

**TUGAS AKHIR – TL184834**

**ANALISIS PENGARUH VARIASI *HOLDING TIME* DAN  
METODE *DIRECT/STEP QUENCHING* PADA *SOLUTION  
TREATMENT* TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN  
KEKERASAN Cu-15,9Zn-6,89Al ALLOY**

**RIFQI NAFIS**  
NRP. 0251184000092

Dosen Pembimbing  
**MAVINDRA RAMADHANI, S.T., M.T.**  
NIP. 198805012019031008  
**DR. AGUNG PURNIAWAN, ST. M.ENG.**  
NIP. 197605282002121003

**Program Studi Teknik Material**  
Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2022





TUGAS AKHIR – TL184834

**ANALISIS PENGARUH VARIASI *HOLDING TIME* DAN  
METODE *DIRECT/STEP QUENCHING* PADA *SOLUTION  
TREATMENT* TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN  
KEKERASAN Cu-15,9Zn-6,89Al ALLOY**

**RIFQI NAFIS**  
NRP. 02511840000092

Dosen Pembimbing  
**Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.**  
NIP. 198805012019031008  
**Dr. Agung Purniawan, ST. M.Eng.**  
NIP. 197605282002121003

**Program Studi Teknik Material**  
Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2022

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT – TL184834**

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF HOLDING TIME VARIATIONS AND DIRECT/STEP QUENCHING METHODS IN SOLUTION TREATMENT ON MICROSTRUCTURE AND HARDNESS Cu-15,9Zn-6,89Al ALLOY**

**RIFQI NAFIS**  
NRP. 0251184000092

Advisor  
**Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.**  
NIP. 198805012019031008  
**Dr. Agung Purniawan, ST. M.Eng.**  
NIP. 197605282002121003

**Study Program of Materials Engineering**  
Departement of Materials and Metallurgical Engineering  
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2022

*(This page is intentionally blank)*

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISIS PENGARUH VARIASI *HOLDING TIME* DAN METODE *DIRECT/STEP QUENCHING* PADA *SOLUTION TREATMENT* TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN Cu-15,9Zn-6,89Al ALLOY

#### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Teknik Material Departemen Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **RIFQI NAFIS**  
NRP. 0251184000092

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

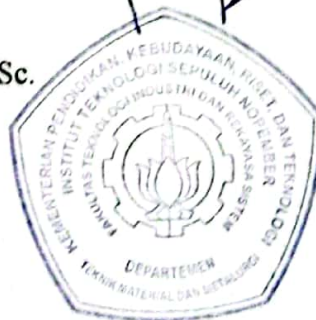
1. Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.
2. Dr. Agung Purniawan, ST. M.Eng.
3. Ir. Rochman Rochiem, M.Sc
4. Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc.

Pembimbing

Ko-Pembimbing

Penguji

Penguji



**SURABAYA**  
**Juli 2022**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## APPROVAL SHEET

### ANALYSIS OF THE EFFECT OF HOLDING TIME VARIATIONS AND DIRECT/STEP QUENCHING METHODS IN SOLUTION TREATMENT ON MICROSTRUCTURE AND HARDNESS Cu-15,9Zn-6,89Al ALLOY

#### FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements  
for obtaining a degree of bachelor of engineering at  
Undergraduate Study Program of Materials Engineering  
Departement of Materials and Metallurgical Engineering  
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By : **RIFQI NAFIS**  
NRP. 0251184000092

Approved by Final Project Examiner Team :

1. Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.

2. Dr. Agung Purniawan, ST. M.Eng.

3. Ir. Rochman Rochiem, M.Sc

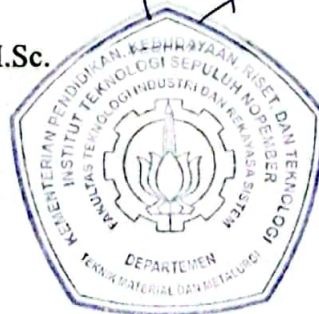
4. Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc.

  
Advisor

Co-Advisor



  
Examiper  
Examiner



**SURABAYA**  
**July 2022**

*(This page is intentionally blank)*

## PERNYATAAN ORISINALITAS


Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa/NRP : Rifqi Nafis / 0251184000092  
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi  
Dosen Pembimbing/NIP : Mavindra Ramadhani, ST., MT. /  
198805012019031008

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "Analisis Pengaruh Varisasi  *Holding Time*  dan Metode  *Direct/Step Quenching*  Pada  *Solution Treatment*  Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Cu-15,9Zn-6,89Al Alloy" adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.


Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Mengetahui  
Dosen Pembimbing

  
(Mavindra Ramadhani, ST., MT.)  
NIP. 198805012019031008

Surabaya, 13 Juli 2022

Mahasiswa

  
(Rifqi Nafis)  
NRP. 0251184000092

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## STATEMENT OF ORIGINALITY


The undersigned below:

Name of student/NRP : Rifqi Nafis / 02511840000092  
Departement : Materials and Metallurgical Engineering  
Advisor/NIP : Mavindra Ramadhani, ST., MT. /  
198805012019031008

Hereby declare that the Final Project with the title of "Analysis of The Effect of Holding Time Variations and Direct/Step Quenching Methods in Solution Treatment on Microstructure and Hardness Cu-15,9Zn-6,89Al Alloy" is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing..


If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Acknowledged  
Advisor

  
(Mavindra Ramadhani, ST., MT.)  
NIP. 198805012019031008

Surabaya, Juli 13<sup>th</sup> 2022

Student

  
(Rifqi Nafis)  
NRP. 02511840000092

*(This page is intentionally blank)*

**ANALISIS PENGARUH VARIASI *HOLDING TIME* DAN METODE *DIRECT/STEP QUENCHING* PADA *SOLUTION TREATMENT* TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN Cu-15,9Zn-6,89Al ALLOY**

**Nama Mahasiswa / NRP** : Rifqi Nafis / 0251184000092  
**Departemen** : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Mavindra Ramadhani, ST., MT.  
**Dosen Ko-Pembimbing** : Dr. Agung Purniawan, ST. M.Eng.

**Abstrak**

Paduan Cu-Zn-Al merupakan jenis paduan logam yang memiliki *shape memory* sehingga dapat mengembalikan bentuk awalnya setelah terdeformasi dengan cara pemanasan hingga di atas temperatur tertentu. Pada penelitian ini digunakan paduan Cu-15,9Zn-6,89Al dengan tujuan untuk menganalisis pengaruh *holding time* dan perbedaan metode *quenching* terhadap struktur mikro dan kekerasan. Paduan Cu-15,9Zn-6,89Al diperoleh dari proses pengecoran, dilanjutkan dengan beberapa perlakuan panas, yaitu *homogenizing*, *annealing*, dan *solution treatment* di temperatur 850°C dengan variasi *holding time* selama 10 menit, 30 menit, dan 50 menit. Selanjutnya, dilakukan *quenching* menggunakan air dengan metode yang berbeda yaitu *direct quenching* dan *step quenching*. Setelah itu, dilakukan analisis terkait struktur mikro dan kekerasan paduan Cu-15,9Zn-6,89Al setelah perlakuan panas. Secara keseluruhan, struktur mikro dari setiap perlakuan panas hanya terdiri dari fasa  $\alpha$ ,  $\beta$ , dan  $\gamma$  tanpa disertai adanya fasa martensit ( $\beta'$ ) karena temperatur martensit start ( $M_s$ ) berada di bawah temperatur kamar yaitu  $\sim -82^\circ\text{C}$  secara teoritis. Selanjutnya, dapat diketahui bahwa ukuran diameter butir terkecil adalah 92,75  $\mu\text{m}$  untuk DQ10, sedangkan untuk diameter butir terbesar adalah 139,88  $\mu\text{m}$  untuk SQ50. Hal tersebut dapat terjadi karena semakin lama *holding time* pada *solution treatment* menyebabkan ukuran butir menjadi lebih besar. Kemudian, ukuran butir yang lebih besar menyebabkan nilai kekerasan menjadi lebih rendah. Nilai kekerasan tertinggi adalah 272,33 HV untuk DQ10, sedangkan nilai kekerasan terendah adalah 248,67 HV untuk SQ50. Diketahui bahwa metode *direct quenching* mempunyai kecepatan pendinginan yang lebih cepat dibandingkan dengan metode *step quenching*. Kecepatan pendinginan yang lebih cepat menghasilkan ukuran butir yang lebih halus sehingga mempunyai nilai kekerasan yang lebih tinggi. Hal tersebut menyebabkan nilai kekerasan pada spesimen DQ menjadi lebih tinggi dari spesimen SQ di setiap variasi *holding time* pada *solution treatment*.

**Kata Kunci:** *Cu-Zn-Al, Solution Treatment, Holding Time, Quenching, Struktur Mikro, Kekerasan.*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**ANALYSIS OF THE EFFECT OF HOLDING TIME VARIATIONS AND  
DIRECT/STEP QUENCHING METHODS IN SOLUTION TREATMENT ON  
MICROSTRUCTURE AND HARDNESS Cu-15,9Zn-6,89Al ALLOY**

**Student Name / NRP** : Rifqi Nafis / 02511840000092  
**Departement** : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS  
**Advisor** : Mavindra Ramadhani, ST., MT.  
**Co-Advisor** : Dr. Agung Purniawan, ST. M.Eng.

**Abstract**

Cu-Zn-Al alloy is a type of metal alloy that has a shape memory so that can restore its initial shape after being deformed by heating to above a certain temperature. In this study, Cu-15,9Zn-6,89Al alloy was used in order to analyze the effect of holding time and different quenching methods in solution treatment on microstructure and hardness. The Cu-15,9Zn-6,89Al alloy was obtained from the casting process, followed by several heat treatments, namely homogenizing, annealing, and solution treatment at a temperature of 850°C with variations of holding time for 10 minutes, 30 minutes, and 50 minutes. Furthermore, quenching using water with different methods, namely direct quenching and step quenching. After that, an analysis of the microstructure and hardness of the Cu-15,9Zn-6,89Al alloy was carried out after heat treatment. Overall, the microstructure of each heat treatment only consists of  $\alpha$ ,  $\beta$ , and  $\gamma$  phases without the presence of a martensite phase ( $\beta'$ ) because the martensite start temperature ( $M_s$ ) is below room temperature, which is  $\sim -82^\circ\text{C}$  theoretically. Furthermore, it can be seen that the smallest grain diameter is 92.75  $\mu\text{m}$  for DQ10, while the largest grain diameter is 139.88  $\mu\text{m}$  for SQ50. This can happen because the longer holding time in the solution treatment causes the grain size to become larger. Then, the larger grain size causes the hardness value to be lower. The highest hardness value is 272.33 HV for DQ10, while the lowest hardness value is 248.67 HV for SQ50. It is known that the direct quenching has a faster cooling rate than the step quenching. Faster cooling speed results in finer grain size so that it has a higher hardness value. This causes the hardness value of the DQ specimen to be higher than that of the SQ specimen in every variation of holding time in the solution treatment.

**Keywords:** *Cu-Zn-Al, Solution Treatment, Holding Time, Quenching, Microstructure, Hardness.*

*(This page is intentionally blank)*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “**Analisis Pengaruh Variasi  *Holding Time*  dan Metode  *Direct/Step Quenching*  pada  *Solution Treatment*  terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Cu-15,9Zn-6,89Al Alloy**”. Penyusunan tugas akhir ini bertujuan untuk memenuhi mata kuliah tugas akhir Departemen Teknik Material dan Metalurgi, FTIRS-ITS.

Tanpa bantuan serta dukungan dari berbagai pihak, penulis menyadari bahwa tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh sebab itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah memberikan dukungan dalam penyusunan tugas akhir ini, di antaranya:

1. Bapak Mavindra Ramadhani, S.T., M.Sc. dan Dr. Agung Purniawan, ST. M.Eng., selaku dosen pembimbing tugas akhir, yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu kepada penulis selama proses pengerjaan laporan tugas akhir serta selama proses penelitian berlangsung.
2. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., P.hD., selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi, FTIRS-ITS.
3. Ibu Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc., selaku dosen wali penulis selama menempuh perkuliahan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FT-IRS ITS Surabaya
4. Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Material dan Metalurgi, FTIRS-ITS yang telah memberikan ilmu selama masa perkuliahan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi, FTIRS-ITS.

Penulis berharap penelitian tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak. Penulis juga menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan ini. Untuk itu, kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak sangat diharapkan.

Surabaya, 13 Juli 2022

Penulis



Rifqi Nafis

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>v</b>
<b>PERNYATAAN ORISINALITAS .....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xv</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>xix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xxi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xxiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>3</b>
2.1 Paduan Cu-Zn-Al.....	3
2.2 Diagram Fasa Cu-Zn-Al .....	5
2.3 <i>Shape Memory Alloy</i> (SMA).....	7
2.4 Perlakuan Panas.....	8
2.4.1 <i>Homogenizing</i> .....	9
2.4.2 <i>Annealing</i> .....	9
2.4.3 <i>Solution Treatment</i> .....	9
2.4.4 <i>Quenching</i> .....	10
2.5 Pengujian.....	11
2.5.1 Pengujian Komposisi Kimia.....	11
2.5.2 Pengujian Metalografi.....	11
2.5.3 Pengujian Kekerasan.....	11
2.5.4 Pengujian Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	12
2.5.5 Pengujian <i>Differential Scanning Calorimeter</i> (DSC).....	13
2.6 Penelitian Sebelumnya.....	14
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>19</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	19
3.2 Alat Penelitian .....	20
3.3 Bahan Penelitian.....	23
3.4 Kurva Perlakuan Panas .....	23
3.5 Prosedur Penelitian.....	24
3.5.1 Prosedur Proses Perlakuan Panas <i>Homogenizing</i> .....	24
3.5.2 Prosedur Proses Perlakuan Panas <i>Annealing</i> .....	24
3.5.3 Prosedur Proses Perlakuan Panas <i>Solution Treatment</i> .....	24
3.6 Proses Pengujian.....	25
3.6.1 Pengujian Komposisi Kimia.....	25
3.6.2 Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	25
3.6.3 Pengujian Metalografi.....	25
3.6.4 Pengujian Kekerasan.....	25
3.6.5 Pengujian <i>Differential Scanning Calorimetry</i> (DSC).....	25

3.7 Rancangan Penelitian.....	26
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>27</b>
4.1 Hasil Pengujian Komposisi Kimia .....	27
4.2 Hasil Pengujian XRD Cu-15,9Zn-6,89Al Alloy.....	27
4.3 Hasil Pengujian Metalografi Cu-15,9Zn-6,89Al Alloy.....	30
4.4 Hasil Pengujian Kekerasan Cu-15,9Zn-6,89Al Alloy.....	33
4.5 Hasil Pengujian <i>Differential Scanning Calorimetry</i> Cu-15,9Zn-6,89Al Alloy.....	35
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>37</b>
5.1 Kesimpulan .....	37
5.2 Saran .....	37
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>39</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>43</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH .....</b>	<b>63</b>
<b>BIODATA PENULIS.....</b>	<b>65</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Diagram biner paduan Cu-Zn.....	5
<b>Gambar 2.2</b>	Diagram fasa Cu-Zn-Al dengan persentase Al: 0%, 2%, 4% dan 6%.....	6
<b>Gambar 2.3</b>	Diagram fasa <i>ternary</i> Cu-Zn-Al pada temperatur 700 °C.....	7
<b>Gambar 2.4</b>	Mekanisme Katup Pengaman Air Panas pada Bak Mandi.....	8
<b>Gambar 2.5</b>	Pengaruh temperatur dan waktu tahan <i>solution treatment</i> pada ukuran butir fasa austenit.....	10
<b>Gambar 2.6</b>	Mekanisme <i>step quenching</i> .....	10
<b>Gambar 2.7</b>	Pengujian kekerasan dengan metode <i>Vickers</i> .....	12
<b>Gambar 2.8</b>	Difraksi sinar-X pada jarak antar atom $d$ dan sinar datang $\theta$ .....	13
<b>Gambar 2.9</b>	Hasil pengujian metalografi pada spesimen: a) <i>direct quench</i> paduan C; b) <i>up-quench</i> paduan A; c) <i>up-quench</i> paduan C; d) <i>step-quench</i> paduan B.....	14
<b>Gambar 2.10</b>	Mikrostruktur SEM dari paduan Cu-25%Zn-4%Al setelah: (a) <i>direct quench</i> , (b) <i>up quench</i> , (c) <i>step quench</i> .....	15
<b>Gambar 2.11</b>	Mikrostruktur SEM dari paduan Cu-30%Zn-4%Al setelah: (a) <i>direct quench</i> , (b) <i>up quench</i> , (c) <i>step quench</i> .....	16
<b>Gambar 2.12</b>	Struktur mikro sampel paduan Cu-Zn-Al dengan metode: (a) <i>direct quenching</i> dan (b) <i>step quenching</i> .....	17
<b>Gambar 2.13</b>	Hasil pengujian metalografi pada spesimen.....	17
<b>Gambar 2.14</b>	Struktur mikro Cu-22Zn-7Al (a) <i>as-cast</i> , (b) <i>quenching</i> udara, (c) <i>quenching</i> oli, (d) <i>quenching</i> air dan (e) <i>quenching brine</i> .....	18
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram alir penelitian.....	20
<b>Gambar 3.2</b>	Mesin <i>grinding</i> dan <i>polishing</i> .....	21
<b>Gambar 3.3</b>	<i>High temperatur furnace</i> .....	21
<b>Gambar 3.4</b>	Alat uji kekerasan.....	22
<b>Gambar 3.5</b>	Mikroskop optic.....	22
<b>Gambar 3.6</b>	<i>Bending tool</i> .....	23
<b>Gambar 3.7</b>	Paduan Cu-Zn-Al.....	23
<b>Gambar 3.8</b>	Kurva perlakuan panas.....	24
<b>Gambar 4.1</b>	Hasil pengujian XRD Cu-15,9Zn-6,89Al <i>alloy</i> pada spesimen <i>as cast</i> dan variasi <i>holding time solution treatment</i> dengan metode <i>direct quenching</i> .....	28
<b>Gambar 4.2</b>	Hasil pengujian XRD Cu-15,9Zn-6,89Al <i>alloy</i> pada spesimen <i>as cast</i> dan variasi <i>holding time solution treatment</i> dengan metode <i>step quenching</i> .....	29
<b>Gambar 4.3</b>	Hasil pengujian metalografi spesimen <i>as cast</i> Cu-15,9Zn-6,89Al <i>alloy</i> dengan perbesaran 100x.....	30
<b>Gambar 4.4</b>	Hasil pengujian metalografi spesimen Cu-15,9Zn-6,89Al <i>alloy</i> perbesaran 100x dengan metode <i>direct quenching</i> pada <i>solution treatment</i> dengan variasi <i>holding time</i> (A) 10 menit, (B) 30 menit, (C) 50 menit dan temperatur 850 °C media pendingin air.....	31
<b>Gambar 4.5</b>	Hasil pengujian metalografi spesimen Cu-15,9Zn-6,89Al <i>alloy</i> perbesaran 100x dengan metode <i>step quenching</i> pada <i>solution treatment</i> dengan variasi <i>holding time</i> (A) 10 menit, (B) 30 menit, (C) 50 menit dan temperatur 850 °C media pendingin air.....	32
<b>Gambar 4.6</b>	Grafik nilai kekerasan Cu-15,9Zn-6,89Al <i>alloy</i> .....	34
<b>Gambar 4.7</b>	Hasil pengujian DSC pada Cu-15,9Zn-6,89Al <i>alloy</i> .....	35

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Sifat <i>high copper alloys</i> . .....	3
<b>Tabel 2.2</b> Sifat mekanik C68800.....	3
<b>Tabel 2.3</b> Sifat mekanik <i>tube</i> C68700.....	3
<b>Tabel 2.4</b> Sifat dari setiap unsur penyusun paduan Cu-Zn-Al.....	4
<b>Tabel 2.5</b> Sifat paduan Cu-Zn-Al.....	4
<b>Tabel 2.6</b> Temperatur <i>annealing</i> paduan tembaga.....	9
<b>Tabel 3.1</b> Rancangan penelitian. ....	26
<b>Tabel 4.1</b> Hasil pengujian komposisi kimia Cu-Zn-Al <i>alloy</i> .....	27
<b>Tabel 4.2</b> Ukuran butir spesimen Cu-15,9Zn-6,89Al <i>alloy</i> .....	33
<b>Tabel 4.3</b> Nilai kekerasan Cu-15,9Zn-6,89Al <i>alloy</i> . ....	33
<b>Tabel 4.4</b> Temperatur transformasi Cu-15,9Zn-6,89Al <i>alloy</i> . ....	36

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Salah satu faktor terpenting dalam perkembangan teknologi adalah material. Hal ini dikarenakan material merupakan komponen dalam suatu teknologi sehingga material selalu dikembangkan untuk memperoleh sifat yang diinginkan. Hal tersebut dapat diperoleh dengan cara memodifikasi komposisi suatu material sehingga didapatkan material paduan. Salah satu jenisnya adalah paduan berbasis Cu (*high-copper alloys*). Pada paduan berbasis Cu, unsur Cu merupakan elemen dengan kandungan terbesar dengan berbagai elemen paduan dengan jumlah yang kecil dengan tujuan untuk mengoptimalkan *properties* seperti kekuatan, keuletan, stabilitas termal, ketahanan terhadap korosi, dan konduktivitas listrik atau termal. Salah satu aplikasi pada paduan berbasis Cu yaitu *tube* kondensor dan *heat exchanger* perkapalan menggunakan paduan C68700 (76Cu-22Zn-2Al) (ASM International, 2001). Selain itu, telah ditemukan bahwa paduan berbasis Cu merupakan jenis dari *shape memory alloy* dengan aplikasi pada beberapa sektor teknologi yang telah ditemukan dalam dunia industri meliputi bidang *aerospace*, otomotif, robotika, dan sistem pencegah kebakaran. *Shape memory alloy* memiliki kemampuan untuk mengembalikan bentuk awalnya setelah terdeformasi sebagai respon dari perubahan temperatur. Kemampuan tersebut merupakan hasil dari transformasi martensit yang bersifat reversibel secara kristalografi (Asanovic et al., 2021).

Terdapat beberapa *shape memory alloy* yang telah ditemukan, tetapi paduan NiTi hingga saat ini merupakan paduan yang memberikan kombinasi terbaik dari sifat material untuk sebagian besar aplikasi komersial (Asanović et al., 2008). Namun, paduan berbasis Cu, seperti Cu-Zn-Al merupakan paduan alternatif yang lebih ekonomis dari NiTi karena biaya produksi yang rendah dan fabrikasi yang mudah dengan kapasitas *shape memory effect* yang baik dan rentang temperatur transformasi yang lebih luas. Untuk paduan Cu-Zn-Al, *shape memory effect* hanya dapat diamati dalam rentang komposisi tertentu, yaitu 16 hingga 30% Zn dan 4 hingga 8% Al. Tergantung pada komposisi paduan dan temperatur, pembentukan tiga fasa ekuilibrium, yaitu  $\alpha$ ,  $\beta$ , dan  $\gamma$  dapat terjadi. Namun, fasa  $\beta$  adalah satu-satunya fasa yang menunjukkan *shape memory effect*. Paduan Cu-Zn-Al umumnya dilakukan pendinginan secara cepat (*quenching*) untuk mempertahankan fasa  $\beta$  sehingga mengalami transformasi lebih lanjut menjadi martensit (Stošić et al., 2017). Selain itu, telah diketahui bahwa *quenching* juga mempengaruhi hasil struktur mikro, yang akan berpengaruh terhadap karakteristik *shape-memory* dari paduan berbasis Cu (Sampath, 2007).

Pada tahun 2017, Stosic, dkk melakukan penelitian terkait pengaruh perlakuan panas dengan variasi metode *quenching*, yaitu *direct quenching*, *step quenching*, dan *up quenching* dengan media pendingin air yang dilakukan setelah *solution treatment* pada komposisi paduan Cu-Zn-Al yang berbeda yaitu Cu-25%Zn-4%Al and Cu-30%Zn-4%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *direct quenching* dan *up quenching* menghasilkan struktur mikro martensit sepenuhnya, sedangkan pada *step quenching* menghasilkan struktur mikro martensit dengan sejumlah partikel endapan kecil fasa  $\alpha$  dalam paduan Cu-25%Zn-4%Al. Selanjutnya, tidak ada satu pun dari tiga metode *quenching* yang menghasilkan struktur mikro martensit dalam paduan Cu-30%Zn-4%Al. Hasil ini menunjukkan bahwa temperatur awal transformasi martensit ( $M_s$ ) untuk paduan Cu-30%Zn-4%Al berada di bawah temperatur kamar (Stošić et al., 2017). Selain itu, pada tahun 2021, Yusuf, M.F melakukan penelitian terkait pengaruh variasi *holding time* pada *solution treatment* dengan media pendingin *brine*. Adapun variasi *holding time* pada *solution treatment* yang digunakan, yaitu 10 menit, 20 menit, 30 menit, dan 40 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin lama waktu *holding time solution treatment* maka ukuran butir akan semakin besar. Selanjutnya, semakin lama waktu *holding*

*time solution treatment* juga menyebabkan nilai kekerasan pada paduan Cu-Zn-Al akan semakin menurun. Hal ini sesuai dengan nilai kekerasan yang didapat, yaitu *holding time* 10 menit ( $181,33 \pm 5,44$  HV), 20 menit ( $175 \pm 1,63$  HV), 30 menit ( $174,33 \pm 1,25$  HV), dan 40 menit ( $173,67 \pm 1,25$  HV) (Yusuf, 2021). Oleh karena itu, penelitian dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi *holding time* dan metode *direct/step quenching* pada *solution treatment* terhadap struktur mikro dan kekerasan pada Cu-Zn-Al alloy.

## 1.2 Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi *holding time* pada *solution treatment* terhadap struktur mikro dan kekerasan Cu-15,9Zn-6,89Al alloy.
2. Bagaimana pengaruh metode *quenching* pada *solution treatment* terhadap struktur mikro dan kekerasan Cu-15,9Zn-6,89Al alloy.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh *holding time* pada *solution treatment* terhadap struktur mikro dan kekerasan Cu-15,9Zn-6,89Al alloy.
2. Menganalisis pengaruh perbedaan metode *quenching* pada *solution treatment* terhadap struktur mikro dan kekerasan Cu-15,9Zn-6,89Al alloy.

## 1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Produk hasil pengecoran dianggap homogen, bebas cacat, dan memiliki komposisi kimia yang sesuai dengan *ASM Handbook volume 2*.
2. Pengaruh lingkungan selama proses perlakuan panas diabaikan.
3. Indikator pada *furnace* dianggap sesuai dengan metode.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang bisa diperoleh dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan data pada variasi *holding time solution treatment* dan metode *direct/step quenching* terhadap struktur mikro dan kekerasan Cu-15,9Zn-6,89Al alloy. Harapannya hasil penelitian ini dapat diaplikasikan ke dalam bidang industri dan menjadi pengembangan penelitian untuk Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Paduan Cu-Zn-Al

Paduan Cu-Zn-Al termasuk dalam *high-copper alloys* yang mengandung berbagai elemen paduan dalam jumlah yang kecil. Elemen tersebut bertujuan untuk memodifikasi satu atau lebih sifat dasar tembaga. Tujuan penambahan elemen paduan ke tembaga adalah untuk mengoptimalkan kekuatan, keuletan (kemampuan bentuk), konduktivitas listrik/termal, ketahanan korosi, dan stabilitas termal, tanpa menyebabkan kerugian yang tidak dapat diterima dalam fabrikasi. Tabel 2.1 memperlihatkan sifat paduan Cu-Zn-Al yang termasuk dalam *high-copper alloys* (ASM International, 2001).

**Tabel 2.1** Sifat *high copper alloys* (ASM International, 2001).

<i>Alloy Number</i>	Komposisi (%)	Kekuatan Tarik (MPa)	Kekuatan Luluh (MPa)	<i>Machinability</i> (%)
C68700	77.5 Cu, 20.5 Zn, 2.0 Al, 0.1 As	414	186	30
C68800	73.5 Cu, 22.7 Zn, 3.4 Al, 0.40 Co	565–889	379–786	...
C69000	73.3 Cu, 3.4 Al, 0.6 Ni, 22.7 Zn	496–896	345–807	...

