

**TUGAS AKHIR – TL184834**

**ANALISIS PENGARUH *HOLDING TIME* DAN MEDIA  
PENDINGIN *UP-QUENCHING* PADA CU-16,8ZN-6,99AL  
ALLOY TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN**

**DENBY TRUMAN**  
NRP. 02511840000116

Dosen Pembimbing  
**Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc.**  
NIP. 198405152014042003  
**Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.**  
NIP. 198805012019031008

**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 *HOLDING TIME* DAN MEDIA  
PENDINGIN *UP-QUENCHING* PADA CU-16,8ZN-6,99AL  
ALLOY TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN**

**DENBY TRUMAN**  
NRP. 02511840000116

Dosen Pembimbing  
**Dian Mughni Fellicia, S.T.,M.Sc.**  
NIP. 198405152014042003  
**Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.**  
NIP. 198805012019031008

**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 AND  
COOLING MEDIA UP-QUENCHING IN CU-16,8ZN-6,99AL  
ALLOY ON MICROSTRUCTURE AND HARDNESS**

**DENBY TRUMAN**  
NRP. 02511840000116

Advisor  
**Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc.**  
NIP. 198405152014042003  
**Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.**  
NIP. 198805012019031008

**Study Program of Materials Engineering**  
Department 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 MEDIA PENDINGIN *UP-QUENCHING* PADA CU-16,8ZN-6,99AL ALLOY TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN

#### 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 : **DENBY TRUMAN**  
NRP. 0251184000116

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

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

2. Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.

3. Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA

4. Tubagus Noor Rohmannudin, 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 COOLING MEDIA UP-QUENCHING IN CU-16,8ZN-6,99AL ALLOY ON MICROSTRUCTURE AND HARDNESS

#### FINAL PROJECT

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

By : **DENBY TRUMAN**  
NRP. 02511840000116

Approved by Final Project Examiner Team :

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

2. Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.

3. Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA

4. Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc.



Advisor

Co-Advisor

Examiner

Examiner

SURABAYA  
July, 2022

*(This page is intentionally blank)*

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

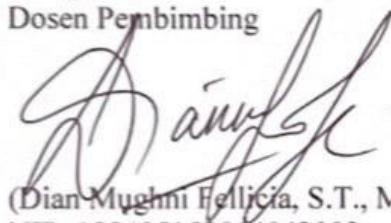
Nama mahasiswa/NRP : Denby Truman / 02511840000116  
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS  
Dosen Pembimbing/NIP : Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc./198405152014042003

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Analisis Pengaruh Variasi  *Holding Time*  dan Media Pendingin  *Up-Quenching*  pada Cu-16,8Zn-6,99Al  *Alloy*  terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan” 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.

Surabaya, 14 Juli 2022

Mengetahui  
Dosen Pembimbing



(Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc.)  
NIP. 198405152014042003

Mahasiswa



(Denby Truman)  
NRP. 02511840000116

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

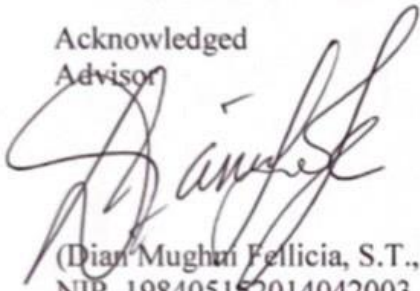
Name of student/NRP : Denby Truman /02511840000116  
Departement : Material and Metallurgical Engineering  
Advisor/NIP : Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc./198405152014042003

Hereby declare that the Final Project with the title of "Analysis Of The Effect Of Holding Time and Cooling Media Up-Quenching in Cu-16,8Zn-6,99Al Alloy on Microstructure and Hardness" 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.

Surabaya, 14<sup>th</sup> July 2022

Acknowledged  
Advisor



(Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc.)  
NIP. 198405152014042003

Student



(Denby Truman)  
NRP. 02511840000116

*(This page is intentionally blank)*

**ANALISIS PENGARUH *HOLDING TIME* DAN MEDIA PENDINGIN *UP-QUENCHING* PADA CU-16,8ZN-6,99AL ALLOY TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN**

**Nama Mahasiswa / NRP** : Denby Truman / 02511840000116  
**Departemen** : Teknik Material dan Metalurgi FT-IRS ITS  
**Dosen Pembimbing 1** : Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc.  
**Dosen Pembimbing 2** : Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.

**Abstrak**

Logam dapat mendapatkan sifat mekanik lebih baik dengan cara menggabungkan beberapa material logam, dapat disebut paduan. Salah satu contoh paduan yang sedang dikembangkan adalah paduan Cu-Zn-Al karena dapat dilakukan cold working, kemudahan fabrikasi, dan biaya produksi yang rendah. Paduan Cu-16,8Zn-6,99Al dibuat dengan proses pengecoran yang kemudian dilakukan perlakuan panas *homogenizing*, *annealing*, dan *solution treatment*. Proses *quenching* yang dilakukan setelah *solution treatment* menggunakan metode *up-quenching* dengan variasi *holding time* 10,20, dan 30 menit menggunakan media pendingin air dan oli. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi *holding time* dan media pendingin *up-quenching* pada paduan Cu-15,9Zn-6,89Al terhadap struktur mikro dan kekerasan. Struktur mikro yang terbentuk pada seluruh spesimen adalah  $\alpha$ ,  $\beta$ , dan  $\gamma$ . Ukuran butir terbesar adalah 160,76  $\mu\text{m}$  pada spesimen UQW30 dan ukuran butir terkecil adalah 112,485  $\mu\text{m}$  pada spesimen UQO10. Hal tersebut terjadi dikarenakan semakin lama *holding time up-quenching* maka pertumbuhan ukuran butir pada spesimen akan semakin besar. Ukuran butir yang semakin besar akan membuat nilai kekerasan dari spesimen akan semakin menurun. Nilai kekerasan tertinggi adalah  $280,33 \pm 2,517$  HVN pada spesimen UQO10 dan nilai kekerasan terkecil adalah  $255 \pm 1$  HVN pada spesimen UQW30. Pada spesimen *up-quenching* dengan media oli memiliki kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen media air. Karena fasa  $\alpha$  pada media oli lebih sedikit dibandingkan media air, dimana fasa  $\alpha$  pada paduan Cu-Zn-Al memiliki sifat ulet, sehingga dapat menurunkan kekerasan. Hal ini membuat spesimen UQO10 memiliki kekerasan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan spesimen UQW30.

**Kata Kunci:** *Up-Quenching, Cu-Zn-Al, Media Pendingin, Solution Treatment, Kekerasan*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



# ANALYSIS OF THE EFFECT OF HOLDING TIME AND COOLING MEDIA UP- QUENCHING IN CU-16,8ZN-6,99AL ALLOY ON MICROSTRUCTURE AND HARDNESS

**Student Name / NRP** : Denby Truman / 02511840000116  
**Departement** : Materials and Metallurgical Engineering INDSYS ITS  
**Advisor** : Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc.  
**Co-Advisor** : Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.

## Abstract

Metals can get better mechanical properties by combining several metal materials, which can be called alloys. An example of an alloy being developed is the Cu-Zn-Al alloy because it can be cold worked, easy to fabricate, and has low production costs. The Cu-16.8Zn-6.99Al alloy is made by a casting process, which is heat treatment by homogenizing, annealing, and solution treatment. The quenching process, carried out after solution treatment, used the up-quenching method with variations in holding times of 10, 20, and 30 minutes using water and oil cooling media. This study aims to analyze the effect of holding time and cooling media up-quenching in Cu-16,8Zn-6,99Al alloy on the microstructure and hardness. The microstructures formed in all specimens were  $\alpha$ ,  $\beta$ , and  $\gamma$ . The largest grain size was 160.76  $\mu\text{m}$  in the UQW30 specimen, and the smallest grain size was 112.485  $\mu\text{m}$  in the UQO10 specimen. Change of grain size happens because the longer the holding time up-quenching, the more significant the grain size growth in the specimen. The change in the grain size affects the hardness value of the specimen. The larger the grain size, the lower the hardness. The highest hardness value is  $280.33 \pm 2.517$  HVN in the UQO10 specimen, and the smallest hardness value is  $255 \pm 1$  HVN in the UQW30 specimen. The up-quenching specimen with oil media has a higher hardness than the water medium specimen. Because the  $\alpha$  phase in the oil medium is less than the water medium, where the phase  $\alpha$  in the Cu-Zn-Al alloy has ductile properties, it can reduce the hardness. The less  $\alpha$  Phase makes UQO10 specimens have a higher hardness when compared to UQW30 specimens.

**Keywords:** *Up-Quenching, Cu-Zn-Al, Cooling Media, Solution Treatment, Hardness*

*(This page is intentionally blank)*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir yang berjudul “**Analisis Pengaruh Variasi Holding Time dan Media Pendingin Up-Quenching pada Cu-Zn-Al Alloy terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan**” untuk memenuhi Mata Kuliah Tugas Akhir yang menjadi salah satu syarat kelulusan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu serta memberikan dukungan, bimbingan dan saran kepada penulis, diantaranya adalah :

1. Allah SWT yang berkat rahmat dan karunia-Nya telah memberikan kemudahan serta kelancaran selama melakukan proses penelitian dan pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
2. Ibu Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc., selaku dosen pembimbing pertama yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam proses penelitian dan pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
3. Bapak Mavindra Ramadhani, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing kedua yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam proses penelitian dan pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
4. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D., selaku Kepala DTMM FT-IRS ITS yang telah membantu proses Tugas Akhir sampai selesai.

Penulis berharap penelitian tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak. Penulis menyadari dalam penyusunan laporan ini masih banyak kekurangan sehingga penulis mengharapkan adanya saran dan kritik yang membangun dari pembaca, agar karya berikutnya bisa lebih baik.

Surabaya, 14 Juli 2022  
Penulis

Denby Truman

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ABSTARCT</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.....	1
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>3</b>
2.1 Tembaga (Cu).....	3
2.2 Seng (Zn).....	3
2.3 Aluminium (Al).....	4
2.4 Paduan Cu-Zn-Al.....	4
2.5 Diagram Fasa.....	5
2.5.1 Diagram Fasa Cu-Zn-Al .....	5
2.6 Perlakuan Panas .....	6
2.6.1 <i>Homogenizing</i> .....	6
2.6.2 <i>Annealing</i> .....	7
2.6.3 <i>Solution Treatment</i> .....	7
2.7 <i>Up-Quenching</i> .....	7
2.8 Media Pendingin.....	7
2.8.1 Air.....	8
2.8.2 Oli.....	8
2.9 <i>Shape Memory Alloy</i> .....	8
2.10 Pengujian .....	9
2.10.1 Pengujian Komposisi.....	9
2.10.2 Pengujian Kekerasan .....	10
2.10.3 Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i> .....	11
2.10.4 Pengujian Metalografi .....	11
2.10.5 Pengujian <i>Differential Scanning Calorimetry</i> .....	12
2.11 Penelitian Sebelumnya .....	12
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>17</b>
3.1 Diagram Alir.....	17
3.2 Alat Penelitian .....	18
3.3 Alat Pengujian .....	19
3.4 Bahan Penelitian .....	19
3.5 Kurva Perlakuan Panas .....	20
3.6 Prosedur Penelitian .....	20
3.6.1 Prosedur Proses Perlakuan Panas <i>Homogenizing</i> .....	20
3.6.2 Prosedur Proses Perlakuan Panas <i>Annealing</i> .....	20
3.6.3 Prosedur Proses Perlakuan Panas <i>Solution Heat Treatment</i> .....	20
3.7 Prosedur Pengujian.....	21
3.7.1 Pengujian Komposisi.....	21

3.7.2	Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i> .....	21
3.7.3	Pengujian Metalografi .....	21
3.7.4	Pengujian <i>Differential Scanning Calorimetry</i> .....	21
3.7.5	Pengujian Kekerasan .....	21
3.8	Jadwal Penelitian .....	22
3.9	Rancangan Penelitian .....	23
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>25</b>
4.1	Hasil Pengujian Komposisi .....	25
4.2	Hasil Pengujian X-Ray Diffraction .....	25
4.3	Hasil Pengujian Metalografi .....	28
4.4	Hasil Pengujian Kekerasan .....	31
4.5	Hasil Pengujian <i>Differential Scanning Calorimetry</i> .....	33
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>35</b>
5.1	Kesimpulan .....	35
5.2	Saran .....	35
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>.....</b>	<b>37</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>.....</b>	<b>41</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH</b>	<b>.....</b>	<b>55</b>
<b>BIODATA PENULIS</b>	<b>.....</b>	<b>57</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Diagram fasa Cu-Zn.....	5
<b>Gambar 2.2</b>	Diagram Fasa Terner Cu-Zn-Al.....	6
<b>Gambar 2.3</b>	Aplikasi shape memory alloy pada cermin spion di kendaraan.....	9
<b>Gambar 2.4</b>	Cara kerja dari spark OES.....	10
<b>Gambar 2.5</b>	Pengujian Kekerasan Metode Vickers .....	10
<b>Gambar 2.6</b>	Difraksi bragg oleh bidang kristal.....	11
<b>Gambar 2.7</b>	Struktur mikro <i>up-quenching holding time</i> 10 menit pada media pendingin air.....	12
<b>Gambar 2.8</b>	Struktur mikro <i>up-quenching holding time</i> 15 menit pada media pendingin air.....	13
<b>Gambar 2.9</b>	Struktur mikro <i>up-quenching holding time</i> 30 menit pada media pendingin air.....	13
<b>Gambar 2.10</b>	Struktur mikro <i>up-quenching holding time</i> 15, 30, 60, 120, dan 180 menit pada media pendingin air.....	14
<b>Gambar 2.11</b>	Struktur mikro <i>up-quenching holding time</i> 10 menit pada media pendingin oli.....	15
<b>Gambar 2.12</b>	Struktur mikro <i>up-quenching holding time</i> 10 menit dengan media pendingin (a)air, (b) oli.....	15
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram alir penelitian.....	18
<b>Gambar 3.2</b>	Kurva perlakuan panas.....	20
<b>Gambar 4.1</b>	Hasil pengujian XRD Cu-16,8Zn-6,99Al metode <i>up-quenching</i> air.....	26
<b>Gambar 4.2</b>	Hasil pengujian XRD Cu-16,8Zn-6,99Al metode <i>up-quenching</i> oli.....	27
<b>Gambar 4.3</b>	Hasil metalografi as cast Cu-16,8Zn-6,99Al perbesaran 100x.....	28
<b>Gambar 4.4</b>	Hasil metalografi setelah proses <i>solution treatment</i> metode <i>up-quenching</i> air dengan variasi <i>holding time</i> : (A) 10 menit (B) 20 menit (C) 30 menit perbesaran 100x.....	29
<b>Gambar 4.5</b>	Hasil metalografi setelah proses <i>solution treatment</i> metode <i>up-quenching</i> oli dengan variasi <i>holding time</i> : (A) 10 menit (B) 20 menit (C) 30 menit perbesaran 100x.....	30
<b>Gambar 4.6</b>	Grafik nilai kekerasan paduan Cu-16,8Zn-6,99Al.....	32
<b>Gambar 4.7</b>	Grafik hasil pengujian DSC paduan Cu-16,8Zn-6,99Al.....	33

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Data dan sifat tembaga (Cu) .....	3
<b>Tabel 2.2</b> Data dasar dan sifat seng (Zn) .....	3
<b>Tabel 2.3</b> Data dasar dan sifat aluminium (Al).....	4
<b>Tabel 2.4</b> Sifat Paduan Cu-Zn-Al. ....	4
<b>Tabel 2.5</b> Temperatur <i>annealing</i> dari paduan Cu-Zn.....	7
<b>Tabel 2.6</b> Karakteristik media pendingin oli. ....	8
<b>Tabel 3. 1</b> Jadwal Penelitian .....	22
<b>Tabel 3. 2</b> Rancangan Penelitian.....	23
<b>Tabel 4.1</b> Hasil Pengujian Komposisi Paduan Cu-Zn-Al. ....	25
<b>Tabel 4.2</b> Ukuran Butir Spesimen Paduan Cu-16,8Zn-6,99Al .....	31
<b>Tabel 4.3</b> Hasil pengujian kekerasan paduan Cu-16,8Zn-6,99Al.....	31
<b>Tabel 4.4</b> Temperatur transformasi paduan Cu-16,8Zn-6,99Al. ....	34

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Pada saat ini kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi berkembang pesat seiring berjalannya waktu, khususnya pada bidang industri otomotif. Industri tersebut penting dari segi manufaktur pada negeri ini. Logam telah memainkan peran penting sejak dulu untuk berbagai aplikasi yang mendorong perkembangan industri untuk memenuhi kebutuhan manusia. Pemilihan material menjadi hal penting karena mempengaruhi kualitas produk dan properties yang dihasilkan. Tembaga merupakan logam yang banyak digunakan di dunia industri, karena memiliki sifat konduktivitas listrik, konduktivitas termal, ketahanan korosi, dan kemudahan dalam fabrikasi. Logam dapat mendapatkan properties lebih baik dan sesuai dengan keinginan dengan cara menggabungkan beberapa material logam. Gabungan dari beberapa material logam dapat disebut dengan paduan. Salah satu contoh paduan yang sedang dikembangkan adalah paduan Cu-Zn-Al karena dapat dilakukan cold working, kemudahan fabrikasi, dan biaya produksi yang rendah. Aplikasi dari paduan ini seperti bantalan, baut, dan *propeller* pada kapal (Gumilang, 2016).

Paduan Cu-Zn-Al dibuat dengan cara dilakukannya pengecoran dimana logam cair dari logam tembaga, aluminium, dan kuningan dimana kuningan adalah paduan dari tembaga dan seng, selanjutnya dari paduan Cu-Zn-Al mengalir kedalam cetakan dengan cara gravitasi ataupun diberi gaya lainnya, selanjutnya logam cair membeku sesuai dengan bentuk cetakan. Prinsip dasar dari pengecoran adalah meleburkan logam, kemudian logam yang telah menjadi cair dituangkan pada cetakan, selanjutnya dibiarkan didalam cetakan hingga membeku (ASM International, 1988). Paduan Cu-Zn-Al termasuk pada paduan *shape memory alloy*. *Shape memory alloy* merupakan kelompok paduan yang mempunyai kemampuan untuk dapat kembali ke bentuknya semula ketika dipanaskan melewati temperatur transformasi. Sensor dan aktuatur merupakan contoh dari aplikasi *shape memory alloy* (Mohd Jani et al., 2014).

Pada tahun 2019, Weng Huang melakukan penelitian mengenai pengaruh variasi *holding time up-quenching* menggunakan media pendingin air yang dipanaskan hingga temperatur 100 °C dan menunjukkan hasil bahwa semakin lama *holding time up-quenching* maka martensit yang terbentuk semakin banyak. Martensit pada logam nonferrous bersifat lunak (Huang et al., 2019). Pada tahun 2018, Yang melakukan penelitian mengenai stabilisasi martensit yang terjadi setelah proses aging yang mengakibatkan penurunan pada shape memory effect. Dengan proses *up-quenching* dapat mencegah stabilisasi martensit, semakin lama waktu *up-quenching* maka semakin baik untuk mencegah stabilisasi martensit. Karena dapat mengurangi konsentrasi kekosongan pada atom dan meningkatkan kekuatan ikatan antara atom (Yang et al., 2018). Oleh sebab itu, pada penelitian ini tidak menggunakan proses aging. Berdasarkan hal tersebut dan karena masih kurangnya penelitian paduan Cu-Zn-Al menggunakan *up-quenching*, pada penelitian ini akan membahas mengenai pengaruh variasi *holding time* dan media pendingin *up-quenching* pada paduan Cu-Zn-Al terhadap struktur mikro dan kekerasan menggunakan pengujian komposisi, pengujian kekerasan, *X-Ray Diffraction* (XRD), Metalografi dan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC).

## 1.2 Perumusan Masalah

Adapun perumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pengaruh variasi *holding time up-quenching* terhadap struktur mikro dan kekerasan pada paduan Cu-Zn-Al.
2. Pengaruh variasi media pendingin *up-quenching* terhadap struktur mikro dan kekerasan pada paduan Cu-Zn-Al.

### 1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Produk hasil pengecoran dianggap homogen, bebas cacat, dan komposisi kimia sesuai dengan *ASM Handbook Volume 2*.
2. Pengaruh lingkungan selama proses perlakuan panas dimulai dari pemanasan dan diakhiri dengan pendinginan diabaikan.
3. Temperatur yang ditunjukkan pada indikator *furnace* dianggap sesuai.
4. Waktu pengeluaran spesimen dari *furnace* saat perlakuan panas dianggap sama.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh variasi *holding time up-quenching* terhadap struktur mikro dan kekerasan pada paduan Cu-Zn-Al.
2. Menganalisis pengaruh variasi media pendingin *up-quenching* terhadap struktur mikro dan kekerasan pada paduan Cu-Zn-Al.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memperoleh data pada variasi *holding time* dan media pendingin *up-quenching* terhadap struktur mikro dan kekerasan pada paduan Cu-Zn-Al. Diharapkan dengan adanya penelitian ini dapat menambah referensi penelitian untuk perkembangan teknologi yang berkaitan dan dapat diterapkan pada dunia industri serta untuk perkembangan ilmu pengetahuan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS ITS.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Tembaga (Cu)

Tembaga merupakan salah satu jenis logam yang mudah didapatkan. Pada saat ini tembaga didapatkan dari ekstraksi chalcopyrite ( $\text{CuFeS}_2$ ). Untuk mendapatkan tembaga murni, bijih chalcopyrite dihancurkan dan dikonsentrat dengan cara floation. Kemudian dilebur untuk memisahkan tembaga murni dari bijihnya dan hasilnya akan mendapatkan tembaga murni dengan persentase kemurnian sebesar 98-99%. Tembaga memiliki sifat resistivitas listrik yang rendah yang menyebabkan sering digunakan untuk konduktor listrik, selain itu tembaga juga merupakan logam tahan korosi dan memiliki konduktivitas termal yang sangat baik (Groover, 2010). Untuk data dasar dan sifat pada logam tembaga (Cu) dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Data dan sifat tembaga (Cu) (Groover, 2010).

