

**PENGARUH HOLDING TIME *ARTIFICIAL AGING*  
TERHADAP SIFAT KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO  
AI-2024**

**(Skripsi)**

**Oleh:**

**Dedy Rizaldy**



**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2022**

**ABSTRAK*****THE EFFECT OF HOLDING TIME ARTIFICIAL AGING ON HARDNESS  
AND MICROSTRUCTURE OF Al-2024***

By:

Dedy Rizaldy

*This study aims to determine the effect of holding time artificial aging on the hardness and microstructure of Al-2024. This study used a specimen in the form of Aluminum 2024 series which was heat treated at a temperature of 500°C for 60 minutes, then quenched with a cooling medium in the form of water. Subsequently, it was reheated with variations in holding time, namely 3 hours, 5 hours and 7 hours with a temperature of 190°C. Then the specimen is slowly cooled to room temperature. The results of the chemical composition test using Spectromax showed the percentage of Al was 90.6% and Cu was 5.90%. The results of the hardness test using the Rockwell Hardness Tester obtained a hardness value without heat treatment which has a hardness value of 71.4 (HRB), a hardness value after quenching of 66.9 (HRB). The highest hardness value is found in heating with a holding time variation of 5 hours with a temperature of 190°C, the hardness value is 84.6 (HRB) where the hardness value at a holding time of 5 hours has increased by 8.48% from the hardness value of the material without heat treatment. Microstructure testing showed that the Al-Cu material after the artificial aging process at a holding time of 5 hours had a precipitate phase ( $\theta$ ) with a higher amount and the Al-Cu grain boundaries tended to be more dense and regular. This means that the material that has been treated with artificial aging has precipitated deposits or the formation of a second phase which causes the material to be harder and have better mechanical properties.*

*Keywords: aluminum 2024, artificial aging, hardness value and microstructure.*

## ABSTRAK

### PENGARUH *HOLDING TIME ARTIFICIAL AGING* TERHADAP SIFAT KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO Al-2024

Oleh:

Dedy Rizaldy

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *holding time artificial aging* terhadap sifat kekerasan dan struktur mikro Al-2024. Penelitian ini menggunakan spesimen berupa Aluminium seri 2024 yang diberi perlakuan panas dengan suhu 500°C selama 60 menit, kemudian di *quenching* dengan media pendingin berupa air. Selanjutnya diberi perlakuan panas kembali dengan variasi *holding time* yakni 3 jam, 5 jam dan 7 jam dengan temperatur 190°C. Kemudian spesimen didinginkan secara lambat dengan suhu ruangan. Hasil uji komposisi kimia menggunakan *Spectromax* menunjukkan persentase Al sebesar 90,6% dan Cu sebesar 5,90%. Hasil uji kekerasan menggunakan *Rockwell Hardness Tester* didapatkan nilai kekerasan tanpa perlakuan panas yang memiliki nilai kekerasan sebesar 71,4 (HRB), nilai kekerasan setelah di *quenching* sebesar 66,9 (HRB). Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada pemanasan dengan variasi *holding time* 5 jam dengan temperatur 190°C didapatkan nilai kekerasan sebesar 84,6 (HRB) dimana nilai kekerasan pada *holding time* 5 jam mengalami peningkatan sebesar 8,48% dari nilai kekerasan bahan tanpa perlakuan panas. Pengujian struktur mikro didapatkan hasil material Al-Cu setelah proses *artificial aging* pada *holding time* 5 jam memiliki fase presipitat ( $\theta$ ) dengan jumlah yang lebih banyak dan batas butir Al-Cu cenderung lebih rapat dan teratur. Hal ini berarti bahwa pada bahan yang mendapat perlakuan *artificial aging* terdapat endapan presipitat atau terbentuknya fasa kedua yang menjadi penyebab bahan tersebut lebih keras dan lebih baik sifat mekanisnya

Kata Kunci: aluminium 2024, *artificial aging*, nilai kekerasan dan struktur mikro

**PENGARUH HOLDING TIME *ARTIFICIAL AGING*  
TERHADAP SIFAT KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO  
AI-2024**

**Oleh:**

**Dedy Rizaldy**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar  
SARJANA TEKNIK**

**Pada**

**Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG**

**2022**

Judul skripsi : **PENGARUH HOLDING TIME ARTIFICIAL  
AGING TERHADAP SIFAT KEKERASAN  
DAN STRUKTUR MIKRO AI-2024**

Nama Mahasiswa : **Dedy Rizaldy**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1615021038

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

**MENYETUJUI**

Komisi Pembimbing 1



Zulhanif, S.T., M.T.  
NIP 19730402 200003 1 002

Komisi Pembimbing 2



Harnowo Supriadi, S.T., M.T.  
NIP 19690909 199703 1 002

Ketua Jurusan  
Teknik Mesin



Dr. Amrul, S.T., M.T.  
NIP 19710331 199903 1 003

Ketua Program Studi  
S1 Teknik Mesin



Novri Tanti, S.T., M.T.  
NIP 19701104 199703 2 001

**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

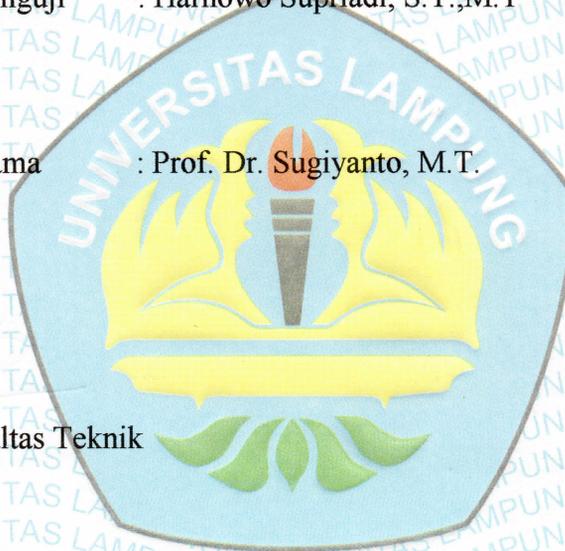
Ketua Penguji : Zulhanif, S.T., M.T.



Anggota Penguji : Harnowo Supriadi, S.T., M.T.



Penguji Utama : Prof. Dr. Sugiyanto, M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. In. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.

NIP 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 29 Juni 2022

**PERNYATAAN PENULIS**

SKRIPSI INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN HASIL  
PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 36 PERATURAN  
AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN SURAT KEPUTUSAN  
REKTOR NO. 13 TAHUN 2019.

**YANG MEMBUAT PERNYATAAN**



**DEDY RIZALDY**

**NPM. 1615021038**

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Pekanbaru, 10 Januari 1997 sebagai anak kedua dari empat bersaudara, dari pasangan Iswandi dan Ratna Dewi. Penulis tinggal di jalan Ratu dibalau Gg Hi. Abdul Karim 1 No.7 Tanjung Senang Bandar Lampung. Penulis mengawali pendidikan formal awal di TK Aisyiyah Bustanul Athfal Kedaton Bandar Lampung pada tahun 2001-2003, pendidikan dasar di Sekolah Dasar Al Azhar 1 Way -

Halim Bandar Lampung 2003 - 2009, pendidikan menengah pertama di Sekolah Menengah Pertama Negeri 21 Bandar Lampung pada tahun 2009 - 2012, pendidikan menengah kejuruan di Sekolah Menengah Atas Muhammadiyah 2 Bandar Lampung pada tahun 2012 – 2015.

Pada tahun 2016 penulis melanjutkan pendidikannya ke jenjang strata satu (S1) melalui Jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif di organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai anggota bidang Minat Bakat 2017 – 2018. Pada tahun 2019 penulis melaksanakan Praktik Umum pada bulan Juli – Agustus di galangan kapal PT. Daya Radar Utama Unit Lampung dengan judul “Proses Pembuatan *Flange* Pipa Pada Kapal Tangker Pengalengan 17500 Dwt *Crude Oil Tank*” PT. Daya Radar Utama Unit Lampung”. Pada tahun 2020 bulan Januari – Februari penulis mengikuti kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Budi Aji, Kecamatan Simpang Pematang, Kabupaten Mesuji, Provinsi Lampung. Pada tahun 2021 penulis melakukan penelitian pada bulan November - Desember di Laboratorium Material Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung dengan judul “Pengaruh Holding Time *Artificial Aging* Terhadap Sifat Kekerasan Dan Struktur Mikro Al-2024” dibawah bimbingan Bapak Zulhanif, S.T.,M.T. dan Bapak Harnowo Supriadi, S.T.,M.T dan sebagai pembahas Bapak Prof. Dr. Sugiyanto, M.T.

