



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR – TL 184834

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DAN MEDIA
PENDINGIN *STEP QUENCH* PADA PROSES *SOLUTION
TREATMENT* PADUAN Cu-15,9Zn-6,89Al TERHADAP
STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN**

MARZUKI AKBAR
NRP. 02511840000108

Dosen Pembimbing
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
NIP. 195809101986031002
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

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DAN MEDIA
PENDINGIN STEP QUENCH PADA PROSES SOLUTION
TREATMENT PADUAN Cu-15,9Zn-6,89Al TERHADAP
STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN**

MARZUKI AKBAR
NRP. 02511840000108

Dosen Pembimbing
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
NIP. 195809101986031002
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

INFLUENCE OF TEMPERATURE VARIATIONS AND COOLING MEDIA STEP QUENCH IN SOLUTION TREATMENT PROCESS OF Cu-15,9Zn-6,89Al ALLOY TO MICROSTRUCTURE AND HARDNESS

MARZUKI AKBAR
NRP. 02511840000108

Supervisors
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
NIP. 195809101986031002
Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.
NIP. 198805012019031008

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

(This page is intentionally left blank)

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DAN MEDIA PENDINGIN *STEP QUENCH* PADA PROSES *SOLUTION TREATMENT ALLOY Cu-15,9Zn-6,89Al* TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN

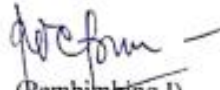
TUGAS AKHIR

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: **MARZUKI AKBAR**
NRP 02511840000108

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
2. Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.
3. Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.
4. Mas Irfan P Hidayat, S.T., M.Sc., Ph.D.


(Pembimbing I)


(Pembimbing II)


(Penguji)


(Penguji)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

APPROVAL SHEET

**INFLUENCE OF TEMPERATURE VARIATIONS AND COOLING MEDIA STEP
QUENCH IN SOLUTION TREATMENT PROCESS OF Cu-15,9Zn-6,89Al ALLOY
TO 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
Departement of Materials and Metallurgical Engineering
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By: **MARZUKI AKBAR**
NRP 02511840000108

Approved by Final Project Examiner Team :

1. Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
2. Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.
3. Budi Agung Kurniawan, S.T.,M.Sc.
4. Mas Irfan P Hidayat, S.T., M.Sc., Ph.D.


(Advisor)


(Co-Advisor)


(Examiner)


(Examiner)



(This page is intentionally left blank)

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

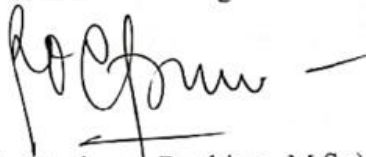
Nama mahasiswa/NRP : Marzuki Akbar/02511840000108
Departemen : Teknik Material Metalurgi
Dosen Pembimbing/NIP : Ir. Rochman Rochiem, M.Sc/ NIP.
195809101986031002

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Pengaruh Varisasi Temperatur dan Media Pendingin *Step Quench* Pada Proses *Solution Treatment* Paduan Cu-15,9Zn-6,89Al 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, 26 Juli 2022

Mengetahui
Dosen Pembimbing



(Ir. Rochman Rochiem, M.Sc)
NIP. 195809101986031002

Mahasiswa



(Marzuki Akbar)
NRP. 02511840000108

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student/NRP : Marzuki Akbar/02611840000108
Departement : Material and Metallurgical Engineering
Advisor/NIP : Ir. Rochman Rochiem, M.Sc/ NIP.
195809101986031002

Hereby declare that the Final Project with the title of “Influence Of Temperature Variation And Cooling Media Step Quench In Solution Treatment Process Of Cu-15,9Zn-6,89Al Alloy To 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, 26 July 2022

Acknowledged
Advisor



(Ir. Rochman Rochiem, M.Sc)
NIP. 195809101986031002

Student



(Marzuki Akbar)
NRP. 02511840000108

(This page is intentionally left blank)

PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DAN MEDIA PENDINGIN STEP QUENCH PADA PROSES SOLUTION TREATMENT PADUAN Cu-15,9Zn-6,89Al TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN

Nama : Marzuki Akbar
NRP : 02511840000108
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi
Pembimbing I : Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
Pembimbing II : Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.

Abstrak

Paduan Cu-Zn-Al merupakan salah satu paduan *shape memory alloy* yang memiliki kemampuan untuk kembali ke bentuk semula setelah mengalami deformasi dengan proses pemanasan hingga melewati temperatur transformasinya. Paduan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Cu-15,9Zn-6,89Al. Paduan didapat dengan proses pengecoran yang kemudian diikuti dengan perlakuan panas *homogenizing*, *annealing*, dan *solution treatment* selama 10 menit dengan variasi temperatur 750°C, 800°C, dan 850°C. Proses *quench* yang dilakukan setelah *solution treatment* menggunakan metode *step quench* dengan variasi media pendingin oli dan air pada temperatur 100°C selama 10 menit. Selanjutnya dianalisis terkait perlakuan tersebut terhadap struktur mikro dan kekerasan dari paduan Cu-15,9Zn-6,89Al. Struktur mikro yang terbentuk pada seluruh spesimen adalah α , β , dan γ tanpa adanya fasa martensit (β'). Tidak terbentuknya β' (martensit) dikarenakan temperatur *martensite start* (M_s) berada di bawah temperatur ruang. Diameter ukuran butir terbesar adalah 163,49 μm yang terdapat pada spesimen SQWB 850 dan terkecil adalah 112,41 μm yang terdapat pada spesimen SQWB 750. Hal tersebut terjadi dikarenakan semakin tinggi temperatur *solution treatment* yang digunakan membuat ukuran butir semakin besar. Nilai kekerasan tertinggi adalah $271,33 \pm 2,08$ HVN yang terdapat pada spesimen SQOB 750 dan terendah adalah $257,67 \pm 3,06$ HVN yang terdapat pada spesimen SQWB 850. Media pendingin air memiliki laju pendinginan yang lebih lambat jika dibandingkan dengan oli pada *step quench* menggunakan temperatur 100°C selama 10 menit. Laju pendinginan yang lambat dan diameter butir yang besar membuat kekerasan semakin rendah.

Kata Kunci : *Cu-Zn-Al, Solution Treatment, Step-Quench, Variasi Temperatur, Media Pendingin, Struktur Mikro, Kekerasan.*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

THE INFLUENCE OF TEMPERATURE VARIATIONS AND COOLING MEDIA STEP QUENCH IN SOLUTION TREATMENT PROCESS OF Cu-15,9Zn-6,89Al ALLOY TO MICROSTRUCTURE AND HARDNESS

Student Name : Marzuki Akbar
NRP : 02511840000108
Department : Material and Metallurgical Engineering
Supervisor : Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
Co-Supervisor : Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.

Abstract

The Cu-Zn-Al alloy is one of the shape memory alloys which can return to its original shape after being deformed by heating until it passes the transformation temperature. The alloy used in this study was Cu-15,9Zn-6,89Al. The alloy is obtained by casting process which is then followed by heat treatment of homogenizing, annealing, and solution treatment for 10 minutes with temperature variations of 750°C, 800°C, and 850°C. The quenching process is carried out after the solution treatment using the step quench method with variations of oil and water cooling media at a temperature of 100°C for 10 minutes. Furthermore, it was analyzed related to the treatment of the microstructure and hardness of the Cu-15,9Zn-6,89Al alloy. The microstructures formed in all specimens are α , β , and γ without the presence of martensite phase (β'). No formation of β' (martensite) because the martensite start temperature (M_s) is below room temperature. The diameter of the largest grain size is 163.49 μ m in the SQWB 850 specimen and the smallest is 112.41 μ m in the SQWB 750 specimen. This is because the higher the solution treatment temperature used, the larger the grain size. The highest hardness value is 271.33 ± 2.08 HVN found in the SQOB 750 specimen and the lowest is 257.67 ± 3.06 HVN found in the SQWB 850 specimen. Water cooling media has a slower cooling rate when compared to oil in step quench using a temperature of 100°C for 10 minutes. The slow cooling rate and large grain diameter make the hardness lower.

Keywords: *Cu-Zn-Al, Solution Treatment, Step-Quench, Temperature Variation, Cooling Media, Microstructure, Hardness.*

(This page is intentionally left blank)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir yang berjudul “Pengaruh Variasi Temperatur dan Media Pendingin *Step Quench* pada Proses *Solution Treatment* Paduan Cu-15,9Zn-6,89Al terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan” untuk memenuhi Mata Kuliah Tugas Akhir sebagai salah satu syarat kelulusan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama proses penelitian, penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dan memberi dukungan kepada penulis, diantaranya adalah:

1. Bapak Ir. Rochman Rochiem, M.Sc, selaku dosen pembimbing pertama yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir sekaligus sebagai dosen wali penulis.
2. Bapak Mavindra Ramadhani, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing kedua yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
3. Orang Tua dan segenap keluarga yang sudah memberikan dukungan baik materi dan doa sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir.
4. Kepala Departemen DTMM FTIRS ITS, Bapak Sigit Tri Wicaksono S.Si., M.Si., Ph.D. yang telah membantu proses Tugas Akhir sampai selesai.
5. Ibu Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si. selaku dosen wali penulis selama menempuh perkuliahan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FT-IRS ITS Surabaya.

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

Surabaya, 26 Juli 2022
Penulis

Marzuki Akbar

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
APPROVAL SHEET	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN ORISINALITAS	Error! Bookmark not defined.
STATEMENT OF ORIGINALITY	Error! Bookmark not defined.
Abstrak	xiii
Abstract	xv
KATA PENGANTAR	xvii
DAFTAR ISI	xix
DAFTAR GAMBAR	xxi
DAFTAR TABEL	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	1
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 <i>Shape Memory Alloy</i> (SMA).....	3
2.1.1 Transformasi Fasa pada <i>Shape Memory Alloy</i>	3
2.1.2 <i>Shape Memory Effect</i> (SME).....	5
2.2 Paduan Cu-Zn-Al.....	6
2.3 Diagram Fasa Cu-Zn-Al.....	8
2.4 Perlakuan Panas.....	9
2.4.1 <i>Homogenizing</i>	9
2.4.2 <i>Annealing</i>	9
2.4.3 <i>Solution Treatment</i>	10
2.4.4 <i>Quenching</i>	10
2.5 Pengujian.....	11
2.5.1 Pengujian Komposisi Kimia.....	11
2.5.2 Pengujian Metalografi.....	12
2.5.3 Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	12
2.5.4 Pengujian Kekerasan.....	13
2.5.5 Pengujian <i>Differential Scanning Calorimeter</i> (DSC).....	14
2.5.6 Pengujian <i>Shape Memory Effect</i> (SME).....	14
2.6 Penelitian Sebelumnya.....	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	19
3.2 Alat Penelitian.....	20
3.3 Bahan Penelitian.....	23
3.4 Kurva Perlakuan Panas.....	24
3.5 Prosedur Penelitian.....	24
3.5.1 Prosedur Proses Perlakuan Panas <i>Homogenizing</i>	24
3.5.2 Prosedur Proses Perlakuan Panas <i>Annealing</i>	24
3.5.3 Prosedur Proses Perlakuan Panas <i>Solution Treatment</i>	25
3.6 Proses Pengujian.....	25
3.6.1 Pengujian Komposisi Kimia.....	25

3.6.2	Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	25
3.6.3	Pengujian Metalografi.....	25
3.6.4	Pengujian Kekerasan.....	26
3.6.5	Pengujian <i>Differential Scanning Calorimetry</i> (DSC)	26
3.6.6	Pengujian Shape Memory Effect (SME)	26
3.7	Jadwal Penelitian.....	27
3.8	Rancangan Penelitian	27
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1	Hasil Pengujian Komposisi Kimia.....	29
4.2	Hasil Pengujian <i>Differential Scanning Calorimetry</i> Paduan Cu-15,9Zn-6,89Al	29
4.3	Hasil Pengujian XRD Paduan Cu-15,9Zn-6,89Al	31
4.4	Hasil Pengujian Metalografi Paduan Cu-15,9Zn-6,89Al.....	33
4.5	Hasil Pengujian Kekerasan Paduan Cu-15,9Zn-6,89Al.....	36
4.6	Hasil Pengujian <i>Shape Memory Effect</i> Cu-15,9Zn-6,89Al.....	38
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	41
5.1	Kesimpulan	41
5.2	Saran.....	41
DAFTAR PUSTAKA	XVIII	
LAMPIRAN.....	XXII	
UCAPAN TERIMA KASIH	LI	
BIODATA PENULIS.....	LIII	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	SMA <i>spring</i> pada <i>gearbox</i> dengan kondisi B) temperatur rendah, C) temperatur tinggi.	3
Gambar 2.2	Perbedaan mekanisme transformasi kristal secara: a) <i>slip</i> ; b) <i>twinning</i>	4
Gambar 2.3	Mekanisme transformasi fasa dari austenit menuju martensit dan sebaliknya.	4
Gambar 2.4	Mekanisme perubahan fasa <i>twinned martensite</i> menuju <i>detwinned martensite</i>	4
Gambar 2.5	Mekanisme <i>shape memory effect</i> ditinjau dari transformasi fasa.	5
Gambar 2.6	Skema diagram <i>stress-strain-temperature</i> pada fenomena <i>shape memory effect</i>	6
Gambar 2.7	Perbedaan <i>one-way shape memory effect</i> dengan <i>two-way shape memory effect</i>	6
Gambar 2.8	Diagram fasa Cu-Zn	8
Gambar 2.9	Diagram fasa terner Cu-Zn-Al pada temperatur 700°C	9
Gambar 2.10	Pengaruh temperatur dan <i>holding time solution treatment</i> terhadap ukuran butir paduan Cu-Zn-Al.	10
Gambar 2.11	Skema proses <i>step-quench</i>	11
Gambar 2.12	Eksitasi atom menggunakan percikan/spark.	12
Gambar 2.13	Difraksi oleh bidang kristal	13
Gambar 2.14	Proses pengujian kekerasan menggunakan metode Vickers	13
Gambar 2.15	Hasil pengujian metalografi Cu-21 Zn-5 Al <i>shape memory alloy</i> Perbesaran 100x pada Spesimen: (a) 750; (b) 850; dan (c) 900.	15
Gambar 2.16	Hasil pengujian metalografi pada spesimen <i>step-quench</i> dengan media pendingin: a) <i>waterbath</i> ; b) <i>oilbath</i>	15
Gambar 2.17	Hasil pengujian metalografi pada spesimen: a) <i>direct quench</i> paduan C; b) <i>up-quench</i> paduan A; c) <i>up-quench</i> paduan C; d) <i>step-quench</i> paduan B.	16
Gambar 2.18	Analisis SEM menggunakan paduan A setelah mengalami proses: a) <i>direct quench</i> ; b) <i>up-quench</i> ; c) <i>step-quench</i>	17
Gambar 2.19	Struktur mikro Cu-Zn-Al setelah mengalami <i>step-quench</i> dengan; a) <i>oilbath</i> ; b) <i>waterbath</i>	17
Gambar 2.20	Hasil pengujian metalografi dengan metode <i>step quench</i> menggunakan oli setelah diberi perlakuan <i>solution treatment</i> pada temperatur (a) 800°C, (b) 850°C, (c) 900°C dengan perbesaran 100x.	18
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	20
Gambar 3.2	Gerinda Tangan	21
Gambar 3.3	Mesin Grinding dan Polishing	21
Gambar 3.4	High Temperature Furnace	21
Gambar 3.5	Alat Uji Kekerasan	22
Gambar 3.6	Mikroskop Optik	22
Gambar 3.7	Alat bantu <i>bending</i> dan dimensi (mm).	23
Gambar 3.8	Gambar paduan Cu-Zn-Al hasil proses pengecoran dan <i>machining</i> (A) Hasil pengecoran, (B) Balok, (C) <i>Wire</i>	23
Gambar 3.9	Kurva Perlakuan Panas	24
Gambar 3.10	Skema pengujian SME (Chanmuang et al., 2018).	26
Gambar 4.1	Grafik hasil pengujian DSC SQWB 850 paduan Cu-15,9Zn-6,89Al.	29

Gambar 4.2	Grafik hasil pengujian DSC SQOB 850 paduan Cu-15,9Zn-6,89Al.....	30
Gambar 4.3	Hasil pengujian XRD Cu-15,9Zn-6,89Al dengan menggunakan <i>step quench</i> air.....	31
Gambar 4.4	Hasil pengujian XRD Cu-15,9Zn-6,89Al menggunakan <i>step quench</i> oli.....	32
Gambar 4.5	Hasil pengujian metalografi spesimen <i>as cast</i> Cu-15,9Zn-6,89Al perbesaran 100x.	33
Gambar 4.6	Hasil pengujian metalografi spesimen perbesaran 100x dengan perlakuan panas solution treatment variasi temperatur (A) 750°C, (B) 800°C, (C) 850°C selama 10 menit diikuti dengan <i>step quench</i> menggunakan media air.	34
Gambar 4.7	Hasil pengujian metalografi spesimen perbesaran 100x dengan perlakuan panas solution treatment variasi temperatur (A) 750°C, (B) 800°C, (C) 850°C selama 10 menit diikuti dengan <i>step quench</i> menggunakan media oli.	35
Gambar 4.8	Grafik Nilai Kekerasan Paduan Cu-15,9Zn-6,89Al.....	37
Gambar 4.9	Pengujian <i>shape memory effect</i> pada Paduan Cu-15,9Zn-6,89Al (a) proses penekukan, (b) sebelum dipanaskan, dan (c) setelah dipanaskan.	38

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Spesifikasi unsur penyusun paduan Cu-Zn-Al.....	7
Tabel 2.2	Sifat Paduan Cu-Zn-Al Shape Memory Alloy	7
Tabel 3.1	Jadwal Penelitian	27
Tabel 3.2	Rancangan Penelitian	27
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Komposisi Kimia Paduan Cu-Zn-Al.....	29
Tabel 4.2	Grafik hasil pengujian DSC SQWB 850 paduan Cu-15,9Zn-6,89Al.....	30
Tabel 4.3	Posisi 2θ pada fasa yang teridentifikasi Cu-15,9Zn-6,89Al dengan dengan menggunakan <i>step quench</i> air.....	31
Tabel 4.4	Posisi 2θ pada fasa yang teridentifikasi Cu-15,9Zn-6,89Al dengan dengan menggunakan <i>step quench</i> oli.	32
Tabel 4.5	Ukuran Butir Spesimen Paduan Cu-15,9Zn-6,89Al.....	36
Tabel 4.6	Nilai Kekerasan Paduan Cu-15,9Zn-6,89Al.....	36
Tabel 4.7	Hasil pengujian <i>shape memory effect</i> paduan Cu- 15,9Zn-6,89Al.....	39

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi secara umum terus mengalami peningkatan. Salah satu teknologi yang perkembangannya cukup pesat pada saat ini adalah material cerdas (*smart material*). Material cerdas adalah suatu material yang memiliki kemampuan untuk mengubah suatu sifatnya secara signifikan oleh stimulus (rangsangan) eksternal. Rangsangan tersebut dapat berupa tekanan, suhu, rengangan, dan lain sebagainya. Salah satu jenis dari material cerdas adalah *Shape Memory Alloy* (SMA). *Shape memory alloy* adalah suatu jenis material cerdas yang memiliki sifat untuk mengingat bentuk sebagai respons adanya pemanasan yang disebut dengan *shape memory effect*. *Shape memory alloy* menurut jenis perubahan bentuknya terbagi menjadi dua, yaitu *one-way shape memory* dan *two-ways shape memory* (Duerig & Melton, 1990).

Pada umumnya, paduan *shape memory alloy* yang sering digunakan adalah paduan antara Nikel dan Titanium (Ni-Ti). Paduan Ni-Ti memiliki sifat yang lebih unggul dibandingkan dengan jenis *shape memory alloy* lain. Kelemahan utama yang terdapat pada paduan Ni-Ti adalah harganya yang sangat mahal dan tidak dapat digunakan pada temperatur diatas temperatur kamar. Hal tersebut membuat para ilmuwan mencari alternatif lain sebagai pengganti dari paduan Ni-Ti. Salah satu alternatif pengganti paduan Ni-Ti sebagai *shape memory alloy* adalah paduan berbasis tembaga (Cu), khususnya paduan Cu-Zn-Al. Paduan Cu-Zn-Al memiliki keunggulan berupa harga bahan yang lebih murah, proses produksi yang lebih mudah, dan temperatur transformasi yang lebih luas (Duerig & Melton, 1990).

Penelitian terkait variasi temperatur *solution treatment* dan variasi *quenchant* telah dilakukan sebelumnya oleh Jatimurti pada tahun 2020. Penelitian dilakukan dengan menggunakan tiga variabel temperatur *solution treatment* yaitu 750°C, 850°C, 900°C dan dua variabel *quenchant* yaitu *brine* dan *dry ice*. Hasil penelitian tersebut menyatakan bahwa semakin tinggi temperatur *solution treatment* maka ukuran batas butir akan semakin besar yang dapat berpengaruh terhadap nilai kekerasan (Jatimurti et al., 2020). Penelitian mengenai variasi media pendingin *quench* pada SMA Cu-Zn-Al juga diteliti oleh Asanovic pada tahun 2004. Penelitian tersebut menyatakan bahwa media pendingin oli pada metode *quench step quench* memiliki laju pendinginan yang lebih cepat jika dibandingkan dengan media pendingin air pada metode *quench step quench*. Hal tersebut terjadi dikarenakan pada media pendingin air *vapor layer stage* yang terjadi terlalu lama. Hal tersebut membuat spesimen terhambat dalam mengeluarkan energi panasnya ke media pendingin sehingga proses pendinginan menjadi lambat. Proses pendinginan yang lambat tersebut membuat fasa β pada spesimen Cu-Zn-Al terdifusi menjadi fasa α yang dapat menurunkan karakteristik dari sifat *shape memory alloy* (Asanovic, et al., 2011). Penelitian kali ini akan menganalisis pengaruh variasi temperatur dan media pendingin *step quench* pada *solution treatment* terhadap *shape memory effect*, struktur mikro, dan kekerasan. Analisa dilakukan dengan melakukan pengujian komposisi kimia, pengujian metalografi, DSC, XRD, pengujian kekerasan, dan pengujian *shape memory effect*.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun perumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi temperatur pada proses *solution treatment* dengan paduan Cu-15,9Zn-6,89Al terhadap struktur mikro dan kekerasan?
2. Bagaimana pengaruh media pendingin *step quench* pada proses *solution treatment* dengan paduan Cu-15,9Zn-6,89Al terhadap struktur mikro dan kekerasan?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh variasi temperatur pada proses *solution treatment* dengan paduan Cu-15,9Zn-6,89Al terhadap struktur mikro dan kekerasan
2. Menganalisis pengaruh variasi media pendingin *step quench* pada proses *solution treatment* dengan paduan Cu-15,9Zn-6,89Al terhadap struktur mikro dan kekerasan.

1.4 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. Indikator pada *furnace* dianggap sesuai dengan metode.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan serta menganalisis data pada variasi temperatur dan media pendingin *step quench* pada *solution treatment* terhadap struktur mikro dan kekerasan pada paduan Cu-15,9Zn-6,89Al. Harapannya hasil tersebut dapat diaplikasikan ke dalam industri dan menjadi pengembangan penelitian untuk Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS

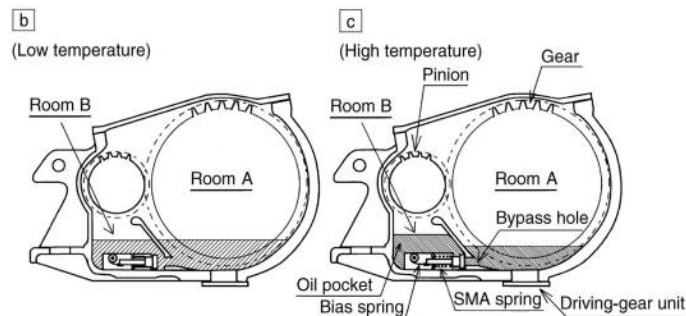
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Shape Memory Alloy (SMA)

Shape memory alloy adalah suatu logam paduan yang memiliki kemampuan untuk mengembalikan bentuknya ke bentuk semula ketika dipanaskan hingga mencapai temperatur tertentu. Penelitian terkait *shape memory alloy* pertama kali dilakukan oleh Ölander pada tahun 1932 dengan menggunakan paduan Au-Cd. Penelitian tersebut menyatakan bahwa deformasi yang terjadi pada paduan *shape memory alloy* bersifat *reversible* atau dapat kembali ke bentuk semula atau disebut sebagai *shape memory effect*. Penelitian terkait *shape memory effect* kemudian diperdalam oleh *Naval Ordnance Laboratories* di Amerika Serikat pada tahun 1971 yang meneliti paduan Ni-Ti yang saat ini masih digunakan selain paduan *Cu-based* dan *Fe-based*. Menurut sifatnya, *shape memory alloy* terbagi menjadi dua jenis, yaitu *one-way shape memory* dan *two-way shape memory* (Duerig & Melton, 1990).

Paduan yang digunakan pada *shape memory alloy* ini terdiri dari Ni-Ti, *Cu-based*, dan *Fe-based*. Paduan Ni-Ti merupakan paduan yang paling banyak digunakan dikarenakan sifatnya yang lebih unggul jika dibandingkan dengan paduan *Cu-based* dan *Fe-based*. Kelemahan utama dari paduan Ni-Ti adalah biaya produksi yang tinggi, temperatur leleh yang tinggi, dan tidak dapat digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan temperatur di atas temperatur kamar. Hal tersebut membuat paduan *Cu-based* seperti Cu-Zn-Al dan Cu-Al-Ni dapat digunakan sebagai salah satu pengganti dari paduan Ni-Ti (Duerig & Melton, 1990).

Aplikasi dari *shape memory alloy* salah satunya terdapat pada bidang automotif, yaitu SMA *spring* yang terdapat pada bagian *automatic oil-level adjusting device* di kereta cepat Shinkansen. Fungsi dari alat tersebut adalah mengatur volume oli sesuai temperatur pada ruang *gearbox* kereta yang terbagi menjadi dua ruang. Cara kerja dari alat tersebut adalah mengatur agar ketika ruang A pada Gambar 2.1 yang terdapat *gearbox* mengalami peningkatan suhu yang tinggi, maka oli dapat dialihkan ke ruang yang lain dan menutup katup penghubung ruang A dan ruang B menggunakan SMA *spring*. Kemudian ketika temperatur mengalami penurunan, maka katup penghubung ruang A dan ruang B dapat dibuka kembali serta SMA *spring* kembali ke bentuk semula (Otsuka & Kakeshita, 2002).



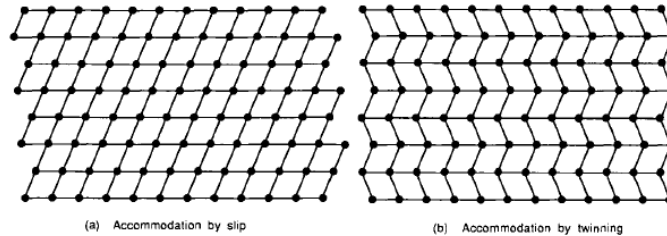
Gambar 2.1 SMA *spring* pada *gearbox* dengan kondisi B) temperatur rendah, C) temperatur tinggi (Otsuka & Kakeshita, 2002).

2.1.1 Transformasi Fasa pada Shape Memory Alloy

Shape memory alloy memiliki dua jenis fasa yang berbeda yaitu austenit pada temperatur tinggi dan martensit pada temperatur rendah. Fasa austenit pada SMA memiliki struktur kristal kubik sedangkan martensit memiliki struktur kristal berupa tetragonal, *orthorhombic* atau *monoclinic*. Transformasi dari fasa austenit yang bertemperatur tinggi menuju fasa martensit yang bertemperatur rendah dilakukan dengan mekanisme *twinning*. Hal tersebut membuat transformasi dapat bersifat *reversible* dan tidak permanen seperti pada mekanisme *slip* yang

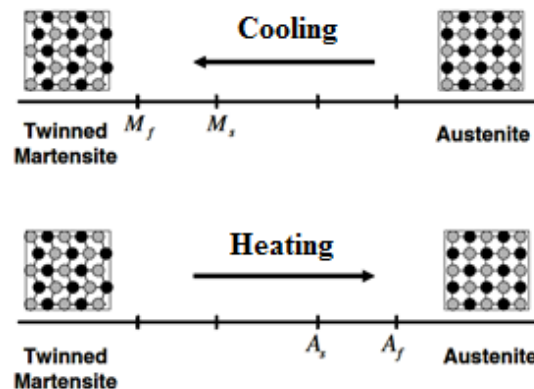
terjadi pada baja dan besi cor. Perbedaan mekanisme transformasi secara *slip* dan *twinning* dapat terlihat pada Gambar 2.2 (Machado & Lagoudas, 2008).

