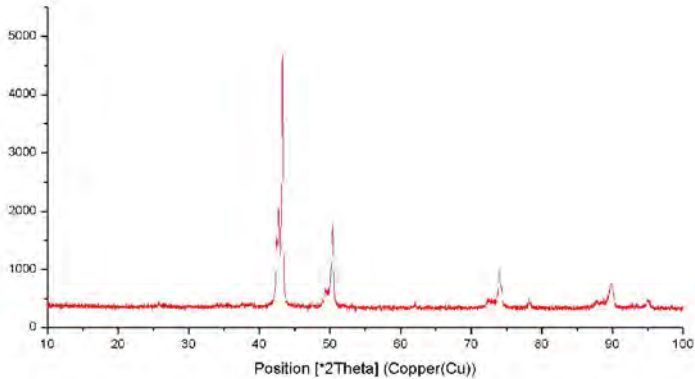


### Peak List

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
24.2294	36.54	0.2676	3.67342	1.47
25.7874	98.86	0.1338	3.45491	3.97
29.8325	34.99	0.4015	2.99501	1.41
34.5762	83.75	0.2007	2.59421	3.37
35.6281	204.95	0.0502	2.51999	8.24
37.4728	54.85	0.2676	2.40007	2.21
42.3571	1247.61	0.1338	2.13393	50.16
42.6977	2487.29	0.0669	2.11769	100.00
43.2904	2328.42	0.1840	2.09007	93.61
47.5122	56.38	0.2676	1.91374	2.27
50.4064	684.61	0.0669	1.81044	27.52
51.9052	38.97	0.5353	1.76163	1.57
61.9526	125.85	0.1004	1.49788	5.06
63.9806	21.73	0.4015	1.45521	0.87
72.2805	137.38	0.4015	1.30720	5.52
73.9946	344.13	0.2676	1.28110	13.84
78.1743	222.80	0.1020	1.22172	8.96
78.4299	113.47	0.1224	1.22141	4.56
87.4743	119.45	0.3264	1.11419	4.80
89.7509	237.62	0.6528	1.09174	9.55
92.9583	22.40	0.9792	1.06230	0.90
95.0255	63.03	0.5712	1.04458	2.53



## 6. Sintering 500 °C, Waktu Tahan 90 menit



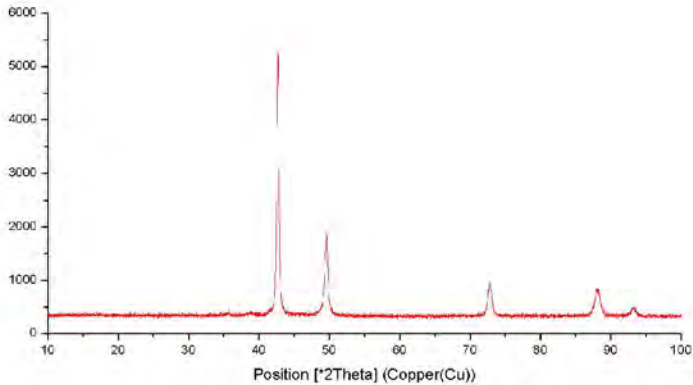
### Peak List

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
25.7307	43.93	0.2007	3.46239	1.02
34.5479	30.62	0.4015	2.59627	0.71
42.3480	900.22	0.0612	2.13260	20.93
42.6969	1634.72	0.0669	2.11773	38.00
43.2762	4301.98	0.1428	2.08899	100.00
43.4029	2159.75	0.0612	2.08836	50.20
47.5225	42.99	0.2448	1.91176	1.00
49.4375	316.36	0.2856	1.84210	7.35
50.3884	1397.25	0.0816	1.80954	32.48
62.0277	68.65	0.2448	1.49502	1.60
72.3139	103.37	0.4896	1.30559	2.40
74.0509	651.80	0.2448	1.27921	15.15
78.1630	133.53	0.1632	1.22187	3.10
87.7364	85.26	0.4896	1.11154	1.98
89.8754	431.00	0.1224	1.09055	10.02
94.9960	119.03	0.4080	1.04482	2.77





## 7. Sintering 700 °C, Waktu Tahan 30 menit

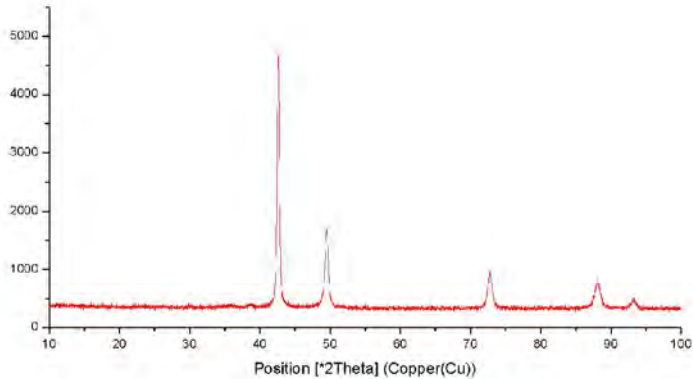


### Peak List

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
35.6561	36.36	0.6691	2.51807	0.78
38.8273	30.24	0.8029	2.31940	0.65
42.6405	4680.48	0.2509	2.12040	100.00
49.6743	1409.80	0.1171	1.83539	30.12
72.8141	610.33	0.2342	1.29893	13.04
88.3188	431.14	0.2007	1.10662	9.21
93.0357	112.62	0.6691	1.06250	2.41



## 8. Sintering 700 °C, Waktu Tahan 60 menit

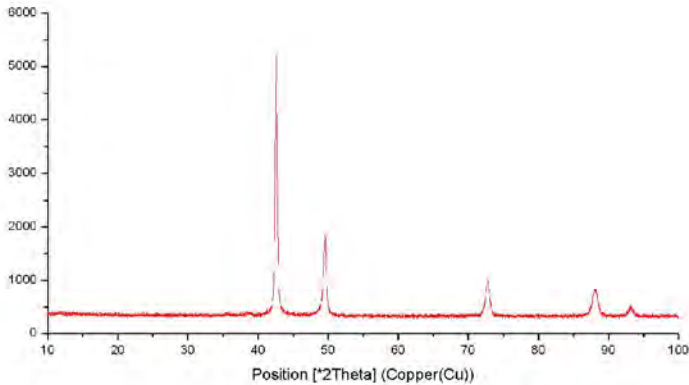


### Peak List

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
29.8608	24.23	0.2007	2.99224	0.57
42.6517	4240.74	0.2342	2.11987	100.00
49.6650	1143.77	0.1004	1.83571	26.97
72.7821	578.82	0.3264	1.29834	13.65
72.9843	508.89	0.2040	1.29846	12.00
88.1227	438.71	0.2856	1.10766	10.35
93.1380	130.49	0.4896	1.06072	3.08