Tembaga	
Simbol	Cu
Nomor Atom	29
Massa Jenis ( $\text{g/cm}^3$ )	8,96
Struktur Kristal	FCC
Titik Lebur	1083°C (1981°F)
Elemen Paduan	Timah (perunggu), Seng (Kuningan), Aluminium, Silikon, Nikel, dan Berilium.
Ore Tembaga	Chalcopyrite ( $\text{CuFeS}_2$ )

### 2.2 Seng (Zn)

Seng merupakan logam yang paling banyak digunakan dalam dunia industri. Titik lelehnya yang rendah membuat seng digunakan sebagai logam tuang untuk pengecoran. Ini juga memberikan perlindungan korosi saat dilapisi ke baja atau besi, seperti baja galvanis yang merupakan baja yang telah dilapisi oleh seng. Contoh penggunaan seng yaitu sebagai coating anoda untuk melindungi baja dari terjadinya korosi, sebagai unsur pengecoran seng menjadi elemen paduan kuningan, sebagai unsur paduan pada tembaga aluminium, dan sebagai paduan seng tempa. Seng memiliki sifat mudah ditempa pada temperatur 150°C, dan mampu menghantarkan listrik (Groover, 2010). Penambahan unsur Zn akan meningkatkan kekuatan, kekerasan, dan machinability, namun akan menurunkan keuletan (Gumilang, 2016). Untuk data dasar dan sifat dari seng (Zn) dapat dilihat pada Tabel 2.2 sebagai berikut.

**Tabel 2.2** Data dasar dan sifat seng (Zn) (Groover, 2010).

Seng	
Simbol	Zn
Nomor Atom	30
Massa Jenis ( $\text{g/cm}^3$ )	7,13
Struktur Kristal	HCP
Titik Lebur	419°C (786°F)
Elemen Paduan	Tembaga, aluminium, dan magnesium.
Ore Seng	Sphalerite ( $\text{ZnS}$ )

### 2.3 Aluminium (Al)

Aluminium adalah logam ringan dan digunakan dalam aplikasi teknik. Bauksit merupakan bijih aluminium utama yang terdiri dari aluminium oksidasi terhidrasi ( $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$ ) dan oksida lainnya. Bauksit di ekstrasi dengan cara mencuci dan menghancurkan bijih menjadi serbuk halus. Kemudian dilakukan proses bayer untuk mengubah bauksit menjadi alumina murni ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Lalu, dilakukan elektrolisis yang menyebabkan alumina dipisahkan menjadi aluminium dan gas oksigen. Aluminium memiliki sifat konduktivitas listrik dan termal yang baik, dan ketahanan terhadap korosi sangat baik karena pembentukan lapisan pada permukaan yaitu lapisan oksida permukaan tipis. Selain itu logam ini sangat ulet dan mempunyai kemampuan bentuk yang baik (Groover, 2010). Dalam paduan Cu-Zn penambahan aluminium mereduksi ukuran butir akan berpengaruh terhadap kekekerasan yang meningkat (Fallis, 2013). Pada Tabel 2.3 merupakan data dasar dan sifat aluminium (Al).

**Tabel 2.3** Data dasar dan sifat aluminium (Al) (Groover, 2010).

Aluminium	
Simbol	Al
Nomor Atom	13
Massa Jenis ( $\text{g/cm}^3$ )	2,7
Struktur Kristal	FCC
Titik Lebur	660°C (1220°F)
Elemen Paduan	Tembaga, seng, magnesium, mangan, dan silikon.
Ore Aluminium	Bauksit (campuran tidak murni dari $\text{Al}_2\text{O}_3$ dan $\text{Al(OH)}_3$ ).

### 2.4 Paduan Cu-Zn-Al

Paduan Cu-Zn-Al yang termasuk pada paduan *shape memory alloy* memiliki komposisi dalam rentang 65-80% Cu, 10-30% Zn, dan 5-10% Al. Keuntungan paduan ini biaya produksi relatif murah, dapat dilebur dan diekstruksi di udara dengan mudah, dan memiliki rentang transformasi temperatur yang luas. Untuk sifat paduan pada paduan Cu-Zn-Al dapat dilihat pada Tabel 2.4 (ASM International, 1998a).

**Tabel 2.4** Sifat Paduan Cu-Zn-Al (ASM International, 1998a).

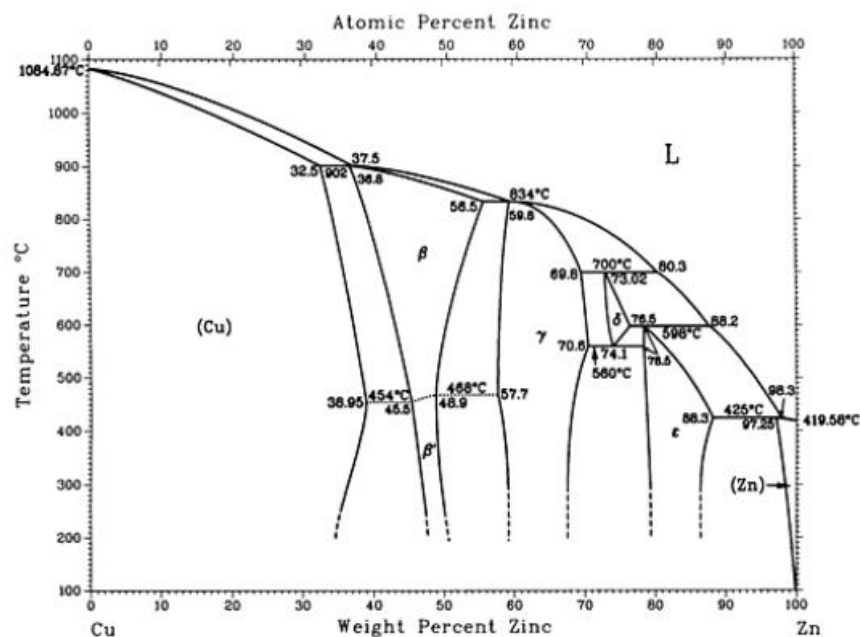
SIFAT	NILAI
Temperatur Leleh (°C)	950 – 1020
Densitas ( $\text{g/cm}^3$ )	7.64
Resistivitas, ( $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ )	8,5-9,7
Konduktivitas Termal (W/m. °C)	120
Kapasitas Panas (J/kg. °C)	400
<i>Ultimate Tensile Strength</i> (MPa)	600
Temperatur Transformasi (°C)	<120
<i>Recoverable Strain</i> (%)	4
Hysteresis ( $\Delta^\circ\text{C}$ )	15-25

## 2.5 Diagram Fasa

Diagram fasa sangat penting untuk perkembangan material. Pada aplikasi teknik diperlukan sifat paduan yang lebih baik, melalui paduan dapat untuk mengubah kekuatan, kekerasan, dan sifat-sifat lainnya. Sifat mekanik tersebut berkaitan dengan fasa dan struktur mikro. Pada sistem paduan, diagram fasa membantu untuk memahami terkait struktur mikro dalam fasa tertentu pada temperatur, tekanan dan komposisi. Dalam hal ini, struktur mikro dan sifat material dapat di rekayasa sesuai dengan aplikasi yang diinginkan (Terayama et al., 2022). Fasa merupakan bagian homogen dari suatu sistem yang memiliki karakteristik fisik dan kimia yang seragam, terdiri dari fasa padat, liquid, dan gas. Suatu zat dapat berada dalam dua atau lebih bentuk poliformik, misalnya memiliki struktur FCC dan BCC. Masing-masing struktur ini merupakan fasa yang terpisah karena memiliki karakter fisik yang berbeda. Sistem satu fasa disebut homogen, sistem terdiri dari dua fasa atau lebih disebut heterogen, seperti paduan logam, keramik, polimer dan komposit(Callister, 2009).

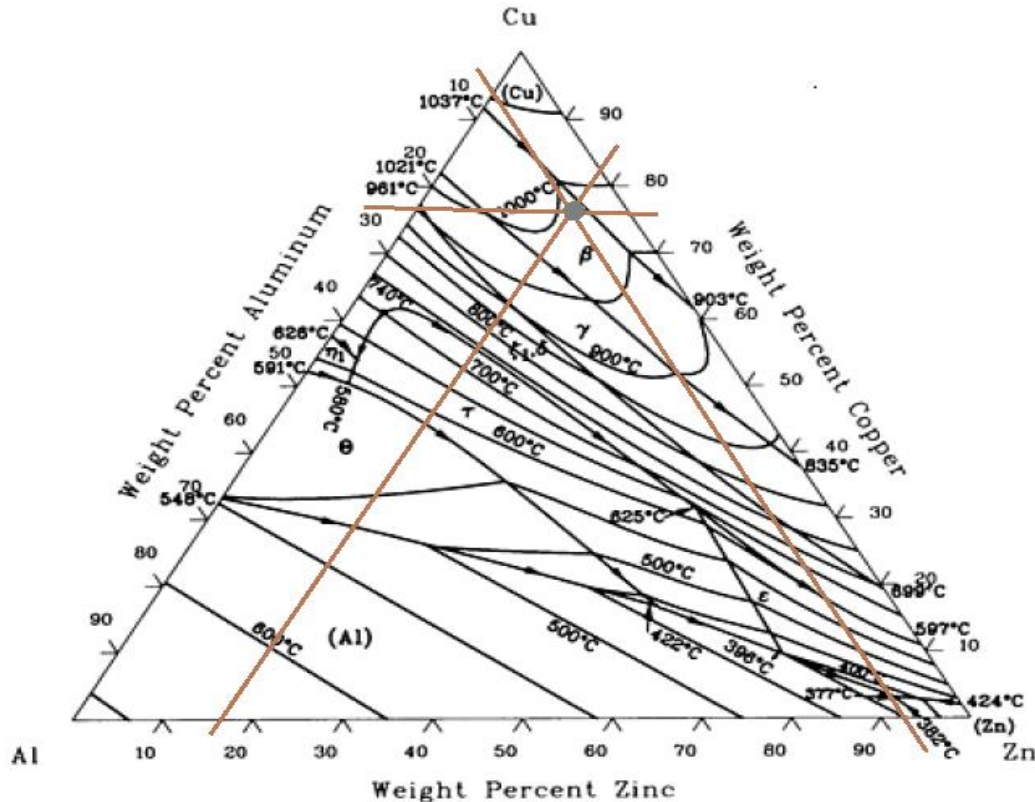
### 2.5.1 Diagram Fasa Cu-Zn-Al

Diagram fasa sangat penting untuk mengetahui terkait struktur mikro dalam fasa pada temperatur tertentu. Diagram fasa memiliki beberapa jenis sesuai dengan unsur yang ada dalam paduan, diagram fasa biner yang terdiri dari dua unsur logam sedangkan diagram fasa ternary yang terdiri dari tiga unsur logam. Pada diagram fasa biner Cu-Zn dapat diketahui fasa yang terbentuk pada komposisi dan temperatur tertentu. Fasa  $\beta$  dapat diperoleh pada variasi komposisi yang cukup rendah, tetapi dengan penambahan unsur lain temperatur transformasinya dapat disesuaikan. Dapat dilihat pada Gambar 2.1 merupakan diagram fasa biner Cu-Zn.



Gambar 2.1 Diagram fasa Cu-Zn(ASM International, 1998b).

Diagram fasa terner merupakan diagram yang memiliki tiga unsur didalamnya. Diagram fasa terner umumnya ditemukan dalam sistem logam dan keramik. Sistem *ternary* sering dibuat oleh pandangan dari diagram biner yang terdiri dari wajah dan proyeksi dua dimensi dari permukaan *liquidus* dan *solidus*, bersama dengan serangkaian dua dimensi bagian horizontal (isoterm) dan bagian vertikal (isopleth) melalui diagram padat(ASM International, 1998b).



**Gambar 2.2** Diagram Fasa Terner Cu-Zn-Al(ASM International, 1998b).

Pada Gambar 2.2 di atas menunjukkan diagram fasa *ternary* dari paduan Cu-Zn-Al, sisi kanan merupakan persentase dari Cu (tembaga), pada sisi bawah merupakan persentase dari Zn (seng), dan pada sisi kiri merupakan persentase dari Al (aluminium). Untuk mendapatkan fasa dibutuhkan, maka dilakukan dengan cara menentukan komposisi masing-masing unsur, lalu dibuatlah garis lurus pada persentase masing-masing unsur, sehingga akan menghasilkan titik potong dari ketiga garis tersebut yang menentukan fasa yang didapat (ASM International, 1998b).

## 2.6 Perlakuan Panas

Perlakuan panas merupakan proses pemanasan dan pendinginan logam atau paduan yang bertujuan untuk mengubah sifat logam atau paduan tersebut, seperti sifat kekerasan, kekuatan, ketahanan, dan keuletan yang disesuaikan dengan kebutuhan dari penggunaan logam atau paduan tersebut. Teori perlakuan panas berdasarkan fakta bahwa perubahan yang terjadi dalam struktur internal logam dengan pemanasan dan pendinginan yang menginduksi sifat yang diinginkan (Singh, 2006). Dalam hal ini, beberapa tujuan dari proses perlakuan panas adalah untuk menghaluskan ukuran butir, meningkatkan sifat mekanik, menghilangkan tegangan internal dan sebagainya (Francis, 2016). Pada penelitian ini terdapat beberapa perlakuan panas yang dilakukan, diantaranya *homogenizing*, *annealing*, dan *solution treatment*.

### 2.6.1 Homogenizing

*Homogenizing* adalah proses perlakuan panas dimana logam dipanaskan ke temperatur yang diinginkan, kemudian ditahan pada temperatur tinggi dalam waktu tertentu. Pada umumnya homogenisasi digunakan untuk material yang memiliki rentang temperatur yang luas, seperti tembaga, kuningan, dan perunggu-nikel. Tujuan dilakukan *homogenizing* untuk mengurangi segregasi kimia atau metalurgi yang disebut coring. Temperatur dan waktu yang digunakan pada proses *homogenizing* bervariasi, untuk temperatur yang digunakan di atas 50°C



(90 °F) dari temperatur *solidus*. Proses *homogenizing* dapat memperbaiki sifat keuletan, kekerasan dan ketangguhan pada material. *Homogenizing* biasanya dilakukan pada logam seperti tembaga, nikel, perunggu serta pada paduan yang mengalami pendinginan tidak ekuilibrium seperti kuningan(Asm International, 1991)(ASM International, 1998a).

### 2.6.2 Annealing

*Annealing* merupakan proses perlakuan panas untuk melunakkan dan meningkatkan keuletan ataupun ketangguhan pada material. *Annealing* diterapkan pada produk tempa, selama dan setelah fabrikasi pada coran, selain itu dapat menghilangkan tegangan sisa. Proses annealing yaitu pemanasan material, ditahan pada temperatur tertentu, lalu dilanjutkan dengan pendinginan secara perlahan. Annealing dilakukan pada temperatur tertentu, pada tiap material berbeda-beda tergantung pada komposisi dan tujuan penggunaan material tersebut, umumnya pada temperatur hingga menghasilkan rekristalisasi. Semakin tinggi temperatur dan waktu tahan annealing, maka ukuran butir akan semakin besar yang menyebabkan keuletan meningkat tetapi kekerasan dan kekuatan menurun(Asm International, 1991). Pada material tembaga, temperatur yang biasa digunakan untuk annealing pada paduan tembaga dapat dilihat pada Tabel 2.5.

**Tabel 2.5** Temperatur *annealing* dari paduan Cu-Zn(Asm International, 1991).

Paduan	Nama	Temperatur (°C)
C23000	<i>Red Brass</i>	425-725
C24000	<i>Low Brass</i>	425-700
C26000	<i>Cartridge Brass</i>	425-750
C26800		
C27000	<i>Yellow Brass</i>	425-700
C27400		
C28000	<i>Muntz Metal</i>	425-600

### 2.6.3 Solution Treatment

Solution treatment merupakan proses perlakuan panas untuk mencegah terbentuknya fasa baru, hasilnya hanya fasa tunggal saja yang berada diatas garis solvus. Proses *solution treatment* dilakukan dengan memanaskan paduan pada temperatur di atas garis solvus, kemudian ditahan pada temperatur tersebut selama beberapa saat dan selanjutnya paduan tersebut di *quench* dengan media pendingin tertentu. *Solution treatment* biasanya diaplikasikan untuk perlakuan panas pada logam paduan berbasis nikel, baja paduan aluminium, paduan titanium, dan beberapa paduan berbasis tembaga((Asm International, 1991)).

### 2.7 Up-Quenching

*Up-quenching* adalah proses pendingin yang dimulai dengan melakukan *direct quenching* hingga temperatur ruang. Kemudian dilakukan proses perendaman pada media pendingin tertentu dengan *holding time* dan temperatur yang telah ditentukan. Kemudian dilakukan *direct quenching* kembali hingga temperatur ruang(Sampath, 2007). Pada penelitian ini media *up-quenching* yang digunakan berupa air dan oli.

### 2.8 Media Pendingin

Dalam proses austempering, laju pendinginan menjadi salah satu parameter yang penting. Laju pendinginan dapat disimulasikan dengan penggunaan media pendingin. Dalam proses perlakuan panas terdapat beberapa media pendingin yang digunakan. Beberapa media pendingin yang digunakan yaitu, udara, air, oli dan *brine*(Avner, 1974).

### 2.8.1 Air

Air adalah media pendingin yang paling umum digunakan dalam proses perlakuan panas dalam industri. Terdapat beberapa keuntungan dalam media pendingin air ini adalah kemudahan ketersediaan, biaya rendah dan aplikasi bebas polusi (Nayak et al., 2016). Air pada temperatur rendah adalah media pendingin yang memiliki laju pendinginan lebih tinggi dibandingkan media lainnya. Semakin rendah temperatur pada air, maka laju pendinginan semakin tinggi, sehingga temperatur pada media pendingin mempengaruhi laju pendinginan (Avner, 1974).

### 2.8.2 Oli

Oli merupakan salah satu media pendingin yang dapat digunakan untuk proses perlakuan panas. Media pendingin oli yang digunakan harus memiliki beberapa sifat, diantaranya titik nyala dan titik api yang dapat diterima, tidak mudah membentuk endapan, dan sifat penghilang panas yang sesuai. Karena media pendingin oli jelas tidak boleh terbakar saat digunakan. Media pendingin oli di klasifikasikan menjadi tiga, yaitu *conventional quenching oils*, *accelerated quenching oils*, dan *marquenching oils*.

*Conventional quenching oils* merupakan media pendingin oli yang mengandung antioksidan untuk mengurangi tingkat degradasi oksidasi dan termal. Sebagian besar oli ini memiliki viskositas dalam kisaran 100 hingga 110 SUS pada temperatur 40°C, namun beberapa viskositas hingga 200 SUS pada temperatur 40°C. *Conventional quenching oils* tidak mengandung aditif untuk meningkatkan laju pendinginan.

*Accelerated quenching oils* merupakan media pendingin oli yang berasal dari *conventional quenching oils* atau oli mineral yang mengandung satu atau lebih aditif untuk meningkatkan laju pendinginan. Viskositas oli ini bervariasi dari 40 hingga 100 SUS pada temperatur 40°C.

*Marquenching oils* merupakan media pendingin oli yang berasal dari oli mineral yang dimurnikan dengan pelarut dengan fraksi parafin yang sangat tinggi untuk mengoptimalkan stabilitas oksidasi dan termal. Biasanya digunakan pada temperatur 95°C dan 230°C. Oli ini digunakan untuk temperatur yang lebih tinggi daripada *conventional quenching oils* (Totten & Clinton, 1993). Berikut merupakan karakteristik dari ketiga oli dapat dilihat pada Tabel 2.6.

**Tabel 2.6** Karakteristik media pendingin oli (Totten & Clinton, 1993).

Jenis Oli	Bath Temperature		Titik Nyala		Jenis Viskositas pada 40°C, SUS
	°C	°F	°C	°F	
	<i>Conventional quenching oils</i>	<65	<150	170	
<i>Accelerated quenching oils</i>	<120	<250	180	355	94
<i>Marquenching oils</i>	<200	<400	300	570	700

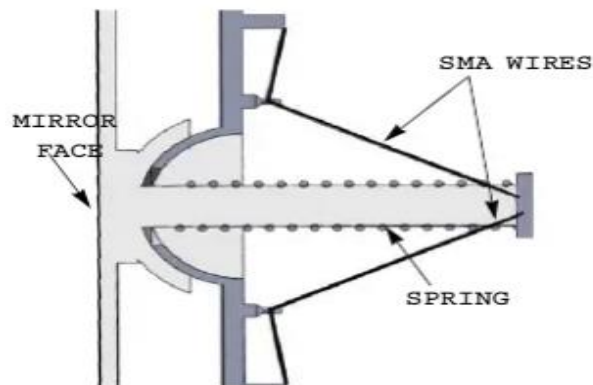
## 2.9 Shape Memory Alloy

*Shape memory alloy* (SMA) pertama kali ditemukan oleh Ame Olander pada tahun 1932. Sejak saat itu, permintaan *shape memory alloy* untuk aplikasi teknik semakin meningkat di berbagai bidang komersial seperti pada produk konsumen, otomotif, dirgantara bahkan biomedis. Paduan *shape memory alloy* berbasis NiTi dan berbasis Cu seperti Cu-Zn-Al, Cu-Al-Ni dan sebagainya. Dalam hal ini paduan berbasis NiTi paling banyak digunakan untuk aplikasi

aktuator karena memiliki sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan paduan yang lain, namun karena harganya yang mahal maka paduan berbasis Cu dapat menjadi alternatif untuk digunakan karena biaya produksi yang murah (Mohd Jani et al., 2014).