Proses transformasi pada SMA dimulai dengan austenit yang mengalami perubahan fasa menjadi *twinned martensite* akibat proses pendinginan dibawah temperatur *martensite start* (M_s) hingga mencapai temperatur *martensite finish* (M_f).



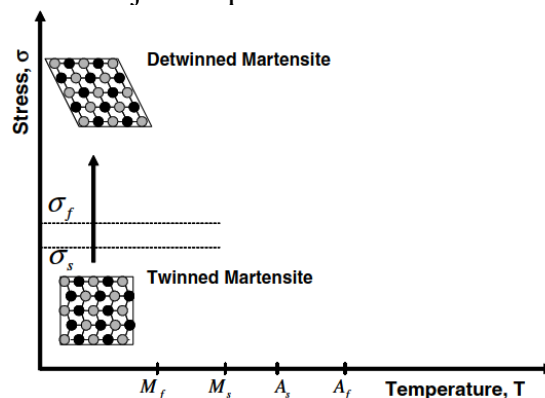
Gambar 2.2 Perbedaan mekanisme transformasi kristal secara: a) *slip*; b) *twinning* (Duerig & Melton, 1990).

Setelah melewati batas temperatur M_f , paduan SMA akan memiliki fasa berupa *twinned martensite*. *Twinned martensite* memiliki beberapa varian seperti pada Gambar 2.3. Varian tersebut dapat berorientasi menjadi satu arah jika paduan SMA diberikan suatu gaya eksternal tanpa adanya perubahan temperatur. Proses tersebut dinamakan proses *detwinning* (Duerig & Melton, 1990).



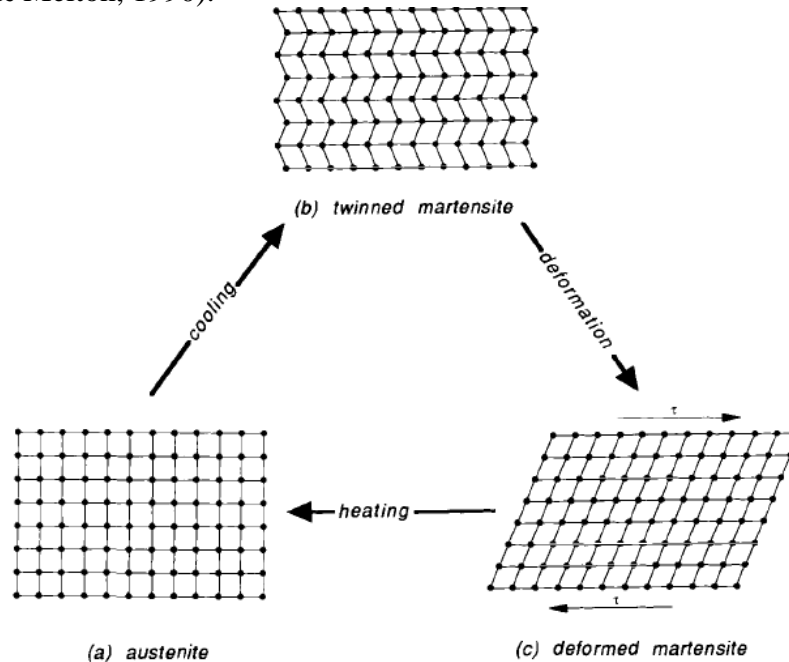
Gambar 2.3 Mekanisme transformasi fasa dari austenit menuju martensit dan sebaliknya (Machado & Lagoudas, 2008).

Detwinning menghasilkan perubahan bentuk secara makroskopis dan perubahan tersebut bertahan saat beban dihilangkan. Adapun mekanisme perubahan fasa dari *twinned martensite* menuju *detwinned martensite* ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Mekanisme perubahan fasa *twinned martensite* menuju *detwinned martensite* (Machado & Lagoudas, 2008).

Detwinned martensite akan mengalami transformasi menjadi austenit jika dipanaskan hingga mencapai temperatur diatas *austenite finish* (A_f). Transformasi dimulai ketika temperatur diatas *austenite start* (A_s) dan berakhir ketika temperatur diatas *austenite finish* (A_f). Austenit pada paduan tersebut jika mengalami pendinginan akan kembali menjadi *twinned martensite*. Proses perubahan fasa tersebut dapat terlihat pada Gambar 2.5 dan dinamakan sebagai *shape memory effect* (Duerig & Melton, 1990).

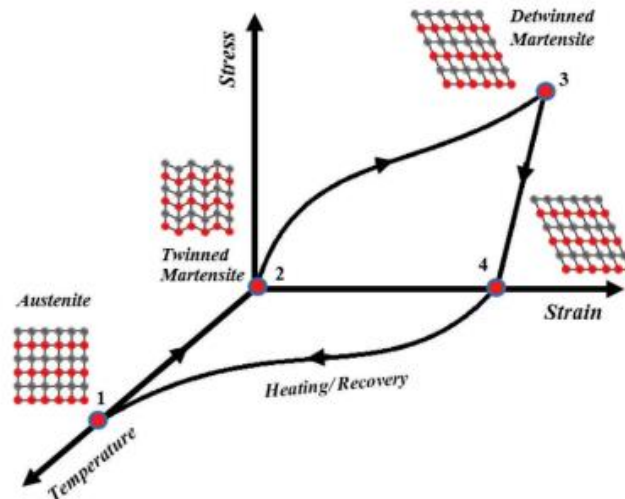


Gambar 2.5 Mekanisme *shape memory effect* ditinjau dari transformasi fasa (Duerig & Melton, 1990).

2.1.2 *Shape Memory Effect* (SME)

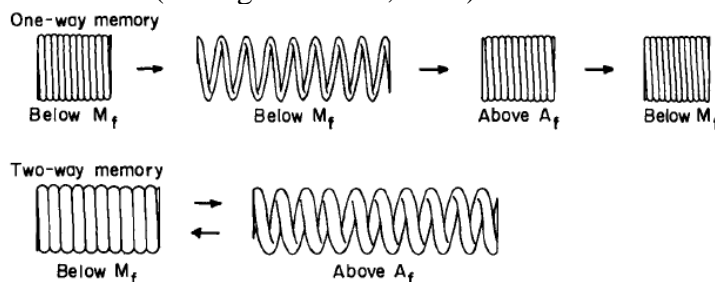
Shape memory effect merupakan sifat yang wajib dimiliki oleh setiap paduan SMA. *Shape memory effect* pada paduan SMA dapat terjadi dikarenakan adanya sifat *thermoelastic martensitic transformation*. Fenomena *shape memory effect* terjadi selama proses deformasi saat paduan SMA berada dibawah temperatur M_f dengan bentuk fasa berupa martensit. Paduan tersebut kemudian dipanaskan hingga berada diatas temperatur A_f dan membentuk fasa austenit serta mengembalikan bentuk awal dari paduan SMA (Najah Saud Al-Humairi, 2020).

Fenomena *shape memory effect* dimulai ketika proses pendinginan paduan SMA dari temperatur diatas A_f menuju temperatur M_f . Proses tersebut mengakibatkan transformasi fasa dari austenit (β) yang merupakan *parent phase* menuju fasa *twinned martensite*. *Twinned martensite* akan mengalami deformasi menjadi *detwinned martensite* akibat menerima tegangan eksternal dan regangan inelastis. Martensit yang berbentuk *detwinned* akan mengalami transformasi menjadi austenit akibat proses pemanasan paduan SMA hingga mencapai temperatur diatas A_f . Proses transformasi tersebut juga membuat bentuk dari paduan SMA kembali ke bentuk awal akibat dari regangan inelastis yang hilang ketika proses pemanasan berlangsung. Adapun skema dari fenomena dari *shape memory effect* ditunjukkan oleh Gambar 2.6 (Najah Saud Al-Humairi, 2020).



Gambar 2.6 Skema diagram *stress-strain-temperature* pada fenomena *shape memory effect* (Najah Saud Al-Humairi, 2020).

Shape memory effect menurut jenisnya terbagi menjadi dua yaitu *one-way shape memory effect* dan *two-way shape memory effect*. *One-way shape memory effect* adalah jenis dari SME yang memiliki kemampuan untuk kembali ke bentuk awal setelah paduan dipanaskan tetapi ketika didinginkan setelah proses pemanasan paduan tidak mengalami perubahan bentuk. *Two-way shape memory* adalah suatu jenis *shape memory* yang dapat kembali ke bentuk awal setelah paduan mengalami pemanasan dan pendinginan. Perbedaan dari kedua jenis SME tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.7 (Duerig & Melton, 1990).



Gambar 2.7 Perbedaan *one-way shape memory effect* dengan *two-way shape memory effect* (Duerig & Melton, 1990).

2.2 Paduan Cu-Zn-Al

Paduan berbasis Cu menjadi salah satu jenis paduan yang dapat menghasilkan *shape memory effect*. *Shape memory alloy* yang berbasis Cu memiliki beberapa jenis varian yaitu paduan yaitu Cu-Al-Ni, Cu-Zn-Al, Cu-Al-Be, Cu-Al-Ni-Mn, Cu-Al-Ni-Ti dan Cu-Al-Ni-Fe. Paduan SMA Cu-Zn-Al terdiri dari 3 unsur utama yaitu tembaga (Cu), seng (Zn) dan aluminium (Al). Adapun spesifikasi dari masing-masing unsur penyusun Cu-Zn-Al ditunjukkan oleh Tabel 2.1 (Najah Saud Al-Humairi, 2020).

Tabel 2.1 Spesifikasi unsur penyusun paduan Cu-Zn-Al (Groover, 2010).

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

Paduan Cu-Zn-Al membutuhkan *range* komposisi 10 sampai 30 % untuk Zn dan 5 sampai 10 % untuk Al untuk mendapatkan *sifat shape memory effect* (ASM International, 1990). Paduan SMA Cu-Zn-Al memiliki beberapa keunggulan seperti *thermal conductivity* yang tinggi, *recovery strain* yang cukup bagus dan biaya pembuatan yang murah.. Sifat dari paduan Cu-Zn-Al ditunjukkan pada Tabel 2.2 di bawah ini (Najah Saud Al-Humairi, 2020).

Tabel 2.2 Sifat Paduan Cu-Zn-Al Shape Memory Alloy (ASM International, 1990).

Sifat	Nilai
Temperatur leleh (°C)	950 - 1020
Densitas (g/cm ³)	7,64
Resistivitas (μΩ.cm)	8,5 - 9,7
Konduktivitas Termal (W/m. °C)	120
Kapasitas Panas (J/kg. °C)	400
Temperatur Transformasi (°C)	<120
<i>Recoverable Strain</i> (%)	4
<i>Hysteresis</i> (Δ°C)	15-25
Modulus Young (Gpa)	72 (fasa-β), 70 (martensit)
<i>Yield Strength</i> (Mpa)	350 (fasa-β), 80 (martensit)
<i>Ultimate Tensile Strength</i> (Mpa)	600

Shape memory alloy berbasis tembaga memiliki sifat metastabil. Hal tersebut membuat *solution treatment* pada daerah parent phase (β) dan pendinginan secara terkendali dibutuhkan untuk mempertahankan fasa β. *Solution treatment* dilakukan dalam waktu yang singkat untuk menghindari penguapan seng. Proses *quench* secara cepat dan langsung ke fasa martensit sangat rentan terhadap stabilisasi martensit yang membuat temperatur dari *reverse transformation* meningkat. Untuk paduan SMA Cu-Zn-Al dengan temperatur M_s di atas temperatur ruangan, pendinginan lambat dan *step-quench* pada *parent phase* (β) harus dilakukan (ASM International, 1990).

Menurut *ASM Handbook vol 2*, temperatur transformasi martensit dari paduaun SMA Cu-Zn-Al dapat diperkirakan dengan menggunakan persamaan berikut (ASM International, 1990).

$$M_s(^{\circ}C) = 2212 - 66.9 (\text{at.}\% \text{Zn}) - 90.65 (\text{at.}\% \text{Al}) \dots\dots\dots(2.1)$$

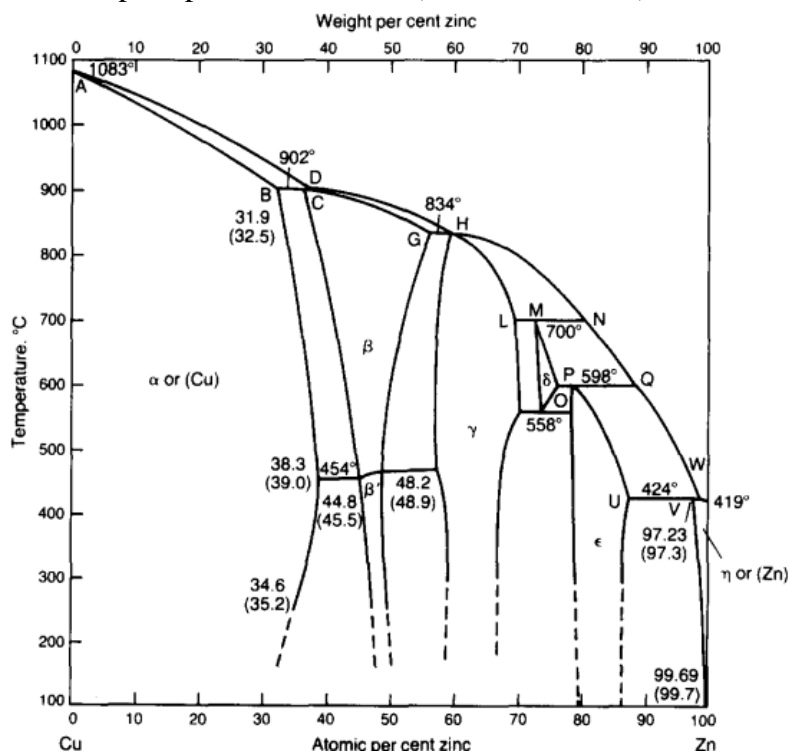
Selain dari buku *ASM Metal Handbook Vol.2*, terdapat persamaan menurut buku *Engineering Aspects of Shape Memory Alloys* untuk mencari perkiraan temperatur M_s dari paduan *shape memory* Cu-Zn-Al (Duerig & Melton, 1990).

$$M_s(^{\circ}C) = 2212 - 66.9 [1.355(\text{at.}\% \text{Al}) + 1(\text{at.}\% \text{Zn})] \dots\dots\dots(2.2)$$

2.3 Diagram Fasa Cu-Zn-Al

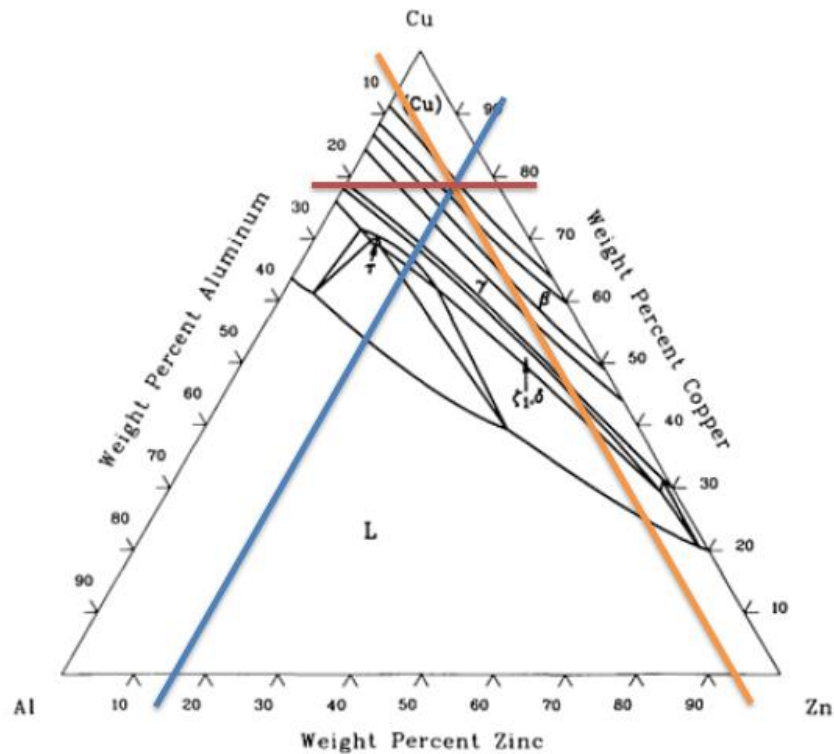
Diagram fasa adalah suatu grafik atau diagram yang merepresentasikan mengenai fasa dalam suatu paduan dengan variasi temperatur, komposisi dan tekanan. Diagram fasa dalam suatu paduan berfungsi untuk mengidentifikasi kelarutan pada suatu paduan dan menunjukkan jenis-jenis fasa yang terbentuk pada kondisi di mana tidak adanya perubahan yang bergantung pada waktu atau disebut sebagai ekuilibrium. Kondisi ekuilibrium dapat dicapai melalui proses pemanasan dan pendinginan yang sangat lambat sehingga bila ada perubahan fasa yang harus terjadi maka akan tersedia waktu yang cukup untuk mencapai kondisi kesetimbangan. Diagram fasa memiliki beberapa jenis berdasarkan unsur yang terkandung didalamnya. Untuk paduan yang memiliki dua unsur disebut sebagai diagram *binary*. Sedangkan untuk paduan yang memiliki tiga unsur disebut sebagai diagram *ternary* (S.H. Avner, 2015).

Paduan *shape memory alloy* Cu-Zn-Al merupakan paduan yang memiliki diagram fasa *ternary*. Hal tersebut disebabkan karena paduan tersebut memiliki tiga jenis unsur yaitu tembaga, seng dan aluminium. Dalam kondisi ekuilibrium, paduan Cu-Zn-Al memiliki fasa α , β , dan γ . Fasa α memiliki sifat ulet dan lunak dengan struktur kristal FCC, fasa β memiliki sifat keras dan getas dengan struktur kristal BCC, dan fasa γ memiliki kekerasan yang sangat tinggi dan sangat getas jika dibandingkan dengan fasa yang lainnya (Higgins, 1999). Fasa β memiliki peranan penting dalam menunjukkan fenomena *shape memory effect*. Hal tersebut terjadi dikarenakan fasa yang dapat membentuk martensit (β') hanya fasa β yang mengalami pendinginan secara non-equilibrium (Duerig & Melton, 1990). Fasa β dapat diamati dalam diagram *binary* Cu-Zn seperti pada Gambar 2.8 (Lexcelent, 2013).



Gambar 2.8 Diagram fasa Cu-Zn(Lexcellent, 2013).

Pada Gambar 2.9 merupakan *diagram ternary* Cu-Zn-Al pada suhu 700°C. Garis berwarna merah menunjukkan persen berat dari Tembaga (Cu), garis berwarna biru menunjukkan persen berat dari Seng (Zn), dan garis berwarna jingga menunjukkan persen berat dari Aluminium (Al). Terlihat bahwa fasa yang terdapat dalam Cu-15,9Zn-6,89Al adalah austenite (β) pada suhu 700°C (ASM International, 1990).



Gambar 2.9 Diagram fasa terner Cu-Zn-Al pada temperatur 700°C (ASM International, 1989).

2.4 Perlakuan Panas

Perlakuan panas adalah suatu proses pemanasan atau pendinginan logam dalam waktu tertentu dengan kondisi solid solution yang bertujuan untuk mengubah sifat dari logam tersebut. Sifat logam yang berubah akibat proses perlakuan panas adalah sifat mekanik. Proses perlakuan panas dimulai dengan memanaskan logam hingga menyentuh maupun melewati temperatur kritis. Hal tersebut dilakukan untuk mendapatkan fasa austenit secara keseluruhan. Perlakuan panas yang digunakan dalam penelitian ini antara lain *Homogenizing*, *Annealing*, *Solution Treatment* dan *Quenching* (Singh, 2006).

2.4.1 Homogenizing

Homogenizing merupakan proses pemanasan material pada temperatur tinggi yang bertujuan untuk menghindari *coring* akibat proses solidifikasi selama proses pengecoran. *Homogenizing* banyak dilakukan pada paduan *non-ferrous* yang memiliki range temperatur solidifikasi yang tinggi seperti Ni-Ti atau paduan tembaga lainnya. Temperatur yang digunakan dalam proses *homogenizing* berkisar antara 700-1000°C atau 50°C di atas garis *solvus* dengan waktu tahan selama 3 hingga 10 jam. *Homogenizing* dilakukan untuk meningkatkan keuletan dari benda hasil pengecoran untuk pemrosesan selanjutnya (ASM International, 1991).

2.4.2 Annealing

Annealing adalah proses pemanasan material hingga mencapai temperatur tertentu dan menahan temperatur tersebut dalam waktu yang telah ditentukan lalu dilakukan pendinginan secara lambat. Perlakuan panas jenis ini dilakukan untuk menghilangkan tegangan sisa, melunakkan paduan dan meningkatkan keuletan serta ketangguhan dari paduan. *Annealing* memiliki beberapa jenis yang diklasifikasikan berdasarkan proses dan temperatur yang digunakan. Adapun jenis dari *annealing* antara lain anil sempurna, anil proses dan anil pelepasan tegangan.

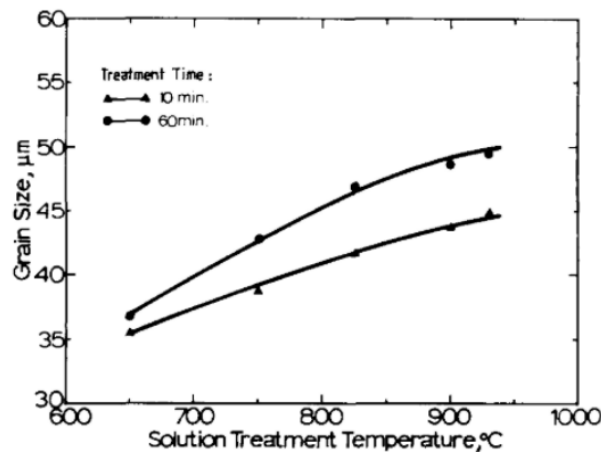
Anil pelepasan tegangan digunakan untuk menghilangkan tegangan sisa akibat proses machining yang dialami benda kerja sebelum proses anil. Proses ini membantu untuk mengurangi terjadinya distorsi dan variasi dimensi yang mungkin terjadi pada bagian yang memiliki tegangan (ASM International, 1991).

2.4.3 Solution Treatment

Solution treatment adalah suatu proses perlakuan panas yang bertujuan untuk melarutkan atau mencegah terbentuknya fasa baru, sehingga yang didapatkan hanya sebuah fasa tunggal yang berada di atas garis *solvus*. Perlakuan panas jenis ini sangat sering digunakan untuk paduan *non-ferrous*. *Solution treatment* dilakukan dengan memanaskan logam hingga mencapai temperatur di atas *garis solvus* dan ditahan selama beberapa saat, kemudian dilakukan proses pendinginan secara cepat (*quench*). Proses pemanasan yang dilakukan hingga temperatur di atas *garis solvus* agar paduan hanya memiliki satu fasa yaitu fasa β (ASM International, 1991).

Proses *solution treatment* pada paduan SMA Cu-Zn-Al dilakukan untuk menghasilkan fasa martensit (β'). Martensit didapatkan dengan cara memanaskan fasa α dan β , yang terdapat pada paduan yang belum mengalami *solution treatment*, dari temperatur kamar hingga mencapai temperatur di atas *garis solvus*. Pada kondisi tersebut, transformasi fasa dari α larut kedalam β dan hanya tersisa fasa β . Paduan tersebut kemudian ditahan selama beberapa waktu untuk menghomogenkan fasa β (austenit). Setelah ditahan selama beberapa waktu, paduan didinginkan secara cepat agar α yang larut kedalam fasa β tidak dapat muncul kembali, kemudian didapatkan fasa β' yang berupa martensit (Adnyana, 1986).

Temperatur dan waktu tahan yang digunakan dalam proses *solution treatment* berpengaruh terhadap ukuran butir dan kekerasan dari suatu paduan tersebut. Pada gambar 2.10 terlihat bahwa temperatur *solution treatment* dan waktu tahan yang semakin tinggi dapat membuat ukuran dari butir meningkat. Ukuran butir yang besar dapat membuat kekerasan dari material menjadi semakin kecil (Adnyana, 1986).



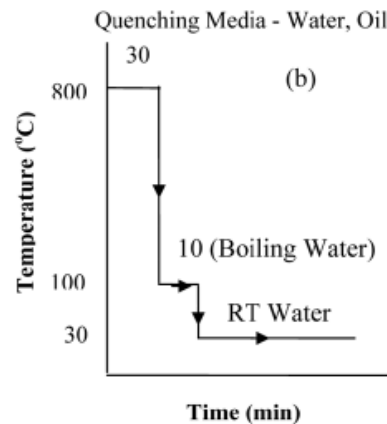
Gambar 2.10 Pengaruh temperatur dan *holding time solution treatment* terhadap ukuran butir paduan Cu-Zn-Al (Adnyana, 1986).

2.4.4 Quenching

Perlakuan panas *quench* dilakukan untuk mempertahankan fasa β yang terbentuk akibat proses *solution treatment*. Proses *quench* pada umumnya adalah proses pendinginan logam dari temperatur tinggi ke temperatur rendah secara cepat dengan tujuan untuk menekan presipitasi sehingga terbentuk *solid solution* dengan kondisi *supersaturated* hingga temperatur ruang (Mohamed & Samuel, 2012). Proses *quench* dengan pendinginan yang terlalu cepat dapat menyebabkan stabilisasi martensit pada paduan SMA Cu-Zn-Al. Stabilisasi martensit merupakan suatu fenomena yang dapat membuat temperatur transformasi dari martensit

menjadi austenit semakin tinggi. Hal tersebut dapat membuat *shape memory effect* dari paduan menjadi semakin kecil atau bahkan menghilang. Salah satu metode quench yang dapat mencegah adanya stabilisasi martensit adalah *Step-quenching* (ASM International, 1991).

Step-quenching adalah salah satu metode *quench* dengan menggunakan dua langkah *quench*. Pada langkah pertama, material pada temperatur tinggi akan didinginkan pada media pendingin di atas temperatur ruang (100°C) dan ditahan selama beberapa menit. Pada langkah kedua, material didinginkan secara cepat menggunakan media pendingin yang berada pada temperatur kamar. Adapun skema dari *step-quenching* dapat dilihat pada gambar 2.11 (ASM International, 1991).



Gambar 2.11 Skema proses *step-quench* (Sampath, 2007).

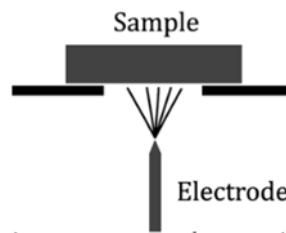
Media pendingin juga berpengaruh terhadap proses *quench*. Hal ini disebabkan karena setiap media pendingin memiliki temperatur optimal yang berbeda-beda. Air sebagai media pendingin akan mengalami penurunan kekuatan pendinginan jika temperatur air semakin tinggi. Sedangkan untuk minyak dan oli temperatur media yang tinggi dapat membuat kekentalannya semakin menurun sehingga mempermudah perpindahan panas dan mempercepat laju pendinginan (Asanovic, et al., 2011).

2.5 Pengujian

Penelitian kali ini menggunakan pengujian komposisi, pengujian metalografi, pengujian kekerasan, pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD), *Differential Scanning Calorimetry* (DSC), dan pengujian *Shape Memory Effect* (SME).

2.5.1 Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia dilakukan menggunakan alat *Optic Emission Spectroscopy* (OES). OES adalah salah satu jenis atomic spectroscopy yang digunakan untuk mendapatkan kandungan unsur dari suatu spesimen. Proses pengujian dilakukan dengan pemanasan spesimen pada temperatur tinggi menggunakan elektroda seperti pada Gambar 2.12. Proses pemanasan dilakukan untuk mengeksitasi atom-atom pada spesimen. Atom yang sudah tereksitasi akan menghasilkan emisi energi agar dapat kembali ke bentuk semula. Emisi energi tersebut menghasilkan gelombang cahaya, dimana panjang dari gelombang tersebut diukur untuk menentukan konsentrasi dari unsur yang dibutuhkan.



Gambar 2.12 Eksitasi atom menggunakan percikan/spark (Widyastuti et al., 2019).

Pengujian OES memiliki beberapa jenis metode yaitu dengan *Spark OES*, *Inductively Coupled Plasma (ICP-OES)*, *Direct Current Plasma (DCP)*, *Microwave Plasma (MP)*, *Microwave-Induced Plasma (MIP)*, *Microwave Plasma Torch (MPT)*, *Glow Discharge (GD)* dan *Laser-Induced Plasma (LIP)*.

