



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PEMBUATAN PADUAN CU – ZN – SN DENGAN METODE  
*VACUUM ARC MELTING FURNACE***

**SKRIPSI**

**HENOKH HIRAMHY ARDIAN  
0606074943**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN METALURGI DAN MATERIAL  
DEPOK  
DESEMBER 2010**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PEMBUATAN PADUAN CU – ZN – SN DENGAN METODE  
*VACUUM ARC MELTING FURNACE***

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**HENOKH HIRAMHY ARDIAN  
0606074943**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN METALURGI DAN MATERIAL  
DEPOK  
DESEMBER 2010**

**HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

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

**Nama : Henokh Hiramhy Ardian**

**NPM : 0606074943**

**Tanda Tangan : .....**

**Tanggal : 29 Desember 2010**

**HALAMAN PENGESAHAN**

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Henokh Hiramhy Ardian  
NPM : 0606074943  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul Skripsi : Pembuatan Paduan Cu – Zn – Sn dengan metode  
*Vacuum Arc Melting Furnace.*

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

**DEWAN PENGUJI**

Pembimbing : Dr. Badrul Munir ST., M.Eng.Sc. ( )  
Penguji 1 : Dwi Marta Nurjaya S.T., M.T. ( )  
Penguji 2 : Deni Ferdian S.T., M.Sc ( )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 29 Desember 2010



## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya ucapkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas berkat dan rahmat-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Metalurgi dan Material pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya juga mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak karena saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terimakasih kepada:

- (1) Badrul Munir, Ph.D, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Seluruh dosen dan staf Departemen Metalurgi dan Material FTUI atas segala ilmu, bantuan dan kesempatan yang telah diberikan;
- (3) Orang tua dan keluarga saya yang senantiasa mendoakan saya, memberikan perhatian dan bantuan baik material maupun moral;
- (4) Saudara Loorentz, selaku teman kerja pada penelitian skripsi ini yang telah banyak membantu saya dalam melaksanakan penelitian;
- (5) Rut Novianti dan sahabat serta seluruh pihak yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yesus dengan rahmat-Nya yang besar dapat berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu saya. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 29 Desember 2010

Penulis

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

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

Nama : Henokh Hiramhy Ardian  
NPM : 0606074943  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Departemen : Metalurgi dan Material  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

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

**Pembuatan Paduan Cu – Zn – Sn dengan metode  
*Vacuum Arc Melting Furnace***

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada Tanggal : 29 Desember 2010  
Yang menyatakan

(.....)

## Abstrak

Nama : Henokh Hiramhy Ardian  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul : Pembuatan Paduan Cu – Zn – Sn dengan metode *Vacuum Arc Melting Furnace*

Dewasa ini kebutuhan energi di dunia mengalami peningkatan yang sangat signifikan. Salah satu alternatif penghasil energi yang murah dan dapat bertahan lama adalah penggunaan energi surya. Bahan dasar yang digunakan untuk perangkat sel surya adalah semikonduktor, yaitu senyawa  $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ . Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan paduan Cu – Zn – Sn sebagai bahan dasar awal untuk pembuatan paduan sel surya. Peleburan paduan tersebut menggunakan *Vacuum Arc Melting Furnace*. Hasil pengamatan struktur mikro dan XRD menunjukkan adanya paduan Cu – Zn – Sn yang terbentuk. Hasil pengamatan EDX menunjukkan kandungan rata-rata yang ada pada setiap sampel sebesar 66.13% Cu, 8.65% Zn dan 25.22% Sn. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa nilai kekerasan bergantung pada distribusi komposisi yang ada dan pertumbuhan butir pada saat pendinginan.

Kata kunci : sel surya atau sel fotovoltaik, CZTS dan paduan Cu-Zn-Sn.

### Abstract

Name : Henokh Hiramhy Ardian  
Study Program : Metallurgy and Material Engineering  
Title : Making Cu – Zn – Sn Alloy Using Vacuum Arc Melting Furnace

The needs for energy in the world highly increase. Solar cell is the alternate energy which is cheap and has more durable. The basic compound of solar cell device is semiconductor, like  $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ . The aim of this research is to get Cu – Zn – Sn alloy as basic material for solar cell  $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ . Melting process use Vacuum Arc Melting Furnace. Cu – Zn – Sn alloy was observed by XRD and microstructure images. EDX analysis results show the percentages of 66.13% Cu, 8.65% Zn and 25.22% Sn. From hardness testing shows that the point of hardness depend on composition distribution and grain growth at solidification.

Key words : Solar cell or photovoltaic cell, CZTS alloy.

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR v	
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACT .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR RUMUS .....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Penelitian .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian .....	2
1.4 Sistematika Penulisan .....	2
<b>BAB II TEORI PENUNJANG</b> .....	<b>4</b>
2.1 Pemaduan .....	4
2.1.1 Mekanisme pemaduan .....	5
2.1.2 Proses Sinter .....	7
2.1.3 Paduan Tembaga .....	10
2.2 Sifat unsur timah (Sn) .....	14
2.3 Paduan CZT Untuk Aplikasi Sel Surya .....	15
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>19</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	19
3.2 Alat dan Bahan .....	20

3.2.1 Alat .....	20
3.2.2 Bahan .....	20
3.3 Prosedur Penelitian .....	20
3.3.1 Preparasi Sampel Kuningan.....	21
3.3.2 Preparasi Sampel Timah .....	21
3.3.3 Pembersihan Sampel .....	21
3.3.4 Pengukuran Besar Sampel .....	22
3.3.5 Proses Kompaksi .....	22
3.3.6 Proses Pemaduan ( <i>Alloying</i> ) .....	23
3.4 Proses Pengujian Pemaduan .....	23
<b>BAB IV PEMBAHASAN</b> .....	28
4.1. Ingot Paduan CZT .....	28
4.2. Analisa hasil EDX paduan CZT. ....	28
4.3. Analisa Hasil XRD Paduan CZT .....	30
4.4. Analisa Struktur Mikro Paduan CZT .....	33
4.5. Analisa Hasil Pengujian Kekerasan Brinel pada Paduan CZT.....	37
<b>BAB V KESIMPULAN</b> .....	39
<b>DAFTAR REFERENSI</b> .....	40

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1.</b> Skematik (a) larutan padat substitusional, (b) larutan padat interstisial .....	5
<b>Gambar 2.2</b> Hasil gambar 2D sebelum dan sesudah proses sinter .....	7
<b>Gambar 2.3</b> Hasil SEM sebelum dan sesudah proses sinter .....	8
<b>Gambar 2.4</b> Skematik luas penampang material setelah proses sintering.....	8
<b>Gambar 2.5.</b> Skematik proses sinter. ....	10
<b>Gambar 2.6</b> Diagram Fasa Cu-Zn .....	11
<b>Gambar 2.7</b> Diagram Fasa Cu-Sn .....	12
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Penelitian Ingot CTZ.....	19
<b>Gambar 3.2</b> Alat Ultrasonic Cleaner .....	21
<b>Gambar 3.3</b> Alat Kompaksi Krisbow .....	23
<b>Gambar 3.4</b> Alat Mikroskop Optik Digital .....	24
<b>Gambar 3.5</b> Sampel 1, 2 dan 3 Ingot CZT yang sudah di mounting .....	24
<b>Gambar 3.6</b> Alat SEM dan EDS. ....	25
<b>Gambar 3.7</b> Alat XRD .....	25
<b>Gambar 3.8</b> Pengujian Kekerasan Brinel. ....	26
<b>Gambar 4.1</b> Sampel 1, 2 dan 3 Ingot CZT.....	28
<b>Gambar 4.2</b> Hasil pengujian EDS .....	29
<b>Gambar 4.3</b> Hasil Pengujian XRD Ingot 1 (63.95%Cu; 7%Zn; 28.96%Sn).....	31
<b>Gambar 4.4</b> Hasil Pengujian XRD Ingot 2 (66.25%Cu; 9.44%Zn; 24.31%Sn)	31
<b>Gambar 4.5</b> Hasil Pengujian XRD Ingot 3 (68.17%Cu; 9.42%Zn; 22.41%Sn)	32
<b>Gambar 4.6</b> Grafik pola XRD literatur .....	32
<b>Gambar 4.7</b> Struktur Mikro Sampel 1 Paduan CZT Perbesaran 50x .....	34
<b>Gambar 4.8</b> Struktur Mikro Sampel 1 Paduan CZT Perbesaran 200x .....	34
<b>Gambar 4.9</b> Struktur Mikro Sampel 2 Paduan CZT Perbesaran 50x .....	35
<b>Gambar 4.10</b> Struktur Mikro Sampel 2 Paduan CZT Perbesaran 200x .....	35
<b>Gambar 4.11</b> Struktur Mikro Sampel 3 Paduan CZT Perbesaran 50x .....	35

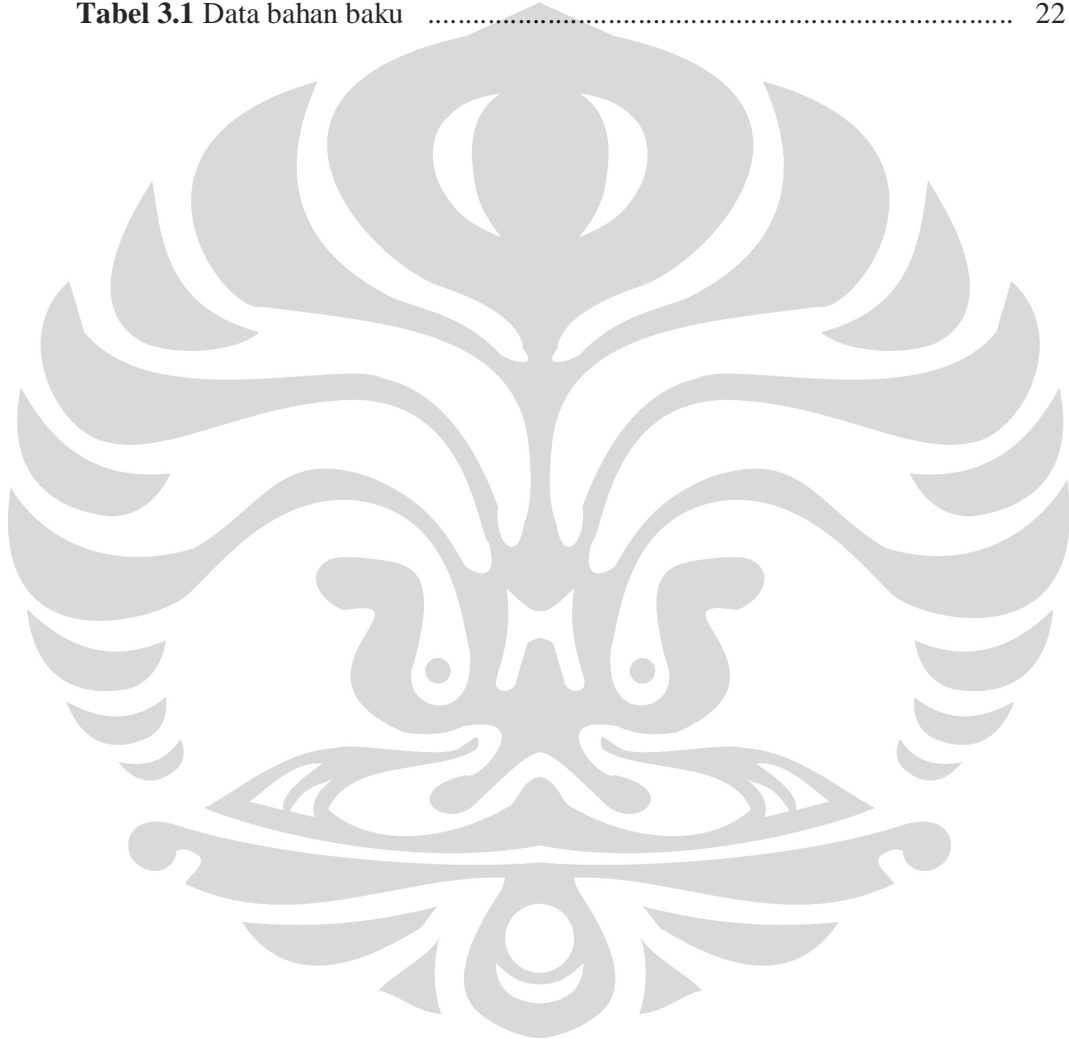
**Gambar 4.12** Struktur Mikro Sampel 3 Paduan CZT Perbesaran 200x ..... 36  
**Gambar 4.13** Grafik Hasil Pengujian Kekerasan ..... 37





**DAFTAR TABEL**

<b>Tabel 2.1</b> Klasifikasi Tembaga dan Paduannya .....	10
<b>Tabel 2.2</b> Sifat Mekanik Paduan Tembaga .....	11
<b>Tabel 2.3</b> Sifat dan Karakteristik Timah .....	14
<b>Tabel 3.1</b> Data bahan baku .....	22



**DAFTAR RUMUS**

(3.1) Rumus <i>Bragg's Law</i> .....	25
(3.2) Rumus perhitungan nilai kekerasan <i>brinell</i> .....	26



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Penelitian

Seiring dengan berkembangnya teknologi yang ada, proses untuk mendapatkan material yang kuat dan tangguh semakin berkembang. Salah satu perkembangan yang sudah dilakukan oleh manusia sejak jaman dahulu adalah proses pemaduan. Pemaduan adalah penggabungan secara *solid-solution* dari dua atau lebih elemen yang berbeda pada fasa matriksnya. Pemaduan ini biasanya digunakan untuk memperoleh suatu material yang memiliki keunggulan dari logam induknya, seperti logam tembaga dipadu dengan logam seng menghasilkan kuningan, atau perpaduan antara logam tembaga dengan timah menghasilkan perunggu.