Pada paduan C68800 terdapat spesifikasi yang berlaku untuk menghasilkan produk dalam bentuk pelat, lembaran, strip, dan *rolled bar* sesuai dengan standar ASTM B592. Berikut merupakan sifat mekanik berdasarkan standar ASTM B592:

**Tabel 2.2** Sifat mekanik C68800 (ASTM B592 Standard, 2011).

Kekuatan Luluh (MPa)	Kekuatan Tarik (MPa)	<i>Impact KV/KU</i> (J)	Elongansi (%)	<i>Brinell Hardness</i> (HBW)
156 (≥)	253 (≥)	34	43	243

Kemudian paduan C68700 (76Cu-22Zn-2Al) sering diaplikasikan pada *tube* kondensor dan *heat exchanger* perkapalan karena memiliki karakteristik yaitu ketahanan yang tinggi terhadap serangan *impingement* (ASM International, 2001). Adapun sifat mekanik untuk *tube* paduan C68700 adalah sebagai berikut:

**Tabel 2.3** Sifat mekanik *tube* C68700 (ASM International, 2001).

<i>Temper</i>	Kekuatan Tarik (MPa)	Kekuatan Luluh (MPa)	Elongasi (%)
OS025	415	185	55

Selain itu, paduan berbasis Cu merupakan suatu jenis paduan yang dapat memiliki *shape memory*. Adapun beberapa paduan berbasis Cu yang dapat mempunyai *shape memory*, yaitu Cu-Zn-Al, Cu-Al-Ni, dan Cu-Al-Mn (Stošić et al., 2017). Paduan Cu-Zn-Al terdapat tiga

komposisi utama yang terdiri dari tembaga (Cu), seng (Zn), dan aluminium (Al). Pada Tabel 2.4 memperlihatkan sifat dari setiap unsur penyusun paduan Cu-Zn-Al:

**Tabel 2.4** Sifat dari setiap unsur penyusun paduan Cu-Zn-Al (Groover, 2010).

Unsur Penyusun	Tembaga	Seng	Aluminium
Simbol Unsur	Cu	Zn	Al
Nomor Atom	29	30	13
Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	8,96	7,14	2,69
Struktur Kristal	FCC	HCP	FCC
Temperatur Leleh (°C)	1080	420	660
Modulus Elastisitas (Gpa)	110	90	68,3

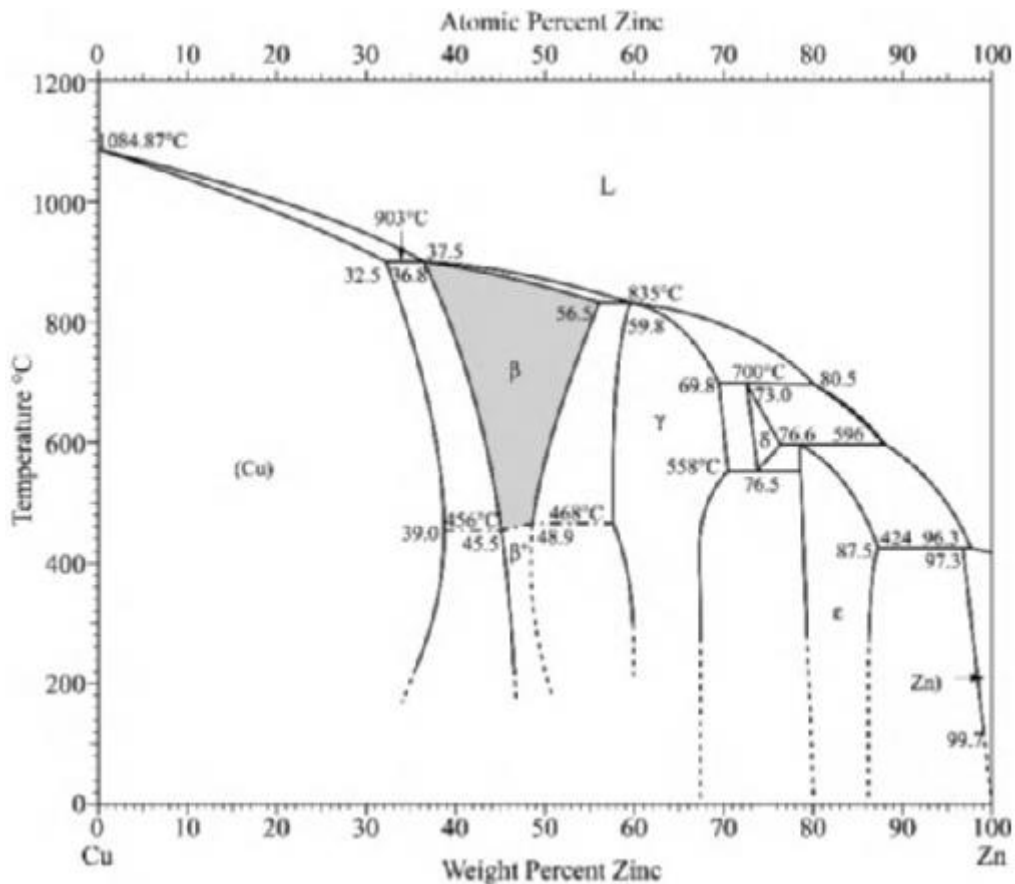
Pada paduan Cu-Zn-Al, *shape memory effect* hanya dapat diamati pada rentang komposisi tertentu yang umumnya mengandung 16 sampai 30% Zn dan 4 sampai 8 % Al. Paduan Cu-Zn-Al merupakan paduan alternatif yang ekonomis karena biaya produksi yang rendah dan fabrikasi yang mudah. Pada paduan Cu-Zn-Al terdapat tiga fasa ekuilibrium, yaitu  $\alpha$ ,  $\beta$ , dan  $\gamma$ , tergantung dari komposisi dan temperatur. Namun, fasa  $\beta$  merupakan satu-satunya fasa yang menghasilkan *shape memory effect*. Fasa  $\beta$  pada paduan Cu-Zn-Al memiliki BCC *lattice*. Selain itu, paduan Cu-Zn-Al biasanya didinginkan secara cepat untuk mempertahankan fasa  $\beta$  sehingga dapat mengalami transformasi lebih lanjut menjadi  $\beta'$  (martensit) (Stošić et al., 2017). Karena paduan Cu-Zn-Al bersifat metastabil, perlakuan panas *solution treatment* di wilayah fasa induk ( $\beta$ ) dan pendinginan terkontrol diperlukan untuk mempertahankan fase  $\beta$ . *Solution treatment* yang berkepanjangan menyebabkan penguapan Zn dan pertumbuhan butir berlebih sehingga harus dihindari (ASM International, 1990). Paduan Cu-Zn-Al memiliki rentang temperatur transformasi yang luas, antara 0 °C hingga 150 °C. Namun, pada temperatur sekitar 130 °C, paduan menjadi tidak stabil karena fasa  $\beta$  tidak pada kesetimbangan termodinamika sehingga memiliki kecenderungan untuk terurai dan menyebabkan penurunan temperatur transformasi (Lexcellent, 2013). Adapun sifat dari paduan Cu-Zn-Al diantaranya memiliki densitas yang rendah, konduktivitas termal yang tinggi, ketahanan yang baik terhadap *fatigue* dan *creep* (Agnihotri & Bhardwaj, 2016). Berikut beberapa sifat paduan Cu-Zn-Al yang dapat dilihat pada Tabel 2.5.

**Tabel 2.5** Sifat paduan Cu-Zn-Al(ASM International, 1990).

Sifat	Nilai
Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )	7,64
Histeresis ( $\Delta^{\circ}\text{C}$ )	15-25
Kapasitas panas (J/kg $^{\circ}\text{C}$ )	400
Konduktivitas termal (W/m $^{\circ}\text{C}$ )	120
Recoverable strain (%)	4
Resistivitas ( $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ )	8,5-9,7
Temperatur leleh (°C)	950 - 1020
Modulus young fasa $\beta$ (GPa)	72
Kekuatan luluh fasa $\beta$ (MPa)	350
Kekuatan tarik maksimum (MPa)	600
Temperatur transformasi (°C)	<120

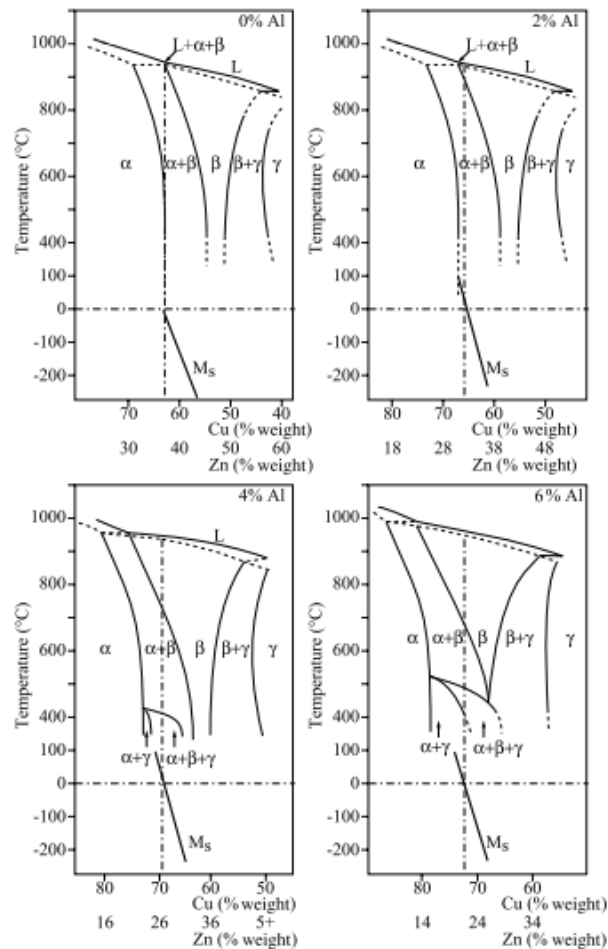
## 2.2 Diagram Fasa Cu-Zn-Al

Diagram fasa merupakan suatu diagram yang dirancang untuk menunjukkan hubungan antara berbagai fasa yang muncul dalam sistem di bawah kondisi ekuilibrium. Diagram fasa menggambarkan hubungan fasa dalam sistem yang terdiri dari suatu komponen seperti perubahan temperatur dengan kadar unsur di mana berisi beberapa area yang terdiri dari fasa campuran atau fasa tunggal (ASM International, 1989). Pada Gambar 2.1 di bawah memperlihatkan diagram fasa biner untuk paduan Cu-Zn.



**Gambar 2.1** Diagram biner paduan Cu-Zn (Lexcellent, 2013).

Dapat dilihat dari Gambar 2.1, Fasa  $\beta$  hanya stabil di atas temperatur 500°C. Untuk paduan Cu-Zn perlu dilakukan pendinginan cepat dari daerah stabilitas fasa  $\beta$  sehingga dimungkinkan untuk mendapatkan fasa  $\beta$  yang metastabil pada temperatur transformasi. Hal ini bertujuan untuk mencegah adanya reaksi difusi. Pada Gambar 2.2 di bawah memperlihatkan *vertical cross-sections* dari diagram terner paduan Cu-Zn-Al dengan berat Al yaitu 0%, 2%, 4% dan 6 % (Lexcellent, 2013).



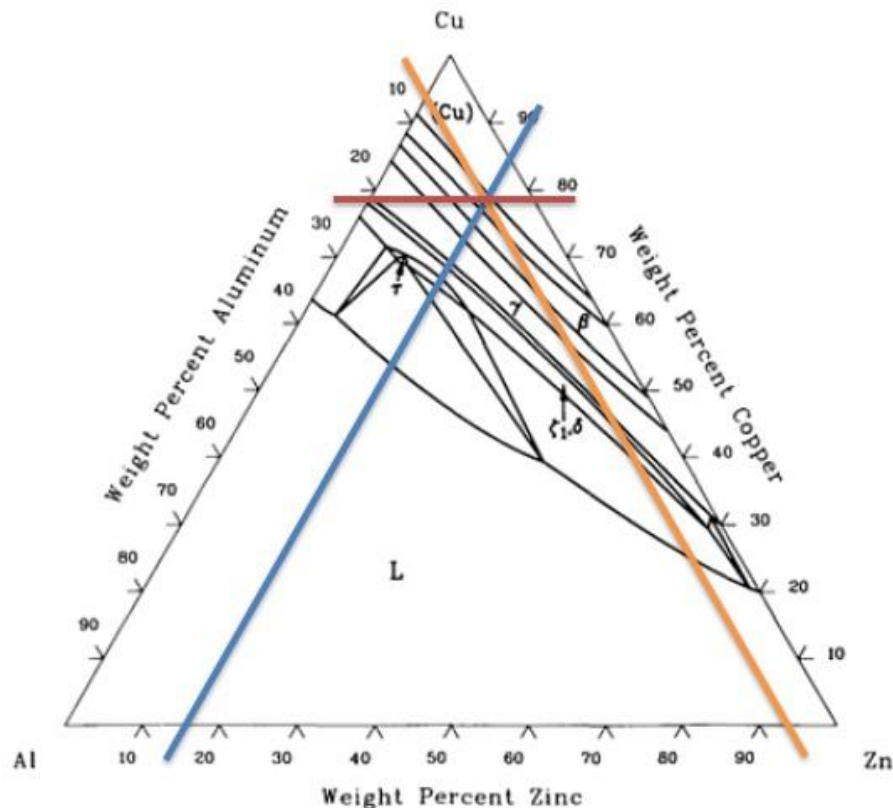
**Gambar 2.2** Diagram fasa Cu-Zn-Al dengan persentase Al: 0%, 2%, 4% dan 6% (LExcellent, 2013).

Pada Gambar 2.2, dapat diketahui bahwa dalam paduan Cu-Zn-Al dengan berat Al 0% dan Zn 38,5% memiliki temperatur transformasi martensit di sekitar 0°C. Pada konsentrasi tersebut sangat sulit untuk mendapatkan fasa  $\beta$  karena temperatur *solution treatment* harus sangat tepat dan diperlukan pendinginan sangat ekstensif untuk menghindari reaksi difusi sehingga mendapatkan fasa  $\beta$  metastabil pada temperatur kamar. Selain itu, dalam paduan Cu-Zn-Al dengan berat Al 6% dan Zn sekitar 22% memiliki temperatur transformasi martensit di sekitar 100°C. Pada konsentrasi ini, fasa  $\beta$  stabil pada temperatur 690°C sampai 950°C sehingga sangat mudah untuk mendapatkan fasa tunggal  $\beta$  dan pendinginan cepat untuk mencegah reaksi difusi dapat dilakukan dengan lebih mudah. Namun, Pembentukan *shape memory* bukan suatu hal yang mudah karena fasa  $\beta$  hanya terbentuk pada temperatur yang tinggi. Selain itu, apabila pendinginan yang dilakukan tidak cukup cepat maka fasa  $\beta$  akan terurai menjadi fasa  $\alpha$  dan  $\gamma$  ketika temperatur sudah berada dibawah daerah stabilitas fasa  $\beta$  (LExcellent, 2013). Tergantung pada kecepatan pendinginan, adanya fasa  $\alpha$  dan  $\gamma$  yang merupakan hasil dekomposisi fasa  $\beta$  apabila pendinginan yang dilakukan tidak cukup cepat dapat menyebabkan temperatur transformasi martensit menurun jauh di bawah temperatur kamar (Sampath, 2007).

Selanjutnya, pada Gambar 2.3 merupakan diagram fasa terner dari Cu-Zn-Al. Terdapat tiga persentase berat unsur, yaitu persentase berat tembaga (Cu) pada sisi kanan, persentase berat seng (Zn) pada sisi bawah, dan persentase berat aluminium (Al) pada sisi kiri. Dalam menentukan suatu fasa, dapat dilakukan dengan membuat garis sejajar dengan persentase komposisi dari setiap unsur sehingga menghasilkan titik potong dari ketiga garis tersebut. Titik



potong tersebut menandakan fasa paduan. Dapat diketahui bahwa pada komposisi Cu-15,9Zn-6,89Al pada temperatur 700 °C adalah fasa  $\beta$  (ASM International, 1990).



**Gambar 2.3** Diagram fasa ternary Cu-Zn-Al pada temperatur 700 °C (ASM International, 1989).

### 2.3 Shape Memory Alloy (SMA)

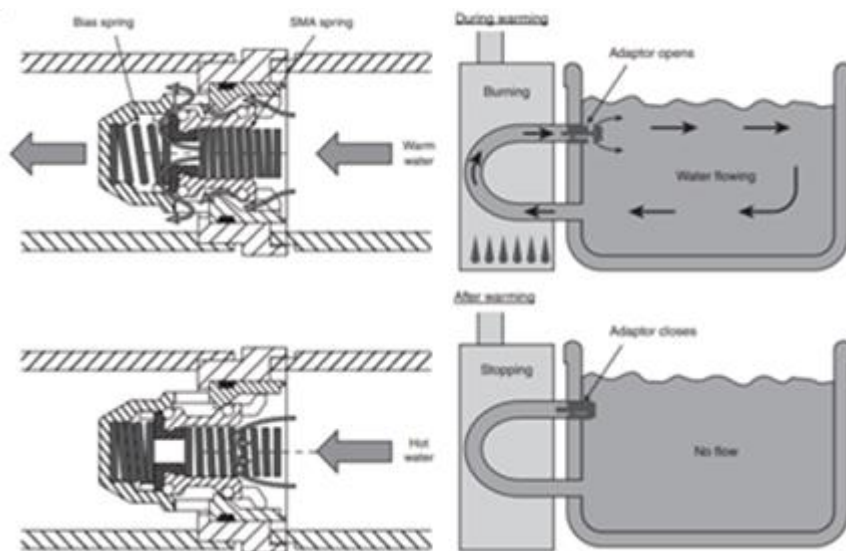
*Shape memory alloys* (SMA) adalah jenis logam paduan yang dapat mengembalikan bentuknya ketika dipanaskan di atas temperatur tertentu. *Shape memory effect* didasarkan pada transformasi martensit yang merupakan transformasi fasa tanpa difusi dan bersifat reversibel. Transformasi martensit terjadi antara fasa austenit temperatur tinggi dan fasa martensit temperatur rendah (Stošić et al., 2017).

*Shape memory alloy* (SMA) atau “*smart alloy*” pertama kali ditemukan oleh Arne lander pada tahun 1932 dan istilah “*shape memory*” pertama kali dijelaskan oleh Vernon pada tahun 1941. Pentingnya material *shape memory* belum diketahui sampai William Buehler dan Frederick Wang *shape memory effect* (SME) di paduan nikel-titanium (NiTi) pada tahun 1962. Sejak itu, permintaan SMA meningkat untuk aplikasi teknik di berbagai bidang komersial seperti otomotif, *aerospace*, dan *mini actuators* (Mohd Jani et al., 2014). Meskipun terdapat beberapa paduan logam yang telah menunjukkan kapasitasnya untuk dapat mengembalikan bentuk aslinya. Namun, paduan NiTi merupakan sistem paduan yang paling fungsional dan sukses untuk saat ini, sedangkan paduan berbasis Cu merupakan paduan alternatif dengan nilai ekonomis yang tinggi (Asanovic et al., 2021).

*Shape memory alloy* (SMA) terdiri dari dua fasa dengan struktur kristal yang berbeda, yaitu fasa austenit pada temperatur tinggi dan martensit pada temperatur rendah. Transformasi dari satu struktur ke struktur lainnya tidak terjadi oleh difusi atom, melainkan oleh *shear lattice distortion*. Transformasi seperti ini dikenal sebagai transformasi martensit. Setiap kristal martensit yang terbentuk dapat memiliki arah orientasi yang berbeda, yang disebut varian.

Transformasi reversibel antara fasa austenit dan fasa martensit membentuk dasar perilaku *shape memory alloy* (Lagoudas, 2008). Berdasarkan perbedaan struktur kristalnya, fasa martensit dapat dibedakan menjadi dua, yaitu *twinned martensite* dan *detwinned martensite*. *Detwinned martensite* merupakan hasil dari perubahan *twinned martensite* karena beban mekanik yang diterapkan. *Shape memory effect* merupakan kemampuan *shape memory alloy* untuk mengembalikan bentuk aslinya melalui proses transformasi fasa tanpa difusi antara fasa austenit dan martensit (Yang et al., 2020).

Aplikasi dasar dari paduan ini cukup sederhana, di mana paduan dapat dengan mudah dideformasi dengan menerapkan gaya eksternal yang kecil dan akan kembali ke bentuk aslinya ketika dipanaskan di atas temperatur tertentu baik dengan pemanasan eksternal atau internal (Mohd Jani et al., 2014). Salah satu aplikasinya adalah pegas SMA yang diterapkan pada katup pengaman air panas untuk adaptor bak mandi sehingga dapat menjaga temperatur air. Katup tersebut dipasang di bagian penghubung dengan boiler untuk mencegah terjadinya panas. Mekanisme katup pengaman tersebut dilakukan dengan kombinasi antara pegas SMA dan pegas bias. Ketika air panas mengalir melalui pegas SMA, pegas SMA akan mengembang untuk menutup katup. Hal itu terjadi karena gaya pemulihan pegas SMA mengatasi gaya pegas bias. Gaya pemulihan pegas SMA merupakan *reverse transformation* sehingga pegas SMA berkontraksi untuk menutup katup ketika air panas memiliki temperatur lebih tinggi dari 70 °C. Gambar 2.4 memperlihatkan mekanisme katup pengaman air panas pada bak mandi (Suzuki, 2011).



**Gambar 2.4** Mekanisme Katup Pengaman Air Panas pada Bak Mandi (Suzuki, 2011).

## 2.4 Perlakuan Panas

Perlakuan panas merupakan siklus termal yang terdiri dari proses pemanasan, penahanan temperatur, dan pendinginan dengan waktu tertentu pada logam atau paduan dalam keadaan padat untuk mendapatkan sifat-sifat yang diinginkan. Tujuan dilakukan perlakuan panas pada logam atau paduan adalah menghilangkan tegangan dalam, mencegah terjadinya *cracking*, mengontrol ukuran butir, meningkatkan *machinability* dan sifat mekanik (Sampson, 2010). Pada penelitian yang dilakukan, perlakuan panas yang akan digunakan adalah *homogenizing*, *annealing*, *solution treatment*, dan *quenching*.

#### 2.4.1 Homogenizing

*Homogenizing* merupakan proses pemanasan pada temperatur tinggi dengan waktu penahanan yang panjang untuk mengurangi segregasi kimia atau metalurgi yang umumnya dikenal sebagai *coring*, yang dapat terjadi sebagai hasil alami dari proses solidifikasi pada beberapa jenis paduan. *Homogenizing* diterapkan pada paduan tembaga untuk meningkatkan keuletan dan pada coran untuk memenuhi persyaratan kekerasan, keuletan, dan ketangguhan yang ditentukan. *Homogenizing* diperlukan untuk paduan dengan rentang temperatur solidifikasi yang luas seperti nikel-tembaga, perunggu-silikon, dan perunggu-timah. Temperatur dan waktu tahan yang diperlukan untuk proses homogenisasi bervariasi tergantung dengan jenis paduan, ukuran butir cor, dan tingkat homogenitas yang diinginkan. Waktu tahan bervariasi dari 3 sampai lebih dari 10 jam dengan temperatur pemanasan hingga di atas 50 °C dari temperatur *solidus* (ASM International, 1991).

#### 2.4.2 Annealing

*Annealing* merupakan perlakuan panas yang bertujuan untuk melunakkan dan meningkatkan keuletan serta ketangguhan logam atau paduan. *Annealing* umumnya diterapkan pada *wrought products*, selama dan setelah *mill process*. Tergantung dengan tujuannya, *annealing* dilakukan dengan pemanasan pada temperatur tertentu, kemudian penahanan pada temperatur tersebut dengan waktu tertentu, dan pendinginan secara perlahan untuk mencapai struktur mikro equilibrium (ASM International, 1991). Pada paduan *nonferrous*, untuk menghilangkan tegangan internal dan mengembalikan struktur serta sifat asli yang terpengaruh selama pengerjaan dingin, dapat dilakukan dengan *annealing* di atas temperatur rekristalisasi (Banerjee, 2017). Rentang temperatur *annealing* yang biasa digunakan pada paduan tembaga diberikan pada Tabel 2.6.

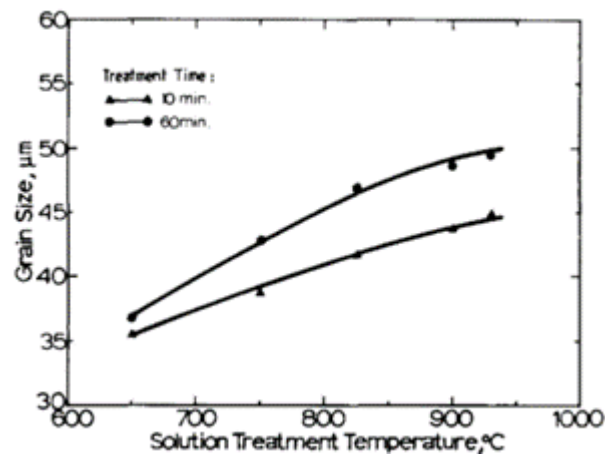
**Tabel 2.6** Temperatur *annealing* paduan tembaga (ASM International, 1991).

Nama Paduan	Temperatur Annealing (°C)
<i>Red brass</i>	425-725
<i>Low brass</i>	425-700
<i>Cartridge brass</i>	425-750
<i>Yellow brass</i>	425-700
<i>Free-cutting brass</i>	425-600
<i>Forging brass</i>	425-600

#### 2.4.3 Solution Treatment

*Solution treatment* merupakan perlakuan panas dengan temperatur pemanasan tertentu, di atas temperatur *solvus* dengan waktu penahanan yang cukup lama untuk menyebabkan satu atau lebih fasa masuk ke dalam larutan padat, sehingga struktur fasa tunggal tercapai, dan kemudian dilakukan pendinginan cepat (*quenching*) untuk menahan fasa tunggal tersebut dan mencegah pembentukan endapan. Proses *solution treatment* perlu dilakukan dengan optimal karena waktu tahan yang terlalu pendek menyebabkan tidak semua fasa akan larut dan membuat terjadinya presipitasi, sedangkan waktu tahan yang terlalu lama akan menggunakan lebih banyak energi dari yang diperlukan (ASM International, 1991).

*Solution treatment* yang dilakukan pada *shape memory alloy* untuk mendapatkan fasa tunggal yaitu fasa  $\beta$  (austenit). Ukuran fasa austenit sebagai fungsi temperatur dan waktu tahan pada *solution treatment* ditunjukkan pada Gambar 2.5. Dapat diketahui bahwa semakin tinggi temperatur dan semakin lama waktu tahan *solution treatment* maka ukuran butir fasa austenit semakin besar (Adnyana, 1986).

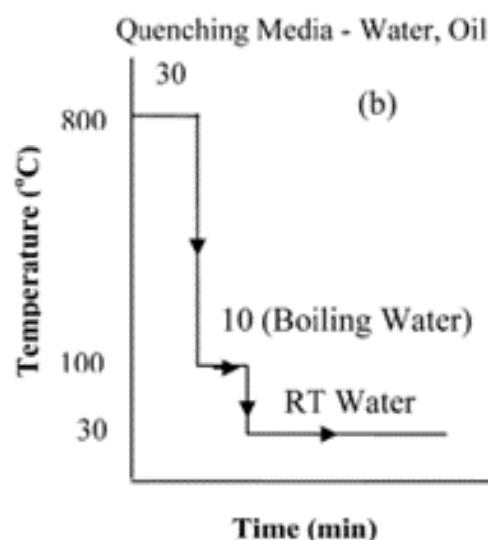


**Gambar 2.5** Pengaruh temperatur dan waktu tahan *solution treatment* pada ukuran butir fasa austenit (Adnyana, 1986).

#### 2.4.4 Quenching

*Quenching* dilakukan untuk mempertahankan fasa tunggal setelah dilakukan penahanan temperatur di atas temperatur *solvus* pada *solution treatment*. Umumnya, tujuan dilakukan *quenching* adalah untuk mencegah terbentuknya presipitat sehingga larutan padat dengan kondisi *supersaturated* dapat terbentuk pada temperatur kamar (Mohamed & Samuel, 2012). Pada paduan Cu-Zn-Al, *quenching* yang dilakukan secara langsung dan cepat ke fasa martensit rentan terhadap stabilisasi martensit. Hal tersebut dapat menyebabkan temperatur *reverse transformation* bergeser ke temperatur yang lebih tinggi sehingga dapat menghambat *shape recovery*. Salah satu metode yang dapat mencegah *stabilisasi martensit* yaitu dengan *step quenching* (ASM International, 1990).