Pengujian komposisi kimia pada penelitian kali ini menggunakan OES dengan metode *Spark OES*. Hal ini dilakukan dikarenakan metode tersebut dinilai paling efektif untuk mengontrol pemrosesan dari paduan logam. Selain itu, pada metode *Inductively Coupled Plasma (ICP-OES)* tidak disarankan untuk menggunakan spesimen berbahan logam (Widyastuti et al., 2019).

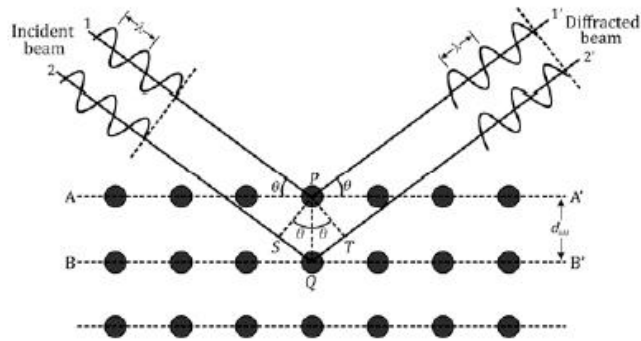
2.5.2 Pengujian Metalografi

Metalografi adalah ilmu yang mempelajari tentang struktur mikro dan karakteristik dari suatu material. Metalografi merupakan ilmu yang sangat penting untuk mengetahui ukuran butir, distribusi fasa, dan untuk mengetahui adanya inklusi (kotoran) dalam suatu material. Pengujian metalografi dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik.

Sebelum melakukan proses pengujian metalografi, spesimen harus melewati berbagai proses preparasi untuk menghasilkan gambar struktur mikro yang jelas pada mikroskop optik. Langkah awal dari proses tersebut adalah *cutting* atau pemotongan material menjadi ukuran yang kecil. Langkah selanjutnya adalah *mounting* yang bertujuan untuk memudahkan dalam proses *grinding* dengan cara dengan pemberian dudukan standar menggunakan resin. Kemudian, spesimen akan melalui proses *grinding* dengan menggunakan kertas amplas. *Grinding* dilakukan untuk meratakan permukaan dari spesimen. Setelah melalui *grinding* hingga spesimen mulai mengkilap, langkah selanjutnya adalah proses *polishing*. Proses ini merupakan proses finishing dari *grinding* yaitu dengan memberikan pasta alumina dan membuat spesimen semakin lebih mengkilap agar memudahkan proses pengamatan di mikroskop optik. Setelah proses preparasi spesimen dilakukan, langkah selanjutnya adalah proses *etching*. *Etching* merupakan suatu proses pemberian cairan etsa pada permukaan spesimen untuk menimbulkan kontras pada struktur mikro permukaan spesimen saat dilihat menggunakan mikroskop. Langkah terakhir adalah proses pengamatan spesimen yang telah di etsa menggunakan mikroskop optik (Manurung, 2020).

2.5.3 Pengujian X-Ray Diffraction (XRD)

X-ray Diffraction adalah salah satu jenis dari karakterisasi material yang bertujuan untuk mengidentifikasi struktur kristal yang terdapat dalam spesimen menggunakan difraksi sinar-X. Sinar-X yang ditembakkan ke spesimen memiliki sudut datang yang berbeda-beda sehingga membuat spektrum intensitas difraksi dengan sudut antara sinar datang dan sinar difraksi seperti yang ada pada gambar 2.13. spektrum tersebut kemudian dibandingkan dengan basis data yang ada.



Gambar 2.13 Difraksi oleh bidang kristal (Widyastuti et al., 2019).

Sinar-X yang ditembakkan ke spesimen akan menabrak bidang kristaligrafinya. Jika terdapat dua gelombang dalam satu fasa yang terdefleksi oleh dua bidang kristal, gelombang tersebut dapat dikatakan satu fasa jika memenuhi persamaan hukum Bragg. Hukum Bragg digunakan untuk mengetahui jarak antar atom dalam suatu kristal sehingga dapat diketahui struktur kristal dari spesimen yang diamati. Adapun persamaan dari hukum bragg adalah sebagai berikut (Widyastuti et al., 2019).

$$n\lambda = 2d\sin\theta \dots\dots\dots(2.3)$$

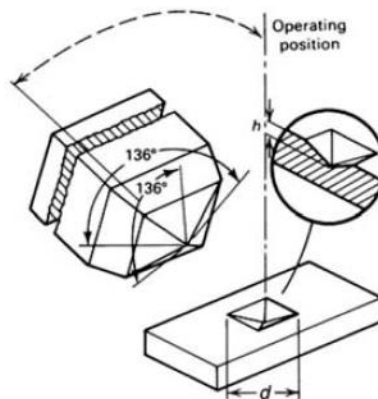
Keterangan

- n : Orde difraksi, dalam bilangan bulat
- λ : Panjang gelombang sinar-X
- d : Jarak antara kisi kristal
- θ : Sudut sinar datang

2.5.4 Pengujian Kekerasan

Kekerasan adalah kemampuan material untuk menahan deformasi plastis seperti indentasi, penetrasi, dan abrasi. Pengujian kekerasan menurut indentor yang digunakan memiliki tiga jenis metode yaitu Vickers (Indentor Piramid), Brinell (Indentor Bola), dan Rockwell (Indentor kerucut). Selain itu, setiap metode tersebut memiliki satuan dari nilai kekerasannya seperti HV untuk pengujian Vickers, HB untuk pengujian Brinell, dan HRB atau HRC untuk pengujian Rockwell (Widyastuti et al., 2019).

Pengujian kekerasan yang dilakukan menggunakan pengujian Vickers. Metode pengujian ini dipilih dikarenakan akurasi yang lebih bagus jika dibandingkan dengan Rockwell dan Brinell dan dapat digunakan untuk spesimen yang paling lunak hingga paling keras. Pengujian Vickers dilakukan berdasarkan standar ASTM E92. Menurut standar dari ASTM E92, indentor yang berbentuk piramid diletakkan dengan sudut 136° terhadap sisi indentor yang berlawanan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Proses pengujian kekerasan menggunakan metode Vickers (S.H. Avner, 2015).

Beban yang diberikan terhadap spesimen berkisar 1 sampai 120 Kg. Hasil indentasi yang terdapat pada spesimen kemudian diukur sesuai persamaan 2.4 untuk menentukan nilai HV (S.H. Avner, 2015).

$$HV = \frac{1,854 L}{d^2} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan

L : Beban yang diaplikasikan (kg)

d : Diagonal indentasi yang dihasilkan (mm)

2.5.5 Pengujian *Differential Scanning Calorimeter* (DSC)

Pengujian *Differential Scanning Calorimeter* (DSC) adalah pengujian yang menggunakan alat *Thermal Analyzer*. Alat tersebut berfungsi mengukur kalor yang diserap ataupun dikeluarkan dari sebuah material yang dipanaskan atau didinginkan pada rentang temperatur tertentu sehingga terjadi transformasi pada material tersebut. Material yang dapat dianalisis dengan pengujian DSC adalah material logam, paduan logam, dan paduan keramik.

Pengujian DSC bekerja dengan penambahan temperatur secara terus menerus pada sampel dan pembandingnya. Proses penambahan temperatur yang terjadi harus dikontrol agar temperatur tidak terlalu berlebihan. Penambahan panas tersebut dicatat, panas ini digunakan juga untuk mengganti kekurangan atau kelebihan karena reaksi endoterm atau eksoterm yang terjadi pada sampel. Data yang didapatkan dari proses pengujian tersebut kemudian diplot kedalam kurva yang dinamakan termogram. reaksi endoterm terjadi apabila spesimen memiliki temperatur sampel yang lebih rendah jika dibandingkan dengan temperatur referen, sedangkan untuk reaksi eksoterm terjadi apabila spesimen memiliki temperatur sampel yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan temperatur referen (Setiabudi, 2012).

2.5.6 Pengujian *Shape Memory Effect* (SME)

Pengujian *shape memory effect* adalah suatu pengujian yang bertujuan untuk mengetahui nilai *recovery* dari paduan SMA setelah mengalami deformasi. Spesimen yang digunakan dalam pengujian SME adalah spesimen dengan bentuk *strip*, *wire*, dan *tube*. Ketebalan atau diameter dari spesimen yang digunakan memiliki rentang dari 0,3 mm sampai 3,0 mm sesuai dengan standar ASTM F2082-01 (ASTM International, 2006). Prinsip kerja dari pengujian SME adalah dengan menggunakan spesimen yang telah memiliki fasa *twinned martensite* seluruhnya dan kemudian dilakukan deformasi hingga mencapai sudut tertentu pada spesimen tersebut. Setelah mengalami deformasi, spesimen dipanaskan diatas temperatur transformasi. Hal tersebut dilakukan untuk transformasi fasa dari *detwinned martensite* menuju austenit dan mengembalikan bentuk material setelah mengalami deformasi. Persentase *recovery* diukur menggunakan persamaan 2.5 (Chanmuang et al., 2018).

$$\%SME = \frac{\theta_0 - \theta_t}{\theta_0} \times 100\% \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan

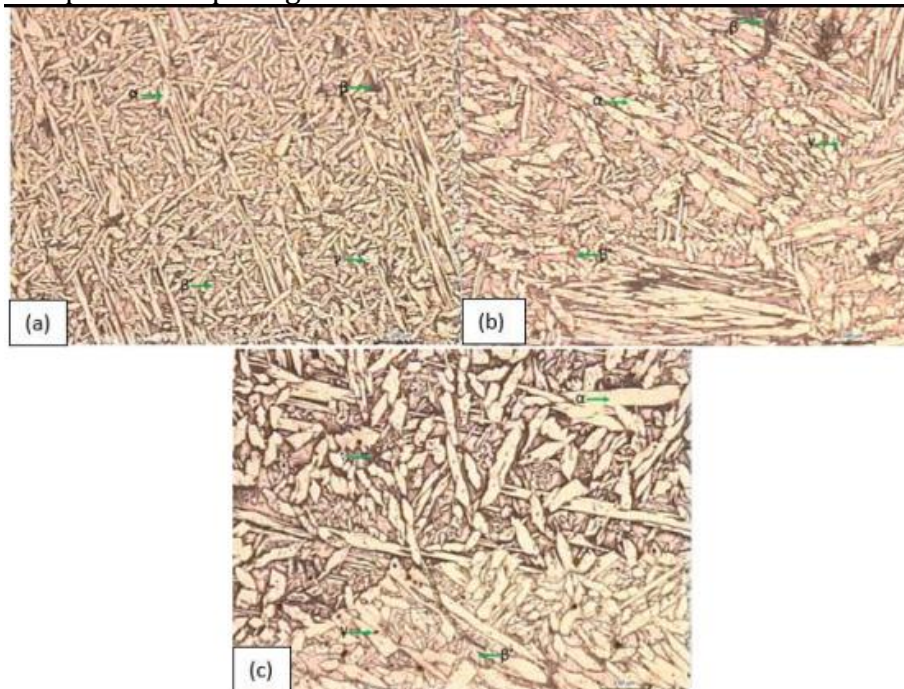
θ_0 : Sudut awal

θ_t : Sudut akhir

2.6 Penelitian Sebelumnya

Jatimurti pada tahun 2020 telah melakukan penelitian terkait “Pengaruh Temperatur Solution Treatment dan Media Pendingin pada Proses Heat Treatment Cu-Zn-Al *Shape Memory Alloy* Terhadap Efek Shape Memory dan Struktur Mikro”. Spesimen yang digunakan adalah Cu-21Zn-5Al dengan bentuk *wire*. Temperatur *solution treatment* yang digunakan yaitu 750°C, 850°C dan 900°C, sedangkan media pendingin yang digunakan adalah *dry ice* dan *brine*. Pada pengujian metalografi terlihat bahwa semakin tinggi temperatur *solution*

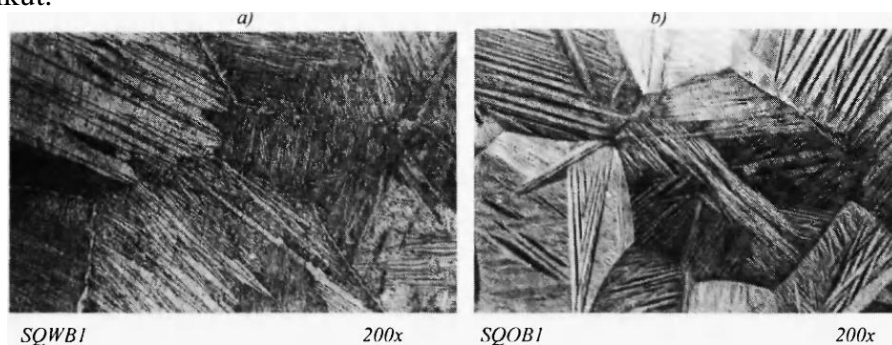
treatment yang digunakan akan membuat ukuran butir dari setiap fasa akan meningkat. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 2.15.



Gambar 2.15 Hasil pengujian metalografi Cu-21 Zn-5 Al *shape memory alloy* Perbesaran 100x pada Spesimen: (a) 750; (b) 850; dan (c) 900 (Jatimurti et al., 2020).

Dari hasil pengujian metalografi juga terlihat bahwa fasa yang muncul pada ketiga spesimen tersebut adalah α , β , β' , dan γ . Ukuran butir yang semakin besar juga dapat mempengaruhi nilai kekerasan dari spesimen tersebut. Pada spesimen dengan temperatur *solution treatment* 750°C memiliki kekerasan tertinggi yaitu 180 HV, sedangkan pada temperatur 900°C hanya memiliki nilai kekerasan yaitu 140 HV (Jatimurti et al., 2020).

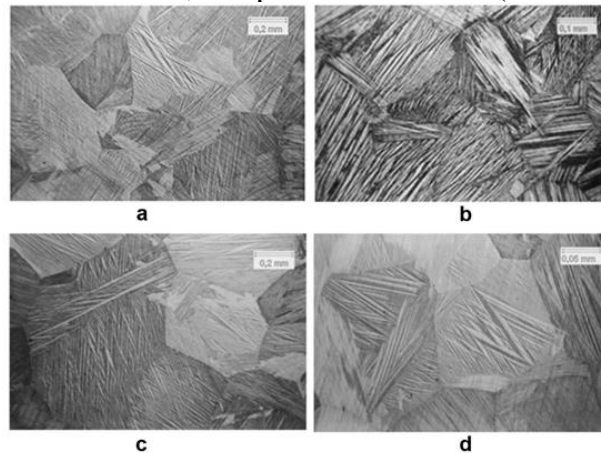
Asanovic pada tahun 2004 telah melakukan penelitian terkait “Pengaruh *Heat Treatment* Terhadap Transformasi Martensitik dan Sifat dari Paduan Cu-Zn-Al”. Spesimen yang digunakan adalah Cu-20,8Zn-5,8Al dengan bentuk *plate* (ketebalan 0,3 mm). *Solution treatment* dilakukan pada spesimen dengan temperatur 1143 K dan ditahan dengan waktu 10 menit. Spesimen kemudian dilakukan *step-quenching* dengan 2 media yang berbeda yaitu oli, air dan air, air. Step quench dilakukan pada temperatur 378,5 K dengan waktu tahan selama 10 menit. Adapun struktur mikro yang dihasilkan dari media pendingin yang berbeda adalah sebagai berikut.



Gambar 2.16 Hasil pengujian metalografi pada spesimen *step-quench* dengan media pendingin: a) *waterbath*; b) *oilbath* (Asanovic, et al., 2011).

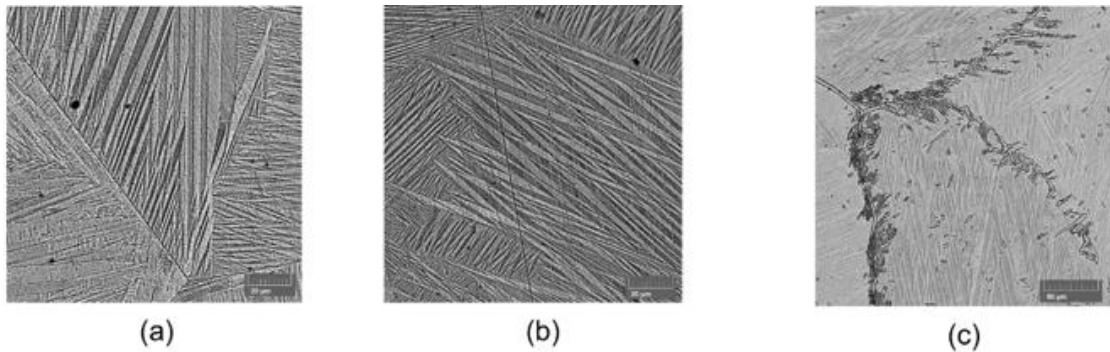
Pada gambar 2.16 terlihat bahwa pada spesimen *step-quench* dengan *oilbath* terdapat martensit yang berbentuk *plate* dengan arah yang *uniform*, sedangkan pada *step-quench* dengan *waterbath* terjadi presitipasi disepanjang batas butirnya. Kemudian pada pengujian SME, spesimen *step-quench* dengan *oilbath* memiliki nilai *recovery* yang lebih tinggi dibandingkan dengan *waterbath*. Hal tersebut terjadi dikarenakan pada *waterbath* terjadi pendinginan secara lambat akibat adanya *vapor layer* pada spesimen sehingga menginsulasi spesimen dari media pendingin dan laju pendinginan menjadi terhambat (Asanovic, et al., 2011).

Asanovic pada tahun 2021 telah melakukan penelitian terkait “Pengaruh Komposisi Kimia dan Media Pendingin terhadap *Recoverable Strain* dengan paduan Cu-Zn-Al”. Spesimen yang digunakan memiliki tiga komposisi yang berbeda yaitu A (71,32 wt% Cu – 25,38 wt% Zn – 3,30 wt% Al), B (72,60 wt% Cu – 22,30 wt% Zn – 5,10 wt% Al), dan C (72,76 wt% Cu – 21,60 wt% Zn – 5,64 wt% Al). *Solution treatment* dilakukan pada temperatur 890°C untuk spesimen A dan B, kemudian temperatur 860°C untuk spesimen C. Spesimen kemudian di *quench* dengan menggunakan tiga metode yaitu *direct quenching* (DQ2), *up-quenching* (UQ2), dan *step-quenching* (SQ2). Struktur mikro yang dihasilkan adalah martensit yang bergerigi seperti yang terlihat pada gambar 2.17. Untuk SQ2 memiliki nilai *shape memory recovery* pada paduan A 92-88%, paduan B 91-94%, dan paduan C 73-78% (Asanovic et al., 2021).



Gambar 2.17 Hasil pengujian metalografi pada spesimen: a) *direct quench* paduan C; b) *up-quench* paduan A; c) *up-quench* paduan C; d) *step-quench* paduan B. (Asanovic et al., 2021)

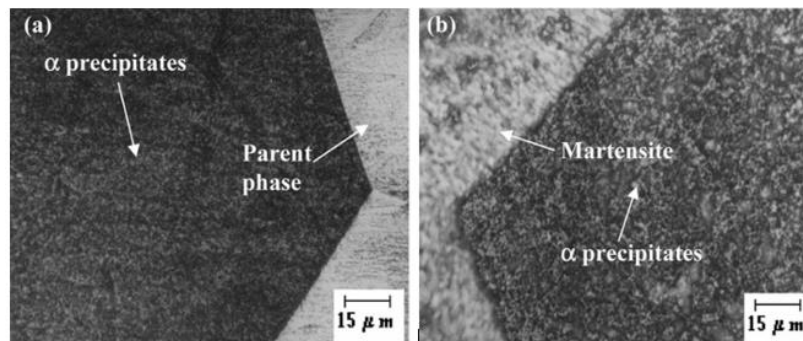
Stosic pada tahun 2017 telah melakukan penelitian terkait “Pengaruh Komposisi dan *Thermal Treatment* Paduan Cu-Zn-Al Dengan Kandungan Alumunium yang Rendah Terhadap *Shape Memory Properties*”. Spesimen yang digunakan memiliki dua komposisi yang berbeda yaitu A (Cu-25%Zn-4%Al) dan B (Cu-30%Zn-4%Al). *Solution treatment* dilakukan pada tempratur 800°C dengan waktu tahan 30 menit dan di *quench* menggunakan tiga metode yaitu *direct quench* menggunakan air, *up-quench* menggunakan *waterbath* (100°C, 30 menit), dan *step-quench* menggunakan *waterbath* (100°C, 30 menit). Analisa fasa yang dilakukan menggunakan SEM menyatakan bahwa fasa yang muncul pada paduan A dengan metode *direct quench* dan *up-quench* adalah martensit dengan bentuk *V-shape*. Sedangkan pada *quench* dengan menggunakan metode *step-quench* fasa yang terdeteksi adalah martensit dengan presitipasi α yang sangat halus.



Gambar 2.18 Analisis SEM menggunakan paduan A setelah mengalami proses: a) *direct quench*; b) *up-quench*; c) *step-quench* (Stošić et al., 2017).

Hasil pengujian SEM yang terlihat pada gambar 2.18 menyatakan bahwa pada paduan B fasa yang terdeteksi hanya terdapat β (*parent phase*) tanpa adanya martensit yang terbentuk. Hal tersebut membuat paduan B memiliki temperatur transformasi dibawah suhu kamar (Stošić et al., 2017).

Sampath pada tahun 2007 telah melakukan penelitian terkait “Pengaruh *Thermal Processing* Terhadap Mikrostruktur dan Karakteristik Shape Memory dari Paduan Cu-Zn-Al Shape Memory Alloy”. Spesimen yang digunakan pada penelitian adalah Cu-30.36%Zn-2.19% Al. *Solution treatment* dilakukan pada suhu 800°C dengan *holding time* selama 30 menit, kemudian di *step-quench* dengan menggunakan *waterbath* atau *oilbath* pada suhu 100°C dengan waktu tahan 10 menit. Pada pengujian metalografi yang terlihat pada gambar 2.19 menyatakan bahwa pada *step-quench* menggunakan *oilbath* memiliki fasa α dan β tanpa adanya martensit. Sedangkan pada *step-quench* menggunakan *waterbath* fasa yang terdeteksi adalah α dan martensit.

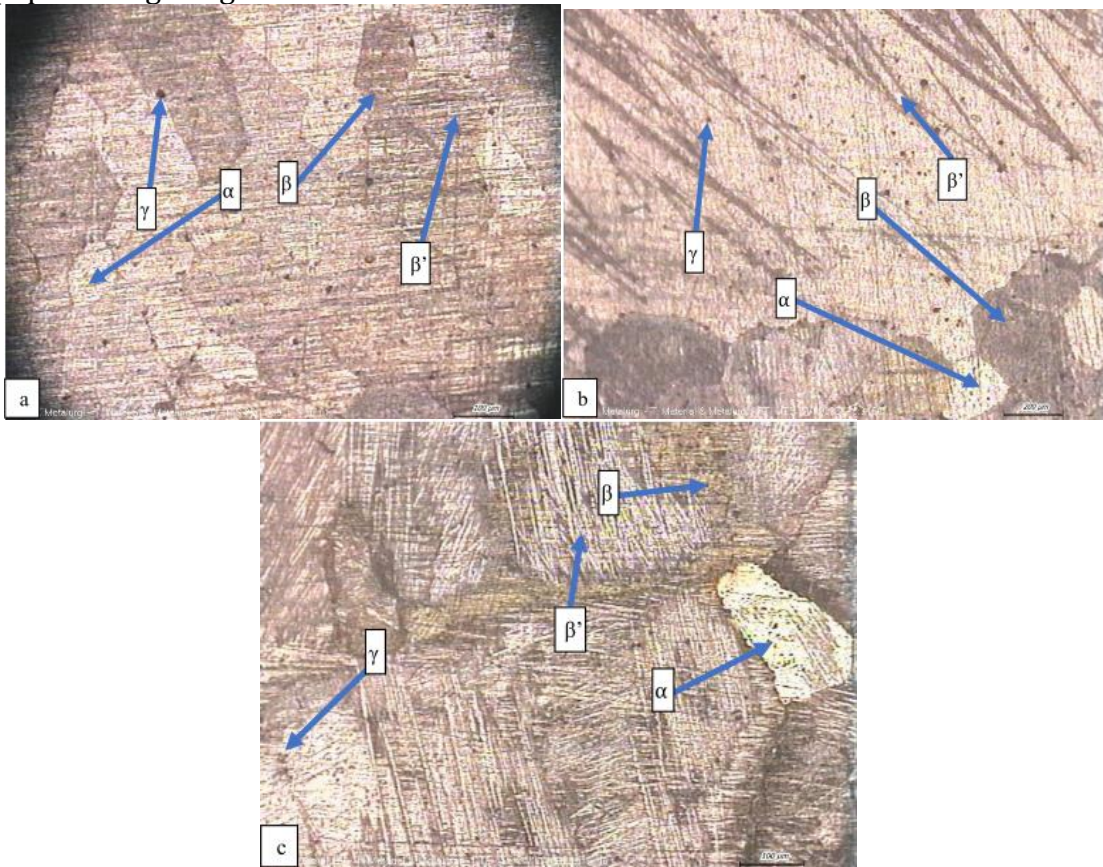


Gambar 2.19 Struktur mikro Cu-Zn-Al setelah mengalami *step-quench* dengan; a) *oilbath*; b) *waterbath* (Sampath, 2007).

Pengujian kekerasan menyatakan bahwa nilai kekerasan dari spesimen *step-quench* dengan menggunakan *oilbath* (152-159 VHN) lebih tinggi jika dibandingkan *step-quench* menggunakan *waterbath* (157 VHN). Hal ini disebabkan karena spesimen *step-quench* dengan menggunakan *oilbath* tidak memiliki fasa martensit yang bersifat lunak sedangkan pada spesimen spesimen *step-quench* dengan menggunakan *waterbath* memiliki fasa martensit (Sampath, 2007).

Martin pada tahun 2022 telah melakukan penelitian terkait “Analisis Pengaruh Variasi Temperatur dan Metode Quenching Pada *Solution Treatment* Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan, dan *Shape Memory Effect* Pada Paduan Cu-14,6Zn-7,41Al *Shape Memory Alloy*”. Paduan yang digunakan adalah Cu-14,6Zn-7,41Al. Temperatur *solution treatment* yang digunakan yaitu 800°C, 850°C dan 900°C selama 10 menit yang dilanjutkan dengan proses

quench dengan dua metode yang berbeda yaitu *direct quenching* dengan media oli dan *step quenching* dengan media oli.



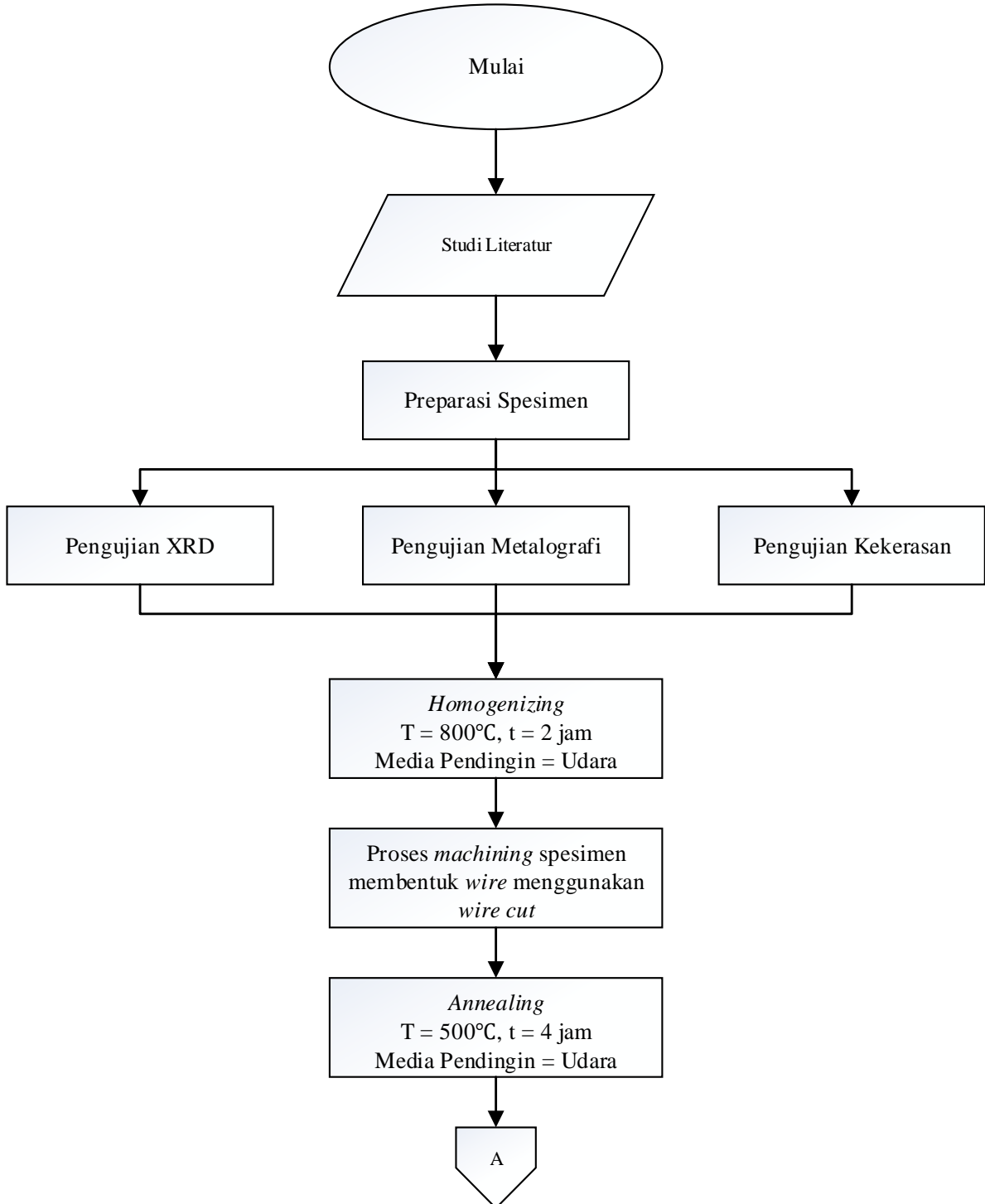
Gambar 2.20 Hasil pengujian metalografi dengan metode *step quench* menggunakan oli setelah diberi perlakuan *solution treatment* pada temperatur (a) 800°C, (b) 850°C, (c) 900°C dengan perbesaran 100x (Martin et al., 2022).