Paduan tembaga dengan seng sudah dikenal oleh manusia sejak dahulu, dimana aplikasi penggunaan logam ini sangatlah luas. Beberapa contoh penggunaan logam kuningan pada jaman dahulu adalah sebagai baju zirah dan perlengkapan perang tentara romawi, peralatan dapur seperti pisau, untuk wanita bersolek sebelum ditemukannya cermin, dan lain lain. Penggunaan pada saat ini adalah sebagai dinding pemanas sebuah *boiler* karena tahan korosi, di rumah sakit digunakan sebagai gagang pintu karena bakteri dapat mati dalam waktu 8 jam, sebagai pernis logam (*brasso*), sebagai alat music seperti simbal, dan lain lain.

Sebelum manusia mengenal kuningan, paduan tembaga dengan timah sudah dikenal oleh manusia. Peradaban manusia setelah jaman neolitikum adalah jaman perunggu, dimana hampir seluruh perlengkapan yang digunakan menggunakan perunggu. Penggunaan yang paling umum adalah sebagai medali, bila digabungkan dengan aluminium memiliki ketahanan korosi yang baik, dan lain lain.

Melalui perkembangan demi perkembangan inilah dilakukan penelitian pemaduan mengenai logam tembaga, timah dan seng (Cu – Zn - Sn) untuk keperluan energi di dunia pada saat ini. Penelitian ini baru dilakukan kurang lebih selama kurun waktu 10 tahun terakhir, dimana banyak penelitian dilakukan untuk mendapatkan nilai efisiensi yang tinggi untuk sel surya. Hal ini dikarenakan

sumber energi di seluruh dunia masih didominasi oleh bahan bakar fosil (batu bara, minyak bumi dan gas alam). Menurut *European Commission Research*, ketiga sumber energi yang tidak dapat diperbaharui ini menyumbang hingga 87.7% dari konsumsi energi dunia dan bakar fosil tersebut akan semakin menipis.

Saat ini ada lima negara yang berperan sebagai produsen utama perangkat sel surya yaitu Jepang, Cina, Jerman, Taiwan, dan Amerika. Dan pada tahun 2008 yang lalu, Cina telah mengukuhkan diri sebagai negara produsen sel surya dengan jumlah terbesar di dunia.

### **1.2 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini dilakukan adalah :

- Membuat paduan Cu – Zn – Sn dengan bahan dasar kuningan (Cu 63.4% dan Zn 36.3%) teknis dan timah (Sn) 99.99%.
- Mengetahui karakteristik paduan Cu – Zn – Sn.

### **1.3 Ruang Lingkup Penelitian**

Ruang lingkup penelitian ini adalah :

1. Bahan – bahan dasar untuk paduan yang digunakan untuk penelitian ini adalah plat kuningan (Cu 63.4% dan Zn 36.3%) dan timah dengan kemurnian 99,99%.
2. Penelitian ini dilakukan dengan meleburkan kedua logam tersebut dengan menggunakan Vacuum Arc Melting Furnace (VAWF).
3. Untuk mengetahui karakteristik paduan Cu-Zn-Sn, pengujian yang dilakukan adalah pengujian XRD, pengujian EDX, pengujian struktur mikro dan kekerasan.

### **1.4. Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan tugas akhir ini disusun menjadi lima bab yaitu pendahuluan, dasar teori, metodologi penelitian, analisa data dan pembahasan, dan kesimpulan.

Bab I Pendahuluan

Bab ini membahas tentang latar belakang penelitian, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian dan sistematika penulisan.

## Bab II Dasar Teori

Bab ini membahas tentang seluruh teori yang berkaitan dengan penelitian dan pengembangan sel surya.

## Bab III Metodologi Penelitian

Bab ini membahas diagram alir penelitian, metodologi penelitian dan pengujian sampel.

## Bab IV Analisis Data dan Pembahasan

Bab ini membahas mengenai seluruh hasil penelitian yang didapat seperti data hasil penelitian yang berupa angka, gambar maupun grafik. Bab ini juga membahas tentang seluruh analisis hasil pengujian.

## Bab V Kesimpulan

Bab ini membahas tentang kesimpulan dari hasil pengujian yang dilakukan serta tercapai tidaknya tujuan dari penelitian ini dilakukan.

## BAB II

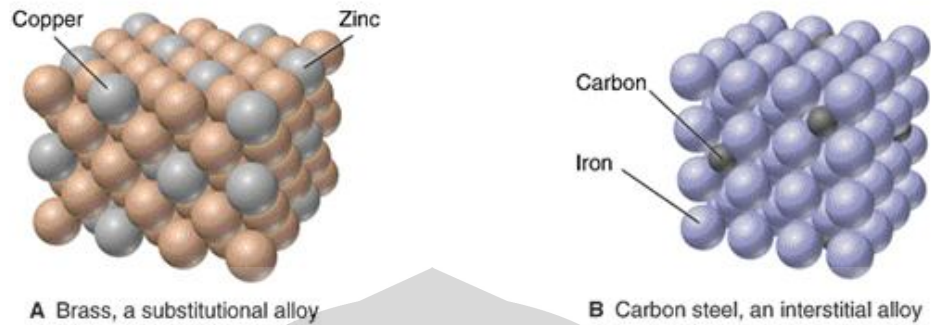
### DASAR TEORI

#### 2.1. Paduan

Paduan adalah penggabungan secara *solid-solution* dari dua atau lebih elemen yang berbeda pada fasa matriksnya. Paduan ini akan membuat sebuah fasa baru (*single phase*) yang bersifat homogen dan distribusi fasanya tergantung bagaimana proses pembuatan material paduan ini. Paduan biasanya memiliki sifat yang berbeda dengan logam asalnya. [1]

Paduan satu logam dengan logam lain (s) atau non logam (s) sering meningkatkan sifat-sifatnya. Misalnya, baja lebih kuat dari besi, unsur utamanya. Sifat fisik, seperti densitas, reaktivitas, modulus Young, dan listrik dan konduktivitas termal, dari sebuah paduan mungkin tidak berbeda jauh dari orang-orang dari unsur-unsurnya, tetapi sifat rekayasa, seperti kekuatan tarik [2] dan kekuatan geser mungkin secara substansial berbeda dari orang-orang dari bahan konstituen. Hal ini kadang-kadang karena ukuran-ukuran dari atom dalam paduan, karena atom yang lebih besar memberikan suatu gaya pada tetangga tekan atom, dan atom kecil mengerahkan kekuatan tarik pada tetangga mereka, membantu paduan melawan deformasi. Kadang-kadang paduan mungkin menunjukkan perbedaan yang nyata dalam perilaku bahkan ketika sejumlah kecil satu elemen terjadi [3] [4].

Beberapa paduan dibuat dengan peleburan dan pencampuran dua atau lebih logam. Perunggu, sebuah paduan tembaga dan timah, paduan pertama ditemukan, selama prasejarah periode sekarang dikenal sebagai usia perunggu, melainkan lebih sulit daripada tembaga murni dan awalnya digunakan untuk membuat peralatan dan senjata, namun kemudian digantikan oleh logam dan paduan dengan lebih baik dalam sifatnya. Di kemudian hari perunggu telah digunakan untuk hiasan, lonceng, patung, dan bantalan. Kuningan adalah paduan terbuat dari tembaga dan seng.



**Gambar 2.1** Skematik (a) larutan padat substitusional, (b) larutan padat interstisial

Tidak seperti logam murni, sebagian besar paduan tidak memiliki satu titik lebur, tapi rentang yang mencair di mana bahan campuran padat dan cair fase. Temperatur di mana dimulai mencair disebut solidus, dan suhu saat pencairan hanya lengkap disebut likuidus. Namun, untuk kebanyakan paduan terdapat proporsi tertentu konstituen (dalam kasus yang jarang dua)-yang eutektik campuran-yang memberikan paduan titik lebur yang unik.

### 2.1.1 Mekanisme pemaduan

Logam – logam yang dipadukan akan memiliki struktur dan susunan atom paduan yang berbeda dengan logam asalnya. Hal ini sangat tergantung dari jumlah logam tersebut dan temperatur pada saat memadukan paduan tersebut.

Tidak semua logam dasar dapat digabungkan. Hal ini sangat bergantung dari sifat kelarutan dan struktur atomic dari kedua logam tersebut. Logam CuZn adalah salah satu paduan yang dapat di buat. Ada beberapa jenis larutan yang dimiliki CuZn. Larutan padat primer adalah larutan yang mempunyai struktur kristal yang sama dengan logam induk [diagram fasa CuZn]. Pada konsentrasi logam kedua yang lebih tinggi, terbentuk fasa baru yang disebut fasa antara (*intermediate*), dengan struktur kristal yang umumnya berbeda dengan struktur logam induk. Fasa antara ini disebut juga larutan padat sekunder bila mempunyai variasi komposisi yang luas, atau senyawa intermetalik bila rentang homogenitas kecil.[5]

## 1. Larutan padat substitusi primer

Faktor-faktor yang mempengaruhi adalah sebagai berikut :

### a. Ukuran atomik.

Dengan mempunyai struktur Kristal yang sama, dua logam dapat membentuk larutan padat. Kelarutan primer ada batasannya meskipun struktur kristal kedua elemen tersebut sama. Batasannya adalah ukuran atom kedua logam, yaitu jarak terdekat atom dalam kristal logam murni harus sesuai. Terbentuknya larutan pada primer kecil bila perbedaan antara atom terlarut dan atom pelarut lebih dari 15%.

### b. Sifat elektrokimia.

Ada dua jenis muatan pada suatu atom dan muatan ini berbanding lurus, yaitu semakin elektropositif suatu komponen atau sebaliknya, yaitu semakin elektronegatif komponen. Hal ini menyebabkan semakin besar kecenderungan kedua elemen tersebut untuk membentuk senyawa dibandingkan membentuk larutan padat. Sifat elektronegatif unsur ini dapat dilihat pada Tabel Periodik. Sifat elektronegatif ini meningkat dari kiri ke kanan dan dari bawah ke atas pada setiap golongan.

### c. Sifat valensi relatif.

Logam yang mempunyai valensi yang lebih tinggi cenderung larut dalam logam dengan valensi yang lebih rendah. Hal ini terlihat dengan jelas pada logam bervalensi satu, tembaga, perak, dan emas serta unsur dengan valensi yang tinggi. Jadi, tembaga akan melarutkan sekitar 40 persen seng dan membentuk larutan padat.

## 2. Larutan padat interstisi

Mekanisme ini terjadi bila atom larut dapat menyusup di antara kisi pelarut. Hal ini sangat tergantung dari ukuran ruang interstisi dan besar atom larut



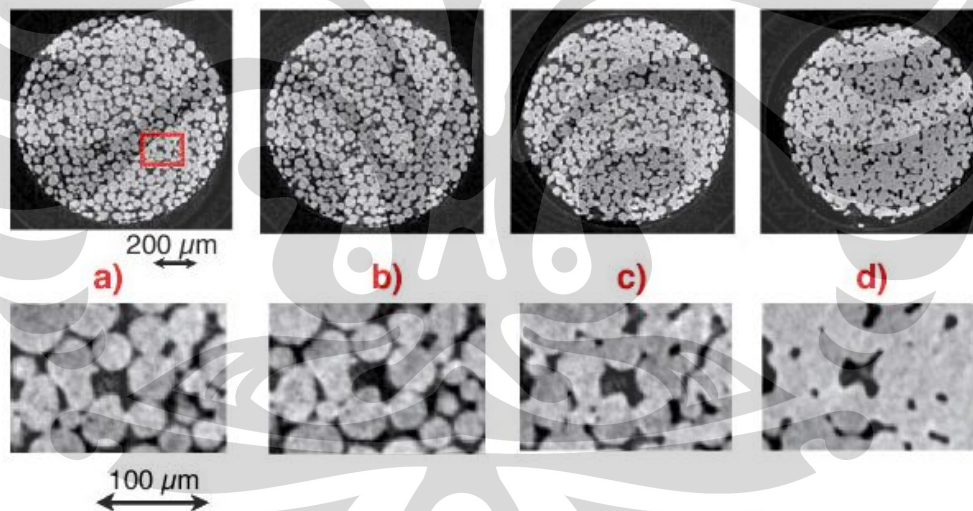
pada material tersebut. Atom yang kecil seperti hidrogen, boron, karbon atau nitrogen, dengan jari-jari atom yang jauh lebih kecil dari satu nanometer dapat membentuk larutan seperti ini.

### 3. Fasa intermediate

Senyawa elektrokimia; yaitu bila terdapat elemennya yang bersifat elektropositif dan elektronegatif dalam suatu material maka kecenderungan pembentukan senyawa dapat terjadi.