*Shape memory alloy* adalah sekelompok paduan logam yang dapat kembali ke bentuk semula ketika mengalami proses transformasi temperatur. *Shape memory alloy* terdapat dua fasa yang struktur kristal berbeda, yaitu fasa austenit yang stabil pada temperatur tinggi dan fasa martensit yang stabil pada temperatur rendah. Martensit tersebut dapat terbentuk menjadi dua, yaitu *twinned martensite* dan setelah material dilakukan deformasi menjadi *detwinned martensite* (Mohd Jani et al., 2014). Martensit didapatkan dengan cara memanaskan dari temperatur kamar hingga mencapai temperatur diatas garis solvus, kemudian ditahan selama beberapa waktu lalu dilakukan pendinginan secara cepat menggunakan media pendingin (Abidali, 2010).

Dalam bidangomotif semakin berkembang dan dibutuhkan aktuator yang lebih murah dan ringan. Terdapat berbagai aplikasi dari *shape memory alloy*, salah satunya adalah aplikasi pada aktuator, seperti cermin spion. Pada cermin spion memanfaatkan *shape memory alloy* berbentuk *wire*. Ketika salah satu *wire* dipanaskan melalui pemanasan, maka *wire* berkontraksi dan *spring* berperan untuk stabilisasi. Dengan menyesuaikan temperatur yang di alirkan kepada *wire* dapat dikendalikan dan memungkinkan memposisikan cermin ke posisi yang diinginkan, dapat dilihat pada Gambar 2.3 (Williams et al., 2010).



**Gambar 2.3** Aplikasi shape memory alloy pada cermin spion di kendaraan (Williams et al., 2010).

## 2.10 Pengujian

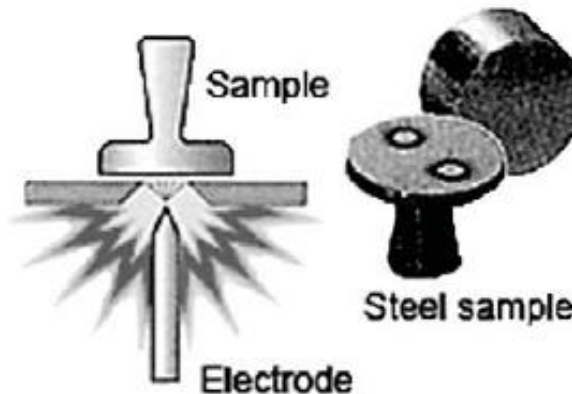
Terdapat beberapa pengujian yang dilakukan pada penelitian *shape memory alloy* ini, yaitu pengujian komposisi, pengujian kekerasan, pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD), pengujian metalografi, pengujian *Differential Scanning Calorimetry* (DSC), Pengujian *Shape Memory Effect* (SME).

### 2.10.1 Pengujian Komposisi

Pengujian komposisi dilakukan dengan pengujian *Optical Emission Spectrometry* (OES) merupakan teknik yang menggunakan radiasi elektromagnetik yang dapat diabsorpsi dari atom material. Material akan dikenakan temperatur tinggi untuk mengeksitasi atom material. Setelah tereksitasi, atom pada material kembali ke keadaan semula dengan mengemisikan energi. Kemudian intensitas cahaya yang diemisikan oleh atom pada panjang gelombang tertentu diukur dan digunakan untuk menentukan konsentrasi unsur. Ada beberapa jenis pengujian OES, yaitu Spark OES dan *Inductively Coupled Plasma* (ICP)-OES. Untuk menentukan komposisi kima dari material logam spark OES lebih dipilih, karena kecepatan analisa dan akurasi Spark OES merupakan metode paling efektif. Walaupun ICP-OES lebih akurat dibandingkan

Spark OES tetapi untuk preparasi spesimen yang relatif kurang praktis menyebabkan ICP-OES tidak disarankan terhadap pengujian material logam.

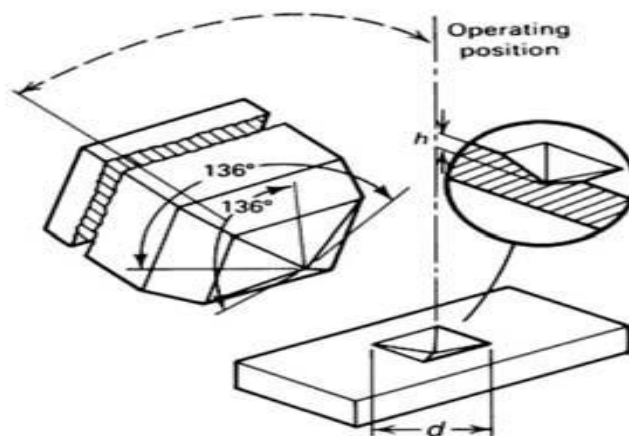
Sebagai sumber energi untuk mengeksitasi material, Spark OES menggunakan *electric discharge*. Permukaan material menjadi panas dan menguap disebabkan oleh perbedaan potensial elektrik antara elektroda dan material menghasilkan *electrical discharge*. Atom dari material tereksitasi dan mengeluarkan garis-garis emisi pada setiap unsur yang digunakan untuk mengetahui konsentrasi unsur di dalam material melalui intensitas dari cahaya yang diemisikan oleh material. Untuk ilustrasi cara kerja dari Spark OES dapat dilihat pada Gambar 2.4(Widyasusti et al., 2019).



**Gambar 2.4** Cara kerja dari spark OES(Widyasusti et al., 2019).

### 2.10.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan merupakan metode kuantitatif untuk menyatakan kekerasan pada material. Kemampuan material dalam menahan indentasi menggunakan indenter yang berupa bola (*Brinell*), piramida (*Vickers*) atau kerucut (*Rockwell*). Indenter terbuat dari baja keras atau intan. Untuk menentukan nilai kekerasan indenter diberi gaya pada permukaan material, kemudian kedalaman atau ukuran hasil indentasi dihitung untuk menentukan nilai kekerasan(Widyasusti et al., 2019).



**Gambar 2.5** Pengujian Kekerasan Metode Vickers(Widyasusti et al., 2019).

Pada penelitian ini, pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan metode Vickers sesuai dengan standar ASTM E92-17. Seperti pada Gambar 2.5, indenter yang digunakan berbentuk piramida segiempat dan terbuat dari intan dengan sudut ujung 136°, kemudian material diberi gaya eksternal sekitar 1 hingga 120 kg. kemudian dilakukan pengukuran dimensi

tapak tekan pada permukaan material dan perhitungan nilai kekerasan Vickers dihitung berdasarkan dimensi tapak tekan menggunakan Persamaan 2.1 di bawah ini.

$$HV = 1.854 \frac{P}{d^2} \quad (2.1)$$

Keterangan :

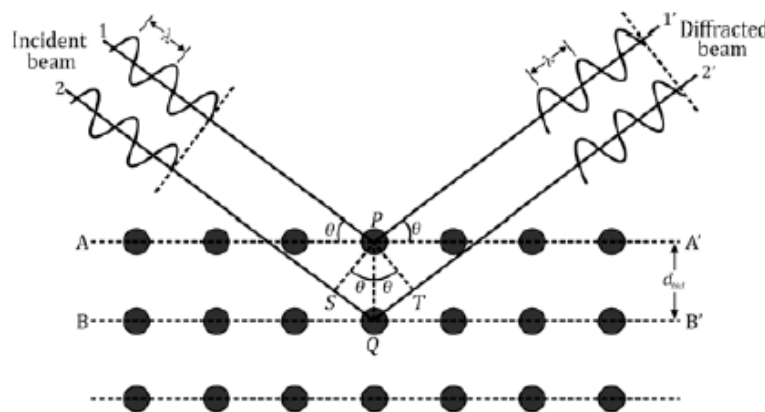
HV = Angka kekerasan Vickers (kg/mm<sup>2</sup>)

P = Beban (kg)

d = Panjang diagonal (mm)

### 2.10.3 Pengujian X-Ray Diffraction

X-Ray diffraction (XRD) merupakan metode pengujian untuk mengidentifikasi fasa. Sinar-X diberikan kepada permukaan secara terus menerus dengan sudut datang yang berubah-ubah sehingga menghasilkan sebuah spektrum intensitas difraksi dengan sudut antara sinar datang dan sinar difraksi, kemudian spektrum dibandingkan dengan sebuah basis data yang ada. Ketika sinar-X mengenai material kristalin maka akan didifraksikan oleh bidang kristalografi. Jika terdapat dua gelombang dalam satu fasa yang terdefleksi oleh dua bidang kristal, gelombang tersebut dapat dikatakan satu fasa jika memenuhi persamaan Bragg. Dapat dilihat pada Gambar 2.6 difraksi Bragg oleh bidang kristal (Widyasusti et al., 2019).



**Gambar 2.6** Difraksi bragg oleh bidang kristal (Widyasusti et al., 2019).

Untuk persamaan Bragg, dapat dilihat pada Persamaan 2.2 dibawah ini:

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

Keterangan :

n = Orde difraksi

$\lambda$  = Panjang gelombang sinar-X

d = Jarak antar kisi kristal

$\theta$  = Sudut sinar datang

### 2.10.4 Pengujian Metalografi

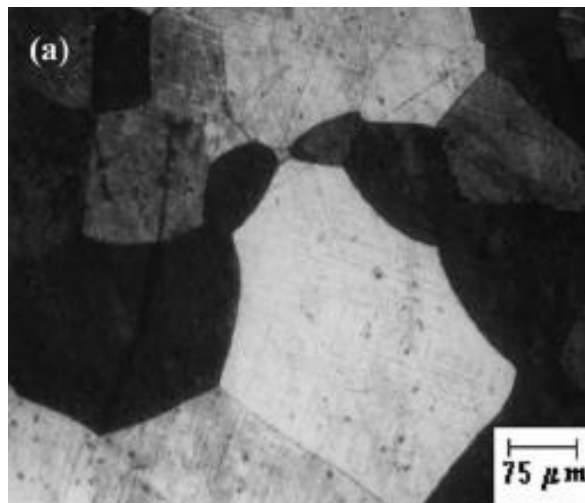
Metalografi merupakan studi tentang struktur mikro berbagai logam, untuk menganalisis mengenai ukuran butir, struktur fasa. Beberapa tahap preparasi spesimen untuk pengujian metalografi, yaitu pemotongan material agar dapat di observasi menggunakan mikroskop (sectioning), pemberian resin untuk dudukan spesimen (mounting), meratakan permukaan material dan menghilangkan kerusakan permukaan akibat pemotongan (grinding), menghaluskan material menggunakan diamond abrasive (polishing), pengeetsaan material (etching), melakukan observasi menggunakan mikroskop (Akca & Trgo, 2015).

### 2.10.5 Pengujian *Differential Scanning Calorimetry*

Pengujian *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) merupakan metode untuk memantau panas yang dihasilkan atau diserap pada suatu material, dengan memaparkan material dari  $T_{min}$  hingga  $T_{max}$ . Metode ini bertujuan untuk mendeteksi dan mengkarakterisasi reaksi kimia dan transisi fasa yang terjadi di material (Thierry-Jebali et al., 2013). Pada paduan Cu-Zn-Al *shape memory alloy*, *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) bertujuan untuk mengetahui temperatur transformasi dari martensit dan austenit. Transformasi martensit yang disebabkan oleh pendinginan disertai dengan maksimum eksotermis, sedangkan reverse transformation dari martensit menjadi austenit pada pemanasan disertai dengan puncak endotermik (Lohan et al., 2018).

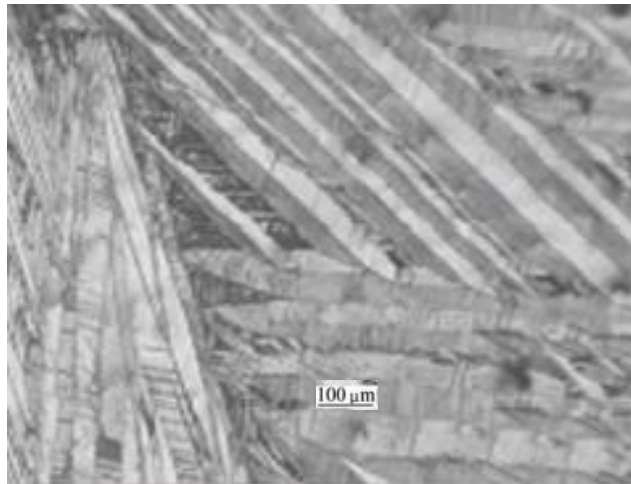
### 2.11 Penelitian Sebelumnya

Pada tahun 2007, Sampath melakukan penelitian mengenai pengaruh dari proses termal terhadap struktur mikro, dan karakteristik *shape memory* pada paduan Cu-Zn-Al. Komposisi paduan yang digunakan adalah Cu-30,36% Zn-2,19% Al. Kemudian paduan diberikan perlakuan panas yaitu *homogenizing* pada temperatur 800°C selama 2 jam. Selanjutnya sampel yang diberikan perlakuan panas *solution treatment* pada temperatur 800°C selama 30 menit, dilanjutkan dengan metode *up-quenching*. Pada *up-quenching* dilakukan pendinginan cepat dengan media air bertemperatur ruangan kemudian sampel dipindahkan ke *water bath* bertemperatur 100°C selama 10 menit, lalu di *quenching* dengan air bertemperatur ruangan (Sampath, 2007). Berdasarkan hasilnya, pada *up-quenching* dengan media pendingin air menghasilkan fasa austenit sepenuhnya, dapat dilihat berdasarkan Gambar 2.7



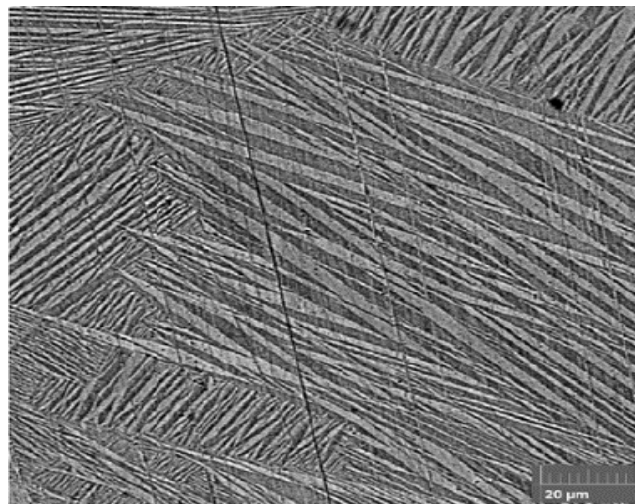
**Gambar 2.7** Struktur mikro *up-quenching holding time* 10 menit pada media pendingin air (Sampath, 2007).

Pada tahun 2014, Wang dan kawan-kawan melakukan penelitian mengenai pengaruh laju *recovery heating* pada *shape memory effect* dari proses *up-quenching*. Komposisi paduan yang digunakan adalah Cu-8,22% Al-10,27% Mn. Kemudian paduan dilakukan proses *homogenizing* pada temperatur 1093 K selama 23 jam. Selanjutnya, dilakukan proses *machining* untuk membentuk *wire* berdiameter 1,5 mm. Kemudian dilakukan *solution treatment* pada temperatur 1123 K selama 15 menit, dilanjutkan dengan metode *up-quenching*. Pada *up-quenching* dilakukan pendinginan cepat dengan media air bertemperatur ruangan kemudian sampel dipindahkan ke *water bath* bertemperatur 100°C selama 15 menit, lalu di *quenching* dengan air bertemperatur ruangan (Wang et al., 2014). Berdasarkan hasilnya, pada struktur mikro terlihat sebagian besar terdiri dari martensit, dapat dilihat berdasarkan Gambar 2.8



**Gambar 2.8** Struktur mikro *up-quenching holding time* 15 menit pada media pendingin air(Wang et al., 2014).

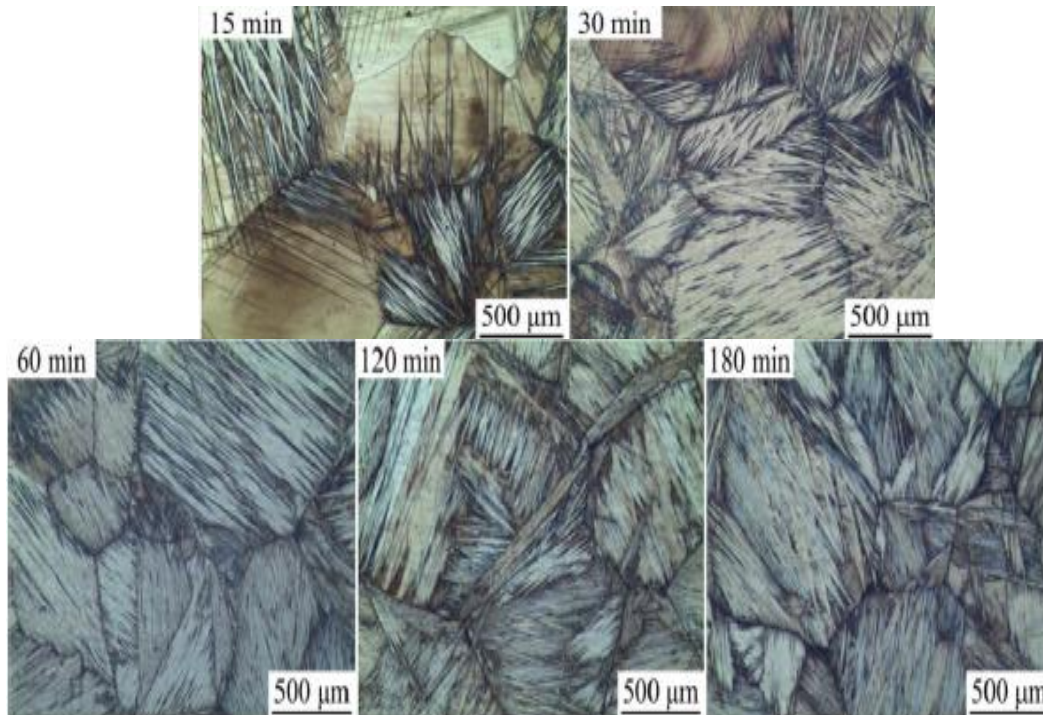
Pada tahun 2017, Stosic dan kawan-kawan melakukan penelitian mengenai pengaruh komposisi dan perlakuan panas dari paduan Cu-Zn-Al dengan konten aluminium yang rendah terhadap struktur mikro dan temperatur transformasi. Komposisi paduan yang digunakan adalah Cu-25%Zn-4%Al. Kemudian paduan dilakukan proses *solution treatment* pada temperatur 850°C selama 30 menit. Pada *up-quenching* dilakukan pendinginan cepat dengan media pendingin air bertemperatur ruangan, kemudian di masukkan kedalam air mendidih bertemperatur 100°C selama 30 menit, lalu di didinginkan kembali kedalam air bertemperatur ruangan. Pada paduan Cu-25%Zn-4%Al *up-quenching* menghasilkan fasa martensit sepenuhnya.(Stošić et al., 2017) Martensit terbentuk seperti jarum pada *shape memory alloy* disebut *twinned martensite*, dapat dilihat berdasarkan Gambar 2.9



**Gambar 2.9** Struktur mikro *up-quenching holding time* 30 menit pada media pendingin air(Stošić et al., 2017).

Pada tahun 2019, Wen Huang dan kawan-kawan melakukan penelitian mengenai pengaruh waktu *up-quenching* terhadap struktur mikro. Komposisi paduan yang digunakan adalah Cu-16,59Al-10,55Mn. Sampel dilakukan *solution treatment* pada temperatur 900°C selama 15 menit dan kemudian dilakukan pendinginan cepat dengan media pendingin air

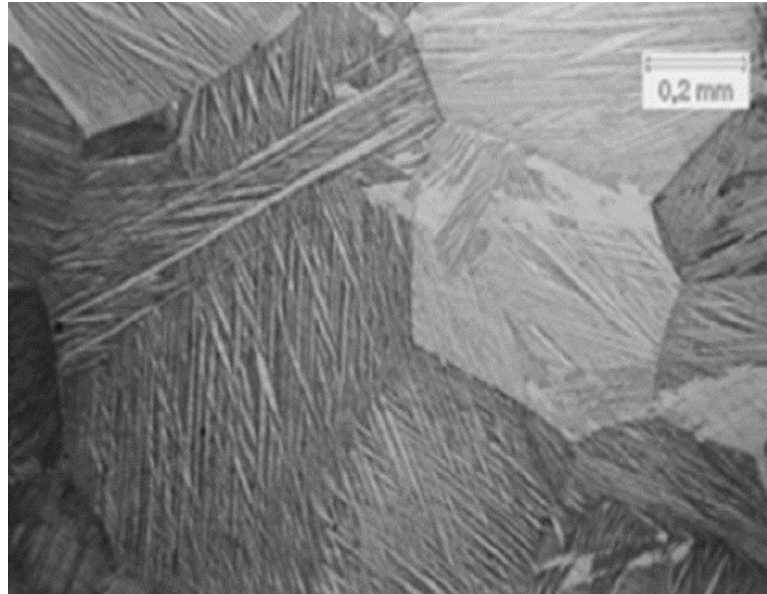
bertemperatur ruangan, lalu dimasukkan kedalam air mendidih bertemperatur 100°C dengan beberapa variasi *holding time*, yaitu 15 menit, 30 menit, 60 menit, 120 menit dan 180 menit. Kemudian didinginkan kembali kedalam air bertemperatur ruangan. Berdasarkan hasilnya, pada *holding time* diatas 15 menit semakin banyak fasa martensit ketika meningkat *holding time*. Setelah diatas 60 menit, fasa induk hampir tidak ada. (Huang et al., 2019) Dapat dilihat berdasarkan Gambar 2.10



**Gambar 2.10** Struktur mikro *up-quenching holding time* 15, 30, 60, 120, dan 180 menit pada media pendingin air (Huang et al., 2019).