## MOTTO

“Sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan.”

(QS. Al-Insyirah: 6)

“Barang siapa memberi kemudahan kepada orang yang kesulitan maka Allah memberi kemudahan padanya di dunia dan akhirat. Barang siapa merintis jalan mencari ilmu maka Allah akan memudahkan baginya jalan ke surga.”

(HR. Muslim)

“Dan janganlah kamu berputus asa dari rahmat ALLAH. Sesungguhnya tiada berputus dari rahmat ALLAH melainkan orang-orang yang kafur”

(QS. Yusuf : 87)

“Teruslah belajar mengamati dan mencoba dan jangan takut untuk berbuat salah karena tidak ada kata terlambat untuk menjadi sukses”

(Anonim)



Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang

### **PERSEMBAHAN**

Alhamdulillah hirobbil ‘alamin, dengan mengucapkan rasa syukur kepada Allah SWT atas segala limpahan rahmad, rezeki dan karunia yang Engkau berikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Teriring doa, rasa syukur dan segala kerendahan hati. Dengan segala cinta dan kasih sayang ku persembahkan karya ini untuk orang-orang yang sangat berharga dalam hidupku:

#### **Ayahku (Iswandi) dan Ibuku (Ratna Dewi)**

Kedua orangtuaku terima kasih atas segala ilmu yang telah kalian berikan dan atas segala dukungan untuk menguatkan ku yang senantiasa mencintaiku dan menyayangiku dengan penuh kasih sayang dengan penuh kesabaran dalam mendidik, merawatku sedari kecil, mendoakanku agar aku menjadi orang yang sukses, mengorbankan segalanya untuk kebahagiaanku dan cita-citaku, menasehatiku agar aku menjadi pribadi yang lebih baik lagi dan tidak pernah menyerah.

#### **Kakak Perempuan (Dina Eka Nurvazly), Adik Perempuan dan Adik Laki - Lakiku (Annisa Yulianty dan Muhammad Iqbal Widiyansyah)**

yang selalu memberikan semangat, kasih sayang dan menghiburku ketika aku sedang merasa sedih.

#### **Para Pendidik**

Para dosen dan guru-guruku, yang telah memberikan ilmu, nasihat, bimbingan, kesabaran, waktu, dan arahan yang telah diberikan.

#### **Almamater tercinta, Universitas Lampung**

## SANWANCANA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar Sarjana Teknik Pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung. Skripsi ini berjudul “Pengaruh Holding Time Artificial Aging Terhadap Sifat Kekerasan dan Struktur Mikro Al-2024”.

Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari peranan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Prof. Dr. Karomani, M.Si. selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Dr. Eng. Ir.Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Dr. Amrul, S.T., M.T. sebagai ketua jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
4. Novri Tanti, S.T., M.T. selaku Ketua Prodi Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah memberikan banyak dukungan, selama penulis menempuh pendidikan.
5. Bapak Zulhanif, S.T., M.T. sebagai dosen pembimbing satu yang selalu memberikan pengarahan dan bimbingan dalam menyelesaikan skripsi.
6. Bapak Harnowo Supriadi, S.T., M.T. sebagai dosen pembimbing dua yang memberikan saran-saran perbaikan, nasihat serta motivasi hingga skripsi ini dapat terselesaikan.
7. Prof. Sugiyanto, M.T. sebagai dosen pembahas yang telah memberikan nasihat, motivasi, dan kritik serta masukan positif dalam penyelesaian skripsi ini.
8. Seluruh dosen dan Staff Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik yang telah mendidik, memberikan ilmu dan nasihat selama penulis menempuh pendidikan.

9. Ibu dan Bapak saya yang selalu memberikan doa, semangat dan dukungan kepada saya selama proses perkuliahan hingga penyelesaian skripsi.
10. Teman sma saya ade ichwani dan hafidz yang selalu bercerita dan memberikan semangat.
11. Teman-teman seperjuangan kuliah saya Risqal hakim, alwi husaini, hilman dan hamzah, dasuri, Fachrian, yoki, wisnu dan randa yang selalu memberi masukan hingga terselesaikan skripsi saya ini.
12. Squad mahasiswa perkumpulan Gg Dara.
13. Mpuh material dan partner material Okta, Nang, Risqal, Niko yang memberikan dukungan dan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini
14. Seluruh teman-teman Teknik Mesin Angkatan 2016 yang telah mendukung penulis untuk melaksanakan skripsi sampai selesai.

Bandar Lampung, 29 Juni 2022

Dedy Rizaldy  
1615021038

## DAFTAR ISI

Halaman

<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvii

### BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang .....	1
B. Tujuan Penelitian .....	4
C. Batasan Masalah .....	4
D. Sistematika Penulisan .....	4

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. <i>Heat Treatment</i> .....	6
B. <i>Precipitation hardening</i> .....	10
C. Aluminium .....	17
D. Paduan Aluminium .....	19
E. Paduan Aluminium – Tembaga (Al – Cu) .....	24
F. Pengujian Kekerasan <i>Rockwell</i> .....	25
G. Metalografi .....	28

### BAB III METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian .....	29
B. Alat dan Bahan .....	30
C. Prosedur Penelitian .....	33

D. Diagram Alir.....	37
----------------------	----

#### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

A. Hasil dan Pembahasan Uji Komposisi Al-Cu 2024.....	38
B. Hasil dan Pembahasan Data Uji Kekerasan <i>Rockwell</i> .....	41
C. Data dan Pembahasan Uji Struktur Mikro.....	47

#### **BAB V SIMPULAN DAN SARAN**

A. Simpulan.....	52
B. Saran.....	53

<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	54
-----------------------------	----

#### **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

No. Gambar	Halaman
1 . Proses Presipitat <i>Hardening (Aging)</i> .....	10
2 . Diagram fase pemanasan logam paduan .....	11
3 . Kurva kekerasan paduan Al-Cu terhadap waktu <i>aging</i> pada temperatur <i>aging</i> 130 °C .....	13
4 . Diagram perubahan fasa pada proses <i>artificial aging</i> .....	13
5 . (a) <i>supersaturated solute solution</i> , (b) fasa $\theta$ " mulai terbentuk <i>precipitate</i> , (c) fasa keseimbangan $\theta$ .....	14
6. Hubungan Antara Lamanya Waktu ( <i>aging</i> ) Dengan Kekuatan dan Kekerasan Paduan Aluminium.....	16
7. Diagram Fasa Al-Cu .....	25
8. prinsip kerja metode pengukuran kekerasan <i>rockwell</i> .....	27
9. Tungku <i>Furnace</i> .....	30
10. Alat Uji Kekerasan <i>Rockwell</i> .....	31
11. Gerinda Pemotong.....	32
12. Amplas.....	32
13. Aluminium 2024.....	33
14. Potongan Bahan Pengujian Komposisi Al-Cu 2024.....	38
15. Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan Tanpa Perlakuan dan Proses <i>Quenching</i> . .....	42
16. Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan Bahan Tanpa Perlakuan, Setelah <i>Quenching</i> dan Setelah <i>Artificial Aging</i> .....	45
17. Struktur Mikro Al-Cu Sebelum Proses Perlakuan Panas (Raw Material) .....	47
18. Struktur Mikro Al-Cu Setelah Proses <i>Quenching</i> .....	48
19. Struktur Mikro Al-Cu Setelah Proses <i>Artificial Aging</i> Pada <i>holding time</i> 3 jam	

.....	49
20. Struktur Mikro Al-Cu Setelah Proses <i>Artificial Aging</i> Pada <i>holding time</i> 5 jam	
.....	50
21. Struktur Mikro Al-Cu Setelah Proses <i>Artificial Aging</i> Pada <i>holding time</i> 7 jam	
.....	50