## 9. Sintering 700 °C, Waktu Tahan 90 menit



### Peak List

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
35.6558	25.38	0.8029	2.51809	0.53
38.6977	35.37	0.8029	2.32688	0.73
42.5306	4126.47	0.0816	2.12387	85.55
42.6134	4823.60	0.1506	2.12169	100.00
49.6244	1428.17	0.0836	1.83712	29.61
72.7269	660.97	0.2676	1.30027	13.70
87.9396	442.14	0.6691	1.11041	9.17
93.0985	130.37	0.4684	1.06195	2.70



---

LAPORAN TUGAS AKHIR

---

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*



## LAMPIRAN VI REFERENCE CODE

### **Name and formula**

Reference code:	01-089-2838
Mineral name:	Copper, syn
Compound name:	Copper
Empirical formula:	Cu
Chemical formula:	Cu

### **Crystallographic parameters**

Crystal system:	Cubic
Space group:	Fm-3m
Space group number:	225
a (Å):	3.6151
b (Å):	3.6151
c (Å):	3.6151
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	90.0000
Volume of cell (10 <sup>6</sup> pm <sup>3</sup> ):	47.24
Z:	4.00
RIR:	8.86



## **Status, subfiles and quality**

Status:	Alternate Pattern
Subfiles:	Alloy, metal or intermetallic Common Phase Forensic ICSD Pattern Inorganic Mineral
Quality:	Indexed (I)

## **Comments**

ANX:	N
Creation Date:	11/20/2008
Modification Date:	1/19/2011
ANX:	N
Analysis:	Cu1
Formula from original source:	Cu
ICSD Collection Code:	43493
Calculated Pattern Original Remarks:	Cell for Cu-filings: 3.61595(5), m.p. 1356.6 K. Minor Warning: No R factors reported/abstracted. Wyckoff Sequence: a(FM3-M). Unit Cell Data Source: Single Crystal.

## **References**

Primary reference:	<i>Calculated from ICSD using POWD-12++</i>
Structure:	Otte, H.M., <i>J. Appl. Phys.</i> , <b>32</b> , 1536, (1961)

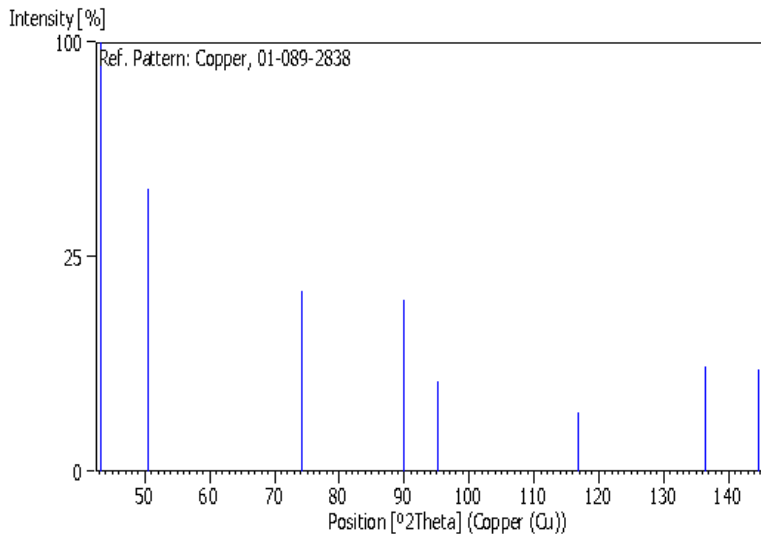
## **Peak list**



## LAPORAN TUGAS AKHIR

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	1	1	1	2.08720	43.315	100.0
2	2	0	0	1.80750	50.449	43.3
3	2	2	0	1.27810	74.126	17.6
4	3	1	1	1.09000	89.934	16.1
5	2	2	2	1.04360	95.143	4.4
6	4	0	0	0.90380	116.92	1.9
7	3	3	1	0.82930	136.51	5.9
8	4	2	0	0.80840	144.67	5.7

### **Stick Pattern**





## **Name and formula**

Reference code:	01-074-6752
Compound name:	Copper Tin
Empirical formula:	Cu <sub>3</sub> Sn
Chemical formula:	Cu <sub>3</sub> Sn

## **Crystallographic parameters**

Crystal system:	Orthorhombic
Space group:	Pmm2
Space group number:	25

a (Å):	4.7720
b (Å):	5.5140
c (Å):	4.3350
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	90.0000

Volume of cell (10 <sup>6</sup> pm <sup>3</sup> ):	114.07
Z:	3.00

RIR:	6.05
------	------

## **Subfiles and quality**

Subfiles:	Alloy, metal or intermetallic ICSD Pattern Inorganic
Quality:	Blank (B)





## Comments

ANX: NO3  
Creation Date: 11/19/2008  
Modification Date: 1/19/2011  
ANX: NO3  
Analysis: Cu<sub>3</sub> Sn<sub>1</sub>  
Formula from original source: Cu<sub>3</sub> Sn  
ICSD Collection Code: 150503  
Minor Warning: No e.s.d reported/abstracted on the cell dimension. No R factors reported/abstracted  
Significant Warning: Comment describing significant error(s) exist  
Wyckoff Sequence: i2 h2 f e b a(PMM2)  
Unit Cell Data Source: Powder Diffraction.

## References

Primary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12++*  
Structure: Knoedler, H., *Acta Crystallogr.*, **10**, 86, (1957)

## Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	1	0	5.51400	16.061	2.1
2	0	0	1	4.33500	20.471	37.2
3	1	1	0	3.60840	24.652	5.8
4	0	1	1	3.40790	26.127	11.2
5	1	0	1	3.20870	27.781	4.3
6	0	2	0	2.75700	32.449	3.1
7	0	2	1	2.32640	38.673	0.4
8	2	1	0	2.18980	41.191	1.7
9	0	0	2	2.16750	41.634	44.3



## LAPORAN TUGAS AKHIR

10	2	0	1	2.09110	43.230	100.0
11	1	2	1	2.09110	43.230	100.0
12	0	1	2	2.01720	44.899	0.3
13	1	1	2	1.85800	48.986	1.6
14	0	3	0	1.83800	49.555	0.1
15	1	3	0	1.71520	53.372	0.6
16	0	2	2	1.70400	53.751	1.4
17	0	3	1	1.69220	54.156	1.3
18	2	2	1	1.66570	55.090	1.1
19	3	0	0	1.59070	57.927	0.5
20	2	1	2	1.54050	60.004	0.8
21	3	1	0	1.52830	60.533	0.1
22	3	0	1	1.49330	62.107	0.1
23	2	3	0	1.45610	63.878	0.3
24	0	0	3	1.44500	64.428	1.0
25	3	1	1	1.44140	64.608	1.5
26	0	3	2	1.40180	66.666	0.1
27	0	1	3	1.39780	66.882	0.7
28	1	0	3	1.38300	67.694	0.7
29	0	4	0	1.37780	67.984	18.3
30	3	2	0	1.37780	67.984	18.3
31	1	3	2	1.34500	69.879	0.5
32	0	4	1	1.31310	71.836	3.3
33	3	2	1	1.31310	71.836	3.3
34	3	0	2	1.28240	73.836	0.5
35	0	2	3	1.27990	74.004	0.1
36	1	4	1	1.26660	74.914	0.4
37	3	1	2	1.24910	76.149	0.1
38	1	2	3	1.23620	77.089	11.0
39	2	0	3	1.23620	77.089	11.0
40	2	3	2	1.20870	79.181	0.3
41	3	3	0	1.20280	79.647	0.1
42	3	2	2	1.16280	82.974	17.2
43	0	4	2	1.16280	82.974	17.2
44	3	3	1	1.15900	83.307	0.9
45	4	0	1	1.15080	84.035	6.8
46	2	4	1	1.15080	84.035	6.8
47	0	3	3	1.13600	85.388	0.3
48	2	2	3	1.12780	86.159	0.3
49	0	5	0	1.10280	88.613	0.1
50	0	0	4	1.08380	90.590	2.3
51	1	5	0	1.07450	91.597	0.1
52	0	5	1	1.06880	92.227	0.2