Pada tahun 2021, Vanja Asanovic dan kawan-kawan melakukan penelitian mengenai pengaruh komposisi dan media pendingin terhadap regangan dipulihkan pada paduan Cu-Zn-Al. Komposisi paduan yang digunakan adalah Cu-21,6%Zn-5,64%Al. Ingot dari hasil pengecoran di preparasi, kemudian spesimen diberi perlakuan panas homogenizing pada temperatur 850°C selama 2 jam. Kemudian diikuti proses quenching dengan menggunakan air hingga temperatur ruangan. Selanjutnya dilakukan proses *cold rolling* untuk meningkatkan workability pada temperatur rendah. Kemudian dilakukan proses annealing pada temperatur 500 °C selama 60 menit, selanjutnya spesimen didinginkan di udara. Proses perlakuan panas selanjutnya adalah solution treatment pada temperatur 890°C selama 10 menit. Kemudian dilakukan proses *up-quenching* yang dilakukan dengan mendinginkan spesimen pada media pendingin air, kemudian dilakukan pemanasan dengan menggunakan media oli yang bertemperatur 100°C selama 10 menit dan didinginkan kembali menggunakan media pendingin air. Berdasarkan hasilnya pada spesimen yang dilakukan *up-quenching* menghasilkan fasa martensit. Selain itu, *shape memory recovery* yang dihasilkan oleh spesimen yang dilakukan *up-quenching* sebesar 85-87% (Asanovic et al., 2021). Untuk struktur mikro dapat dilihat berdasarkan Gambar 2.11





**Gambar 2.11** Struktur mikro *up-quenching* holding time 10 menit pada media pendingin oli(Asanovic et al., 2021).

Pada tahun 2022, Farhan melakukan penelitian mengenai pengaruh media pendingin *up-quenching* dan *holding time artificial aging* terhadap struktur mikro dan kekerasannya. Komposisi paduan yang digunakan adalah Cu-14,6Zn-7,41Al. Sampel dilakukan homogenizing pada temperatur 850°C selama 2 jam, lalu dilakukan proses annealing pada temperatur 500°C selama 4 jam dan dilakukan proses solution treatment pada temperatur 850°C selama 10 menit. Kemudian sampel dilakukan pendinginan cepat dengan media pendingin air bertemperatur ruangan, lalu dimasukkan kedalam air dan oli yang mendidih selama 10 menit. Kemudian didinginkan kembali kedalam air bertemperatur ruangan. Berdasarkan hasilnya, pada *up-quenching* dengan media pendingin air terdapat fasa  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  dan  $\beta'$ . Pada *up-quenching* dengan media pendingin oli terdapat fasa  $\beta$ ,  $\beta'$  dan  $\gamma$ , hampir tidak terlihat fasa  $\alpha$ . Selain itu, nilai kekerasan pada media pendingin oli lebih tinggi daripada nilai kekerasan pada media pendingin air hal tersebut karena terdapat fasa  $\alpha$  pada media pendingin air yang memiliki sifat ulet dan struktur kristal FCC(Herdiansyah, 2022). Untuk struktur mikro dapat dilihat berdasarkan Gambar 2.12



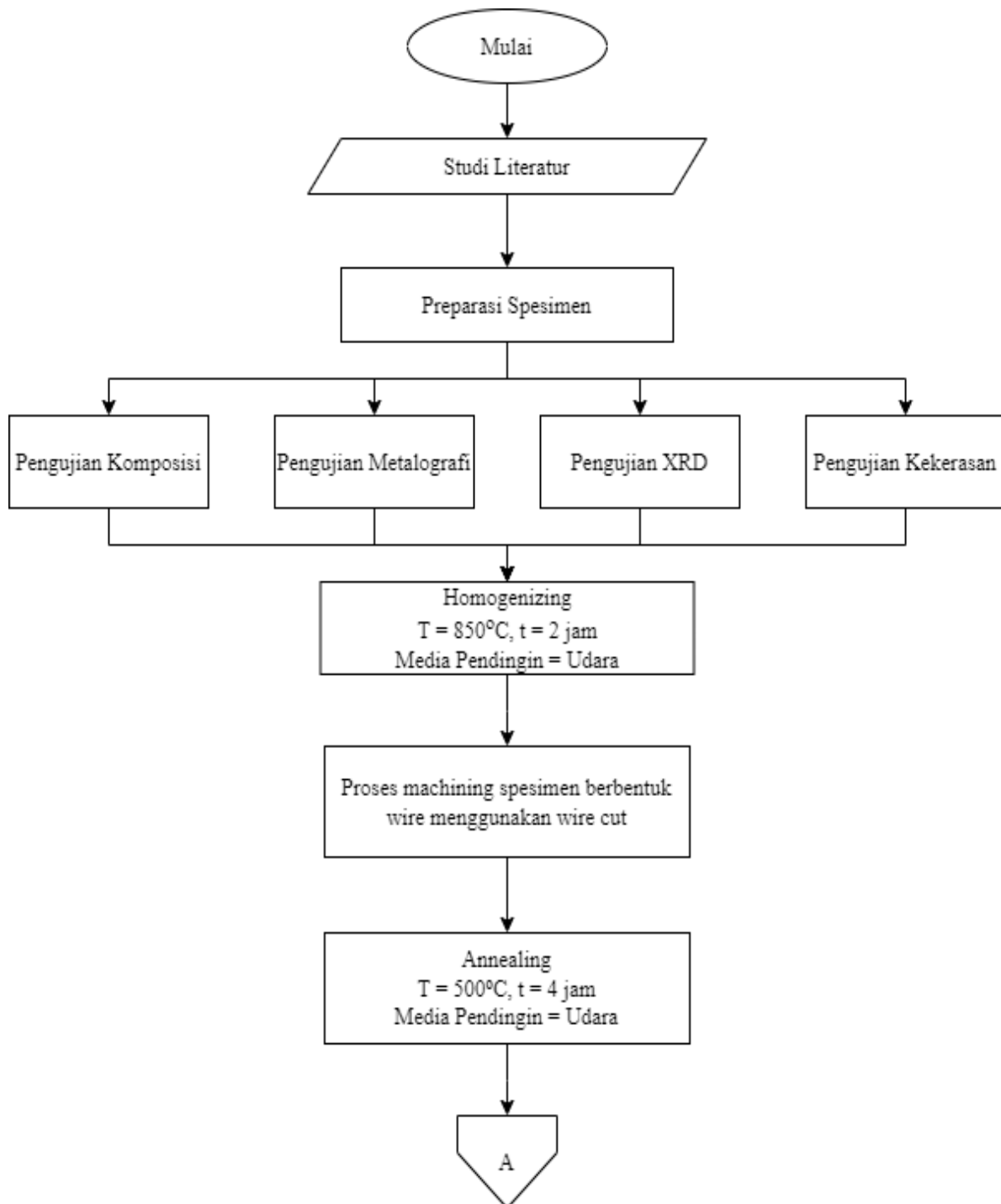
**Gambar 2.12** Struktur mikro *up-quenching* holding time 10 menit dengan media pendingin (a)air, (b) oli(Herdiansyah, 2022).

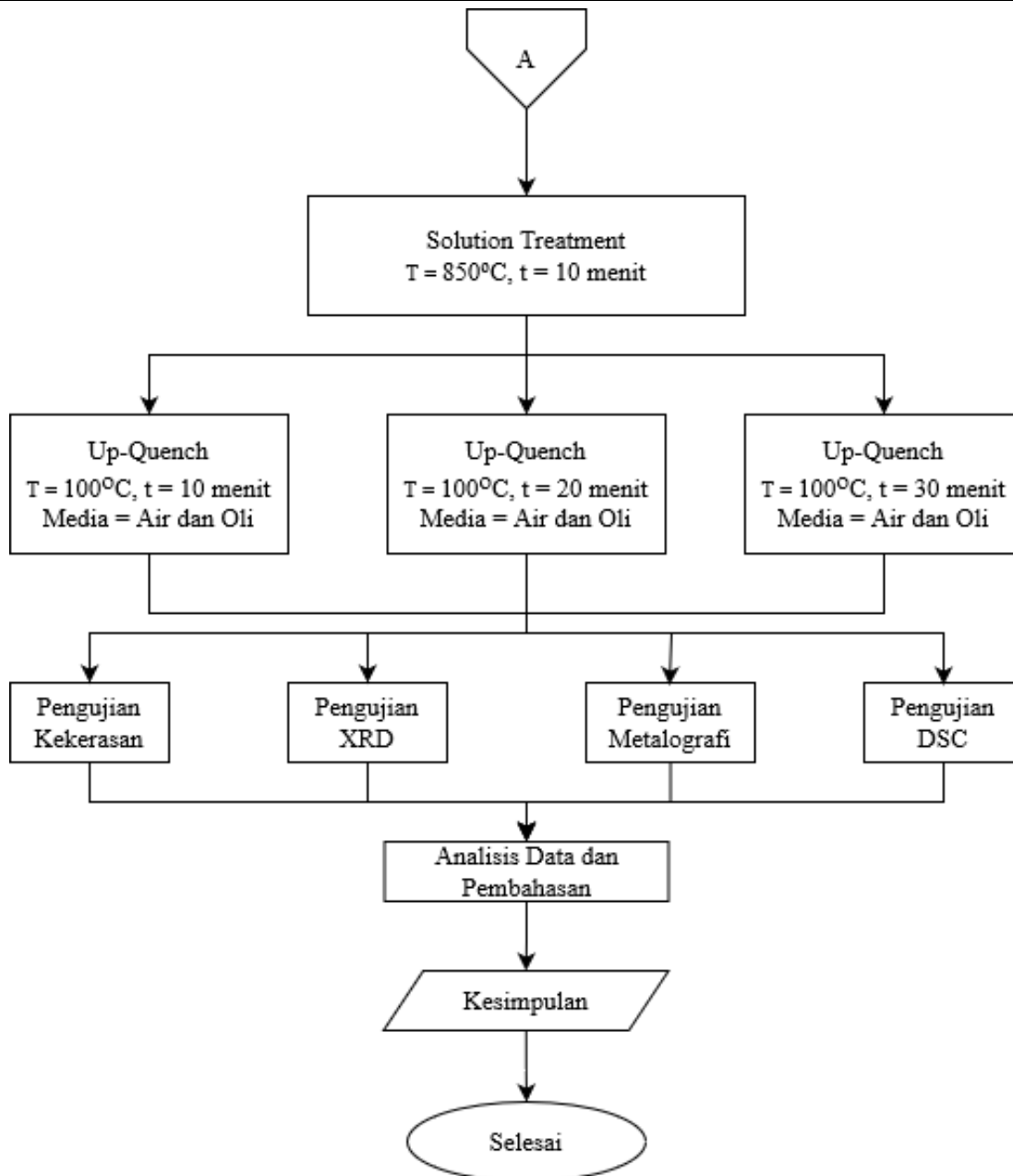
*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir

Diagram alir yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:





Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.

### 3.2 Alat Penelitian

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut. Gelas ukur, alat ini digunakan untuk mengukur bahan pembuatan larutan etsa yang akan dicampurkan. *Beaker glass*, alat ini digunakan untuk mencampur bahan larutan etsa yang akan digunakan dalam proses *etching* spesimen. Gerinda tangan, alat ini digunakan untuk melakukan proses preparasi dan *machining* pada spesimen. Kertas abrasif, alat ini digunakan untuk melakukan proses *grinding* pada spesimen untuk keperluan pengujian metalografi. Mesin grinding dan polishing, alat ini digunakan untuk melakukan proses *grinding* dan *polishing* pada spesimen untuk pengujian metalografi. Alat *wire cut*, alat ini digunakan untuk memotong spesimen paduan Cu-Zn-Al *shape memory alloy* yang digunakan untuk preparasi pengujian *shape memory effect*. *Electric furnace*, alat ini digunakan untuk melakukan proses perlakuan panas dengan memanaskan spesimen pada temperatur tertentu. *Waterbath* dan *oilbath*, alat ini

digunakan untuk proses *up-quenching* yang berfungsi untuk menginkubasi spesimen di dalam media pendingin air dan oli pada temperatur konstan dalam periode waktu tertentu.

### 3.3 Alat Pengujian

Adapun alat pengujian yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Alat Pengujian Komposisi  
Alat yang digunakan untuk menguji komposisi kimia yang terkandung di dalam paduan Cu-Zn-Al.
2. Alat Pengujian Kekerasan  
Alat ini digunakan untuk mengukur nilai kekerasan dari paduan Cu-Zn-Al sebelum dan sesudah perlakuan panas. Alat uji kekerasan yang digunakan pada penelitian ini merupakan milik Laboratorium Metalurgi dan Manufaktur Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS.
3. Alat Pengujian XRD  
Alat ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa yang terbentuk pada spesimen uji dengan cara menembakkan sinar-X pada spesimen. Alat pengujian XRD yang digunakan bertipe PAN Analytical XRD merupakan milik Laboratorium Karakterisasi Material Departemen Teknik Material ITS.
4. Mikroskop Optik  
Alat ini digunakan untuk melakukan pengujian metalografi guna menganalisa struktur mikro spesimen paduan Cu-Zn-Al.
5. Alat Pengujian DSC  
Alat ini digunakan untuk mengetahui temperatur transformasi fasa pada spesimen. Alat ini mendeteksi perubahan kalor secara eksotermik maupun endotermik yang menandakan terjadinya awal dan akhir perubahan fasa pada temperatur tertentu.

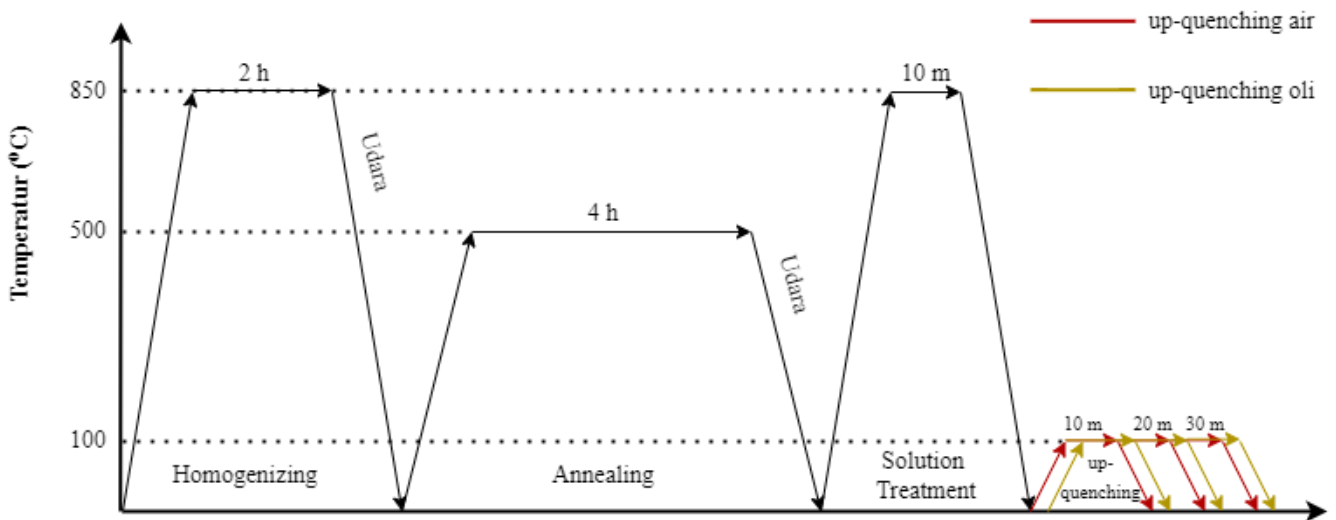
### 3.4 Bahan Penelitian

Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Paduan Cu-Zn-Al  
Paduan yang digunakan untuk penelitian ini yaitu paduan Cu-Zn-Al dengan komposisi sesuai berdasarkan *ASM Handbook Volume 2*.
2. Bahan Etsa  
Bahan etsa yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan Alaneme pada tahun 2018. Adapun bahannya sebagai berikut.
  - a. 5 FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O
  - b. 10 ml HCl
  - c. 95 ml Etanol
3. Air  
Air pada penelitian ini digunakan sebagai media pendingin, berupa aquades.
4. Oli  
Oli pada penelitian ini digunakan sebagai media pendingin. Jenis oli yang digunakan adalah SAE 30.

### 3.5 Kurva Perlakuan Panas

Adapun kurva perlakuan panas yang digunakan pada penelitian adalah *homogenizing*, *annealing* dan *solution treatment* dengan variasi media pendingin *up quenching* dan *holding time up quenching* sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 3.2 berikut.



Gambar 3.2 Kurva perlakuan panas.

### 3.6 Prosedur Penelitian

Prosedur pada penelitian ini terdiri dari beberapa tahap diantaranya adalah sebagai berikut.

#### 3.6.1 Prosedur Proses Perlakuan Panas *Homogenizing*

Adapun prosedur proses perlakuan panas *homogenizing* pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

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

#### 3.6.2 Prosedur Proses Perlakuan Panas *Annealing*

Adapun prosedur proses perlakuan panas *annealing* pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Spesimen disiapkan.
2. *Electric Furnace* untuk proses perlakuan panas disiapkan.
3. Spesimen dimasukkan ke dalam *electric furnace*, kemudian dipanaskan hingga temperatur 500°C dan ditahan selama 4 jam.
4. Spesimen dikeluarkan dari *electric furnace* dan dibiarkan dingin dengan media pendingin udara.

#### 3.6.3 Prosedur Proses Perlakuan Panas *Solution Heat Treatment*

Adapun prosedur proses perlakuan panas *solution treatment* pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Spesimen disiapkan.

2. *Electric furnace* untuk proses perlakuan panas disiapkan.
3. Spesimen dimasukkan ke dalam *electric furnace*, kemudian dipanaskan hingga temperatur 850°C dan ditahan selama 10 menit.
4. Spesimen dikeluarkan dari *electric furnace* dan dimasukkan ke dalam media pendingin air.
5. Spesimen dimasukkan ke dalam media *up-quench* air dan oli bertemperatur 100°C selama 10 menit dan dimasukkan kembali ke dalam media pendingin air.
6. Langkah 1-5 diulangi, namun pada *up-quench* ditahan selama 20 menit dan 30 menit.

### 3.7 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian pada penelitian ini terdapat enam pengujian yaitu: pengujian komposisi, pengujian kekerasan, pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD), pengujian metalografi, pengujian *Differential Scanning Calorimetry* (DSC).

#### 3.7.1 Pengujian Komposisi

Pengujian komposisi dilakukan untuk mengidentifikasi unsur kimia pada spesimen. Menggunakan *Optical Emission Spectroscopy* yaitu dengan menggunakan radiasi elektromagnetik yang dapat diabsorpsi atau diemisikan dari atom spesimen.

#### 3.7.2 Pengujian *X-Ray Diffraction*

Pengujian *X-Ray Diffraction* atau XRD pada penelitian ini digunakan untuk mengetahui fasa dan juga struktur kristal yang terbentuk pada material yang digunakan pada penelitian ini dengan memancarkan sinar x pada spesimen uji.

#### 3.7.3 Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi dilakukan melalui pengamatan menggunakan *Metallurgical Microscope* OLYMPUS BX51MRF. Dengan mengamati topografi dan struktur mikro pada suatu material yang telah dipreparasi dan diamati dengan menggunakan mikroskop. Larutan etsa yang digunakan mengacu pada Alaneme pada tahun 2018.

#### 3.7.4 Pengujian *Differential Scanning Calorimetry*

Alat uji *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) merupakan sebuah alat yang dapat mengukur kalor yang terserap atau dikeluarkan dari sebuah material saat material tersebut dipanaskan dan didinginkan pada rentang temperatur transformasi tertentu. Terdapat 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. Pengujian DSC pada paduan *shape memory alloy* mempunyai tujuan untuk mencari transformasi temperatur  $M_s$ ,  $M_f$ ,  $A_s$ , dan  $A_f$ , dimana transformasi temperatur dapat menimbulkan sifat *shape memory effect*.

#### 3.7.5 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan dengan menggunakan metode Vickers. Spesimen dipreparasi hingga permukaannya halus dan diberikan indentasi dengan standar ASTM E92-17.

### 3.8 Jadwal Penelitian

Rencana jadwal penelitian secara terperinci dapat dilihat pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Jadwal Penelitian

Kegiatan	Bulan															
	Maret				April				Mei				Juni			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Studi Literatur	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Bimbingan	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Persiapan Alat dan Bahan				■	■	■										
Pengujian Komposisi					■	■										
Perlakuan Panas						■	■	■	■	■	■					
Pengujian XRD						■	■	■	■	■	■	■				
Pengujian Metalografi						■	■	■	■	■	■	■				
Pengujian DSC							■	■	■	■	■	■	■			
Pengujian Kekerasan										■	■	■	■	■		
Penyusunan Laporan Akhir									■	■	■	■	■	■	■	■



### 3.9 Rancangan Penelitian

Rancangan dari penelitian yang dilakukan terdapat pada Tabel 3.2.