*Step quenching* dilakukan dengan pendinginan bertahap, yaitu pendinginan dengan media pendingin di atas temperatur kamar dan ditahan pada temperatur tersebut beberapa saat, kemudian dilanjutkan dengan pendinginan cepat hingga temperatur kamar (ASM International, 1990). Mekanisme dari *step quenching* diperlihatkan pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.6** Mekanisme *step quenching* (Sampath, 2007).

## 2.5 Pengujian

Pengujian yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian komposisi, pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD), pengujian metalografi, pengujian kekerasan, pengujian *Differential Scanning Calorimetry* (DSC), dan pengujian *Shape Memory Effect* (SME).

### 2.5.1 Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia dapat dilakukan dengan uji *Optical Emission Spectrometry* (OES). OES berfungsi untuk memperoleh konsentrasi unsur dari suatu spesimen. Mekanisme OES yaitu dengan memaparkan temperatur tinggi pada spesimen, sehingga mengeksitasi atom-atom pada spesimen. Atom yang tereksitasi mengeluarkan energi untuk dapat kembali ke tempat awal. Pengeluaran energi tersebut menghasilkan gelombang cahaya. Panjang dari gelombang cahaya tersebut yang menentukan konsentrasi unsur. Terdapat 2 jenis OES yang sering digunakan yaitu *Inductively Coupled Plasma* (ICP-OES) dan *Spark OES*. Perbedaan diantara keduanya yaitu pada jenis sumber panas dan spesimen yang digunakan. Pada ICP-OES menggunakan plasma dengan spesimen berupa liquid, sedangkan pada *Spark OES* menggunakan *electrical discharge* yang diperoleh dari celah antara elektroda dan spesimen dengan spesimen berupa padatan (Widyastuti et al., 2019).

Berbagai macam jenis logam dan paduan dapat dianalisa dengan *Spark OES*. Mekanisme *Spark OES* yaitu dengan memanfaatkan perbedaan potensial antara elektroda dan spesimen sehingga menghasilkan *electrical discharge*. Adanya *electrical discharge* menyebabkan permukaan spesimen panas dan mengalami penguapan, sehingga atom pada spesimen mengalami eksitasi dan mengeluarkan garis emisi yang unik untuk setiap unturnya. Kemudian, suatu sistem optik dan spektrometer akan menangkap dan memisahkan garis-garis emisi untuk memindai panjang dari gelombang-gelombang yang ditangkap sehingga dapat ditentukan konsentrasi unsur pada spesimen menggunakan intensitas dari cahaya yang diemisikan (Widyastuti et al., 2019).

### 2.5.2 Pengujian Metalografi

Metalografi merupakan salah satu pengujian yang dilakukan dengan mikroskop optik untuk mendapatkan informasi terkait struktur mikro logam, sehingga dapat diketahui berbagai karakteristik logam. Dari pengujian metalografi dapat ditentukan fase yang terbentuk, distribusi fasa, dan ukuran butir. Dengan data tersebut dapat dilakukan prediksi terhadap sifat mekanik seperti kekerasan dan ketangguhan suatu logam, serta dapat menganalisa cacat yang terdapat pada permukaan (Tiandho, 2017).

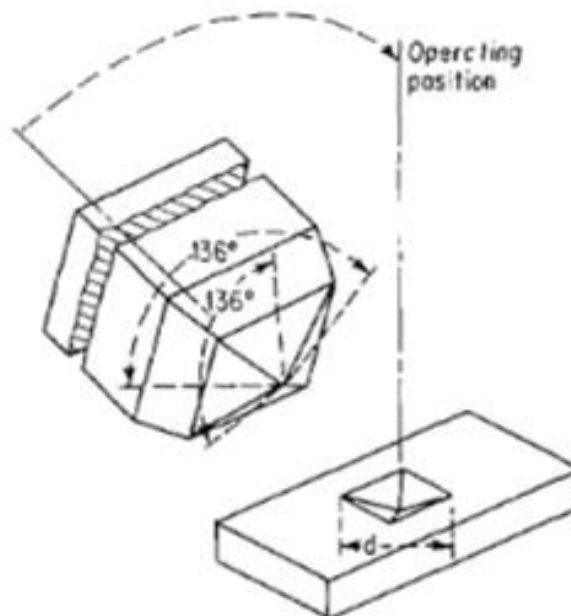
Preparasi spesimen dilakukan terlebih dahulu sebelum pengujian metalografi. Beberapa tahapan yang dilakukan pada saat preparasi spesimen yaitu *cutting* (pemotongan material), *mounting* (pemberian resin untuk mempermudah tahap berikutnya), *grinding* (perataan permukaan material), *polishing* (pemberian alumina, sehingga material lebih halus dan mengkilap), pengetsaan (mengkorosi material untuk detil struktur mikro terlihat jelas sehingga mudah dalam tahap observasi), dan terakhir adalah mengobservasi material menggunakan mikroskop (Juliaptini, 2010).

### 2.5.3 Pengujian Kekerasan

Kekerasan merupakan ukuran ketahanan material terhadap penekanan pada daerah lokal atau permukaan material (misalnya, goresan). Prinsip dari pengujian kekerasan adalah kemampuan suatu material untuk menggores material lain yang lebih lunak. Mekanisme pengujian kekerasan yaitu dengan menekan indentor pada permukaan material dengan beban tertentu. Kedalaman indentasi yang dihasilkan diukur dan dilakukan perhitungan tertentu untuk mendapatkan nilai kekerasan. Semakin lunak suatu material, maka semakin dalam kedalaman indentasi yang dihasilkan dan semakin rendah nilai kekerasannya. Terdapat berbagai macam

uji kekerasan dengan indenter yang berbeda, yaitu *brinell* (berbentuk bola), *rockwell* (berbentuk kerucut), dan *vickers* (berbentuk piramida) (Callister & Rethwisch, 2009).

Dibandingkan dengan pengujian kekerasan lainnya, pengujian kekerasan *vickers* memiliki tingkat akurasi yang lebih baik karena indenter yang digunakan berbentuk piramida, sehingga lebih mudah dalam menentukan diagonal persegi yang akan digunakan pada perhitungan untuk mendapatkan nilai kekerasan. Selain itu, pengujian *vickers* tidak rentan terhadap kesalahan seperti pada pengujian *brinell* karena bentuk piramida yang digunakan pada indenter tidak mudah mengalami deformasi seperti indenter berbentuk bola (D. R. & M., 2013). Pengujian *vickers* dilakukan dengan standar ASTM E92-17. Pengujian dilakukan dengan indenter berbentuk piramida segiempat dari intan dengan sudut 136 terhadap sisi indenter yang berlawanan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7.



**Gambar 2.7** Pengujian kekerasan dengan metode *Vickers* (Widyastuti et al., 2019).

Beban yang diaplikasikan pada spesimen berkisar 1 hingga 120 kg. Selanjutnya, Hasil indentasi diukur dan dilakukan perhitungan sesuai Persamaan 2.1 untuk mendapatkan nilai kekerasan (Widyastuti et al., 2019).

$$HV = \frac{1,854 L}{d^2} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

*L*: Beban yang diaplikasikan (kg)

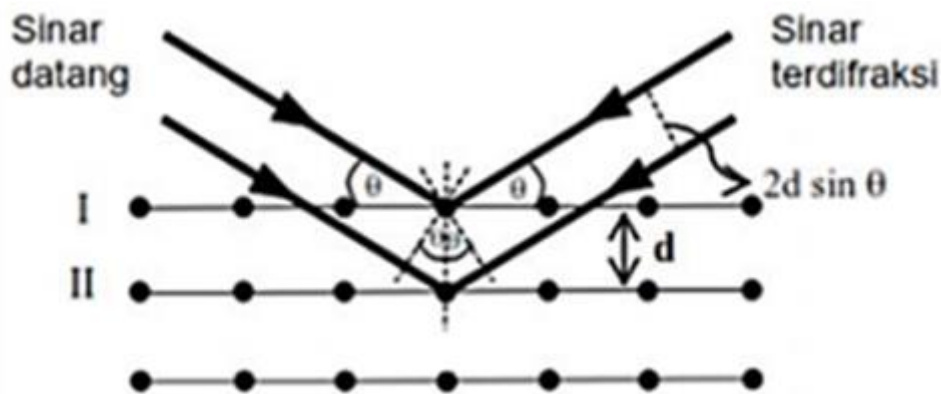
*d*: Diagonal hasil indentasi (mm)

#### 2.5.4 Pengujian Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD)

*X-Ray diffraction* (XRD) adalah teknik untuk menentukan struktur kristal. Pola yang berbeda akan dihasilkan dari difraksi sinar-X oleh atom-atom yang tersusun dalam kristal tergantung pada konfigurasi yang dibentuk oleh atom-atom dalam kristal. XRD dapat memberikan informasi umum tentang komposisi fasa dalam suatu kristal, baik secara kuantitatif maupun kualitatif.(Alfarisa et al., 2018) XRD dilakukan dengan memberikan sinar-X pada permukaan material dengan sudut datang yang berubah secara terus menerus sehingga menimbulkan spektrum intensitas difraksi dengan sudut antara sinar datang dan sinar difraksi.

Selanjutnya, spektrum tersebut dibandingkan dengan database dari jenis material yang telah diketahui (Widyastuti et al., 2019).

Prinsip XRD seperti pada Gambar 2.8 didasarkan pada difraksi sinar-X, di mana hamburan cahaya dengan panjang gelombang  $\lambda$  saat melintasi kisi kristal dengan sudut datang  $\theta$  dan jarak antar bidang kristal sebesar  $d$  (Alfarisa et al., 2018).



**Gambar 2.8** Difraksi sinar-X pada jarak antar atom  $d$  dan sinar datang  $\theta$  (Alfarisa et al., 2018).

Sinar-X datang akan didifraksikan oleh bidang kristalografi saat menyentuh material kristal. Apabila terdapat dua gelombang dalam satu fasa yang terdefleksi oleh 2 bidang kristal. Gelombang tersebut akan tetap satu fasa jika memenuhi Persamaan 2.2. Persamaan tersebut merupakan hukum Bragg. Dengan hukum Bragg dapat ditentukan jarak antar bidang atom pada suatu kristal, sehingga dapat ditentukan juga struktur kristal dari suatu material (Widyastuti et al., 2019).

$$n\lambda = 2d \sin \theta \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

$n$ : Orde difraksi, dalam bilangan bulat

$\lambda$ : Panjang gelombang sinar-X

$d$ : Jarak antara kisi kristal

$\theta$ : Sudut sinar datang

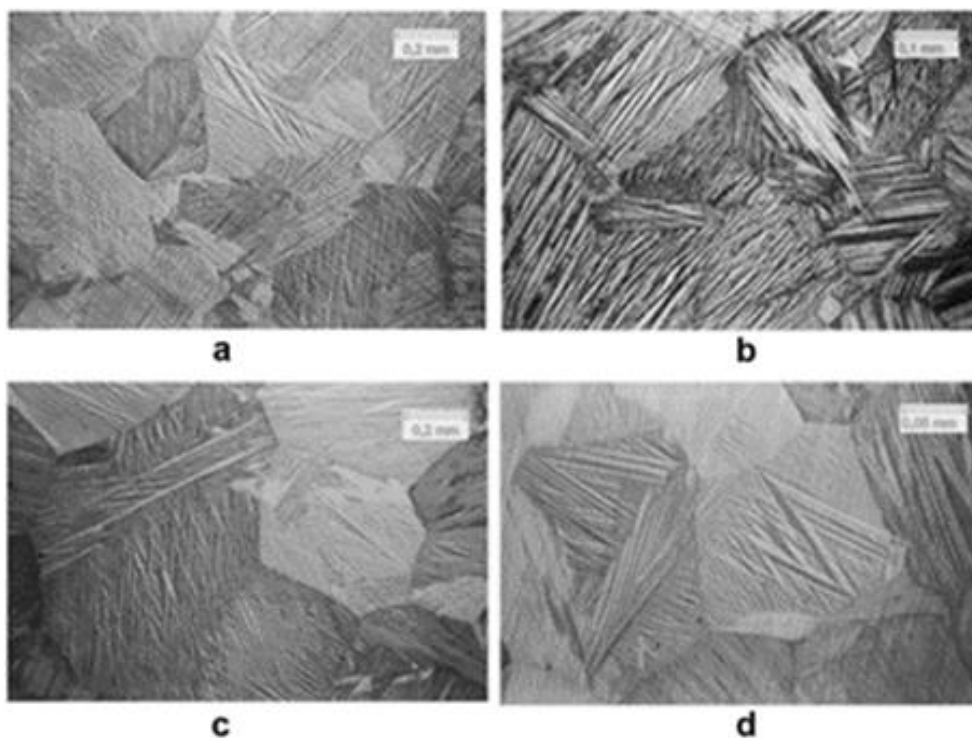
### 2.5.5 Pengujian *Differential Scanning Calorimeter* (DSC)

*Differential Scanning Calorimeter* (DSC) merupakan salah satu metode analisis termal yang dapat digunakan untuk menentukan kapasitas panas dan entalpi dari suatu material. Material yang dapat dianalisis kapasitas panas dan entalpinya dengan menggunakan DSC adalah paduan logam, bahan keramik, dan bahan logam (Ginting et al., 2005). Analisis DSC terdiri dari perhitungan energi yang diperlukan untuk meningkatkan temperatur sampel dibandingkan dengan material pembanding. Sampel endotermik akan membutuhkan lebih banyak panas selama analisis untuk meningkatkan temperatur pada tingkat yang sama dengan material pembanding. Sebaliknya, sampel eksotermik akan membutuhkan lebih sedikit panas untuk menaikkan temperatur (Tomoda et al., 2020). Mekanismenya yaitu dengan pemanasan pada laju konstan dan temperatur dikontrol secara kontinu menggunakan *thermocouple* selama analisis dengan menjaga temperatur sampel dan pembanding untuk tetap sama. Temperatur sampel dan pembanding akan sama pada saat pemanasan apabila tidak ada peristiwa termal seperti dekomposisi, pelelehan, atau perubahan struktur kristal pada sampel. Namun,

temperatur sampel bisa di bawah (jika perubahannya endotermik) atau di atas (jika perubahannya eksotermik) temperatur pembanding saat peristiwa termal tersebut terjadi. Perbedaan tersebut diukur dan menjadi dasar dari DSC (Setiabudi, 2012).

## 2.6 Penelitian Sebelumnya

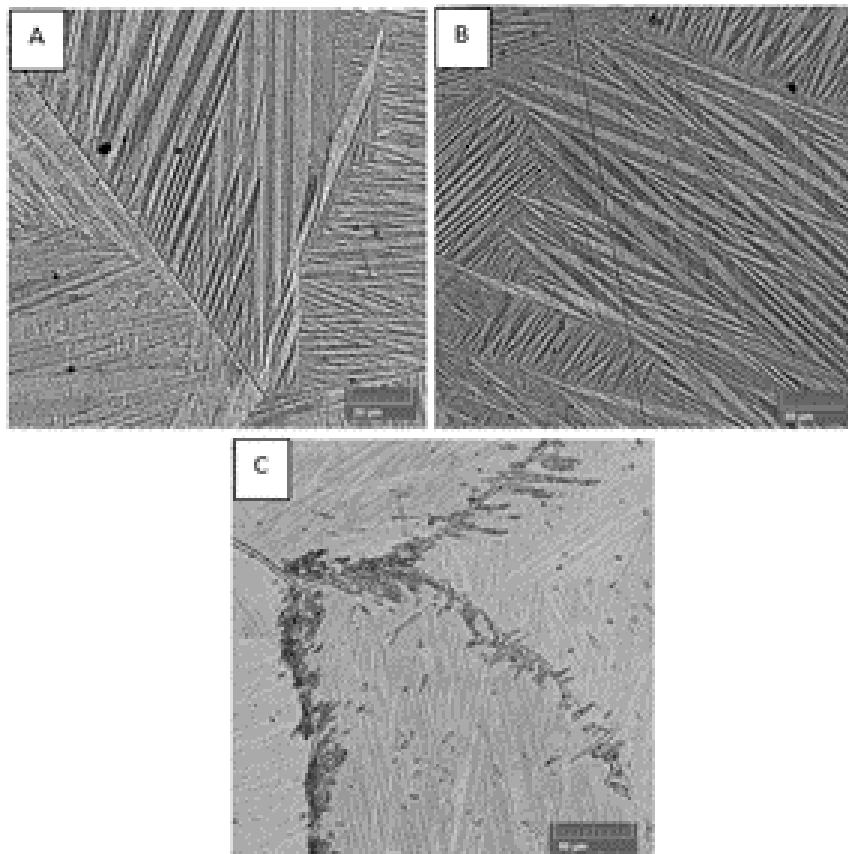
Pada tahun 2021, Asanovic, dkk melakukan penelitian tentang pengaruh komposisi kimia dan media *quenching* terhadap *recoverable strain* pada paduan Cu-Zn-Al. Terdapat 3 komposisi paduan yang berbeda pada penelitian ini, yaitu Cu-25.38%Zn-3.3%Al (A), Cu-22.30%Zn-5.1%Al (B), Cu-21.60%Zn-5.64%Al (C). Metode penelitian yang dilakukan, yaitu membuat sampel berbentuk silinder dengan diameter 40 mm dari ingot cor, *homogenizing* (850 C selama 2 jam) diikuti dengan pendinginan cepat ke temperatur kamar dengan media air, *Annealing* (830 C selama 1 jam) diikuti dengan *Hot Forging* (menghasilkan sampel berbentuk *sheet* dengan ketebalan 4 mm), *Annealing* (500 C selama 20 menit untuk sampel paduan A atau 60 menit untuk sampel paduan B dan C) diikuti dengan pendinginan udara, *Cold Rolling* (menghasilkan *plate* dengan ketebalan 0.6 mm untuk sampel paduan C atau 0.3 mm untuk sampel paduan A dan B), *solution treatment* (selama 10 menit dengan temperatur 890 C untuk sampel paduan A dan C atau temperatur 860 C untuk sampel paduan B), dan variasi *quenching* (terdiri dari *direct quenching* (DQ2), *up quenching* (UQ2), dan *step quenching* (SQOB2)). Hasil analisa mikrostruktur seperti pada Gambar 2.9 memperlihatkan beberapa domain *plate* martensit paralel dalam banyak butir, menghasilkan banyak batas pelampiasan martensit atau martensit bergerigi dalam butir paduan. Selain itu, *plate* martensit tumbuh melalui butir sampai batas butir dengan *self-accommodating* membentuk V. *plate* martensit lebih selaras dan seragam dalam butir pada sampel SQOB2. Hasil dari pengujian *shape memory recovery* yang dilakukan pada penelitian ini menunjukkan hasil yang tinggi, yaitu pada sampel SQOB2 dengan nilai *recovery* mencapai 98% (Asanovic et al., 2021).



**Gambar 2.9** Hasil pengujian metalografi pada spesimen:  
a) *direct quench* paduan C; b) *up-quench* paduan A; c) *up-quench* paduan C; d) *step-quench* paduan B (Asanovic et al., 2021).

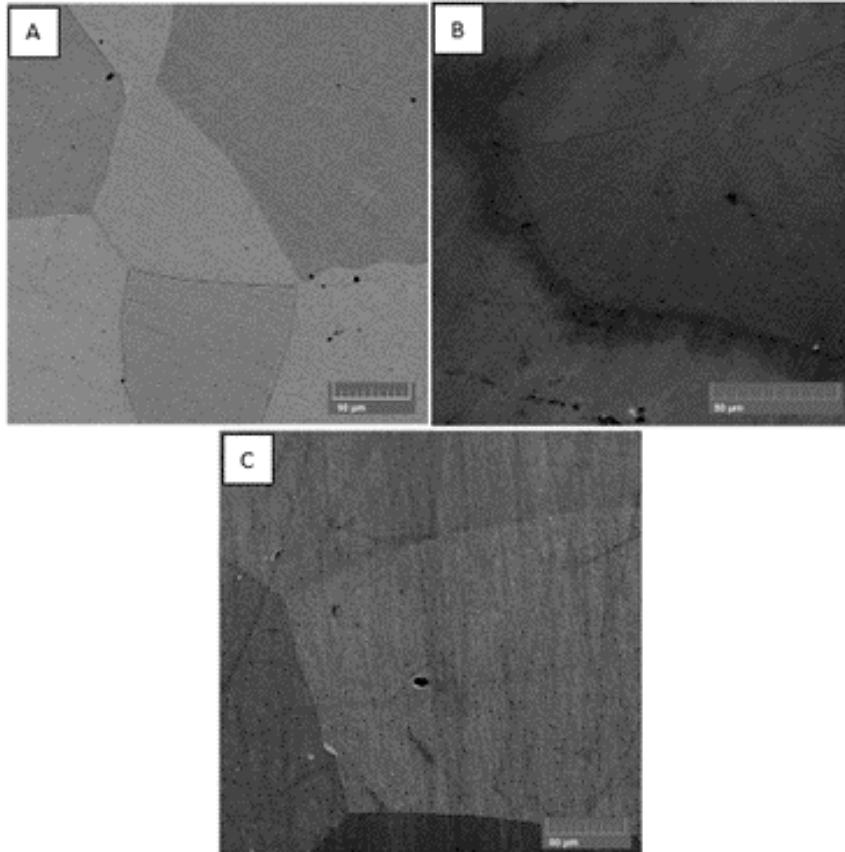


Pada tahun 2017, Stosic, dkk melakukan penelitian tentang pengaruh komposisi dan perlakuan termal paduan Cu-Al-Zn terhadap sifat *shape memory*. Terdapat 2 komposisi paduan Cu-Al-Zn yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu Cu-25%Zn-4%Al dan Cu-30%Zn-4%Al. Beberapa perlakuan panas yang dilakukan pada penelitian ini, yaitu *solution treatment* pada temperatur 850 C selama 30 menit dan dilanjutkan dengan variasi metode *quenching*. Variasi metode *quenching* yang dilakukan adalah *direct quenching* ke temperatur kamar dengan air, *up quenching* (pendinginan ke temperatur kamar, dilanjutkan dengan *ageing* pada temperatur 100 C selama 30 menit, sebelum didinginkan kembali ke temperatur kamar dengan air), dan *step quenching* (Pendinginan dalam air mendidih dengan temperatur 100 C dan tetap dalam temperatur tersebut selama 15 menit, setelah itu pendinginan air dengan temperatur kamar). Hasil struktur mikro pada sampel dengan paduan Cu-25%Zn-4%Al seperti pada Gambar 2.10 yang di *direct quench* dan *up quench* memperlihatkan fasa yang sepenuhnya martensit. Beberapa butir memiliki *plate* martensit berbentuk V, sedangkan yang lain memiliki *plate* martensit seperti jarum. Dan untuk sampel yang di *step quench* memperlihatkan fasa martensit dengan dengan presipitat fasa  $\alpha$  yang sangat halus pada butir dan batas butir.



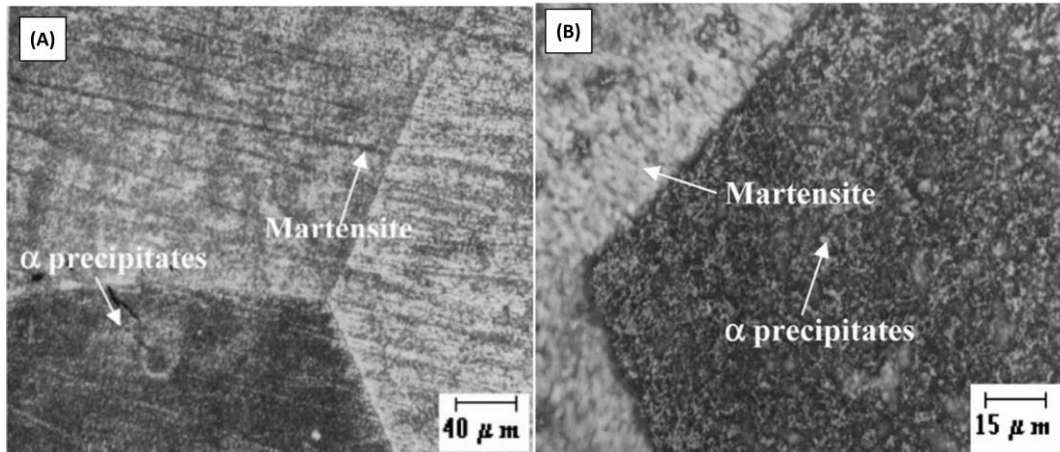
**Gambar 2.10** Mikrostruktur SEM dari paduan Cu-25%Zn-4%Al setelah: (a) *direct quench*, (b) *up quench*, (c) *step quench* (Stošić et al., 2017).

Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.11 martensit tidak diperoleh di salah satu dari tiga sampel perlakuan panas yang berbeda dari paduan Cu-30%Zn-4%Al. Struktur mikro sampel sepenuhnya adalah fasa induk ( $\beta$ ). Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat diketahui bahwa temperatur awal transformasi martensit ( $M_s$ ) berada di bawah temperatur kamar pada paduan Cu-30%Zn-4%Al (Stošić et al., 2017).



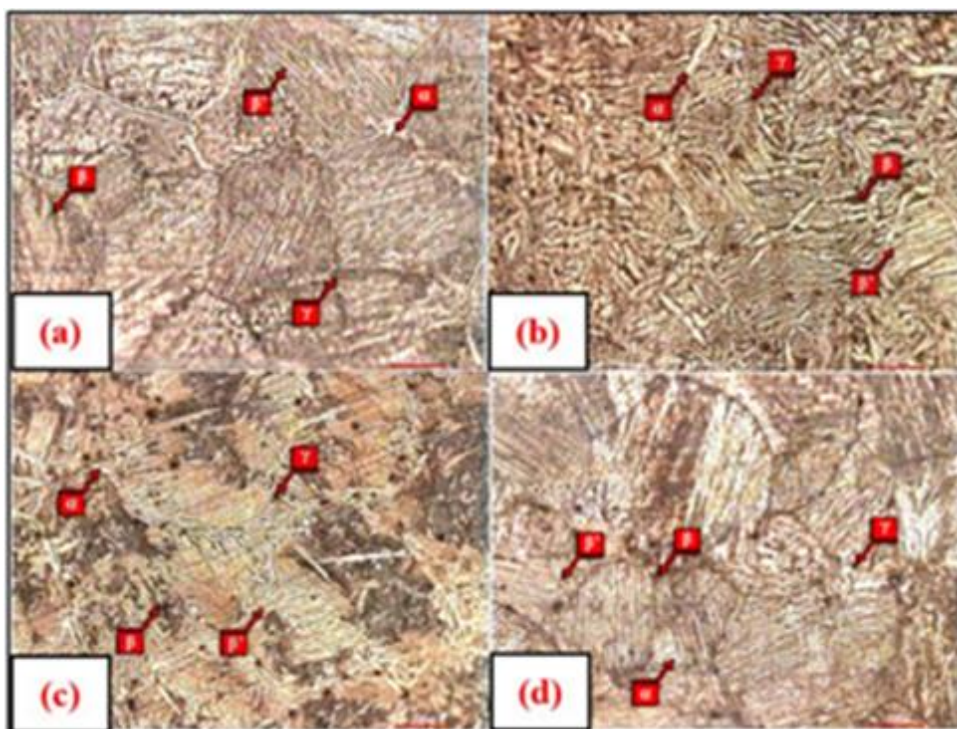
**Gambar 2.11** Mikrostruktur SEM dari paduan Cu-30%Zn-4%Al setelah: (a) *direct quench*, (b) *up quench*, (c) *step quench* (Stošić et al., 2017).

Pada tahun 2007, Sampath melakukan penelitian tentang pengaruh proses termal terhadap struktur mikro dan karakteristik *shape memory* dari Cu-Al-Zn *shape memory alloy*. Paduan yang digunakan pada penelitian ini memiliki kandungan Cu-30.36%Zn- 2.19%Al. Paduan dilakukan *heat treatment*, yaitu dengan *homogenization* pada temperatur 800°C selama 2 jam dan dilakukan variasi metode *quenching* yaitu *direct quenching* dan *step quenching* dengan media pendingin air. Paduan dilakukan *solution treatment* terlebih dahulu pada temperatur 800°C selama 30 menit sebelum dilakukan *quenching*. Pada Gambar 2.12 hasil dari pengujian metalografi menunjukkan bahwa pada metode *direct quenching* dan *step quenching* fasa yang terlihat adalah martensit dengan presipitat  $\alpha$ . Selain itu, terdapat nilai kekerasan untuk setiap metode *quenching* dengan nilai kekerasan yaitu 135-144 VHN untuk metode *direct quenching* dan 157 VHN untuk metode *step quenching*. Peningkatan nilai kekerasan yang terjadi disebabkan oleh presipitat fasa  $\alpha$ . Hal tersebut dapat dilihat pada hasil pengujian metalografi di mana presipitat fasa  $\alpha$  lebih dominan pada struktur mikro metode *step quenching* daripada *direct quenching* (Sampath, 2007).