## LAPORAN TUGAS AKHIR

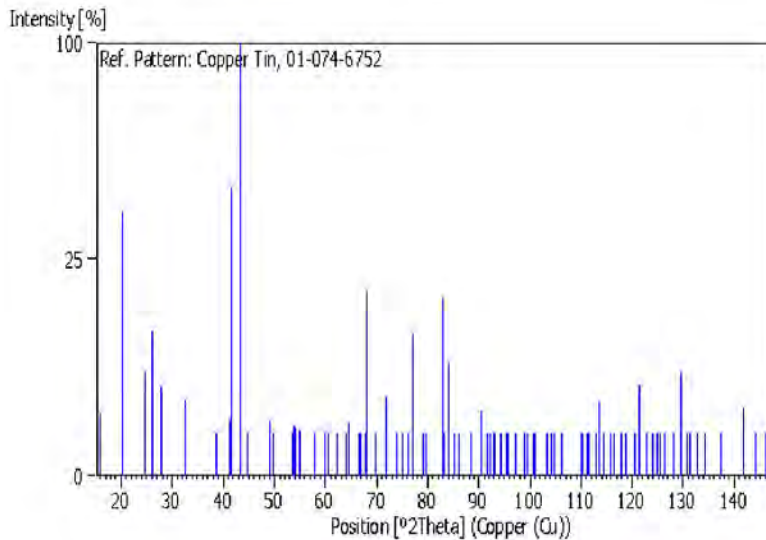
53	3	0	3	1.06880	92.227	0.2
54	0	1	4	1.06340	92.834	0.1
55	4	2	1	1.06160	93.038	0.2
56	3	3	2	1.05170	94.182	0.1
57	3	1	3	1.05000	94.381	0.5
58	3	4	0	1.04170	95.372	0.2
59	1	1	4	1.03800	95.821	0.2
60	4	1	2	1.02690	97.202	0.2
61	3	4	1	1.01290	99.015	0.1
62	0	2	4	1.00860	99.589	0.2
63	4	3	0	1.00100	100.623	0.2
64	2	5	0	1.00100	100.623	0.2
65	3	2	3	0.99720	101.151	1.0
66	0	4	3	0.99720	101.151	1.0
67	0	5	2	0.98290	103.201	0.1
68	1	4	3	0.97630	104.184	0.2
69	2	1	4	0.97130	104.945	0.2
70	1	5	2	0.96270	106.288	0.2
71	5	1	0	0.94040	109.994	0.1
72	3	4	2	0.93890	110.255	0.3
73	0	3	4	0.93350	111.212	0.1
74	5	0	1	0.93210	111.464	0.1
75	3	3	3	0.92440	112.878	0.3
76	4	0	3	0.92030	113.651	2.9
77	2	4	3	0.92030	113.651	2.9
78	1	3	4	0.91620	114.440	0.2
79	4	3	2	0.90880	115.903	0.2
80	2	5	2	0.90880	115.903	0.2
81	3	5	0	0.90630	116.410	0.1
82	0	6	1	0.89900	117.927	0.1
83	3	0	4	0.89560	118.654	0.2
84	3	5	1	0.88710	120.531	0.3
85	4	4	1	0.88300	121.470	4.4
86	5	2	1	0.88300	121.470	4.4
87	0	5	3	0.87670	122.956	0.2
88	4	2	3	0.87270	123.931	0.1
89	2	3	4	0.86940	124.753	0.1
90	0	0	5	0.86700	125.362	0.1
91	5	1	2	0.86270	126.478	0.1
92	1	5	3	0.86270	126.478	0.1
93	0	1	5	0.85650	128.148	0.2
94	3	2	4	0.85180	129.464	5.7
95	0	4	4	0.85180	129.464	5.7



## LAPORAN TUGAS AKHIR

96	5	3	0	0.84700	130.858	0.1
97	0	6	2	0.84610	131.125	0.2
98	3	4	3	0.84500	131.454	0.1
99	2	6	1	0.84130	132.584	0.1
100	3	5	2	0.83610	134.234	0.1
101	0	2	5	0.82710	137.285	0.1
102	2	0	5	0.81490	141.912	2.5
103	1	2	5	0.81490	141.912	2.5
104	4	5	0	0.80980	144.062	0.1
105	3	3	4	0.80510	146.185	0.1

### **Stick Pattern**





## **Name and formula**

Reference code:	01-076-2703
Compound name:	Copper Tin
Empirical formula:	$\text{Cu}_6\text{Sn}_5$
Chemical formula:	$\text{Cu}_6\text{Sn}_5$

## **Crystallographic parameters**

Crystal system:	Monoclinic
Space group:	C2/c
Space group number:	15
a (Å):	10.9260
b (Å):	7.1130
c (Å):	9.6740
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	99.1420
Gamma (°):	90.0000
Volume of cell ( $10^6 \text{ pm}^3$ ):	742.28
Z:	4.00
RIR:	3.73

## **Subfiles and quality**

Subfiles:	Alloy, metal or intermetallic ICSD Pattern Inorganic
Quality:	Hypothetical (H)



## Comments

ANX: N506  
Creation Date: 11/4/2008  
Modification Date: 1/19/2011  
ANX: N506  
Analysis: Cu<sub>6</sub> Sn<sub>5</sub>  
Formula from original source: Cu<sub>6</sub> Sn<sub>5</sub>  
ICSD Collection Code: 158248  
Hypothetical Structure: Structure calculated theoretically  
Calculated Pattern Original Remarks: Lattice constants for Cu<sub>4</sub> Ni<sub>2</sub> Sn<sub>5</sub>: 10.902, 7.038, 9.538, beta=100.48 (calculated); Ni on 8f(Cu<sub>2</sub>). Lattice constants for Cu<sub>5</sub> Ni Sn<sub>5</sub> : 10.864, 7.081, 9.635, beta=99.15 5 (calculated); Ni on 4e(Cu<sub>4</sub>). Calculation within generalized gradient approximation. Minor Warning: No e.s.d reported/abstracted on the cell dimension. Wyckoff Sequence: f4 e2 a (C12/C1). Unit Cell Data Source: Single Crystal.