## DAFTAR TABEL

No. Tabel	Halaman
1. Karakteristik dan Sifat Aluminium.....	19
2. Aluminium dan Paduannya Serta Kode Penamaan.....	20
3. Skala Kekerasan Metode Pengujian <i>Rockwell</i> .....	27
4. Spesifikasi Mesin Furnace.....	30
5. Spesifikasi Alat Uji Kekerasan.....	31
6. Data Hasil Pengujian Komposisi Al-Cu 2024.....	39
7. Data Komposisi Bahan Kimia Aluminium .....	40
8. Perbandingan Nilai Kekerasan <i>Rockwell</i> Antara Tanpa Perlakuan Panas dan Proses <i>Quenching</i> .....	41
9. Perbandingan Nilai Kekerasan Bahan Tanpa Perlakuan, Setelah <i>Quenching</i> dan Setelah <i>Artificial Aging</i> Pada <i> Holding Time</i> 3 Jam.....	43
10. Perbandingan Nilai Kekerasan Bahan Tanpa Perlakuan, Setelah <i>Quenching</i> dan Setelah <i>Artificial Aging</i> Pada <i> Holding Time</i> 5 Jam.....	44
11. Perbandingan Nilai Kekerasan Bahan Tanpa Perlakuan, Setelah <i>Quenching</i> dan Setelah <i>Artificial Aging</i> Pada <i> Holding Time</i> 7 Jam .....	44

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Aluminium merupakan jenis logam terbanyak kedua yang digunakan setelah baja. Hal tersebut dikarenakan aluminium memiliki beberapa kelebihan, diantaranya adalah bobotnya yang ringan dan tahan terhadap korosi. Perlakuan panas yang digunakan pada aluminium bertujuan untuk menghasilkan bentuk butir yang lebih halus, serta membuat pembentukan endapan pada struktur aluminium. Untuk aplikasinya adalah aluminium murni terlalu lunak, sehingga keuletan dan kekerasannya perlu dinaikkan. Perlakuan panas pada aluminium murni dengan unsur paduan merupakan dua cara yang digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik seperti kekerasan dan keuletan pada aluminium. Sementara untuk aluminium murni kurang efektif jika dilakukan perlakuan panas, karena tidak mempunyai unsur pembentuk endapan. Kemudian cara yang efektif untuk menaikkan sifat mekanik aluminium murni adalah dengan cara menggabungkan dengan unsur lainnya (Meier, 2004).

Beberapa tahun akhir ini penelitian tentang paduan aluminium Al-2024 telah digunakan secara luas terutama pada bidang industri kedirgantaraan (lapisan

badan luar pesawat Hercules C-130), bagian-bagian rudal dan manufaktur baut serta mur pada industri otomotif lainnya. Hal ini terjadi karena paduan ini terdapat keunggulan pada kekuatan yang dihasilkan yaitu berat struktur yang lebih tinggi daripada baja, ketahanan lelah yang bagus, keuletan dan sifat mekanik yang tinggi. Selain sifat mekanik tersebut, sifat yang amat disukai pada paduan ini adalah sifat mampu dikuatkan dengan penuaan (*age-hardening*) (Rochman dkk, 2020).

Produk yang dihasilkan dengan bahan aluminium paduan merupakan salah satu paling banyak digunakan pada dunia industri manufaktur dan dalam kehidupan sehari-hari. Aluminium banyak digunakan karena memiliki sifat mekanik ringan dan kuat. Kemudian untuk meningkatnya penggunaan aluminium yaitu terdapat keunggulan dibandingkan bahan logam lain diantaranya ringan dan penghantar listrik yang baik. Namun, pada aluminium juga banyak kelemahan yaitu pada sifat mekaniknya yang kurang bagus. Agar meningkat sifat mekaniknya, aluminium dipadu dengan Cu, Si, Mg, Zn, Mn, Ni dan unsur lainnya.

Paduan aluminium tersebut membutuhkan beberapa tahap perlakuan untuk menaikkan kekuatan material sebelum digunakan. Salah satu cara yang paling efektif untuk ditempuh menaikkan kekuatan pada suatu paduan logam, yaitu melalui tahap perlakuan panas (*heat treatment*).

Akid Abdul Aziz (2019), melakukan penelitian tentang pengaruh *artificial aging* variasi *holding time* 60 menit, 90 menit dan 120 menit terhadap struktur mikro dan kekerasan pada aluminium (Al-Cu). Dalam penelitian ini didapatkan nilai kekerasan yang paling tinggi setelah dilakukan perlakuan *artificial aging* dengan nilai kekerasan 66,2 HRB pada *holding time* 90 menit dan mengalami penurunan nilai kekerasan setelah proses *quenching* dengan nilai 50,08 HRB.

Kemudian tugas akhir I M Astika (2019), melakukan penelitian yaitu peningkatan kekerasan pada material aluminium alloy Al-Cu seri 2024 yang telah melalui perlakuan *artificial aging* dengan suhu perlakuan panas yang digunakan 500°C dengan waktu tahan satu jam. Dalam penelitian ini didapatkan nilai kekerasan setelah dilakukan *holding time* terbaik pada 6 jam dengan nilai kekerasan 71,38 HVN.

Proses perlakuan panas dengan tahap *precipitation hardening* yang digunakan pada aluminium-Tembaga (Al-Cu) bertujuan agar menaikkan sifat mekanik seperti nilai kekerasan dan ketangguhan dari logam paduan aluminium secara bertahap. Oleh karena itu, diperlukannya tahap selanjutnya pada perlakuan logam paduan Aluminium seri 2024 yang melatar belakangi dilakukannya penelitian ini dengan mengambil tema pengaruh *holding time* pada perlakuan penuaan *artificial aging* yang divariasikan pada waktu tahan dengan melihat pengaruhnya terhadap perubahan sifat mekaniknya seperti

kekerasan material dan struktur mikro pada logam paduan Aluminium seri 2024.

## **B. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk melihat pengaruh *artificial aging* dengan variasi *holding time* terhadap nilai kekerasan material dan struktur mikro Al-Cu.

## **C. Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bahan penelitian ini menggunakan paduan Aluminium-Tembaga (Al-Cu).
2. Proses perlakuan panas yang dilakukan adalah *solution heat treatment* dengan suhu  $500^{\circ}\text{C}$  dan *artificial aging* dengan suhu dan  $190^{\circ}\text{C}$
3. Variasi *holding time* yang digunakan adalah 3 jam, 5 jam dan 7 jam
4. Media pendingin proses *solution heat treatment* adalah air
5. Pengujian yang dilakukan adalah struktur mikro dan uji *hardness* dengan metode rockwell

## **D. Sistematika Penulisan**

Tugas akhir ini disusun atas beberapa bab dengan garis besar sebagai berikut:

**BAB I : PENDAHULUAN**

Pada bab ini berisikan latar belakang, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

**BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini berisikan landasan teori diantaranya mengenai perlakuan panas *solution heat treatment* dan *artificial aging* pada aluminium dan paduan Aluminium-Tembaga (Al-Cu), pengujian kekerasan (*hardness*) dan struktur mikro

**BAB III : METODE PENELITIAN**

Pada bab ini berisikan urutan dan tata cara penelitian dimulai dari tempat penelitian, alat dan bahan penelitian, prosedur penelitian dan diagram alir penelitian.

**BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisikan penyajian data-data hasil dari penelitian.

**BAB V : SIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisikan kesimpulan dari hasil yang didapatkan pada penelitian dan saran untuk pengembangan penelitian yang lebih lanjut.

**DAFTAR PUSTAKA**

Pada bagian ini berisikan literatur yang digunakan dalam penelitian dan penyusunan laporan

**LAMPIRAN**

Pada bagian ini berisikan lampiran-lampiran dan data-data sebagai sumber yang diambil dari laporan ini.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. *Heat Treatment*

perlakuan panas atau (*Heat Treatment*) yaitu suatu perlakuan untuk mengubah sifat mekanik logam pada kekerasan dan struktur mikro melalui proses pemanasan dan pengaturan kecepatan pendinginan tanpa merubah komposisi kimia pada logam yang diberi perlakuan. Tujuan dilakukannya proses perlakuan panas untuk mendapatkan sifat-sifat mekanik logam yang diinginkan. Perubahan sifat mekanik pada logam yang diberi perlakuan terjadi karena proses perlakuan panas yang diberikan dari keseluruhan bagian logam atau sebagian dari logam tersebut. (Jaya, 2015)

Proses pada *heat treatment* meliputi *heating*, *colding*, dan *cooling*. Adapun tujuan dari masing-masing proses yaitu :

1. *Heating* : Proses perlakuan pemanasan dengan temperatur yang ditentukan dan dalam periode waktu. Tujuan dari proses *heating* untuk memberikan peluang agar terjadinya perubahan sifat mekanik pada struktur dari atom-atom dapat menyeluruh.