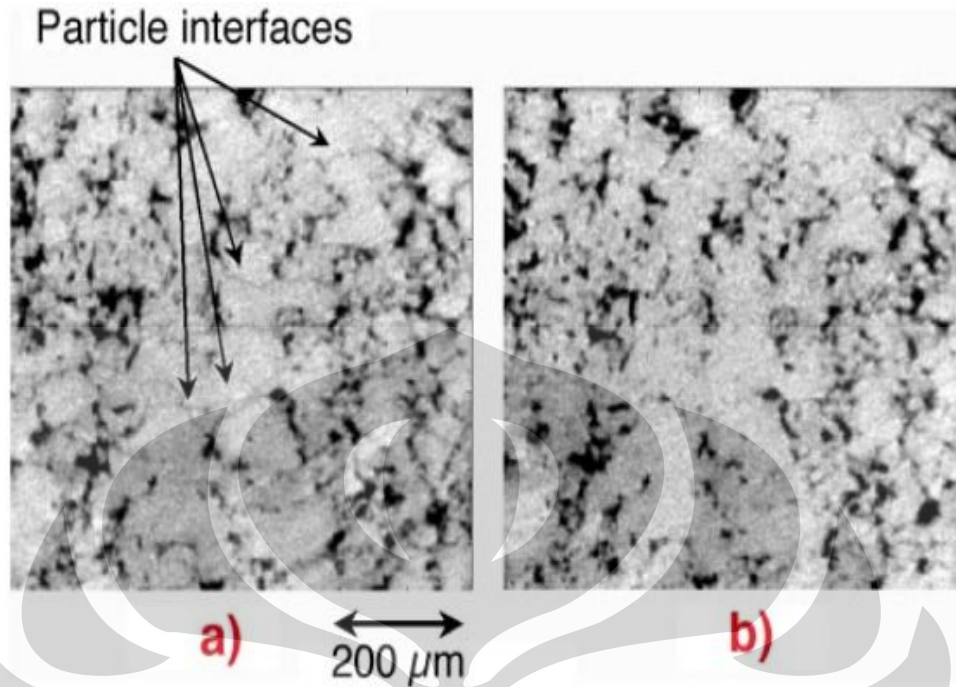
#### 2.1.2. Proses Sinter

Sintering adalah proses dimana partikel berikatan pada temperatur di bawah temperatur lebur melalui transport atom. Pada proses sinter ini terjadi pengurangan dimensi, luas permukaan atau penyusutan (shrinkage).



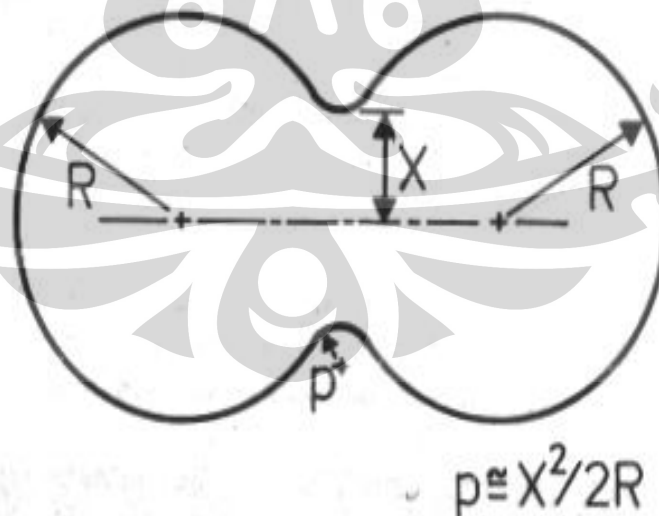
2D reconstructions (virtual slices) perpendicular to the cylindrical axis showing Cu particles at different stages of the sintering process: (a) before sintering, (b) after sintering at 1000°C, and (c) after sintering at 1050°C. Identical regions (inside the rectangle of (a)) are shown at a higher magnification below.

**Gambar 2.2** Hasil gambar 2D sebelum dan sesudah proses sinter [6]



Reconstructed slices of a compacted Distaloy sample before (a) and after (b) sintering at 1130°C. The direction of prior compaction is along the vertical direction in the paper plane.

**Gambar 2.3** Hasil SEM sebelum dan sesudah proses sinter [6]



**Figure 6.2** The sintering profile for two spherical particles with a neck radius of  $X$ . The sphere radii are  $R$  and the circular profile of the neck has a radius of  $p$ .

**Gambar 2.4** Skematik luas penampang material setelah proses sintering

Pada umumnya penyebab proses sinter ini ada 3 hal, yaitu:

1. Permukaan serbuk memiliki energi (kelebihan energi) tertentu.
2. Pada temperatur tinggi, pergerakan masa seperti difusi kisi menjadi signifikan.
3. Pada skala atomik, pergerakan atom itu menguntungkan (ke daerah leher), karena menurunkan energi permukaan dengan berkurangnya total luas permukaan.

Proses sintering dapat dijelaskan dalam 3 tahapan, yaitu:

1. Tahap awal.

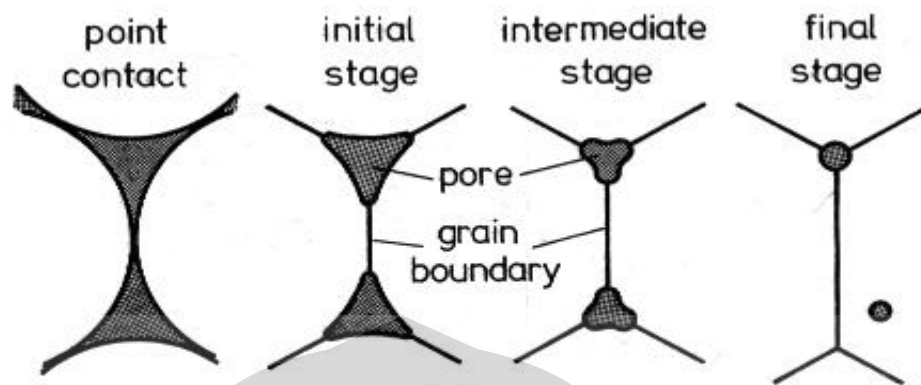
Rasio ukuran  $< 0.3$ . kinetik, didominasi gradien kurvatur tajam di daerah leher. Struktur pori, terbuka dan terhubung secara penuh. Bentuk pori masih belum mulus.

2. Tahap menengah.

Struktur pori lebih halus. Pori terhubung dg struktur tabung. Gaya penggerak  $\rightarrow$  energi antar muka. Densiti mencapai 92%.

3. Tahap akhir.

Struktur pori menyusut. Struktur tabung tidak stabil mendekati 8% pori dan berubah menjadi pori bola. Densiti melebihi 92%.



**Figure 6.4** The development of the interparticle bond during sintering, starting with a point contact. The pore volume shrinks and the pores become smoother. As pore spheroidization occurs, the pores are replaced by grain boundaries.

**Gambar 2.5.** Skematik proses sinter.

### 2.1.3 Paduan Tembaga

**Tabel 2.1** Klasifikasi Tembaga dan Paduannya

Keluarga	Pokok Unsur Paduan	Nomor UNS
Kuningan	Seng	C1xxxx-C4xxxx, C66400-C69800
Fosfor perunggu	Timah	C5xxxx
Alumunium perunggu	Alumunium	C60600-C64200
silikon perunggu	Silikon	C64700-C66100
tembaga nikel	Nikel	C7xxxx

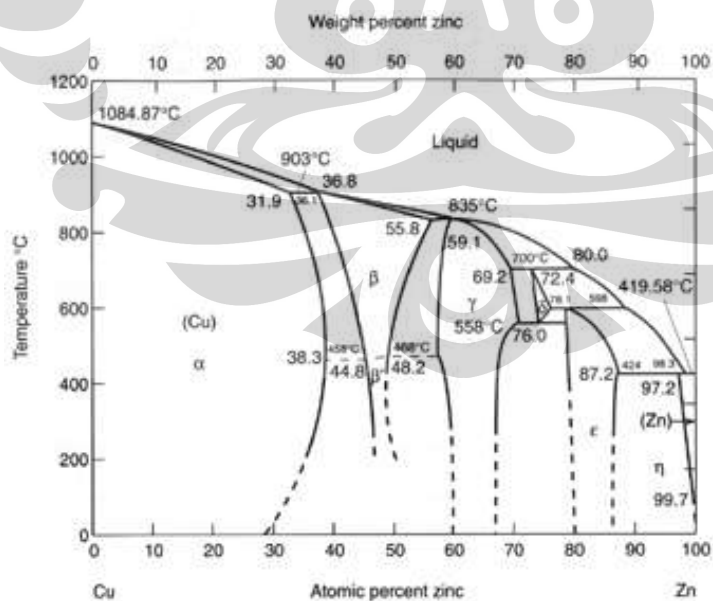
Paduan tembaga adalah logam paduan dengan tembaga sebagai komponen utama mereka. Mereka memiliki ketahanan tinggi terhadap korosi di berbagai macam lingkungan pada *ambient temperature*. Sifat karakter dari sebuah tembaga murni adalah lunak dan ulet, sehingga sangat sulit untuk proses permesinan. Tembaga murni ini mempunyai keistimewaan dalam hal pengerjaan dingin (*cold work*) yaitu kapasitas untuk di CW tidak terbatas. Sifat mekanis dan ketahanan korosi dari tembaga murni ini dapat ditingkatkan dengan cara memberikan suatu paduan. Sebagian besar paduan tembaga tidak bisa dikeraskan dan dikuatkan dengan proses perlakuan panas sehingga dilakukan pepaduan untuk meningkatkan sifat mekanis tersebut.

**Tabel 2.2** Sifat Mekanik Paduan Tembaga [7]

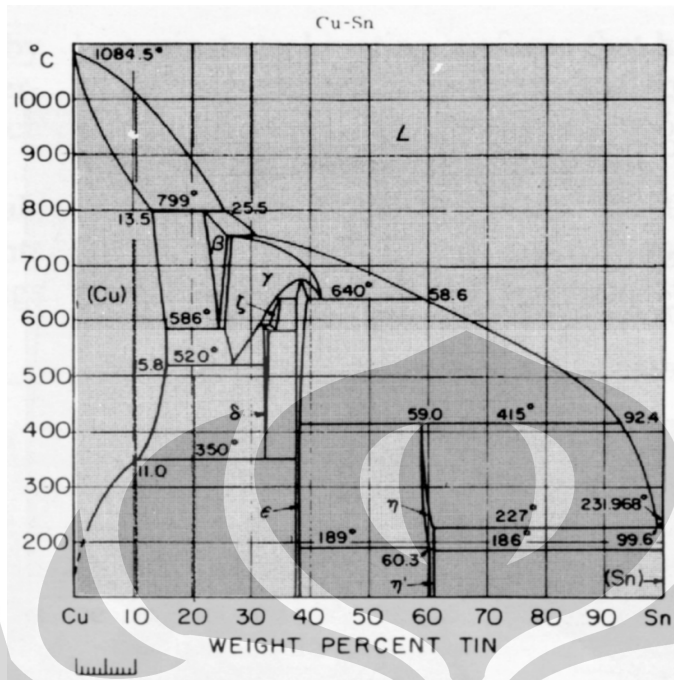
Nama	Komposisi (%)	Kondisi	Kekuatan Yield(0.2% offset, ksi)	Kekuatan tarik (ksi)	Elongasi dalam 2 inci (%)	Kekerasan (BHN)
Kuningan (ASTM B36,B134,B135)	65.0 Cu, 35.0 Zn	annealed	18	48	60	55
Kuningan (ASTM B36,B134,B135)	65.0 Cu, 35.0 Zn	tarik dingin	55	70	15	115
Kuningan (ASTM B36,B134,B135)	65.0 Cu, 35.0 Zn	cold rolled	60	74	10	180

Paduan tembaga yang umum digunakan adalah kuningan (CuZn), dengan seng (Zn) sebagai atom substitusi. Pada diagram fasa Cu-Zn, fasa  $\alpha$  memiliki struktur kristal FCC dan stabil sampai 35 wt% Zn. Fasa ini, bersifat lunak, ulet, dan dapat dilakukan pengerjaan dingin. Fasa  $\beta'$  memiliki struktur kristal BCC dan lebih keras dan kuat dari fasa  $\alpha$ . Sehingga fasa  $\alpha + \beta'$  dapat dilakukan proses perlakuan panas. Kuningan memiliki kandungan seng maksimal terdapat di fasa  $\alpha + \beta'$  pada temperatur ruang.[8]

Perunggu (CuSn) merupakan salah satu paduan tembaga. Memiliki kekuatan yang lebih baik dari kuningan, dan masih mempunyai ketahanan korosi yang baik.