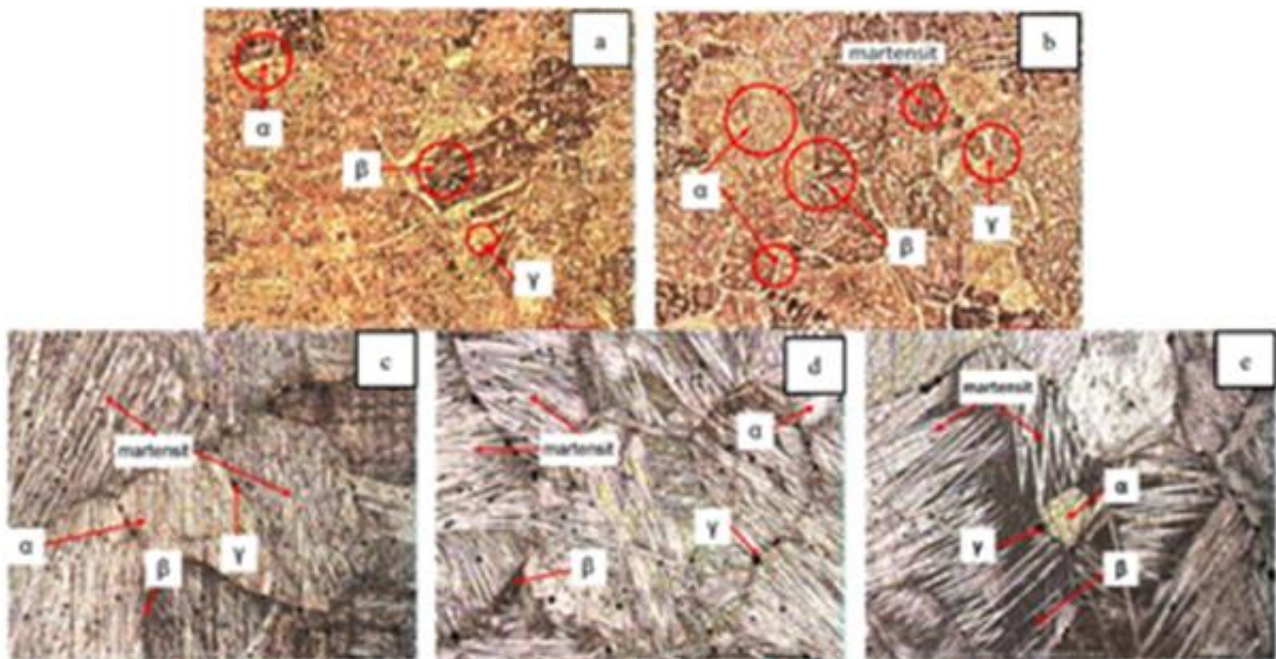
**Gambar 2.12** Struktur mikro sampel paduan Cu–Zn–Al dengan metode: (a) *direct quenching* dan (b) *step quenching* (Sampath, 2007).

Pada tahun 2021, Yusuf, M.F melakukan penelitian tentang pengaruh *holding time* proses *solution treatment* dan *artificial aging* terhadap kekerasan dan struktur mikro Cu-Zn-Al *shape memory alloy*. Pada penelitian ini dilakukan variasi *holding time*, yaitu 10 menit, 20 menit, 30 menit, dan 40 menit. Hasil struktur mikro seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.13 memperlihatkan 4 fasa, yaitu  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , dan  $\beta'$ . Selain itu, hasil struktur mikro menunjukkan bahwa semakin lama waktu *holding time solution treatment* maka ukuran butir akan semakin besar. Selanjutnya, semakin lama waktu *holding time solution treatment* juga menyebabkan nilai kekerasan pada paduan Cu-Zn-Al akan semakin menurun. Hal ini sesuai dengan nilai kekerasan yang didapat, yaitu *holding time* 10 menit ( $181,33 \pm 5,44$  HV), 20 menit ( $175 \pm 1,63$  HV), 30 menit ( $174,33 \pm 1,25$  HV), dan 40 menit ( $173,67 \pm 1,25$  HV) (Yusuf, 2021).



**Gambar 2.13** Hasil pengujian metalografi pada spesimen *solution treatment* dengan variasi waktu tahan: (a) 10 menit, (b) 20 menit, (c) 30 menit, (d) 40 menit (Yusuf, 2021).

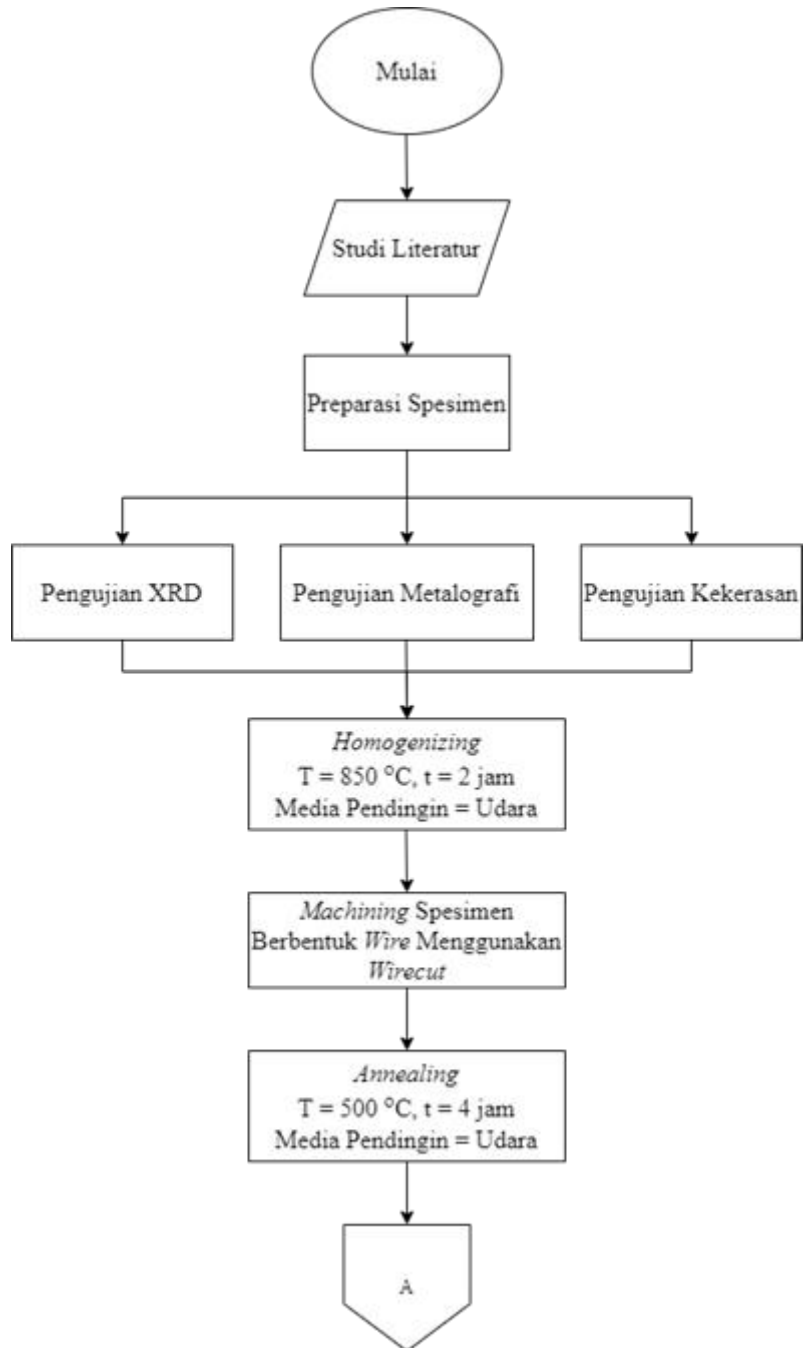
Pada tahun 2020, Wibisono, dkk melakukan penelitian tentang pengaruh variasi media pendingin terhadap struktur mikro dan sifat shape memory. Hasil struktur mikro yang ditunjukkan pada Gambar 2.14 memperlihatkan pada semua variasi media pendingin terdapat fasa  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , dan martensit. Semakin tinggi cooling rate media pendingin, semakin tinggi *recovery* yang diperoleh. Hal tersebut berhubungan dengan struktur mikro paduan. Paduan dengan media pendingin brine memiliki *recovery* 90% yang memiliki fasa martensit paling banyak. Kemudian, diikuti dengan air dengan *recovery* 89,67%, oli dengan *recovery* 88,33%, dan udara dengan *recovery* 69,33%. Pada nilai kekerasan untuk *as cast* adalah 182 HV. Kemudian, nilai kekerasan meningkat setelah dipanaskan pada temperatur 850°C dan didinginkan dengan media pendingin udara dengan nilai 191 HV. Setelah itu, nilai kekerasan menurun dengan media pendingin oli, air, dan *brine* dengan nilai adalah 167 HV, 166 HV, dan 156 HV. Berdasarkan struktur mikro, spesimen *as-cast* dan spesimen yang didinginkan dengan udara setelah dipanaskan pada temperatur 850°C memiliki fasa martensit yang rendah dan fasa  $\beta$  yang tinggi. Akibatnya, kekerasan spesimen yang didinginkan oleh udara lebih tinggi daripada kekerasan spesimen yang didinginkan dengan oli, air, dan *brine* (Wibisono et al., 2020).

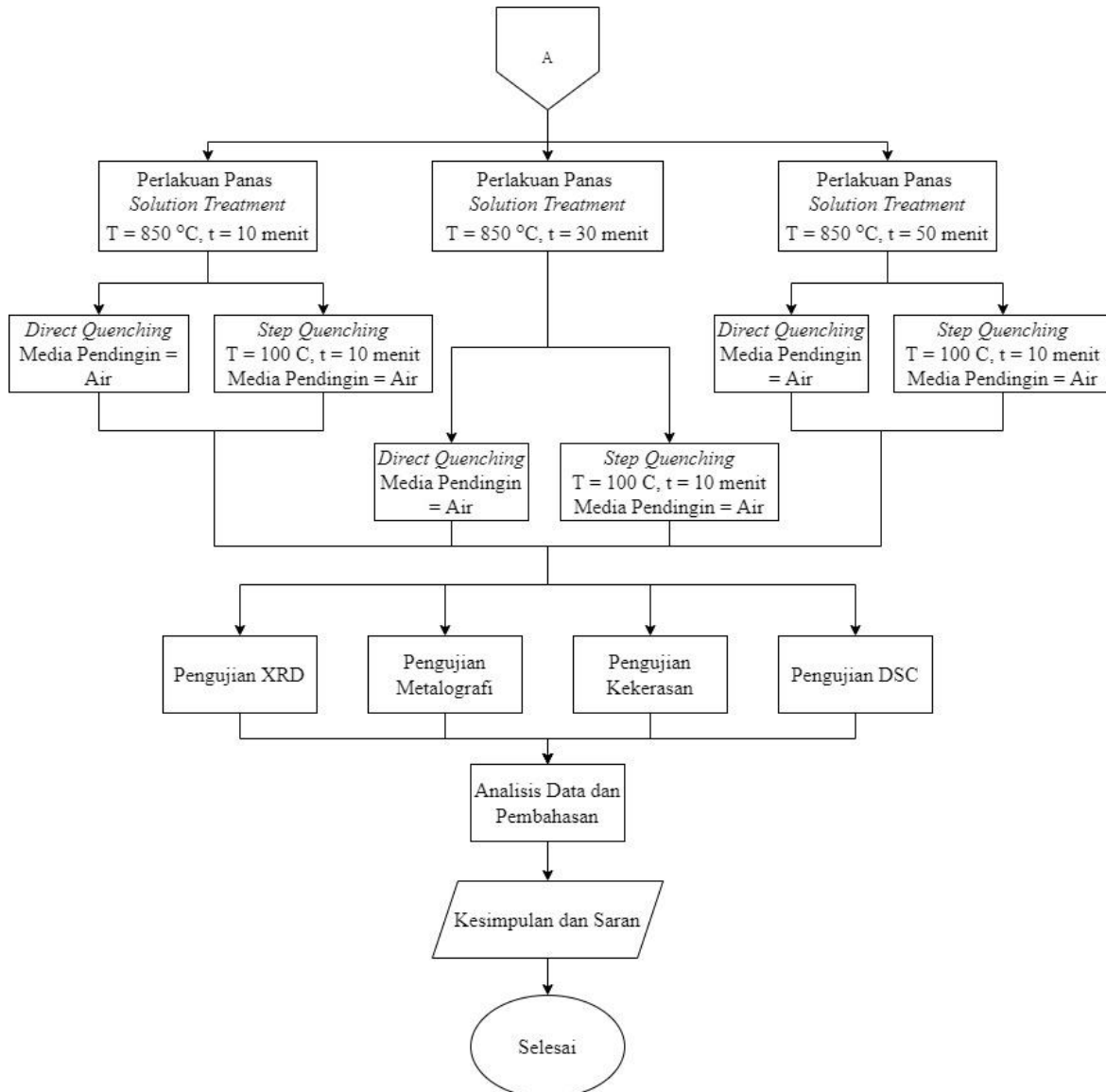


**Gambar 2.14** Struktur mikro Cu-22Zn-7Al (a) *as-cast*, (b) *quenching* udara, (c) *quenching* oli, (d) *quenching* air dan (e) *quenching* brine (Wibisono et al., 2020).

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir Penelitian





**Gambar 3.1** Diagram alir penelitian.

### 3.2 Alat Penelitian

Alat – alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Gerinda Tangan  
Alat ini digunakan untuk memotong bahan pada saat preparasi spesimen.
2. Alat *Wire Cut*  
Alat ini digunakan untuk menghasilkan spesimen berupa kawat pada saat preparasi spesimen untuk pengujian *shape memory effect*.
3. Kertas Amplas  
Alat ini digunakan untuk mengamplas spesimen untuk keperluan uji metalografi.
4. Mesin *Grinding* dan *Polishing*  
Alat ini digunakan untuk melakukan proses grinding dan polishing pada spesimen untuk keperluan uji metalografi yang merupakan inventaris Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS.



**Gambar 3.2** Mesin *grinding* dan *polishing*.

5. *Gelas Ukur*  
Alat ini digunakan untuk mengukur bahan pembuatan larutan etsa yang merupakan inventaris dari Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS.
6. *Beaker Glass*  
Alat ini digunakan sebagai wadah untuk mencampur bahan larutan etsa yang merupakan inventaris dari Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS.
7. *High Temperature Furnace*  
Alat ini digunakan untuk melakukan proses perlakuan panas dengan memanaskan spesimen hingga temperatur tertentu dan merupakan inventaris dari Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS.



**Gambar 3.3** *High temperatur furnace*.

8. *Alat Uji Komposisi*  
Alat ini digunakan untuk menguji komposisi kimia yang terkandung di dalam paduan Cu-Zn-Al yang merupakan inventaris dari PPNS, Surabaya.
9. *Alat Uji XRD*  
Alat ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa yang terbentuk pada suatu material dengan cara menembakkan sinar-X pada material tersebut dan merupakan inventaris

dari Laboratorium Karakterisasi Material Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS.

10. Alat Uji Kekerasan

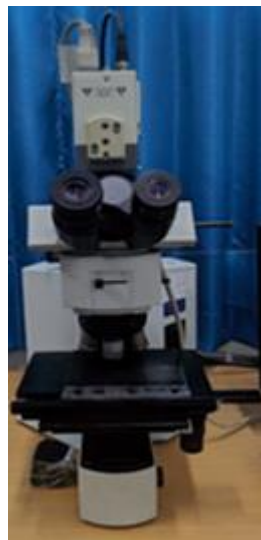
Alat ini digunakan untuk menganalisis nilai kekerasan dari paduan Cu-Zn-Al baik sebelum maupun sesudah proses perlakuan panas dan merupakan inventaris dari Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS.



**Gambar 3.4** Alat uji kekerasan.

11. Mikroskop Optik

Alat ini berfungsi untuk menganalisis struktur mikro spesimen paduan dan merupakan inventaris Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS.



**Gambar 3.5** Mikroskop optik.

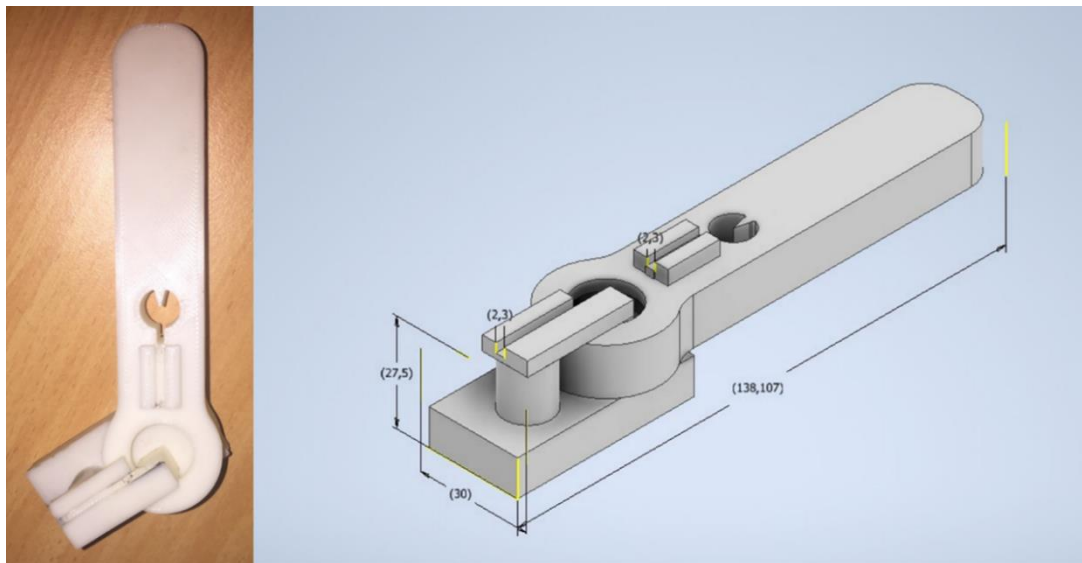
12. *Water Bath*

Alat ini digunakan untuk proses *step quenching* untuk menginkubasi spesimen di dalam air dengan temperatur konstan selama waktu tertentu.

13. *Bending Tool*

Alat ini digunakan untuk menekuk *wire* setelah dilakukan perlakuan panas *solution treatment* sebesar derajat tertentu.





**Gambar 3.6** *Bending tool.*

### 3.3 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Paduan Cu-Zn-Al

Pada penelitian ini paduan Cu-Zn-Al sebagai hasil dari proses pengecoran, dengan komposisi yang sesuai *ASM Handbook Volume 2* dapat dilihat pada Gambar 3.7 dibawah ini.



**Gambar 3.7** Paduan Cu-Zn-Al.

2. Bahan Etsa

Pada penelitian ini digunakan bahan etsa yang sesuai dengan penelitian yang dilakukan Alaneme pada tahun 2018, yaitu:

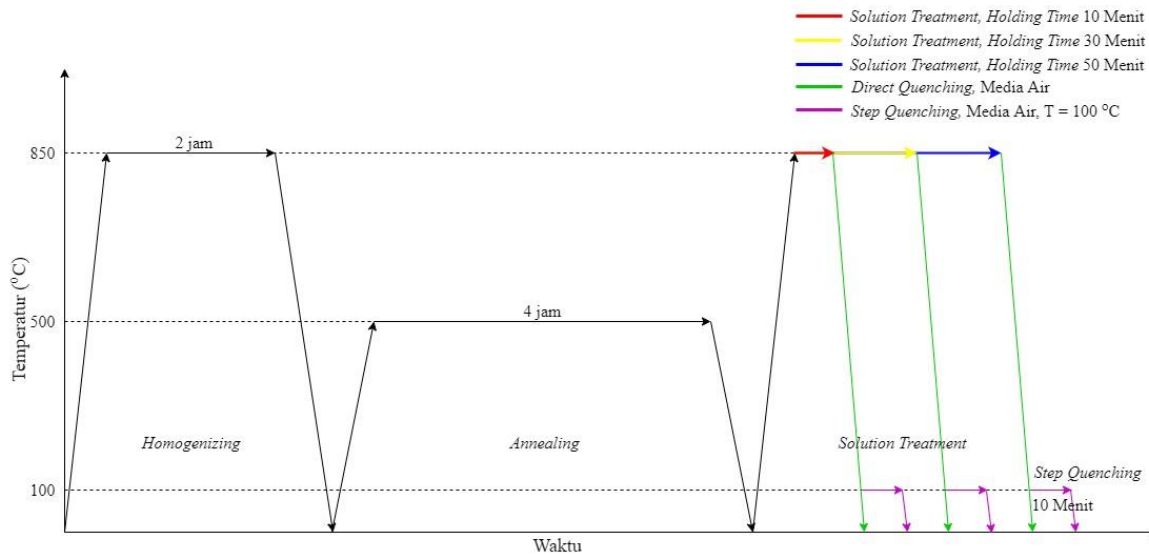
- a. 5 gram  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
- b. 10 ml HCl
- c. 95 ml *Ethanol*

3. Air

Pada penelitian ini digunakan air sebagai media pendingin. Air yang digunakan merupakan *aquades* yang didapatkan dari Toko SIP Klampis, Surabaya.

### 3.4 Kurva Perlakuan Panas

Pada penelitian ini dilakukan perlakuan panas yang terdiri dari *homogenizing*, *annealing*, dan *solution treatment*. Sedangkan variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah *holding time* dan metode *direct/step quenching* pada *solution treatment*.



Gambar 3.8 Kurva perlakuan panas.

### 3.5 Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini prosedur yang dilakukan pada proses perlakuan panas adalah sebagai berikut:

#### 3.5.1 Prosedur Proses Perlakuan Panas *Homogenizing*

Pada penelitian ini prosedur yang dilakukan pada proses perlakuan panas *homogenizing* adalah sebagai berikut:

1. Spesimen disiapkan.
2. *Furnace* untuk perlakuan panas disiapkan.
3. Spesimen dimasukkan ke dalam *furnace*, kemudian spesimen dipanaskan hingga temperatur 850°C dan ditahan selama 2 jam.
4. Spesimen dikeluarkan dari *furnace* dan dibiarkan dingin di udara.

#### 3.5.2 Prosedur Proses Perlakuan Panas *Annealing*

Prosedur yang digunakan pada proses perlakuan panas *annealing* dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Spesimen disiapkan.
2. *Furnace* untuk perlakuan panas disiapkan.
3. Spesimen dimasukkan ke dalam *furnace*, kemudian spesimen dipanaskan hingga temperatur 500°C dan ditahan selama 4 jam.
4. Spesimen dikeluarkan dari *furnace* dan dibiarkan dingin di dalam *furnace*.

#### 3.5.3 Prosedur Proses Perlakuan Panas *Solution Treatment*

Pada penelitian ini prosedur yang dilakukan pada proses perlakuan panas *solution treatment* adalah sebagai berikut:

1. Spesimen disiapkan.
2. *Furnace* untuk perlakuan panas disiapkan.
3. Spesimen dimasukkan ke dalam *furnace*, kemudian spesimen dipanaskan hingga temperatur 850°C dan ditahan selama 10 menit.
4. Spesimen dikeluarkan dari *furnace*, kemudian dimasukkan ke dalam media pendingin air.
5. Langkah 1-4 diulangi, namun *holding time* yang digunakan pada *solution treatment* diubah menjadi 30 menit dan 50 menit.

- Langkah 1-5 diulangi, namun metode *quenching* yang digunakan diubah menjadi *step quenching* pada media air bertemperatur 100°C.

### 3.6 Proses Pengujian

Pada penelitian ini pengujian yang dilakukan adalah pengujian komposisi kimia, pengujian XRD, pengujian metalografi, pengujian kekerasan, dan pengujian DSC. Proses pengujiannya adalah sebagai berikut:

#### 3.6.1 Pengujian Komposisi Kimia

Pada penelitian ini pengujian komposisi kimia dilakukan dengan OES. Jenis pengujian OES yang digunakan adalah Spark OES, yang menggunakan perbedaan potensial elektrik antara elektroda dan spesimen, sehingga menghasilkan *electrical discharge* yang menyebabkan permukaan spesimen panas dan menguap.

#### 3.6.2 Pengujian X-Ray Diffraction (XRD)

Pada penelitian ini pengujian XRD digunakan untuk menganalisis struktur kristal dan juga fasa yang terbentuk pada material yang digunakan dengan cara memberikan sinar-X pada material tersebut.

#### 3.6.3 Pengujian Metalografi

Pada penelitian ini pengujian metalografi digunakan untuk mengamati struktur mikro suatu material. Pengujian ini memerlukan preparasi menggunakan larutan etsa sebelum diamati pada mikroskop. Larutan etsa yang digunakan berdasarkan pada *ASM Handbook Volume 9* dan mikroskop yang digunakan adalah *Metallurgical Microscope OLYMPUS BX51MRF*.

#### 3.6.4 Pengujian Kekerasan

Pada penelitian ini pengujian kekerasan digunakan untuk menganalisis nilai kekerasan dari spesimen baik sebelum maupun sesudah dilakukan *solution treatment*. Metode yang digunakan adalah metode *Vickers* sesuai dengan standar ASTM E92-17, indentor yang digunakan adalah piramida *diamond* dengan sudut 136°, dan beban 30 kgf dengan waktu tahan 10 detik.

#### 3.6.5 Pengujian Differential Scanning Calorimetry (DSC)

Pada penelitian ini pengujian DSC digunakan untuk mengukur kalor yang terserap atau dikeluarkan dari sebuah material saat material tersebut dipanaskan dan didinginkan pada rentang temperatur transformasi tertentu. Sampel material memiliki ukuran yang sangat kecil, hanya beberapa miligram. Puncak endotermik dan eksotermik akan muncul saat sampel menyerap atau mengeluarkan energi akibat adanya transformasi. Sehingga akan keluar suatu grafik yang mendefinisikan awal, puncak, dan akhir dari perubahan fasa material. Pada paduan SMA, pengujian DSC bertujuan untuk menganalisis temperatur transformasi Ms, Mf, As, dan Af. Temperatur transformasi tersebut yang menimbulkan sifat *shape memory effect*.