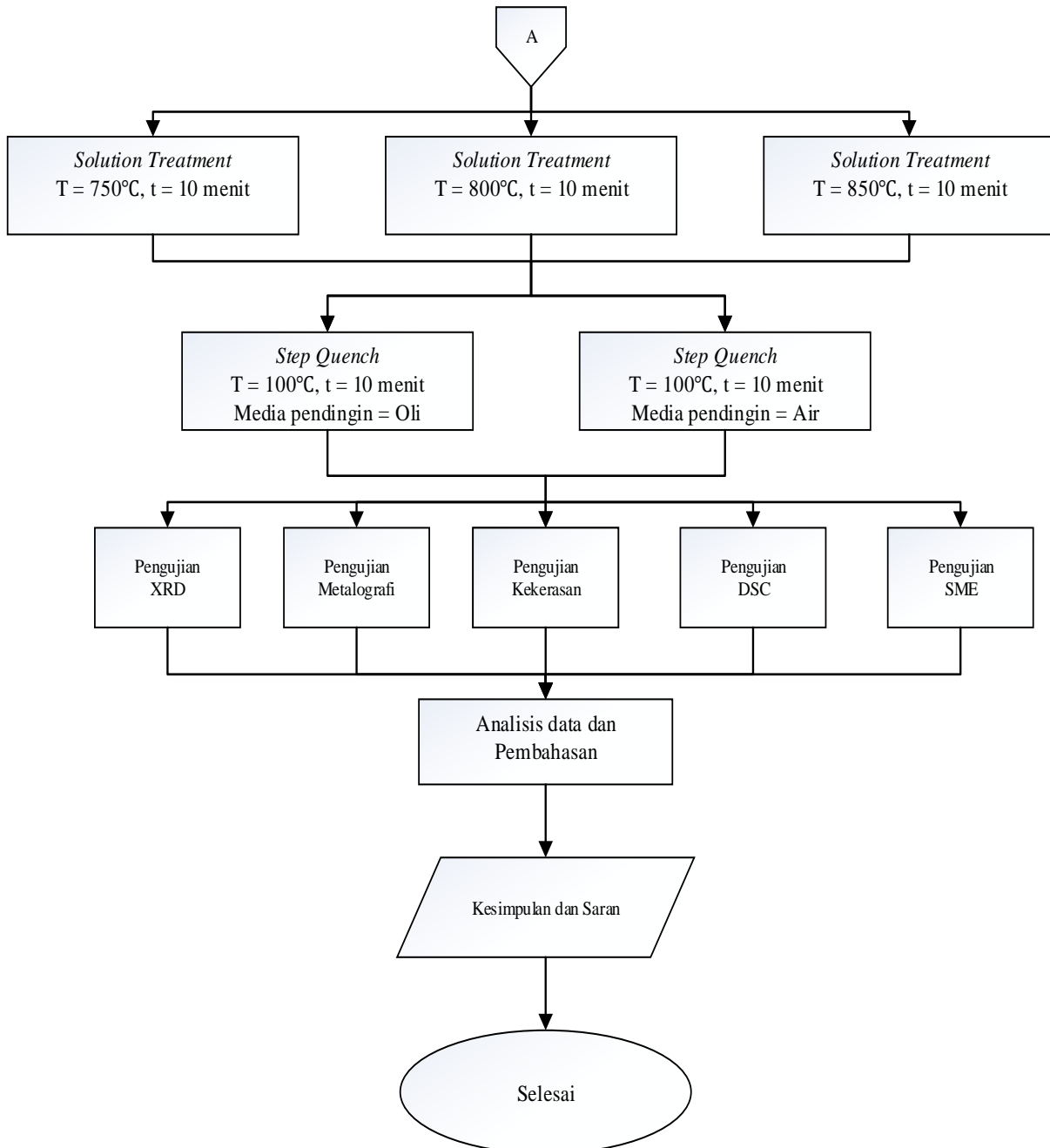
Dari gambar 2.20 terlihat bahwa pada seluruh spesimen *step quench* menggunakan oli yang sebelumnya diberi perlakuan *solution treatment* terdapat fasa α , β , β' , dan γ . Fasa *twinned martensite* dengan presentase tertinggi terdapat pada *solution treatment* 850°C dengan metode *step quench*. Hal tersebut terjadi dikarenakan semakin pendinginan dengan metode *step quench* lebih cepat jika dibandingkan dengan *direct quench*. Pendinginan yang cepat dapat membuat fasa *twinned martensit* lebih banyak terbentuk. Selain itu, temperatur *solution treatment* yang semakin tinggi membuat ukuran butir semakin besar dan mengakibatkan nilai kekerasan semakin rendah. *Shape memory effect* terbesar dimiliki oleh spesimen dengan perlakuan *solution treatment* 850°C yang diikuti *step quench* memiliki nilai 100% (Martin et al., 2022).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut merupakan diagram alir dari penelitian kali ini :





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Alat Penelitian

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

1. Gelas Ukur

Alat ini digunakan untuk mengukur bahan larutan etsa yang merupakan inventaris dari Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS.

2. Beaker Glass

Alat ini digunakan untuk mencampur bahan larutan etsa yang merupakan inventaris dari Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS.

3. Gerinda Tangan

Alat ini digunakan untuk memotong spesimen dalam proses preparasi spesimen.



Gambar 3.2 Gerinda Tangan

4. Mesin Grinding dan Polishing

Alat ini digunakan untuk melakukan proses grinding dan polishing pada spesimen untuk pengujian metalografi yang merupakan inventaris dari Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS.



Gambar 3.3 Mesin Grinding dan Polishing

5. Kertas Amplas

Alat ini digunakan untuk mengamplas spesimen untuk pengujian metalografi.

6. Alat Wire Cut

Alat ini digunakan untuk memotong spesimen yang digunakan untuk preparasi pengujian shape memory effect.

7. High Temperature Furnace

Alat ini digunakan untuk melakukan proses perlakuan panas dengan memanaskan spesimen hingga temperatur tertentu. Alat ini merupakan inventaris Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS.



Gambar 3.4 High Temperature Furnace

8. Alat Uji Komposisi

Alat ini digunakan untuk menguji komposisi kimia yang terkandung di dalam paduan Cu-Zn-Al. Alat ini merupakan inventaris PPNS, Surabaya.

9. Alat Uji Kekerasan

Alat ini digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan dari paduan Cu-Zn-Al sebelum dan sesudah proses perlakuan panas. Alat ini merupakan inventaris Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS. Adapun jenis pengujian yang dilakukan dengan metode Vickers menggunakan Universal Hardness Tester HBRV 187,5 A.



Gambar 3.5 Alat Uji Kekerasan

10. Mikroskop Optik

Alat ini digunakan untuk mengetahui struktur mikro dari spesimen paduan. Alat ini merupakan inventaris Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS.



Gambar 3.6 Mikroskop Optik

11. Alat Uji XRD

Alat ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa yang terbentuk pada material dengan cara menembakkan sinar-X pada material tersebut. Alat ini merupakan inventaris Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS.

12. Oilbath

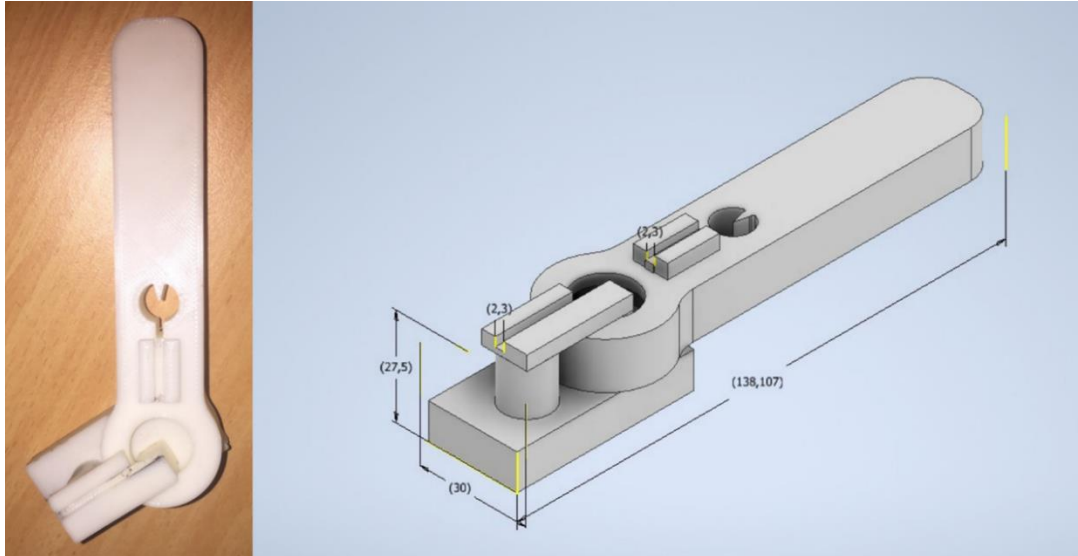
Alat ini digunakan dalam proses step quenching untuk menginkubasi spesimen di dalam oli pada temperatur konstan selama waktu tertentu.

13. Waterbath

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

14. Alat bantu *bending*

Spesimen wire yang telah dilakukan proses solution treatment ditebuk sebesar derajat tertentu menggunakan alat bantu bending. Alat bantu bending yang digunakan ditunjukkan oleh Gambar 3.7.



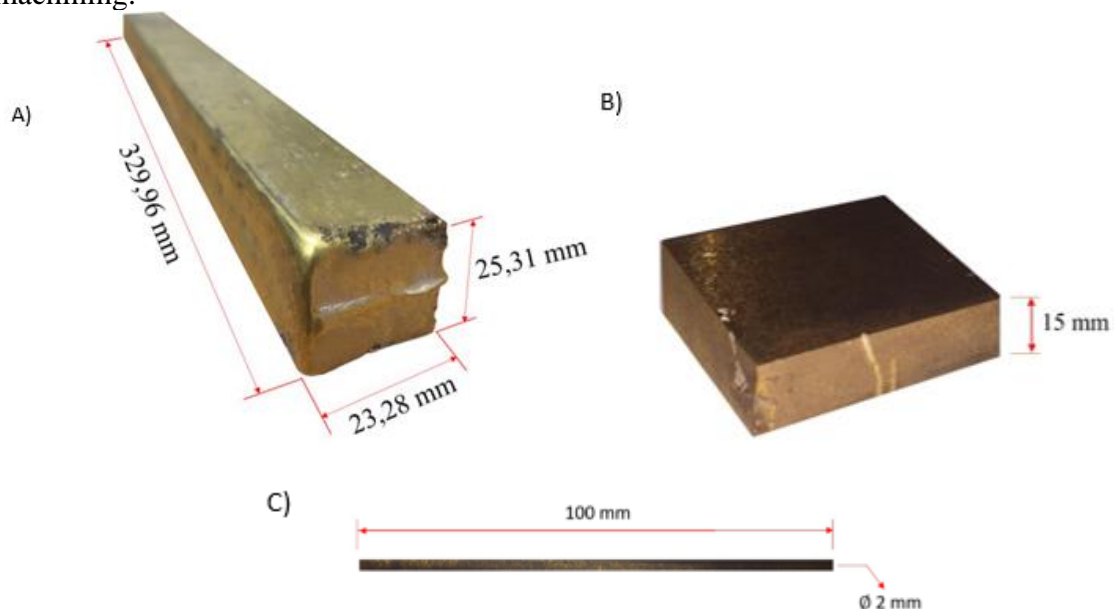
Gambar 3.7 Alat bantu *bending* dan dimensi (mm).

3.3 Bahan Penelitian

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

1. Paduan Cu-Zn-Al

Didapatkan dari proses pengecoran dengan komposisi sesuai dengan *ASM Handbook Volume 2*. Adapun Gambar 3.8 menunjukkan bentuk spesimen dari hasil proses pengecoran dan machining.



Gambar 3.8 Gambar paduan Cu-Zn-Al hasil proses pengecoran dan *machining* (A) Hasil pengecoran, (B) Balok, (C) *Wire*.

2. Bahan Etsa

Bahan etsa yang digunakan pada penelitian ini adalah sesuai dengan *ASM Handbook Volume 9*, yaitu:

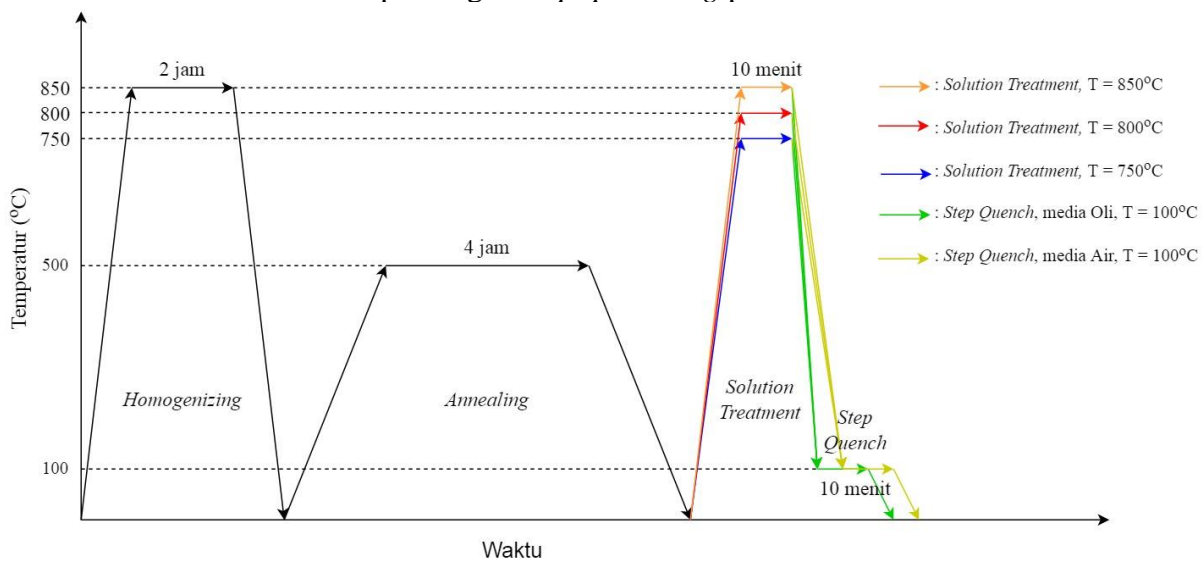
- 6,5 gram $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
- 1 ml HCl
- 48 ml Metanol

3. Oli

Oli pada penelitian ini digunakan sebagai media pendingin. Oli yang digunakan adalah oli *SAE 10W-30*.

3.4 Kurva Perlakuan Panas

Perlakuan panas yang digunakan pada penelitian ini adalah *homogenizing*, *annealing*, dan *solution treatment*. Sedangkan variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah temperatur *solution treatment* dan media pendingin *step-quenching* pada *solution treatment*.



Gambar 3.9 Kurva Perlakuan Panas

3.5 Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini prosedur yang digunakan pada proses perlakuan panas adalah sebagai berikut.

3.5.1 Prosedur Proses Perlakuan Panas *Homogenizing*

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

- Spesimen disiapkan.
- Furnace* untuk perlakuan panas disiapkan.
- Spesimen dimasukkan ke dalam *furnace*, kemudian spesimen dipanaskan hingga temperatur 800°C dan ditahan selama 2 jam.
- Spesimen dikeluarkan dari *furnace* dan dibiarkan dingin di udara.

3.5.2 Prosedur Proses Perlakuan Panas *Annealing*

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

- Spesimen disiapkan.
- Furnace* untuk perlakuan panas disiapkan.

3. Spesimen dimasukkan ke dalam *furnace*, kemudian spesimen dipanaskan hingga temperatur 500°C dan ditahan selama 4 jam.
4. Spesimen dikeluarkan dari *furnace* dan dibiarkan dingin di dalam *furnace*.

3.5.3 Prosedur Porses Perlakuan Panas *Solution Treatment*

Prosedur yang digunakan pada proses perlakuan panas *solution heat treatment* dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Spesimen disiapkan.
2. *Furnace* untuk perlakuan panas disiapkan.
3. Spesimen dimasukkan ke dalam *furnace*, kemudian spesimen dipanaskan hingga temperatur 750°C dan ditahan selama 10 menit.
4. Spesimen dikeluarkan dari *furnace*, kemudian di-*quench* menggunakan metode *step-quench* pada *oilbath* dengan suhu 100°C dan waktu tahan selama 10 menit.
5. Langkah 1-3 diulangi, namun temperatur yang digunakan pada *solution treatment* diubah menjadi 800°C dan 850°C.
6. Langkah 5 diulangi, namun metode *quenching* yang digunakan diubah menjadi *step quenching* pada *waterbath* bertemperatur 100°C dengan waktu tahan 10 menit.

3.6 Proses Pengujian

Pengujian yang digunakan pada penelitian ini adalah pengujian komposisi kimia, pengujian XRD, pengujian metalografi, pengujian kekerasan, pengujian DSC, dan pengujian SME. Proses pengujiannya adalah sebagai berikut.

3.6.1 Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian dari komposisi kimia adalah dengan OES. Pengujian OES yang digunakan adalah jenis pengujian *Spark OES* dengan cara menggunakan perbedaan potensial elektrik antara elektroda dan spesimen yang menghasilkan electrical discharge yang menyebabkan permukaan material tipis menjadi panas dan menguap. Pengujian dilakukan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Adapun spesimen yang dilakukan pengujian adalah spesimen *As Cast*.

3.6.2 Pengujian *X-Ray Diffraction (XRD)*

Pengujian XRD digunakan untuk mengetahui fasa dan juga struktur kristal yang terbentuk pada material yang digunakan pada penelitian ini. Cara kerjanya adalah dengan pemanfaatan sinar-X. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS ITS dengan menggunakan XRD PANalytical. Spesimen yang diujikan terdiri dari spesimen yang belum diberi perlakuan panas (*As Cast*) serta spesimen dengan variasi media pendingin *step quench* air dan oli dengan masing masing media pendingin memiliki variasi temperatur *solution treatment* yaitu 750°C, 800°C, dan 850°C. Data yang didapatkan dari hasil pengujian kemudian dianalisis menggunakan aplikasi *High Score* untuk mengetahui *peak* yang terbentuk dengan cara membandingkan *peak* yang terbentuk sesuai dengan data standar International Centre for Diffraction Data (ICDD) yang sesuai dengan fasa tersebut.

3.6.3 Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi digunakan untuk mengamati struktur mikro pada suatu material. Pengujian metalografi dilakukan pada spesimen *as cast*, spesimen yang telah melewati proses perlakuan panas *solution treatment* dengan variasi temperatur 750°C, 800°C, 850°C dan ditahan selama 10 menit yang kemudian dilanjutkan dengan *step quench* menggunakan media pendingin oli dan air. Proses pengujian dilaksanakan di Laboratorium Metalurgi dan

Manufaktur menggunakan alat Metallurgical Microscope OLYMPUS BX51M-RF. Sebelum diujikan, spesimen dipreparasi terlebih dahulu menggunakan larutan etsa khusus untuk paduan Cu-Zn sesuai ASM Handbook Vol. 9 dengan komposisi 6,5 gr $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 48 ml methanol, dan 1 ml HCl. Metode etsa yang dilakukan adalah metode immerse selama 10 detik.

3.6.4 Pengujian Kekerasan

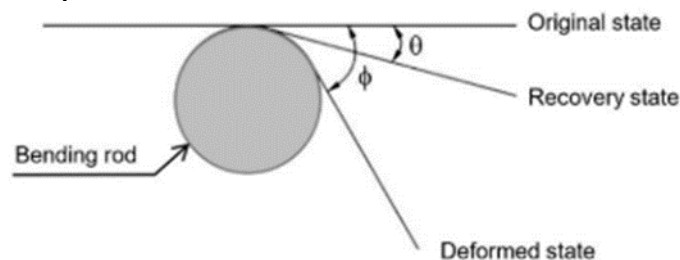
Pengujian kekerasan pada penelitian ini digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan dari spesimen saat sebelum dan sesudah dilakukan proses solution treatment. Dengan metode yang digunakan adalah metode Vickers sesuai dengan standar ASTM E92-17 dan indentor yang digunakan adalah piramida diamond dengan sudut 136° dan beban 30 kgf dengan waktu tahan 10 detik. Pengujian dilakukan di Laboratorium Metalurgi dan Manufaktur Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS.

3.6.5 Pengujian *Differential Scanning Calorimetry* (DSC)

Pengujian DSC digunakan untuk mengukur kalor yang terserap atau dikeluarkan dari sebuah material saat material tersebut dipanaskan dan didinginkan pada rentang temperatur transformasi tertentu. Sampel material memiliki ukuran yang sangat kecil, hanya beberapa miligram. Puncak endotermik dan eksotermik akan muncul saat sampel menyerap atau mengeluarkan energi akibat adanya transformasi. Sehingga akan keluar suatu grafik yang mendefinisikan awal, puncak, dan akhir dari perubahan fasa material. Pada paduan SMA, pengujian DSC bertujuan untuk mengetahui temperatur transformasi M_s , M_f , A_s , dan A_f . Temperatur transformasi tersebut yang menimbulkan sifat *shape memory effect*. Pengujian menggunakan alat *Differential Scanning Calorimeter* (DSC) *Mettler Toledo* yang terdapat di Laboratorium CDEA Fakultas Farmasi Universitas Surabaya. Spesimen yang digunakan pada pengujian ini adalah dalam bentuk serbuk atau powder. Spesimen yang diujikan terdiri dari dua jenis yaitu, spesimen yang sudah melalui proses *solution treatment* pada temperatur 850°C dengan waktu tahan 10 menit diikuti dengan *step quench* menggunakan media pendingin air yang disebut spesimen SQWB 850. Kemudian spesimen yang sudah melalui proses solution treatment pada temperatur 850°C dengan waktu tahan 10 menit diikuti dengan *step quench* menggunakan media pendingin oli yang disebut spesimen SQOB 850. Pada proses pengujian DSC, kecepatan pemanasan yang digunakan adalah $10^\circ\text{C}/\text{menit}$ dan menggunakan temperatur dengan range antara 30°C sampai 300°C .

3.6.6 Pengujian Shape Memory Effect (SME)

Pengujian *shape memory effect* dilakukan untuk menentukan nilai persentase *recovery* dari spesimen *shape memory alloy*. Spesimen yang digunakan sesuai dengan standar ASTM F2082 dengan bentuk berupa *wire* dengan diameter 2,5 mm. Spesimen ditekuk hingga membentuk sudut 5° (ϕ) sesuai dengan Gambar 3.3 menggunakan mesin *bending*. Spesimen yang telah terdeformasi dilakukan proses pemanasan hingga mencapai temperatur A_f . Setelah mengalami pemanasan, spesimen akan memiliki sudut sebesar θ sesuai dengan Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Skema pengujian SME (Chanmuang et al., 2018).

3.7 Jadwal Penelitian

Jadwal yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

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	[Red bar]															
Literatur	[Red bar]															
Bimbingan	[Red bar]															
Persiapan	[Red bar]															
Alat dan Bahan	[Yellow bar]															
Pengujian																
Komposisi					[Yellow bar]											
Perlakuan Panas									[Green bar]							
Pengujian XRD									[Green bar]							
Pengujian									[Blue bar]							
Metalografi									[Blue bar]							
Pengujian DSC													[Dark Blue bar]			
Pengujian SME													[Dark Blue bar]			
Pengujian													[Purple bar]			
Kekerasan													[Purple bar]			
Penyusunan													[Magenta bar]			
Laporan Akhir													[Magenta bar]			

3.8 Rancangan Penelitian

Rancangan dari penelitian kali ini adalah sebagai berikut.

Tabel 3.2 Rancangan Penelitian

Nama Spesimen	Temperatur Solution Treatment (Holding time 10 menit)	Media Quench	Pengujian					
			OES	Metalografi	XRD	DSC	SME	Kekerasan
As Cast	-	-	V	V	V	-	-	V
As Cast (Homogenizing)	-	-	-	-	-	-	-	-
As Cast (Annealing)	-	-	-	-	-	-	-	-
SQOB750	750°C	Oli	V	V	V	-	V	V
SQWB750		Air	V	V	V	-	V	V
SQOB800	800°C	Oli	V	V	V	-	V	V
SQWB800		Air	V	V	V	-	V	V
SQOB850	850°C	Oli	V	V	V	V	V	V
SQWB850		Air	V	V	V	V	V	V

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Komposisi Kimia

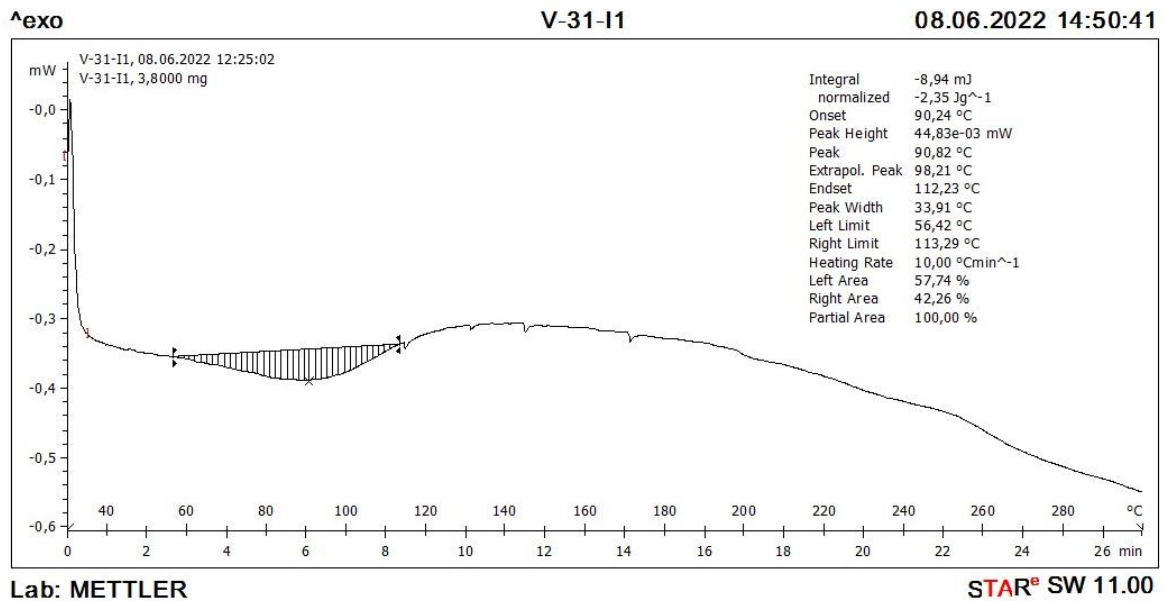
Spesimen paduan Cu-Zn-Al telah dilakukan pengujian komposisi kimia menggunakan pengujian *Optical Emission Spectroscopy* (OES) yang dilakukan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya. Hasil yang didapat dari paduan Cu-Zn-Al ditunjukkan pada Tabel 4.1 dengan menguji potongan kecil paduan Cu-Zn-Al.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Komposisi Kimia Paduan Cu-Zn-Al

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

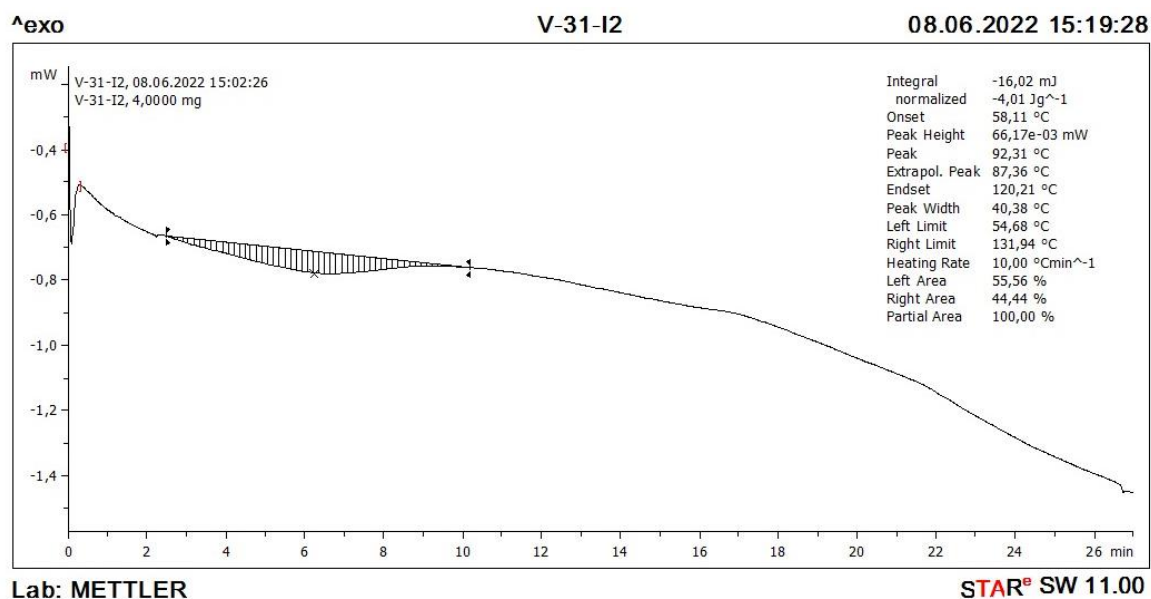
4.2 Hasil Pengujian Differential Scanning Calorimetry Paduan Cu-15,9Zn-6,89Al

Hasil pengujian DSC dilakukan untuk mengetahui temperatur transformasi dari spesimen Cu-15,9Zn-6,89Al *shape memory alloy*. Adapun hasil pengujian DSC terlihat pada gambar 4.1 dan gambar 4.2.