**Gambar 2.6** Diagram Fasa Cu-Zn [9]





**Gambar 2.7** Diagram Fasa Cu-Sn[10]

Berikut adalah efek dari paduan terhadap logam berbahan dasar tembaga (Cu):[11]

### 1. Kekuatan

Mekanisme penguatan pada fase padatan (*solid solution strengthening*) pada tembaga merupakan metode penguatan yang umum digunakan. Penambahan elemen paduan pada lelehan tembaga akan terlarut sempurna dan membentuk mikrostruktur yang homogen (*single phase*). Pada beberapa kasus, penambahan sejumlah elemen paduan tidak akan larut. Jumlah yang tepat tergantung pada kelarutan padatan dari elemen pembagi di dalam tembaga. Ketika batas kelarutan padatan berlebih, akan terbentuk dua mikrostruktur dengan komposisi dan kekerasan yang berbeda. Tembaga yang dipadu dengan timah, dikenal dengan nama perunggu, akan menghasilkan paduan yang lebih kuat dan lebih keras dibandingkan tembaga murni. Sama halnya jika tembaga dipadu dengan seng, dikenal dengan nama kuningan. Timah lebih efektif dalam hal peningkatan kekuatan pada tembaga dibandingkan seng, namun timah lebih mahal dan

menurunkan sifat konduktifitas listrik dan panas. Aluminium, mangan, nikel, dan silikon dapat ditambahkan untuk meningkatkan kekuatan paduan tembaga. Metode penguatan paduan tembaga lainnya adalah mekanisme penguatan presipitat (*precipitation hardening*). Proses ini melibatkan proses pendinginan cepat, kemudian dipanaskan kembali pada suhu rendah (*aging*) untuk melepaskan kelebihan presipitat dan membentuk fasa kedua. Proses ini sering digunakan pada paduan tembaga yang mengandung berilium, krom, nikel, atau zirkon. Seringkali proses perlakuan panas dapat dilakukan di udara terbuka, dapur dengan temperatur sedang, dan dengan sedikit atau tanpa kontrol laju pendinginan. Sifat keuletan, ketahanan impak, kekerasan, konduktivitas, dan kekuatan dapat diperoleh dengan variasi perlakuan panas dan temperatur.

## 2. Konduktivitas listrik dan panas

Tembaga murni merupakan konduktor yang baik untuk listrik maupun panas. *International Annealed Copper Standard* (IACS – tembaga dengan kemurnian tinggi dengan resistivitas 0,0000017 ohm-cm) sering digunakan sebagai standar konduktivitas listrik untuk logam. Cara terbaik untuk meningkatkan konduktivitas listrik dan panas pada tembaga adalah dengan menurunkan kemurniannya. Kadmium (Cd) akan memberikan pengaruh yang kecil dalam meningkatkan konduktivitas listrik dalam paduan tembaga. Pengaruh konduktivitas listrik akan meningkat berturut-turut jika dipadu dengan seng (Zn), timah (Sn), nikel (Ni), aluminium (Al), mangan (Mn), silikon (Si), kemudian fosforus (P). Untuk konduktivitas panas, penambahan sejumlah elemen paduan akan menurunkan konduktivitas panas. Seng akan memberikan pengaruh yang kecil dalam menurunkan konduktivitas panas dalam paduan tembaga. Pengaruh konduktivitas panas akan menurun berturut-turut jika dipadu dengan nikel, timah, mangan, silikon, fosforus. Fosforus sering digunakan untuk men-deoksidasi tembaga, sehingga dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan, namun dapat mempengaruhi konduktivitasnya. Silikon dapat digunakan sebagai pengganti fosforus untuk men-deoksidasi tembaga tanpa mempengaruhi konduktivitasnya.

### 3. Warna

Tembaga murni memiliki warna emas kemerah-merahan, jika teroksidasi akan memudar menjadi hijau. Ketika tembaga dipadu dengan unsur lainnya akan menghasilkan warna paduan yang berbeda-beda. *Gilding copper* (95%Cu, 5% Zn) memiliki warna coklat kemerah-merahan dan mengandung seng, besi, dan timah hitam. Kuningan (CuZn) mengandung berbagai elemen seperti seng, besi, timah hitam dan memiliki variasi warna dari kemerah-merahan, kehijau-hijauan dan emas kecoklatan. Perak nikel, mengandung nikel, seng, besi, timah hitam, dan mangan memiliki warna putih keabu-abuan dan juga berwarna perak.

#### 2.2 Sifat unsur timah (Sn)

Timah merupakan salah satu unsur kimia dengan simbol Sn dan memiliki nomor atom 50. Memiliki sifat kimia yang hampir sama dengan germanium dan timbal. Memiliki 2 bilangan oksida, +2 dan +4. Timah merupakan unsur terbanyak ke 49 yang ada di bumi. Timah diekstraksi dari mineral kasiterit[12]

**Tabel 2.3 Sifat dan Karakteristik Timah.**

Atomic properties		General properties	
Oxidation states	4, 2, -4 (amphoteric oxide)	Name, symbol, number	tin, Sn, 50
Electronegativity	1.96 (Pauling scale)	Element category	post-transition metal
Ionization energies	1st: 708.6 kJ·mol <sup>-1</sup>	Group, period, block	14, 5, p
	2nd: 1411.8 kJ·mol <sup>-1</sup>		
	3rd: 2943.0 kJ·mol <sup>-1</sup>		
Atomic radius	140 pm	Standard atomic weight	118.710 g·mol <sup>-1</sup>
Covalent radius	139±4 pm	Electron configuration	[Kr] 4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>2</sup>
Van der Waals radius	217 pm	Electrons per shell	2, 8, 18, 18, 4 (Image)



Physical properties		Miscellanea	
Phase	solid	Crystal structure note	Tetragonal (white), diamond cubic (gray)
Density (near r.t.)	(white) 7.365 g·cm <sup>-3</sup>	Magnetic ordering	(gray)diamagnetic <sup>[1]</sup> , (white) paramagnetic
Density (near r.t.)	(gray) 5.769 g·cm <sup>-3</sup>	Electrical resistivity	(0 °C) 115 nΩ·m
Liquid density at m.p.	6.99 g·cm <sup>-3</sup>	Thermal conductivity	(300 K) 66.8 W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>
Melting point	505.08 K, 231.93 °C, 449.47 °F	Thermal expansion	(25 °C) 22.0 μm·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>
Boiling point	2875 K, 2602 °C, 4716 °F	Young's modulus	50 GPa
Heat of fusion	(white) 7.03 kJ·mol <sup>-1</sup>	Shear modulus	18 GPa
Heat of vaporization	(white) 296.1 kJ·mol <sup>-1</sup>	Bulk modulus	58 GPa
Specific heat capacity	(25 °C) (white) 27.112 J·mol <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>	Poisson ratio	0.36
		Mohs hardness	1.5
		Brinell hardness	51 MPa
		CAS registry number	7440-31-5

### 2.3 Paduan CZT Untuk Aplikasi Sel Surya

Hingga saat ini terdapat beberapa jenis sel surya yang berhasil dikembangkan oleh para peneliti untuk mendapatkan perangkat sel surya yang memiliki efisiensi yang tinggi atau untuk mendapatkan perangkat sel surya yang murah dan mudah dalam pembuatannya.

Tipe pertama yang berhasil dikembangkan oleh para peneliti adalah jenis wafer (lapisan) silikon kristal tunggal. Tipe ini dalam perkembangannya mampu menghasilkan efisiensi yang sangat tinggi. Masalah terbesar yang dihadapi dalam pengembangan silikon kristal tunggal untuk dapat diproduksi secara komersial adalah harga yang sangat tinggi sehingga dalam pembuatan panel sel surya ini menjadi tidak efisien sebagai sumber energi alternatif. Sebagian besar silikon kristal tunggal komersial memiliki efisiensi pada kisaran 16-17%, bahkan silikon sel surya hasil produksi SunPower memiliki efisiensi hingga 20% [13]. Bersama

perusahaan Shell Solar, SunPower menjadi perusahaan yang menguasai pasar silikon kristal tunggal untuk sel surya.

Jenis sel surya yang kedua adalah tipe wafer silikon poli kristal. Saat ini, hampir sebagian besar panel sel surya yang beredar di pasar komersial berasal dari *screen printing* jenis silikon polikristal ini. Wafer silikon polikristal dibuat dengan cara membuat lapisan lapisan tipis dari batang silikon dengan metode *wire-sawing*. Masing-masing lapisan memiliki ketebalan sekitar 250350 micrometer. Jenis sel surya tipe ini memiliki harga pembuatan yang lebih murah meskipun tingkat efisiensinya lebih rendah jika dibandingkan dengan silikon kristal tunggal. Perusahaan yang aktif memproduksi tipe sel surya ini adalah GT Solar, BP, Sharp, dan Kyocera Solar.

Kedua jenis silikon wafer di atas dikenal sebagai generasi pertama dari sel surya yang memiliki ketebalan pada kisaran 180 hingga 240 mikro meter. Penelitian yang lebih dulu dan telah lama dilakukan oleh para peneliti menjadikan sel surya berbasis silikon ini telah menjadi teknologi yang berkembang dan banyak dikuasai oleh peneliti maupun dunia industri. Perangkat sel surya ini dalam perkembangannya telah mampu mencapai usia aktif mencapai 25 tahun [14]. Modifikasi untuk membuat lebih rendah biaya pembuatan juga dilakukan dengan membuat pita silikon (*ribbon si*) yaitu dengan membuat lapisan dari cairan silikon dan membentuknya dalam struktur multi kristal. Meskipun tipe sel surya pita silikon ini memiliki efisiensi yang lebih rendah (13-15%), tetapi biaya produksinya bisa lebih dihemat mengingat silikon yang terbuang dengan menggunakan cairan silikon akan lebih sedikit.

Generasi kedua sel surya adalah sel surya tipe lapisan tipis (*thin film*). Ide pembuatan jenis sel surya lapisan tipis adalah untuk mengurangi biaya pembuatan sel surya mengingat tipe ini hanya menggunakan kurang dari 1% dari bahan baku silikon jika dibandingkan dengan bahan baku untuk tipe silikon wafer. Dengan penghematan yang tinggi pada bahan baku seperti itu membuat harga per kWh energi yang dibangkitkan menjadi bisa lebih murah.

Metode yang paling sering dipakai dalam pembuatan silikon jenis lapisan tipis ini adalah dengan PECVD dari gas silane dan hidrogen. Lapisan yang dibuat dengan metode ini menghasilkan silikon yang tidak memiliki arah orientasi kristal atau yang dikenal sebagai *amorphous* silikon (non kristal). Selain menggunakan material dari silikon, sel surya lapisan tipis juga dibuat dari bahan semikonduktor lainnya yang memiliki efisiensi sel surya tinggi seperti *Cadmium Telluride* (Cd Te) dan *Copper Indium Gallium Selenide* (CIGS).

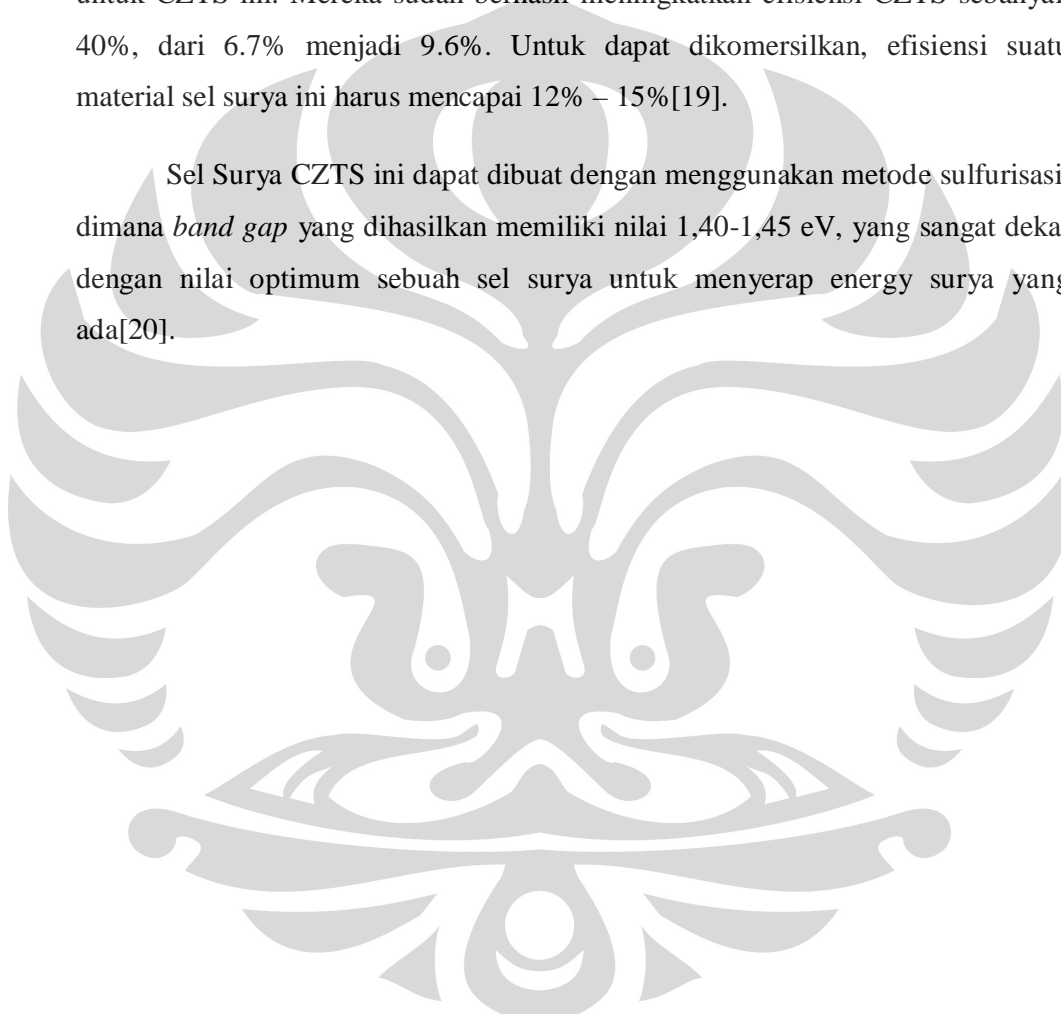
Efisiensi tertinggi saat ini yang bisa dihasilkan oleh jenis sel surya lapisan tipis ini adalah sebesar 19,5% yang berasal dari sel surya CIGS [15]. Keunggulan lainnya dengan menggunakan tipe lapisan tipis adalah semikonduktor sebagai lapisan sel surya bisa dideposisi pada substrat yang lentur sehingga menghasilkan perangkat sel surya yang fleksibel. Kedua generasi dari sel surya ini masih mendominasi pasaran sel surya di seluruh dunia dengan silikon kristal tunggal dan multi kristal memiliki lebih dari 84% sel surya yang ada dipasaran.