### 3.7 Rancangan Penelitian

Rancangan dalam penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

**Tabel 3.1** Rancangan penelitian.

Nama Spesimen	<i>Holding time Solution treatment (Temperatur 850°C)</i>	Metode <i>Quenching</i>	Pengujian					
			O E S	Metalografi	X R D	D S C	S M E	Kekerasan
<i>As cast</i>	-	-	V	V	V	-	-	V
DQ10	10 Menit	<i>Direct</i>	-	V	V	V	V	V
SQ10	10 Menit	<i>Step</i>	-	V	V	V	V	V
DQ30	30 Menit	<i>Direct</i>	-	V	V	-	V	V
SQ30	30 Menit	<i>Step</i>	-	V	V	-	V	V
DQ50	50 Menit	<i>Direct</i>	-	V	V	-	V	V
SQ50	50 Menit	<i>Step</i>	-	V	V	-	V	V

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Pengujian Komposisi Kimia

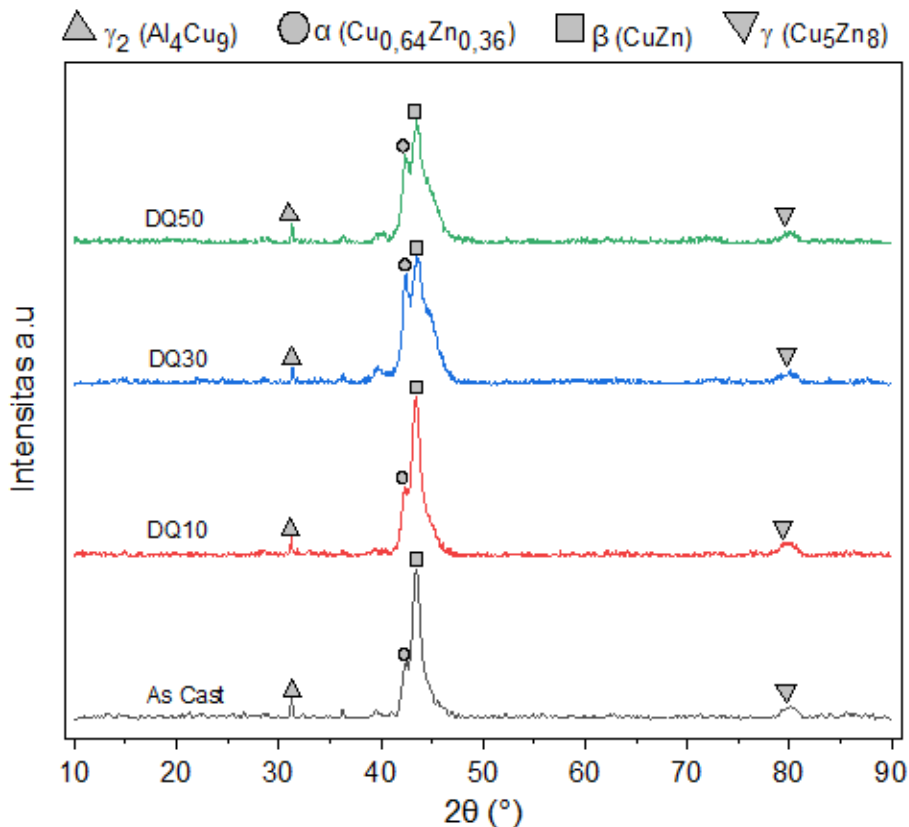
Pengujian komposisi telah dilakukan pada spesimen paduan Cu-Zn-Al dengan menggunakan alat uji *Optical Emission Spectroscopy* (OES) yang dilakukan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS), Surabaya. Hasil dari pengujian komposisi spesimen paduan Cu-Zn-Al ditunjukkan pada Tabel 4.1 sebagai berikut. Berdasarkan hasil pengujian komposisi yang dilakukan dapat diketahui bahwa komposisi spesimen adalah Cu-15,9Zn-6,89Al. Komposisi spesimen telah sesuai dengan standar komposisi *shape memory alloy* pada *ASM Handbook Vol. 2*.

**Tabel .4.1** Hasil pengujian komposisi kimia Cu-Zn-Al *alloy*.

Keterangan	Komposisi		
	Cu (%)	Zn (%)	Al (%)
<i>ASM Handbook vol. 2</i>	Balanced	10-30	5-10
Hasil Pengujian	Balanced	15,9	6,89

### 4.2 Hasil Pengujian XRD Cu-15,9Zn-6,89Al Alloy

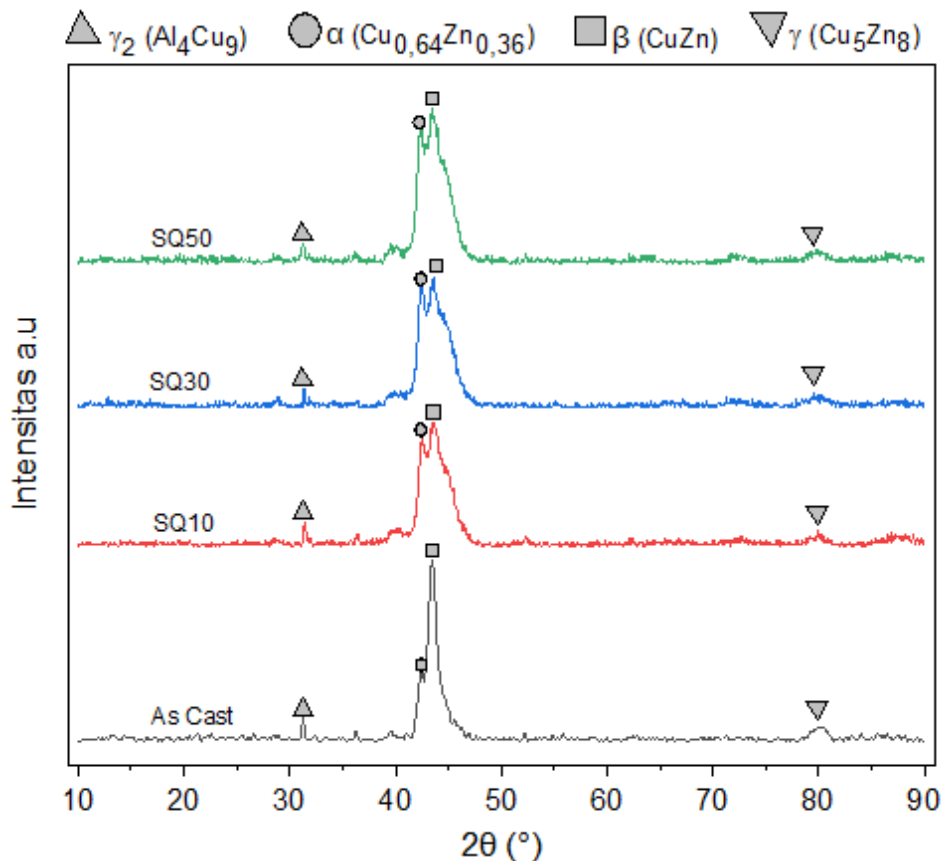
Pada penelitian ini dilakukan pengujian XRD dengan tujuan untuk mengetahui fasa dan senyawa yang terbentuk beserta dengan struktur kristal dari paduan Cu-15,9Zn-6,89Al. Pengujian XRD dilakukan dengan menggunakan alat XRD *PANalytical* di Laboratorium Karakterisasi Material Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS ITS. Adapun spesimen yang dilakukan pengujian terdiri dari spesimen *as cast* tanpa dilakukan perlakuan panas dan spesimen dengan variasi metode *quenching* yaitu *direct quenching* dan *step quenching* dengan setiap metode *quenching* memiliki tiga variasi *holding time solution treatment* yaitu 10 menit, 30 menit, dan 50 menit. Selanjutnya, hasil dari pengujian dianalisis dengan menggunakan *software High Score* untuk mencocokkan *peak* yang terbentuk dengan database standar *International Centre for Diffraction Data* (ICDD) sehingga diketahui fasanya. Berikut adalah hasil analisis XRD pada spesimen *as cast* dengan *direct quenching*.



**Gambar 4.1** Hasil pengujian XRD Cu-15,9Zn-6,89Al alloy pada spesimen *as cast* dan variasi *holding time solution treatment* dengan metode *direct quenching*.

Pada Gambar 4.1 dapat diketahui bahwa untuk spesimen *as cast* terdapat *peak* yang memperlihatkan fasa  $\gamma_2$ -brass ( $\text{Cu}_4\text{Al}_9$ ) sesuai dengan kode referensi ICDD 00-024-0003 yang terletak pada posisi  $2\theta$   $30,801^\circ$  dengan struktur kristal kubik. Kemudian terdapat *peak* yang memperlihatkan fasa  $\alpha$ -brass ( $\text{Cu}_{0,64}\text{Zn}_{0,36}$ ) sesuai dengan kode referensi ICDD 00-050-1333 yang terletak pada posisi  $2\theta$   $42,325^\circ$  dengan struktur kristal kubik. Selanjutnya terdapat *peak* yang memperlihatkan fasa  $\beta$ -brass ( $\text{CuZn}$ ) sesuai dengan kode referensi ICDD 00-002-123 yang terletak pada posisi  $2\theta$   $43,473^\circ$  dengan struktur kristal kubik. Selain itu terdapat *peak* yang memperlihatkan fasa  $\gamma$ -brass ( $\text{Cu}_5\text{Zn}_8$ ) sesuai dengan kode referensi ICDD 00-025-1228 yang terletak pada posisi  $2\theta$   $79,417^\circ$  dengan struktur kristal kubik.

Untuk spesimen DQ10, DQ30, dan DQ50 merupakan spesimen dengan perlakuan panas *solution treatment* pada temperatur  $850^\circ\text{C}$  dengan *holding time* yang bervariasi selama 10, 30, dan 50 menit dan diteruskan dengan *direct quench* media pendingin air, diperlihatkan bahwa terdapat *peak* yang memperlihatkan fasa  $\gamma_2$ -brass ( $\text{Cu}_4\text{Al}_9$ ) sesuai dengan kode referensi ICDD 00-024-0003 yang terletak pada posisi  $2\theta$   $30,801^\circ$  dengan struktur kristal kubik, Selanjutnya terdapat *peak* yang memperlihatkan fasa  $\alpha$ -brass ( $\text{Cu}_{0,64}\text{Zn}_{0,36}$ ) sesuai dengan kode referensi ICDD 00-050-1333 yang terletak pada posisi  $2\theta$   $42,325^\circ$  dengan struktur kristal kubik. Setelah itu terdapat *peak* yang memperlihatkan fasa  $\beta$ -brass ( $\text{CuZn}$ ) sesuai dengan kode referensi ICDD 00-002-123 yang terletak pada posisi  $2\theta$   $43,473^\circ$  dengan struktur kristal kubik. Selain itu, terdapat *peak* yang memperlihatkan fasa  $\gamma$ -brass ( $\text{Cu}_5\text{Zn}_8$ ) sesuai dengan kode referensi ICDD 00-025-1228 yang terletak pada posisi  $2\theta$   $79,417^\circ$  dengan struktur kristal kubik.



**Gambar 4.2** Hasil pengujian XRD Cu-15,9Zn-6,89Al alloy pada spesimen *as cast* dan variasi *holding time solution treatment* dengan metode *step quenching*.

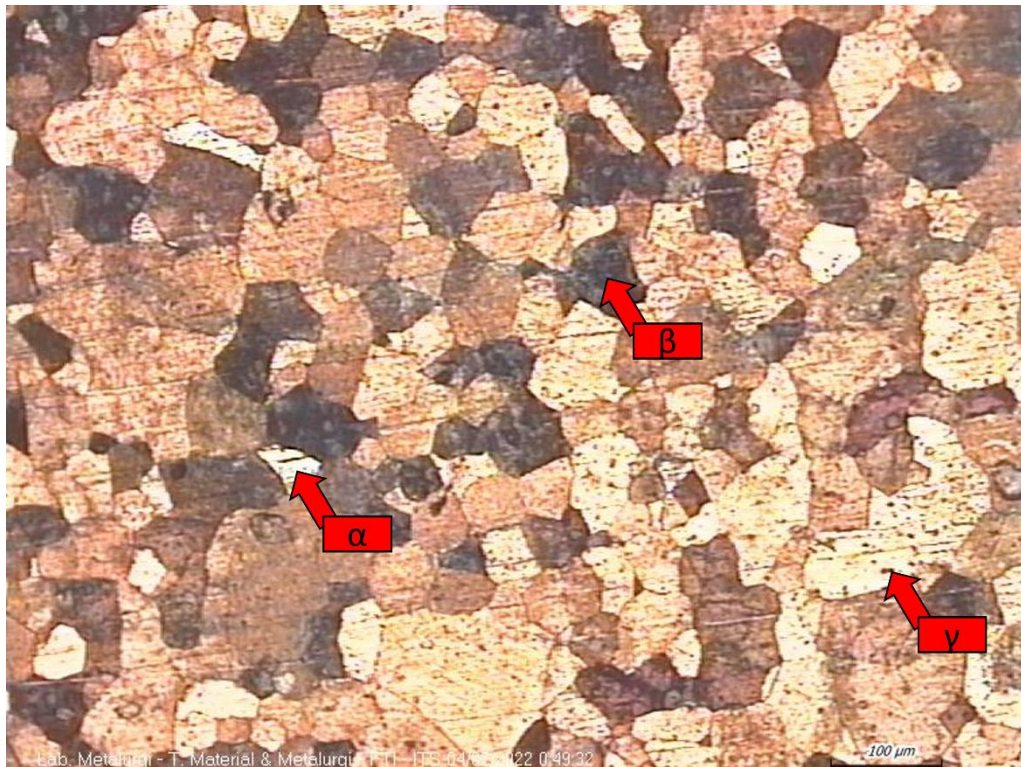
Pada Gambar 4.2, hasil *as cast* merupakan data yang sama dengan Gambar 4.1. Spesimen SQ10, SQ30, dan SQ50 merupakan spesimen dengan perlakuan panas *solution treatment* yang sama dengan spesimen DQ, tetapi terdapat perbedaan pada metode *quenching*. SQ diteruskan dengan *step quenching* media pendingin air setelah *solution treatment*. Pada spesimen SQ10, SQ30, dan SQ50 terlihat terdapat *peak* yang memperlihatkan fasa  $\gamma_2$ -brass ( $\text{Cu}_4\text{Al}_9$ ) sesuai dengan kode referensi ICDD 00-024-0003 yang terletak pada posisi  $2\theta$   $30,801^\circ$  dengan struktur kristal kubik. Selanjutnya terdapat *peak* yang memperlihatkan fasa  $\alpha$ -brass ( $\text{Cu}_{0,64}\text{Zn}_{0,36}$ ) sesuai dengan kode referensi ICDD 00-050-1333 yang terletak pada posisi  $2\theta$   $42,325^\circ$  dengan struktur kristal kubik. Setelah itu terdapat *peak* yang memperlihatkan fasa  $\beta$ -brass ( $\text{CuZn}$ ) sesuai dengan kode referensi ICDD 00-002-123 yang terletak pada posisi  $2\theta$   $43,473^\circ$  dengan struktur kristal kubik. Selain itu, terdapat *peak* yang memperlihatkan fasa  $\gamma$ -brass ( $\text{Cu}_5\text{Zn}_8$ ) sesuai dengan kode referensi ICDD 00-025-1228 yang terletak pada posisi  $2\theta$   $79,417^\circ$  dengan struktur kristal kubik.

Dari hasil pengujian XRD secara keseluruhan, terlihat bahwa fasa yang muncul sesuai dengan diagram fasa terner yang menyebutkan bahwa Cu-15,9Zn-6,89Al terdiri dari fasa  $\alpha$ ,  $\beta$ , dan  $\gamma$ . Pada seluruh spesimen pengujian terdapat fasa  $\gamma$  yang terdiri dari  $\gamma$ -brass ( $\text{Cu}_5\text{Zn}_8$ ) dan  $\gamma_2$ -brass ( $\text{Cu}_4\text{Al}_9$ ). Hal tersebut dapat terjadi karena pada diagram terner Cu-Zn-Al, fasa  $\beta$  ( $\text{CuZn}$ ) rentan terhadap dekomposisi menjadi  $\alpha$  dan  $\gamma$  ( $\text{Cu}_5\text{Zn}_8$ ) pada temperatur 700 K ( $427^\circ\text{C}$ ). Selain itu, fasa  $\beta$  pada diagram biner Cu-Al mengalami dekomposisi eutektoid pada temperatur 838 K ( $565^\circ\text{C}$ ) menjadi fasa  $\alpha$  dan  $\gamma_2$  ( $\text{Cu}_9\text{Al}_4$ ) apabila pendinginan dilakukan secara lambat. Namun, fasa  $\beta$  ( $\text{CuZn}$ ) tidak terdekomposisi secara menyeluruh dikarenakan pendinginan yang dilakukan tidak cukup lambat, sehingga masih terdapat fasa  $\beta$  ( $\text{CuZn}$ ) pada temperatur kamar (K. & Wayman, 1998).

*Solution treatment* dilakukan untuk memperoleh fasa tunggal  $\beta$  pada temperatur kamar. Hal tersebut dilakukan dengan pemanasan spesimen hingga diatas temperatur austenisasi yang ditahan beberapa saat untuk melarutkan dan mencegah terbentuknya fasa baru, sehingga hanya diperoleh sebuah fasa tunggal yaitu fasa  $\beta$ . Selanjutnya dilakukan pendinginan cepat menuju temperatur kamar, sehingga fasa  $\beta$  mengalami transformasi menjadi martensit ( $\beta'$ ). Selain itu, pendinginan cepat juga dilakukan untuk mencegah fasa  $\beta$  mengalami dekomposisi menjadi fasa  $\alpha$  dan  $\gamma$  (ASM International, 1990). Namun, dari hasil pengujian XRD terlihat bahwa perbedaan metode pendinginan cepat yaitu *direct quenching* dan *step quenching* dengan media pendingin air tidak cukup cepat untuk mencegah dekomposisi fasa  $\beta$  menjadi fasa  $\alpha$  dan  $\gamma$ .

#### 4.3 Hasil Pengujian Metalografi Cu-15,9Zn-6,89Al Alloy

Pengujian metalografi dilakukan untuk menganalisis struktur mikro dari paduan Cu-15,9Zn-6,89Al Alloy. Pengujian metalografi dilakukan pada spesimen *as cast* dan variasi metode *quenching* dengan media pendingin air yaitu *direct quenching* dan *step quenching* dengan setiap metode memiliki variasi *holding time solution treatment* pada temperatur 850°C yang terdiri dari 10 menit, 30 menit, dan 50 menit. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat *Metallurgical Microscope* OLYMPUS BX51M-RF di Laboratorium Metalurgi dan Manufaktur, Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS ITS. Preparasi spesimen dilakukan terlebih dahulu sebelum dilakukan pengujian metalografi dan selanjutnya di etsa dengan metode *immerse* selama 10 detik dengan larutan etsa sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Alaneme pada tahun 2018 dengan komposisi yaitu 5 gr FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O, 95 ml *ethanol*, dan 10 ml HCl (Alaneme & Umar, 2018).

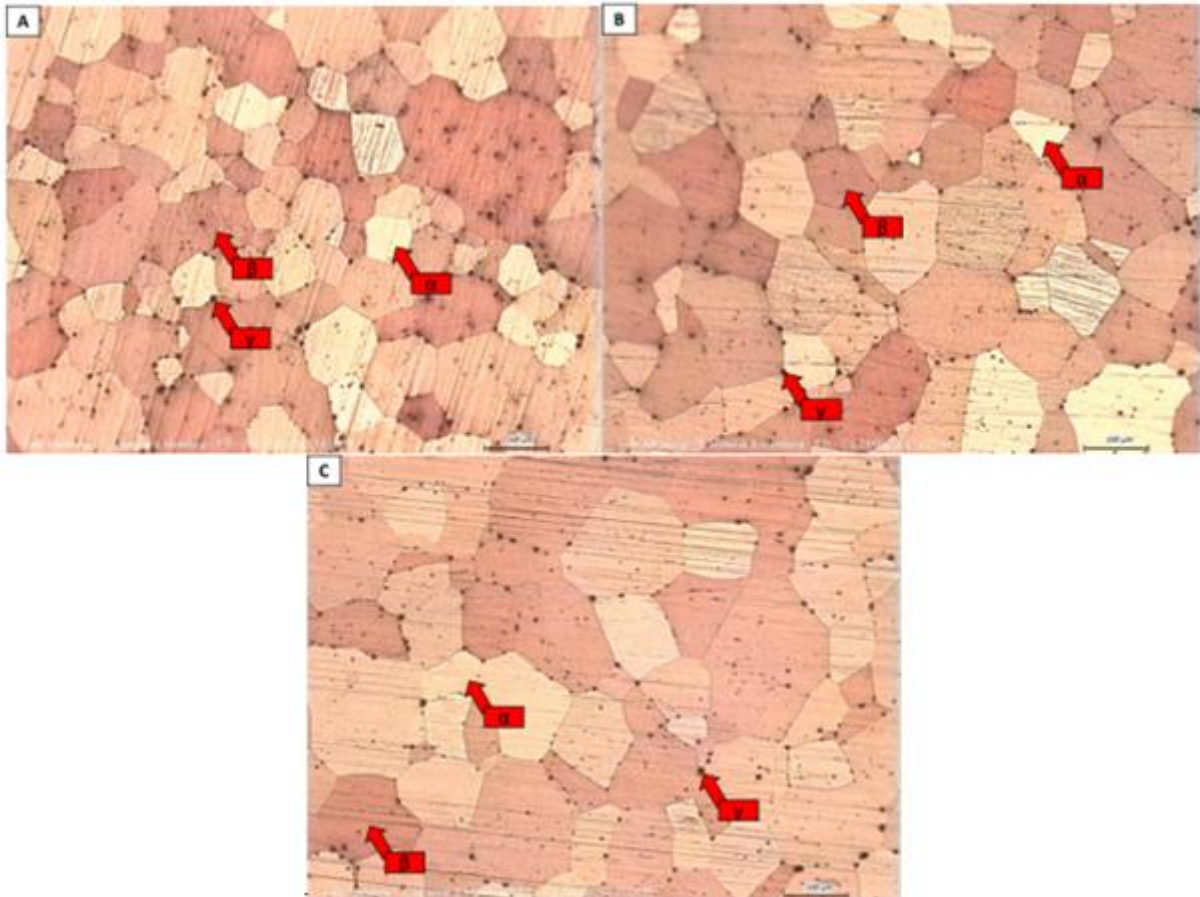


**Gambar 4.3** Hasil pengujian metalografi spesimen *as cast* Cu-15,9Zn-6,89Al alloy dengan perbesaran 100x.

Hasil pengujian metalografi dengan perbesaran 100x spesimen *as cast* Cu-15,9Zn-6,89Al alloy diperlihatkan pada Gambar 4.3. Dapat dilihat bahwa terdapat tiga fasa yaitu  $\alpha$ ,  $\beta$ , dan  $\gamma$ .

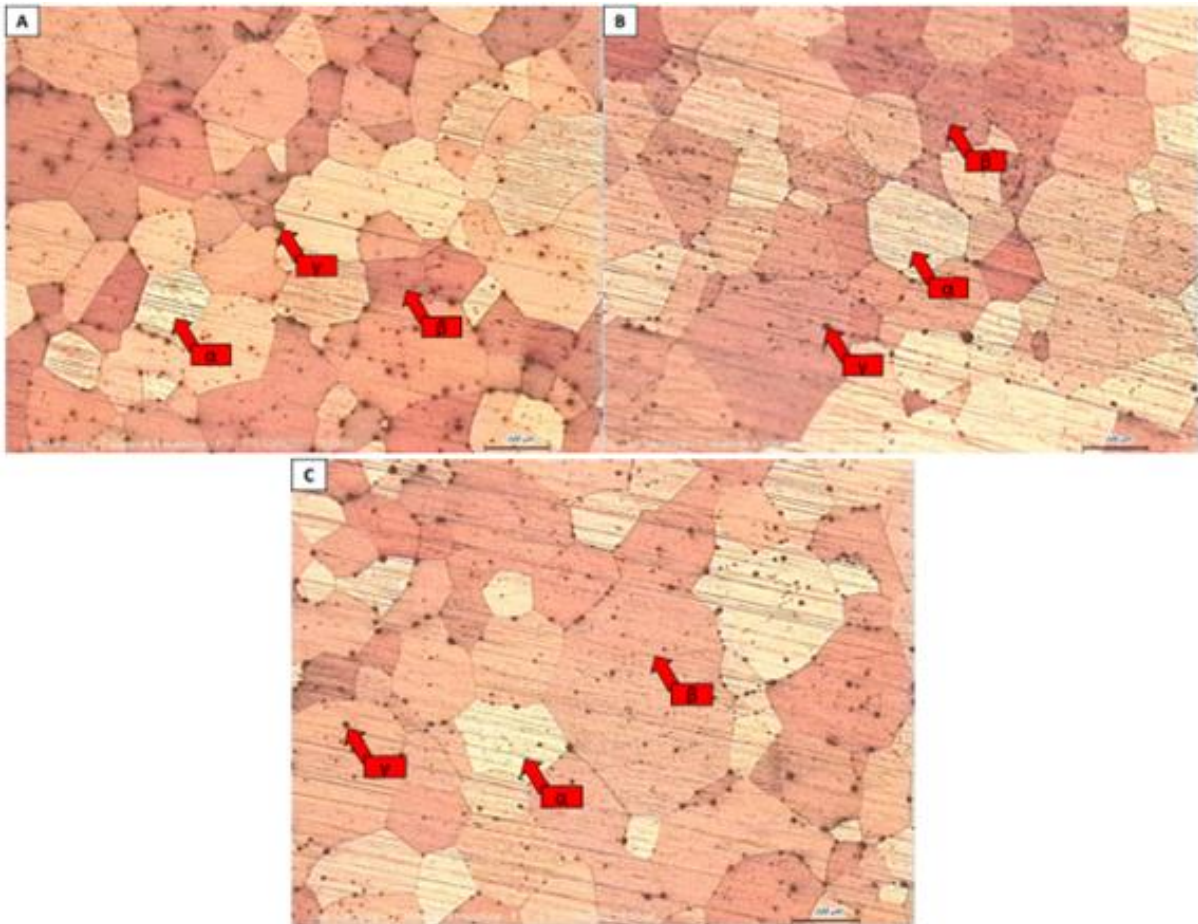


Terdapat perbedaan dari karakteristik setiap fasa yang terlihat, fasa  $\alpha$  mempunyai karakteristik bewarna terang, fasa  $\beta$  berwarna cukup gelap (Dutkiewicz et al., 2009), dan fasa  $\gamma$  berbentuk presipitat dengan warna yang gelap (Vander Voort, 2007). Berdasarkan hasil pengujian metalografi spesimen *as cast* yang diperlihatkan pada Gambar 4.3, fasa yang terlihat, yaitu  $\alpha$ ,  $\beta$ , dan  $\gamma$  sesuai dengan fasa yang terdeteksi dari pengujian XRD. Selain itu, pada Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa spesimen *as cast* didominasi oleh fasa  $\beta$  apabila dibandingkan dengan fasa  $\alpha$  dan  $\gamma$ . Hal tersebut juga dapat didukung dengan hasil pengujian XRD yang menunjukkan bahwa intensitas *peak*  $\beta$  merupakan *peak* tertinggi dari fasa lainnya.



**Gambar 4.4** Hasil pengujian metalografi spesimen Cu-15,9Zn-6,89Al *alloy* perbesaran 100x dengan metode *direct quenching* pada *solution treatment* dengan variasi *holding time* (A) 10 menit, (B) 30 menit, (C) 50 menit dan temperatur 850 °C media pendingin air.

Pada Gambar 4.4 memperlihatkan hasil pengujian metalografi dengan perbesaran 100x spesimen *direct quenching* dengan variasi *holding time solution treatment* pada temperatur 850°C dengan media pendingin air. Dapat dilihat bahwa fasa yang terlihat pada pengujian metalografi pada Gambar 4.4 terdiri dari  $\alpha$ ,  $\beta$ , dan  $\gamma$ . Hal tersebut juga didukung dengan hasil pengujian XRD karena sesuai dengan fasa yang terdeteksi. Selain itu, dapat dilihat pada Gambar 4.4 bahwa fasa  $\beta$  merupakan fasa yang mendominasi apabila dibandingkan dengan fasa  $\alpha$  dan  $\gamma$ . Hal tersebut sesuai berdasarkan intensitas *peak* yang diperoleh dari hasil pengujian XRD di mana intensitas *peak*  $\beta$  yang tertinggi.



**Gambar 4.5** Hasil pengujian metalografi spesimen Cu-15,9Zn-6,89Al alloy perbesaran 100x dengan metode *step quenching* pada *solution treatment* dengan variasi *holding time* (A) 10 menit, (B) 30 menit, (C) 50 menit dan temperatur 850 °C media pendingin air.

Spesimen *step quenching* dengan variasi *holding time solution treatment* pada temperatur 850°C dengan media pendingin air dari Gambar 4.5 tersebut terlihat bahwa terdapat fasa  $\alpha$ ,  $\beta$ , dan  $\gamma$ . Hal tersebut juga sesuai dengan fasa yang terdeteksi pada hasil pengujian XRD. Selain itu, terlihat bahwa fasa  $\beta$  lebih mendominasi dari fasa yang lainnya dikarenakan intensitas fasa  $\beta$  dari hasil pengujian XRD adalah yang tertinggi.