**Tabel 3.2** Rancangan Penelitian

Nama Spesimen	<i>Media Pendingin Up Quenching</i>	<i>Holding Time Up Quenching</i>	Pengujian				
			<i>OES</i>	<i>XRD</i>	<i>Metalografi</i>	<i>Kekerasan</i>	<i>DSC</i>
<i>As Cast</i>	-	-	✓	✓	✓	✓	-
<i>As Cast (Homogenizing)</i>	-	-	-	-	-	-	-
<i>As Cast (Annealing)</i>	-	-	-	-	-	-	-
<i>UQW10</i>	<i>Water</i>	<i>10 min</i>	-	✓	✓	✓	-
<i>UQW20</i>	<i>Water</i>	<i>20 min</i>	-	✓	✓	✓	-
<i>UQW30</i>	<i>Water</i>	<i>30 min</i>	-	✓	✓	✓	-
<i>UQO10</i>	<i>Oil</i>	<i>10 min</i>	-	✓	✓	✓	-
<i>UQO20</i>	<i>Oil</i>	<i>20 min</i>	-	✓	✓	✓	-
<i>UQO30</i>	<i>Oil</i>	<i>30 min</i>	-	✓	✓	✓	✓

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Pengujian Komposisi

Spesimen paduan Cu-Zn-Al telah dibuat dengan proses pengecoran, lalu paduan telah dilakukan pengujian komposisi dengan menggunakan pengujian *Optical Emission Spectroscopy* (OES) yang dilakukan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Hasil yang didapat dari spesimen paduan Cu-Zn-Al ditunjukkan pada Tabel 4.1 berikut.

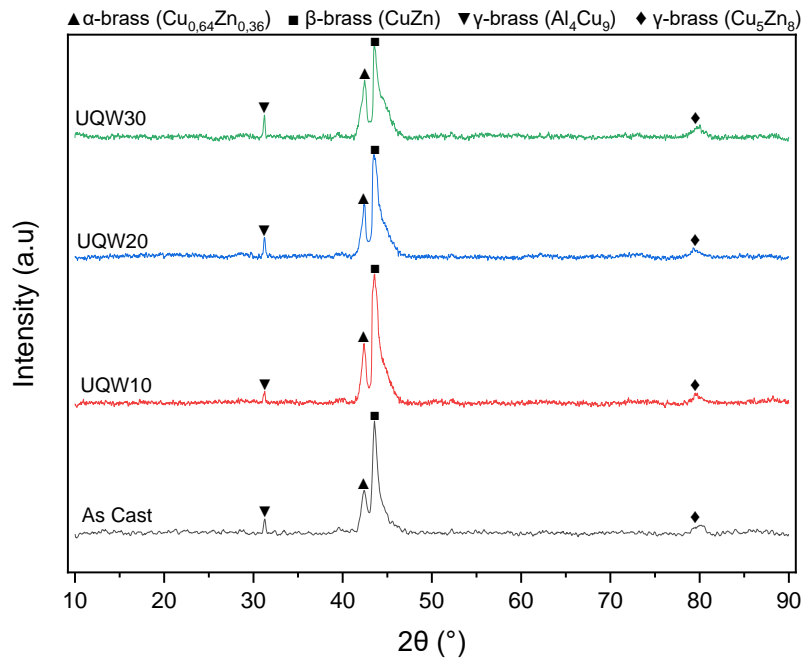
**Tabel 4.1** Hasil Pengujian Komposisi Paduan Cu-Zn-Al.

Keterangan	Komposisi		
	Cu(%)	Zn(%)	Al(%)
Hasil Pengujian ASM	<i>Bal.</i>	16,8	6,99
<i>Handbook</i> Vol. 2	<i>Bal.</i>	10-30	5-10

Berdasarkan hasil pengujian komposisi, menunjukkan komposisi Zn sebesar 16,8% dan Al sebesar 6,99%. Spesimen paduan dapat dinamakan Cu-16,8Zn-6,99Al. Komposisi paduan tersebut berada di rentang komposisi shape memory alloy pada standar komposisi berdasarkan ASM Handbook Vol. 2.

### 4.2 Hasil Pengujian X-Ray Diffraction

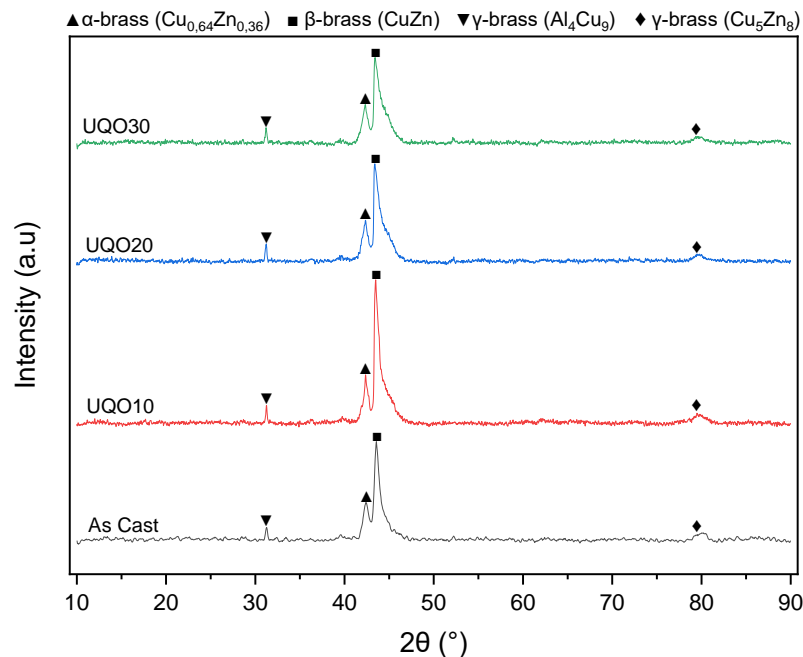
Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) telah dilakukan pada spesimen paduan Cu-16,8Zn-6,99Al menggunakan alat *X-Ray Diffraction PANalytica* untuk mengidentifikasi fasa, senyawa, serta struktur kristal. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS. Spesimen yang diujikan diantaranya As Cast yang belum dilakukan perlakuan panas serta spesimen *solution treatment* dengan metode *up-quenching* menggunakan media air, spesimen UQW10 (*holding time* 10 menit), UQW20 (*holding time* 20 menit), UQW30 (*holding time* 30 menit). Selanjutnya pada spesimen *solution treatment* dengan metode *up-quenching* menggunakan media oli, spesimen UQO10 (*holding time* 10 menit), UQO20 (*holding time* 20 menit), UQO30 (*holding time* 30 menit). Data pengujian yang telah diperoleh selanjutnya diolah dengan menggunakan *software High Score Plus* untuk membandingkan peak yang terbentuk sesuai dengan database dari *International Centre for Diffraction* (ICDD) yang sesuai dengan fasa yang terdapat pada spesimen tersebut.



**Gambar 4.1** Hasil pengujian XRD Cu-16,8Zn-6,99Al metode *up-quenching* air.

Dari hasil pengujian XRD seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1, merupakan pengujian spesimen paduan Cu-16,8Zn-6,99Al tanpa perlakuan panas *As Cast* dan spesimen yang telah dilakukan *solution treatment* dengan metode *up-quenching* menggunakan media pendingin air. Dapat diketahui bahwa pada spesimen tanpa perlakuan panas *As Cast* terdapat fasa  $\alpha$ -brass ( $\text{Cu}_{0,64}\text{Zn}_{0,36}$ ) yang terletak pada posisi  $2\theta$   $42,325^\circ$ , dengan struktur kristal kubik sesuai dengan kode referensi ICDD 00-050-1333. Selanjutnya, terdapat fasa  $\beta$ -brass (CuZn) yang terletak pada posisi  $2\theta$   $43,473^\circ$ , dengan struktur kristal kubik sesuai dengan kode referensi ICDD 00-002-1231. Lalu, terdapat fasa  $\gamma$ -brass ( $\text{Cu}_5\text{Zn}_8$ ) yang terletak pada posisi  $2\theta$   $79,321^\circ$ , dengan struktur kristal kubik sesuai dengan kode referensi ICDD 03-065-6566. Kemudian, terdapat fasa  $\gamma$ -brass ( $\text{Al}_4\text{Cu}_9$ ) yang terletak pada posisi  $2\theta$   $30,799^\circ$ , dengan struktur kristal kubik sesuai dengan kode referensi ICDD 03-065-7542.

Untuk spesimen *solution treatment* dengan metode *up-quenching* menggunakan media pendingin air dengan variasi *holding time* 10, 20, dan 30 menit. Fasa yang teridentifikasi diantaranya fasa  $\alpha$ -brass ( $\text{Cu}_{0,64}\text{Zn}_{0,36}$ ) yang terletak pada posisi  $2\theta$   $42,325^\circ$ , dengan struktur kristal kubik sesuai dengan kode referensi ICDD 00-050-1333. Selanjutnya, terdapat fasa  $\beta$ -brass (CuZn) dengan intensitas tertinggi dibandingkan fasa lainnya, yang terletak pada posisi  $2\theta$   $43,473^\circ$ , dengan struktur kristal kubik sesuai dengan kode referensi ICDD 00-002-1231. Lalu, terdapat fasa  $\gamma$ -brass ( $\text{Cu}_5\text{Zn}_8$ ) yang terletak pada posisi  $2\theta$   $79,321^\circ$ , dengan struktur kristal kubik sesuai dengan kode referensi ICDD 03-065-6566. Kemudian, terdapat fasa  $\gamma$ -brass ( $\text{Al}_4\text{Cu}_9$ ) yang terletak pada posisi  $2\theta$   $30,799^\circ$ , dengan struktur kristal kubik sesuai dengan kode referensi ICDD 03-065-7542.



**Gambar 4.2** Hasil pengujian XRD Cu-16,8Zn-6,99Al metode *up-quenching* oli.

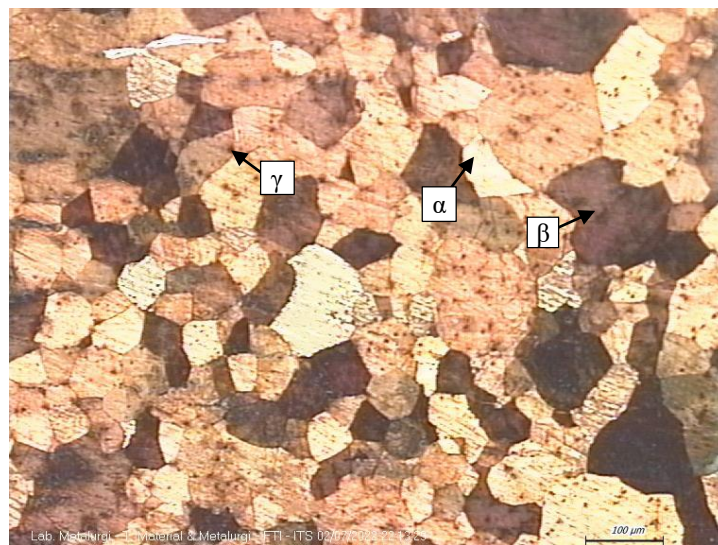
Pada Gambar 4.2 diatas merupakan hasil pengujian XRD pada spesimen paduan Cu-16,8Zn-6,99Al yang telah dilakukan *solution treatment* dengan metode *up-quenching* menggunakan media pendingin oli dengan variasi holding time 10, 20, dan 30 menit. Pada hasil pengujian ditemukan fasa  $\alpha$ -brass ( $\text{Cu}_{0.64}\text{Zn}_{0.36}$ ) yang terletak pada posisi  $2\theta$  42,325°, dengan struktur kristal kubik sesuai dengan kode referensi ICDD 00-050-1333. Selanjutnya, terdapat fasa  $\beta$ -brass (CuZn) merupakan fasa dengan intensitas tertinggi dibandingkan dengan lainnya, yang terletak pada posisi  $2\theta$  43,473°, dengan struktur kristal kubik sesuai dengan kode referensi ICDD 00-002-1231. Lalu, terdapat fasa  $\gamma$ -brass ( $\text{Cu}_5\text{Zn}_8$ ) yang terletak pada posisi  $2\theta$  79,321°, dengan struktur kristal kubik sesuai dengan kode referensi ICDD 03-065-6566. Kemudian, terdapat fasa  $\gamma$ -brass ( $\text{Al}_4\text{Cu}_9$ ) yang terletak pada posisi  $2\theta$  30,799°, dengan struktur kristal kubik sesuai dengan kode referensi ICDD 03-065-7542.

Pada sistem biner paduan Cu-Zn, ketika kandungan Al lebih dari 6%, akan terjadi dekomposisi menjadi fasa  $\alpha$  dan  $\gamma$  ( $\text{Cu}_5\text{Zn}_8$ ) pada temperatur 427 °C. Sedangkan pada sistem biner paduan Cu-Al, fasa  $\beta$  akan mengalami dekomposisi menjadi  $\alpha$  dan  $\gamma$  ( $\text{Cu}_4\text{Al}_9$ ) pada temperatur 565°C(K. & Wayman, 1998). Ketika laju pendinginan tidak cukup lambat, maka fasa  $\beta$  (CuZn) akan tetap ada hingga temperatur kamar (Higgins, 1999). Paduan Cu-Zn-Al memiliki fasa  $\alpha$ ,  $\beta$ , dan  $\gamma$ . Fasa  $\alpha$  dan  $\gamma$  secara umum dihindari karena tidak dapat bertransformasi menjadi martensit, dan masing-masing memiliki sifat sangat lunak dan sangat keras. Fasa  $\beta$  adalah satu-satunya fasa yang berguna dikarenakan dapat bertransformasi menjadi martensit(Bujoreanu, 2008). Proses *solution treatment* dilakukan untuk mendapatkan fasa martensit pada temperatur ruang. *Solution treatment* dilakukan dengan cara memanaskan spesimen hingga mencapai temperatur austenisasi yang ditahan selama beberapa waktu untuk proses pelarutan fasa  $\alpha$  dan  $\gamma$  kedalam fasa  $\beta$ . Kemudian paduan didinginkan secara cepat menuju temperatur kamar sehingga fasa  $\alpha$  dan  $\gamma$  tidak sempat berdifusi dan didapatkan fasa martensit(Callister, 2009). Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 terlihat bahwa pada spesimen paduan Cu-16,8Zn-6,99Al yang telah dilakukan *solution treatment* dengan *up-quenching* menggunakan media pendingin air dan oli memiliki fasa  $\alpha$ ,  $\beta$ , dan  $\gamma$  yang memiliki peak sama dengan spesimen *as cast* tanpa perlakuan. Hal tersebut menunjukkan

bahwa proses *solution treatment* yang telah dilakukan belum cukup untuk mempertahankan fasa martensit di temperatur kamar.

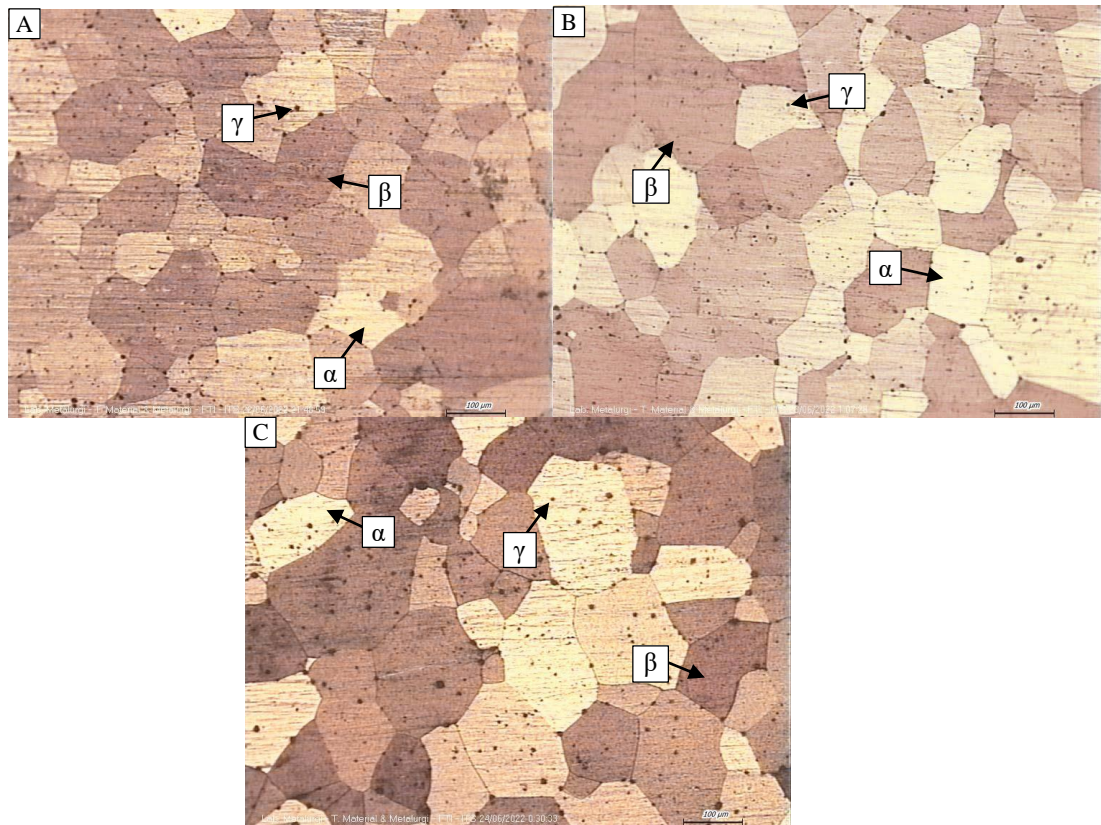
### 4.3 Hasil Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi telah dilakukan pada spesimen paduan Cu-16,8Zn-6,99Al menggunakan Metallurgical Microscope OLYMPUS BX51M-RF untuk mengetahui struktur mikro yang terbentuk. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Metalurgi dan Manufaktur Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS ITS. Pengujian spesimen dilakukan setelah proses preparasi spesimen *As Cast*, spesimen yang telah dilakukan *solution treatment* dengan metode *up-quenching* menggunakan media pendingin air dan oli dengan *holding time* 10 menit, 20 menit, dan 30 menit. Sebelum dilakukan pengujian, spesimen telah dipreparasi terlebih dahulu dengan proses grinding menggunakan kertas amplas, polishing dengan autosol, dan juga dilakukan proses etsa menggunakan larutan etsa khusus untuk paduan Cu-Zn-Al sesuai dengan komposisi 5gr FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O, 10ml HCL, dan 95ml etanol(Alaneme, 2018). Metode etsa yang dilakukan adalah dengan metode immerse selama 10 detik.



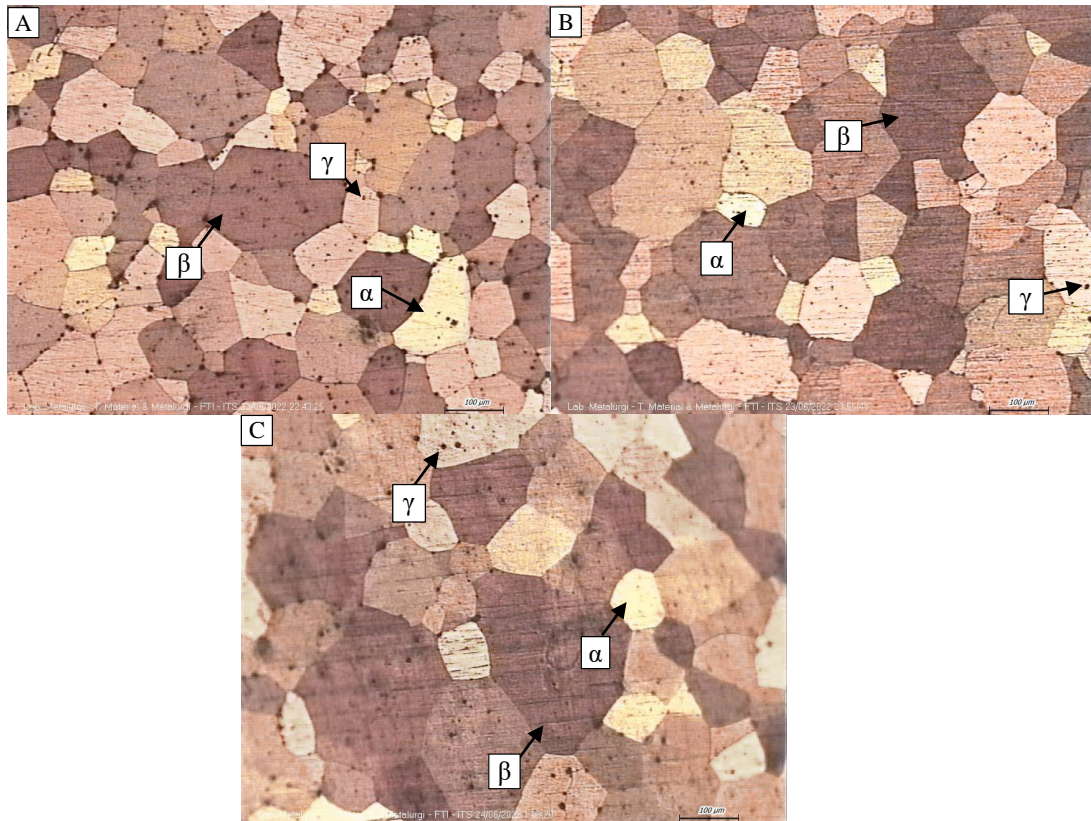
**Gambar 4.3** Hasil metalografi as cast Cu-16,8Zn-6,99Al perbesaran 100x

Gambar 4.3 merupakan hasil pengujian metalografi pada spesimen as cast paduan Cu-16,8Zn-6,99Al dengan perbesaran 100x. Terdapat fasa yang muncul pada spesimen as cast yaitu fasa  $\alpha$ ,  $\beta$ , dan  $\gamma$ . Kemunculan fasa tersebut sesuai dengan hasil pengujian XRD. Fasa  $\alpha$  memiliki karakteristik berwarna terang, fasa  $\beta$  memiliki karakteristik berwarna gelap, dan fasa  $\gamma$  berbentuk seperti butiran presipitat berwarna gelap(Ramadhani et al., 2020). Dari hasil pengujian metalografi, spesimen as cast didominasi dengan fasa  $\beta$  yang berwarna gelap jika dibandingkan dengan fasa  $\alpha$  yang sedikit dan fasa  $\gamma$  yang paling sedikit. Hal tersebut sesuai dengan pengujian XRD yang menunjukkan intensitas peak  $\beta$  lebih tinggi dibanding intensitas peak  $\alpha$  dan  $\gamma$ .