## References

Primary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12++*  
Structure: Yu Chun, Liu Junyan, Lu Hao, Li Peilin, Chen Junmei, *Intermetallics*, **15**, 1471, (2007)



## **Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	0	5.93820	14.907	0.3
2	2	0	0	5.39360	16.422	0.5
3	-1	1	1	5.25320	16.864	0.6
4	1	1	1	4.85620	18.254	0.5
5	0	0	2	4.77560	18.565	0.6
6	-1	1	2	3.89580	22.808	1.6
7	-2	0	2	3.89580	22.808	1.6
8	1	1	2	3.57200	24.907	0.5
9	0	2	0	3.55650	25.018	0.3
10	0	2	1	3.33290	26.726	3.1
11	2	0	2	3.32300	26.807	2.0
12	3	1	0	3.20900	27.778	0.6
13	-3	1	1	3.18110	28.027	3.1
14	2	2	0	2.96910	30.074	1.9
15	3	1	1	2.91950	30.597	85.8
16	-1	1	3	2.91400	30.656	92.0
17	-2	2	1	2.91400	30.656	92.0
18	-3	1	2	2.85770	31.275	1.5
19	0	2	2	2.85770	31.275	1.5
20	2	2	1	2.76750	32.322	1.6
21	1	1	3	2.70900	33.040	5.3
22	4	0	0	2.69680	33.194	1.2
23	-2	2	2	2.62660	34.108	1.5
24	-4	0	2	2.52640	35.504	10.5
25	3	1	2	2.50420	35.830	1.1
26	2	2	2	2.42810	36.993	2.2
27	0	0	4	2.38780	37.640	1.7
28	0	2	3	2.37210	37.899	0.1
29	-2	0	4	2.32440	38.707	3.9
30	-1	1	4	2.28570	39.389	0.3
31	-2	2	3	2.27280	39.622	5.3
32	1	3	1	2.23310	40.357	3.8
33	4	0	2	2.20320	40.929	2.7
34	-4	2	1	2.15570	41.873	4.5
35	4	2	0	2.14890	42.012	1.4
36	3	1	3	2.11510	42.716	0.8
37	-1	3	2	2.11210	42.779	0.8
38	2	2	3	2.08450	43.374	1.8
39	-5	1	1	2.08450	43.374	1.8



## LAPORAN TUGAS AKHIR

40	2	0	4	2.06530	43.798	91.1
41	5	1	0	2.06530	43.798	91.1
42	-3	1	4	2.05960	43.926	93.2
43	-4	2	2	2.05960	43.926	93.2
44	1	3	2	2.05630	44.000	100.0
45	4	2	1	2.04180	44.329	3.2
46	-5	1	2	2.00960	45.078	0.6
47	0	2	4	1.98240	45.731	1.9
48	3	3	0	1.97940	45.804	1.8
49	-3	3	1	1.97280	45.966	0.5
50	5	1	1	1.95740	46.349	1.3
51	-2	2	4	1.94570	46.644	0.9
52	-4	0	4	1.94570	46.644	0.9
53	3	3	1	1.90390	47.731	0.1
54	-1	3	3	1.90390	47.731	0.1
55	-4	2	3	1.89590	47.945	0.9
56	-3	3	2	1.88790	48.161	1.3
57	4	2	2	1.87290	48.571	1.4
58	-1	1	5	1.86670	48.743	1.6
59	-5	1	3	1.86670	48.743	1.6
60	1	3	3	1.84310	49.409	2.2
61	3	1	4	1.79750	50.750	1.0
62	6	0	0	1.79750	50.750	1.0
63	2	2	4	1.78600	51.100	0.1
64	1	1	5	1.77380	51.477	0.7
65	3	3	2	1.77380	51.477	0.7
66	-3	1	5	1.75440	52.089	0.2
67	0	4	1	1.74820	52.287	0.7
68	4	2	3	1.68500	54.407	9.9
69	0	2	5	1.68280	54.484	9.8
70	-2	4	1	1.67740	54.674	9.2
71	0	4	2	1.66650	55.062	0.4
72	4	0	4	1.66150	55.242	0.4
73	2	4	1	1.64900	55.697	0.2
74	1	3	4	1.63470	56.227	0.1
75	-2	4	2	1.61770	56.871	0.6
76	3	3	3	1.61770	56.871	0.6
77	6	0	2	1.60080	57.527	2.2
78	-2	0	6	1.59570	57.728	5.5
79	5	3	0	1.59570	57.728	5.5
80	-3	3	4	1.59390	57.800	5.0
81	-1	1	6	1.57230	58.671	0.3
82	-5	3	2	1.56990	58.769	0.2





## LAPORAN TUGAS AKHIR

83	-6	0	4	1.56030	59.166	0.3
84	2	2	5	1.54610	59.765	1.6
85	5	3	1	1.54610	59.765	1.6
86	-7	1	1	1.52460	60.696	7.4
87	-2	4	3	1.52460	60.696	7.4
88	-6	2	3	1.52220	60.801	11.8
89	-5	1	5	1.52220	60.801	11.8
90	-3	1	6	1.51410	61.161	0.2
91	1	1	6	1.50500	61.571	0.5
92	-7	1	2	1.50500	61.571	0.5
93	-1	3	5	1.49890	61.849	0.2
94	-5	3	3	1.49890	61.849	0.2
95	-4	4	1	1.48680	62.409	0.1
96	4	4	0	1.48460	62.512	0.1
97	-4	0	6	1.47740	62.851	0.3
98	6	2	2	1.45980	63.697	10.0
99	5	1	4	1.45700	63.834	10.2
100	-2	2	6	1.45700	63.834	10.2
101	-4	4	2	1.45420	63.971	9.3
102	0	2	6	1.45420	63.971	9.3
103	-3	3	5	1.43890	64.734	0.1
104	-6	2	4	1.42880	65.248	0.3
105	0	4	4	1.42620	65.382	0.1
106	1	5	0	1.41040	66.208	0.2
107	-5	3	4	1.40520	66.484	0.1
108	-1	5	1	1.39950	66.790	0.2
109	-4	4	3	1.39290	67.149	0.2
110	4	4	2	1.38380	67.650	0.1
111	7	1	2	1.37640	68.063	0.1
112	-7	1	4	1.37370	68.215	0.2
113	5	3	3	1.36440	68.745	0.3
114	-4	2	6	1.36440	68.745	0.3
115	-1	5	2	1.36030	68.981	0.6
116	6	2	3	1.35760	69.138	2.0
117	-8	0	2	1.35520	69.278	0.6
118	2	2	6	1.35520	69.278	0.6
119	3	1	6	1.35180	69.477	0.1
120	8	0	0	1.34840	69.678	0.7
121	2	4	4	1.34840	69.678	0.7
122	1	5	2	1.34560	69.844	0.2
123	4	2	5	1.34560	69.844	0.2
124	-1	3	6	1.33320	70.589	1.5
125	-6	2	5	1.32460	71.117	1.6