2.  *Holding* : Proses perlakuan panas dengan penahanan pemanasan pada temperatur yang digunakan, bertujuan untuk memberikan peluang agar terbentuknya struktur yang teratur dan seragam sebelum diberi perlakuan pendinginan.
3.  *Cooling* : Proses perlakuan pendinginan dengan kecepatan yang ditentukan, pada proses ini bertujuan untuk mendapatkan hasil struktur dan sifat fisik maupun sifat mekanis yang dibutuhkan pada proses selanjutnya. (Masgik, 2010).

Ketiga proses perlakuan diatas digunakan tergantung pada bahan material yang akan diberi perlakuan panas dan sifat-sifat akhir yang didapatkan. perlakuan panas yang tepat dapat menghilangkan tegangan dalam, menambah atau mengurangi ukuran butir, meningkatkan ketangguhan atau menciptakan suatu permukaan yang keras di sekitar inti yang ulet. Untuk memungkinkan perlakuan panas yang tepat perlunya untuk mengetahui susunan kimia logam karena terjadi perubahan komposisi kimia, terutama karbon (C) dapat menyebabkan perubahan sifat fisik pada material.

Terdapat beberapa jenis proses perlakuan panas atau *heat treatment* yang dapat dilakukan, adapun jenis-jenis *heat treatment* yang biasa dilakukan adalah sebagai berikut :

a. *Quenching*

Proses perlakuan *quenching* atau pendinginan melibatkan beberapa faktor yang saling berkaitan. Di satu sisi, jenis media pendingin dan kondisi perlakuan yang digunakan, di sisi lain yaitu komposisi kimia dan kemampuan mengeraskan dari logam tersebut. *Hardenability* atau kemampuan mengeraskan logam merupakan kegunaan dari komposisi kimia dan ukuran butir pada temperatur tertentu. Selain itu dimensi dari bahan logam juga mempengaruhi hasil proses *quenching*.

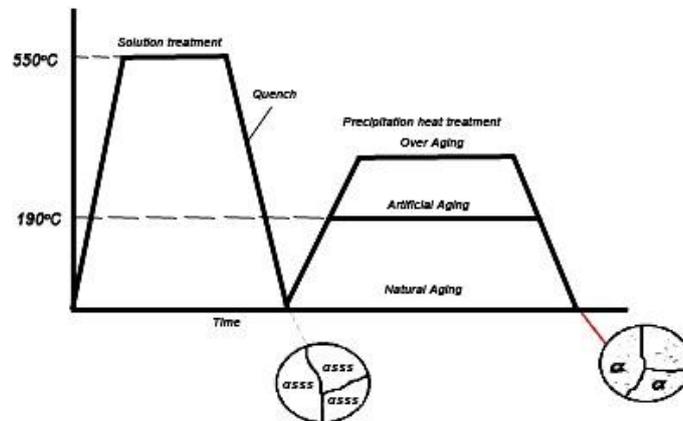
b. *Softening*

*Softening* merupakan proses *heat treatment* dimana suatu material logam uji dilakukan proses pemanasan atau proses pendinginan pada waktu tertentu yang mempunyai tujuan untuk mendapatkan sifat material yang lunak/proses pelunakan material sehingga mempermudah untuk proses permesinan selanjutnya. (Jaya, 2015)

**B. *Precipitation hardening*** (pengerasan presipitasi)

Penguatan dan pengerasan logam paduan bisa ditingkatkan dengan pembentukan penyebaran partikel-partikel dari fasa kedua ke dalam matrik fasa yang asli atau pertama. Hal ini dilakukan dengan perlakuan panas yang tepat. Prosesnya disebut *precipitation hardening* karena partikel-partikel kecil dari fasa yang baru membentuk *precipitasi* atau endapan. Terkadang disebut

pula dengan sebutan *age hardening* (pengerasan penuaan), karena proses penguatan terjadi karena proses waktu.



Gambar 1. Proses Presipitat Hardening (Aging)  
(Sumber: Totten,2003)

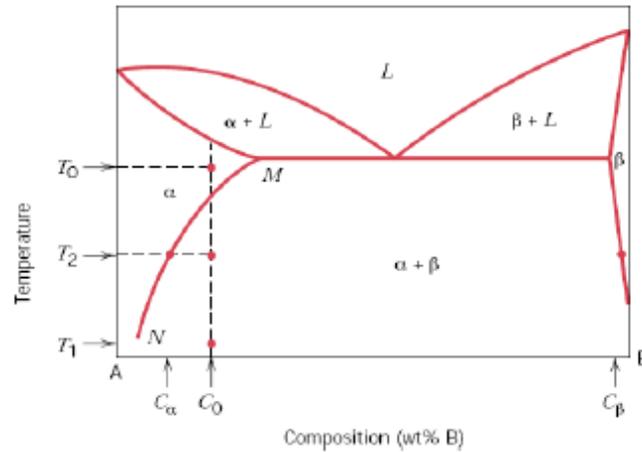
Contoh-contoh logam yang diperkeras dengan pengerasan *precipitasi* adalah, aluminium-tembaga, tembaga-beryllium, tembaga-timah dan magnesium, aluminium, dan lain sebagainya. *Precipitation hardening* dan perlakuan baja untuk membentuk martensit adalah fenomena yang sama sekali berbeda walaupun proses perlakuan panas hampir sama (Anonim, 2010).

Proses *precipitation hardening* terjadi atas dua tahap yaitu:

#### 1. *Solution Heat Treating*

Pada  $T_0$  struktur logam adalah  $\alpha$ , dengan komposisi  $C_0$  Kemudian dilakukan pendinginan cepat hingga temperatur  $T$ , yaitu temperatur ruang sehingga *phase 3* tidak bisa terbentuk. Karena itu kondisi logam adalah tidak setimbang atau non *equilibrium* dimana hanya ada *phase* jenuh dengan atom didalamnya. Sifat bahan adalah lunak dan lemah. Proses *solution heat treatment* dapat dijelaskan dalam gambar 3, pada temperatur

Tl tersebut pemanasan ditahan beberapa saat agar didapat larutan padat yang mendekati *homogeny*



Gambar 2. Diagram fase pemanasan logam paduan  
(Sumber: Fuad,2010)

## 2. *Precipitation Heat Treating*

Setelah *solution heat treatment* dan *quenching* tahap selanjutnya dalam proses *age hardening* adalah aging atau penuaan. Perubahan sifat-sifat dengan berjalanya waktu pada umumnya dinamakan aging atau penuaan.

Aging atau penuaan pada paduan aluminium dibedakan menjadi dua, yaitu penuaan alami (*natural aging*) dan penuaan buatan (*artificial aging*), adapun penjelasan dari keduanya adalah sebagai berikut ini.

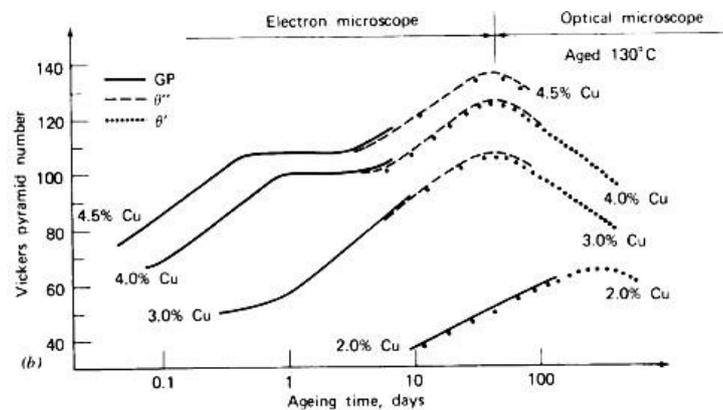
### a. *Natural Aging*

Penuaan alami (*natural aging*) adalah penuaan untuk paduan aluminium yang di *age hardening* dalam keadaan dingin. Natural aging berlangsung pada temperatur ruang antara  $15^\circ\text{C}$ - $25^\circ\text{C}$  dan dengan waktu penahanan 5 sampai 8 hari. Penuaan buatan (*artificial aging*) adalah penuaan untuk paduan aluminium yang di *age hardening* dalam

keadaan panas. *Artificial aging* berlangsung pada temperatur antara 100°C -200°C dan dengan lamanya waktu penahanan antara 1 sampai 24 jam (Fuad,2010).