Gambar 4.1 Grafik hasil pengujian DSC SQWB 850 paduan Cu-15,9Zn-6,89Al.

Gambar 4.1 menunjukkan hasil pengujian DSC untuk spesimen SQWB 850 dimana telah mengalami perlakuan panas *solution treatment* dengan temperatur 850°C dengan waktu tahan 10 menit diikuti dengan *step quench* menggunakan media pendingin air. Grafik tersebut menunjukkan adanya sebuah *peak*, dimana peak tersebut menurut ASTM F2005-05 dapat terbentuk akibat adanya kenaikan *heat flow* yang disebut sebagai *endothermic peak* (ASTM International, 2015). Hal tersebut dibuktikan dengan adanya kenaikan *heat flow* sebesar 44,83e-03 mW. Pada gambar 4.1 terlihat adanya range temperatur yang ditandai dengan adanya arsiran, yang pertama pada batas peak sebelah kiri T=56,42°C, puncak peak pada T=90,82°C, dan batas peak kanan pada T=113,29°C. Temperatur pada batas dan peak tersebut disebut sebagai *austenitic transformation temperature*, yaitu *austenite start* (A_s) pada temperatur 56,42°C dan *austenite finish* (A_f) pada temperatur 113,29°C.



Gambar 4.2 Grafik hasil pengujian DSC SQOB 850 paduan Cu-15,9Zn-6,89Al.

Gambar 4.2 menunjukkan hasil pengujian DSC untuk spesimen SQOB 850 dimana telah mengalami perlakuan panas *solution treatment* dengan temperatur 850°C dengan waktu tahan 10 menit diikuti dengan *step quench* menggunakan media pendingin oli. Grafik tersebut menunjukkan adanya sebuah *peak*, dimana *peak* tersebut menurut ASTM F2005-05 dapat terbentuk akibat adanya kenaikan *heat flow* yang disebut sebagai *endothermic peak* (ASTM International, 2015). Hal tersebut dibuktikan dengan adanya kenaikan *heat flow* sebesar 66,17e-03 mW. Pada gambar 4.2 terlihat adanya range temperatur yang ditandai dengan adanya arsiran, yang pertama pada batas peak sebelah kiri T=54,68°C, puncak peak pada T=92,31°C, dan batas peak kanan pada T=131,94°C. Temperatur pada batas dan peak tersebut disebut sebagai *austenitic transformation temperature*, yaitu *austenite start* (A_s) pada temperatur 54,68°C dan *austenite finish* (A_f) pada temperatur 131,94°C.

Terlihat dari gambar 4.1 dan gambar 4.2 bahwa tidak ada yang menunjukkan adanya *exothermic peak*. Tidak adanya *exothermic peak* yang berada di sebelah kiri *endothermic peak* menandakan bahwa spesimen Cu-15,9Zn-6,89 Al memiliki temperatur transformasi martensite dibawah 30°C yang merupakan batas bawah dari range temperatur pengujian DSC yaitu 30°C hingga 300°C. Hal dibuktikan dengan persamaan 2.1 dan 2.2 yang digunakan untuk mengetahui temperatur M_s dari paduan *shape memory alloy*.

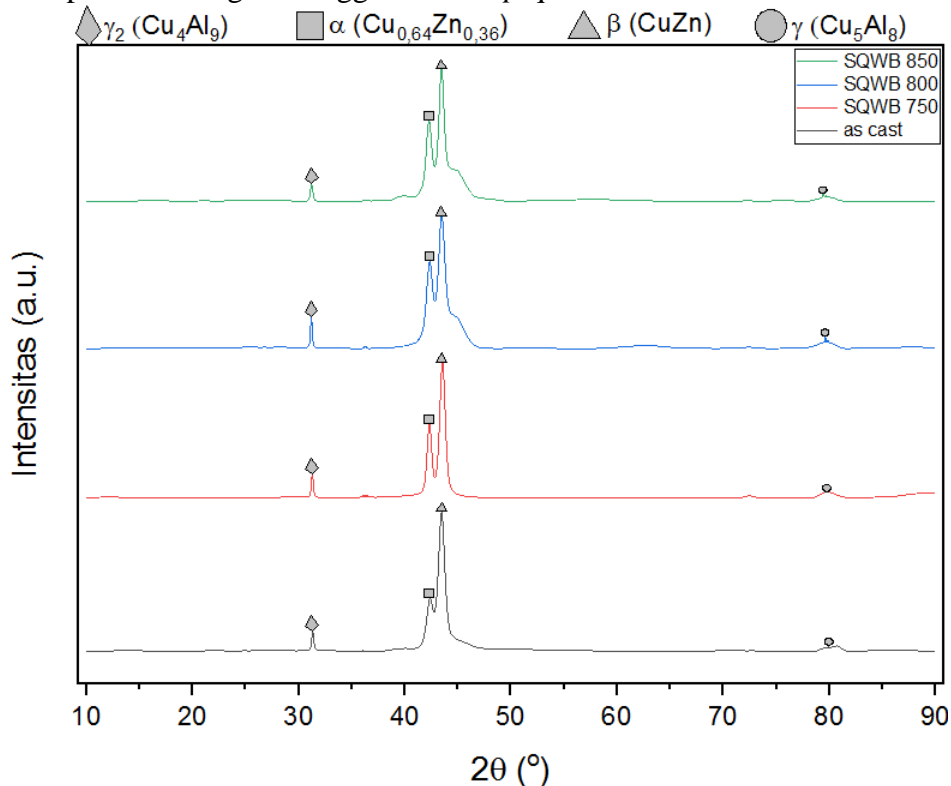
Dari perhitungan dengan menggunakan persamaan 2.1 dan 2.2 terlihat bahwa temperatur transformasi dari martensit berada dibawah temperatur kamar yaitu sekitar $\sim(-81,975)^\circ\text{C}$ sesuai dengan *ASM Metal Handbook Vol. 2* yang menyatakan bahwa rentang temperatur transformasi dari *shape memory alloy* berada pada rentang -180°C hingga 200°C (ASM International, 1990). Hal ini membuat proses pendinginan *step quench* dengan menggunakan media pendingin oli dan air tidak dapat menghasilkan martensit dikarenakan media pendingin tersebut tidak dapat mencapai temperatur transformasi dari martensit yaitu sekitar $\sim(-81,975)^\circ\text{C}$ (Millero, 2018; Repsol, 2020). Adapun Tabulasi transformasi temperatur dari paduan Cu-15,9Zn-6,89Al ditunjukkan pada Tabel 4.4 di bawah ini.

Tabel 4.2 Grafik hasil pengujian DSC SQWB 850 paduan Cu-15,9Zn-6,89Al.

Spesimen	Martensite Start (M_s), °C	Austenite Start (A_s), °C	Austenite Finish (A_f), °C
SQWB 850	$\sim(-81,975)^\circ\text{C}$	56,42°C	113,29°C
SQOB 850		54,68°C	131,94°C.

4.3 Hasil Pengujian XRD Paduan Cu-15,9Zn-6,89Al

Pengujian XRD bertujuan untuk mengetahui fasa serta senyawa yang terdapat didalam spesimen paduan Cu-15,9Zn-6,89Al. Berikut merupakan gambar dan tabel hasil pengujian XRD untuk spesimen dengan menggunakan *step quench* air dan *as cast*.

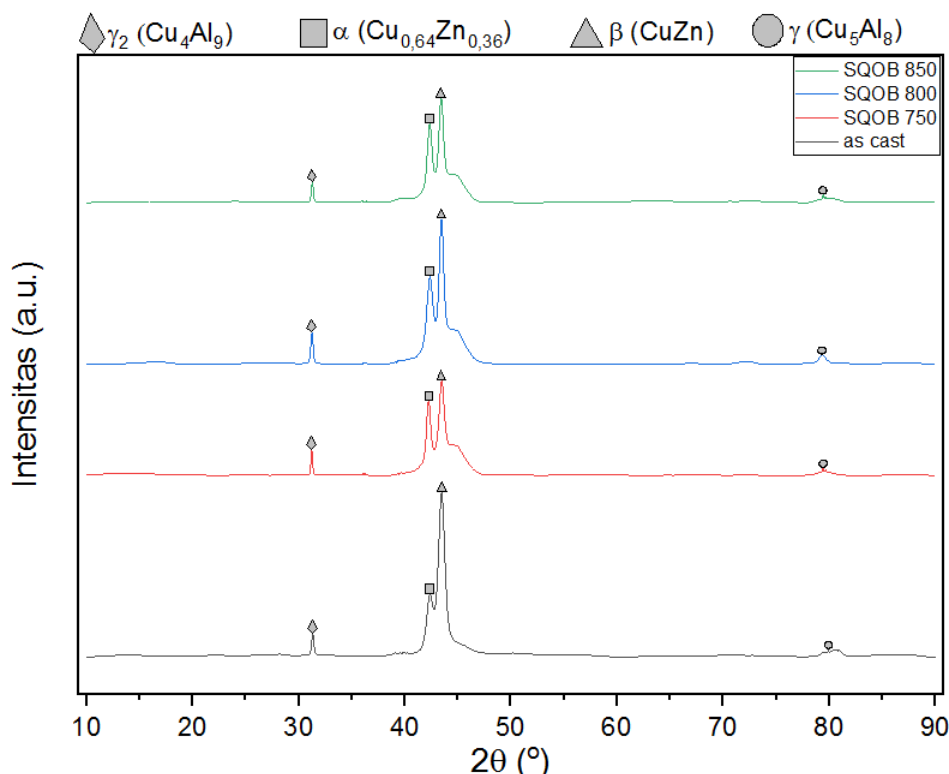


Gambar 4.3 Hasil pengujian XRD Cu-15,9Zn-6,89Al dengan menggunakan *step quench* air.

Tabel 4.3 Posisi 2θ pada fasa yang teridentifikasi Cu-15,9Zn-6,89Al dengan dengan menggunakan *step quench* air.

Spesimen	γ_2 -Brass (Cu ₄ Al ₉)	α -Brass (Cu _{0,64} Zn _{0,36})	β -Brass (CuZn)	γ -Brass (Cu ₅ Zn ₈)
<i>As cast</i>	30,801°	42,325°	43,473°	79,417°
SQWB750	30,801°	42,325°	43,473°	79,417°
SQWB800	30,801°	42,325°	43,473°	79,417°
SQWB850	30,801°	42,325°	43,473°	79,417°

Pada gambar 4.3 dan tabel 4.3 terlihat bahwa seluruh spesimen memiliki fasa α , β , γ dan γ_2 . Adapun fasa α -brass (Cu_{0,64}Zn_{0,36}) memiliki struktur kristal kubik dengan kode referensi ICDD 00-050-1333. Fasa β -brass (CuZn) memiliki struktur kristal kubik dengan kode referensi ICDD 00-002-123. Fasa γ_2 (Cu₄Al₉) memiliki struktur kristal kubik dengan kode referensi ICDD 00-024-0003. Fasa γ -brass (Cu₅Zn₈) memiliki struktur kristal kubik dengan kode referensi ICDD 00-025-1228. Kemudian untuk gambar dan tabel hasil pengujian XRD untuk spesimen dengan menggunakan *step quench* oli dan *as cast* terdapat pada gambar 4.4 dan tabel 4.4.



Gambar 4.4 Hasil pengujian XRD Cu-15,9Zn-6,89Al menggunakan *step quench* oli.

Tabel 4.4 Posisi 2θ pada fasa yang teridentifikasi Cu-15,9Zn-6,89Al dengan dengan menggunakan *step quench* oli.

Spesimen	γ_2 -Brass (Cu ₄ Al ₉)	α -Brass (Cu _{0,64} Zn _{0,36})	β -Brass (CuZn)	γ -Brass (Cu ₅ Zn ₈)
<i>As cast</i>	30,801°	42,325°	43,473°	79,417°
SQWB750	30,801°	42,325°	43,473°	79,417°
SQWB800	30,801°	42,325°	43,473°	79,417°
SQWB850	30,801°	42,325°	43,473°	79,417°

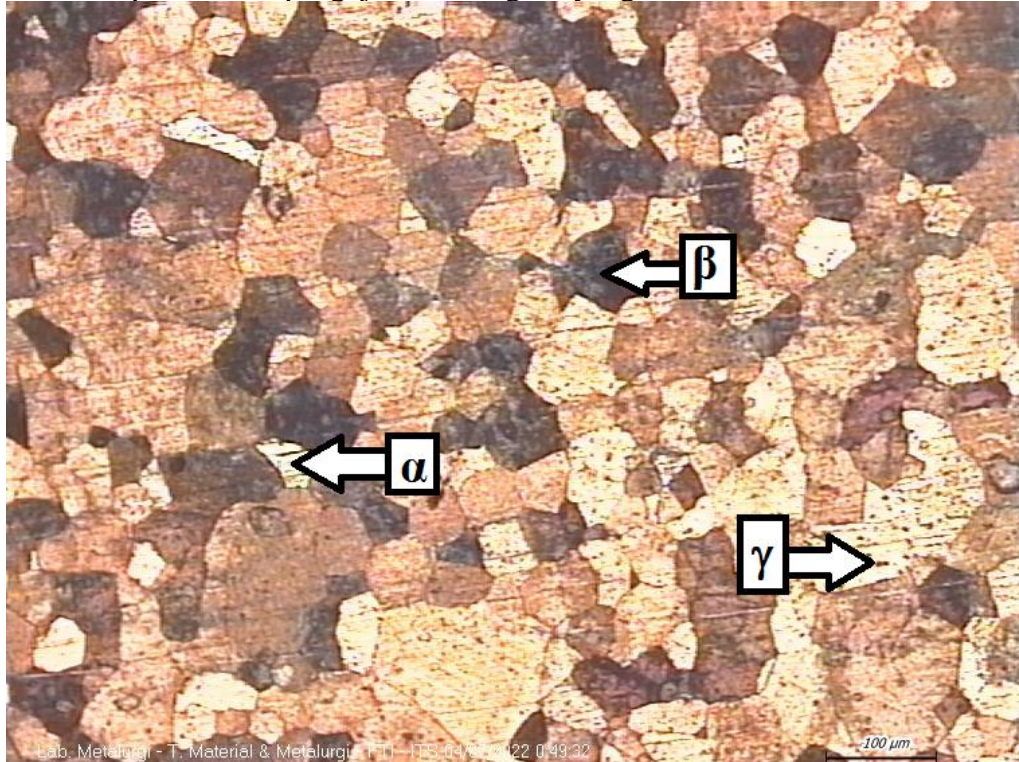
Terlihat bahwa fasa yang muncul pada seluruh spesimen hasil pengujian XRD sesuai dengan diagram fasa terner yang menyatakan Cu-15,9Zn-6,89Al memiliki fasa α , β , dan γ (ASM International, 1989). Fasa γ yang terdapat pada seluruh spesimen pengujian terdiri dari γ -brass (Cu₅Zn₈) dan γ_2 -brass (Cu₄Al₉). Hal terjadi dikarenakan fasa β (CuZn) dalam diagram biner Cu-Zn akan terdekomposisi menjadi fasa α dan γ (Cu₅Zn₈) pada temperatur 427°C (700 K) apabila pendinginan terjadi secara sangat lambat. Selain itu, fasa β (CuZn) dalam diagram biner Cu-Al akan mengalami dekomposisi menjadi fasa α dan γ_2 (Cu₉Al₄) pada temperatur 565°C (838 K) apabila pendinginan terjadi secara sangat lambat. Namun, fasa β (CuZn) tidak terdekomposisi secara sempurna karena pendinginan yang dilakukan tidak cukup lambat dan membuat fasa β (CuZn) tetap muncul pada temperatur kamar (K. & Wayman, 1998).

Perlakuan panas *solution treatment* bertujuan untuk mendapatkan fasa tunggal β pada temperatur ruang. *Solution treatment* dilakukan dengan cara memanaskan spesimen hingga mencapai temperatur austenisasi yang ditahan selama beberapa waktu untuk proses pelarutan fasa α dan γ kedalam fasa β . Kemudian spesimen didinginkan secara cepat menuju temperatur kamar untuk mendapatkan fasa martensit (β') yang berasal dari fasa β . Selain itu proses pendinginan secara cepat juga bertujuan agar fasa β tidak terdifusi menjadi fasa α dan γ

(Callister & Rethwisch, 2009). Namun, pada gambar 4.3 dan 4.4 terlihat bahwa spesimen yang telah melewati perlakuan *solution treatment* dan dilanjutkan dengan *step quench* menggunakan media oli dan air terdapat fasa α , β , dan γ yang memiliki peak sama dengan spesimen tanpa perlakuan (*as cast*). Hal ini menunjukkan bahwa proses pendinginan menggunakan metode *step quench* dengan media pendingin air dan oli belum cukup cepat, sehingga terdapat beberapa fasa β yang terdifusi menjadi fasa α dan γ .

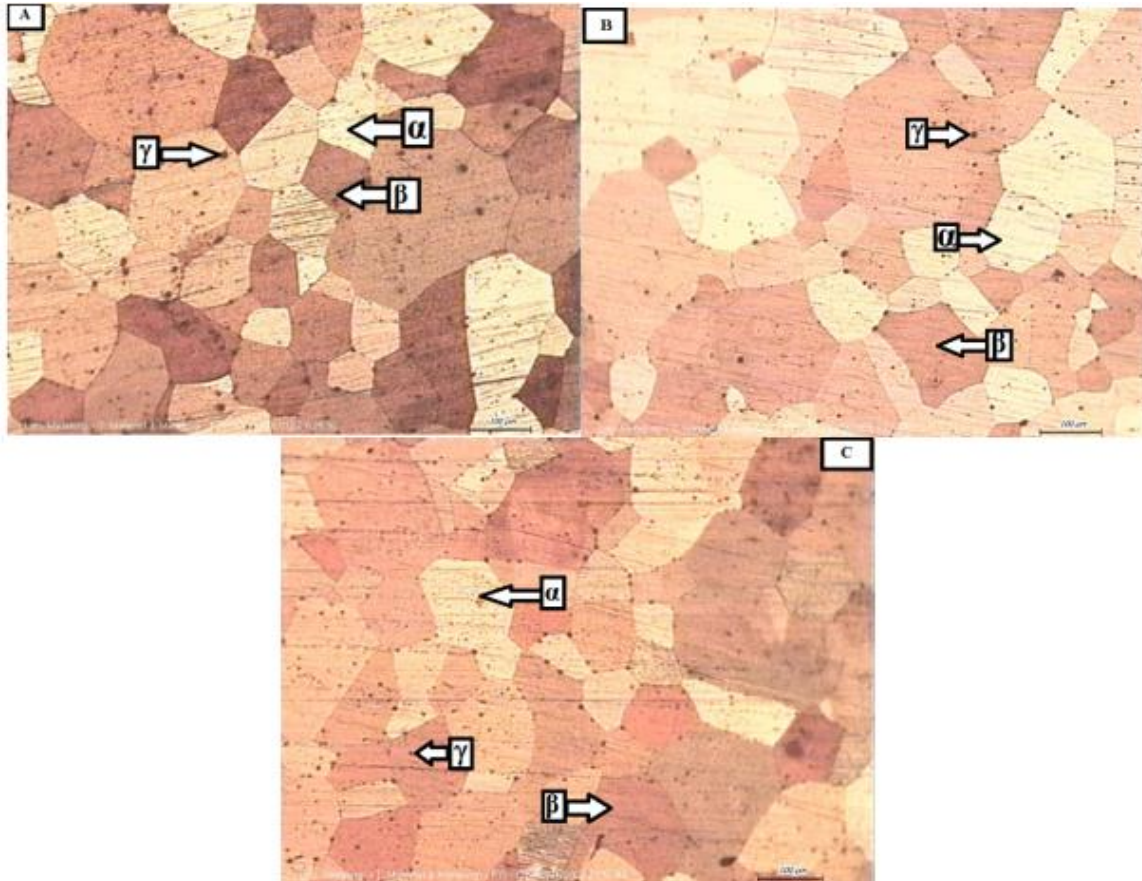
4.4 Hasil Pengujian Metalografi Paduan Cu-15,9Zn-6,89Al

Pengujian ini ditujukan untuk mengobservasi struktur mikro yang terdapat pada spesimen uji. Berikut merupakan hasil pengujian metalografi yang telah dilakukan.



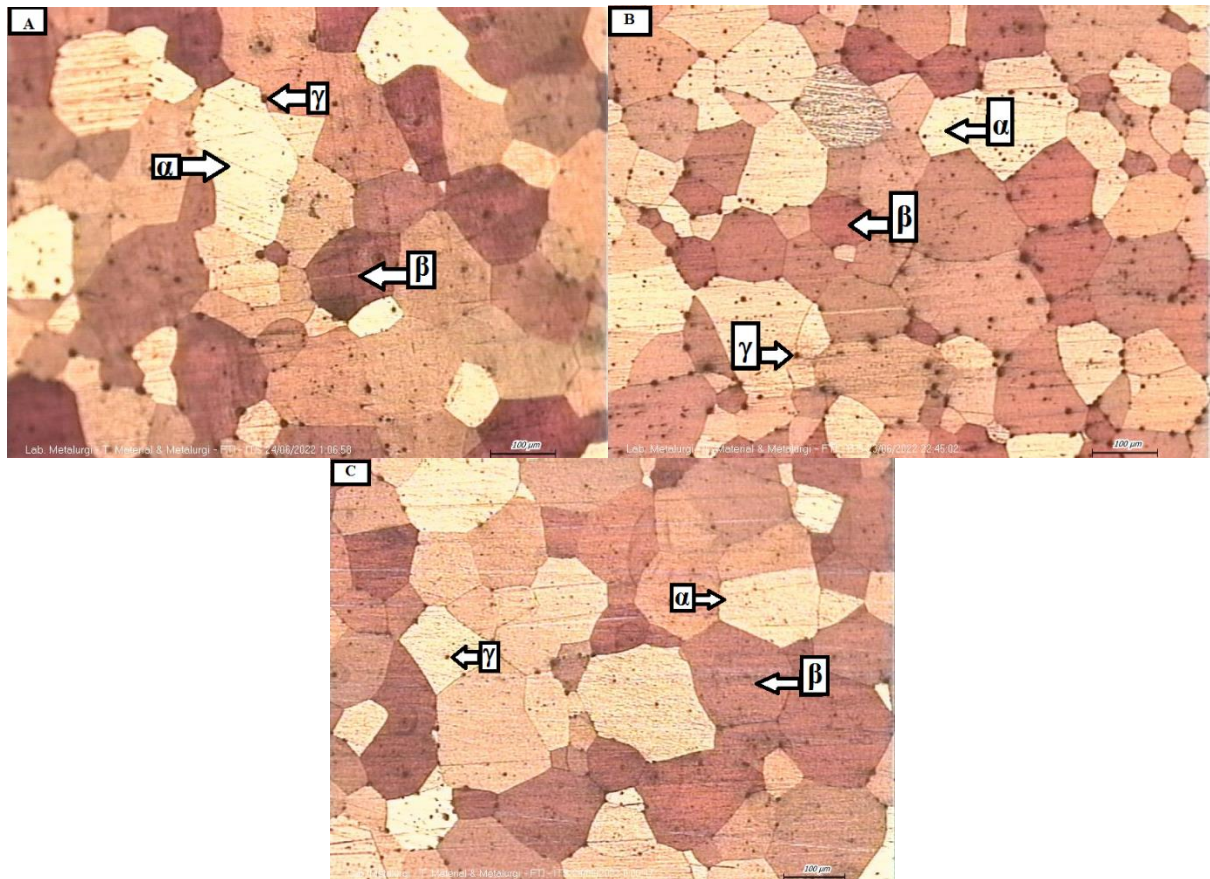
Gambar 4.5 Hasil pengujian metalografi spesimen *as cast* Cu-15,9Zn-6,89Al perbesaran 100x.

Gambar 4.5 menunjukkan hasil pengujian metalografi spesimen *as cast* Cu-15,9Zn-6,89Al. Terlihat dalam gambar tersebut terdapat tiga fasa yang terbentuk, yaitu α , β , dan γ . Fasa α memiliki karakteristik berwarna terang, untuk fasa β memiliki karakteristik berwarna sedikit gelap (Dutkiewicz et al., 2009), dan fasa γ yang memiliki karakteristik bentuk butiran presipitat berwarna gelap (Vander Voort, 2007). Dari hasil metalografi spesimen *as cast* yang ditunjukkan oleh gambar 4.5 menyatakan bahwa fasa yang terbentuk adalah α , β , dan γ sesuai dengan fasa yang terdeteksi pada pengujian XRD. Selain itu, terlihat pada gambar 4.5 bahwa fasa β yang berwarna gelap lebih mendominasi jika dibandingkan fasa α dan γ . Hal tersebut sesuai dengan pengujian XRD yang menyatakan bahwa intensitas peak β tertinggi jika dibandingkan dengan fasa lainnya.



Gambar 4.6 Hasil pengujian metalografi spesimen perbesaran 100x dengan perlakuan panas *solution treatment* variasi temperatur (A) 750°C, (B) 800°C, (C) 850°C selama 10 menit diikuti dengan *step quench* menggunakan media air.

Gambar 4.6 menunjukkan hasil metalografi dengan perbesaran 100x dari spesimen yang telah melewati perlakuan panas *solution treatment* dengan variasi temperatur selama 10 menit dan diikuti dengan *step quench* menggunakan media pendingin air. Terlihat bahwa fasa yang terbentuk pada gambar 4.6 adalah α , β , dan γ sesuai dengan hasil pengujian XRD. Fasa β' yang merupakan *twinned martensite* tidak terbentuk di seluruh spesimen pada gambar 4.6. Tidak adanya *twinned martensite* di seluruh spesimen pada gambar 4.6. dikarenakan adanya paduan Cu-15,9Zn-6,89Al memiliki temperatur *martensite start* (M_s) sebesar $\sim(-81,972^\circ\text{C})$. Temperatur transformasi martensit yang berada di bawah temperatur ruang membuat proses pendinginan dengan *step quench* menggunakan air tidak dapat mencapai *critical cooling rate* dari pembentukan martensit (Lohan et al., 2014). Hal tersebut berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Jatimurti pada tahun 2020 tentang pengaruh temperatur *solution treatment* dengan variasi 750°C, 850°C, dan 900°C dengan waktu tahan 10 menit pada paduan Cu-21Zn-5Al dan didinginkan secara cepat menggunakan variasi media pendingin *brine* dengan hasil terdapat fasa α , β , γ , dan β' (martensit) pada ketiga spesimen tersebut (Jatimurti et al., 2020). Selain itu, pada gambar 4.6 terlihat bahwa fasa β yang berwarna gelap lebih mendominasi jika dibandingkan fasa α dan γ . Hal tersebut sesuai dengan pengujian XRD yang menyatakan bahwa intensitas peak β tertinggi jika dibandingkan dengan fasa lainnya.