## LAPORAN TUGAS AKHIR

---

126	-3	1	7	1.32460	71.117	1.6
127	3	5	0	1.32280	71.229	0.6
128	-3	5	1	1.32090	71.347	1.2
129	3	3	5	1.31810	71.521	0.5
130	-4	4	4	1.31330	71.823	0.5
131	5	1	5	1.30660	72.250	3.0
132	1	1	7	1.30510	72.346	3.0
133	0	4	5	1.30250	72.513	4.1
134	4	4	3	1.30250	72.513	4.1
135	3	5	1	1.30000	72.675	4.9
136	-1	5	3	1.30000	72.675	4.9
137	-3	5	2	1.29440	73.040	0.3
138	1	3	6	1.29140	73.237	1.0
139	-7	3	2	1.29140	73.237	1.0
140	7	1	3	1.28640	73.568	0.5
141	-7	1	5	1.28310	73.789	0.9
142	-2	2	7	1.28310	73.789	0.9
143	1	5	3	1.27970	74.018	0.5
144	-8	2	1	1.27390	74.411	0.7
145	0	2	7	1.27390	74.411	0.7
146	6	4	0	1.26320	75.150	5.5
147	-8	0	4	1.26320	75.150	5.5
148	5	3	4	1.26010	75.367	1.2
149	8	2	0	1.26010	75.367	1.2
150	3	5	2	1.25740	75.557	0.5
151	-6	4	2	1.25740	75.557	0.5
152	6	2	4	1.25210	75.934	0.2
153	-3	5	3	1.24770	76.250	0.9
154	8	0	2	1.24770	76.250	0.9
155	2	4	5	1.23510	77.170	1.1
156	6	4	1	1.23510	77.170	1.1
157	-4	4	5	1.22660	77.805	2.2
158	8	2	1	1.22660	77.805	2.2
159	-4	2	7	1.22410	77.994	2.1
160	-6	4	3	1.22280	78.093	2.4
161	-6	2	6	1.21980	78.321	0.5
162	4	4	4	1.21400	78.768	0.6
163	4	2	6	1.20810	79.228	0.6
164	-2	0	8	1.20810	79.228	0.6
165	-7	3	4	1.20560	79.425	0.5
166	1	5	4	1.20350	79.591	0.1
167	2	2	7	1.20060	79.822	0.3
168	-5	3	6	1.20060	79.822	0.3

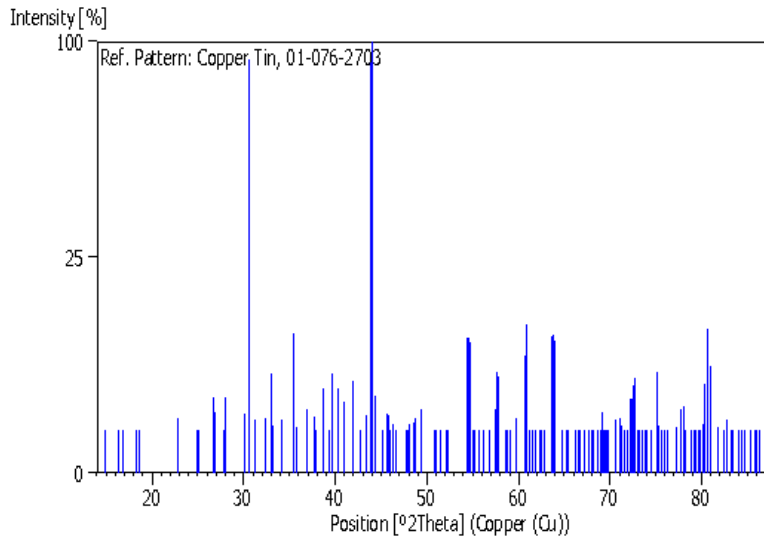


## LAPORAN TUGAS AKHIR

169	3	1	7	1.19610	80.183	1.3
170	-9	1	1	1.19610	80.183	1.3
171	7	1	4	1.19300	80.434	4.2
172	-1	3	7	1.19300	80.434	4.2
173	3	3	6	1.19070	80.621	11.2
174	6	4	2	1.19070	80.621	11.2
175	-3	5	4	1.18760	80.875	6.2
176	5	5	0	1.18760	80.875	6.2
177	0	6	0	1.18550	81.048	4.3
178	0	4	6	1.18550	81.048	4.3
179	0	6	1	1.17650	81.800	1.1
180	8	2	2	1.17650	81.800	1.1
181	-9	1	3	1.16940	82.404	0.2
182	5	5	1	1.16620	82.679	1.5
183	5	3	5	1.15940	83.272	0.1
184	2	6	0	1.15790	83.404	0.1
185	1	3	7	1.15790	83.404	0.1
186	0	6	2	1.15060	84.053	0.2
187	1	1	8	1.15060	84.053	0.2
188	7	3	3	1.14610	84.460	0.8
189	-1	5	5	1.14610	84.460	0.8
190	-2	2	8	1.14330	84.715	0.3
191	-7	3	5	1.14330	84.715	0.3
192	-4	4	6	1.13640	85.351	0.1
193	-9	1	4	1.13180	85.781	0.3
194	0	2	8	1.13180	85.781	0.3
195	2	4	6	1.13060	85.894	0.2
196	2	0	8	1.12950	85.998	0.4
197	3	5	4	1.12950	85.998	0.4
198	4	4	5	1.12550	86.378	0.1



## **Stick Pattern**





## **Name and formula**

Reference code:	03-065-9716
Compound name:	Copper Tin
Empirical formula:	$\text{Cu}_{10}\text{Sn}_3$
Chemical formula:	$\text{Cu}_{10}\text{Sn}_3$

## **Crystallographic parameters**

Crystal system:	Hexagonal
Space group:	P63/m
Space group number:	176
a (Å):	7.3130
b (Å):	7.3130
c (Å):	7.8460
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	120.0000
Volume of cell ( $10^6 \text{ pm}^3$ ):	363.39
Z:	2.00
RIR:	6.13

## **Status, subfiles and quality**

Status:	Alternate Pattern
Subfiles:	Alloy, metal or intermetallic Inorganic NIST Pattern



Quality: Blank (B)

## **Comments**

Creation Date: 2/11/2005  
 Modification Date: 1/26/2011  
 NIST M&A collection code: L 51214 ST1590 1  
 Sample Preparation: 1g Cu<sub>78.2</sub>Sn<sub>21.8</sub> was melted in silicon crucibles for 20 at 1200C in argon atmosphere and heated at 700C for 21hrs .Then it was quenched in water  
 Calculated Pattern Original Remarks: Metastable phase  
 Temperature Factor: TF TF was not given, B set to 1.000 for calc  
 Minor Warning: No e.s.d reported/abstracted on the cell dimension  
 Significant Warning: 12%<R factor (for single crystal)  
 Unit Cell Data Source: Single Crystal.