### b. Artificial Aging

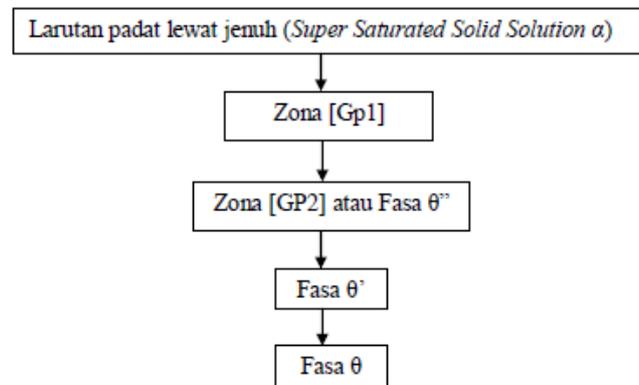
*Artificial aging* dalam proses *age hardening* dapat dilakukan beberapa variasi perlakuan yang dapat mempengaruhi hasil dari proses *age hardening*. Salah satu variasi tersebut adalah variasi temperatur *artificial aging*. Temperatur *artificial aging* dapat ditetapkan pada temperatur saat pengkristalan paduan aluminium (150°C), di bawah temperatur pengkristalan atau di atas temperatur pengkristalan logam paduan aluminium.



Gambar 3. Kurva kekerasan paduan Al-Cu terhadap waktu aging pada temperatur aging 130 °C (Sumber : Hill, 1973)

Penuaan buatan (*artificial aging*) berlangsung pada suhu antara 100°C - 200°C. Pengambilan temperatur *artificial aging* pada temperatur antara 100°C - 200°C akan berpengaruh pada tingkat kekerasan sebab pada proses *artificial aging* akan terjadi perubahan-perubahan fasa atau

struktur. Perubahan fasa tersebut akan memberikan sumbangan terhadap pengerasan. Berikut ini merupakan diagram urutan perubahan fasa yang terjadi pada proses *artificial aging*

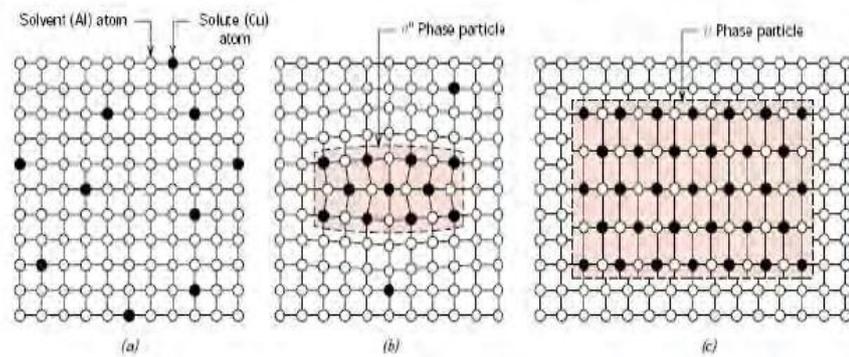


Gambar 4. Diagram perubahan fasa pada proses *artificial aging*.  
(Sumber : Smith, 1995)

Dari gambar diagram diatas dapat menjelaskan beberapa tahapan fasa yang terbentuk pada proses *artificial aging*, berikut ini penjelasan dari tahapan-tahapan tersebut.

1. Larutan Padat Lewat Jenuh (*Super Saturated Solid Solution α*)

Setelah paduan alumunium melawati tahap *solution heat treatment* dan *quenching* maka akan didapatkan larutan padat lewat jenuh pada temperature kamar. Pada kondisi ini secara simultan kekosongan atom dalam keseimbangan termal pada temperatur tinggi tetap pada tempatnya. Setelah pendinginan atau *quenching*, maka logam paduan alumunium menjadi lunak jika dibandingkan dengan kondisi awalnya.



Gambar 5. (a) *supersaturated solute solution*, (b) fasa  $\theta''$  mulai terbentuk *precipitate*, (c) fasa keseimbangan  $\theta$   
(Sumber: Abdillah, 2010)

## 2. Zona [GP 1]

Zona [GP 1] adalah zona presipitasi yang terbentuk oleh temperatur penuaan atau aging yang rendah dan dibentuk oleh segregasi atom Cu dalam larutan padat lewat jenuh atau *supersaturated solid solution  $\alpha$* . Zona [GP 1] akan muncul pada tahap mula atau awal dari proses *artificial aging*. Zona ini terbentuk ketika temperatur *artificial aging* dibawah 100C atau mulai temperatur ruang hingga temperatur 100°C dan Zona [GP 1] tidak akan terbentuk pada temperatur *artificial aging* yang terlalu tinggi. Terbentuknya Zona [GP 1] akan meningkatkan kekerasan logam paduan alumunium.

## 3. Zona [GP 2] atau Fasa $\theta''$

Setelah temperatur *artificial aging* melewati 100°C ke atas, maka akan mulai muncul fasa  $\theta''$  atau zona [GP 2]. Pada temperatur 130°C akan terbentuk zona [GP2] dan apabila waktu penahanan

*artificial agingnya* terpenuhi maka akan didapatkan tingkat kekerasan yang optimal. Biasanya proses *artificial aging* berhenti ketika sampai terbentuknya zona [GP 2] dan terbentuknya fasa antara yang halus (presipitasi  $\theta''$ ), karena setelah melewati zona [GP 2] maka paduan akan kembali menjadi lunak. Jika proses *artificial aging* berlangsung sampai terbentuknya fasa  $\theta$  atau zona [GP 2], maka disebut dengan pengerasan tahap kedua.

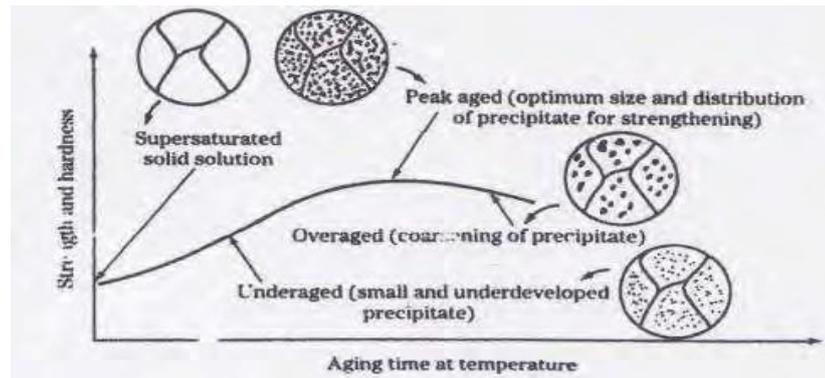
#### 4. Fasa $\theta'$

Kalau paduan aluminium dinaikkan temperatur aging atau waktu aging diperpanjang tetapi temperaturnya tetap, maka akan terbentuk presipitasi dengan struktur Kristal yang teratur yang berbeda dengan fasa  $\theta''$ . Fasa ini dinamakan fasa antara atau fasa  $\theta'$ . Terbentuknya fasa  $\theta'$  ini masih dapat memberikan sumbangan terhadap peningkatan kekerasan pada paduan aluminium. Peningkatan kekerasan yang terjadi pada fasa  $\theta'$  ini berjalan sangat lambat.

#### 5. Fasa $\theta$

Apabila temperatur dinaikkan atau waktu penuaan diperpanjang, maka fasa  $\theta'$  berubah menjadi fasa  $\theta$ . Jika fasa  $\theta$  terbentuk maka akan menyebabkan paduan aluminium kembali menjadi lunak. Sementara waktu penahanan dalam *artificial aging* merupakan salah satu komponen yang dapat mempengaruhi hasil dari proses

*age hardening* secara keseluruhan. Seperti halnya temperatur, waktu penahanan pada tahap *artificial aging* akan mempengaruhi perubahan struktur atau perubahan fasa paduan aluminium. Sehingga pemilihan waktu penahan *artificial aging* harus dilakukan dengan hati-hati.



Gambar 6. Hubungan Antara Lamanya Waktu (*aging*) Dengan Kekuatan dan Kekerasan Paduan Aluminium (Sumber : Smith 1995 )

### C. Aluminium

Aluminium merupakan unsur logam terbanyak di muka bumi, dimana hampir 8% berat dari kerak bumi adalah aluminium. Aluminium ditemukan oleh Sir Humphrey Davy pada tahun 1809 sebagai suatu unsur, dan pertama kali direduksi sebagai suatu logam oleh H.C. Oersted pada tahun 1955. Bijih bauksit adalah bahan utama untuk pembuatan aluminium yang terdapat di dalam batu-batu dalam kerak bumi. Di dalam bebatuan tersebut aluminium masih berbentuk silikat dan komponen lain yang lebih kompleks, karena komponen aluminium yang begitu kompleks tersebut maka diperlukan

penelitian lebih dari 60 tahun untuk menemukan cara yang ekonomis untuk membuat aluminium dari bijih bauksit (Surdia dkk 1995).