**Gambar 4.4** Hasil metalografi setelah proses *solution treatment* metode *up-quenching* air dengan variasi *holding time* : (A) 10 menit (B) 20 menit (C) 30 menit perbesaran 100x.

Gambar 4.4 merupakan hasil pengujian metalografi pada paduan Cu-16,8Zn-6,99Al setelah proses *solution treatment* metode *up-quenching* air dengan variasi *holding time* 10, 20, dan 30 menit pada perbesaran 100x. Pada hasil pengujian metalografi tersebut sama seperti *as cast*. Berdasarkan hasil pengujian metalografi pada Gambar 4.4 terdapat 3 fasa yakni  $\alpha$ ,  $\beta$ , dan  $\gamma$  pada paduan spesimen tersebut. Paduan spesimen didominasi dengan fasa  $\beta$  yang berwarna gelap jika dibandingkan dengan fasa  $\alpha$  yang sedikit dengan karakteristik berwarna terang dan fasa  $\gamma$  yang paling sedikit. Sesuai dengan penelitian oleh Herdiansyah 2021 menunjukkan pada spesimen *solution treatment up-quenching* dengan media air terbentuk fasa  $\alpha$ ,  $\beta$ , dan  $\gamma$ . Terdapat fasa  $\alpha$  pada *up-quenching* dengan media air mendidih bertemperatur 100 °C menyebabkan munculnya lapisan uap yang terbentuk pada permukaan spesimen (Leu & Hu, 1991). Hal ini menyebabkan fasa  $\alpha$  belum terlarut menjadi fasa  $\beta$ . Tidak adanya fasa martensit di semua spesimen pada Gambar 4.4 karena paduan Cu-16,8Zn-6,99Al memiliki temperatur *martensite start (Ms)* dibawah temperatur kamar. Hal ini sesuai dengan hasil pengujian XRD yang ditunjukkan oleh Gambar 4.1, dimana terbentuk fasa  $\alpha$ ,  $\beta$ , dan  $\gamma$  dengan intensitas *peak*  $\beta$  yang paling tinggi dan diikuti oleh intensitas *peak*  $\alpha$  dan  $\gamma$  yang lebih rendah.



**Gambar 4.5** Hasil metalografi setelah proses solution treatment metode up-quenching oli dengan variasi holding time : (A) 10 menit (B) 20 menit (C) 30 menit perbesaran 100x

Pada Gambar 4.5 merupakan hasil pengujian metalografi pada paduan Cu-16,8Zn-6,99Al setelah proses *solution treatment* metode *up-quenching* oli dengan variasi holding time 10, 20, dan 30 menit pada perbesaran 100x. Pada hasil pengujian metalografi tersebut sama seperti *as cast*, hasil pengujian metalografi di atas menunjukkan adanya fasa  $\alpha$ ,  $\beta$ , dan  $\gamma$  dengan didominasi oleh fasa  $\beta$  yang berwarna gelap jika dibandingkan dengan fasa  $\alpha$  yang sedikit dan fasa  $\gamma$  yang paling sedikit. Hal ini sesuai dengan hasil pengujian XRD yang ditunjukkan oleh Gambar 4.2, dimana terbentuk fasa  $\alpha$ ,  $\beta$ , dan  $\gamma$  dengan intensitas *peak*  $\beta$  yang paling tinggi dan diikuti oleh intensitas *peak*  $\alpha$  dan  $\gamma$  yang lebih rendah.

Pada pengujian metalografi yang telah dilakukan untuk spesimen Cu-16,8Zn-6,99Al setelah proses *solution treatment* metode *up-quenching* air dan oli dengan variasi holding time 10, 20, dan 30 menit tidak ditemukannya fasa martensit. Fasa  $\alpha$  dan  $\gamma$  setelah proses *solution treatment* belum cukup untuk terlarut ke dalam fasa  $\beta$ . Namun, pada *up-quenching* dengan media oli fasa  $\alpha$  lebih banyak terlarut ke fasa  $\beta$  daripada *up-quenching* dengan media air. Pada penelitian sebelumnya oleh Herdiansyah pada tahun 2021 dengan paduan Cu-14,6Zn-7,41Al dilakukan proses *solution treatment up-quenching* dengan media air dan oli menghasilkan fasa martensit. Pada media air ditemukan adanya fasa  $\alpha$ ,  $\beta$ , dan  $\gamma$ , lalu pada media oli ditemukan fasa  $\beta$ ,  $\gamma$  dan hampir tidak ada fasa  $\alpha$ . Fasa martensit yang tidak terbentuk dikarenakan terdapat perbedaan komposisi yang mempengaruhi temperatur *martensite start*, dimana pada paduan Cu-16,8Zn-6,99Al berada dibawah temperatur kamar.

Telah dilakukan perhitungan ukuran butir pada paduan Cu-16,8Zn-6,99Al *as quench* variasi holding time *up quenching* 10, 20, dan 30 menit dengan media pendingin air dan oli. Pengukuran dilakukan dengan cara mengolah gambar hasil metalografi pada perbesaran 100 $\times$  menggunakan *software* ImageJ. Hasil pengukuran ukuran butir ditunjukkan pada Tabel 4.2 dibawah ini.



**Tabel 4.2** Ukuran Butir Spesimen Paduan Cu-16,8Zn-6,99Al

Spesimen	Rata-Rata Diameter Butir ( $\mu\text{m}$ )
UQW10	118,168
UQW20	142,679
UQW30	160,76
UQO10	112,485
UQO20	134,587
UQO30	148,287

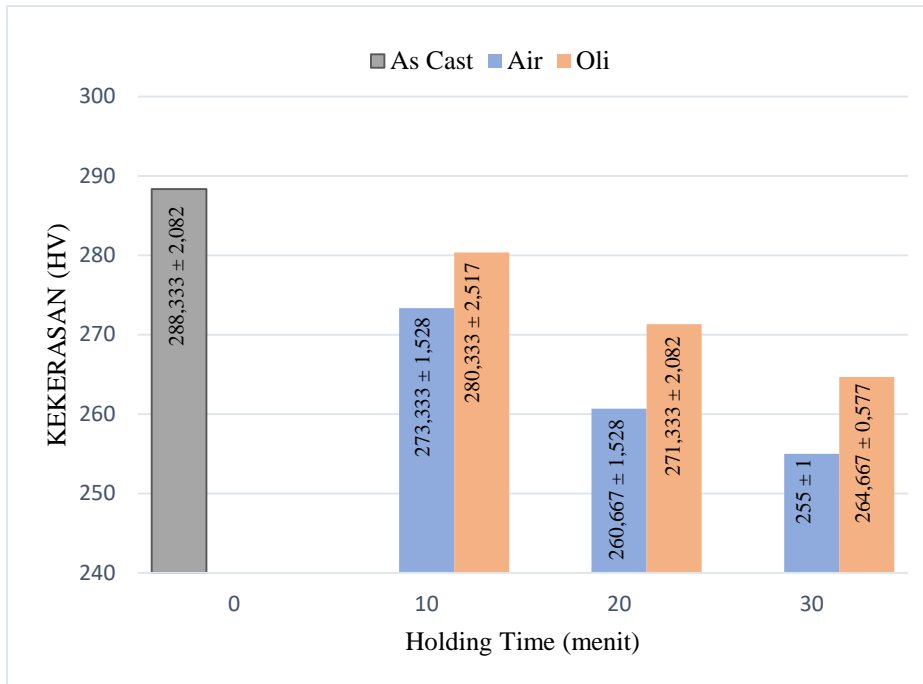
Pada Tabel 4.2 menunjukkan ukuran rata-rata diameter dari batas butir pada spesimen setelah proses *solution treatment* metode *up-quenching* air dan oli. Pada spesimen *solution treatment* metode *up-quenching* air memiliki diameter ukuran butir yaitu, UQW10 sebesar 118,168  $\mu\text{m}$ , UQW20 sebesar 142,679  $\mu\text{m}$ , dan UQW30 sebesar 160,76  $\mu\text{m}$ . Pada spesimen *solution treatment* metode *up-quenching* oli memiliki diameter ukuran butir yaitu, UQO10 sebesar 112,487  $\mu\text{m}$ , UQO20 sebesar 134,587  $\mu\text{m}$ , UQO30 sebesar 148,287  $\mu\text{m}$ . Untuk ukuran rata-rata diameter butir terbesar dimiliki oleh holding time 30 menit. Perbedaan *holding time* mempengaruhi ukuran butir, hal tersebut sesuai dengan penelitian (Huang et al., 2019) bahwa semakin lama *holding time up-quenching* maka pertumbuhan ukuran butir pada spesimen akan semakin besar.

#### 4.4 Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dengan metode *Vickers* telah dilakukan pada spesimen paduan Cu-16,8Zn-6,99Al untuk mengetahui nilai kekerasan, menggunakan indentor piramida dengan akurasi hasil kekerasan lebih akurat dan bisa digunakan dengan spesimen yang lunak maupun keras. Karena *logam non-ferrous* memiliki sifat yang lebih lunak jika dibandingkan dengan *logam ferrous* maka metode *Vickers* digunakan pada pengujian kekerasan ini. Pengujian *Vickers* ini menggunakan standar ASTM E92-17. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Metalurgi dan Manufaktur Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS ITS menggunakan alat uji *Universal Hardness Tester HBRV 187,5 A*. Pembebanan yang digunakan sebesar 30 kgf dengan waktu tahan selama 10 detik. Spesimen yang diujikan adalah spesimen *As Cast* yang belum dilakukan perlakuan panas serta spesimen *solution treatment* dengan metode *up-quenching* menggunakan media air, spesimen UQW10 (*holding time* 10 menit), UQW20 (*holding time* 20 menit), UQW30 (*holding time* 30 menit). Selanjutnya pada *up-quenching* menggunakan media oli, spesimen UQO10 (*holding time* 10 menit), UQO20 (*holding time* 20 menit), UQO30 (*holding time* 30 menit). Pengujian dilakukan dengan indentasi sebanyak 3 titik pada masing-masing spesimen dan kemudian dihitung rata-rata dari ketiga titik tersebut sehingga dihasilkan nilai kekerasan *Vickers* dari spesimen tersebut. Nilai kekerasan ini ditunjukkan pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Hasil pengujian kekerasan paduan Cu-16,8Zn-6,99Al.

Spesimen	Nilai Rata-Rata Kekerasan (HV)
As Cast	288,333 $\pm$ 2,082
UQW10	273,333 $\pm$ 1,528
UQW20	260,667 $\pm$ 1,528
UQW30	255 $\pm$ 1
UQO10	280,333 $\pm$ 2,517
UQO20	271,333 $\pm$ 2,082
UQO30	264,667 $\pm$ 0,577



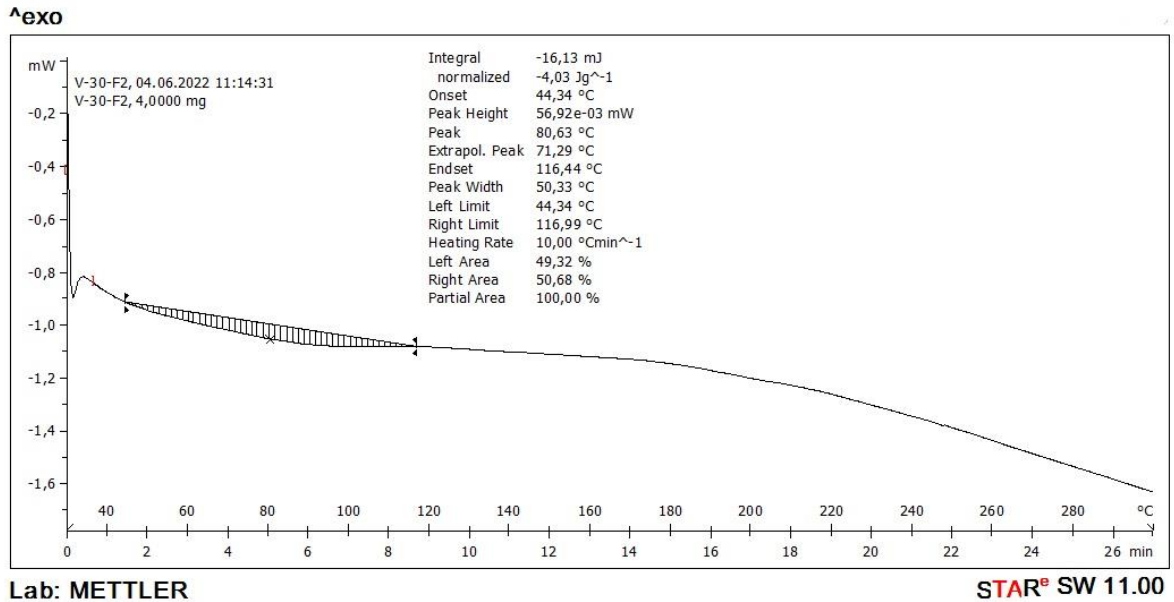
**Gambar 4.6** Grafik nilai kekerasan paduan Cu-16,8Zn-6,99Al.

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.6, dapat diketahui bahwa spesimen *as cast* memiliki nilai rata rata kekerasan sebesar  $288,333 \pm 2,082$ , kemudian untuk spesimen yang telah diberi perlakuan panas *solution treatment* memiliki nilai kekerasan yang lebih rendah daripada spesimen *as cast*. Hal ini dikarenakan pada spesimen *as cast* merupakan spesimen yang tidak diberikan perlakuan panas seperti *homogenizing* dan *annealing*. Dimana perlakuan panas *homogenizing* dapat memperbaiki sifat dari keuletan dan kekerasan, dan perlakuan panas *annealing* menyebabkan menghilangkan *internal stress* dan pertumbuhan ukuran butir menjadi lebih besar (Asm International, 1991). Hal tersebut yang mengakibatkan spesimen *as cast* memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan spesimen yang telah diberi perlakuan panas *solution treatment*.

Pada spesimen dengan metode *up-quenching* air dengan variasi *holding time* 10,20, dan 30. Untuk spesimen *holding time* 10 menit (UQW10) memiliki nilai rata rata kekerasan yang paling tinggi pada media air yaitu, sebesar  $282,667 \pm 2,517$ , lalu mengalami penurunan nilai rata rata kekerasan untuk *holding time* 20 menit (UQW20) sebesar  $275 \pm 2$ , dan pada spesimen *holding time* 30 menit (UQW30) memiliki nilai rata rata kekerasan sebesar  $270 \pm 1$ . Sedangkan untuk spesimen dengan metode *up-quenching* oli dengan variasi *holding time* 10,20, dan 30. Untuk spesimen UQO10 memiliki nilai rata rata kekerasan sebesar  $288,333 \pm 1,155$  dimana hasil ini lebih tinggi dari spesimen UQW10. Lalu, mengalami penurunan nilai rata rata kekerasan untuk spesimen UQO20 sebesar  $281 \pm 1$ , dan pada spesimen UQO30 memiliki nilai rata rata kekerasan sebesar  $273,333 \pm 1,528$ . Berdasarkan hasil pengujian kekerasan, spesimen *up-quenching* dengan media oli memiliki kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen media air. Karena fasa  $\alpha$  pada media oli lebih sedikit dibandingkan media air, dimana fasa  $\alpha$  pada paduan Cu-Zn-Al memiliki sifat ulet dan struktur kristal FCC (Ramadhani et al., 2020). Berdasarkan hasil pengujian kekerasan pada Gambar 4.6 terlihat bahwa semakin lama *holding time* menyebabkan nilai kekerasan menurun. Hal ini diakibatkan karena semakin lama *holding time* maka ukuran butir yang dihasilkan akan semakin besar (Huang et al., 2019). Ketika ukuran butir semakin besar maka kekuatan dari material akan menurun.

#### 4.5 Hasil Pengujian Differential Scanning Calorimetry

Pengujian *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) telah dilakukan untuk mengetahui temperatur transformasi dari spesimen paduan Cu-16,8Zn-6,99Al. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Universitas Surabaya. Pada proses, kecepatan pemanasan yang digunakan adalah 10°C/menit dan menggunakan temperatur dari 30°C hingga 300°C.



**Gambar 4.7** Grafik hasil pengujian DSC paduan Cu-16,8Zn-6,99Al.

Berdasarkan hasil pengujian DSC yang ditunjukkan pada Gambar 4.7 melalui reaksi yang terjadi pada grafik pengujian DSC dapat mengetahui temperatur transformasi. Transformasi martensit disertai dengan puncak eksotermis, sedangkan transformasi austenit disertai dengan puncak endotermik (Lohan et al., 2018). Pada grafik terdapat adanya reaksi endotermik, titik temperatur transformasi *austenite start* ( $A_s$ ) dan *austenite finish* ( $A_f$ ). Titik *austenite start* ( $A_s$ ) berada pada 44,34°C dan Titik *austenite finish* ( $A_f$ ) berada pada 116,99°C. Berdasarkan hasil pengujian metalografi yang telah dilakukan, bahwa tidak terlihat adanya martensit pada semua spesimen *as quench*. Hal tersebut berhubungan dengan tidak terbacanya peak eksotermik pada grafik pengujian DSC. Tidak terbentuknya martensit pada paduan Cu-16,8Zn-6,99Al karena *martensite start* ( $M_s$ ) berada pada temperatur dibawah temperatur 30°C. Pada persamaan 4.1, menurut ASM Metal Handbook Vol. 2 dapat diketahui *martensite start* ( $M_s$ ):

$$M_s(°C) = 2212 - 66,9(at. \%Zn) - 90,65(at. \%Al) \quad (4.1)$$

Pada persamaan tersebut, didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut:

$$M_s(°C) = 2212 - 66,9(14,98) - 90,65(15,10)$$

$$M_s(°C) = 2212 - 1002,16 - 1368,82$$

$$M_s(°C) = -158,98$$

Pada persamaan 4.2, menurut Duerig T.W dapat diketahui *martensite start* ( $M_s$ ):

$$M_s(°C) = 2212 - 66,9[1,355(at. \%Al) + 1(at. \%Zn)] \quad (4.2)$$

Pada persamaan tersebut, didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut:

$$M_s(°C) = 2212 - 66,9[1,355(14,98) + 1(15,10)]$$

$$M_s(°C) = 2212 - 66,9[35,3979]$$

$$M_s(°C) = -156,12$$

---

Hasil temperatur transformasi selengkapnya bisa dilihat pada Tabel 4.4 Dibawah ini.

**Tabel 4.4** Temperatur transformasi paduan Cu-16,8Zn-6,99Al.

Spesimen	Ms (°C)	As (°C)	Af (°C)
Cu-16,8Zn-6,99Al <i>Shape Memory Alloy</i>	(-158,98)	44,34	116,99

Berdasarkan Tabel 4.4 diatas dapat dilihat temperatur transformasi Cu-16,8Zn-6,99Al, bahwa hasil pengujian DSC ini sesuai dengan hasil pengujian metalografi dimana tidak ada martensit yang terbentuk pada semua spesimen yang telah dilakukan proses solution treatment, karena temperatur transformasi *martensite start* (*Ms*) menurut perhitungan teoritis berada pada temperatur dibawah 30°C yakni pada temperatur (-158,98 °C). Oleh karena itu, perlakuan *up-quenching* dengan media air dan oli belum cukup untuk menjangkau temperatur transformasi *martensite start* (*Ms*) sehingga tidak terbentuk martensit pada paduan Cu-16,8Zn-6,99Al.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

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

1. Pengaruh *holding time up-quenching* pada paduan Cu-16,8Zn-6,99Al menghasilkan struktur mikro berupa fasa  $\alpha$ ,  $\beta$ , dan  $\gamma$ . Ukuran butir dari spesimen akan semakin besar ketika *holding time up-quenching* semakin lama. Nilai diameter butir terbesar adalah 160,76  $\mu\text{m}$  pada spesimen UQW30 dan terkecil adalah 112,485  $\mu\text{m}$  pada spesimen UQO10. Dengan ukuran butir yang semakin besar akan membuat nilai kekerasan dari spesimen semakin menurun. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada spesimen UQO10 yaitu  $280,333 \pm 2,517$  HVN dan yang terendah terdapat pada spesimen UQW30 yaitu  $255 \pm 1$  HVN.
2. Pengaruh media pendingin *up-quenching* pada proses *solution treatment* paduan Cu-16,8Zn-6,99Al menghasilkan struktur mikro berupa  $\alpha$ ,  $\beta$ , dan  $\gamma$ , tanpa adanya fasa martensit. Tidak ada martensit yang terbentuk terjadi dikarenakan dari pada pengujian DSC tidak terdeteksi reaksi eksoterm dan berdasarkan perhitungan teoritis temperatur *martensite start* ( $M_s$ ) pada paduan ini yaitu (-158,98°C). Spesimen *up-quenching* dengan media oli memiliki kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen media air. Karena fasa  $\alpha$  pada media oli lebih sedikit dibandingkan media air, dimana fasa  $\alpha$  pada paduan Cu-Zn-Al memiliki sifat ulet dan menurunkan kekerasan. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada spesimen UQO10 yaitu  $280,333 \pm 2,517$  HVN dan yang terendah terdapat pada spesimen UQW30 yaitu  $255 \pm 1$  HVN.