Pada Gambar 4.4 dan 4.5 di mana merupakan spesimen yang telah dilakukan perlakuan panas *solution treatment* dan pendinginan cepat dengan metode *quenching* yang berbeda dengan media pendingin air secara keseluruhan tidak terdapat fasa  $\beta'$  yang merupakan fasa *twinned martensit*. Hal itu terjadi dikarenakan temperatur transformasi awal pembedakan martensit berada di bawah temperatur kamar, lebih rendah dari temperatur media pendingin yang digunakan yaitu air dan menyebabkan proses pendinginan melebihi *critical cooling rate* untuk mengalami transformasi martensit (Lohan et al., 2014). Hal tersebut berbeda dengan penelitian Stosic pada tahun 2017, pada penelitian tersebut menggunakan spesimen paduan Cu-25Zn-4Al dengan perlakuan panas *solution treatment* pada temperatur 850°C selama 30 menit dan dilanjutkan dengan pendinginan cepat dengan metode *quenching* yang berbeda yaitu *direct quenching* dan *step quenching* dengan media pendingin air, menghasilkan struktur mikro martensit ( $\beta'$ ) sepenuhnya pada *direct quenching* dan martensit ( $\beta'$ ) dengan sejumlah presipitat kecil fasa  $\alpha$  pada *step quenching*. Morfologi fasa martensit terbentuk dalam bentuk V yang tersebar dalam butir (Stošić et al., 2017). Ketiadaan fasa martensit ( $\beta'$ ) pada Gambar 4.4 dan 4.5 di mana terdapat perbedaan pada penelitian Stosic pada tahun 2017 dengan perlakuan panas

yang sama terjadi karena perbedaan komposisi dari paduan yang digunakan. Hal ini menunjukkan bahwa temperatur awal pembentukan martensit untuk paduan Cu-15,9Zn-6,89Al yang digunakan pada penelitian ini berada di bawah temperatur kamar.

**Tabel 4.2** Ukuran butir spesimen Cu-15,9Zn-6,89Al alloy.

Nama Spesimen	Rata-Rata Diameter Butir ( $\mu\text{m}$ )
<i>As cast</i>	62,85
DQ10	92,75
DQ30	105,51
DQ50	122,65
SQ10	108,15
SQ30	124,20
SQ50	139,88

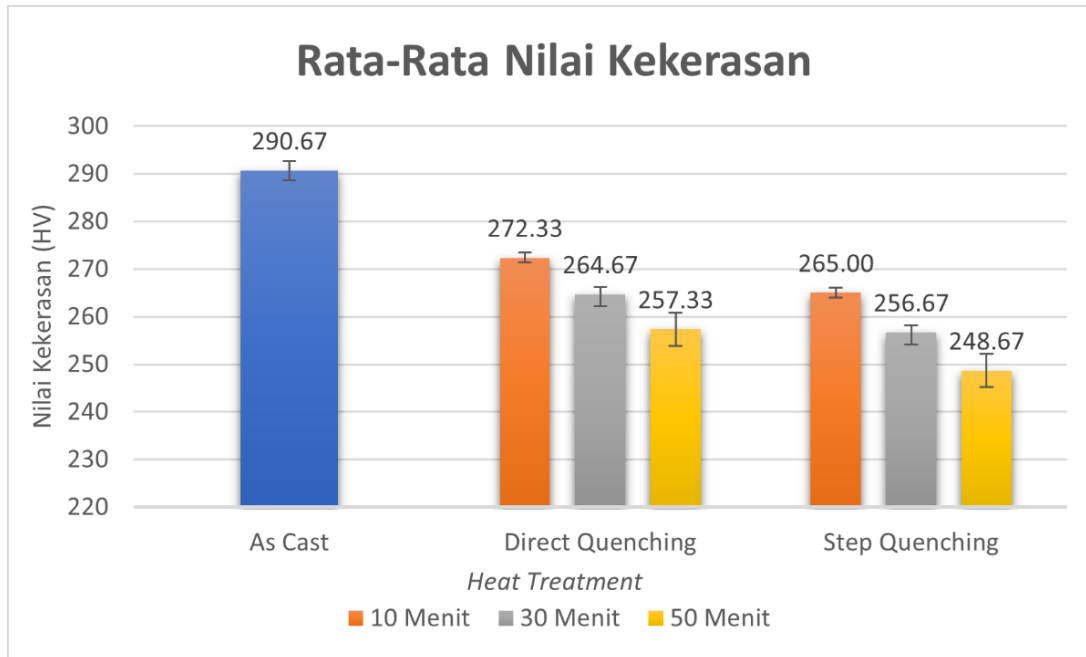
Variasi *holding time solution treatment* yang dilakukan pada spesimen paduan Cu-15,9Zn-6,89Al memiliki pengaruh terhadap ukuran butir. Tabel 4.2 memperlihatkan ukuran butir dari spesimen *as cast* dan variasi *holding time solution treatment* dengan metode *direct quenching* dan *step quenching* dengan media pendingin air dari hasil pengujian metalografi dengan perbesaran 100x menggunakan *software imageJ*. Pada pengujian ini *holding time* yang digunakan pada *solution treatment* yaitu 10 menit, 30 menit, dan 50 menit pada temperatur 850°C. Pada Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa *solution treatment* dengan *holding time* 10 menit pada temperatur 850°C memiliki ukuran butir terkecil, sedangkan untuk *solution treatment* dengan *holding time* 50 menit pada temperatur 850°C memiliki ukuran butir terbesar. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Adyana dan Yusuf di mana penambahan *holding time solution treatment* menyebabkan ukuran butir semakin besar (Adnyana, 1986), (Yusuf, 2021).

#### 4.4 Hasil Pengujian Kekerasan Cu-15,9Zn-6,89Al Alloy

Pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Metalurgi dan Manufaktur, Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS dengan metode *Vickers* dan mesin alat uji *Universal Hardness Tester HBRV 187,5A*. Pengujian kekerasan *Vickers* menggunakan indentor yang berbentuk piramida. Pengujian ini menggunakan standar ASTM E92-1732 sebagai acuan. Pembebanan yang diterapkan pada spesimen dalam pengujian ini sebesar 30 kgf dengan waktu indentasi selama 10 detik. Indentasi yang dilakukan pada pengujian kekerasan ini sebanyak tiga kali di titik yang berbeda dan dilanjutkan dengan menghitung rata-rata dari nilai kekerasan yang diperoleh, sehingga diperoleh nilai hasil nilai kekerasan sesuai dengan table 4.3 sebagai berikut:

**Tabel 4.3** Nilai kekerasan Cu-15,9Zn-6,89Al alloy.

Spesimen	Rata-Rata (HV)
<i>As cast</i>	290,67 $\pm$ 2,08
DQ10	272,33 $\pm$ 1,15
DQ30	264,67 $\pm$ 1,53
DQ50	257,33 $\pm$ 3,51
SQ10	265,00 $\pm$ 1,00
SQ30	256,67 $\pm$ 2,52
SQ50	248,67 $\pm$ 3,51



**Gambar 4.6** Grafik nilai kekerasan Cu-15,9Zn-6,89Al alloy.

Pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.6 memperlihatkan bahwa nilai kekerasan spesimen *as cast* lebih tinggi apabila dibandingkan dengan spesimen yang telah dilakukan perlakuan panas di mana spesimen *as cast* memiliki nilai kekerasan sebesar  $290,67 \pm 2,08$  HV. Hal tersebut disebabkan oleh perlakuan panas *homogenizing* setelah proses pengecoran dan *annealing* setelah proses *machining*, sebelum dilakukannya perlakuan panas *solution treatment*. *Homogenizing* bertujuan untuk menyerasamakan butir dan memperbaiki sifat paduan (Callister & Rethwisch, 2009), sedangkan *annealing* bertujuan untuk menghilangkan tegangan internal setelah dilakukan proses *machining* serta menyebabkan ukuran butir menjadi lebih besar (Nugroho, 2017). Perlakuan panas tersebut menyebabkan ukuran butir spesimen menjadi lebih besar dari spesimen yang tidak dilakukan perlakuan panas (*as cast*) seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4.2.

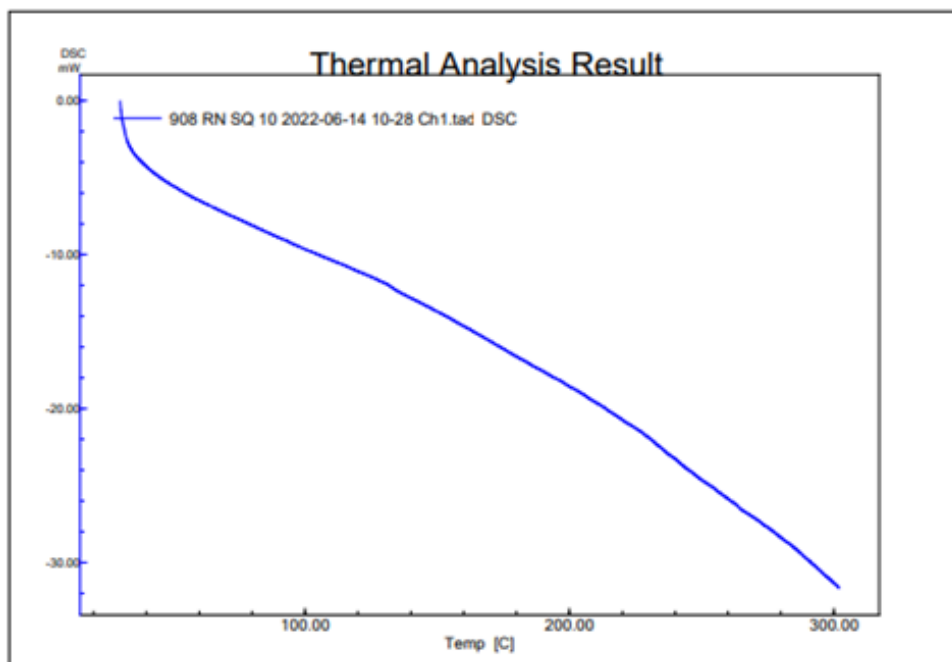
Pada spesimen yang dilakukan perlakuan panas *solution treatment* dan dilanjutkan dengan metode pendinginan *direct quenching* menggunakan media pendingin air dengan variasi *holding time solution treatment* yaitu 10 menit memiliki nilai kekerasan sebesar  $272,33 \pm 1,15$  HV, 30 menit memiliki nilai kekerasan sebesar  $264,00 \pm 2,65$  HV, dan 50 menit memiliki nilai kekerasan sebesar  $253,33 \pm 4,04$  HV. Setelah itu, pada spesimen yang dilakukan perlakuan panas *solution treatment* dan dilanjutkan dengan metode pendinginan *step quenching* menggunakan media pendingin air dengan variasi *holding time solution treatment* yaitu 10 menit memiliki nilai kekerasan sebesar  $264,67 \pm 1,53$  HV, 30 menit memiliki nilai kekerasan sebesar  $256,67 \pm 2,52$ , dan 50 menit memiliki nilai kekerasan sebesar  $248,67 \pm 3,51$ . Berdasarkan data nilai kekerasan yang diperoleh dapat diketahui bahwa semakin lama *holding time solution treatment* maka nilai kekerasan menjadi menurun. Hal tersebut dapat disebabkan dari ukuran butir yang semakin besar saat *holding time* dari *solution treatment* semakin lama. ukuran butir merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi nilai kekerasan material. Ukuran butir yang kecil memiliki batas butir yang lebih banyak dan nilai kekerasan material yang lebih tinggi dikarenakan batas butir berfungsi sebagai penghalang pergerakan dislokasi material (Yunasz, 2018).

Pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.6 diketahui bahwa spesimen dengan metode pendinginan *direct quenching* (DQ) memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dari spesimen dengan metode

pendinginan *step quenching* (SQ). Hal tersebut disebabkan oleh rata-rata ukuran butir spesimen DQ yang lebih kecil dari spesimen SQ di setiap variasi *holding time* perlakuan panas *solution treatment* sesuai dengan Tabel 4.2. Salah satu penyebab ukuran butir spesimen DQ (*direct quenching*) lebih kecil dari spesimen SQ (*step quenching*) yaitu kecepatan pendinginan. Dengan menggunakan media pendingin yang sama yaitu air, metode SQ memiliki proses pendinginan lebih lambat dari metode DQ. Hal tersebut terjadi karena pada metode SQ temperatur awal media pendingin sudah tinggi yaitu 100°C sehingga energi yang dibutuhkan oleh air untuk membentuk *vapor* menjadi lebih sedikit dan akan memperpanjang durasi *vapor blanket stage*. Fenomena tersebut menyebabkan kecepatan pendinginan menjadi lebih lambat karena *vapor layer* mengisolasi permukaan spesimen dari media pendingin di sekitarnya (Fontecchio, 2002) (Asanovic, et al., 2004). Kecepatan pendinginan berpengaruh terhadap ukuran butir di mana dengan pendinginan cepat menghasilkan jumlah inti yang banyak dan tidak memiliki kesempatan untuk tumbuh sehingga menghasilkan ukuran butir yang halus (S.H. Avner, 2015).

#### 4.5 Hasil Pengujian *Differential Scanning Calorimetry* Cu-15,9Zn-6,89Al Alloy

Pengujian *differential scanning calorimetry* (DSC) dilakukan pada spesimen paduan Cu-15,9Zn-6,89Al untuk mengidentifikasi temperatur transformasi. Pengujian ini menggunakan alat DSC-60Plus dan *Flow Control Unit* di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu Universitas Gadjah Mada. Pengujian ini dilakukan dengan kecepatan pemanasan 10°C/menit dan *range* temperatur 30°C-300°C. Gambar 4.7 di bawah memperlihatkan hasil pengujian DSC yang dilakukan pada paduan Cu-15,9Zn-6,89Al.



**Gambar 4.7** Hasil pengujian DSC pada Cu-15,9Zn-6,89Al alloy.

Adanya temperatur transformasi dari paduan dapat dilihat dari adanya reaksi endotermis dan reaksi eksotermis. Menurut ASTM F2005-05, *peak* dapat muncul karena terdapat kenaikan *heat flow* yang disebut sebagai *endothermic peak* atau terdapat penurunan *heat flow* yang disebut sebagai *exothermic peak* (ASTM International, 2015). Pada Gambar 4.7 tersebut dapat dilihat bahwa tidak terdapat *peak* yang terjadi dikarenakan kenaikan atau penurunan *heat flow*.

Oleh karena itu dapat diketahui bahwa temperatur transformasi untuk paduan Cu-15,9Zn-6,89Al adalah sebagai berikut:

**Tabel 4.4** Temperatur transformasi Cu-15,9Zn-6,89Al alloy.

$M_F$	$M_S$	$A_S$	$A_F$
$<30^\circ\text{C}$	$<30^\circ\text{C}$	$>300^\circ\text{C}$	$>300^\circ\text{C}$

Dapat diidentifikasi bahwa temperatur transformasi dari martensit berada di bawah temperatur kamar ( $<30^\circ\text{C}$ ) dengan tidak terdapatnya *peak exothermic* pada hasil pengujian DSC sesuai pada Gambar 4.7 diatas. Hal tersebut juga dapat didukung dengan hasil pengujian metalografi dengan tidak terlihatnya fasa martensit dari seluruh spesimen yang telah dilakukan perlakuan panas *solution treatment*. Selain itu, terdapat pembuktian berdasarkan *ASM Metal Handbook Vol.2* dengan Persamaan 4.1 untuk menduga temperatur  $M_s$  dari paduan Cu-15,9Zn-6,89Al sebagai berikut (ASM International, 1990).

$$M_s(^{\circ}\text{C}) = 2212 - 66.9 (\text{at.}\% \text{Zn}) - 90.65 (\text{at.}\% \text{Al}) \dots \dots \dots (4.1)$$

Selain itu, terdapat Persamaan 4.2 menurut buku *Engineering Aspects of Shape Memory Alloys* untuk memperkirakan temperatur *martensite start* ( $M_s$ ) paduan Cu-Zn-Al sebagai berikut (Duerig & Melton, 1990).

$$M_s(^{\circ}\text{C}) = 2212 - 66.9 [1.355(\text{at.}\% \text{Al}) + 1(\text{at.}\% \text{Zn})] \dots \dots \dots (4.2)$$

Dari Persamaan 4.1 dan 4.2 dapat diperkirakan bahwa temperatur transformasi awal pembentukan martensit ( $M_s$ ) dari paduan Cu-15,9Zn-6,89Al berada di sekitar  $\sim -82^\circ\text{C}$ . Karena pada paduan Cu-15,9Zn-6,89Al tidak terdapat fasa martensit maka tidak terjadi transformasi fasa. Hal tersebut sesuai dengan hasil pengujian metalografi dan DSC yang dilakukan. Berdasarkan hasil pengujian metalografi dapat diketahui bahwa fasa yang terlihat pada struktur mikro adalah  $\alpha$ ,  $\beta$ , dan  $\gamma$ , tanpa adanya martensit. *Shape memory effect* merupakan kemampuan *shape memory alloy* untuk mengembalikan bentuk aslinya melalui proses transformasi fasa tanpa difusi antara fasa austenit dan martensit, tetapi dengan *displacive transformation*. Transformasi tersebut berlangsung dalam waktu yang singkat sehingga diperlukan pendinginan cepat hingga di bawah temperatur transformasi martensit. Difusi terjadi ketika atom meninggalkan satu struktur kristal untuk membentuk struktur kristal lain, sedangkan *displacive* mengubah struktur kristal dengan perpindahan atom yang terkoordinasi tanpa meninggalkan satu struktur kristal (Tsuchiya, 2011). Apabila pendinginan tidak mencapai temperatur awal transformasi martensit ( $M_s$ ) maka yang terjadi adalah reaksi difusi dari fasa induk ( $\beta$ ) menjadi fasa  $\alpha$  dan  $\gamma$  (Lexcelent, 2013).

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengaruh *holding time* pada *solution treatment* menghasilkan struktur mikro, yaitu fasa  $\alpha$ ,  $\beta$ , dan  $\gamma$  di setiap metode *quenching*. Namun, pada ukuran butir diketahui bahwa semakin lama *holding time* pada *solution treatment* maka ukuran butir menjadi lebih besar. Ukuran diameter butir terkecil adalah 92,75  $\mu\text{m}$  untuk DQ10, sedangkan untuk diameter butir terbesar adalah 139,88  $\mu\text{m}$  untuk SQ50. Dengan meningkatnya ukuran butir maka nilai kekerasan menjadi lebih kecil. Nilai kekerasan tertinggi adalah 272,33 HV untuk DQ10, sedangkan Nilai kekerasan terendah 248,67 HV untuk SQ50.
2. Pengaruh perbedaan metode *quenching* pada *solution treatment* menghasilkan struktur mikro, yaitu fasa  $\alpha$ ,  $\beta$ , dan  $\gamma$  di setiap variasi *holding time* tanpa adanya martensit. Fenomena tersebut diduga karena secara teoritis temperatur transformasi awal pembentukan martensit berada di  $\sim -82^\circ\text{C}$ . Namun, Diketahui bahwa metode *direct quenching* mempunyai kecepatan pendinginan yang lebih cepat daripada *step quenching*, sehingga pada metode *direct quenching* menghasilkan ukuran butir yang lebih halus dan membuat nilai kekerasan lebih tinggi. Nilai kekerasan terendah diperoleh dengan *holding time* 50 menit, yaitu 257,33 HV untuk *direct quenching* dan 248,67 HV untuk *step quenching*. Nilai kekerasan tertinggi diperoleh dengan *holding time* 10 menit, yaitu 272,33 HV untuk *direct quenching* dan 265,00 HV untuk *step quenching*.

### 5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan komposisi paduan dengan teliti, karena perbedaan komposisi sedikit saja dapat mempengaruhi fasa serta sifat mekanik yang didapatkan.
2. Menggunakan *furnace* dengan temperatur yang stabil dan vakum saat proses perlakuan panas karena ketepatan temperatur dan faktor pengotor dari lingkungan sangat mempengaruhi struktur mikro dan sifat yang diinginkan dari paduan.
3. Melakukan proses penuangan dengan waktu yang cepat untuk menghasilkan hasil coran yang baik.
4. Melakukan proses degassing menggunakan gas argon dengan alat yang lebih baik dengan pengadukan yang maksimal supaya hasil coran lebih homogen.
5. Menganalisis struktur mikro *as cast* dengan penelitian yang telah dilakukan untuk mendapatkan hasil yang lebih sesuai.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## DAFTAR PUSTAKA

- Adnyana, D. N. (1986). *Adnyana*. 196(1985), 187–196.
- Agnihotri, R., & Bhardwaj, S. (2016). Synthesis and Characterization of CuZnAl Based Shape Memory Alloys and to Optimize Behavior on Different Properties by Varying Weight Percentage. *International Journal of Materials Science and Engineering Synthesis*, 4(4), 229–234. <https://doi.org/10.17706/ijmse.2016.4.4.229-234>
- Alaneme, K. K., & Umar, S. (2018). Mechanical behaviour and damping properties of Ni modified Cu–Zn–Al shape memory alloys. *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, 3(3), 371–379. <https://doi.org/10.1016/j.jsamd.2018.05.002>
- Alfarisa, S., Rifai, D. A., & Toruan, P. L. (2018). Studi Difraksi Sinar-X Struktur Nano Seng Oksida ( ZnO ) X-ray Diffraction Study on ZnO Nanostructures. *Risalah Fisika*, 2(2), 53–57.
- Asanovic, V. D., Delijic, K. H., Leka, Z. B., & Bosnjak, B. T. (2011). The Effect of Heat Treatment on the Martensitic Transformation and Properties of Cu-Zn-Al Alloy. *Journal of the Mechanical Behavior of Materials*, 15(4–5), 219–238. <https://doi.org/10.1515/jmbm.2004.15.4-5.219>
- Asanović, V., Delijić, K., & Jauković, N. (2008). A study of transformations of  $\beta$ -phase in Cu-Zn-Al shape memory alloys. *Scripta Materialia*, 58(7), 599–601. <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2007.11.033>
- Asanovic, V., Radonjic, D., Šcepanovic, J., & Vuksanovic, D. (2021). Effect of chemical composition and quenching media on recoverable strain in Cu-Zn-Al alloys. *Journal of Materials Research and Technology*, 12, 1368–1379. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.03.098>
- ASTM B0592 Standard. (2011). Standard Specification for Copper Sheet , Strip , Plate , and Rolled Bar 1. *i*, 1–8. <https://doi.org/10.1520/B0592-15.2>
- ASTM F2082 Standard. (2006). F2082-06 Standard Test Method for Determination of Transformation Temperature of Nickel- Titanium Shape Memory Alloys by Bend and Free Recovery. *Astm*, 1–7. <https://doi.org/10.1520/F2082-16.2>
- Banerjee, M. K. (2017). Fundamentals of Heat Treating Metals and Alloys. In *Comprehensive Materials Finishing* (Vols. 2–3). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.09185-2>
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2009). *Materials Science and Engineering: An Introduction*, 8th Edition. <http://books.google.com/books?id=OaIbAAAAQBAJ&pgis=1>
- Chanmuang, C., Niyomsoan, S., & Chomsaeng, N. (2018). Effect of indium in Cu-Zn-Al shape memory alloys. *Journal of Physics: Conference Series*, 1082(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1082/1/012060>
- D. R., M., & M., B. (2013). 11 719. *Pressure Vessel Design Manual*, 719–742. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387000-1.00011-5>
- Duerig, T. W., & Melton, K. N. (1990). Engineering Aspects of Shape Memory Alloys. In *Engineering Aspects of Shape Memory Alloys*. <https://doi.org/10.1016/c2013-0-04566-5>
- Dutkiewicz, J., Masdeu, F., Malczewski, P., & Kukuła, A. (2009). Microstructure and properties of  $\alpha + \beta$  brass after ECAP processing. *Archives of Materials Science and Engineering*, 39(2), 80–83.
- Fontecchio, M. (2002). Quench Probe and Quench Factor Analysis of Aluminum Alloys in Distilled Water by. *A Master's Thesis, Worcester Polytechnic Institute, May*.
- Ginting, A. B., Indaryati, S., & Setiawan, J. (2005). Penentuan Parameter Uji dan Ketidakpastian Pengukuran Kapasitas Panas pada Differential Scanning Calorimeter. *Jurnal Teknologi Bahan Nuklir*, 1(1), 34–45.

- International, ASM. (1989). Alloy Phase Diagram. In *Bulletin of Alloy Phase Diagrams* (Vol. 10, Issue 2). <https://doi.org/10.1007/BF02881433>
- International, ASM. (1990). ASM Handbook Volume 2: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials (Vol. 2). ASM International.
- International, ASM. (1991). ASM Handbook Volume 4: Heat Treating.
- International, ASM. (2001). ASM Speciality Handbook, Copper and Copper Alloys. In *ASM Handbook*.
- International, ASTM. (2015). Standard Terminology for Nickel-Titanium Shape Memory Alloys. i(Reapproved), 1–18. <https://doi.org/10.1520/F2005-05R15.2>
- Juliaptini, D. (2010). Skripsi Analisis Sifat Mekanik dan Metalografi Baja Karbon Rendah untuk Aplikasi Tabung Gas 3 Kg. *Skripsi*, 1–90.
- K., O., & Wayman, C. M. (1998). General applications of SMA's and smart materials. *Shape Memory Materials*, 220–241.
- Lagoudas, D. C. (2008). Shape Memory Alloys: modeling and engineering applications. In *Shape Memory Alloys: Modeling and Engineering Applications*. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-0-387-47685-8>
- Lexcellent, C. (2013). Shape-memory Alloys Handbook. *Shape-Memory Alloys Handbook*, 5–6. <https://doi.org/10.1002/9781118577776>
- Lohan, N. M., Suru, M. G., Pricop, B., & Bujoreanu, L. G. (2014). Cooling rate effects on the structure and transformation behavior of Cu-Zn-Al shape memory alloys. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 21(11), 1109–1114. <https://doi.org/10.1007/s12613-014-1015-5>
- Mohamed, A. M. A., & Samuel, F. H. (2012). A Review on the Heat Treatment of Al-Si-Cu/Mg Casting Alloys. *Heat Treatment - Conventional and Novel Applications*. <https://doi.org/10.5772/50282>
- Mohd Jani, J., Leary, M., Subic, A., & Gibson, M. A. (2014). A review of shape memory alloy research, applications and opportunities. *Materials and Design*, 56, 1078–1113. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.11.084>
- Najah Saud Al-Humairi, S. (2020). Cu-Based Shape Memory Alloys: Modified Structures and Their Related Properties. *Recent Advancements in the Metallurgical Engineering and Electrodeposition*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.86193>
- Nugroho, L. S. (2017). Pengaruh Proses Annealing Terhadap Perubahan Kekerasan dan Struktur Mikro pada Pipa SA 179 yang telah Mengalami Pembengkokan. *Skripsi*, 1–67.
- S.H. Avner. (2015). *Introduction to Physical Metallurgy*. 1.
- Sampath, V. (2007). Effect of thermal processing on microstructure and shape-memory characteristics of a copper-zinc-aluminum shape-memory alloy. *Materials and Manufacturing Processes*, 22(1), 9–14. <https://doi.org/10.1080/10407780601015808>
- Sampson, B. (2010). Heat treatment. *Professional Engineering*, 23(7), 19–20. <https://doi.org/10.31399/asm.hb.v15.a0005230>
- Setiabudi, A. R. H. A. M. (2012). Karakterisasi Material: Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia. In *UPI Press* (Vol. 1).
- Stošić, Z., Manasijević, D., Balanović, L., Holjevac-Grgurić, T., Stamenković, U., Premović, M., Minić, D., Gorgievski, M., & Todorović, R. (2017). Effects of composition and thermal treatment of Cu-Al-Zn alloys with low content of Al on their shape-memory properties. *Materials Research*, 20(5), 1425–1431. <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2017-0153>
- Suzuki, A. (2011). Applications of shape memory alloys (SMAs) in hot water supplies. In *Shape Memory and Superelastic Alloys*. Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9780857092625.2.100>

- Tiandho, Y. (2017). Analisis Kuantitatif Pori Berdasarkan Pengolahan Citra Menggunakan Wolfram Mathematica. *Klik - Kumpulan Jurnal Ilmu Komputer*, 4(1), 15. <https://doi.org/10.20527/klik.v4i1.65>
- Tomoda, B. T., Yassue-Cordeiro, P. H., Ernesto, J. V., Lopes, P. S., Péres, L. O., da Silva, C. F., & de Moraes, M. A. (2020). Characterization of biopolymer membranes and films: Physicochemical, mechanical, barrier, and biological properties. *Biopolymer Membranes and Films*, 67–95. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818134-8.00003-1>
- Tsuchiya, K. (2011). Mechanisms and properties of shape memory effect and superelasticity in alloys and other materials: a practical guide. In *Shape Memory and Superelastic Alloys*. Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9780857092625.1.3>
- Vander Voort, G. F. (2007). Metallography Principles and Practice. In *Applied Spectroscopy* (Vol. 55, Issue 11). McGraw-Hill.
- Nigam, S., & Rutan, S. (2001).
- Wibisono, A. T., Devara, G., Mughni F., D., Rochiem, R., & Ardhyanta, H. (2020). A study of microstructure and shape memory properties in Cu-Zn-Al by miscellaneous cooling medium during martensite formation. *AIP Conference Proceedings*, 2251. <https://doi.org/10.1063/5.0016174>
- Widyastuti, Ardhyanta, H., Purwaningsih, H., & Quluq, R. M. (2019). Karakterisasi Material Bagian 1: Komposisi, Topografi, dan Sifat Mekanik. ITS Press.
- Yang, C., Abanteriba, S., & Becker, A. (2020). A review of shape memory alloy based filtration devices. *AIP Advances*, 10(6). <https://doi.org/10.1063/1.5133981>
- Yunasz (Parikin), I. F. (Parikin). (2018). Microstructures and Hardness of the Experimental 57Fe15Cr25Ni Steel Around TIG Weld-Joints for Reactor Structure Materials. *Makara Journal of Technology*, 22(2), 66. <https://doi.org/10.7454/mst.v22i2.3430>
- Yusuf, M. F. Analisis Pengaruh Holding Time Proses Solution Treatment dan Artificial Aging terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Cu-Zn-Al Shape Memory Alloy. Tugas Akhir - TL184834 X, 1–6 (2021).
- Zhang, P., Li, S. X., & Zhang, Z. F. (2011). General relationship between strength and hardness. *Materials Science and Engineering A*, 529(1), 62–73. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2011.08.06>.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## LAMPIRAN