Berbeda dengan tipe sel surya generasi pertama dan kedua yang menjadikan pembangkitan pasangan elektron dan lubang (*hole*) dengan datangnya foton dari sinar matahari sebagai proses utamanya, pada sel surya generasi ketiga ini foton yang datang tidak harus menghasilkan pasangan muatan tersebut melainkan membangkitkan *exciton*. *Exciton* inilah yang kemudian berdifusi pada dua permukaan bahan konduktor (yang biasanya di rekatkan dengan organik semikonduktor berada di antara dua keping konduktor) untuk menghasilkan pasangan muatan dan akhirnya menghasilkan efek arus foto (*photocurrent*) [16-17].

Tipe sel surya fotokimia merupakan jenis sel surya *exciton* yang terdiri dari sebuah lapisan partikel nano (biasanya titanium dioksida) yang di endapkan dalam sebuah perendam (*dye*). Jenis ini pertama kali diperkenalkan oleh Profesor Graetzel pada tahun 1991 sehingga jenis sel surya ini sering juga disebut dengan sel *Graetzel* atau *dye-sensitized solar cells* (DSSC) [18].

Sel surya CZTS dengan mudah bisa menjadi alternatif untuk sel surya film tipis. Hal ini dikarenakan material ini menggunakan bahan yang relatif lebih murah daripada sel surya yang lain dan bahan baku atau unsur material ini sangat melimpah di alam Indonesia seperti tembaga, seng, timah, dan belerang. Sifat material CZTS ini juga mampu menyerap cahaya dengan sangat mudah. Pada tahun 2010, perusahaan IBM sudah mempublikasikan perkembangan penelitian untuk CZTS ini. Mereka sudah berhasil meningkatkan efisiensi CZTS sebanyak 40%, dari 6.7% menjadi 9.6%. Untuk dapat dikomersilkan, efisiensi suatu material sel surya ini harus mencapai 12% – 15%[19].

Sel Surya CZTS ini dapat dibuat dengan menggunakan metode sulfurisasi, dimana *band gap* yang dihasilkan memiliki nilai 1,40-1,45 eV, yang sangat dekat dengan nilai optimum sebuah sel surya untuk menyerap energy surya yang ada[20].

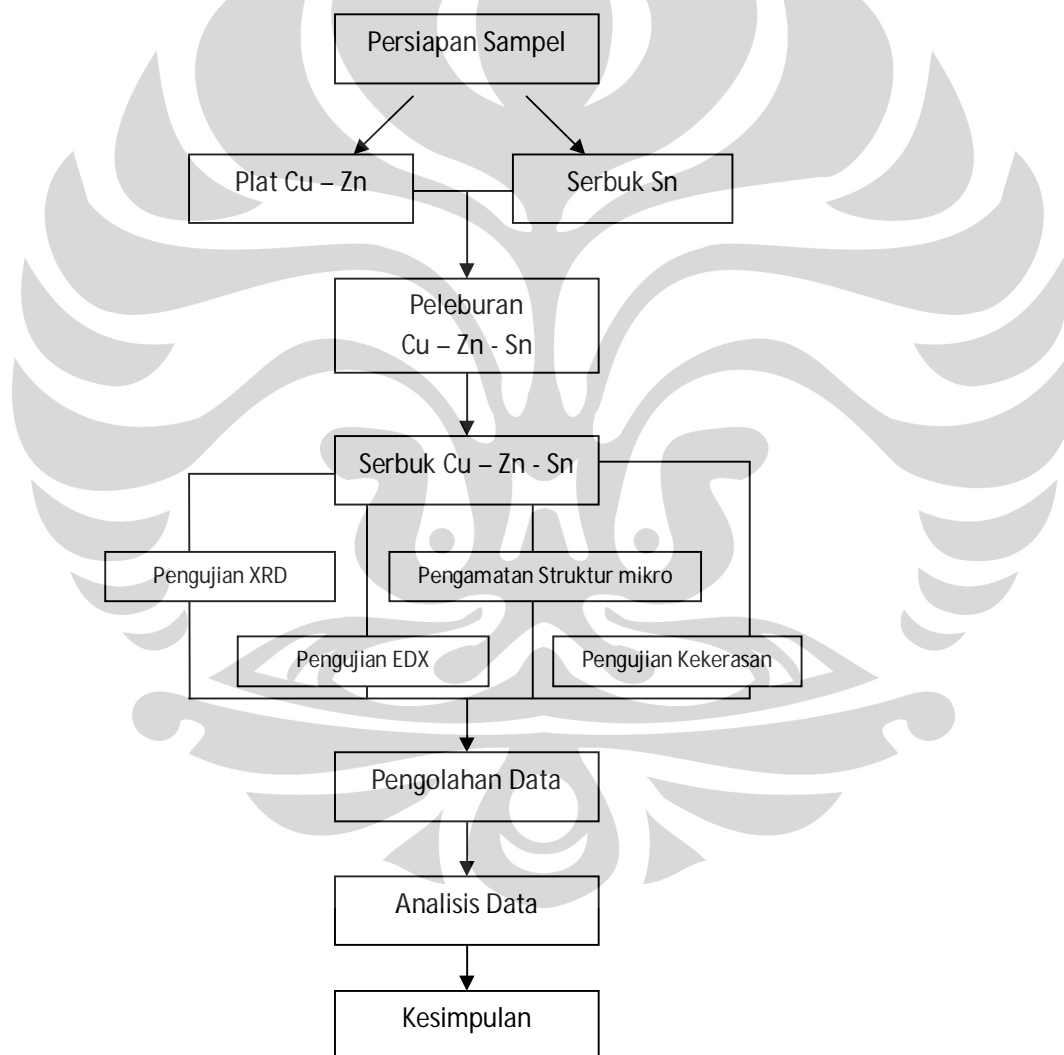


## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini akan membuat paduan Cu-Zn-Sn dengan menggunakan metode peleburan dengan *Vacuum Arc Melting Furnace* (VAMF) Secara umum, diagram alir dari penelitian ini dapat dilihat pada **gambar 3.1**.



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian Ingot CTZ

## 3.2 Alat dan Bahan

### 3.2.1 Alat

Peralatan yang akan digunakan di dalam penelitian ini antara lain:

1. Mesin bor
2. Gergaji besi
3. Timbangan digital
4. *Ultrasonic cleaner*
5. *Beaker glass* 25 ml
6. Pengering
7. Mesin kompaksi ringan
8. Mesin amplas dan poles
9. *Vacuum Arc Melting Furnace* (VAMF)
10. Mikroskop Optik Digital
11. *X-Ray Diffraction* (XRD)
12. Energy Disperse X-Ray (EDX)

### 3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang dibutuhkan di dalam penelitian ini antara lain:

1. Logam Kuningan (Cu 63,4% dan Zn 36,2%)
2. Logam Sn (99,9% dalam bentuk ingot)

## 3.3 Prosedur Penelitian

Persiapan sampel: kuningan dan timah ingot akan dipersiapkan ke dalam bentuk padat agar mudah dipadukan (dilebur). Penimbangan seluruh sampel dilakukan dengan timbangan elektronik agar komposisi yang diinginkan sesuai. Proses kompaksi ringan diperlukan agar serbuk ingot yang sudah dihitung komposisinya tidak berhamburan. Hal ini dilakukan agar tidak perlu dilakukan perhitungan ulang serbuk ingot (karena angin) dan meningkatkan keakuratan data penelitian.

### 3.3.1 Preparasi Sampel Kuningan

Pada penelitian ini digunakan logam kuningan dengan kadar Cu 63.4% dan Zn 36.2%, berbentuk plat tipis dengan ketebalan 1 mm. Kuningan ini dipotong menjadi lempengan – lempengan kecil dengan tujuan untuk mempermudah penimbangan dan mempermudah proses peleburan dengan memperbesar persentasi kontak antar permukaan sehingga mempercepat proses peleburan.

### 3.3.2 Preparasi Sampel Timah

Penelitian ini menggunakan logam timah murni, berbentuk ingot dengan kadar 99,9 %. Timah ingot ini akan dibor dengan tujuan untuk mendapatkan ingot timah dalam bentuk geram/serbuk. Sampel timah tidak dapat dibubut karena bersifat ulet. Hal ini akan mempermudah dalam proses peleburan.

### 3.3.3 Pembersihan Sampel

Pembersihan sampel dilakukan dengan menggunakan alat *ultrasonic cleaner*. Tahapan pembersihan yaitu mempersiapkan dan membersihkan peralatan dengan melihat prosedur yang ada. Mengisi alat dengan air sesuai dengan batas yang ditentukan. Memasukkan sampel kedalam *beaker glass* dan mengisi *beaker glass* tersebut dengan alcohol 70% sampai dengan ketinggian batas pengisian air. Setelah itu menentukan waktu pembersihan alat tersebut. Setelah selesai membersihkan, sampel dikeringkan dengan menggunakan pengering sampai diyakini sudah kering benar.



**Gambar 3.2** Alat Ultrasonic Cleaner

### 3.3.4 Pengukuran Berat Sampel

Pengukuran berat sampel dilakukan dengan menggunakan timbangan elektronik.

Langkah kerja yang dilakukan yaitu:

Menentukan komposisi yaitu  $\text{Cu}_2\text{ZnSn}$ ; 2 Cu : 1 Zn : 1 Sn (2 mol : 1 mol : 1 mol).

Melakukan perhitungan berat atau massa untuk masing – masing sampel.

**Tabel 3.1 Tabel Data bahan baku.**

Nama Bahan	Berat Atom	Temperatur Leleh	Kemurnian	Massa yang digunakan
Kuningan	Cu : 63,5 g $\text{mol}^{-1}$	$\pm 980\text{ }^\circ\text{C}$	63.4% Cu	5 gram
	Zn : 65,4 g $\text{mol}^{-1}$		36.3% Zn	
Timah	118,7 g $\text{mol}^{-1}$	231,93 $^\circ\text{C}$	99,99 %	2.2 gram

### 3.3.5 Proses Kompaksi Ringan

Tujuan dilakukannya proses kompaksi adalah:

- Agar sampel yang berbentuk serbuk ini tidak terbang terbawa angin
- Memudahkan *handling* sampel karena sampel berbentuk padat
- Memudahkan pepaduan sampel karena jarak satu dengan yang lain rapat.

Proses kompaksi ini dilakukan dengan menggunakan mesin kompaksi *Krisbow* (mesin kompaksi yang ada di lab). Jenis kompaksi yang digunakan adalah *single pressing* dalam keadaan *cold compacting* dilingkungan atmosfer (temperatur ruangan). Penekanan yang diberikan adalah satu arah dan *punch* berada pada bagian atas kemudian bergerak dari atas ke bawah.

Tahapan kompaksi yang dilakukan adalah mempersiapkan dan membersihkan cetakan sesuai dengan prosedur yang ada. Memasukkan serbuk sampel kuningan dan timah kedalam cetakan kompaksi dan meletakkan cetakan tersebut kedalam mesin kompaksi krisbow. Setelah itu memberikan pembebanan



tekan kompaksi sebesar 12 ton, ditahan selama 40 detik hingga 1 menit. Setelah selesai waktu penahanan, tutup cetakan dilepas dan meletakkan cetakan kembali ke mesin kompaksi. Setelah itu mengeluarkan hasil cetakan.



**Gambar 3.3** Alat Kompaksi Krisbow

### **3.3.6 Proses Pemaduan (*Alloying*)**

Proses pemaduan Cu-Zn-Sn dilakukan dengan Vacuum Arc Melting Furnace, dimana paduan yang sudah dikompaksi diletakan pada wadah dan di lebur dengan menggunakan busur di dalam kondisi hampa udara atau diberi gas inert. Pemaduan ini dilakukan oleh teknisi dari Fakultas Fisika, MIPA Universitas Indonesia. Temperatur yang digunakan untuk peleburan lebih besar dari 1500°C.