## **References**

Primary reference: *Calculated from NIST using POWD-12++*  
 Structure: Lenz, J., Schubert, K., *Monatsh. Chem.*, **102**, 168, (1971)

## **Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	1	0	0	6.33320	13.972	2.1
2	1	0	1	4.92810	17.985	0.1
3	0	0	2	3.92300	22.648	2.8
4	1	1	0	3.65650	24.323	6.7
5	1	1	1	3.31430	26.879	21.6
6	2	0	0	3.16660	28.158	0.9



## LAPORAN TUGAS AKHIR

---

7	2	0	1	2.93650	30.415	0.1
8	1	1	2	2.67480	33.475	8.1
9	2	0	2	2.46400	36.435	8.0
10	1	0	3	2.41730	37.164	4.6
11	2	1	0	2.39370	37.544	6.6
12	2	1	1	2.28960	39.320	6.6
13	1	1	3	2.12720	42.461	92.1
14	3	0	0	2.11110	42.801	100.0
15	1	2	2	2.04340	44.292	4.3
16	3	0	1	2.03860	44.402	2.5
17	2	0	3	2.01650	44.915	12.9
18	0	0	4	1.96150	46.246	1.7
19	1	0	4	1.87370	48.549	1.9
20	3	0	2	1.85900	48.958	1.9
21	2	2	0	1.82820	49.839	0.5
22	2	2	1	1.78060	51.266	3.0
23	1	2	3	1.76580	51.728	8.7
24	3	1	0	1.75650	52.022	1.8
25	1	1	4	1.72850	52.929	0.5
26	3	1	1	1.71410	53.409	1.3
27	2	2	2	1.65710	55.401	1.4
28	1	3	2	1.60320	57.433	0.2
29	4	0	0	1.58330	58.224	0.1
30	4	0	1	1.55200	59.515	0.1
31	1	0	5	1.52310	60.762	0.1
32	2	1	4	1.51720	61.023	0.3
33	2	2	3	1.49840	61.872	18.0
34	4	0	2	1.46820	63.290	0.6
35	1	3	3	1.45820	63.775	0.3
36	2	3	0	1.45300	64.030	1.1
37	1	1	5	1.44200	64.578	1.0
38	3	0	4	1.43700	64.830	3.0
39	3	2	1	1.42870	65.253	1.4
40	2	0	5	1.40600	66.442	0.1
41	4	1	0	1.38200	67.750	0.1
42	3	2	2	1.36250	68.854	3.3
43	1	4	1	1.36110	68.935	2.6
44	2	2	4	1.33740	70.335	0.2
45	1	2	5	1.31240	71.880	0.9
46	0	0	6	1.30770	72.179	4.5
47	1	3	4	1.30770	72.179	4.5
48	4	1	2	1.30350	72.449	2.7
49	1	0	6	1.28060	73.957	0.6

---



## LAPORAN TUGAS AKHIR

50	3	2	3	1.27010	74.672	5.2
51	5	0	0	1.26660	74.914	2.8
52	5	0	1	1.25050	76.048	0.1
53	1	1	6	1.23130	77.452	2.1
54	4	0	4	1.23130	77.452	2.1
55	1	4	3	1.22190	78.161	12.1
56	3	3	0	1.21880	78.398	13.0
57	2	0	6	1.20870	79.181	0.7
58	5	0	2	1.20540	79.441	1.3
59	3	3	1	1.20540	79.441	1.3
60	2	4	0	1.19690	80.118	1.0
61	2	2	5	1.19070	80.621	0.5
62	2	4	1	1.18320	81.239	1.3
63	1	3	5	1.17020	82.335	0.3
64	3	2	4	1.16750	82.567	0.3
65	3	3	2	1.16400	82.870	0.3
66	2	1	6	1.14760	84.324	1.3
67	2	4	2	1.14480	84.578	0.8
68	5	0	3	1.14000	85.017	2.1
69	5	1	0	1.13750	85.248	1.8
70	4	1	4	1.12980	85.969	0.2
71	5	1	1	1.12570	86.359	1.4
72	3	0	6	1.11170	87.721	8.8
73	1	5	2	1.09250	89.672	0.8
74	4	2	3	1.08830	90.113	0.5
75	1	1	7	1.07160	91.916	0.6
76	3	2	5	1.06610	92.529	0.4
77	5	0	4	1.06360	92.811	0.8
78	2	2	6	1.06360	92.811	0.8
79	6	0	0	1.05550	93.739	3.0
80	3	1	6	1.04890	94.511	0.6
81	6	0	1	1.04610	94.844	0.3
82	1	5	3	1.04310	95.203	1.4
83	4	3	0	1.04120	95.432	0.8
84	1	4	5	1.03710	95.931	0.5
85	3	3	4	1.03520	96.165	0.7
86	4	3	1	1.03210	96.549	0.4
87	4	2	4	1.02170	97.866	0.1
88	6	0	2	1.01930	98.176	0.3
89	2	1	7	1.01510	98.724	0.2
90	4	0	6	1.00820	99.642	0.1
91	2	5	1	1.00630	99.899	0.8
92	4	3	2	1.00630	99.899	0.8