### 5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah:

1. Menentukan komposisi paduan dengan teliti, karena perbedaan sedikit komposisi mempengaruhi fasa serta sifat mekanik.
2. Menghitung temperatur *martensite start* ( $M_s$ ) setelah didapatkan komposisi pada paduan.
3. Menggunakan furnace dengan temperatur yang stabil dan memiliki indikator temperatur, sehingga tidak menghasilkan heat loss yang besar dan mengurangi penguapan seng yang terjadi.
4. Melakukan proses penuangan dengan waktu yang cepat untuk menghasilkan hasil coran yang baik.
5. Selalu menggunakan alat pelindung diri saat melakukan kegiatan pengecoran maupun perlakuan panas bertemperatur tinggi untuk menghindari hal yang tidak diinginkan.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- Abidali, A.-R. K. (2010). Effect of aging and step-quenched heat treatment on the Martensitic transformation of CuZnAl shape memory alloy والإخماد المرحلي التحول على المارتنسايتي لسبيكة و الإخماد المرحلي التحول على المارتنسايتي لسبيكة أشكالها من نحاس زنك المنيوم عيّد تسد تأثير معاملات الإزمان. *The Iraqi Journal For Mechanical And Material Engineering*, 10(1), 134–142.
- Akca, E., & Trgo, E. (2015). Metallographic Procedures and Analysis – A review. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences (PEN)*, 3(2), 8–11. <https://doi.org/10.21533/pen.v3i2.51>
- Alaneme. (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>
- 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>
- Asm International. (1991). Heat Treating, Vol. 4. *ASM International, Materials Park, OH*, 860.
- ASM International. (1988). ASM Handbook Volume 15: Casting. *Technology*, 2, 3470. [https://doi.org/10.1016/S0026-0576\(03\)90166-8](https://doi.org/10.1016/S0026-0576(03)90166-8)
- ASM International. (1998a). *ASM HANDBOOK VOLUME 2 - Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*. <https://doi.org/10.1007/s004310050884>
- ASM International. (1998b). ASM Handbook Volume 3: Alloy Phase Diagrams. In *ASM Handbook*.
- Avner, S. H. (1974). *INTRODUCTION TO PHYSICAL METALLURGY McGRAW-HILL BOOK COMPANY INTRODUCTION TO PHYSICAL METALLURGY Library of Congress Cataloging in Publication Data*.
- Bujoreanu, L. G. (2008). On the influence of austenitization on the morphology of  $\alpha$ -phase in tempered Cu-Zn-Al shape memory alloys. *Materials Science and Engineering A*, 481–482(1-2 C), 395–403. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2006.12.223>
- Callister, W. D. (2009). *Materials Science and Engineering An Introduction*. 8th ed. John Wiley & Sons, Inc.
- Fallis, A. . (2013). Grain Refinement of Permanent Mold Cast Copper Base Alloys. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Francis, L. F. (2016). Materials Processing. In *Materials Processing* (pp. 105–249). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385132-1.00003-3>
- Groover, M. (2010). Fundamentals of Modern Manufacturing Materials, Processes and Systems. *John Wiley & Sons*, 493.
- Gumilang, M. S. (2016). *PENGARUH PENAMBAHAN ALUMINIUM (Al) DAN PENGGUNAAN CHILL TEMBAGA PADA CETAKAN TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PADUAN Cu-Zn-Al MELALUI PROSES PENGECORAN*.
- Herdiansyah, M. F. (2022). *Analisis Pengaruh Jenis Media Up-Quenching dan Variasi Holding Time Artificial Aging pada Paduan Cu-14,6Zn-7,41Al Shape Memory Alloy Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Shape Memory Effect*.
- Higgins, R. . (1999). *Engineering Metallurgy Part I : Applied Physical Metallurgy*.
- Huang, W., Wang, Y., Peng, H., & Wen, Y. (2019). Effect of up-quenching time on damping capacity in a ductile Cu-16.59Al-10.55Mn shape memory alloy. *Materials Research Express*, 6(9). <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab2dd1>

- K., O., & Wayman, C. M. (1998). General applications of SMA's and smart materials. *Shape Memory Materials*, 220–241.
- Leu, S. S., & Hu, C. T. (1991). The aging effect on Cu–Zn–Al shape memory alloys with low contents of aluminum. *Metallurgical Transactions A*, 22(1), 25–33. <https://doi.org/10.1007/BF03350946>
- Lohan, N. M., Pricop, B., Burlacu, L., & Bujoreanu, L. G. (2018). Using DSC for the detection of diffusion-controlled phenomena in Cu-based shape memory alloys. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 131(1), 215–224. <https://doi.org/10.1007/s10973-016-5926-4>
- 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>
- Nayak, U. V., Rao, K. M. P., Pai, M. A., & Prabhu, K. N. (2016). Carbonated aqueous media for quench heat treatment of steels. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 25(9), 3802–3810. <https://doi.org/10.1007/s11665-016-2183-4>
- Ramadhani, M., Rochiem, R., & Rizkivany, L. (2020). Pengaruh Holding Time Proses Solution Treatment dan Variasi Media Pendingin pada Cu-Zn-Al Shape Memory Alloys terhadap Efek Shape Memory dan Struktur Mikro. *Jurnal Teknik ITS*, 9(1). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v9i1.52139>
- 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>
- Singh, R. (2006). *Introduction To Basic Manufacturing Processes and Workshop Technology*. New Age International Ltd.
- 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>
- Terayama, K., Han, K., Katsube, R., Ohnuma, I., Abe, T., Nose, Y., & Tamura, R. (2022). Acceleration of phase diagram construction by machine learning incorporating Gibbs' phase rule. *Scripta Materialia*, 208, 114335. <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2021.114335>
- Thierry-Jebali, N., Chiriac, R., & Brylinski, C. (2013). Characterization and kinetic monitoring of the reactions between TixAl<sub>y</sub> phases in Ti-Al based ohmic contacts on n-type GaN by Differential Scanning Calorimetry (DSC). *THERMINIC 2013 - 19th International Workshop on Thermal Investigations of ICs and Systems, Proceedings, 2013*, 372–375. <https://doi.org/10.1109/THERMINIC.2013.6675181>
- Totten, G. E., & Clinton, A. (1993). Handbook of quenchants and quenching technology. *Materials & Design*, 14(6), 368. [https://doi.org/10.1016/0261-3069\(93\)90123-d](https://doi.org/10.1016/0261-3069(93)90123-d)
- Wang, S. L., Yang, Q., Li, X. L., Peng, H. B., & Wen, Y. H. (2014). Influence of recovery heating rate on shape memory effect in up-quenched Cu-Al-Mn alloy. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 24(10), 3196–3200. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(14\)63460-9](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(14)63460-9)
- Widyasusti, Ardhyanta, H., & Purwaningsih, H. (2019). *KARAKTERISASI MATERIAL Bagian I: Komposisi, Topografi, dan Sifat Mekanik*.
- Williams, E. A., Shaw, G., & Elahinia, M. (2010). Control of an automotive shape memory alloy mirror actuator. *Mechatronics*, 20(5), 527–534. <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2010.04.002>
- Yang, Q., Yin, D. Q., Ge, J. Q., Chen, J., Wang, S. L., Peng, H. B., & Wen, Y. H. (2018).



---

Suppressing heating rate-dependent martensitic stabilization in ductile Cu-Al-Mn shape memory alloys by Ni addition: An experimental and first-principles study. *Materials Characterization*, 145(September), 381–388.  
<https://doi.org/10.1016/j.matchar.2018.09.002>

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## LAMPIRAN

### 1. Hasil Pengujian *Optical Emission Spectroscopy*



**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)

**LAPORAN HASIL PENGUJIAN**  
*REPORT ON THE TEST RESULT*

Nomor Number	: 0476 /PL19/BJP/2022
-----------------	-----------------------

<b>PELANGGAN / Customer</b>		
1. Nama <i>Name</i>	: RIZA MUHAMMAD ALIFANDI - T. MATERIAL ITS	
2. Alamat <i>Address</i>	: Kampus ITS Sukolilo, Surabaya	
<b>BENDA UJI / Test Specimen</b>		
1. Tanggal Diterima <i>Date of Received</i>	: April 18, 2022	
2. Spesimen Uji <i>Test Specimen</i>	: CuZnAl Alloy	
3. Identifikasi Material <i>Identification of Material</i>	: -	
4. Proses Las / Posisi Las / Jurni Las <i>Weld Process / Position / Welder</i>	: -	
5. Proyek <i>Project</i>	: -	
<b>PENGUJIAN / Testing</b>		
1. Tanggal Pengujian <i>Date of Testing</i>	: April 20, 2022	
2. Lokasi Pengujian <i>Location of Testing</i>	: Laboratorium Uji Bahan PPNS, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya	
3. Jenis Pengujian <i>Type of Testing</i>	: Chemical Analysis	
4. Kondisi Lingkungan <i>Environmental Condition</i>	: Suhu 27°C	
5. Metode uji <i>Test Method</i>	: IK.LUB.008	
<b>ALAT / Equipment</b>		
1. Nama <i>Name</i>	: OES Foundry Master Pro	-
2. Tipe/Model <i>Type/Model</i>	: Foundry Master Pro	-
3. Kapasitas <i>Capacity</i>	: All Material / Global	-
4. Merek/Buatan <i>Manufacturer</i>	: Oxford, Germany	-
5. Nomor Seri <i>Serial Number</i>	: 44P0070	-
6. Nilai Ketidakpastian <i>Number of uncertainty</i>	: -	-
7. Keterelusuran <i>Traceability</i>	: LK-022-IDN	-
<b>HASIL PENGUJIAN /</b> <i>Result of Testing</i>	: (Terlampir) (Attached)	
<b>DITERBITKAN TANGGAL</b> <i>Date of Issue</i>	: April 20, 2022	

Kalab. Uji Bahan

Head of DT/6 NDT Laboratory

Hendri Budi Kurniyanto, SST., MT  
NIP. 199003072019031010

**Keterangan / Notes :**

1. Dilarang memperbanyak sertifikat ini dengan tujuan apapun tanpa izin resmi dari PPNS  
*It is forbidden to copy this certificate for any purpose without permission from PPNS*
2. Hasil pengujian ini tidak untuk dikonsumsi 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, Sukofilo - Surabaya 60111  
TELP. (031) 5947186 - 5994444 FAX. (031) 5994444  
Laman : www.ppns.ac.id

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

Nomor Number	: 0476 /PL19/BJP/2022
-----------------	-----------------------

No. SPK. 19-IV/PL19/BJP/2022

F.08-LUB-PPNS

CHEMICAL COMPOSITION TEST									
Identification	COMPOSITION (%)								
	Element	Cu	Zn	Pb	Sn	P	Mn	Fe	Ni
	Value	73.6	16.8	1.69	0.181	0.0002	<0.0002	0.146	0.0836
	Element	Si	Mg	Cr	Al	S	As	Ag	Co
	Value	0.446	<0.0005	<0.0005	>3.00	0.0010	0.0030	0.0147	0.0055
	Element	Bi	Cd	Sb	Zr	-	-	-	-
	Value	0.0111	0.0029	0.0299	0.0002	-	-	-	-

Surabaya, April 20, 2022

Examined by	Verified by
	
Mulya Rizki	Hendri Budi K

**Keterangan / Notes :**

- Dilarang memperbanyak sertifikat ini dengan tujuan apapun tanpa izin resmi dari PPNS  
It is forbidden to copy this certificate for any purpose without permission from PPNS
- Hasil pengujian ini tidak boleh disebarluaskan 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 : 19-IV/PL19/BJP/2022 Penandaan : -  
Pelanggan : Riza M. Alifandi - T. Material ITS Material : CuZnAl  
Proyek : - Dimensi : 29x27x24mm  
Kepala Lab. : Hendri Budi K., S.ST., M.T. Heat No. : -  
Program : CU\_200 Keterangan : -

	Cu	Zn	Pb	Sn	P	Mn	Fe	Ni
1	73.6	16.8	1.72	0.187	0.0006	< 0.0002	0.148	0.0815
2	73.7	16.7	1.72	0.169	< 0.0001	< 0.0002	0.143	0.0838
3	73.5	16.9	1.62	0.187	< 0.0001	< 0.0002	0.147	0.0856
Ave	73.6	16.8	1.69	0.181	0.0002	< 0.0002	0.146	0.0836
	Si	Mg	Cr	Al	S	As	Ag	Co
1	0.453	< 0.0005	< 0.0005	> 3.00	0.0010	0.0033	0.0145	0.0064
2	0.444	< 0.0005	< 0.0005	> 3.00	0.0009	0.0032	0.0133	0.0044
3	0.441	< 0.0005	< 0.0005	> 3.00	0.0012	0.0023	0.0162	0.0056
Ave	0.446	< 0.0005	< 0.0005	> 3.00	0.0010	0.0030	0.0147	0.0055
	Bi	Cd	Sb	Zr				
1	0.0030	0.0035	0.0430	< 0.0002				
2	0.0188	0.0028	0.0191	< 0.0002				
3	0.0115	0.0026	0.0277	0.0008				
Ave	0.0111	0.0029	0.0299	0.0002				

Surabaya, 4/20/2022

Diuji oleh: *Muharror*



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

2. PDF Card  $\alpha$ -brass ICDD 00-050-1333

**Name and formula**

Reference code: 00-050-1333

Compound name: Copper Zinc

Common name:  $\alpha$ -brass

PDF index name: Copper Zinc

Empirical formula:  $\text{Cu}_{0.64}\text{Zn}_{0.36}$

Chemical formula:  $\text{Cu}_{0.64}\text{Zn}_{0.36}$

**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: 1/1/1970

Modification Date: 1/1/1970

Sample Preparation: Commercially available  $\text{Cu}_{64}\text{-Zn}_{36}$  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.

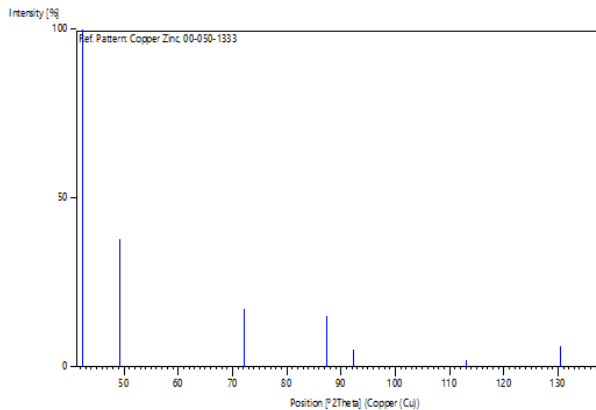
**References**

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
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



### 3. PDF Card $\beta$ -brass ICDD 00-002-1231

#### Name and formula

Reference code:	00-002-1231
Mineral name:	Zhanghengite, syn
Compound name:	Copper Zinc
Common name:	b-brass
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:	-

### Comments

Color: Yellow  
 Creation Date: 1/1/1970  
 Modification Date: 1/1/1970  
 D-values corrected for absorption. \$GB' phase, ordered (PI). Additional Patterns: See also 00-008-0349  
 Color: Yellow  
 Analysis: Analysis (wt.%): Cu 51.0, Zn 49.0.

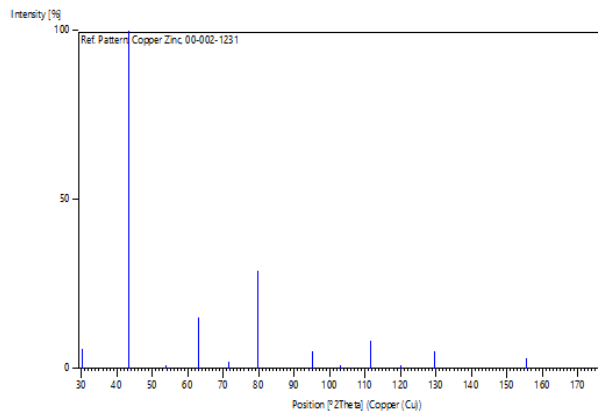
### References

Primary reference: Nowotny, Winkels., *Z. Phys.*, **114**, 457, (1939)

### Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	1	0	0	2.95000	30.273	6.0
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



#### 4. PDF Card $\gamma$ -brass ICDD 03-065-6566

##### Name and formula

Reference code: 03-065-6566

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):	8.8690
b (Å):	8.8690
c (Å):	8.8690
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	90.0000
Calculated density (g/cm <sup>3</sup> ):	8.00
Volume of cell (10 <sup>6</sup> pm <sup>3</sup> ):	697.63
Z:	4.00
RIR:	7.09

### Subfiles and quality

Subfiles:	Alloy, metal or intermetallic Inorganic NIST Pattern
Quality:	Calculated (C)

### Comments

Creation Date:	1/1/1970
Modification Date:	1/1/1970
L 25239 51582	1. Temperature Factor: TF Isotropic TF given by author
Sample Preparation:	The components were heated together in sealed, evacuated silica capsules until reaction was complete. This was checked by quenching in water, extraction and crushing. Then the specimens were sealed again, reheated and cooled to room temperature. A Redetermination of the Distribution of Atoms in Cu <sub>5</sub> Zn <sub>8</sub> , Cu <sub>5</sub> Cd <sub>8</sub> , and Cu <sub>9</sub> Al <sub>4</sub>
Additional Patterns:	See PDF 01-071-0397.

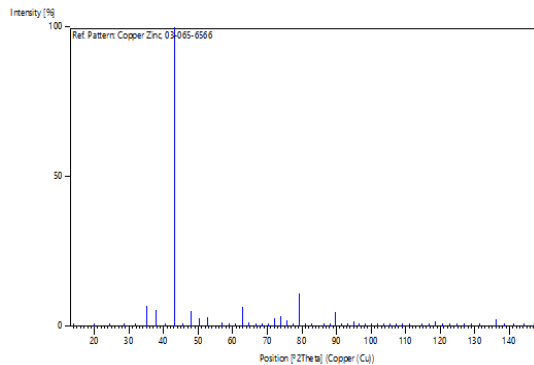
### References

Primary reference:	<i>Calculated from NIST using POWD-12++</i>
Structure:	Von Heidenstam, O., Johansson, A., Westman, S., <i>Acta Chem. Scand.</i> , <b>22</b> , 653, (1968)

**Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	1	1	0	6.27133	14.111	0.6
2	2	0	0	4.43450	20.007	0.1
3	2	1	1	3.62075	24.567	0.8
4	2	2	0	3.13567	28.441	0.4
5	3	1	0	2.80462	31.883	0.1
6	2	2	2	2.56026	35.019	6.9
7	3	2	1	2.37034	37.928	5.5
8	4	0	0	2.21725	40.658	0.1
9	3	3	0	2.09044	43.245	100.0
10	4	2	0	1.98317	45.712	1.0
11	3	3	2	1.89088	48.080	5.1
12	4	2	2	1.81038	50.363	2.5
13	5	1	0	1.73935	52.574	3.0
14	5	2	1	1.61925	56.812	1.3
15	4	4	0	1.56783	58.854	0.4
16	4	3	3	1.52102	60.854	0.4
17	6	0	0	1.47817	62.814	6.6
18	6	1	1	1.43874	64.742	1.2
19	6	2	0	1.40231	66.639	0.1
20	5	4	1	1.36852	68.509	0.1
21	6	2	2	1.33705	70.356	0.2
22	6	3	1	1.30766	72.182	2.6
23	4	4	4	1.28013	73.989	3.3
24	5	5	0	1.25427	75.779	2.1
25	6	4	0	1.22991	77.556	0.5
26	6	3	3	1.20692	79.321	10.9
27	6	4	2	1.18517	81.076	0.6
28	7	3	0	1.16456	82.821	0.2
29	7	3	2	1.12636	86.296	1.2
30	8	0	0	1.10863	88.026	0.1
31	7	4	1	1.09170	89.756	4.9
32	8	2	0	1.07552	91.485	0.6
33	6	5	3	1.06005	93.215	0.4
34	6	6	0	1.04522	94.949	1.6
35	8	3	1	1.03100	96.686	0.3
36	6	6	2	1.01734	98.431	0.8
37	7	5	2	1.00422	100.182	0.5
38	8	4	0	0.99158	101.944	0.1
39	9	1	0	0.97942	103.717	0.5
40	8	4	2	0.96769	105.504	0.1
41	9	2	1	0.95637	107.306	0.3
42	6	6	4	0.94544	109.126	0.1
43	9	3	0	0.93488	110.966	0.8
44	9	3	2	0.91477	114.719	0.2
45	8	4	4	0.90519	116.637	0.1
46	8	5	3	0.89590	118.589	1.7
47	8	6	0	0.88690	120.577	0.3
48	10	1	1	0.87816	122.606	0.9
49	8	6	2	0.86968	124.683	0.4
50	9	4	3	0.86143	126.814	0.2
51	10	2	2	0.85342	129.005	0.8
52	9	5	2	0.84563	131.266	0.5
53	8	7	1	0.83066	136.047	2.3
54	10	4	0	0.82347	138.597	0.1
55	9	6	1	0.81646	141.284	0.4
56	10	4	2	0.80963	144.138	0.7
57	9	5	4	0.80296	147.204	0.3

**Stick Pattern**



5. PDF Card  $\gamma$ -brass ICDD 03-065-7542

**Name and formula**

Reference code: 03-065-7542  
Compound name: Aluminum Copper  
PDF index name: Aluminum Copper  
Empirical formula:  $\text{Al}_4\text{Cu}_9$   
Chemical formula:  $\text{Al}_4\text{Cu}_9$

**Crystallographic parameters**

Crystal system: Cubic  
Space group: P-43m  
Space group number: 215  
a (Å): 8.7023  
b (Å): 8.7023  
c (Å): 8.7023  
Alpha (°): 90.0000  
Beta (°): 90.0000  
Gamma (°): 90.0000

Calculated density ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ): 6.85  
Volume of cell ( $10^6 \text{ pm}^3$ ): 659.03  
Z: 4.00  
RIR: 5.99

**Subfiles and quality**

Subfiles: Alloy, metal or intermetallic  
Inorganic  
NIST Pattern  
Quality: Calculated (C)

**Comments**

Creation Date: 1/1/1970  
Modification Date: 1/1/1970  
L 2295 51500 10. Temperature Factor: Reported TF look Unusual. B=1.0 was used in the calculation  
Sample Preparation: Weighed amounts of Cu and Al totaling 2g were melted together by induction heating in a BeO crucible under vacuum. The pellets were crushed, and the powder annealed at 660C for 10d in evacuated silica capsules. Refinement of the  $\gamma$ -Cu<sub>9</sub>Al<sub>4</sub> Structure.