Gambar 4.7 Hasil pengujian metalografi spesimen perbesaran 100x dengan perlakuan panas *solution treatment* variasi temperatur (A) 750°C, (B) 800°C, (C) 850°C selama 10 menit diikuti dengan *step quench* menggunakan media oli.

Gambar 4.7 menunjukkan hasil metalografi dengan perbesaran 100x dari spesimen yang telah melewati perlakuan panas *solution treatment* dengan variasi temperatur selama 10 menit dan diikuti dengan *step quench* menggunakan media pendingin oli. Terlihat bahwa fasa yang terbentuk pada gambar 4.4 adalah α , β , dan γ sesuai dengan hasil pengujian XRD. Fasa β' yang merupakan *twinned martensite* tidak terbentuk di seluruh spesimen pada gambar 4.7. Tidak adanya *twinned martensite* di seluruh spesimen pada gambar 4.7 dikarenakan paduan Cu-15,9Zn-6,89Al memiliki temperatur *martensite start* (M_s) di bawah temperatur ruang yaitu sebesar $\sim(-81,972^\circ\text{C})$. Temperatur transformasi martensit yang berada di bawah temperatur ruang membuat proses pendinginan dengan *step quench* menggunakan oli tidak dapat mencapai *critical cooling rate* dari pembentukan martensit (Lohan et al., 2014). Hal tersebut berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Asanovic pada tahun 2004 tentang pengaruh variasi metode *quenching* menggunakan metode *step quench* dengan variasi media air mendidih (SQWB) dan oli (SQOB) pada temperatur 100°C selama 10 menit pada spesimen Cu-20,8Zn-5,8Al, dimana terbentuk fasa β dan β' (martensit) pada seluruh spesimen dan fasa α pada spesimen SQWB. Selain itu, pada gambar 4.7 terlihat bahwa fasa β yang berwarna gelap lebih mendominasi jika dibandingkan fasa α dan γ . Hal tersebut sesuai dengan pengujian XRD yang menyatakan bahwa intensitas peak β tertinggi jika dibandingkan dengan fasa lainnya.

Solution treatment yang dilakukan pada spesimen Cu-15,9Zn-6,89Al juga memberikan pengaruh terhadap ukuran butir. Perhitungan ukuran butir didapat dengan mengolah gambar hasil metalografi perbesaran 100x menggunakan *software ImageJ*. Pada pengujian ini temperatur yang digunakan dalam proses perlakuan panas *solution treatment* terdiri dari tiga

variasi yaitu 750°C, 800°C, dan 850°C dengan waktu tahan sebesar 10 menit. Perbedaan temperatur yang diberikan membuat nilai dari ukuran butir setiap spesimen berbeda beda. Terlihat pada tabel 4.5 bahwa ukuran butir spesimen yang diberikan perlakuan *solution treatment* dengan temperatur 750°C memiliki nilai terkecil yaitu 112,41 µm. Sedangkan untuk *solution treatment* dengan temperatur 850°C memiliki nilai terbesar yaitu 163,49 µm. Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Jatimurti, Wang dan Adyana. Penelitian tersebut menyatakan bahwa semakin tinggi temperatur dari proses *solution treatment* maka ukuran butir dari spesimen semakin besar dan sebaliknya (Jatimurti et al., 2020),(Wang et al., 2016), (Adnyana, 1986). Adapun untuk distribusi ukuran butir terlampir pada bab lampiran.

Tabel 4.5 Ukuran Butir Spesimen Paduan Cu-15,9Zn-6,89Al.

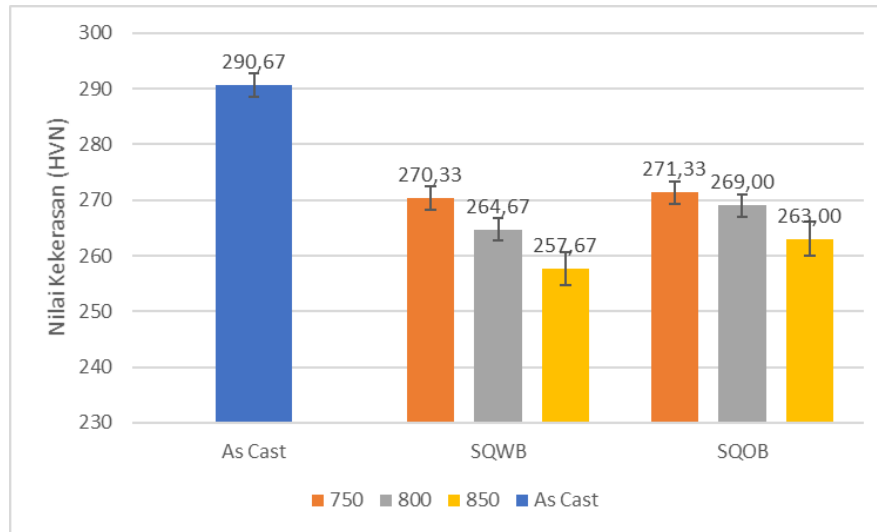
Nama Spesimen	Rata-Rata Diameter Butir (µm)
<i>As Cast</i>	66,82
SQWB 750	112,41
SQWB 800	146,61
SQWB 850	163,49
SQOB 750	115,68
SQOB 800	131,77
SQOB 850	150,26

4.5 Hasil Pengujian Kekerasan Paduan Cu-15,9Zn-6,89Al

Hasil pengujian kekerasan yang telah dilakukan disajikan dalam pada Tabel 4.6 dan Gambar 4.8 di bawah..

Tabel 4.6 Nilai Kekerasan Paduan Cu-15,9Zn-6,89Al

Spesimen	Rata-Rata (HV)
As cast	290,67 ± 2,08
SQWB 750	270,33 ± 3,06
SQWB 800	264,67 ± 2,08
SQWB 850	257,67 ± 3,06
SQOB 750	271,33 ± 2,08
SQOB 800	269,00 ± 2,00
SQOB 850	263,00 ± 4,06



Gambar 4.8 Grafik Nilai Kekerasan Paduan Cu-15,9Zn-6,891Al.

Dari tabel 4.6 dan gambar 4.8 terlihat bahwa spesimen tanpa perlakuan (*as cast*) memiliki nilai kekerasan tertinggi jika dibandingkan dengan spesimen yang sudah mengalami perlakuan panas yaitu sebesar $290,67 \pm 2,08$ HVN. Hal ini terjadi dikarenakan terjadi perlakuan panas *homogenizing* setelah proses pengecoran dan *annealing* sebelum proses perlakuan panas *solution treatment*. Homogenizing dilakukan dengan tujuan penyeragaman butir dan memperbaiki sifat mekanik dari logam, sedangkan *annealing* menyebabkan pertumbuhan ukuran butir menjadi lebih besar dan juga mengurangi tegangan akibat proses machining dari pembentukan *wire* (Callister & Rethwisch, 2009; Hegyes & Barkóczy, 2013). Dengan adanya perlakuan panas tersebut membuat ukuran butir dari spesimen setelah mengalami perlakuan panas lebih besar dari spesimen tanpa perlakuan (*as cast*) seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.2.

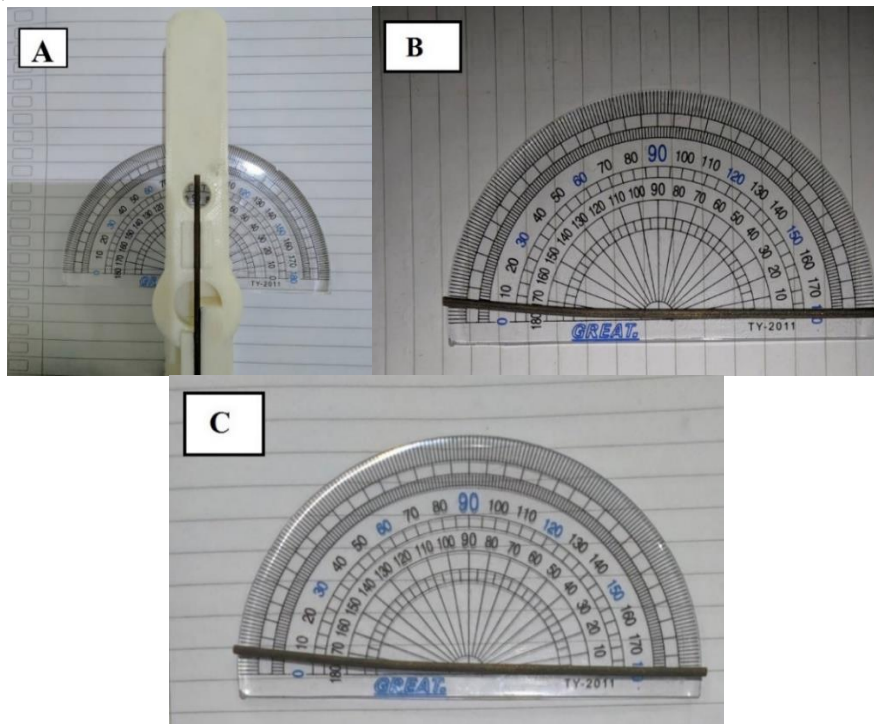
Untuk spesimen dengan perlakuan panas *solution treatment* diikuti dengan pendinginan yang dilakukan dengan metode *step quench* menggunakan media pendingin air memiliki nilai $270,33 \pm 3,06$ HVN untuk *solution treatment* dengan temperatur 750°C , $264,67 \pm 2,08$ HVN untuk *solution treatment* dengan temperatur 800°C , dan $257,67 \pm 3,06$ HVN untuk *solution treatment* dengan temperatur 850°C . Selanjutnya, untuk spesimen yang mengalami perlakuan panas yang sama namun dari media pendingin yang berbeda yaitu oli. Nilai kekerasan yang didapat adalah $271,33 \pm 2,08$ HVN dengan *solution treatment* pada temperatur 750°C , $269,00 \pm 2,00$ HVN dengan *solution treatment* pada temperatur 800°C , dan $263,00 \pm 4,06$ dengan *solution treatment* pada temperatur 850°C . Berdasarkan data diatas terlihat bahwa semakin tinggi temperatur dari *solution treatment* menyebabkan nilai kekerasan semakin rendah. Hal tersebut terjadi dikarenakan ukuran butir semakin besar ketika temperatur dari *solution treatment* semakin meningkat. Semakin besar butir maka nilai kekerasan pun menurun dan sebaliknya (Matyunin et al., 2019).

Dari tabel 4.6 dan gambar 4.8 terlihat bahwa spesimen yang melalui *step quench* dengan media pendingin oli (SQOB) memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan media pendingin air (SQWB). Hal ini terjadi dikarenakan rata-rata ukuran butir spesimen SQOB lebih kecil jika dibandingkan dengan spesimen SQWB sesuai dengan tabel 4.2. Salah satu faktor yang menyebabkan ukuran butir spesimen SQWB lebih besar dari spesimen SQOB adalah laju pendinginan pada proses *quench*. Proses pendinginan yang terjadi pada *step quench* menggunakan media oli memiliki laju pendingin yang lebih cepat jika dibandingkan *step quench* menggunakan media air (Asanovic, et al., 2011). Hal tersebut terjadi dikarenakan pada proses *step quench* dengan media pendingin air temperatur yang digunakan

adalah 100°C , dimana pada temperatur tersebut air sudah mencapai titik didih dan membuat energi yang dibutuhkan untuk mencapai *vapor blanket stage* menjadi kecil sehingga durasi dari *vapor blanket stage* menjadi lebih lama dan membuat laju pendinginan semakin panjang (Totten & Clinton, 1993). Sedangkan pada media pendingin oli ketika temperatur yang digunakan semakin tinggi maka fluiditasnya semakin tinggi yang membuat kapasitas pendinginannya semakin besar dan laju pendinginannya semakin cepat (Totten & Clinton, 1993). Dengan pendinginan cepat, spesimen menghasilkan inti dalam jumlah besar yang membuat butir lainnya tidak dapat memiliki kesempatan untuk tumbuh, sehingga dihasilkan ukuran butir yang halus serta sebaliknya (S.H. Avner, 2015).

4.6 Hasil Pengujian *Shape Memory Effect* Cu-15,9Zn-6,89Al

Pengujian *shape memory effect* dilakukan untuk mengetahui persentase *recovery* dari spesimen Cu-15,9Zn-6,89Al yang sebelumnya telah mengalami deformasi. Spesimen yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebuah *wire* dengan ketebalan 2 mm serta panjang 10 cm sesuai dengan standar ASTM F2082 (ASTM International, 2006). Spesimen *wire* kemudian *dibending* dengan penekukan 5° . Penekukan spesimen lebih dari sudut 5° menyebabkan spesimen menjadi patah. Peristiwa tersebut diduga terjadi dikarenakan spesimen memiliki kekerasan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Jatimurti (2020), Wahyuni (2021), dan Martin (2022) (Jatimurti et al., 2020; Martin et al., 2022; Wahyuni et al., 2021). Kekerasan yang tinggi membuat sifat keuletan dari spesimen semakin berkurang (Callister & Rethwisch, 2009; Chen, 2020; Zhang et al., 2011). Keuletan yang rendah membuat penekukan memiliki derajat yang kecil. Hal tersebut dikarenakan penekukan pada pengujian SME merupakan proses deformasi secara plastis, sehingga dibutuhkan keuletan yang tinggi untuk membuat penekukan yang merupakan elongasi dapat terjadi dengan derajat yang tinggi. Setelah mengalami proses deformasi secara plastis akibat penekukan, spesimen kemudian dipanaskan hingga mencapai temperatur A_f yang dapat dilihat pada tabel 4.2. Prosedur pengujian dari *shape memory effect* ini dapat dilihat pada Gambar 4.9 di bawah ini.



Gambar 4.9 Pengujian *shape memory effect* pada Paduan Cu-15,9Zn-6,89Al (a) proses penekukan, (b) sebelum dipanaskan, dan (c) setelah dipanaskan.

Spesimen *wire* yang telah melewati pengujian *shape memory effect* dihitung nilai *recovery*-nya dengan menggunakan persamaan 4.3 (Chanmuang et al., 2018), dimana θ_0 adalah sudut awal yaitu sebesar 5° dan θ_t adalah sudut akhir setelah spesimen dipanaskan hingga mencapai temperatur A_f . Hasil pengujian terlihat pada tabel 4.7.

$$\%SME = \frac{\theta_0 - \theta_t}{\theta_0} \times 100\% \dots \dots \dots (4.3)$$

Tabel 4.7 Hasil pengujian *shape memory effect* paduan Cu-15,9Zn-6,89Al.

Spesimen	Shape Memory Recovery (%)
SQWB 750	0
SQWB 800	0
SQWB 850	0
SQOB 750	0
SQOB 800	0
SQOB 850	0

Berdasarkan tabel 4.7 terlihat bahwa tidak adanya fenomena *shape memory recovery* untuk seluruh spesimen. Hal tersebut disebabkan karena tidak adanya fasa *twinned martensite* pada seluruh spesimen seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.6 dan 4.7. Fasa *twinned martensite* tidak terbentuk diakibatkan temperatur transformasi dari paduan Cu-15,9Zn-6,89Al berada dibawah temperatur kamar $\sim(-81,972^\circ\text{C})$ sehingga media pendingin oli dan air tidak mampu mencapai temperatur tersebut. Menurut Duerig, paduan *shape memory* memiliki nilai *shape memory recovery* ketika memiliki struktur mikro berupa *twinned martensite*. Ketika fasa ini dideformasi, fasa tersebut bereorientasi menjadi *detwinned martensite* dan tetap berada pada fasa tersebut saat tegangan dilepaskan. Fasa *detwinned martensite* bertransformasi ke austenit saat dipanaskan pada temperatur di atas A_f -nya, dan deformasi yang dimiliki menghilang sehingga spesimen dapat berubah ke bentuk awalnya (Duerig & Melton, 1990). Namun jika spesimen tersebut tidak memiliki fasa *twinned martensite*, maka deformasi berupa penekukan yang diberikan terhadap spesimen tersebut bersifat permanen dan tidak dapat kembali ke bentuk semula.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Pengaruh temperatur *solution treatment* pada paduan Cu-15,9Zn-6,89Al menghasilkan struktur mikro berupa fasa α , β , dan γ . Ukuran butir dari spesimen semakin besar ketika temperatur dari *solution treatment* semakin tinggi. Nilai diameter butir terbesar adalah 163,49 μm pada spesimen SQWB 850 dan terkecil adalah 112,41 μm pada spesimen SQWB 750. Dengan ukuran butir yang semakin besar membuat nilai kekerasan dari spesimen semakin menurun. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada spesimen SQOB 750 yaitu $271,33 \pm 2,08$ HVN dan yang terendah terdapat pada spesimen SQWB 850 yaitu $257,67 \pm 3,06$ HVN.
2. Pengaruh media pendingin *step quench* pada proses *solution treatment* paduan Cu-15,9Zn-6,89Al menghasilkan struktur mikro berupa α , β , dan γ tanpa adanya fasa martensit (β'). Tidak ada martensit yang terbentuk terjadi dikarenakan dari pada pengujian DSC tidak terdeteksi reaksi eksoterm dan berdasarkan perhitungan teoritis temperatur *martensite start* (M_s) paduan ini yaitu $\sim(-81,975)^\circ\text{C}$. Pendinginan *step quench* menggunakan media oli memiliki laju pendinginan yang lebih cepat dibandingkan media air. Laju pendinginan yang cepat menghasilkan ukuran butir yang halus serta membuat kekerasan semakin tinggi. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada spesimen SQOB 750 yaitu $271,33 \pm 2,08$ HVN dan yang terendah terdapat pada spesimen SQWB 850 yaitu $257,67 \pm 3,06$ HVN.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah :

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

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Adnyana, D. N. (1986). Effect of grain size on transformation temperatures in a grain-refined, copper-based, shape-memory alloy. *Metallography*, 19(2), 187–196. [https://doi.org/10.1016/0026-0800\(86\)90034-0](https://doi.org/10.1016/0026-0800(86)90034-0)
- Asanovic, V. D., Delijic, K. H., Leka, Z. B., & Bosnjak, B. T. (2011). The Effect of Heat Treatment on the Martensitic Transformation and Properties of Cu-Zn-Al Alloy. *Journal of the Mechanical Behavior of Materials*, 15(4–5), 219–238. <https://doi.org/10.1515/jmbm.2004.15.4-5.219>
- 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>
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2009). *Materials Science and Engineering: An Introduction, 8th Edition*. <http://books.google.com/books?id=OalbAAAAQBAJ&pgis=1>
- Chanmuang, C., Niyomsoan, S., & Chomsaeng, N. (2018). Effect of indium in Cu-Zn-Al shape memory alloys. *Journal of Physics: Conference Series*, 1082(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1082/1/012060>
- Chen, K. J. (2020). Novel application research on critical high-temperature deformation of low-lead brass alloy. *Metals*, 10(6), 1–12. <https://doi.org/10.3390/met10060722>
- Duerig, T. W., & Melton, K. N. (1990). Engineering Aspects of Shape Memory Alloys. In *Engineering Aspects of Shape Memory Alloys*. <https://doi.org/10.1016/c2013-0-04566-5>
- Dutkiewicz, J., Masdeu, F., Malczewski, P., & Kukuła, A. (2009). Microstructure and properties of $\alpha + \beta$ brass after ECAP processing. *Archives of Materials Science and Engineering*, 39(2), 80–83.
- Groover, M. (2010). Fundamentals of Modern Manufacturing Materials, Processes and Systems. *John Wiley & Sons*, 493.
- Hegyes, T., & Barkóczy, P. (2013). The effect of homogenization on the annealing of Al-1,5%Mn aluminium alloy. *Materials Science Forum*, 752, 193–197. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.752.193>
- Higgins, R. (1999). Engineering Metallurgy: Applied Physical Metallurgy. *Edward Arnold*, 1999, 560.
- International, ASM. (1989). ASM Handbook Volume 3: Alloy Phase Diagrams. In *Bulletin of Alloy Phase Diagrams* (Vol. 10, Issue 2). <https://doi.org/10.1007/BF02881433>
- International, ASM. (1990). *ASM Handbook Volume 2: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials* (Vol. 2). ASM International.
- International, ASM. (1991). *ASM Handbook Volume 4: Heat Treating*.
- International, ASTM. (2006). Standard Test Method for Determination of Transformation Temperature of Nickel-Titanium Shape Memory Alloys by Bend and Free Recovery. *Astm*, 1–7. <https://doi.org/10.1520/F2082-16.2>
- International, ASTM. (2015). *Standard Terminology for Nickel-Titanium Shape Memory Alloys. i(Reapproved)*, 1–18. <https://doi.org/10.1520/F2005-05R15.2>
- Jatimurti, W., Gayatri, M., & Ramadhani, M. (2020). The Effect of Solution Treatment Temperature and Quenching Media Variation in Heat Treatment Process Cu-Zn-Al Shape Memory Alloys on Shape Memory Effect and Microstructures. *Journal of Mechanical Engineering Science and Technology*, 4(1), 61–71. <https://doi.org/10.17977/um016v4i12020p061>
- K., O., & Wayman, C. M. (1998). General applications of SMA's and smart materials. *Shape Memory Materials*, 220–241.

- Lexcellent, C. (2013). Shape-memory Alloys Handbook. In *Shape-memory Alloys Handbook*.
<https://doi.org/10.1002/9781118577776>
- Lohan, N. M., Suru, M. G., Pricop, B., & Bujoreanu, L. G. (2014). Cooling rate effects on the structure and transformation behavior of Cu-Zn-Al shape memory alloys. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 21(11), 1109–1114.
<https://doi.org/10.1007/s12613-014-1015-5>
- Machado, L. G., & Lagoudas, D. C. (2008). *Modeling of SMAs*. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-47685-8>
- Manurung, V. Y. T. S. Y. (2020). *Panduan metalografi*.
- Martin, S., Ramadhani, M., & Rochiem, R. (2022). Analisis Pengaruh Variasi Temperatur dan Metode Quenching Pada Solution Treatment Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Shape Memory Effect Pada Paduan Cu-14,6Zn-7,41Al Shape Memory Alloy. In *Jurnal Teknik ITS* (Issue 8.5.2017). Insitut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Matyunin, V. M., Abusaif, N., & Marchenkov, A. Y. (2019). Influence of grains and grain boundaries on hardness values. *Journal of Physics: Conference Series*, 1399(4).
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1399/4/044002>
- Millero, F. J. (2018). *Freezing point of seawater F. J. Millero . Freezing point of seawater . Annex 6 , Eight report of the Joint Panel on Oceanographic Tables and Standards (JPOTS) . UNESCO technical papers in marine sciences . 28 ; 29-35 (1978) . August*.
- Mohamed, A. M. A., & Samuel, F. H. (2012). A Review on the Heat Treatment of Al-Si-Cu/Mg Casting Alloys. *Heat Treatment - Conventional and Novel Applications*.
<https://doi.org/10.5772/50282>
- Najah Saud Al-Humairi, S. (2020). Cu-Based Shape Memory Alloys: Modified Structures and Their Related Properties. *Recent Advancements in the Metallurgical Engineering and Electrodeposition*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.86193>
- Otsuka, K., & Kakeshita, T. (2002). Science and technology of shape-memory alloys: New developments. *MRS Bulletin*, 27(2), 91–98. <https://doi.org/10.1557/mrs2002.43>
- Repsol. (2020). Vacuum Pump Oil 10W and 30 INDUSTRY Lubricants. *Tribology International*, 12(2), 98–100. [https://doi.org/10.1016/0301-679x\(79\)90022-7](https://doi.org/10.1016/0301-679x(79)90022-7)
- S.H. Avner. (2015). *Introduction to Physical Metallurgy* (Vol. 1).
- Sampath, V. (2007). Effect of thermal processing on microstructure and shape-memory characteristics of a copper-zinc-aluminum shape-memory alloy. *Materials and Manufacturing Processes*, 22(1), 9–14. <https://doi.org/10.1080/10407780601015808>
- Setiabudi, A. R. H. A. M. (2012). Karakterisasi Material: Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia. In *UPI Press* (Vol. 1).
- Singh, R. (2006). *Introduction To Basic Manufacturing Processes And Workshop Technology*. New Age International (P) 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>
- Totten, G. E., & Clinton, A. (1993). Handbook of quenchant 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)
- Vander Voort, G. F. (2007). Metallography Principles and Practice. In *Applied Spectroscopy* (Vol. 55, Issue 11). McGraw-Hill.
- Wahyuni, I. A., Ramadhani, M., & Rochiem, R. (2021). Analisis Pengaruh Variasi Quenching Solution Treatment dan Proses Artificial Aging terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Cu-Zn-Al Shape Memory Alloy. In *Jurnal Teknik ITS: Vol. X*. Institut Teknologi Sepuluh

Nopember.

- Wang, G., Peng, H., Zhang, C., Wang, S., & Wen, Y. (2016). Relationship among grain size, annealing twins and shape memory effect in Fe-Mn-Si based shape memory alloys. *Smart Materials and Structures*, 25(7), 1–9. <https://doi.org/10.1088/0964-1726/25/7/075013>
- Widyastuti, Ardhyanta, H., Purwaningsih, H., & Quluq, R. M. (2019). *Karakterisasi Material Bagian 1: Komposisi, Topografi, dan Sifat Mekanik*. ITS Press.
- Zhang, P., Li, S. X., & Zhang, Z. F. (2011). General relationship between strength and hardness. *Materials Science and Engineering A*, 529(1), 62–73. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2011.08.061>

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

1. Perhitungan Kebutuhan Massa Bahan

- Komposisi Bahan

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

- Target Komposisi Bahan

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

- Densitas Bahan

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

- Dimensi Cetakan

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

- Total Densitas

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

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

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

- Massa Total Target

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

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

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

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

Sehingga:

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

- Massa Bahan
 $\text{Cu Balance} : \text{Pure Cu} + 0,59 \times \text{Brass} = 136,750 \text{ (g)}$
 $\text{Zn Balance} : 0,3775 \times \text{Brass} = 254,686 \text{ (g)}$
 $\text{Al Balance} : \text{Pure Al} = 110,364 \text{ (g)}$

Sehingga:

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

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

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

- Massa Total Bahan
 $\text{Massa Total Bahan} = \text{Massa Pure Cu} + \text{Massa Brass} + \text{Massa Pure Al (g)}$
 $\text{Massa Total Bahan} = 1623,73 \text{ (g)}$
- Massa Pengotor
 $\text{Massa Pengotor} = \text{Massa Bahan} - \text{Massa Total Target (g)}$
 $\text{Massa Pengotor} = 21,927 \text{ (g)}$

LAPORAN TUGAS AKHIR
TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI



2. Hasil Pengujian *Optical Emission Spectrometry*



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

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

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

Laman : www.ppns.ac.id

LAPORAN HASIL PENGUJIAN

REPORT ON THE TEST RESULT

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

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

Kalab. Uji Bahan
Head of DT & NDT Laboratory

Hendri Budi Kurniyanto, SST, MT
NIP. 199003072019031019

Keterangan / Notes

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

Halaman
1 dari 2



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
UNIT LAYANAN BISNIS, JASA DAN PRODUKSI
Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS, Sukolilo - Surabaya 60111
TELP. (031) 5947186 - 5994444 FAX. (031) 5994444
Laman : www.ppns.ac.id

LAMPIRAN HASIL PENGUJIAN
ATTACHMENT OF THE TEST RESULT

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

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

F.08-LUB-PPNS

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

Surabaya, April 12, 2022.

Examined by	Verified by
	
MUHARROR	Hendri Budi K.