Harus dilakukan dengan keadaan hampa udara atau diberi gas inert agar gas – gas yang ada di lingkungan tidak bereaksi dengan sampel dan membentuk oksida yang tidak diinginkan.

### **3.3.7 Proses Pengujian Pemaduan**

Proses pengujian pemaduan ini dilakukan dengan beberapa cara, yaitu:

#### **a. Pengamatan Struktur Mikro**

Pengamatan struktur mikro ini bertujuan untuk mengetahui struktur mikro yang terbentuk dari proses pemaduan Cu-Zn-Sn. Dari struktur mikro ini kita dapat mengetahui sifat dari material tersebut.



**Gambar 3.4** Alat Mikroskop Optik Digital

Sampel ingot harus dipersiapkan terlebih dahulu sebelum melakukan pengujian struktur mikro. Ada beberapa tahapan, yaitu *me-mounting* ingot, yang bertujuan untuk memudahkan pemegangan ingot pada saat diampelas dan dipoles. Ampelas dan poles ini bertujuan agar permukaan sampel rata dan halus, sehingga bias mendapatkan hasil struktur mikro yang maksimal. Setelah itu mengetsa ingot ini. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan warna material yang berbeda – beda dikarenakan dari perbedaan tingkat korosi yang ada pada masing – masing zat. Larutannya yang digunakan adalah  $Fe_3Cl$ . Larutan ini akan membakar atau mengkorosi logam Cu sehingga mudah terlihat pada struktur mikronya.



**Gambar 3.5** Sampel 1, 2 dan 3 Ingot CZT yang sudah di mounting

#### b. Pengujian EDX

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui seluruh unsur yang terbentuk pada saat dilakukan proses peleburan berlangsung.



**Gambar 3.6** Alat SEM dan EDS.

c. Pengujian XRD

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui senyawa apa saja yang terbentuk pada saat pembuatan paduan CuZnSn



**Gambar 3.7** Alat XRD

Perhitungan XRD menggunakan hukum Bragg's (*Bragg's Law*)

$$n\lambda = 2d \cdot \sin\theta \dots\dots\dots(3.1)$$

dimana:

n = bilangan bulat sesuai dengan sudut yang diinginkan

$\lambda$  = panjang gelombang

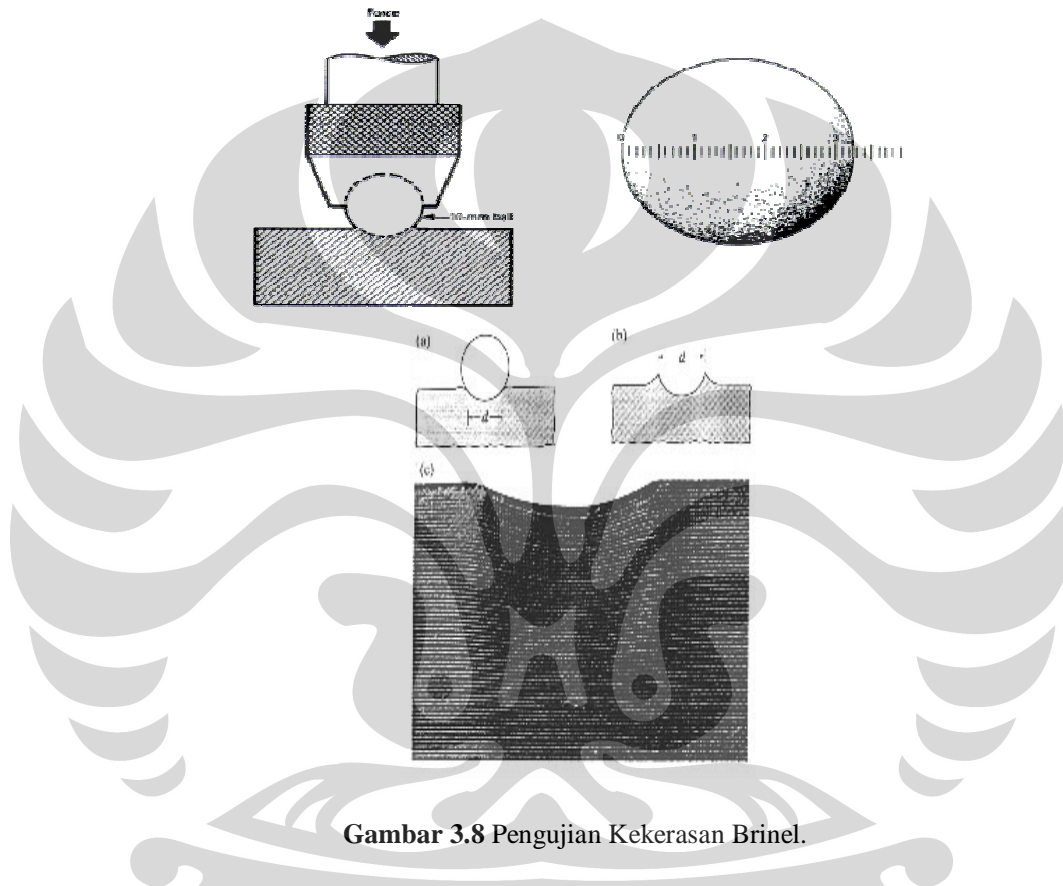
d = jarak antar bidang di dalam kisi atom

$\theta$  = sudut datang gelombang

d. Pengujian kekerasan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kekerasan di setiap sampel setelah dilebur.

Pengujian kekerasan pada ingot ini menggunakan metode Brinel, dimana indentor yang digunakan adalah bola pejal dengan beban sebesar 31.25kg.



Gambar 3.8 Pengujian Kekerasan Brinel.

Perhitungan kekerasan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Bhn = \frac{\text{Load mass}}{\text{indented area}} = \frac{P}{\frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \dots \dots \dots (3.2)$$

Dimana:

BHN = nilai kekerasan (BHN)

P = Beban (kg)

D = diameter bola indentor (mm)

d = diameter jejak (mm)

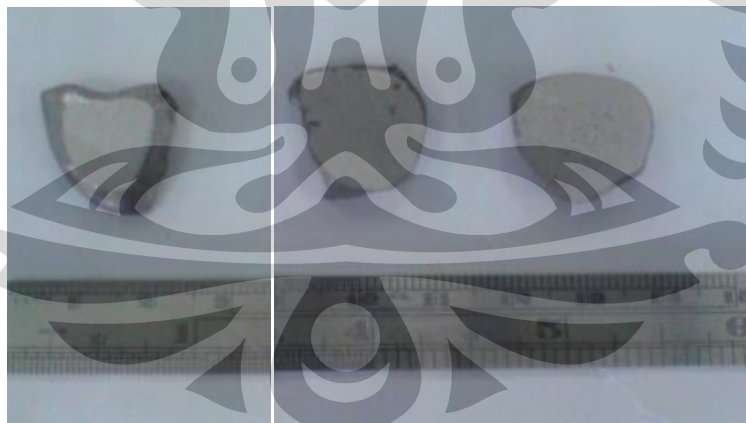


## BAB IV

### ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Ingot Paduan CZT

Hasil ingot yang didapat terlihat memiliki bentuk yang bagus, dimana secara visual terlihat sangat solid dan berwarna abu – abu terang dan mengkilap. Namun demikian, pada seluruh permukaan sampel tersebut terlihat adanya pori atau lubang kecil – kecil pada permukaannya. Setelah dilakukan pemotongan dengan gergaji agar mendapatkan 2 sampel dan dapat melihat bagian tengah sampel ingot untuk dilakukan pengujian, didapati beberapa sampel juga memiliki lubang seperti pori di bagian tengahnya. Hal ini bukan dikarenakan ada gas – gas yang terperangkap di dalam sampel tersebut atau gas – gas yang bereaksi dengan sampel pada saat dilebur menjadi satu paduan tetapi dikarenakan proses sinter, dimana pori – pori dapat terjadi pada saat proses kompaksi seperti dapat terlihat dengan jelas pada gambar 2.5. Karena proses pemaduan ini relatif bersih dari kontaminasi udara luar (dalam keadaan hampa udara), paduan yang dihasilkan juga relatif baik atau bebas oleh pengotor dari lingkungan.

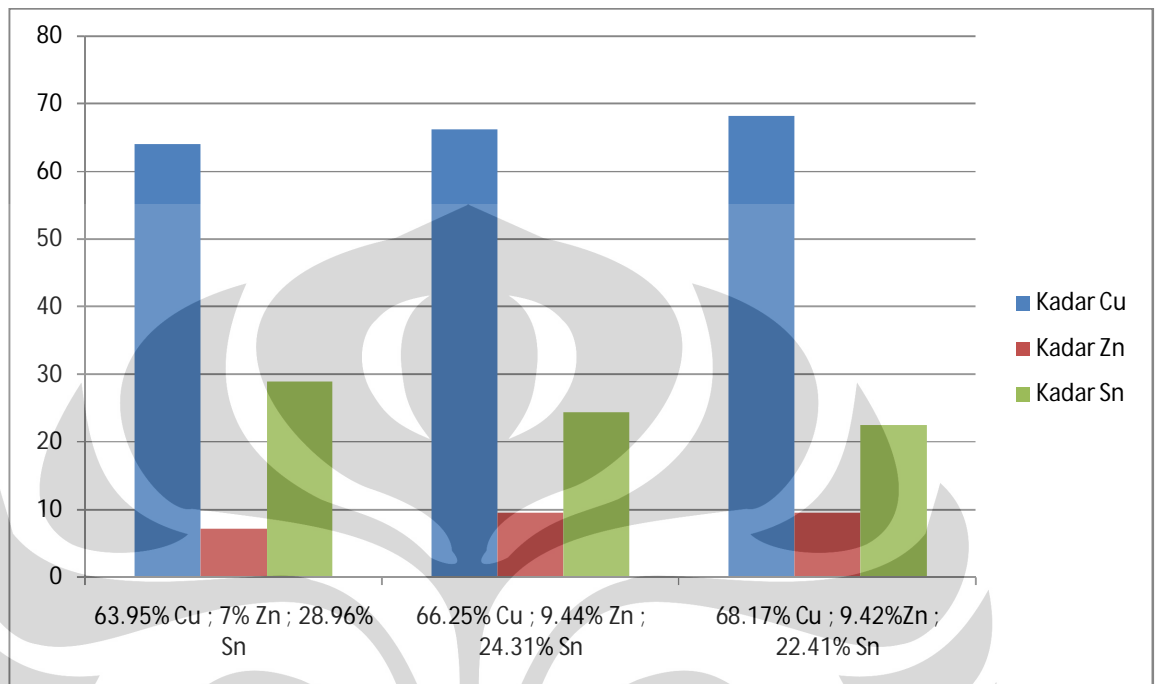


**Gambar 4.1** Sampel 1, 2 dan 3 Ingot CZT

#### 4.2. Analisis hasil EDX paduan CZT.

Pengujian EDX ini bertujuan untuk mengetahui komposisi masing – masing unsur yang terdapat pada paduan CZT tersebut. Pengujian ini

menghasilkan data yang kuantitatif. Berikut ini adalah gambar hasil pengujian EDS yang dianggap mewakili untuk seluruh ingot.



**Gambar 4.2** Hasil pengujian EDS

Dari pengujian komposisi di atas dapat terlihat bahwa komposisi yang didapat oleh ingot pertama kurang sesuai dengan yang diinginkan. Menurut perhitungan yang ada pada table 3.1, perhitungan menunjukkan bahwa dengan berat kuningan yang digunakan, yaitu 5 gram, seharusnya menggunakan timah sebesar 3.3 gram. Hal ini akan mendapatkan perhitungan komposisi dengan perbandingan mol 2:1:1 untuk setiap unsurnya. Massa yang digunakan untuk percobaan adalah 2.2 gram. Hal ini sudah pasti akan menyebabkan kurangnya massa Sn yang ada sehingga perbandingan yang didapatkan seharusnya seperti sampel ingot 2 dan 3, dimana pada sampel ingot tersebut, kadar unsur Sn yang ada dibawah 25%, yaitu 24.31% dan 22.41%. pada sampel 1 terlihat bahwa kadar timah yang ada melebihi 25%. Hal ini dikarenakan pada saat preparasi sampel pertama, perhitungan yang dilakukan terhadap logam kuningan mengalami kekurangan. Preparasi sampel timah menggunakan timbangan analitik, digit angka

yang digunakan adalah 4 angka di belakang koma, sedangkan untuk timbangan sampel kuningan, hanya menggunakan 1 angka di belakang koma.