**References**

Primary reference: *Calculated from NIST using POWD-12++*  
Structure: Westman, S., *Acta Chem. Scand.*, **19**, 1411, (1965)

**Peak list**

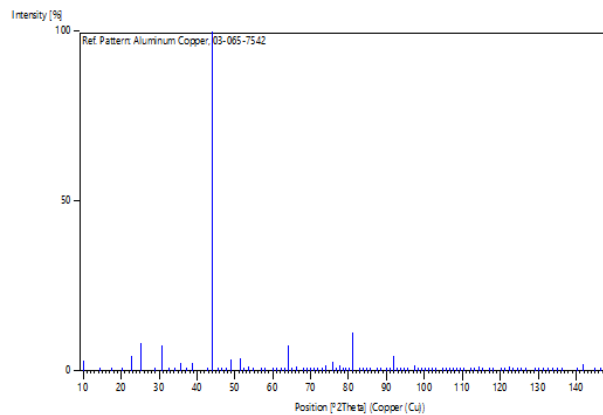
No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	0	8.70230	10.157	3.1
2	1	1	0	6.15346	14.382	1.0
3	1	1	1	5.02427	17.638	0.4
4	2	0	0	4.35115	20.394	0.2
5	2	1	0	3.89179	22.832	4.5
6	2	1	1	3.55270	25.045	8.0
7	2	2	0	3.07673	28.998	0.1
8	3	0	0	2.90077	30.799	7.7
9	3	1	0	2.75191	32.510	0.2
10	3	1	1	2.62384	34.144	0.4
11	2	2	2	2.51214	35.713	2.5
12	3	2	0	2.41358	37.223	0.1
13	3	2	1	2.32579	38.683	2.4
14	3	2	2	2.11062	42.811	0.6
15	3	3	0	2.05115	44.116	100.0
16	3	3	1	1.99644	45.391	0.5
17	4	2	0	1.94589	46.639	0.6
18	4	2	1	1.89900	47.862	0.8
19	3	3	2	1.85534	49.061	3.4
19	3	3	2	1.85534	49.061	3.4
20	4	2	2	1.77635	51.398	3.9
21	5	0	0	1.74046	52.538	0.1
22	5	1	0	1.70666	53.661	1.2
23	5	1	1	1.67476	54.767	1.1
24	5	2	0	1.61598	56.937	0.5
25	5	2	1	1.58882	58.002	0.2
26	4	4	0	1.53836	60.096	0.1
27	5	2	2	1.51488	61.126	0.7
28	4	3	3	1.49243	62.147	0.3
29	5	3	1	1.47096	63.158	0.3
30	6	0	0	1.45038	64.160	7.6
31	6	1	0	1.43065	65.153	0.2
32	6	1	1	1.41170	66.139	1.3
33	6	2	0	1.37595	68.088	0.1
34	5	4	0	1.35907	69.053	0.3
35	5	4	1	1.34279	70.011	0.3
36	5	3	3	1.32709	70.963	0.1
37	6	2	2	1.31192	71.911	0.1
38	6	3	0	1.29726	72.853	0.2
39	6	3	1	1.28308	73.790	1.5
40	4	4	4	1.25607	75.651	2.8
41	6	3	2	1.24319	76.576	0.1
42	5	5	0	1.23069	77.498	1.5
43	7	1	1	1.21857	78.416	0.2
44	6	4	0	1.20679	79.331	0.4
45	6	4	1	1.19535	80.243	0.2
46	6	3	3	1.18423	81.153	11.2
47	6	4	2	1.16289	82.967	0.3
48	5	4	4	1.15265	83.870	0.1
49	7	3	0	1.14267	84.772	0.2
50	7	3	1	1.13294	85.674	0.1
51	6	5	0	1.11422	87.472	0.2
52	7	3	2	1.10519	88.371	0.7
53	8	0	0	1.08779	90.166	0.1
54	8	1	0	1.07939	91.064	0.1
55	7	4	1	1.07118	91.963	4.4
56	7	3	3	1.06316	92.861	0.1
57	8	2	0	1.05531	93.761	0.7
58	8	2	1	1.04763	94.662	0.1
59	6	5	3	1.04012	95.563	0.2
60	6	6	0	1.02558	97.369	1.7
61	8	3	0	1.01853	98.276	0.1
62	8	3	1	1.01162	99.185	0.3
63	5	5	5	1.00486	100.095	0.1
64	6	6	2	0.99822	101.009	0.5
65	8	3	2	0.99172	101.925	0.1
66	7	5	2	0.98534	102.844	0.5
67	8	4	0	0.97295	104.693	0.1
68	7	4	4	0.96692	105.623	0.2
69	9	1	0	0.96101	106.558	0.2
70	9	1	1	0.95520	107.497	0.1

**LAPORAN TUGAS AKHIR  
TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI**



71	8	4	2	0.94950	108.440	0.1
72	7	6	0	0.94390	109.390	0.1
73	9	2	1	0.93839	110.344	0.2
74	6	6	4	0.92767	112.272	0.1
75	9	2	2	0.92244	113.245	0.1
76	9	3	0	0.91730	114.226	1.4
77	9	3	1	0.91225	115.215	0.1
78	8	5	2	0.90239	117.217	0.1
79	9	3	2	0.89757	118.231	0.1
80	8	4	4	0.88818	120.289	0.1
81	9	4	0	0.88358	121.334	0.1
82	8	5	3	0.87906	122.392	1.6
83	7	7	1	0.87461	123.461	0.1
84	10	0	0	0.87023	124.544	0.2
85	8	6	1	0.86591	125.642	0.1
86	10	1	1	0.86166	126.754	1.0
87	10	2	0	0.85333	129.030	0.3
88	10	2	1	0.84926	130.196	0.1
89	9	5	0	0.84524	131.381	0.1
90	9	5	1	0.84128	132.589	0.1
91	10	2	2	0.83738	133.821	0.8
92	8	6	3	0.83353	135.079	0.1
93	9	5	2	0.82973	136.365	0.2
94	9	4	4	0.81864	140.422	0.1
95	7	7	4	0.81504	141.853	2.1
96	10	4	0	0.80799	144.863	0.1
97	9	6	0	0.80453	146.454	0.2
98	9	6	1	0.80111	148.115	0.3

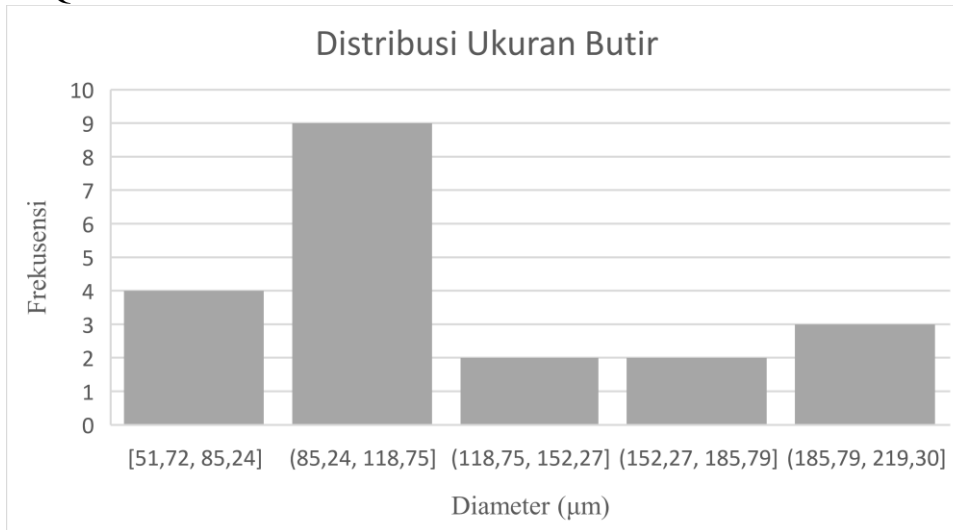
**Stick Pattern**



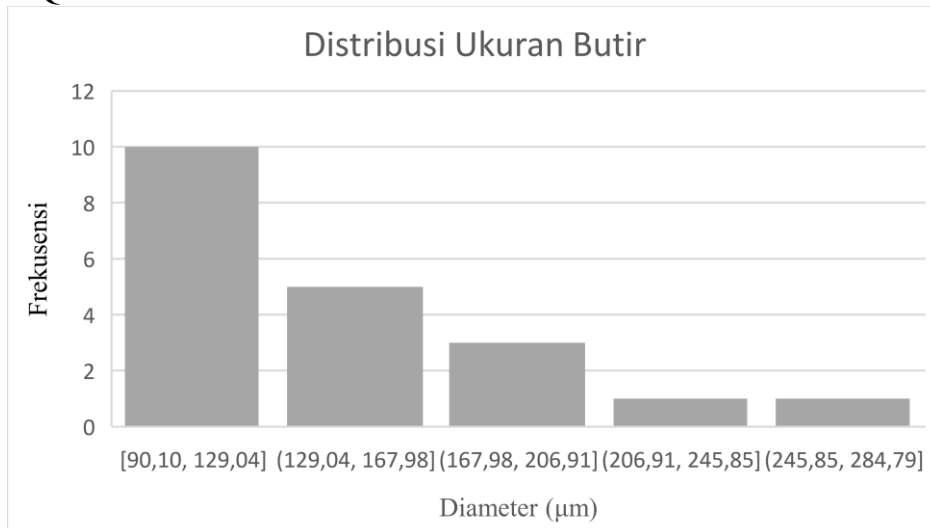
**6. Hasil Pengujian Kekerasan**

Keterangan	Titik 1 (HV)	Titik 2 (HV)	Titik 3 (HV)	Rata-Rata (HV)	ST DEV
As Cast	289	290	286	288,3333	2,081666
UQW10	275	272	273	273,3333	1,527525
UQW20	261	262	259	260,6667	1,527525
UQW30	255	254	256	255	1
UQO10	283	280	278	280,3333	2,516611
UQO20	272	273	269	271,3333	2,081666
UQO30	264	265	265	264,6667	0,57735

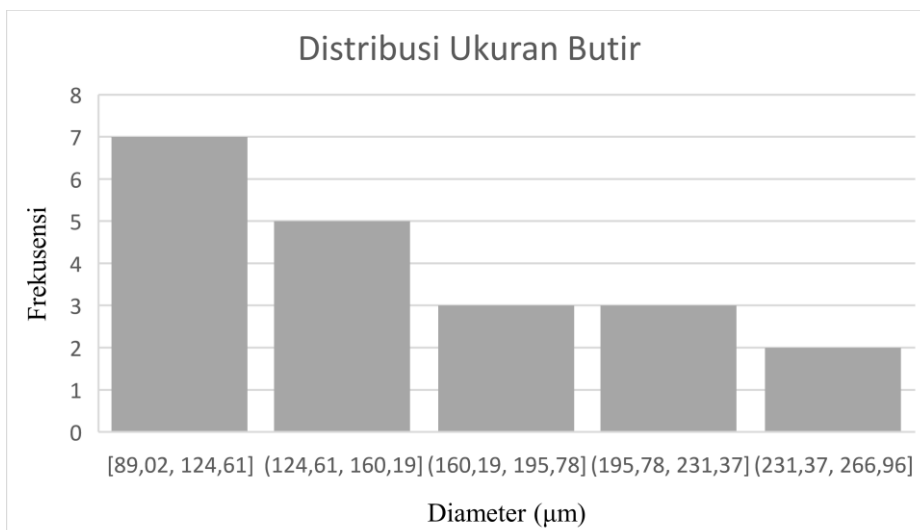
7. Distribusi Ukuran Butir  
a. UQW10



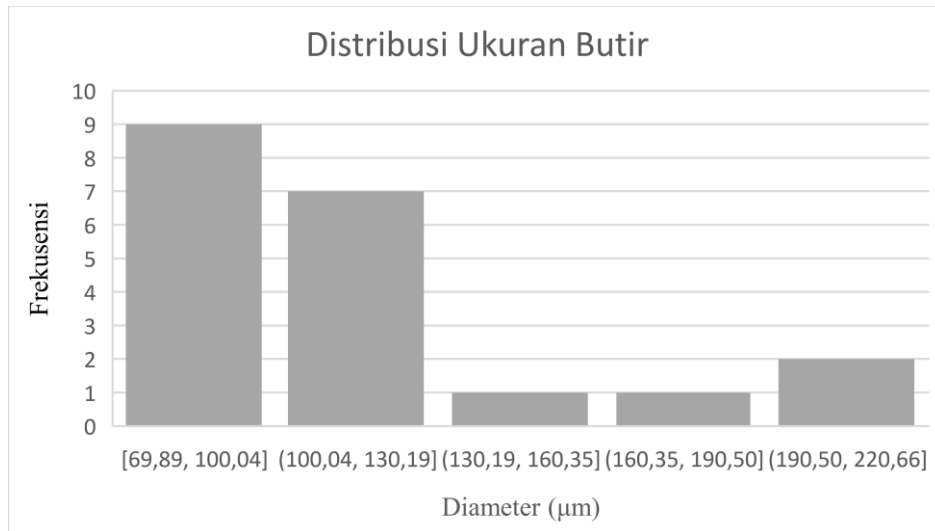
b. UQW20



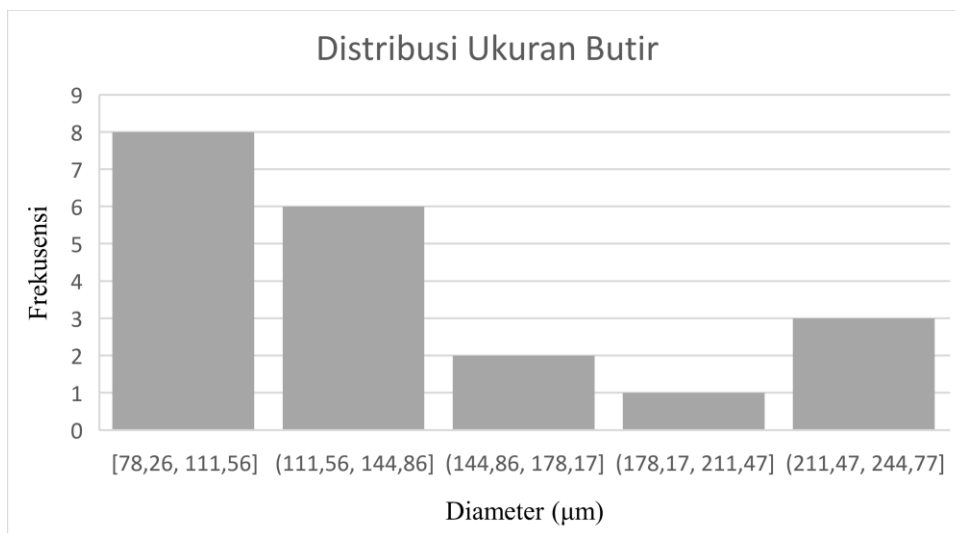
c. UQW30



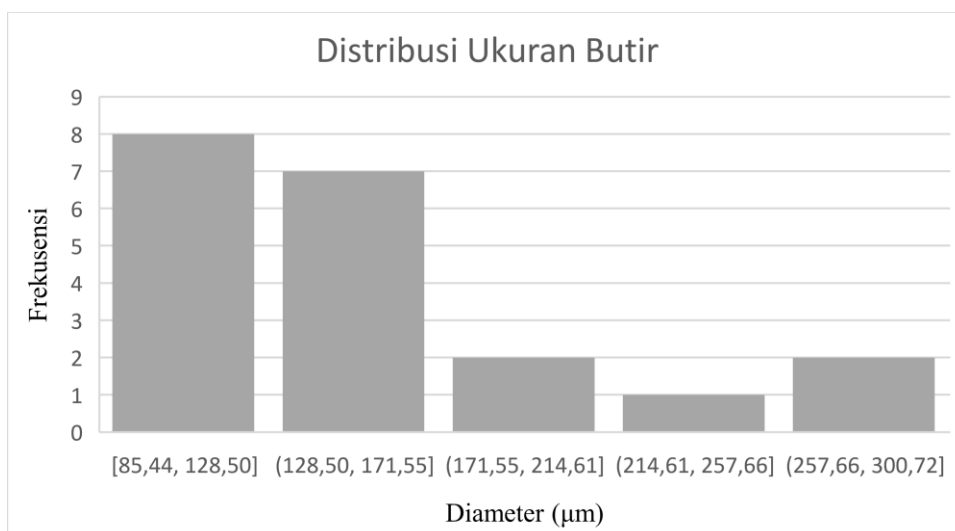
d. UQO10



e. UQO20



f. UQO30



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## 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 senantiasa melimpahkan rahmat serta berkat-Nya sehingga penulis mampu menjalani proses pengerjaan Tugas Akhir dari awal sampai akhir.
2. Ibu Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing I Tugas Akhir yang telah membimbing dengan sabar, membantu, memberikan ilmu, dan saran yang membangun kepada Penulis dalam pengerjaan tugas akhir.
3. Bapak Mavindra Ramadhani, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing II Tugas Akhir yang telah membimbing, membantu, memberikan ilmu, dan memberikan motivasi demi kelancaran dalam pengerjaan tugas akhir kepada Penulis.
4. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS.
5. Kedua Orang Tua, dan Keluarga besar penulis yang selalu memberikan dukungan penuh baik secara moral dan finansial kepada Penulis sehingga dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan lancar.
6. Riza selaku *partner* Tugas Akhir Penulis karena memberikan semangat kerja dan berjuang bersama dalam penelitian dan mengerjakan Tugas Akhir dari sekian kendala yang ada dalam pengerjaannya.
7. Fundicioncho (Ferdy, Ezra, Zuki, Zain, Nafis, Rama) yang sudah *sharing* ilmu, saling menopang satu sama lain dengan sangat luar biasa dalam menghadapi kendala *furnace* yang penuh dengan suka duka, drama serta bertukar tawa.
8. Pak Anto, Pak Asman, Pak Chanan dan seluruh Dosen Karyawan Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS yang telah membantu pengerjaan secara teknis dan non-teknis dalam proses penelitian.
9. Next Trip (zafi, komang, fernanda, farhan, lio, aan, elsa, husnul, dan praban) yang selalu membuat canda tawa dan trip kemanapun.
10. Para penghuni Lab Metalurgi yang telah membantu selama proses penelitian. Berbagi canda tawa dan suka duka selama proses penelitian.
11. Badan Semi Otonom Kewirausahaan ITS yang telah memberikan pengalaman berharga bagi penulis dalam berorganisasi dan peduli kepada sesama serta saling berbagi cerita dan senyuman selama masa perkuliahan.
12. INDOCOR SC ITS yang telah memberikan pengalaman berharga bagi penulis dalam berorganisasi dan memiliki beberapa momen yang tidak terlupakan selama masa perkuliahan.
13. Keluarga besar MT20 yang selalu memberikan semangat dan hiburan kepada penulis serta menjadi tempat kembali dan rumah yang nyaman untuk penulis.

14. MT17, MT18, MT19, MT21, dan MT22 yang memberikan banyak pelajaran berharga kepada penulis selama menjalani proses perkuliahan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS

15. Serta semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu oleh penulis.

Semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan semua yang membutuhkan.

Surabaya, 14 Juli 2022

Penulis

Denby Truman

## BIODATA PENULIS



Penulis dengan nama Denby Truman lahir di Jakarta, 24 April 2000 sebagai anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal yang dimulai dari SDN 01 Cigombong pada tahun 2006-2012. Dilanjutkan di SMP Negeri 01 Cigombong pada tahun 2012-2015. Kemudian dilanjutkan di SMA Negeri 01 Bogor pada tahun 2015-2018. Setelah itu, penulis melanjutkan studi di Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama berkuliah di Departemen Teknik Material dan Metalurgi, penulis pernah mengikuti kegiatan pelatihan LKMM Pra TD, LKMW TD, PKTI TD. Penulis juga aktif dalam organisasi INDOCOR ITS-SC sebagai Staff Fundraising pada kepengurusan 2019/2020. Penulis juga aktif berorganisasi di Badan Semi Otonom Kewirausahaan

HMMT FTIRS-ITS sebagai Staff pada kepengurusan 2019-2020 dan sebagai Direktur Badan Semi Otonom Kewirausahaan HMMT FTIRS-ITS pada kepengurusan 2020-2021. Dalam bidang akademik, penulis memiliki pengalaman profesional pada kerja praktik di PT. BARATA INDONESIA pada bulan agustus 2021. Untuk menyelesaikan pendidikan S1, penulis melakukan penelitian dalam bidang studi Metalurgi Manufaktur dengan tugas akhir berjudul “Analisis Pengaruh Variasi  *Holding Time*  dan Media Pendingin  *Up-Quenching*  pada Cu-16,8Zn-6,99Al Alloy terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan”. Penulis dapat dihubungi melalui alamat email: [trumandenby2400@gmail.com](mailto:trumandenby2400@gmail.com) dan No HP : 087874250471.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*