Adapun aluminium merupakan bahan yang sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari hal tersebut dikarenakan aluminium mempunyai sifat-sifat yang sangat baik dan mempunyai keunggulan dibandingkan dengan material lain. Berikut ini merupakan sifat-sifat umum aluminium.

- a. Ringan Memiliki bobot sekitar  $\frac{1}{3}$  dari bobot besi dan baja, atau tembaga dan banyak digunakan dalam industri transportasi seperti angkutan udara.
- b. Tahan terhadap korosi, sifatnya durabel sehingga baik dipakai untuk lingkungan yang dipengaruhi oleh unsur-unsur seperti air, udara, suhu dan unsur-unsur kimia lainnya, baik di ruang angkasa atau bahkan sampai ke dasar laut.
- c. Kuat, Aluminium memiliki sifat yang kuat terutama bila dipadu dengan logam lain. Digunakan untuk pembuatan komponen yang memerlukan kekuatan, tinggi seperti : pesawat terbang, kapal laut, bejana tekan, kendaraan dan lain-lain.
- d. Mudah dibentuk, proses pengerjaan aluminium mudah dibentuk karena dapat disambung dengan logam/material lainnya dengan pengelasan, brazing, solder, *adhesive bonding*, sambungan mekanis, atau dengan teknik penyambungan lainnya.
- e. Konduktor listrik, aluminium, dapat menghantarkan arus listrik dua kali lebih besar jika dibandingkan dengan tembaga. Karena aluminium tidak

mahal dan ringan, maka aluminium sangat baik untuk kabel-kabel listrik overhead maupun bawah tanah.

- f. Konduktor panas, sifat ini sangat baik untuk penggunaan pada mesin-mesin/alat-alat pemindah panas sehingga dapat memberikan penghematan energi.
- g. Memantulkan sinar dan panas, aluminium dapat dibuat sedemikian rupa sehingga memiliki kemampuan pantul yang tinggi yaitu sekitar 95% dibandingkan dengan kekuatan pantul sebuah cermin. Sifat pantul ini menjadikan aluminium sangat baik untuk peralatan penahan radiasi panas.
- h. Non magnetik, aluminium sangat baik untuk penggunaan pada peralatan elektronik, pemancar radio/TV dan lain-lain. Dimana diperlukan faktor magnetisasi negatif (Anonim, 2012).

Tabel 1. Karakteristik dan Sifat Aluminium (Hans Orsted tahun 1825, pertama kali diisolasi oleh Friedrich Wohler pada tahun 1827).

Sifat-sifat	Kemurnian (Al)
Simbol	Al
Nomor Atom	13
Berat Atom	26,981
Klasifikasi	Pasca transisi logam
Fase pada Suhu Kamar	Padat
Kepadatan/Massa Jenis	2,70 gram per cm
Titik Leleh	660,32°C, 1220,58°F
Titik Didih	2519°C, 4566°F

#### D. Paduan Aluminium

Logam paduan aluminium dapat diklasifikasikan dalam tiga cara. Pertama berdasarkan klasifikasi atas paduan aluminium cor dan tempa. Kedua dengan berdasarkan perlakuan panasnya diklasifikasikan atas paduan yang dapat diperlakukan panas (*heat treatable alloy*) dan yang tidak dapat diperlakukan-panaskan (*not heat treatable alloy*). Dan yang ketiga berdasarkan unsur-unsur yang dikandungnya diklasifikasikan atas beberapa nomor seri.

Rendy Saputra (2012) mengatakan bahwa paduan yang paling penting untuk paduan aluminium adalah tembaga (Cu), Mangan (Mn), Silikon (Si), Magnesium (Mg), dan Seng (Zn). Diagram fasa untuk masing-masing elemen paduan semuanya mempunyai kesamaan. Elemen tersebut menunjukkan kelarutan yang baik pada temperatur tinggi, tapi kelarutan yang rendah pada temperatur kamar.

Berikut ini adalah beberapa elemen paduan pada aluminium yang memberikan efek baik maupun buruk.

##### 1. Magnesium (Mg)

Menurut Budenski, K: Michael (1999) kandungan magnesium (Mg) meningkatkan kekuatan dengan penguatan larutan padat (*Solid Solution Strengthening*), dan dengan paduan sekitar 3% akan terjadi pengerasan presipitasi. Kandungan magnesium (Mg) memberikan sifat-sifat yang

baik terhadap ketahanan korosi, kemampuan dilas dan kekuatan cukup baik. Sedangkan pengaruh buruknya didapati pada saat pengecoran.

Tabel 2. Alumunium dan Paduannya Serta Kode Penamaan (Sumber : Aziz, 2019)

AL paduan untuk dimesin	Paduan jenis tidak dapat diperlakukan panas ( <i>non heat treatable</i> )	Al murni (seri 1000) Paduan Al-Mn (seri 3000) Paduan Al-Si (seri 4000) Paduan Al-Mg (Seri 5000)
	Paduan jenis dapat diperlakukan panas ( <i>heat treatable</i> )	Paduan Al-Cu (Seri 2000) Paduan Al-Mg-Si(Seri 6000) Paduan Al-Mg (seri 7000)
Al paduan untuk coran	<i>Non heat treatable alloy</i>	Paduan Al-Mg
	<i>heat treatable alloy</i>	Paduan Al-Cu Paduan Al-Mg-Si

## 2. Tembaga (Cu)

Menurut Elwin L. Rooy (1997) pengaruh baik yang ditimbulkan oleh unsur tembaga (Cu) dalam paduan alumunium adalah berupa peningkatan kekerasan bahan, perbaikan kekuatan tarik, dan mempermudah proses pengerjaan dengan mesin. Paduan yang mengandung 4-6% Cu memberikan reaksi yang baik terhadap perlakuan panas. Tembaga biasanya mengurangi ketahanan terhadap korosi secara umum serta mengurangi ketahanan terhadap hot tear dan mampu cor (*castability*). Sedangkan pengaruh buruknya adalah menyebabkan turunnya ketahanan korosi, mengurangi keuletan material.

### 3. Seng (Zn)

Menurut Budenski, K: Michael (1999) sifat mampu coranya rendah, paduan seng yang tinggi cenderung mudah untuk retak pada saat panas (*hot cracking*) dan penyusutan yang tinggi, dengan prosentase 10% cenderung memproduksi tegangan retak korosi (*stress corrosion cracking*), kombinasi seng dengan elemen lain menaikkan kekuatan dengan sangat tinggi, konsentrasi rendah pada paduan kembar (kurang dari 3%) menghasilkan efek yang tidak berguna.

### 4. Mangan (Mn)

Menurut Budenski, K: Michael (1999) pengaruh baik yang ditimbulkan unsur mangan (Mn) dalam paduan alumunium adalah meningkatkan kekakuan dengan penguatan larutan padat (*Solid Solution Strengthening*), dan dengan paduan sekitar 3% (0,5% dan ketahanan pada temperatur tinggi, meningkatkan ketahanan korosi, dan mengurangi pengaruh buruk unsur besi. Sedangkan pengaruh buruknya adalah menurunkan kemampuan penuaan dan meningkatkan kekasaran butiran pertikel.

### 5. Silikon (Si)

Menurut Budenski, K: Michael (1999) unsur silikon (Si) dalam alumunium paduan mempunyai pengaruh baik dan mempermudah proses pengecoran meningkatkan mampu alir, memperbaiki sifat-sifat atau karakteristik coran, menurunkan penyusutan dalam coran, meningkatkan ketahanan korosi. Sedangkan pengaruh buruk yang ditimbulkan dalam unsur silikon adalah

penurunan keuletan material terhadap bahan kejut dan coran akan rapuh jika kandungan terlalu tinggi.

Kelarutan seng pada  $442^{\circ}\text{C}$  bisa mencapai 88,8% penambahan unsur seng pada paduan Al-Si tidak akan memiliki pengaruh yang signifikan. Namun, bila dipadu bersama dengan tembaga (Cu) dan atau magnesium (Mg) dapat menghasilkan sifat kekerasan dan kekuatan karena menghasilkan paduan *head-treatment* dikarenakan terbentuk  $\text{MgZn}_2$  dan  $\text{CuAl}_2$ . Namun, dalam kadar yang berlebih, unsur Zn meningkatkan kegetasan, menurunkan ketangguhan dan menurunkan ketahanan korosi. Oleh karena itu, kandngan dibatasi kurang dari 1% sampai dengan maksimal hanya 0,1%.