### 1. Perhitungan Kebutuhan Massa Bahan

- Komposisi Bahan

Bahan	Komposisi	
<i>Pure Cu</i>	1	Cu
<i>Brass</i>	0,59	Cu
	0,3775	Zn
<i>Pure Al</i>	1	Al

- Target Komposisi Bahan

Target Komposisi Bahan		
Cu	Zn	Al
0,7721	0,159	0,0689

- Densitas Bahan

Densitas Material (g/cm <sup>3</sup> )	
Cu	8,96
Zn	7,14
Al	2,7

- Dimensi Cetakan

Dimensi Cetakan	
Panjang (mm)	329,96
Lebar (mm)	23,28
Tinggi (mm)	25,31
<i>Volume</i> (mm <sup>3</sup> )	194409,624
<i>Volume</i> (cm <sup>3</sup> )	194,410

- Total Densitas

$$\text{Total Densitas} = \text{Densitas Cu} \times \% \text{Cu} + \text{Densitas Zn} \times \% \text{Zn} + \text{Densitas Al} \times \% \text{Al}$$

$$\text{Total Densitas} = 6,918 + 1,136 + 0,186 \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

$$\text{Total Densitas} = 8,239306 \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

- Massa Total Target

$$\text{Massa Total Target} = \text{Total Densitas (g/cm}^3\text{)} \times \text{Volume (cm}^3\text{)}$$

$$\text{Massa Total Target} = 8,239 \text{ (g/cm}^3\text{)} \times 194,410 \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

$$\text{Massa Total Target} = 1601,800 \text{ (g)}$$

- Massa Target

$$\text{Massa Cu} = \% \text{ Cu} \times \text{Massa Total Target}$$

$$\text{Massa Zn} = \% \text{ Zn} \times \text{Massa Total Target}$$

$$\text{Massa Cu} = \% \text{ Zn} \times \text{Massa Total Target}$$

Sehingga:

Unsur	Massa Target (g)
Cu	1236,750
Zn	254,687
Al	110,364

- Massa Bahan

$$\text{Cu Balance} : \text{Pure Cu} + 0,59 \times \text{Brass} = 136,750 \text{ (g)}$$

$$\text{Zn Balance} : 0,3775 \times \text{Brass} = 254,686 \text{ (g)}$$

$$\text{Al Balance} : \text{Pure Al} = 110,364 \text{ (g)}$$

Sehingga:

$$\text{Pure Cu} = 838,70 \text{ (g)}$$

$$\text{Brass} = 674,66 \text{ (g)}$$

$$\text{Pure Al} = 110,364 \text{ (g)}$$

- Massa Total Bahan

$$\text{Massa Total Bahan} = \text{Massa Pure Cu} + \text{Massa Brass} + \text{Massa Pure Al (g)}$$

$$\text{Massa Total Bahan} = 1623,73 \text{ (g)}$$

- Massa Pengotor

$$\text{Massa Pengotor} = \text{Massa Bahan} - \text{Massa Total Target (g)}$$

$$\text{Massa Pengotor} = 21,927 \text{ (g)}$$

2. Hasil Pengujian *Optical Emission Spectrometry*



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI  
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA  
UNIT LAYANAN BISNIS, JASA DAN PRODUKSI

Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS, Sukolilo - Surabaya 60111

TELP. (031) 5947186 - 5994444 FAX. (031) 5994444

Laman : www.ppns.ac.id

LAPORAN HASIL PENGUJIAN  
REPORT ON THE TEST RESULT

Nomor Number	: 044 /PL19/BJP/2022
-----------------	----------------------

<b>PELANGGAN / Customer</b>		
1. Nama Name	:	Sdr. Ferdy - T. Material ITS
2. Alamat Address	:	Kampus ITS Sukolilo, Surabaya
<b>BENDA UJI / Test Speciment</b>		
1. Tanggal Diterima Date of Received	:	April 11, 2022
2. Spesimen Uji Test Specimen	:	CuZnAl Alloy
3. Identifikasi Material Identification of Material	:	-
4. Proses Las /Posisi Las/Juru Las Weld Process/Position/Welder	:	-
5. Proyek Project	:	-
<b>PENGUJIAN / Testing</b>		
1. Tanggal Pengujian Date of Testing	:	April 12, 2022
2. Lokasi Pengujian Location of Testing	:	Laboratorium Uji Bahan PPNS, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya
3. Jenis Pengujian Type of Testing	:	Chemical Analysis
4. Kondisi Lingkungan Environmental Condition	:	Suhu 27°C
5. Metode uji Test Method	:	IK.LUB.008
<b>ALAT / Equipment</b>		
1. Nama Name	:	OES Foundry Master Pro
2. Tipe/Model Type/Model	:	Foundry Master Pro
3. Kapasitas Capacity	:	All Material / Global
4. Merek/Buatan Manufacturer	:	Oxford, Germany
5. Nomor Seri Serial Number	:	44P0070
6. Nilai Ketidak pastian Number of uncertainty	:	-
7. Ketertelusuran Traceability	:	LK-022-IDN
<b>HASIL PENGUJIAN / Result of Testing</b>	:	(Terlampir) (Attached)
<b>DITERBITKAN TANGGAL Date of Issue</b>	:	April 12, 2022

Kalab. Uji Bahan  
Head of DT & NDT Laboratory  
  
Hendri Budi Kurniyanto, SSI, ST  
NIP. 199003072019037019

**Keterangan / Notes**

- Dilarang memperbanyak sertifikat ini dengan tujuan apapun tanpa ijin resmi dari PPNS  
It is forbidden to copy this certificate for any purpose without permission from PPNS
- Hasil pengujian ini tidak untuk diumumkan dan hanya berlaku untuk material yang diujikan dalam pengujian ini  
This testing report is not for public consumption, it is only valid for tested material above

Halaman  
1 dari 2



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI  
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA  
**UNIT LAYANAN BISNIS, JASA DAN PRODUKSI**

Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS, Sukolilo - Surabaya 60111  
TELP. (031) 5947186 - 5994444 FAX. (031) 5994444  
Laman : [www.ppns.ac.id](http://www.ppns.ac.id)

**LAMPIRAN HASIL PENGUJIAN**  
ATTACHMENT OF THE TEST RESULT

Nomor Number	: 0441 /PL19/BJP/2022
-----------------	-----------------------

No. SPK. 14-IV/PL19/BJP/2022

F.08-LUB-PPNS

CHEMICAL COMPOSITION TEST									
Identification	COMPOSITION (%)								
	Element	Cu	Zn	Pb	Sn	P	Mn	Fe	Ni
	Value	74.2	15.9	2.02	0.318	0.0041	<0.0002	0.224	0.130
	Element	Si	Mg	Cr	Al	S	As	Ag	Co
	Value	0.0052	<0.0005	0.0017	6.89	0.0011	0.0113	0.0004	0.0103
	Element	Co	Bi	Cd	Sb	Zr	B	Se	Te
	Value	0.0076	0.0185	0.0045	0.0593	0.0011	<0.0001	<0.0001	0.108
	Element	Ti	C	Nb	-	-	-	-	-
	Value	<0.0001	<0.0001	0.0070	-	-	-	-	-

Surabaya, April 12, 2022.

Examined by,	Verified by,
	
M. H. A. R. R. A.	Hendri Budi K.

**Keterangan / Notes :**

- Dilarang memperbanyak sertifikat ini dengan tujuan apapun tanpa ijin resmi dari PPNS  
It is forbidden to copy this certificate for any purpose without permission from PPNS
- Hasil pengujian ini tidak untuk ditumunkan dan hanya berlaku untuk material yang diujikan dalam pengujian ini  
This testing report is not for public consumption, it is only valid for tested material above

Halaman  
2 dari 2





**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA  
LABORATORIUM UJI BAHAN**

**OPTICAL EMISSION SPECTROSCOPY RESULT**

No. SPK : 14-IV/PL19/BJP/2022 Penandaan : -  
Pelanggan : Sdr. Ferdy - T. Material ITS Material : CuZnAl alloy  
Proyek : - Dimensi : 20x25x33mm  
Kepala Lab. : Hendri Budi K., S.ST., M.T. Heat No. : -  
Program : CU\_000 Keterangan : -

	Cu	Zn	Pb	Sn	P	Mn	Fe	Ni
1	74.2	15.9	1.95	0.375	0.0051	< 0.0002	0.222	0.134
2	74.1	16.0	2.03	0.283	0.0049	< 0.0002	0.231	0.127
3	74.2	15.8	2.08	0.296	0.0022	< 0.0002	0.218	0.129
Ave	74.2	15.9	2.02	0.318	0.0041	< 0.0002	0.224	0.130

	Si	Mg	Cr	Al	S	As	Be	Ag
1	0.0025	< 0.0005	0.0013	6.88	0.0011	0.0135	0.0003	0.0102
2	0.0062	< 0.0005	0.0017	6.88	0.0009	0.0122	0.0006	0.0104
3	0.0069	< 0.0005	0.0022	6.92	0.0013	0.0082	0.0004	0.0104
Ave	0.0052	< 0.0005	0.0017	6.89	0.0011	0.0113	0.0004	0.0103

	Co	Bi	Cd	Sb	Zr	B	Se	Te
1	0.0085	0.0206	0.0042	0.0543	0.0012	< 0.0001	< 0.0001	0.121
2	0.0069	0.0180	0.0050	0.0687	0.0012	< 0.0001	< 0.0001	0.125
3	0.0074	0.0168	0.0042	0.0550	0.0010	< 0.0001	< 0.0001	0.0776
Ave	0.0076	0.0185	0.0045	0.0593	0.0011	< 0.0001	< 0.0001	0.108

	Ti	C	Nb
1	< 0.0001	< 0.0001	0.0035
2	< 0.0001	< 0.0001	0.0136
3	< 0.0001	< 0.0001	0.0038
Ave	< 0.0001	< 0.0001	0.0070

Surabaya, 4/12/2022



Diuji oleh: Muharror

Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolilo Surabaya (Indonesia)  
Tel. : +62 31 5999444 Fax: +62 31 5999444

### 3. Pattern List Spesimen As cast.

Lists Pane

Refinement Control		Structure Plot		Fourier Map		Distances and Angles			
Pattern List		Scan List		Peak List		Anchor Scan Data		Quantification	
Accepted Ref. Pattern: 00-002-123									
No.	Visible	Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula	Score	SemiQuant [%]	Display Color	Database ID	Subfil
1	<input checked="" type="checkbox"/>	00-002-123	Copper Zinc	Cu Zn	36	-	Blue	C:\XRD\Hig...	Alloy,
2	<input checked="" type="checkbox"/>	00-002-123	Copper Zinc	Cu <sub>0.64</sub> Zn <sub>0.36</sub>	32	-	Lime	C:\XRD\Hig...	Alloy,
3	<input checked="" type="checkbox"/>	00-002-123	Aluminum Copper	Cu <sub>9</sub> Al <sub>4</sub>	14	-	Gray	C:\XRD\Hig...	Alloy,
4	<input checked="" type="checkbox"/>	00-002-123	Copper Zinc	Cu <sub>5</sub> Zn <sub>8</sub>	34	-	Mar...	C:\XRD\Hig...	Alloy,
5	<input checked="" type="checkbox"/>	00-002-123	Zinc	Zn	15	-	Aqua	C:\XRD\Hig...	Alloy,
6	<input checked="" type="checkbox"/>	00-002-123	Copper Zinc	Cu Zn <sub>2</sub>	9	-	Fuc...	C:\XRD\Hig...	Alloy,

### 4. Pattern List Spesimen DQ10.

Lists Pane

Refinement Control		Structure Plot		Fourier Map		Distances and Angles			
Pattern List		Scan List		Peak List		Anchor Scan Data		Quantification	
Accepted Ref. Pattern: 00-002-123									
No.	Visible	Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula	Score	SemiQuant [%]	Display Color	Database ID	Subfil
1	<input checked="" type="checkbox"/>	00-002-123	Copper Zinc	Cu Zn	37	-	Blue	C:\XRD\Hig...	Alloy,
2	<input checked="" type="checkbox"/>	00-002-123	Copper Zinc	Cu <sub>0.64</sub> Zn <sub>0.36</sub>	27	-	Lime	C:\XRD\Hig...	Alloy,
3	<input checked="" type="checkbox"/>	00-002-123	Copper Zinc	Cu <sub>5</sub> Zn <sub>8</sub>	33	-	Gray	C:\XRD\Hig...	Alloy,
4	<input checked="" type="checkbox"/>	00-002-123	Aluminum Copper	Cu <sub>9</sub> Al <sub>4</sub>	13	-	Mar...	C:\XRD\Hig...	Alloy,

### 5. Pattern List Spesimen DQ30.

Lists Pane

Refinement Control		Structure Plot		Fourier Map		Distances and Angles			
Pattern List		Scan List		Peak List		Anchor Scan Data		Quantification	
Accepted Ref. Pattern: 00-002-123									
No.	Visible	Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula	Score	SemiQuant [%]	Display Color	Database ID	Subfil
1	<input checked="" type="checkbox"/>	00-002-123	Copper Zinc	Cu Zn	33	-	Blue	C:\XRD\Hig...	Alloy,
2	<input checked="" type="checkbox"/>	00-002-123	Copper Zinc	Cu <sub>0.64</sub> Zn <sub>0.36</sub>	28	-	Lime	C:\XRD\Hig...	Alloy,
3	<input checked="" type="checkbox"/>	00-002-123	Copper Zinc	Cu <sub>5</sub> Zn <sub>8</sub>	22	-	Gray	C:\XRD\Hig...	Alloy,
4	<input checked="" type="checkbox"/>	00-002-123	Aluminum Copper	Cu <sub>9</sub> Al <sub>4</sub>	14	-	Mar...	C:\XRD\Hig...	Alloy,
5	<input checked="" type="checkbox"/>	00-002-123	Aluminum Copper	Al Cu <sub>3</sub>	9	-	Aqua	C:\XRD\Hig...	Alloy,

6. *Pattern List* Spesimen DQ50.

Lists Pane

Refinement Control		Structure Plot		Fourier Map		Distances and Angles			
Pattern List		Scan List		Peak List		Anchor Scan Data		Quantification	
Accepted Ref. Pattern: 00-050-133:									
No.	Visible	Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula	Score	SemiQuant [%]	Display Color	Database ID	Subfil
1	<input checked="" type="checkbox"/>	00-050-133	Copper Zinc	Cu <sub>0.64</sub> Zn <sub>0.36</sub>	32	-	Blue	C:\XRD\Hig...	Alloy,
2	<input checked="" type="checkbox"/>	00-050-133	Copper Zinc	Cu Zn	26	-	Lime	C:\XRD\Hig...	Alloy,
3	<input checked="" type="checkbox"/>	00-050-133	Aluminum Copper	Cu <sub>9</sub> Al <sub>4</sub>	19	-	Gray	C:\XRD\Hig...	Alloy,
4	<input checked="" type="checkbox"/>	00-050-133	Copper Zinc	Cu <sub>5</sub> Zn <sub>8</sub>	21	-	Mar...	C:\XRD\Hig...	Alloy,

7. *Pattern List* Spesimen SQ10.

Lists Pane

Refinement Control		Structure Plot		Fourier Map		Distances and Angles			
Pattern List		Scan List		Peak List		Anchor Scan Data		Quantification	
Accepted Ref. Pattern: 00-002-123:									
No.	Visible	Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula	Score	SemiQuant [%]	Display Color	Database ID	Subfil
1	<input checked="" type="checkbox"/>	00-002-123	Copper Zinc	Cu Zn	38	-	Blue	C:\XRD\Hig...	Alloy,
2	<input checked="" type="checkbox"/>	00-050-133	Copper Zinc	Cu <sub>0.64</sub> Zn <sub>0.36</sub>	29	-	Lime	C:\XRD\Hig...	Alloy,
3	<input checked="" type="checkbox"/>	00-050-133	Aluminum Copper	Cu <sub>9</sub> Al <sub>4</sub>	13	-	Gray	C:\XRD\Hig...	Alloy,
4	<input checked="" type="checkbox"/>	00-050-133	Copper Zinc	Cu <sub>5</sub> Zn <sub>8</sub>	34	-	Mar...	C:\XRD\Hig...	Alloy,

8. *Pattern List* Spesimen SQ30.

Lists Pane

Refinement Control		Structure Plot		Fourier Map		Distances and Angles			
Pattern List		Scan List		Peak List		Anchor Scan Data		Quantification	
Accepted Ref. Pattern: 00-002-123:									
No.	Visible	Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula	Score	SemiQuant [%]	Display Color	Database ID	Subfil
1	<input checked="" type="checkbox"/>	00-002-123	Copper Zinc	Cu Zn	37	-	Blue	C:\XRD\Hig...	Alloy,
2	<input checked="" type="checkbox"/>	00-050-133	Copper Zinc	Cu <sub>0.64</sub> Zn <sub>0.36</sub>	29	-	Lime	C:\XRD\Hig...	Alloy,
3	<input checked="" type="checkbox"/>	00-050-133	Aluminum Copper	Cu <sub>9</sub> Al <sub>4</sub>	12	-	Gray	C:\XRD\Hig...	Alloy,
4	<input checked="" type="checkbox"/>	00-050-133	Copper Zinc	Cu <sub>5</sub> Zn <sub>8</sub>	30	-	Mar...	C:\XRD\Hig...	Alloy,
5	<input checked="" type="checkbox"/>	00-050-133	Zinc	Zn	11	-	Aqua	C:\XRD\Hig...	Alloy,

### 9. Pattern List Spesimen SQ50.

Lists Pane

Refinement Control		Structure Plot		Fourier Map		Distances and Angles			
Pattern List		Scan List		Peak List		Anchor Scan Data		Quantification	
Accepted Ref. Pattern: 00-002-123									
No.	Visible	Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula	Score	SemiQuant [%]	Display Color	Database ID	Subfil
1	<input checked="" type="checkbox"/>	00-002-123	Copper Zinc	Cu Zn	41	-	Blue	C:\XRD\Hig...	Alloy,
2	<input checked="" type="checkbox"/>	00-002-123	Copper Zinc	Cu <sub>0.64</sub> Zn <sub>0.36</sub>	31	-	Lime	C:\XRD\Hig...	Alloy,
3	<input checked="" type="checkbox"/>	00-002-123	Aluminum Copper	Cu <sub>9</sub> Al <sub>4</sub>	14	-	Gray	C:\XRD\Hig...	Alloy,
4	<input checked="" type="checkbox"/>	00-002-123	Copper Zinc	Cu <sub>5</sub> Zn <sub>8</sub>	38	-	Mar...	C:\XRD\Hig...	Alloy,
5	<input checked="" type="checkbox"/>	00-002-123	Aluminum Copper	Al Cu <sub>3</sub>	10	-	Aqua	C:\XRD\Hig...	Alloy,

### 10. PDF Card $\alpha$ (Cu<sub>0,64</sub>Zn<sub>0,36</sub>)

#### Name and formula

Reference code:	00-050-1333
Compound name:	Copper Zinc
Common name:	a-brass
PDF index name:	Copper Zinc
Empirical formula:	Cu <sub>0,64</sub> Zn <sub>0,36</sub>
Chemical formula:	Cu <sub>0,64</sub> Zn <sub>0,36</sub>

#### Crystallographic parameters

Crystal system:	Cubic
Space group:	Fm-3m
Space group number:	225
a (Å):	3,6961
b (Å):	3,6961
c (Å):	3,6961
Alpha (°):	90,0000
Beta (°):	90,0000
Gamma (°):	90,0000
Calculated density (g/cm <sup>3</sup> ):	8,44
Measured density (g/cm <sup>3</sup> ):	8,43
Volume of cell (10 <sup>6</sup> pm <sup>3</sup> ):	50,49
Z:	4,00
RIR:	-

### Subfiles and Quality

Subfiles: Alloy, metal or intermetallic  
Inorganic  
Quality: Star (S)

### Comments

Creation Date: 01/01/1970  
Modification Date: 01/01/1970  
Sample Preparation: Commercially available Cu<sub>64</sub>-Zn<sub>36</sub> was abraded to produce powder, then milled and annealed under nitrogen at 300 C for 2 hours  
Analysis: Chemical analysis (wt.%): Cu 63.44, Zn 36.45.

### References

Primary reference: Voncken, J., Verkroost, Th., *Powder Diffraction*, **12**, 228, (1997)

### Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	1	1	1	2,13371	42,325	100,0

1 Of 2

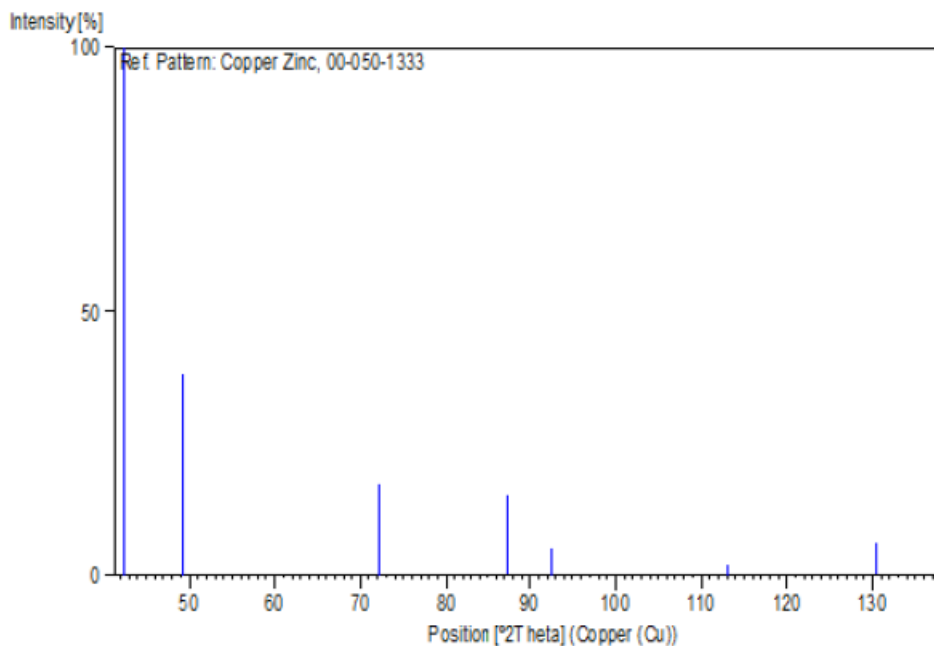
Date: 04/07/2022 Time: 0:20:22

File: As Cast 2B\_1

User: MARZUKI

2	2	0	0	1,84779	49,275	38,0
3	2	2	0	1,30667	72,245	17,0
4	3	1	1	1,11439	87,455	15,0
5	2	2	2	1,06703	92,425	5,0
6	4	0	0	0,92391	112,970	2,0
7	3	3	1	0,84804	130,550	6,0
8	4	2	0	0,82657	137,475	6,0

### Stick Pattern



### 11. PDF Card $\beta$ (CuZn)

#### **Name and formula**

Reference code:	00-002-1231
Mineral name:	Zhanghengite, syn
Compound name:	Copper Zinc
PDF index name:	Copper Zinc
Empirical formula:	CuZn
Chemical formula:	CuZn

#### **Crystallographic parameters**

Crystal system:	Cubic
Space group:	Pm-3m
Space group number:	221
a (Å):	2,9480
b (Å):	2,9480
c (Å):	2,9480
Alpha (°):	90,0000
Beta (°):	90,0000
Gamma (°):	90,0000
Volume of cell (10 <sup>6</sup> pm <sup>3</sup> ):	25,62
Z:	1,00
RIR:	-

#### **Subfiles and Quality**

Subfiles:	Alloy, metal or intermetallic Common Phase Inorganic Mineral
Quality:	Indexed (I)

#### **Comments**

Color:	Yellow
Creation Date:	01/01/1970
Modification Date:	01/01/1970
D-values corrected for absorption.	\$GB' phase, ordered (PI). Additional Patterns: See also 8-349
Color:	Yellow
Analysis:	Analysis (wt.%): Cu 51.0, Zn 49.0.