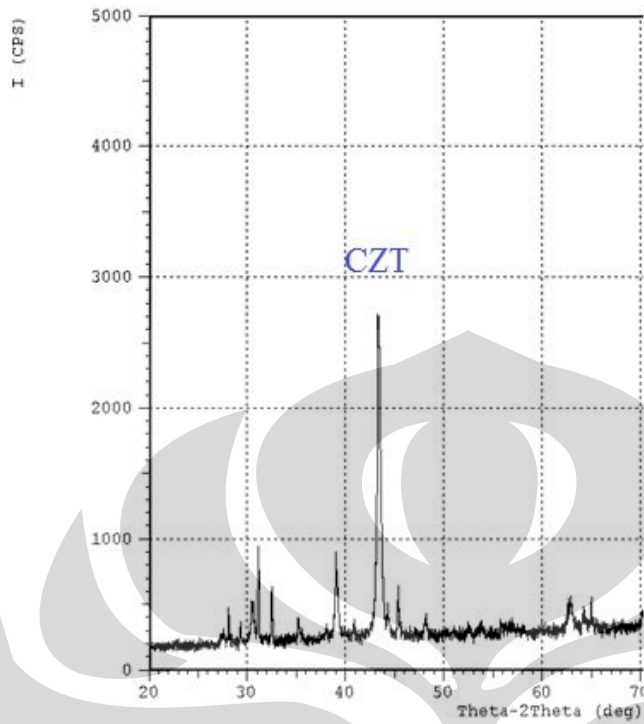
Untuk hasil unsur seng, dapat dilihat bahwa kadar unsur seng tersebut minim, jauh di bawah kadar yang seharusnya, yaitu 25%. Hal ini dapat dilihat dari sifat asli unsur seng yang memiliki titik didih yang rendah, yaitu  $907^{\circ}\text{C}$ . Panas yang digunakan pada saat peleburan mencapai lebih dari  $1500^{\circ}\text{C}$ . Hal ini menyebabkan unsur seng dalam sampel ingot mengalami penurunan drastis, hingga tidak lebih dari 10% karena unsur seng ini menguap pada saat dilebur. Bila peleburan dilakukan di bawah titik uap seng, maka paduan CZT pasti tidak akan terbentuk karena titik lebur tembaga adalah  $1084.62^{\circ}\text{C}$ .

Efek yang disebabkan oleh berkurangnya unsur seng ini adalah tingginya kadar tembaga yang ada pada setiap sampel tersebut. Hal ini dapat dilihat bila kadar tembaga dan seng dijumlahkan, kadar mereka berada pada daerah 75% dari total keseluruhan unsur yang ada pada sampel.

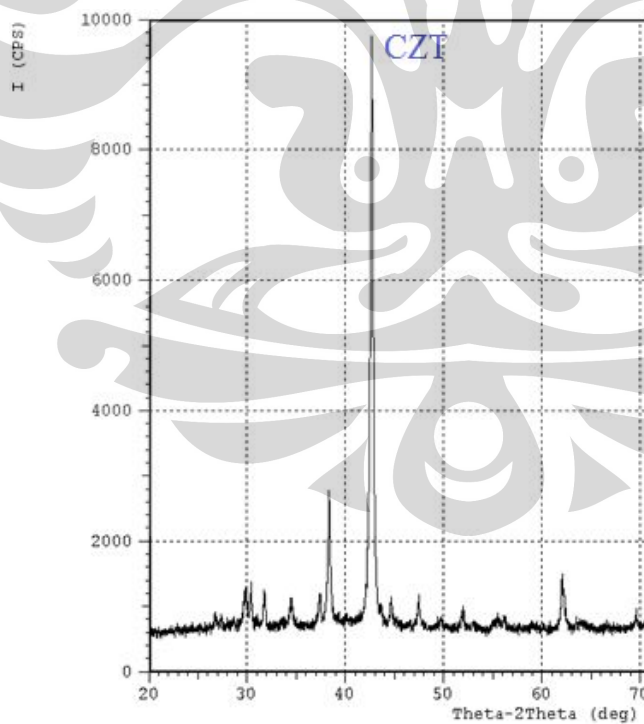
#### **4.3. Analisis Hasil XRD Paduan CZT**

Pengujian hasil XRD ini menghasilkan data yang kualitatif untuk setiap senyawa pada ingot CZT. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui senyawa apa saja yang terbentuk dalam paduan ingot CZT. Hasil pengujian paduan XRD dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

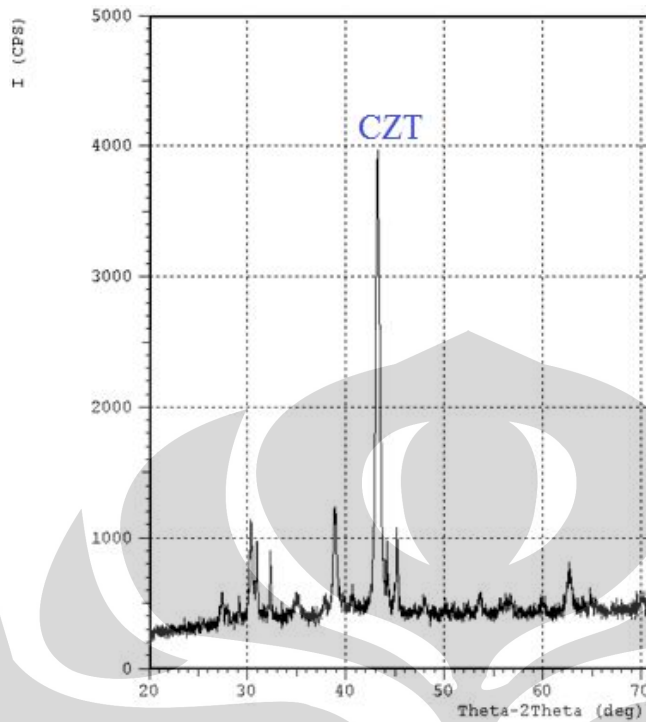




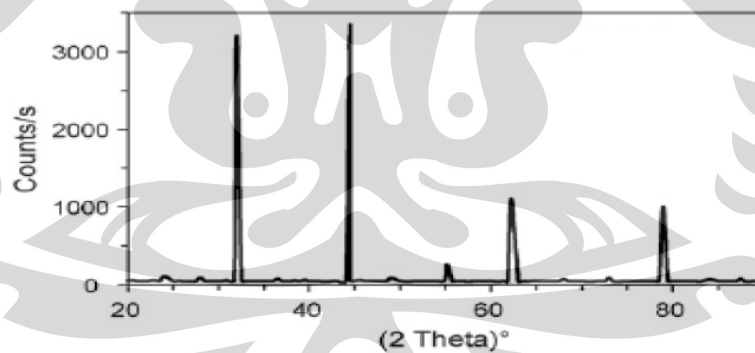
**Gambar 4.3** Hasil Pengujian XRD Ingot 1 (63.95%Cu; 7%Zn; 28.96%Sn)



**Gambar 4.4** Hasil Pengujian XRD Ingot 2 (66.25%Cu; 9.44%Zn; 24.31%Sn)



**Gambar 4.5** Hasil Pengujian XRD Ingot 3 (68.17%Cu; 9.42%Zn; 22.41%Sn)



**Gambar 4.6** Literatur Pengujian XRD [21]

Dalam analisis XRD, jarak interplanar ( $d$ ) dari suatu kristal digunakan untuk mengidentifikasi dan mengkarakterisasi suatu paduan atau senyawa yang terbentuk. Dalam kasus ini, panjang gelombang diketahui kemudian didapat sudut pantul ( $\theta$ ). Pantulan yang terdeteksi ini akan diidentifikasi untuk mengetahui paduan atau senyawa yang terbentuk. Hal ini dapat diketahui melalui hukum Bragg's (*Bragg's Law*) [22].

Dari pengamatan grafik hasil analisis XRD ingot terhadap sumber literatur, dapat terlihat adanya paduan CZT yang terbentuk pada ingot CZT tersebut. Pola *peak* yang dihasilkan grafik XRD dari ketiga sampel menyerupai pola *peak* yang terdapat pada literatur, gambar 4.7, sehingga dapat disimpulkan bahwa paduan yang terbentuk adalah Cu-Zn-Sn (CZT) dan dari proses pemuatan yang dilakukan, ketiga sampel tersebut berhasil membentuk suatu paduan Cu-Zn-Sn (CZT).

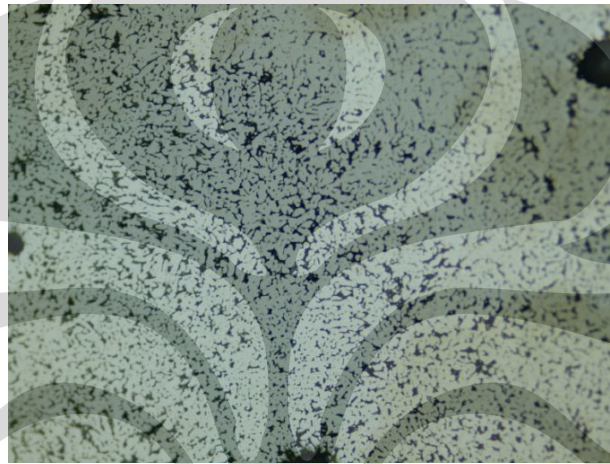
Berdasarkan grafik analisis XRD yang terdapat pada gambar ingot, terlihat adanya pergeseran *peak* diantara ketiga sampel yang tidak signifikan. Antar ketiga *peak* tersebut hanya bergeser sedikit saja di  $2\theta$ . Bila ditinjau dari ukuran atom, ukuran atom Zn menyerupai ukuran atom Cu. Hal ini menyebabkan CuZn membentuk suatu larutan padatan (*solid solution*) tersubstitusi. Hal ini berpengaruh terhadap pergeseran *peak – peak* ini. Prinsip dasar alat XRD adalah menggunakan difraksi sinar X terhadap material. Bila material itu memiliki struktur kristal dan kisi yang sempurna maka ketiga sampel ingot tersebut tidak akan mengalami perbedaan atau pergeseran *peak*. Pada kenyataannya, proses peleburan menggunakan *Vacuum Arc Melting Furnace* ini tidak bisa menghasilkan material yang sempurna. Hal ini menyebabkan perbedaan sudut pantulan yang mengenai kisi atom pada saat elektron ditembakkan pada ingot berbeda – beda. Perbedaan sudut pantul ini akan mempengaruhi jarak antar bidang dalam kisi atom. Semakin besar nilai jarak antar bidang dalam kisi atom maka nilai  $\sin\theta$  akan semakin kecil, atau grafik akan bergeser ke kiri. *Impurities* ini juga akan menggeser *peak* pada  $2\theta$ . Jadi pergeseran ini juga dapat dipengaruhi oleh adanya *impurities – impurities* yang tidak seragam pada saat proses solidifikasi. Proses pertumbuhan butir pada saat solidifikasi juga berpengaruh terhadap pergeseran *peak*  $2\theta$  ini.

#### 4.4. Analisis Struktur Mikro Paduan CZT

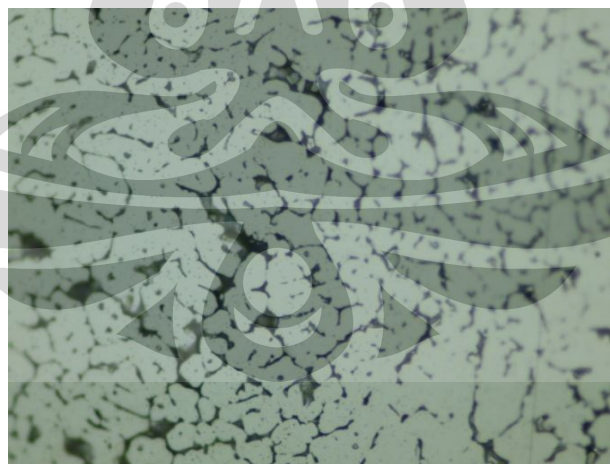
Dari pengujian struktur mikro ini dapat dilihat bahwa struktur yang ada pada ketiga sampel ingot CZT ini berbeda – beda, tergantung dari proses solidifikasinya. Semakin lambat proses solidifikasi suatu material, butir yang dihasilkan semakin halus. Perbedaan pertumbuhan butir ini dapat terlihat dengan

jelas pada gambar 4.8 dan gambar 4.10. Pada sampel 1 dan sampel 2, dapat terlihat bahwa struktur yang ada berbentuk dendritik. Perbedaan struktur mikro pada sampel 1 dan sampel 2 ini adalah butiran yang dimiliki masing – masing sampel. Sampel 1 memiliki butiran yang lebih besar daripada sampel 2, sedangkan butiran sampel 2 lebih halus daripada sampel 1.

Berikut ini adalah gambar – gambar hasil foto mikro dari ketiga sampel tersebut.