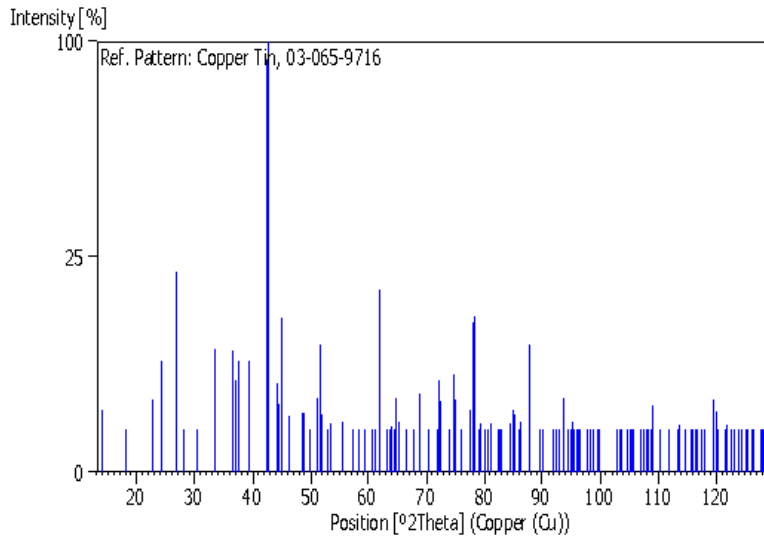


## LAPORAN TUGAS AKHIR

93	5	0	5	0.98560	102.806	0.1
94	1	5	4	0.98400	103.040	0.1
95	2	5	2	0.98190	103.349	0.3
96	0	0	8	0.98080	103.512	0.2
97	6	0	3	0.97880	103.809	0.2
98	2	3	6	0.97200	104.838	0.8
99	1	0	8	0.96920	105.269	0.4
100	3	4	3	0.96730	105.564	0.2
101	1	6	0	0.96580	105.799	0.3
102	6	1	1	0.95860	106.944	0.3
103	2	2	7	0.95560	107.431	0.4
104	2	4	5	0.95170	108.073	0.6
105	4	1	6	0.94990	108.373	0.6
106	1	1	8	0.94730	108.810	0.3
107	5	2	3	0.94550	109.116	2.4
108	1	6	2	0.93780	110.448	0.2
109	6	0	4	0.92950	111.936	0.4
110	5	1	5	0.92100	113.518	0.8
111	4	3	4	0.91960	113.785	1.2
112	4	4	0	0.91410	114.850	0.1
113	5	0	6	0.90980	115.703	0.3
114	4	4	1	0.90800	116.065	0.2
115	2	1	8	0.90800	116.065	0.2
116	6	1	3	0.90600	116.471	0.1
117	5	3	0	0.90470	116.738	0.2
118	2	5	4	0.90090	117.527	0.1
119	7	0	1	0.89880	117.970	0.4
120	3	3	6	0.89160	119.527	2.8
121	3	0	8	0.88950	119.992	2.0
122	2	3	7	0.88750	120.441	0.5
123	2	4	6	0.88290	121.493	0.8
124	7	0	2	0.88160	121.795	1.2
125	2	6	0	0.87830	122.574	0.4
126	6	0	5	0.87580	123.174	0.2
127	6	2	1	0.87280	123.906	0.7
128	1	4	7	0.87050	124.477	0.9
129	4	3	5	0.86760	125.209	0.2
130	1	6	4	0.86650	125.490	0.6
131	2	2	8	0.86420	126.085	0.3
132	4	4	3	0.86290	126.426	0.9
133	5	1	6	0.85820	127.683	1.0
134	6	2	2	0.85700	128.010	0.9
135	1	3	8	0.85630	128.203	0.8



## **Stick Pattern**





## **Name and formula**

Reference code:	00-030-0510
Compound name:	Copper Tin
Empirical formula:	$\text{Cu}_{41}\text{Sn}_{11}$
Chemical formula:	$\text{Cu}_{41}\text{Sn}_{11}$

## **Crystallographic parameters**

Crystal system:	Cubic
Space group:	F-43m
Space group number:	216
a (Å):	17.9800
b (Å):	17.9800
c (Å):	17.9800
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	90.0000
Calculated density (g/cm <sup>3</sup> ):	8.94
Measured density (g/cm <sup>3</sup> ):	8.83
Volume of cell (10 <sup>6</sup> pm <sup>3</sup> ):	5812.58
Z:	8.00
RIR:	8.13

## **Subfiles and quality**

Subfiles:	Alloy, metal or intermetallic
-----------	-------------------------------



Quality: Inorganic  
Calculated (C)

## **Comments**

Creation Date: 1/1/1970  
Modification Date: 1/11/2011  
Unit Cell Data Source: Powder Diffraction.

## **References**

Primary reference: Smith, D. et al., Penn State University, University Park, Pennsylvania, USA., *ICDD Grant-in-Aid*, (1978)  
Unit cell: Booth et al., *Acta Crystallogr., Sec. B: Struct. Crystallogr. Cryst. Chem.*, **33**, 30, (1977)

## **Peak list**

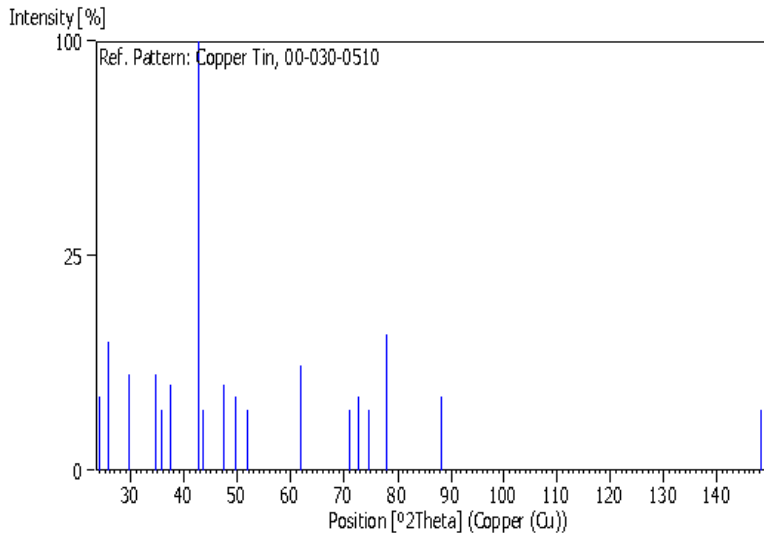
No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	4	2	2	3.67000	24.232	3.0
2	5	1	1	3.46000	25.727	9.0
3	6	0	0	2.99700	29.787	5.0
4	4	4	4	2.59500	34.536	5.0
5	7	1	1	2.51800	35.627	2.0
6	6	4	2	2.40300	37.393	4.0
7	8	2	2	2.11900	42.633	100.0
8	7	5	1	2.07600	43.561	2.0
9	6	6	4	1.91670	47.393	4.0
10	8	4	4	1.83510	49.639	3.0
11	10	2	0	1.76310	51.813	2.0
12	12	0	0	1.49830	61.877	6.0
13	12	6	2	1.32550	71.061	2.0
14	8	8	8	1.29760	72.831	3.0
15	14	2	0	1.27140	74.583	2.0
16	14	4	2	1.22340	78.047	10.0



---

17	16	2	2	1.10660	88.229	3.0
18	22	4	2	0.80090	148.222	2.0

## **Stick Pattern**





## **Name and formula**

Reference code:	01-089-2531
Mineral name:	Tenorite, syn
Compound name:	Copper Oxide
Empirical formula:	CuO
Chemical formula:	CuO

## **Crystallographic parameters**

Crystal system:	Monoclinic
Space group:	C2/c
Space group number:	15

a (Å):	4.6691
b (Å):	3.4805
c (Å):	5.1183
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	98.5980
Gamma (°):	90.0000

Volume of cell ( $10^6 \text{ pm}^3$ ):	82.24
Z:	4.00

RIR:	3.50
------	------

## **Status, subfiles and quality**

Status:	Alternate Pattern
Subfiles:	Alloy, metal or intermetallic ICSD Pattern



Quality: Inorganic  
Mineral  
Blank (B)

## **Comments**

ANX: AX  
Creation Date: 11/20/2008  
Modification Date: 1/19/2011  
ANX: AX  
Analysis: Cu1 O1  
Formula from original source: Cu O  
ICSD Collection Code: 43181  
Calculated Pattern Original Remarks: Mechanically induced reduction of CuO by Fe, measurement after milling CuO with Fe for 25 min,  $R(\text{Bragg})=0.0043$   
Minor Warning: No e.s.d reported/abstracted on the cell dimension  
Significant Warning: Non-positive definite matrix observed for anisotropic displacement parameters (ADP). Reported ADPs were ignored.  $U_{eq}=0.012$  was used for the calculation  
Wyckoff Sequence: e c(C12/C1)  
Unit Cell Data Source: Powder Diffraction.