UNIT LAYANAN BISNIS DAN
JASA PRODUKSI

Keterangan / Notes :

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

Halaman
2 dari 2



**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

OPTICAL EMISSION SPECTROSCOPY RESULT

No. SPK : 14-IV/PL19/BJP/2022 Penandaan : -
Pelanggan : Sdr. Ferdy - T. Material ITS Material : CuZnAl alloy
Proyek : - Dimensi : 20x25x33mm
Kepala Lab. : Hendri Budi K., S.ST., M.T. Heat No. : -
Program : CU_000 Keterangan : -

	Cu	Zn	Pb	Sn	P	Mn	Fe	Ni
1	74.2	15.9	1.95	0.375	0.0051	< 0.0002	0.222	0.134
2	74.1	16.0	2.03	0.283	0.0049	< 0.0002	0.231	0.127
3	74.2	15.8	2.08	0.296	0.0022	< 0.0002	0.218	0.129
Ave	74.2	15.9	2.02	0.318	0.0041	< 0.0002	0.224	0.130
	Si	Mg	Cr	Al	S	As	Be	Ag
1	0.0025	< 0.0005	0.0013	6.88	0.0011	0.0135	0.0003	0.0102
2	0.0052	< 0.0005	0.0017	6.88	0.0009	0.0122	0.0006	0.0104
3	0.0069	< 0.0005	0.0022	6.92	0.0013	0.0082	0.0004	0.0104
Ave	0.0052	< 0.0005	0.0017	6.89	0.0011	0.0113	0.0004	0.0103
	Co	Bi	Cd	Sb	Zr	B	Se	Te
1	0.0085	0.0206	0.0042	0.0543	0.0012	< 0.0001	< 0.0001	0.121
2	0.0069	0.0180	0.0050	0.0687	0.0012	< 0.0001	< 0.0001	0.125
3	0.0074	0.0168	0.0042	0.0550	0.0010	< 0.0001	< 0.0001	0.0776
Ave	0.0076	0.0185	0.0045	0.0593	0.0011	< 0.0001	< 0.0001	0.108
	Ti	C	Nb					
1	< 0.0001	< 0.0001	0.0035					
2	< 0.0001	< 0.0001	0.0136					
3	< 0.0001	< 0.0001	0.0038					
Ave	< 0.0001	< 0.0001	0.0070					

Surabaya, 4/12/2022



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

3. *Pattern List Spesimen As cast.*

Lists Pane

Refinement Control Structure Plot Fourier Map Distances and Angles

Pattern List Scan List Peak List Anchor Scan Data Quantification

Accepted Ref. Pattern: 00-050-1333:

No.	Visible	Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula	Score	S...	Display Color
1	<input checked="" type="checkbox"/>	00-050-1333	Copper Zinc	Cu _{0.64} Zn _{0.36}	32	-	Blue
2	<input checked="" type="checkbox"/>	00-002-1231	Copper Zinc	Cu Zn	37	-	Lime
3	<input checked="" type="checkbox"/>	00-024-0003	Aluminum Copper	Cu ₉ Al ₄	15	-	Gray
4	<input checked="" type="checkbox"/>	00-025-1228	Copper Zinc	Cu ₅ Zn ₈	36	-	Maroon
5	<input checked="" type="checkbox"/>	01-087-0713	Zinc	Zn	16	-	Aqua

4. *Pattern List Spesimen SQWB 750.*

Lists Pane

Refinement Control Structure Plot Fourier Map Distances and Angles

Pattern List Scan List Peak List Anchor Scan Data Quantification

Accepted Ref. Pattern: 00-050-1333:

No.	Visible	Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula	Score	SemiQ...	Display Color
1	<input checked="" type="checkbox"/>	00-050-1333	Copper Zinc	Cu _{0.64} Zn _{0.36}	29	-	Blue
2	<input checked="" type="checkbox"/>	00-002-1231	Copper Zinc	Cu Zn	38	-	Lime
3	<input checked="" type="checkbox"/>	00-025-1228	Copper Zinc	Cu ₅ Zn ₈	29	-	Gray
4	<input checked="" type="checkbox"/>	00-024-0003	Aluminum Copper	Cu ₉ Al ₄	14	-	Mar...
5	<input checked="" type="checkbox"/>	00-001-1238	Zinc	Zn	26	-	Aqua

5. *Pattern List Spesimen SQWB 800*

Lists Pane

Refinement Control Structure Plot Fourier Map Distances and Angles

Pattern List Scan List Peak List Anchor Scan Data Quantification

Accepted Ref. Pattern: 00-002-1231:

No.	Visible	Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula	Score	SemiQua...	Display Color
1	<input checked="" type="checkbox"/>	00-002-1231	Copper Zinc	Cu Zn	38	-	Blue
2	<input checked="" type="checkbox"/>	00-050-1333	Copper Zinc	Cu _{0.64} Zn _{0.36}	31	-	Lime
3	<input checked="" type="checkbox"/>	00-024-0003	Aluminum Copper	Cu ₉ Al ₄	14	-	Gray
4	<input checked="" type="checkbox"/>	00-025-1228	Copper Zinc	Cu ₅ Zn ₈	34	-	Mar...

6. *Pattern List* Spesimen SQWB 850

Lists Pane

Refinement Control Structure Plot Fourier Map Distances and Angles

Pattern List Scan List Peak List Anchor Scan Data Quantification

Accepted Ref. Pattern: 00-002-1231

No.	Visible	Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula	Score	SemiQu...	Display Color
1	<input checked="" type="checkbox"/>	00-002-1231	Copper Zinc	Cu Zn	37	-	Blue
2	<input checked="" type="checkbox"/>	00-050-1333	Copper Zinc	Cu _{0.64} Zn _{0.36}	27	-	Lime
3	<input checked="" type="checkbox"/>	00-024-0003	Aluminum Copper	Cu ₉ Al ₄	14	-	Gray
4	<input checked="" type="checkbox"/>	00-025-1228	Copper Zinc	Cu ₅ Zn ₈	35	-	Mar...

7. *Pattern List* Spesimen SQOB 750

Lists Pane

Refinement Control Structure Plot Fourier Map Distances and Angles

Pattern List Scan List Peak List Anchor Scan Data Quantification

Accepted Ref. Pattern: 00-002-1231

No.	Visible	Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula	Score	SemiQu...	Display Color
1	<input checked="" type="checkbox"/>	00-002-1231	Copper Zinc	Cu Zn	36	-	Blue
2	<input checked="" type="checkbox"/>	00-050-1333	Copper Zinc	Cu _{0.64} Zn _{0.36}	23	-	Lime
3	<input checked="" type="checkbox"/>	00-024-0003	Aluminum Copper	Cu ₉ Al ₄	13	-	Gray
4	<input checked="" type="checkbox"/>	00-025-1228	Copper Zinc	Cu ₅ Zn ₈	32	-	Mar...

8. *Pattern List* Spesimen SQOB 800

Lists Pane

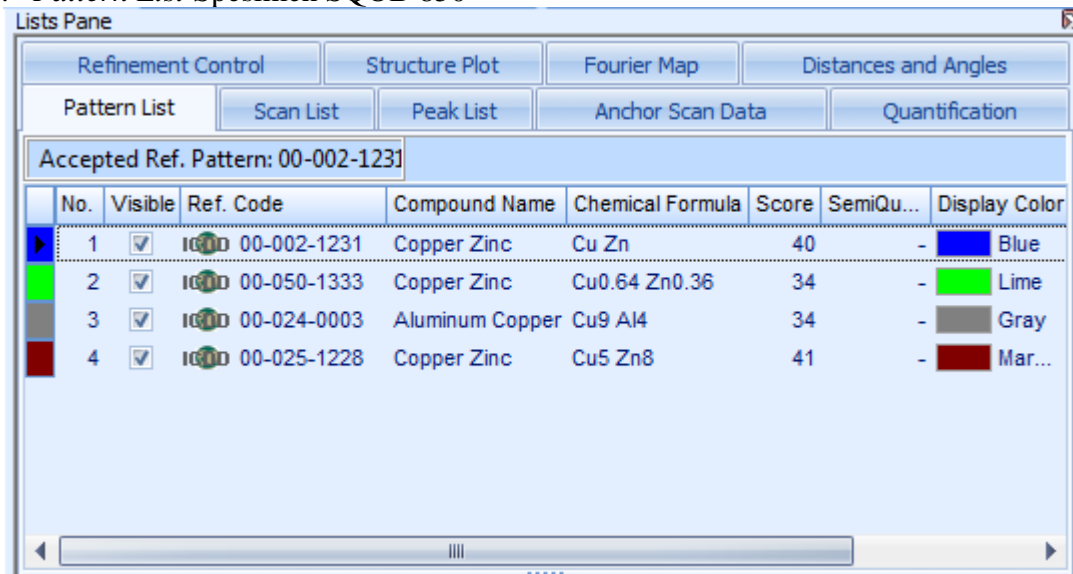
Refinement Control Structure Plot Fourier Map Distances and Angles

Pattern List Scan List Peak List Anchor Scan Data Quantification

Accepted Ref. Pattern: 00-002-1231

No.	Visible	Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula	Score	S...	Display Color	Da
1	<input checked="" type="checkbox"/>	00-002-1231	Copper Zinc	Cu Zn	37	-	Blue	C:\
2	<input checked="" type="checkbox"/>	00-050-1333	Copper Zinc	Cu _{0.64} Zn _{0.36}	31	-	Lime	C:\
3	<input checked="" type="checkbox"/>	00-024-0003	Aluminum Copper	Cu ₉ Al ₄	13	-	Gray	C:\
4	<input checked="" type="checkbox"/>	00-025-1228	Copper Zinc	Cu ₅ Zn ₈	34	-	Mar...	C:\

9. *Pattern List* Spesimen SQOB 850



No.	Visible	Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula	Score	SemiQu...	Display Color
1	<input checked="" type="checkbox"/>	00-002-1231	Copper Zinc	Cu Zn	40	-	Blue
2	<input checked="" type="checkbox"/>	00-050-1333	Copper Zinc	Cu _{0.64} Zn _{0.36}	34	-	Lime
3	<input checked="" type="checkbox"/>	00-024-0003	Aluminum Copper	Cu ₉ Al ₄	34	-	Gray
4	<input checked="" type="checkbox"/>	00-025-1228	Copper Zinc	Cu ₅ Zn ₈	41	-	Mar...

10. *PDF Card* α (Cu_{0,64}Zn_{0,36})

Name and formula

Reference code: 00-050-1333

Compound name: Copper Zinc
Common name: a-brass
PDF index name: Copper Zinc

Empirical formula: Cu_{0,64}Zn_{0,36}
Chemical formula: Cu_{0,64}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/cm³): 8,44
Measured density (g/cm³): 8,43
Volume of cell (10⁶ pm³): 50,49
Z: 4,00

RIR: -

Subfiles and Quality

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

Comments

Creation Date: 01/01/1970
Modification Date: 01/01/1970
Sample Preparation: Commercially available Cu₆₄-Zn₃₆ was abraded to produce powder, then milled and annealed under nitrogen at 300 C for 2 hours
Analysis: Chemical analysis (wt.%): Cu 63.44, Zn 36.45.

References

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

Peak list

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

1 Of 2

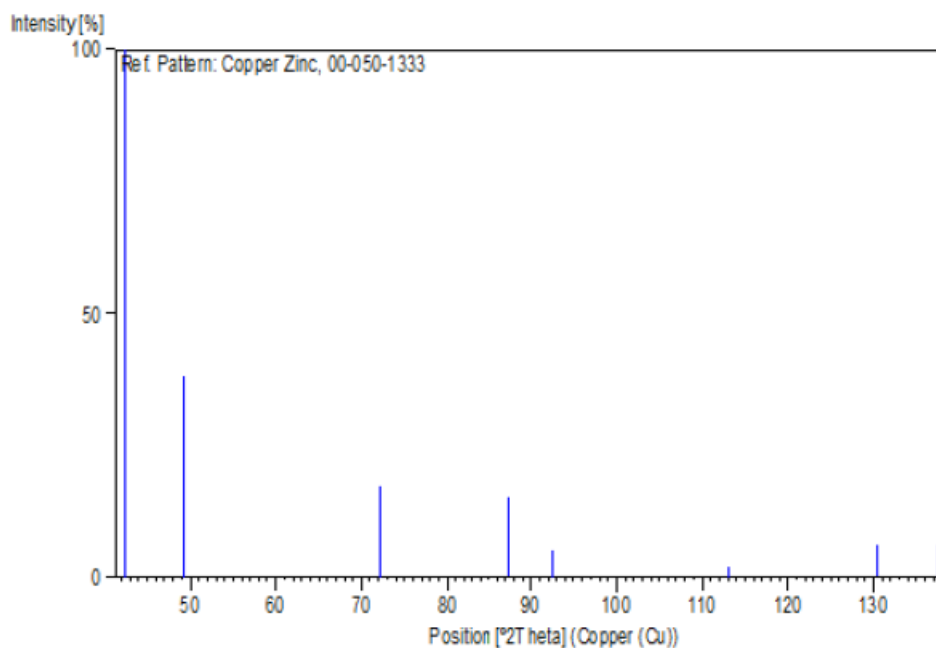
Date: 04/07/2022 Time: 0:20:22

File: As Cast 2B_1

User: MARZUKI

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

Stick Pattern



11. PDF Card β (CuZn)

Name and formula

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

Crystallographic parameters

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

Subfiles and Quality

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

Comments

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

References

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

Peak list

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

1 Of 2

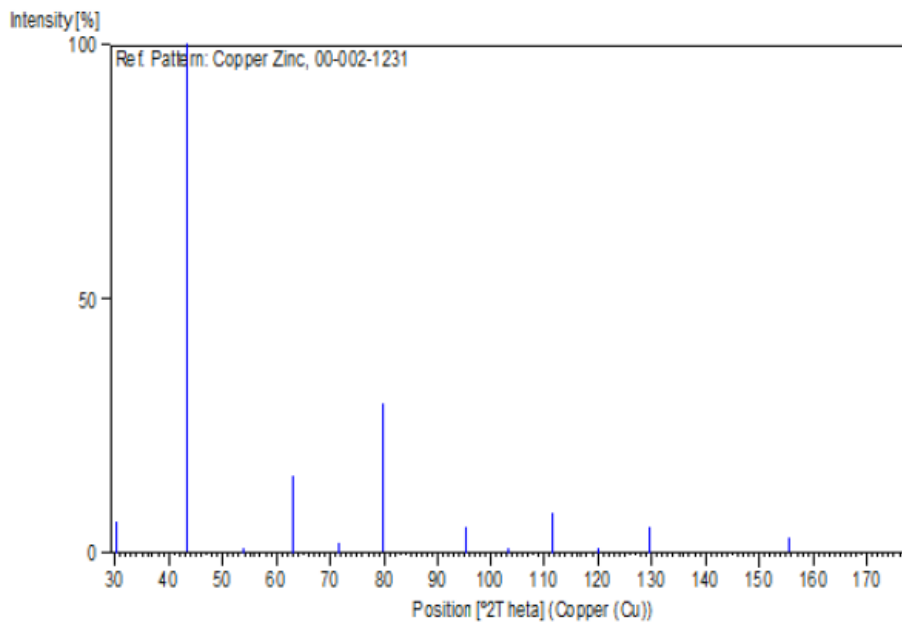
Date: 04/07/2022 Time: 0:20:39

File: As Cast 2B_1

User: MARZUKI

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

Stick Pattern



12. PDF Card γ (Cu_5Zn_8)

Name and formula

Reference code:	00-025-1228
Compound name:	Copper Zinc
PDF index name:	Copper Zinc
Empirical formula:	Cu_5Zn_8
Chemical formula:	Cu_5Zn_8

Crystallographic parameters

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

Subfiles and Quality

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

LAPORAN TUGAS AKHIR
TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI



Comments

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

References

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

Peak list

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

1 Of 2

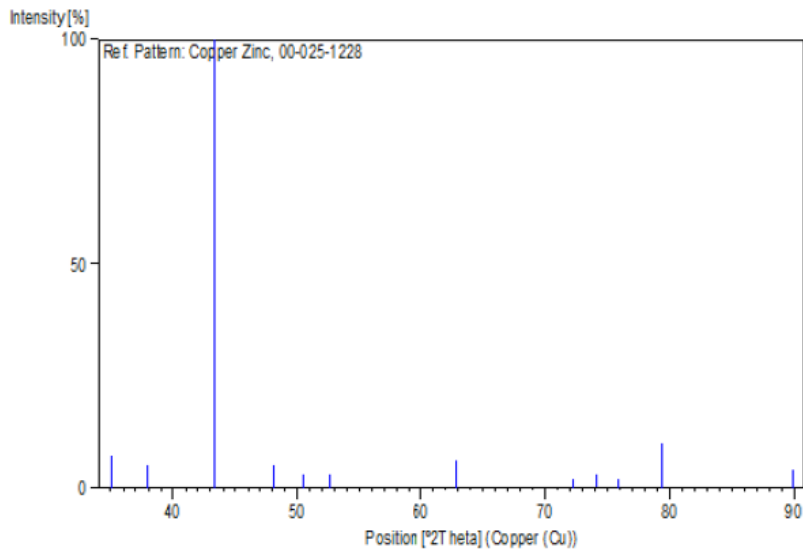
Date: 04/07/2022 Time: 0:21:08

File: As Cast 2B_1

User: MARZUKI

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

Stick Pattern



13. *PDF Card* γ_2 (Cu₉Al₄)

Name and formula

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

Crystallographic parameters

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

RIR: -

Subfiles and Quality

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

Comments

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

References

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

LAPORAN TUGAS AKHIR
TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI



Peak list

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

1 Of 2

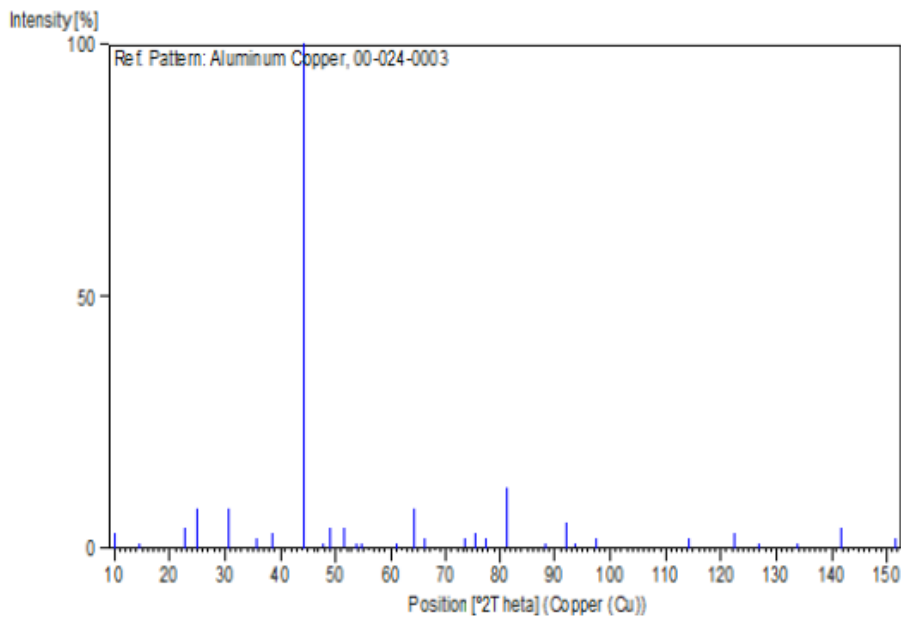
Date: 04/07/2022 Time: 10:46:51

File: As Cast 2B_1

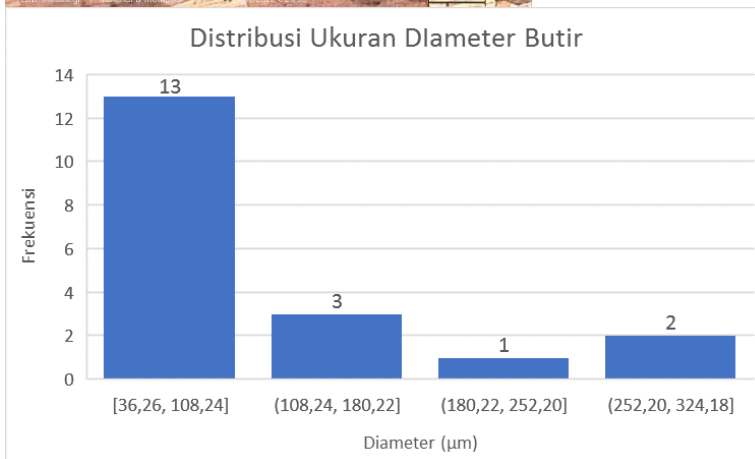
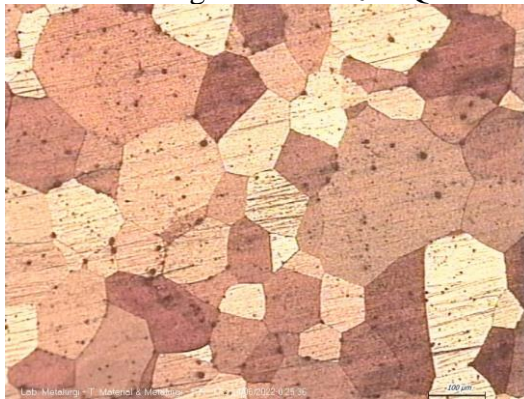
User: MARZUKI

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

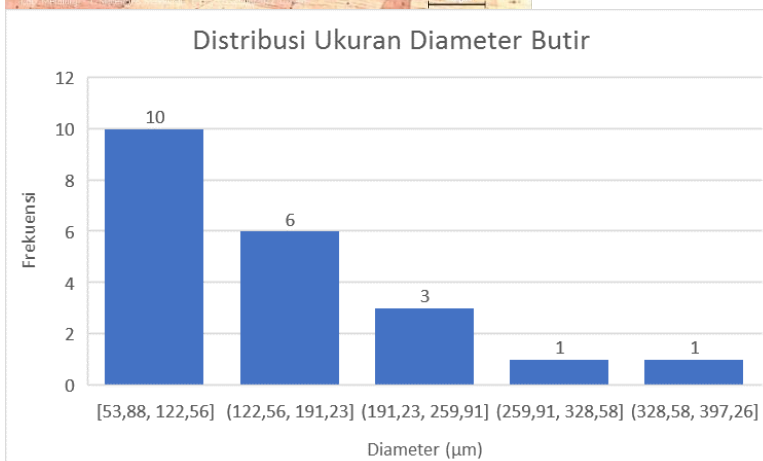
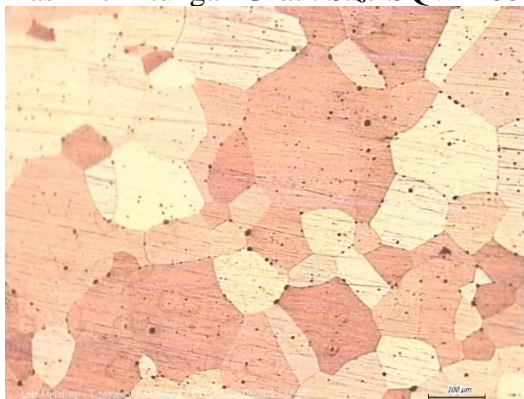
Stick Pattern



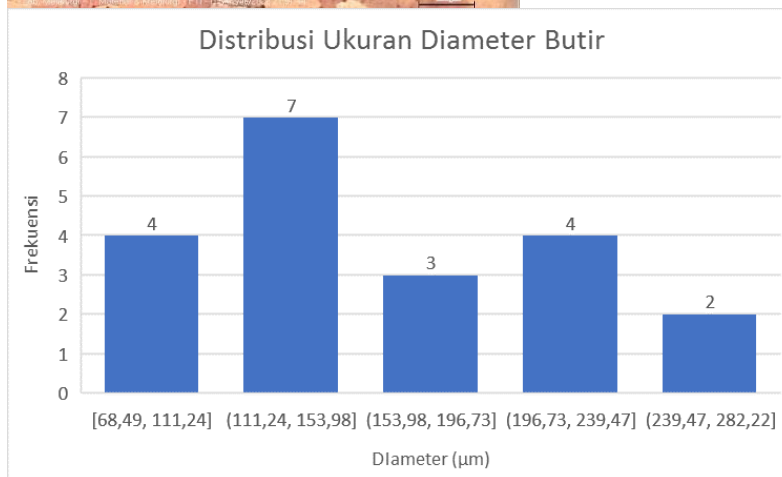
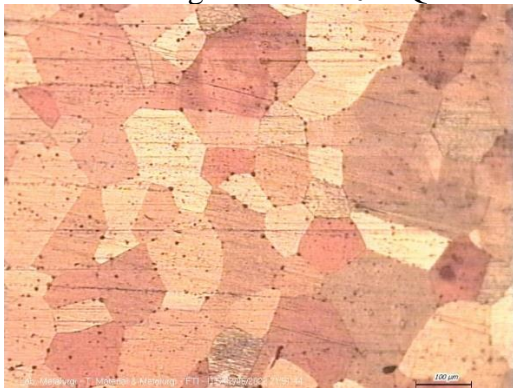
14. Hasil Perhitungan *Grain Size* SQWB 750



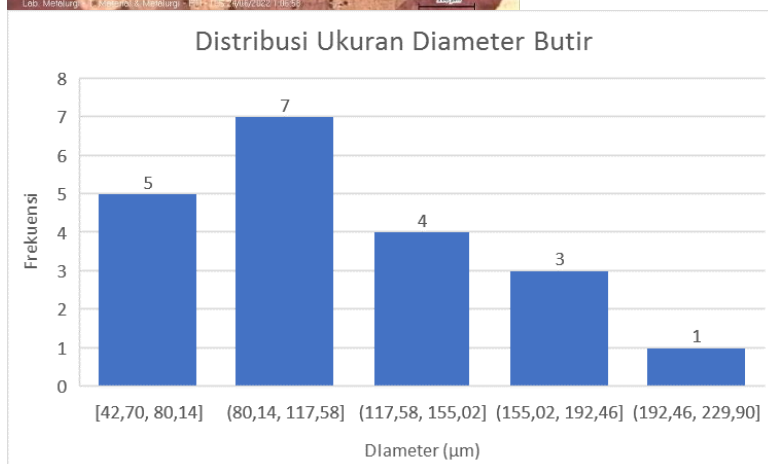
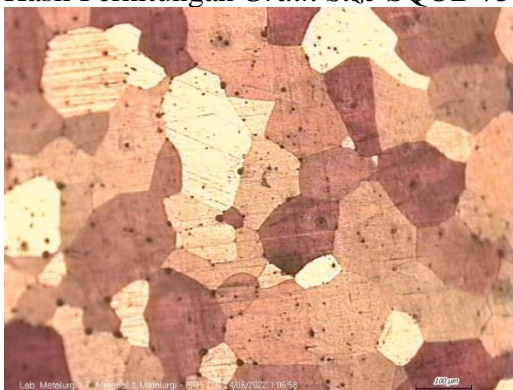
15. Hasil Perhitungan *Grain Size* SQWB 800



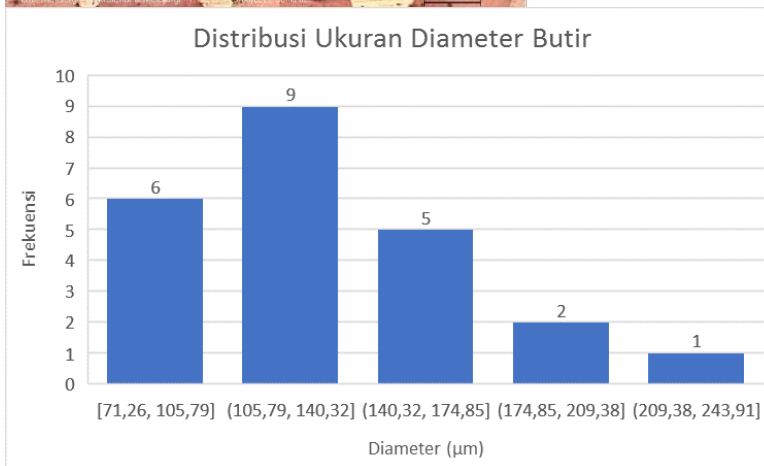
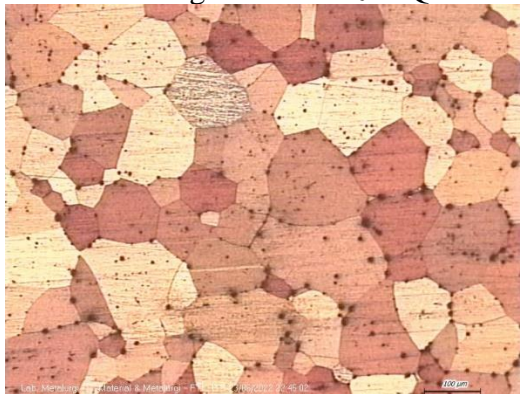
16. Hasil Perhitungan *Grain Size* SQWB 850