#### **References**

Primary reference:	Nowotny, Winkels., <i>Z. Phys.</i> , <b>114</b> , 457, (1939)
--------------------	---

**Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	0	2,95000	30,273	6,0

1 Of 2

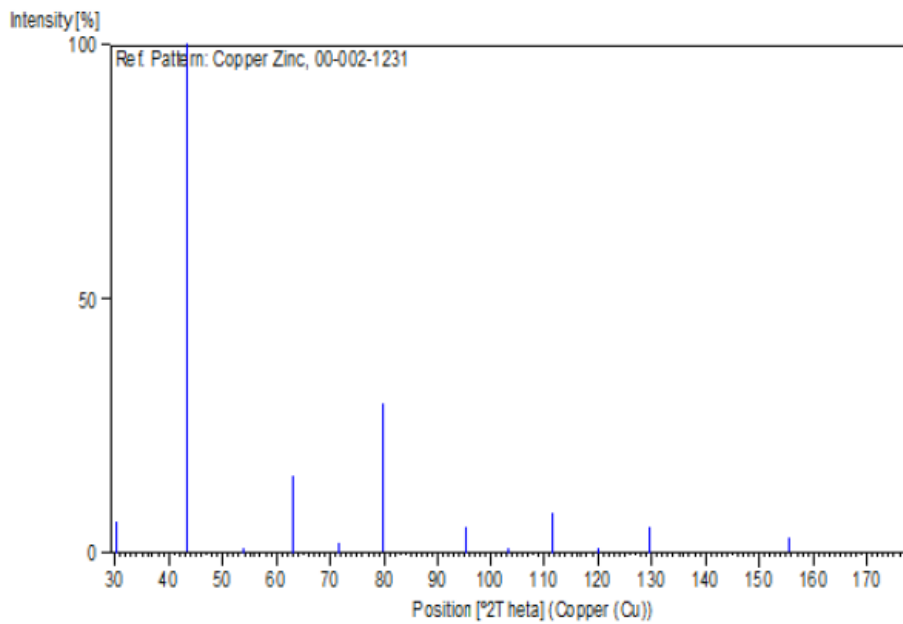
Date: 04/07/2022 Time: 0:20:39

File: As Cast 2B\_1

User: MARZUKI

2	1	1	0	2,08000	43,473	100,0
3	1	1	1	1,70200	53,819	1,0
4	2	0	0	1,47400	63,013	15,0
5	2	1	0	1,31900	71,465	2,0
6	2	1	1	1,20300	79,631	29,0
7	2	2	0	1,04200	95,335	5,0
8	3	0	0	0,98300	103,187	1,0
9	3	1	0	0,93200	111,482	8,0
10	3	1	1	0,88900	120,104	1,0
11	2	2	2	0,85100	129,692	5,0
12	3	2	1	0,78800	155,666	3,0
13	4	0	0	0,73800		4,0

**Stick Pattern**



12. *PDF Card*  $\gamma$  ( $\text{Cu}_5\text{Zn}_8$ )

**Name and formula**

Reference code:	00-025-1228
Compound name:	Copper Zinc
PDF index name:	Copper Zinc
Empirical formula:	$\text{Cu}_5\text{Zn}_8$
Chemical formula:	$\text{Cu}_5\text{Zn}_8$

**Crystallographic parameters**

Crystal system:	Cubic
Space group:	I-43m
Space group number:	217
a (Å):	8,8600
b (Å):	8,8600
c (Å):	8,8600
Alpha (°):	90,0000
Beta (°):	90,0000
Gamma (°):	90,0000
Calculated density (g/cm <sup>3</sup> ):	8,03
Volume of cell (10 <sup>6</sup> pm <sup>3</sup> ):	695,51
Z:	4,00
RIR:	-

**Subfiles and Quality**

Subfiles:	Alloy, metal or intermetallic Common Phase Inorganic
Quality:	Calculated (C)



**Comments**

Creation Date: 01/01/1970  
Modification Date: 01/01/1970

**References**

Primary reference: Smith et al., Penn State University, University Park, Pennsylvania, USA., *ICDD Grant-in-Aid*, (1973)  
Unit cell: Bradley, Gregory., *Philos. Mag. A*, **12**, 143, (1931)

**Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	2	2	2	2,55800	35,051	7,0
2	3	2	1	2,36800	37,967	5,0
3	3	3	0	2,08800	43,298	100,0
4	3	3	2	1,88900	48,131	5,0
5	4	2	2	1,80850	50,419	3,0

1 Of 2

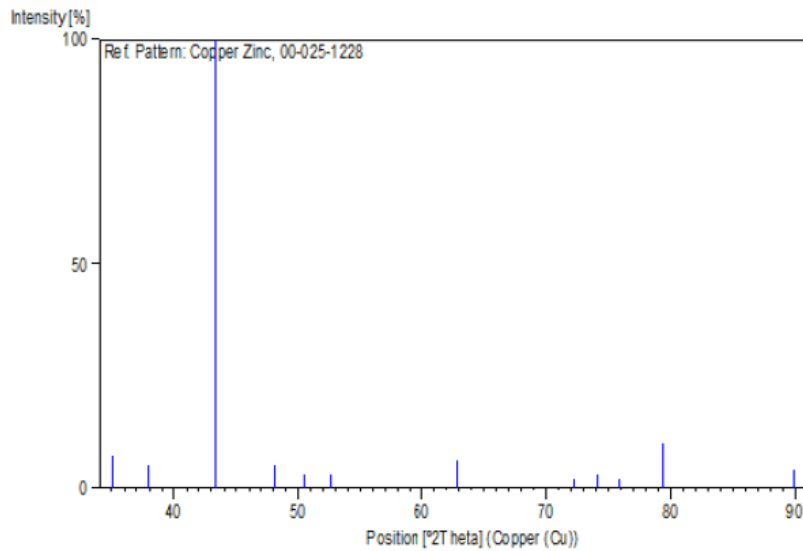
Date: 04/07/2022 Time: 0:21:08

File: As Cast 2B\_1

User: MARZUKI

6	5	1	0	1,73760	52,631	3,0
7	6	0	0	1,47670	62,884	6,0
8	6	3	1	1,30630	72,269	2,0
9	4	4	4	1,27880	74,078	3,0
10	5	5	0	1,25300	75,870	2,0
11	7	2	1	1,20570	79,417	10,0
12	7	4	1	1,09060	89,871	4,0

**Stick Pattern**



13. *PDF Card*  $\gamma_2$  (Cu<sub>9</sub>Al<sub>4</sub>)

**Name and formula**

Reference code:	00-024-0003
Compound name:	Aluminum Copper
PDF index name:	Aluminum Copper
Empirical formula:	Al <sub>4</sub> Cu <sub>9</sub>
Chemical formula:	Cu <sub>9</sub> Al <sub>4</sub>

**Crystallographic parameters**

Crystal system:	Cubic
Space group:	P-43m
Space group number:	215
a (Å):	8,7027
b (Å):	8,7027
c (Å):	8,7027
Alpha (°):	90,0000
Beta (°):	90,0000
Gamma (°):	90,0000
Calculated density (g/cm <sup>3</sup> ):	6,85
Volume of cell (10 <sup>6</sup> pm <sup>3</sup> ):	659,12
Z:	4,00

RIR: -

**Subfiles and Quality**

Subfiles:	Alloy, metal or intermetallic Inorganic NBS pattern
Quality:	Calculated (C)

**Comments**

Creation Date:	01/01/1970
Modification Date:	01/01/1970
Additional Patterns:	See ICSD 1625 (PDF 71-307).

**References**

Primary reference:	<i>Natl. Bur. Stand. (U.S.) Monogr. 25</i> , <b>11</b> , 79, (1973)
Unit cell:	Heidenstam et al., <i>Acta Chem. Scand.</i> , <b>22</b> , 653, (1968)

**Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	0	8,69881	10,161	3,0
2	1	1	0	6,15412	14,381	1,0
3	2	1	0	3,89030	22,841	4,0

1 Of 2

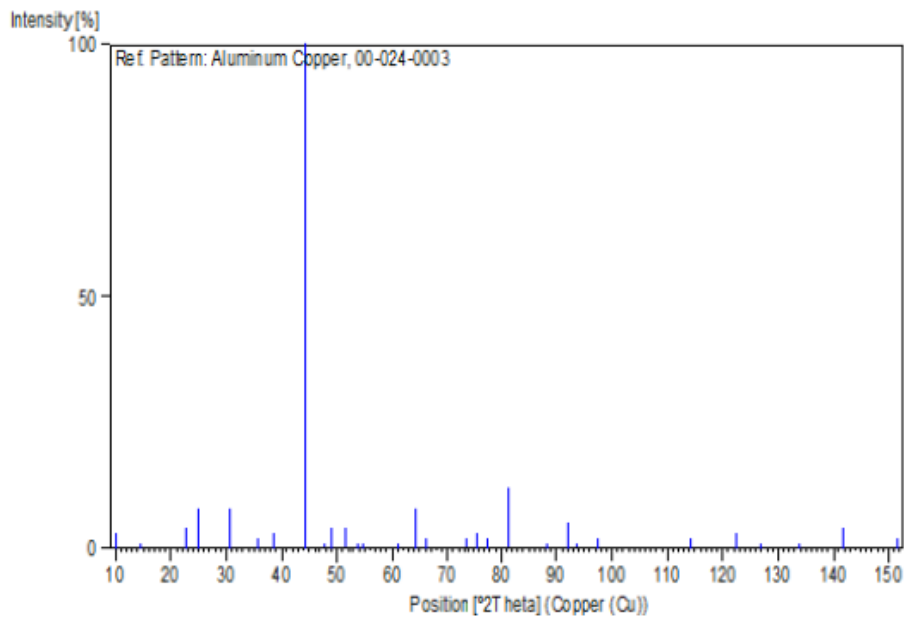
Date: 04/07/2022 Time: 10:46:51

File: As Cast 2B\_1

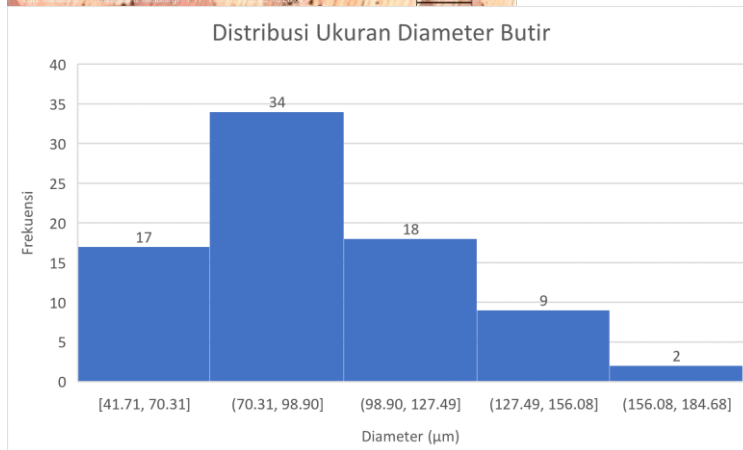
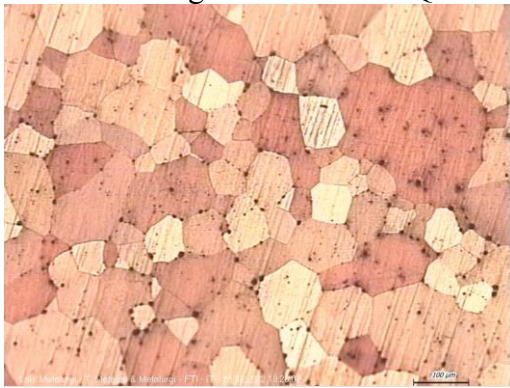
User: MARZUKI

4	2	1	1	3,55330	25,040	8,0
5	3	0	0	2,90060	30,801	8,0
6	2	2	2	2,51160	35,721	2,0
7	3	2	1	2,32590	38,681	3,0
8	3	3	0	2,05090	44,122	100,0
9	4	2	1	1,89900	47,862	1,0
10	3	3	2	1,85530	49,062	4,0
11	4	2	2	1,77620	51,402	4,0
12	5	1	0	1,70660	53,663	1,0
13	5	1	1	1,67490	54,762	1,0
14	4	4	1	1,51500	61,121	1,0
15	6	0	0	1,45030	64,164	8,0
16	6	1	1	1,41160	66,144	2,0
17	6	3	1	1,28320	73,782	2,0
18	4	4	4	1,25620	75,642	3,0
19	5	5	0	1,23060	77,505	2,0
20	7	2	1	1,18440	81,139	12,0
21	6	5	1	1,10530	88,360	1,0
22	7	4	1	1,07120	91,960	5,0
23	8	2	0	1,05530	93,762	1,0
24	6	6	0	1,02560	97,367	2,0
25	9	3	0	0,91730	114,227	2,0
26	7	7	0	0,87910	122,383	3,0
27	10	1	1	0,86170	126,743	1,0
28	10	2	2	0,83740	133,814	1,0
29	8	7	1	0,81510	141,831	4,0
30	10	4	2	0,79440	151,702	2,0

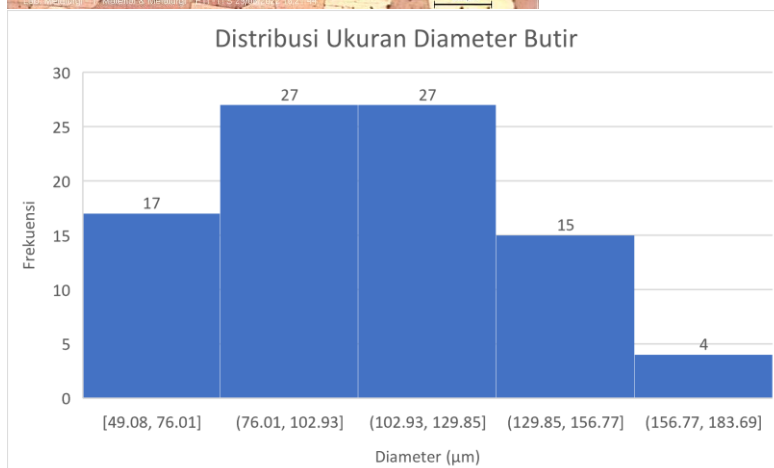
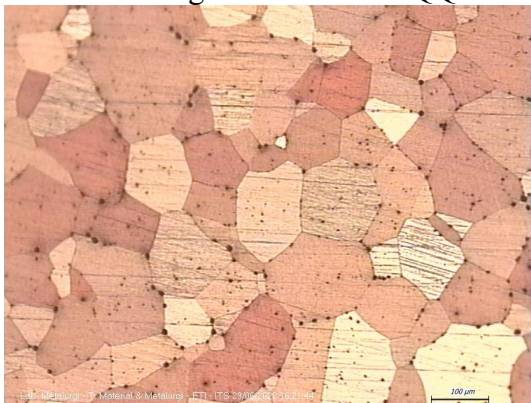
**Stick Pattern**



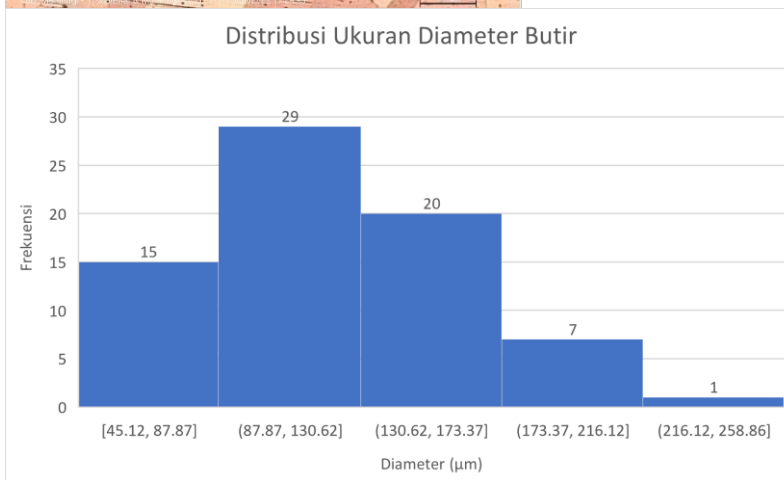
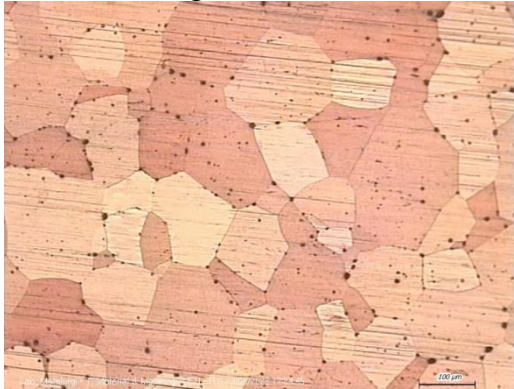
14. Hasil Perhitungan *Grain Size DQ10*



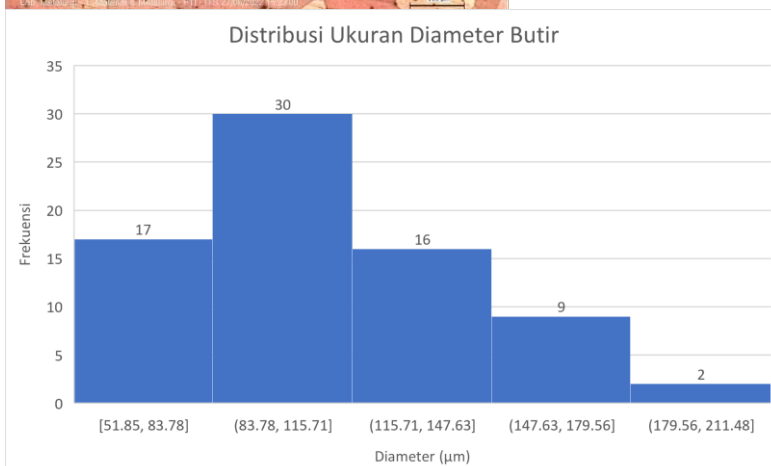
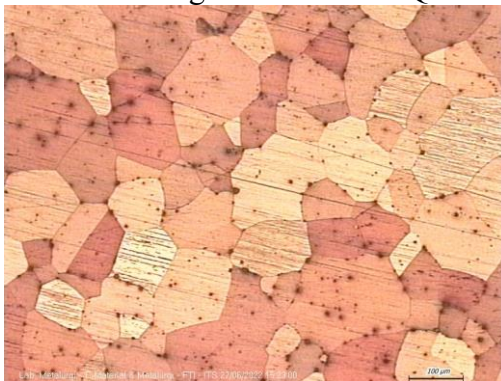
15. Hasil Perhitungan *Grain Size DQQ30*



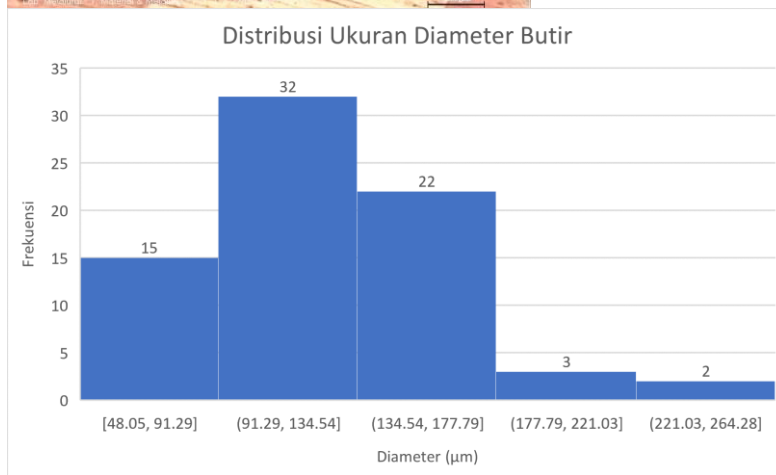
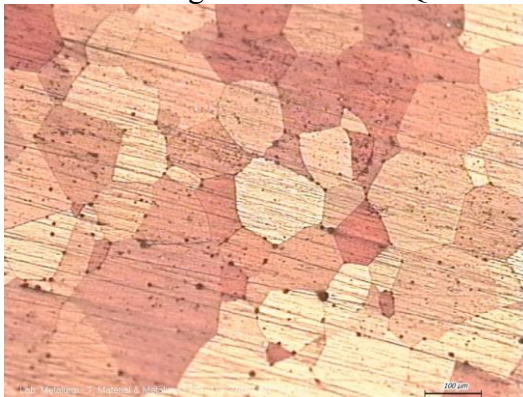
16. Hasil Perhitungan *Grain Size* DQ50



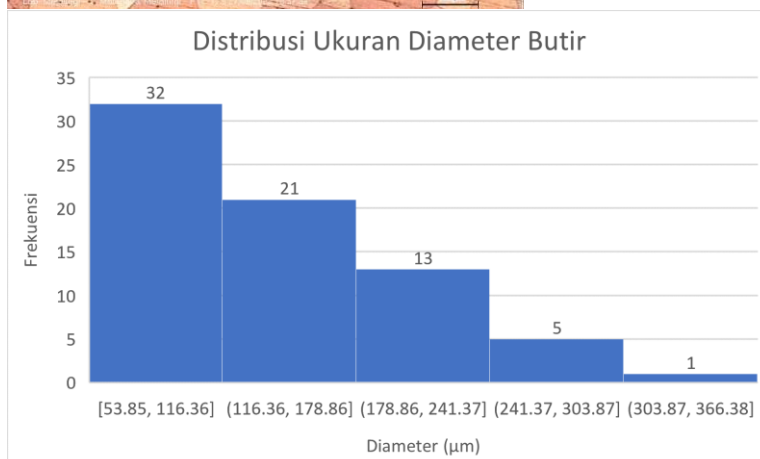
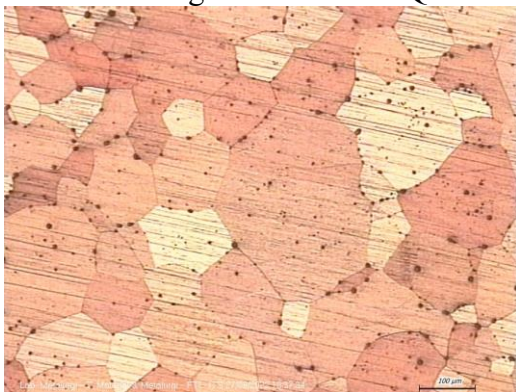
17. Hasil Perhitungan *Grain Size* SQ10



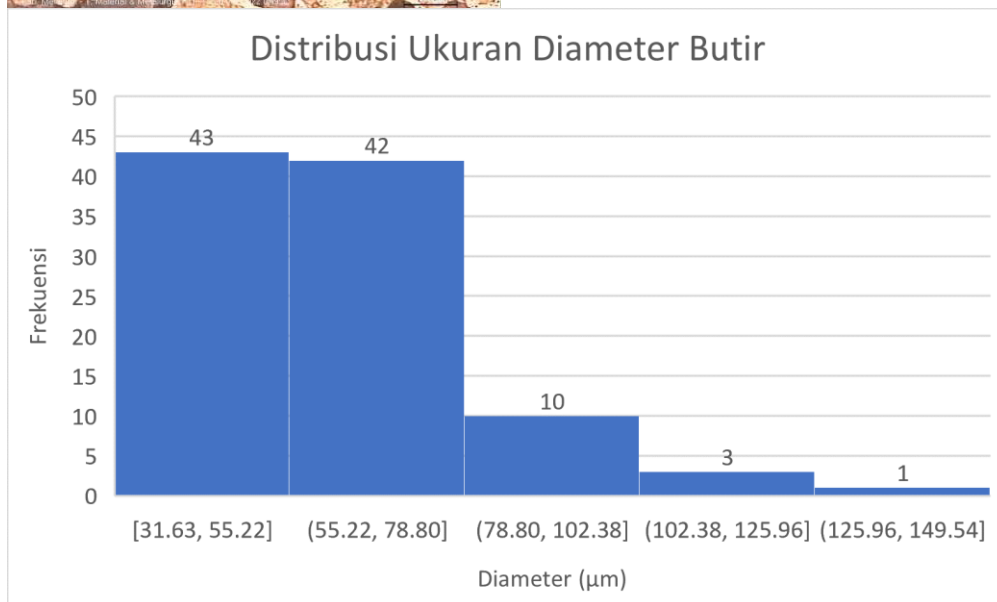
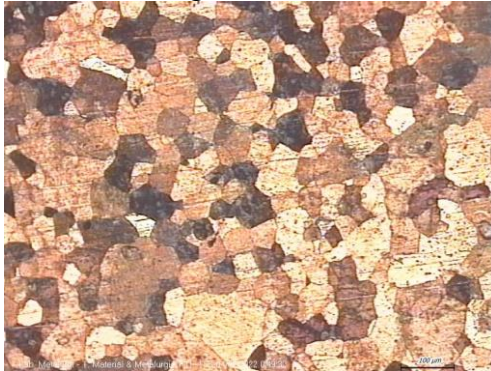
18. Hasil Perhitungan *Grain Size* SQ30



19. Hasil Perhitungan *Grain Size* SQ50



20. Hasil Perhitungan *Grain Size As cast*



21. Hasil Pengujian Kekerasan

Spesimen	Nilai Kekerasan (HV)				
	Indestasi 1	Indentasi 2	Indentasi 3	Rata-Rata	Standar Deviasi
<b>As Cast</b>	293	290	289	290.67	2.08
<b>DQ10</b>	273	273	271	272.33	1.15
<b>DQ30</b>	265	263	266	264.67	1.53
<b>DQ50</b>	257	254	261	257.33	3.51
<b>SQ10</b>	265	266	264	265.00	1.00
<b>SQ30</b>	259	257	254	256.67	2.52
<b>SQ50</b>	249	252	245	248.67	3.51

22. Perhitungan konversi wt% ke at% paduan Cu-15,9Zn-6,89Al

Massa Atom Cu = 63,546	Cu dalam wt% = 77,31
Massa Atom Zn = 65,38	Zn dalam wt% = 15,8
Massa Atom Al = 26,981	Al dalam wt% = 6,89

$$at\% Zn = \frac{wt\% Zn/Massa\ atom\ Zn}{(wt\% Cu/Massa\ atom\ Cu) + (wt\% Zn/Massa\ atom\ Zn) + (wt\% Al/Massa\ atom\ Al)} \times 100$$

$$at\% Zn = \frac{15,8/65,38}{(77,31/63,546) + (15,8/65,38) + (6,89/26,981)} \times 100$$

$$at\% Zn = 14,10$$

$$at\% Al = \frac{wt\% Al/Massa\ atom\ Al}{(wt\% Cu/Massa\ atom\ Cu) + (wt\% Zn/Massa\ atom\ Zn) + (wt\% Al/Massa\ atom\ Al)} \times 100$$

$$at\% Al = \frac{6,89/26,981}{(77,31/63,546) + (15,8/65,38) + (6,89/26,981)} \times 100$$

$$at\% Al = 14,90$$

23. Perhitungan Persamaan 4.1

$$M_s(^{\circ}C) = 2212 - 66.9 (at.\% Zn) - 90.65 (at.\% Al)$$

$$M_s(^{\circ}C) = 2212 - 66.9 (14,10) - 90.65 (14,90)$$

$$M_s(^{\circ}C) = -81,975^{\circ}C$$

24. Perhitungan Persamaan 4.2

$$M_s(^{\circ}C) = 2212 - 66.9 [1.355(at.\% Al) + 1(at.\% Zn)]$$

$$M_s(^{\circ}C) = 2212 - 66.9 [1.355(14,90) + 1(14,10)]$$

$$M_s(^{\circ}C) = -81,96755^{\circ}C$$



## UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam mengerjakan laporan penelitian tugas akhir ini, penulis juga mendapat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung dan membantu. diantaranya:

1. Allah SWT. yang telah memberikan berkah, rahmat, dan pertolongan kepada penulis sehingga laporan penelitian Tugas Akhir ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya.
2. Bapak, Ibu, dan Farah yang sudah memberikan dukungan baik materi dan doa sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Mavindra Ramadhani, ST., MT. selaku dosen pembimbing pertama atas kesabaran dan ilmu yang telah diberikan kepada penulis selama pengerjaan Tugas Akhir.
4. Bapak Dr. Agung Purniawan, ST. M.Eng. selaku dosen pembimbing kedua atas kesabaran dan ilmu yang telah diberikan kepada penulis selama pengerjaan Tugas Akhir.
5. Ibu Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc. selaku dosen wali atas bimbingan selama masa perkuliahan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS – ITS.
6. Seluruh dosen Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS – ITS atas ilmu yang telah diberikan kepada penulis sebagai bekal masa depan penulis.
7. Pak Asman, Pak Anto, Pak Eko, Pak Chanan dan seluruh Tenaga Pendidik Laboratorium Metalurgi dan Manufaktur Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS yang telah membantu penulis selama proses pengerjaan Tugas Akhir.
8. Pasukan Fundichinco (Zain, Nafis, Rama, Denby, Ferdy, Ezra, dan Riza) yang telah berjuang bersama penulis selama pengerjaan Tugas Akhir.
9. Pasukan Koncor (Fernanda, Sabam, Farhan, Didik, dan Gading) yang telah menurunkan ilmu selama pengerjaan Tugas Akhir.
10. Fantastic Four (Gilang, Zain, Nafis) yang telah menemani dan memberikan *support* kepada penulis dalam kehidupan perantauan.
11. Pink Dragon (Gilang, Nafis, Zuki, Salam, Byan, Azhim, Ara, Arjun, Adel, Bagus, Farid, Madan, Riza, dan Rama) sebagai teman bercerita dalam kehidupan perkuliahan penulis.
12. Marzuki Akbar selaku *partner from child until now forever together*.
13. Anggota HMMT FTIRS – ITS yang telah memberikan pengalaman dan kenangan, terkhusus angkatan MT20 yang telah menjadi keluarga dari awal masa perkuliahan penulis hingga saat ini.
14. Semua pihak yang telah berkontribusi dalam proses pengerjaan Tugas Akhir yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.

Semoga segala kebaikan yang telah diberikan oleh seluruh pihak di atas diberi keberkahan tidak henti-hentinya dari Allah SWT. Penulis berharap penelitian ini bermanfaat bagi pembaca dan semua pihak yang membutuhkan.

Surabaya, 13 Juli 2022

Penulis

Rifqi Nafis

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BIODATA PENULIS



Penulis dengan nama Rifqi Nafis lahir di Jakarta, 07 Desember 1999 sebagai anak pertama dari dua bersaudara dengan orang tua yang bernama Fathurokhman dan Sugiyanti. Penulis menempuh pendidikan pertama di SDIT Teratai Putih Global, Kota Bekasi. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di SMPN 26 Bekasi dan selanjutnya menempuh pendidikan di SMAN 2 Bekasi, Kota Bekasi, Jawa Barat. Penulis menempuh pendidikan sarjana di Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Selama berkuliah di Departemen Teknik Material, Penulis aktif dalam kegiatan berorganisasi di Departemen Sosmas HMMT FTIRS - ITS sebagai Kabiro pengajaran pada kepengurusan 20/21 dan Staff pada kepengurusan 19/20. Penulis juga aktif dalam organisasi dakwah jurusan, yaitu sebagai Staff Ahli Departemen Keilmuan LKKI Ashabul Kahfi 2021. Untuk menyelesaikan Pendidikan Sarjana, penulis melakukan penelitian dalam bidang studi Metalurgi Manufaktur (Pengecoran dan Perlakuan Panas) dengan tugas akhir berjudul “Analisis Pengaruh Variasi  *Holding Time*  dan Metode  *Direct/Step Quenching*  Pada  *Solution treatment*  Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Cu-15,9Zn-6,89Al Alloy”. Penulis dapat dihubungi melalui alamat email berikut: rifqin71299@gmail.com, No.HP: 081283953427.