## **References**

Primary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12++*, (2004)  
Structure: Calos, N.J., Forrester, J.S., Schaffer, G.B., *J. Solid State Chem.*, **122**, 273, (1996)



## LAPORAN TUGAS AKHIR

### **Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	1	1	0	2.77920	32.182	9.4
2	0	0	2	2.53420	35.391	100.0
3	-1	1	1	2.53420	35.391	100.0
4	1	1	1	2.34850	38.294	96.2
5	2	0	0	2.30830	38.988	22.1
6	-1	1	2	1.96100	46.259	2.4
7	-2	0	2	1.84850	49.255	26.5
8	1	1	2	1.79250	50.901	1.6
9	0	2	0	1.74020	52.546	8.8
10	0	2	1	1.64570	55.818	0.4
11	2	0	2	1.59100	57.915	13.8
12	-1	1	3	1.50330	61.648	16.2
13	0	2	2	1.43390	64.987	15.9
14	3	1	0	1.40650	66.415	12.0
15	-3	1	1	1.40650	66.415	12.0
16	2	2	0	1.38960	67.329	14.7
17	1	1	3	1.38770	67.434	10.3
18	-2	2	1	1.37190	68.317	0.2
19	3	1	1	1.31050	72.001	6.6
20	2	2	1	1.31050	72.001	6.6
21	-2	2	2	1.26710	74.879	4.6
22	0	0	4	1.26520	75.011	4.9
23	0	2	3	1.21120	78.986	0.1
24	-1	1	4	1.19270	80.458	0.2
25	-2	0	4	1.18680	80.941	1.4
26	2	2	2	1.17420	81.994	3.0
27	3	1	2	1.16420	82.853	0.3
28	-3	1	3	1.16160	83.079	3.6
29	4	0	0	1.15420	83.732	2.9
30	1	3	0	1.12520	86.407	0.1
31	-2	2	3	1.12330	86.589	0.1
32	-4	0	2	1.11490	87.405	1.1
33	1	1	4	1.11490	87.405	1.1
34	-1	3	1	1.10690	88.199	4.3
35	1	3	1	1.09000	89.934	2.1
36	2	0	4	1.04550	94.915	0.8
37	-1	3	2	1.04230	95.299	0.1
38	2	2	3	1.02810	97.050	0.1



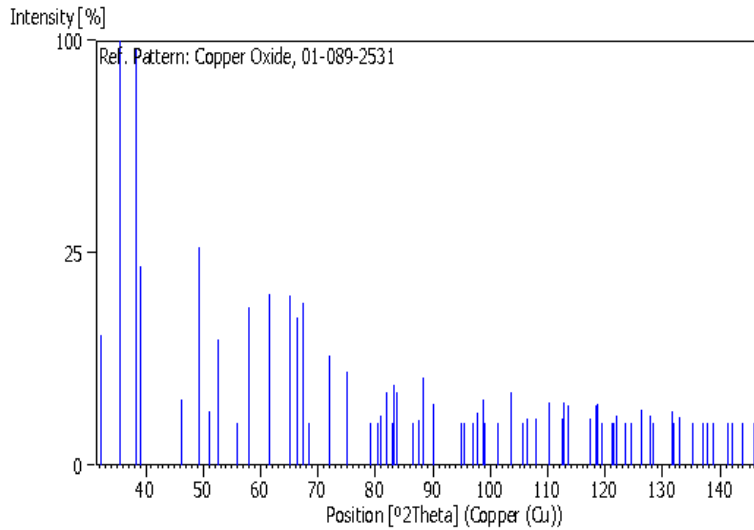


## LAPORAN TUGAS AKHIR

39	0	2	4	1.02330	97.660	1.5
40	3	1	3	1.01460	98.790	2.4
41	1	3	2	1.01460	98.790	2.4
42	-3	1	4	1.01220	99.108	0.1
43	4	0	2	0.99540	101.404	0.6
44	-1	1	5	0.98050	103.556	2.9
45	-2	2	4	0.98050	103.556	2.9
46	-4	2	1	0.96730	105.564	0.1
47	4	2	0	0.96180	106.431	1.2
48	-1	3	3	0.95220	107.991	1.2
49	-4	2	2	0.93880	110.273	2.2
50	-3	3	1	0.92610	112.561	1.2
51	3	3	0	0.92610	112.561	1.2
52	-4	0	4	0.92470	112.822	2.2
53	1	1	5	0.92470	112.822	2.2
54	1	3	3	0.92070	113.575	2.0
55	-5	1	1	0.90150	117.401	1.2
56	3	3	1	0.89710	118.332	2.0
57	2	2	4	0.89620	118.525	2.1
58	-3	3	2	0.89620	118.525	2.1
59	5	1	0	0.89250	119.329	0.1
60	-4	2	3	0.88430	121.170	0.1
61	3	1	4	0.88260	121.562	0.1
62	-5	1	2	0.88260	121.562	0.1
63	-3	1	5	0.88080	121.983	1.4
64	0	2	5	0.87490	123.392	0.1
65	0	4	0	0.87010	124.577	0.7
66	4	2	2	0.86400	126.138	1.7
67	0	4	1	0.85790	127.764	1.4
68	5	1	1	0.85790	127.764	1.4
69	-2	2	5	0.85560	128.396	0.1
70	-3	3	3	0.84470	131.544	1.6
71	0	0	6	0.84350	131.908	0.4
72	-5	1	3	0.84070	132.771	1.3
73	-2	0	6	0.83340	135.122	0.8
74	-1	1	6	0.82810	136.933	0.1
75	1	3	4	0.82600	137.677	0.1
76	0	4	2	0.82280	138.844	0.9
77	-4	2	4	0.81630	141.347	0.7
78	2	4	0	0.81420	142.199	0.9
79	-2	4	1	0.81060	143.715	0.1
80	5	1	2	0.80590	145.813	0.1



## **Stick Pattern**



## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Lumajang, 12 Agustus 1992 seorang putra dari Bpk Musakar dan Ibu Supiati. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Negeri 01 Selokgondang- Sukodono- Lumajang, SMP Negeri 02 Lumajang, dan SMA Negeri 01 Lumajang. Setelah lulus dari pendidikan SMA tahun 2010, penulis melanjutkan pendidikan di Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS. Selama kuliah di ITS, penulis aktif dibidang akademik maupun nonakademik.

Pengalaman kerja yang pernah diikuti yakni kerja praktek pada bulan Agustus 2013 di PTAPB BATAN Yogyakarta meneliti penyebab kerusakan pada *rotary horizontal tube furnace*.

Tugas akhir yang dibuat yakni pembuatan material alternatif untuk *proyektil* peluru dengan proses metalurgi serbuk adapun variabel yang digunakan adalah temperatur dan waktu tahan sintering dengan judul “Analisa Pengaruh Temperatur dan Waktu Tahan Sintering Terhadap Ikatan Antar Muka pada Komposit Matrik Loam Cu-10%wtSn dengan Metode Metalurgi Serbuk” sehingga dapat mengantarkan penulis lulus dari ITS dengan Gelar Sarjana Teknik (ST).

Email : [paiman\\_jhony@yahoo.com](mailto:paiman_jhony@yahoo.com)