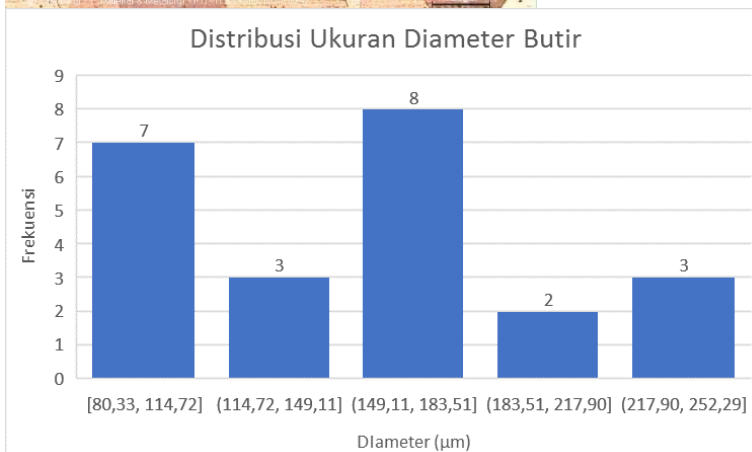
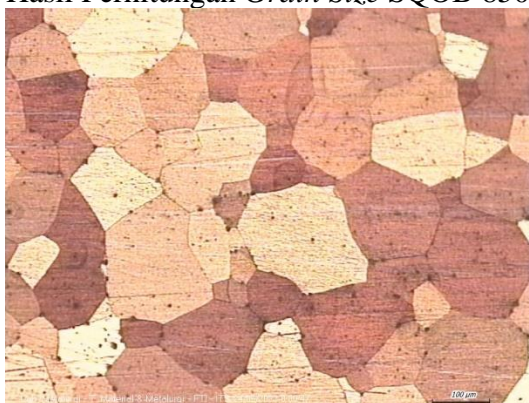
17. Hasil Perhitungan *Grain Size* SQOB 750



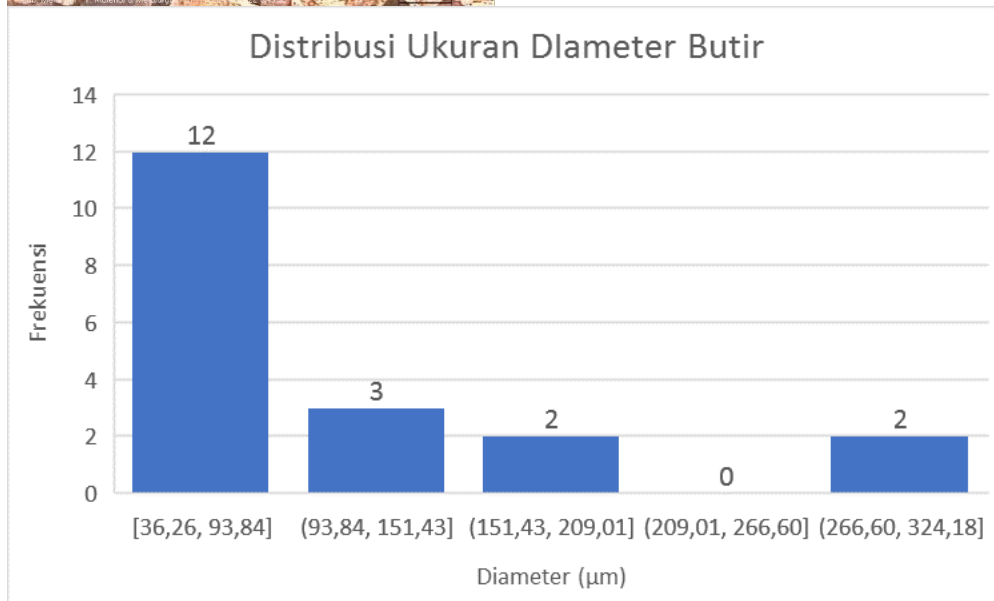
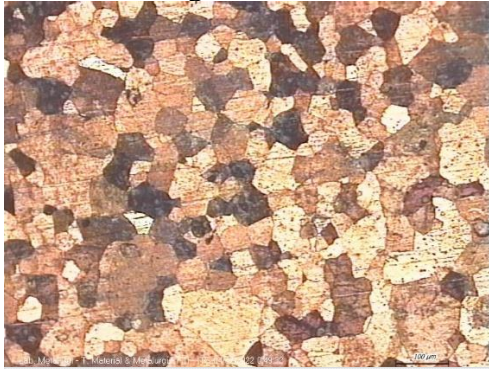
18. Hasil Perhitungan *Grain Size* SQOB 800



19. Hasil Perhitungan *Grain Size* SQOB 850



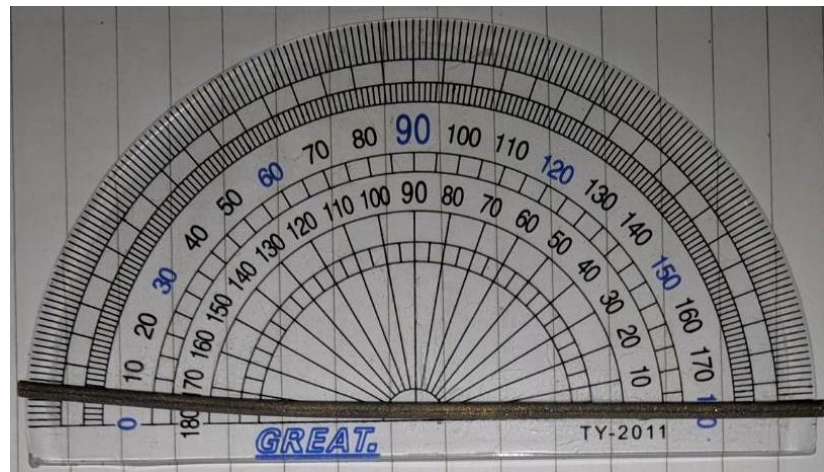
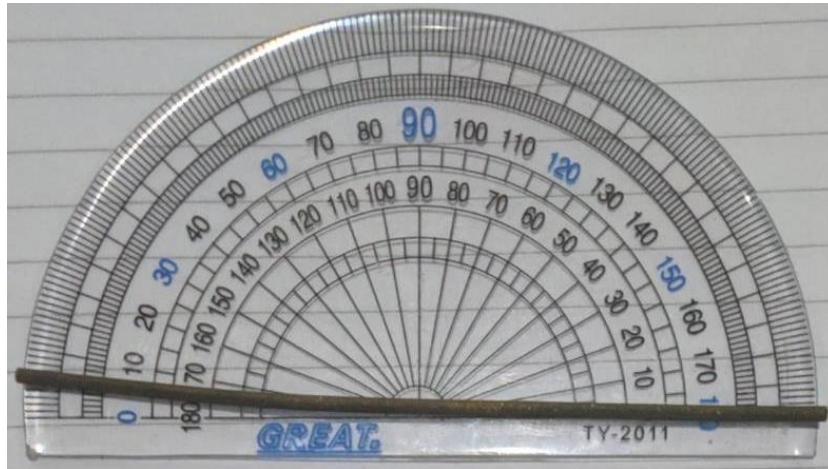
20. Hasil Perhitungan *Grain Size As Cast*



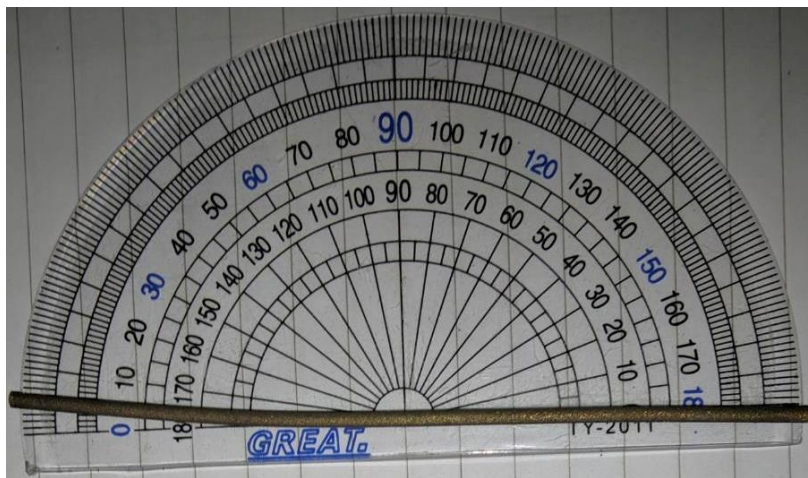
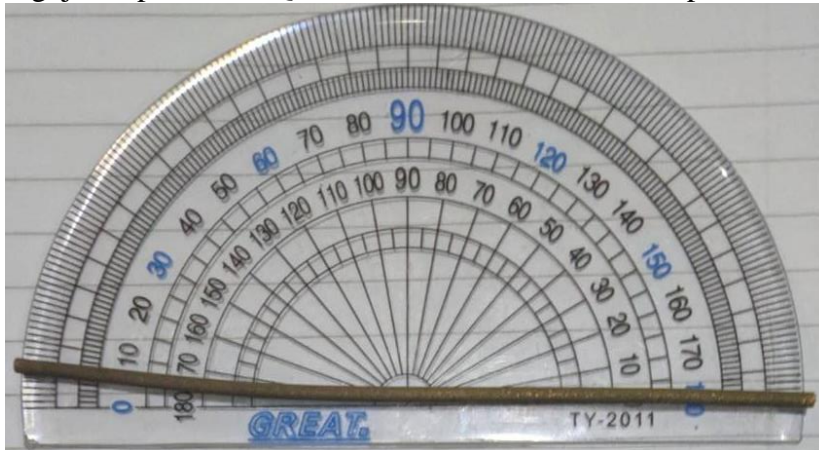
21. Hasil Pengujian Kekerasan

Spesimen	Titik 1 (HV)	Titik 2 (HV)	Titik 3 HV	Rata-Rata (HV)	Standar Deviasi
As cast	293,00	290,00	289,00	290,67	2,08
SQWB 750	267,00	271,00	273,00	270,33	3,06
SQWB 800	263,00	264,00	267,00	264,67	2,08
SQWB 850	255,00	261,00	257,00	257,67	3,06
SQOB 750	269,00	272,00	273,00	271,33	2,08
SQOB 800	267,00	269,00	271,00	269,00	2,00
SQOB 850	258,00	266,00	265,00	263,00	4,36

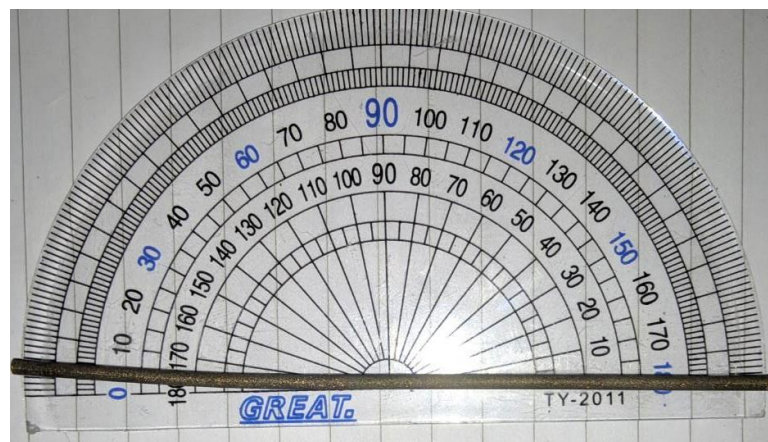
22. Hasil Pengujian Spesimen SQWB 750 sebelum dan sesudah pemanasan



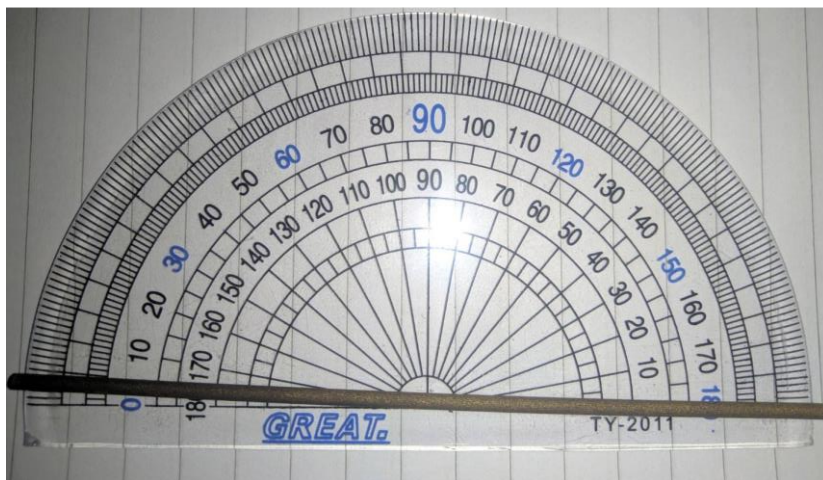
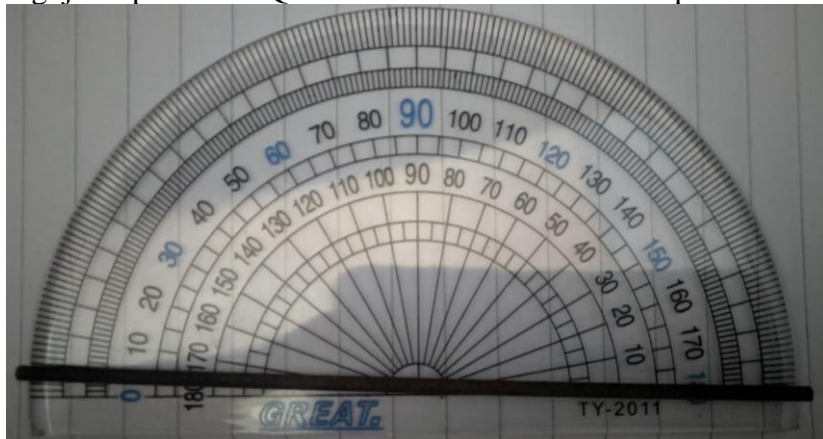
23. Hasil Pengujian Spesimen SQWB 800 sebelum dan sesudah pemanasan



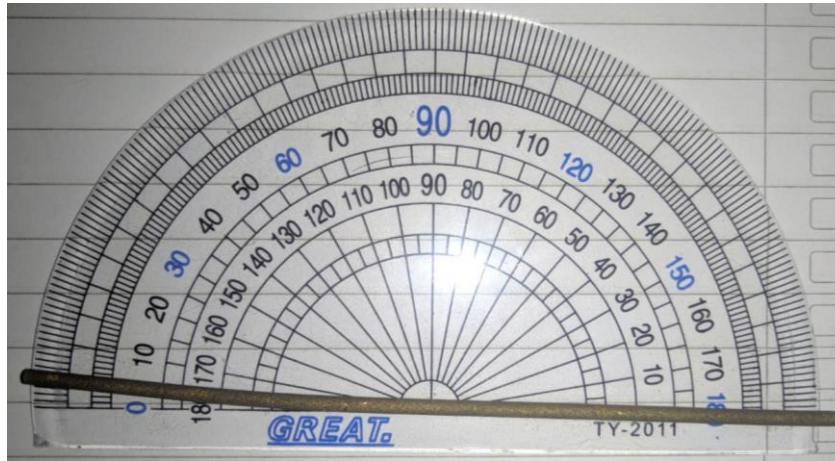
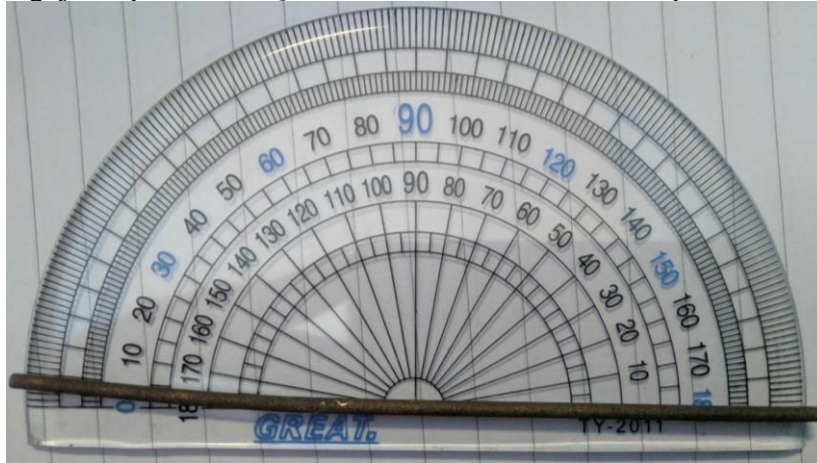
24. Hasil Pengujian Spesimen SQWB 850 sebelum dan sesudah pemanasan



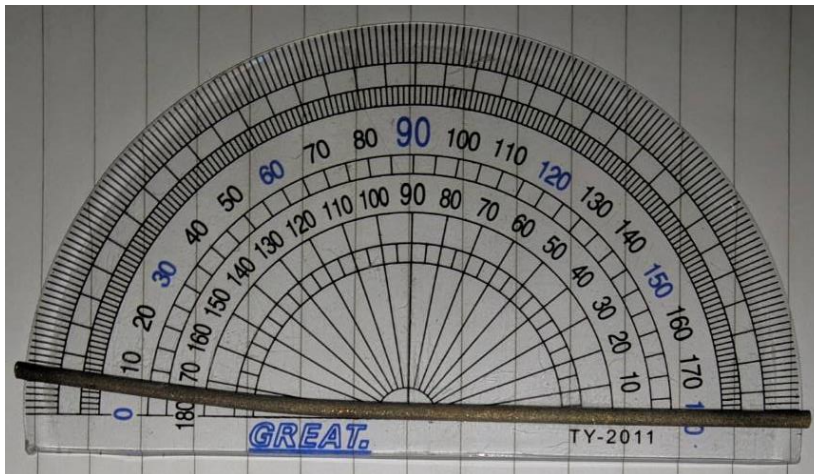
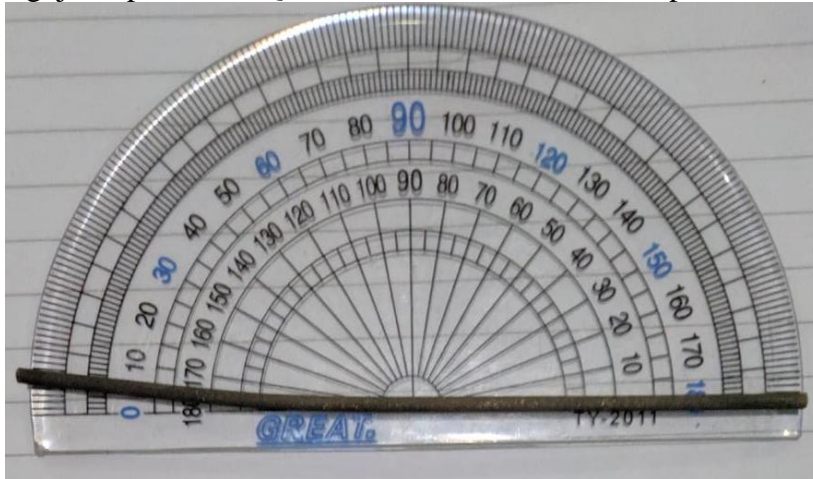
25. Hasil pengujian spesimen SQOB 750 sebelum dan sesudah pemanasan



26. Hasil pengujian spesimen SQOB 800 sebelum dan sesudah pemanasan



27. Hasil pengujian spesimen SQOB 850 sebelum dan sesudah pemanasan



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

Massa Atom Cu = 63,546

Massa Atom Zn = 65,38

Massa Atom Al = 26,981

Cu dalam wt% = 77,31

Zn dalam wt% = 15,8

Al dalam wt% = 6,89

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

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

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

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

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

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

29. Perhitungan persamaan 4.1

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

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

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

30. Perhitungan persamaan 4.2

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

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

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

31. Perhitungan Komposisi (wt.%) untuk Mendapatkan Temperatur *Martensite Start* (M_s) = 30°C

- Persamaan komposisi Zn (at.%) untuk mendapatkan temperatur $M_s = 30^{\circ}\text{C}$

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

$$30 = 2212 - 66.9(\text{at.}\% \text{ Zn}) - 90.65(\text{at.}\% \text{ Al})$$

$$-2182 = -66,9(\text{at.}\% \text{ Zn}) - 90.65(\text{at.}\% \text{ Al})$$

$$32,62 = (\text{at.}\% \text{ Zn}) + 1,36(\text{at.}\% \text{ Al})$$

$$\text{at.}\% \text{ Zn} = 32,62 - 1,36(\text{at.}\% \text{ Al})$$

- Perhitungan komposisi Zn (at.%) untuk mendapatkan temperatur $M_s = 30^{\circ}\text{C}$ apabila diasumsikan $\text{at.}\% \text{ Al} = \{x | x \in P, x \leq 100\}$

Cu (at.%)	Zn (at.%)	Al (at.%)
67,380	32,620	0,000
67,740	31,260	1,000
68,100	29,900	2,000
68,460	28,540	3,000
68,820	27,180	4,000
69,180	25,820	5,000
69,540	24,460	6,000
69,900	23,100	7,000
70,260	21,740	8,000
70,620	20,380	9,000
70,980	19,020	10,000
71,340	17,660	11,000
71,700	16,300	12,000
72,060	14,940	13,000
72,420	13,580	14,000
72,780	12,220	15,000

LAPORAN TUGAS AKHIR
TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI



73,140	10,860	16,000
73,500	9,500	17,000
73,860	8,140	18,000
74,220	6,780	19,000
74,580	5,420	20,000
74,940	4,060	21,000
75,300	2,700	22,000
75,660	1,340	23,000

- Persamaan konversi at.% Zn ke wt.% Zn

Berat atom Cu = 63,546

Berat atom Zn = 65,38

Berat atom Al = 26,981

$$\text{wt. \% Zn} = \frac{(\text{at. \% Zn} \times \text{Berat atom Zn})}{(\text{at. \% Cu} \times \text{Berat atom Cu}) + (\text{at. \% Zn} \times \text{Berat atom Zn}) + (\text{at. \% Al} \times \text{Berat atom Al})} \times 100$$

$$\text{wt. \% Zn} = \frac{(\text{at\% Zn} \times 65,38)}{(\text{at\% Cu} \times 63,546) + (\text{at\% Zn} \times 65,38) + (\text{at\% Al} \times 26,981)} \times 100$$

- Persamaan konversi at.% Al ke wt.% Al

Berat atom Cu = 63,546

Berat atom Zn = 65,38

Berat atom Al = 26,981

$$\text{at. \% Al} = \frac{(\text{wt. \% Al} \times \text{Berat atom Al})}{(\text{wt. \% Cu} \times \text{Berat atom Cu}) + (\text{wt. \% Zn} \times \text{Berat atom Zn}) + (\text{wt. \% Al} \times \text{Berat atom Al})} \times 100$$

$$\text{at. \% Al} = \frac{(\text{wt\% Al} \times 26,981)}{(\text{wt\% Cu} \times 63,546) + (\text{wt\% Zn} \times 65,38) + (\text{wt\% Al} \times 26,981)} \times 100$$

- Perhitungan konversi at.% ke wt.%

Cu (wt.%)	Zn (wt.%)	Al (wt.%)
66,752	33,248	0,000
67,519	32,057	0,423
68,297	30,852	0,852
69,084	29,631	1,285
69,880	28,395	1,725
70,687	27,144	2,169
71,504	25,877	2,619
72,331	24,593	3,076
73,169	23,294	3,537
74,018	21,977	4,005
74,877	20,643	4,479
75,748	19,292	4,959
76,631	17,924	5,445
77,525	16,537	5,938

78,431	15,132	6,438
79,349	13,707	6,944
80,279	12,264	7,457
81,222	10,801	7,976
82,178	9,318	8,503
83,148	7,815	9,038
84,130	6,291	9,579
85,127	4,745	10,128
86,137	3,178	10,685
87,162	1,588	11,250

- *Range* komposisi sesuai *ASM Handbook Volume 2* untuk mendapatkan *shape memory alloy* dengan temperatur $M_s = 30^\circ\text{C}$

Cu (wt.%)	Zn (wt.%)	Al (wt.%)
76,631	17,924	5,445
77,525	16,537	5,938
78,431	15,132	6,438
79,349	13,707	6,944

(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 telah memberikan berkah, rahmat, dan pertolongan kepada penulis sehingga laporan penelitian Tugas Akhir ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya.
2. Alm. Bapak, Bunda, Abang, dan Raihan yang sudah memberikan dukungan baik materi dan doa sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Ir. Rochman Rochiem, M.Sc. selaku dosen pembimbing pertama atas kesabaran dan ilmu yang telah diberikan kepada penulis selama pengerjaan Tugas Akhir.
4. Bapak Mavindra Ramadhani, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing kedua atas kesabaran dan ilmu yang telah diberikan kepada penulis selama pengerjaan Tugas Akhir.
5. Ibu Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si. selaku dosen wali atas bimbingan selama masa perkuliahan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS – ITS.
6. Bidikmisi yang telah memberikan beasiswa kepada penulis selama berkuliah di ITS sehingga penulis dapat menyelesaikan perkuliahan tanpa adanya masalah ekonomi.
7. Seluruh dosen Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS – ITS atas ilmu yang telah diberikan kepada penulis sebagai bekal masa depan penulis.
8. Pak Asman, Pak Anto, Pak Eko, Pak Chanan dan seluruh Tenaga Pendidik Laboratorium Metalurgi dan Manufaktur Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS yang telah membantu penulis selama proses pengerjaan Tugas Akhir.
9. Muhammad Farhan Ryamizard Zain selaku *partner* Tugas Akhir penulis yang sudah berjuang bersama dari awal sampai akhir Tugas Akhir ini. Terima kasih sudah mengingatkan dan saling membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
10. Pasukan Fundichinco (Zain, Nafis, Rama, Denby, Ferdy, Ezra, dan Riza) yang telah berjuang bersama penulis selama pengerjaan Tugas Akhir.
11. Pasukan Koncor (Fernanda, Sabam, Farhan, Didik, dan Gading) yang telah menurunkan ilmu selama pengerjaan Tugas Akhir.
12. Fantastic Four (Gilang, Zain, Nafis) yang telah menemani dan memberikan *support* kepada penulis dalam kehidupan perantauan.
13. Pink Dragon (Gilang, Nafis, Zuki, Salam, Byan, Azhim, Ara, Arjun, Adel, Bagus, Farid, Madan, Riza, dan Rama) sebagai teman bercerita dalam kehidupan perkuliahan penulis.
14. Ngebut (Narada, Ariiq, Yudha, Hanggoro, Safano, Ari, Fahmi, Adit, Firza, Azhim, Arjun) sebagai teman bercerita dan menyalurkan hobi bersama dalam kehidupan perkuliahan penulis.
15. Rifqi Nafis selaku sahabat penulis yang telah menempuh pendidikan bersama sejak Sekolah Dasar hingga saat ini.
16. Anggota HMMT FTIRS – ITS yang telah memberikan pengalaman dan kenangan, terkhusus angkatan MT20 yang telah menjadi keluarga dari awal masa perkuliahan penulis hingga saat ini.
17. BIMITS 19/20 yang telah menjadi tempat berkembang dan mengabdikan bagi penulis selama masa perkuliahan, khususnya Departemen Kesejahteraan Mahasiswa BIMITS.
18. BIMITS 20/21 yang telah menjadi tempat berkembang dan mengabdikan bagi penulis selama masa perkuliahan, khususnya Departemen BSO-K BIMITS.
19. LKKI Ashabul Kahfi 19/20 yang telah menjadi tempat berkembang dan berdakwah bagi penulis selama masa perkuliahan, khususnya Departemen Ukhuwah.

20. Semua pihak yang telah berkontribusi dalam proses pengerjaan Tugas Akhir yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu

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

Surabaya 08 Juli 2022
Penulis

Marzuki Akbar.

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Jakarta, 17 Februari 2000 sebagai anak kedua dari tiga bersaudara dengan orang tua yang bernama Alm. Ali Rahmat Simanungkalit dan Novi Riyanti. Penulis menempuh Pendidikan formal dimulai dari SD Negeri Padurenan VI pada tahun 2006 – 2012. Dilanjutkan di SMP Negeri 26 Bekasi pada tahun 2012 – 2015. Kemudian dilanjutkan di SMA Negeri 2 Bekasi pada tahun 2015 – 2018. Setelah lulus dari Sekolah Menengah Atas, penulis melanjutkan Pendidikan Sarjana di Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Selama berkuliah di Departemen Teknik Material, penulis pernah mengikuti kegiatan pelatihan PKTI, LKMM Pra TD, LKMW TD, LKMM TD. Penulis juga aktif dalam kegiatan berorganisasi di Departemen BSO-Kreasi BIMITS sebagai staff ahli pada kepengurusan 20/21. Penulis juga aktif dalam organisasi dakwah jurusan, yaitu sebagai Kepala Departemen Ukhuwah LKKI Ashabul Kahfi 2021. Dalam bidang akademik penulis tercatat sebagai Grader Proses Manufaktur Laboratorium Metalugi dan Manufaktur Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS – ITS pada tahun 2021/2022. Untuk menyelesaikan Pendidikan Sarjana, penulis melakukan penelitian dalam bidang studi Metalurgi Manufaktur (Pengecoran dan Perlakuan Panas) dengan tugas akhir berjudul “Pengaruh Variasi Temperatur dan Media Pendingin *Step Quench* Pada Proses *Solution Treatment* Paduan Cu-15,9Zn-6,89Al Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan”. Penulis dapat dihubungi melalui alamat email: marzukiakbar17@gmail.com , No.HP: 08885616588.