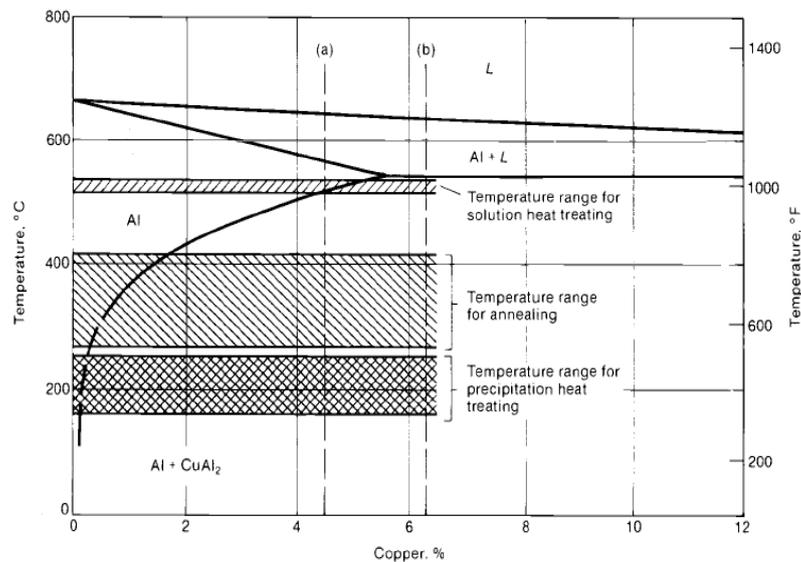
#### **E. Paduan Alumunium – Tembaga (Al – Cu)**

Menurut Avner, Sidney, H. (1974) kelarutan maksimum dari tembaga pada Alumunium adalah 5,65% pada suhu  $101,80^{\circ}\text{F}$ , sedangkan pada suhu  $572^{\circ}\text{F}$ . Kelarutannya turun menjadi 0,45%. Adapun paduan yang mengandung tembaga 2,5-5% dapat mengalami perlakuan panas dengan pengerasan penuaan. Fasa theta ialah fasa menengah paduan yang komposisinya mendekati senyawa  $\text{CuAl}_2$ . Perlakuan kelarutan denggan memanaskan paduan pada daerah fasa tunggal kappa yang diikuti dengan pendinginan secara cepat. Penuaan selanjutnya, baik alami maupun buatan akan mengakibatkan presipitasi pada fasa theta sehingga memperkuat paduan

tersebut. Paduan ini mungkin mengandung sejumlah kecil silikon, besi, mangan, magnesium, dan seng. Aluminium-Copper Alloys (Seri 2xxx) aluminium seri 2024 adalah aluminium paduan dari hasil tempa yang memiliki komposisi sebagai berikut :

- a. 4,4% Cu
- b. 1,5% Mg
- c. 0,6 Mn

Komposisi tersebut tentunya yang membuat aluminium ini memiliki perbedaan sifat mekanik dan karakteristik dibandingkan dengan material lain.



Gambar 7. Diagram Fasa Al-Cu  
(ASM Handbook Vol 4)

## F. Pengujian Kekerasan *Rockwell*

Kekerasan (*hardness*) adalah salah satu sifat mekanik (*Mechanical of properties*) dari suatu material. Kekerasan suatu material merupakan ketahanan material terhadap gaya penekanan atau deformasi dari material lain yang lebih keras. Yang menjadi prinsip dalam suatu uji kekerasan adalah terletak pada permukaan material tersebut diberi perlakuan penekanan sesuai dengan parameter (diameter, beban, dan waktu). Berdasarkan mekanisme penekanan yang dilakukan pada saat proses pengujian, metode pengujian kekerasan dalam menentukan kekerasan suatu material.

Di dunia teknik, umumnya pengujian kekerasan menggunakan 3 macam, salah satu metode pengujian kekerasan, yaitu pengujian kekerasan *rockwell*. Pengujian kekerasan dengan metode *rockwell* dilakukan dengan tujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap indentor berupa bola baja ataupun kerucut intan yang ditekankan pada permukaan material uji tersebut.

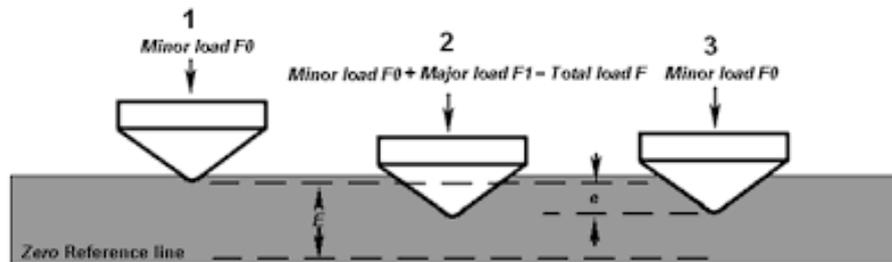
Pada pengujian kekerasan material metode *rockwell* dikenal beberapa skala untuk menggambarkan besaran kekerasan mulai dari skala A, B, C, D, E, dan lain-lain. Setiap skala memiliki kriteria masing-masing dalam penggunaannya, seperti contoh, pada skala B yang biasanya diaplikasikan pada material yang lunak seperti paduan-paduan tembaga, paduan aluminium, dan baja lunak, dengan menggunakan indentor bola baja

berdiameter 1/16” dan beban total 100 kgf. Sedangkan skala C diaplikasikan untuk material-material yang lebih keras, seperti besi tuang, dan banyak paduan paduan baja yang memakai kerucut intan sebagai indentornya dengan beban total hingga 150 kgf. Adapun standar dari pengujian kekerasan dengan metode rockwell ditunjukkan pada tabel dibawah ini :

Tabel 3. Skala Kekerasan Metode Pengujian Rockwell  
(sumber : ASTM E18-15)

Scale Symbol	Indenter	Total Test Force, kgf	Dial Figures	Typical Applications of Scales
B	1/16-in. (1.588-mm) ball	100	red	Copper alloys, soft steels, aluminum alloys, malleable iron, etc.
C	diamond	150	black	Steel, hard cast irons, pearlitic malleable iron, titanium, deep case hardened steel, and other materials harder than B100.
A	diamond	60	black	Cemented carbides, thin steel, and shallow case-hardened steel.
D	diamond	100	black	Thin steel and medium case hardened steel, and pearlitic malleable iron.
E	1/8-in. (3.175-mm) ball	100	red	Cast iron, aluminum and magnesium alloys, bearing metals.
F	1/16-in. (1.588-mm) ball	60	red	Annealed copper alloys, thin soft sheet metals.
G	1/16-in. (1.588-mm) ball	150	red	Malleable irons, copper-nickel-zinc and cupro-nickel alloys. Upper limit G92 to avoid possible flattening of ball.
H	1/8-in. (3.175-mm) ball	60	red	Aluminum, zinc, lead.
K	1/8-in. (3.175-mm) ball	150	red	Bearing metals and other very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that does not give anvil effect.
L	1/4-in. (6.350-mm) ball	60	red	
M	1/4-in. (6.350-mm) ball	100	red	
P	1/4-in. (6.350-mm) ball	150	red	
R	1/2-in. (12.70-mm) ball	60	red	
S	1/2-in. (12.70-mm) ball	100	red	
V	1/2-in. (12.70-mm) ball	150	red	

Pertama–tama benda uji ditekan oleh identor dengan beban (minor load F0) selanjutnya ditekan dengan beban mayor (major load F1) pada langkah yang kedua dan pada langkah ketiga beban mayor dilepas sehingga yang tersisa adalah minor load dimana pada kondisi ketiga ini indentor ditahan seperti kondisi pada saat total load F yang terlihat pada gambar 6. dibawah ini.



Gambar 8. prinsip kerja metode pengukuran kekerasan rockwell  
(sumber : Hadi 2011)

## G. Metalografi

Merupakan disiplin ilmu yang mempelajari karakteristik mikrostruktur dan makrostruktur suatu logam, paduan logam dan material lainnya serta hubungannya dengan sifat-sifat material, atau biasa juga dikatakan suatu proses untuk mengukur suatu material baik secara kualitatif maupun kuantitatif berdasarkan informasi-informasi yang didapatkan dari material yang diamati. Dalam ilmu metalurgi, struktur mikro merupakan hal yang sangat penting untuk dipelajari, karena struktur mikro sangat berpengaruh pada sifat fisik dan mekanik suatu logam. Struktur mikro yang berbeda sifat logam akan berbeda pula.