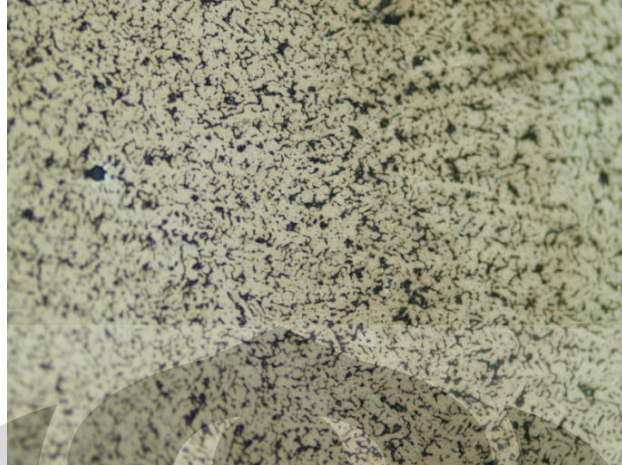


**Gambar 4.7** Struktur Mikro Sampel 1 Paduan CZT Perbesaran 50x

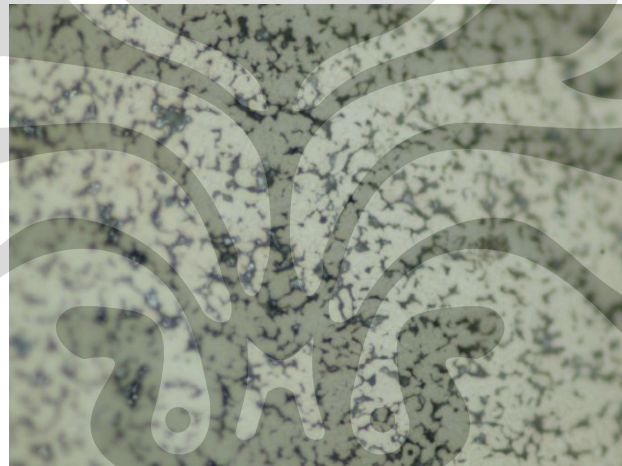


**Gambar 4.8** Struktur Mikro Sampel 1 Paduan CZT Perbesaran 200x





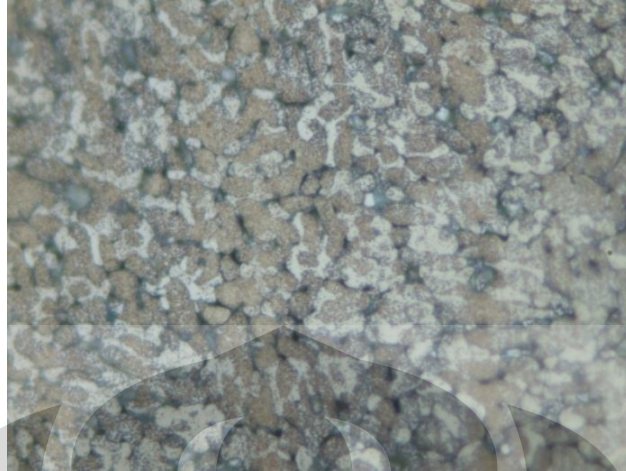
**Gambar 4.9** Struktur Mikro Sampel 2 Paduan CZT Perbesaran 50x



**Gambar 4.10** Struktur Mikro Sampel 2 Paduan CZT Perbesaran 200x



**Gambar 4.11** Struktur Mikro Sampel 3 Paduan CZT Perbesaran 50x



**Gambar 4.12** Struktur Mikro Sampel 3 Paduan CZT Perbesaran 200x

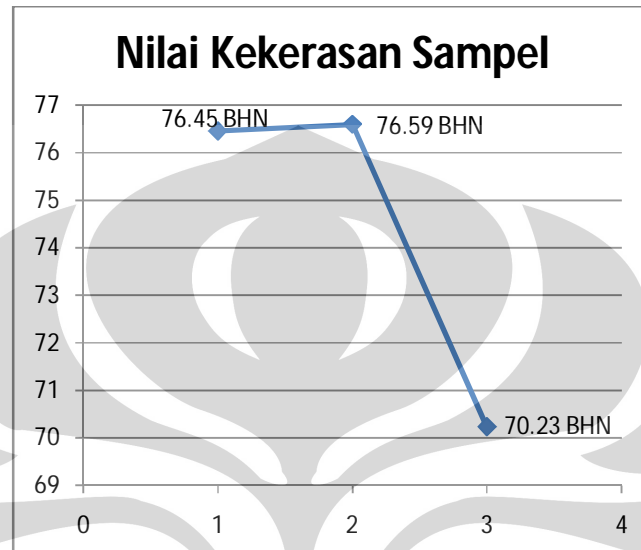
Pada sampel 3, dapat terlihat dengan jelas adanya 3 fasa yang dimiliki oleh ingot CTZ tersebut. Fasa – fasa tersebut berwarna biru, oranye dan putih. Bila ditinjau melalui teori keseimbangan fasa (gambar 2.6 dan gambar 2.7) dapat terlihat dengan jelas mengenai keadaan fasa – fasa apa saja yang ada pada komposisi tembaga 63.4% dan Zn 36.4% di temperatur ruang. Pada gambar 2.6 dapat terlihat adanya fasa alfa dan beta untuk keseimbangan fasa tembaga dengan seng. Pada gambar 2.7 dapat terlihat adanya fasa alfa dan epsilon pada keadaan suhu ruang. Hal ini mengakibatkan struktur mikro terlihat memiliki perbedaan fasa, yang digambarkan dengan sangat jelas pada gambar 4.12.

Pada seluruh foto mikro, dapat dilihat bahwa adanya bentuk garis – garis hitam yang menyerupai pori – pori yang kecil. Hal ini adalah hasil ETSA yang berlebihan, yaitu 30 detik hingga 45 detik. ETSA yang berlebihan ini menyebabkan batas – batas butir menjadi hilang dan meninggalkan bekas lubang (warna hitam) di sekitar butiran tersebut. Hal ini dapat dicegah dengan melakukan ETSA secukupnya saja, yaitu sekitar 10 detik sampai 15 detik.

Dari hasil pengamatan ini didapat bahwa secara mikroskopis, distribusi senyawa cenderung merata (homogen) pada seluruh bagian sampel. Hal ini dikarenakan pada saat peleburan berlangsung, panas diterima secara merata di seluruh bagian sampel. Lubang atau pori juga terlihat dengan jelas pada foto ingot pertama. Lubang ini berwarna hitam dan berbentuk bulat. Gambar lubang pada

gambar ingot pertama cukup mewakili seluruh sampel, sebab seluruh sampel memiliki lubang atau pori dengan intensitas yang berbeda – beda.

#### 4.5. Analisis Hasil Pengujian Kekerasan Brinel pada Paduan CZT



**Gambar 4.13** Grafik Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan ini mengambil 5 titik yang berbeda tempat pada setiap pengujian kekerasan dan dari kelima titik tersebut diambil diameter rata – rata untuk setiap sampel yang ada. Dari diameter rata – rata tersebut dapat dihitung nilai kekerasan dari material tersebut. Perhitungan nilai kekerasan tersebut menggunakan persamaan 3.2.

Dari grafik hasil pengujian kekerasan pada ingot ini, didapat bahwa sampel ingot kedua dengan kadar rata – rata tembaga 66.25% dan kadar rata – rata seng 9.44% memiliki nilai kekerasan tertinggi dengan 76.59 BHN, sedangkan sampel ingot ketiga dengan kadar rata – rata tembaga 68.17% dan seng dengan kadar rata – rata 9.42% memiliki nilai kekerasan terendah dengan 70.23 BHN. Ini membuktikan bahwa besar nilai kekerasan yang dihasilkan oleh ingot tersebut tergantung dari komposisi paduan unsur yang ada pada ingot. Pada ingot pertama dengan komposisi rata – rata 63.95%Cu, 7%Zn, 28.96%Sn memiliki kekuatan BHN yang hampir setara dengan ingot kedua dengan komposisi rata – rata 66.25%Cu, 9.44%Zn, 24.31%Sn. Sedangkan untuk ingot yang ketiga dengan

komposisi 68.17%Cu, 9.42%Zn, 22.41%Sn memiliki nilai terendah. Ini membuktikan bahwa nilai kekerasan masing – masing ingot bergantung pada ketiga unsur penyusun mereka, yang saling berbaaur menjadi satu paduan *solid solution*.

Bila ditinjau dari pengamatan struktur mikronya, dapat terlihat dengan jelas bahwa butir sampel 1 lebih kasar daripada butir sampel 2. Hal ini menyebabkan tingkat kekerasan sampel 2 lebih tinggi daripada sampel 1.

Penyebab lain rendahnya nilai kekerasan ingot ketiga adalah bila pada saat pengujian kekerasan, bola pejal tersebut mengenai pori yang ada pada ingot (gambar 4.8) sehingga kekerasan yang didapat tidak maksimal. Pada saat dilakukan pemotongan sampel ingot ketiga, didapati bahwa bagian tengah sampel tersebut memiliki banyak pori, yang mungkin disebabkan pada saat proses solidifikasi sampel ini, lebih banyak udara yang terperangkap di dalam larutan paduan cair tersebut dibandingkan dengan paduan yang lainnya.



## BAB V

### KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan terhadap ingot paduan Cu – Zn – Sn, dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Paduan Cu –Zn – Sn dapat terbentuk dengan metode *Vacuum Arc Melting Furnace*.
2. Kontaminasi ingot pada saat dilebur oleh lingkungan dapat dicegah dengan adanya ruang yang hampa udara atau penambahan gas inert kedalam ruang peleburan.
3. Paduan yang homogen dapat dibentuk dengan cara penyaluran panas yang merata pada setiap sampel dan dilakukan pendinginan yang lambat.
4. Hasil karakterisasi paduan yang dilakukan dengan XRD, EDX dan foto mikro menunjukkan bahwa paduan Cu – Zn – Sn dapat terbentuk dengan menggunakan alat *Vacuum Arc Melting Furnace* sehingga metode ini dapat dilakukan. Hanya saja, komposisi yang terbentuk belum memenuhi target yang diinginkan.
5. Nilai pengujian kekerasan dari setiap sampel bervariasi, tergantung dari bentuk butir, jumlah komposisi unsur dan tingkat intensitas pori yang ada pada sampel.

**DAFTAR REFERENSI**

- [1] Adelbert Phillo Mills, (1922) *Materials of Construction: Their Manufacture and Properties*, John Wiley & sons, inc, originally published by the University of Wisconsin, Madison
- [2] Siemens Solar, Early History of PV Industry, p.1
- [3] C. Michael Hogan, (1969) *Density of States of an Insulating Ferromagnetic Alloy* Phys. Michael Hogan, (1969) *Kepadatan dari Serikat ferromagnetic Alloy isolasi* Phys. Rev. 188, 870 - 874, [Issue 2 – December 1969] Rev 188, 870-874, [Edisi 2 - Desember 1969]
- [4] XY Zhang dan H. Suhl (1985) Phys. Rev. A 32, 2530 - 2533 (1985) [Issue 4 – October 1985 Rev A 32, 2530-2533 (1985) [Edisi 4 - Oktober 1985]
- [5] Smallman. R.E. *Metalurgi Fisik Modern*. Gramedia. 1991
- [6] R.M. German, *Sintering Theory and Practice*, John Wiley and Sons, New York, 1996.
- [7] Lyons, William C. dan Plisga, Gary J. (eds.) *Handbook Standar Minyak & Gas Engineering*, Elsevier, 2006
- [8] Callister, William D., *Materials Science and Engineering An Introduction*, New York: John Wiley and Sons, 2003. Halaman 345-347
- [9] W.O. Alexander, G.J. Davies, K.A. Reynolds and E.J. Bradbury: *Essential metallurgy for engineers*, p63-71. 1985. Van Nostrand Reinhold (UK) Co. Ltd. ISBN: 0-442-30624-5
- [10] R. Hultgren and P.D. Desai, *Selected Thermodynamic Values and Phase Diagrams for Copper and Some of Its Binary Alloys*, Inca Monograph I, International Copper Research Association, Inc., New York (1971).

- [11] Metals Handbook, 10th Ed., v.2, ASM Handbook Committee, American Society for Metals, USA, 1990.
- [12] Schwartz, Mel (2002). "Tin and Alloys, Properties". *Encyclopedia of Materials, Parts and Finishes* (2nd ed.). CRC Press. ISBN 1566766613.
- [13] "CTI Solar sales brochure". <http://www.cti-solar.com/userfiles/file/brochlet%20CTI-SOLAR%20vers%20EN.pdf>. (diakses pada 3 September 2010)
- [14] <http://www.toolbase.org/Technology-Inventory/Electrical-Electronics/pv-systems#warranty> (diakses pada 13 Oktober 2010)
- [15] Hironori Katagiri, Kazuo Jimbo, Win Shwe Maw, Koichiro Oishi, Makoto Yamazaki, Hideaki Araki, Akiko Takeuchi, Development of CZTS-based thin film solar cells. *Thin Solid Films*, 517 (2009) 2455-2460
- [16] C. J. Brabec, N.S. Sariciftci, J.C. Hummelen, *Advanced Functional Materials*, 11 (2001) 15.
- [17] B.A. Gregg, *J. Phys. Chem. B* 107 (2003) 4688.
- [18] M. Gratzel, *Nature* 414 (2001) 338
- [19] <http://www.greenoptimistic.com/2010/02/15/ibms-efficient-thin-film-solar-cell-cheap-materials/> (diakses pada 11 Desember 2010)
- [20] Katagiri H, Naoya Ishigaki, Takeshi Ishida, Kotoe Saito, *Characterization of Cu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub> Thin Films Prepared by Vapor Phase Sulfurization*, Department of Electrical Engineering, Nagaoka National College of Technology, 2000, Japan.
- [21] F., Abd El-Salam, R.H., Nada, A.M., Abd El-Khalek. *Effect of Cu addition on the structural and mechanical properties of Sn-Zn alloy*. 2006
- [22] Eby, G.N., 2004, *Principles of Environmental Geochemistry*. Brooks/Cole-Thomson Learning, p. 212-214.