Struktur mikro yang kecil akan membuat kekerasan logam akan meningkat. Dan juga sebaliknya, struktur mikro yang besar akan membuat logam menjadi ulet atau kekerasannya menurun. Struktur mikro itu sendiri

dipengaruhi oleh komposisi kimia dari logam atau paduan logam tersebut serta proses yang dialaminya. Metalografi bertujuan untuk mendapatkan struktur makro dan mikro suatu logam sehingga dapat dianalisa sifat mekanik dari logam tersebut. Pengamatan metalografi dibagi menjadi dua, yaitu :

- a. Metalografi makro
- b. Metalografi mikro

Untuk mengamati struktur mikro yang terbentuk pada logam tersebut biasanya memakai mikroskop optik. Sebelum benda uji diamati pada mikroskop optik, benda uji tersebut harus melewati tahap-tahap preparasi. Tujuannya adalah agar pada saat diamati benda uji terlihat dengan jelas, karena sangatlah penting hasil gambar pada metalografi. Semakin sempurna preparasi benda uji, semakin jelas gambar struktur yang diperoleh. Adapun tahapan preparasinya adalah sebagai berikut :

- a. Pemotongan spesimen
- b. *Mounting*
- c. *Grinding*
- d. *Polishing*
- e. *Etching* (etsa).

Pengamatan struktur mikro diawali dengan memotong material uji yang akan kita amati. Selanjutnya material yang telah dipotong, kemudian diampelas hingga halus. Pengamplasan ini dilakukan berulang kali dari ampelas yang

kasar hingga halus. Arah pengamplasan harus berubah-ubah setiap step nya. Setelah halus, permukaan material dipoles menggunakan metal *polish* hingga mengkilap, tidak ada goresan dan seperti kaca. Kemudian dilakukan pengetsaan dengan cara mencelupkan material ke dalam larutan etsa dengan posisi permukaan yang akan di etsa menghadap keatas. Saat pencelupan akan terjadi reaksi pada permukaan benda uji oleh sebab itu larutan yang mengenai permukaan benda uji harus tersirkulasi, maka benda uji harus digerakkan. Kemudian benda uji harus dicuci hingga bersih lalu dikeringkan dan dilihat atau difoto menggunakan mikroskop. Pada pemeriksaan struktur mikro akan menghasilkan bentuk struktur, ukuran dan bagian struktur mikro yang berbeda (Zainuri, 2011)

### **III. METODE PENELITIAN**

#### **A. Waktu dan Tempat Penelitian**

Adapun waktu dan tempat dilaksanakannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

##### **a. Waktu Penelitian**

Penelitian ini telah dilaksanakan pada tanggal 15 november sampai dengan 20 Desember 2021

##### **b. Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di beberapa tempat yaitu:

1. Proses perlakuan panas dilakukan di Laboratorium Material Teknik, Universitas Lampung.
2. Pengujian Struktur Mikro dilakukan di Laboratorium Material Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang.
3. Pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Material Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang.

## B. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

### 1. Alat

Adapun alat yang digunakan untuk penelitian ini adalah:

#### a. Tungku *Furnace*

Tungku *furnace* yang digunakan adalah tungku *furnace* yang terdapat di Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Lampung yang digunakan untuk memberikan perlakuan panas pada Aluminium 2024.



Gambar 9. Tungku *Furnace*

Tabel 4. Spesifikasi Mesin *Furnace*

Model	L64/14
Tahun	2000
Frekuensi	50 Hz
Temperatur	Max 1400 <sup>0</sup> C
Daya	13,0 kW
Arus	16/16/28 A

b. Alat Uji Kekerasan

Alat uji kekerasan (*hardness tester*) yang digunakan adalah Alat uji kekerasan (*hardness tester*) yang terdapat di Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Diponegoro dengan standar ASTM E - 18. Alat ini digunakan untuk menguji tingkat kekerasan Aluminium-2024 sebelum dan sesudah mendapat perlakuan panas Adapun pengujian kekerasan dalam penelitian ini menggunakan metode *rockwell* dan menggunakan indentor bola baja 1/8".



Gambar 10. Alat Uji Kekerasan Rockwell

Tabel 5. Spesifikasi Alat Uji Kekerasan

Nama alat	<i>Hardness Tester 150A</i>
<i>Measuring range</i>	20-88HRA, 20-100HRB, 20-70HRC
<i>Test force</i>	60 -100 -150 <i>kgf</i>
	588.4, 980.7, 1471 N
<i>Max. height of test piece</i>	170 mm
<i>Depth of throat</i>	135 mm
<i>Min. scale value</i>	0.5 HR
<i>Dimensions</i>	466 x 238 x 630 mm
<i>Weight</i>	65 kg

c. Gerinda Pemotong

Gerinda pemotong digunakan untuk memotong spesimen yang akan diuji kekerasannya sesuai dengan ukuran yang telah ditetapkan yakni dengan ukuran panjang spesimen adalah 15 mm dan diameter sebesar 25 mm.



Gambar 11. Gerinda Pemotong

d. Amplas

Amplas berfungsi sebagai penghalus permukaan spesimen agar permukaan menjadi halus dan bersih. Tingkatan amplas yang digunakan adalah 360,400,600,800,1000,1500 dan 2000.



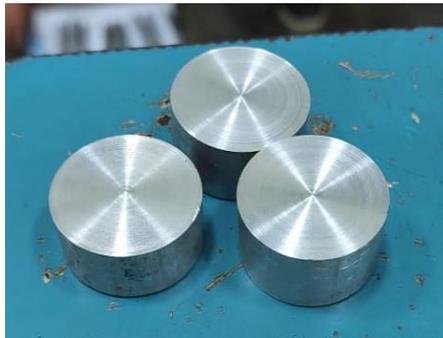
Gambar 12. Amplas

## 2. Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

### a. Aluminium Seri 2024 (Al-2024)

Al-2024 digunakan sebagai spesimen uji kekerasan dan juga uji komposisi kimia yang akan digunakan untuk proses *quenching* dan *artificial aging* yang dimasukkan ke dalam *furnace*.



Gambar 13. Aluminium 2024

### b. Air Sebagai Pendingin

Air dalam penelitian ini digunakan sebagai media pendingin dalam proses *quenching*.

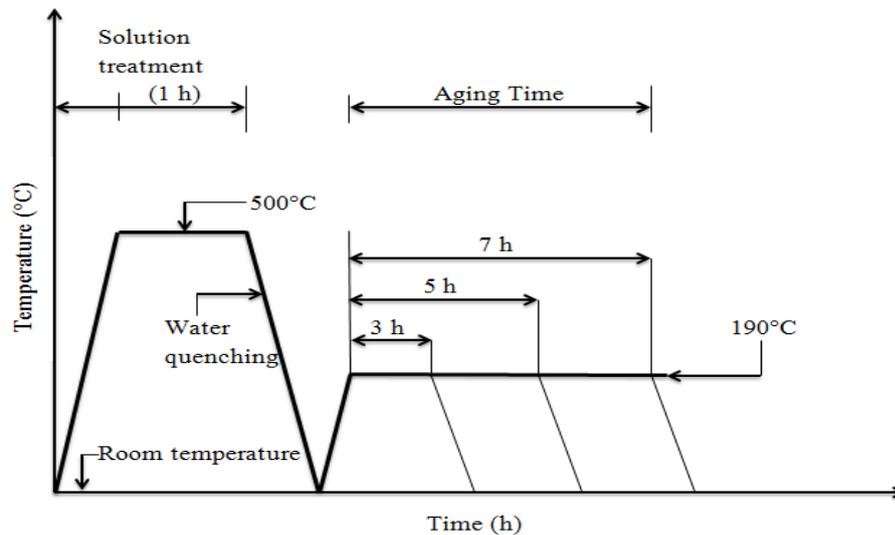
## C. Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

### 1. Persiapan Spesimen

Menyiapkan spesimen yang berupa Aluminium 2024 yang akan digunakan dalam proses pengujian.

## 2. Perlakuan Panas *Precipitation Hardening*



Gambar 14. Proses Presipitasi Hardening (Aging)

Berikut adalah tahapan dalam melakukan perlakuan panas *precipitation hardening*:

### a. *Solution Heat Treatment*

1. Memanaskan logam paduan Aluminium 2024 dalam *furnace* dengan temperatur 500<sup>0</sup> C.
2. Melakukan penahanan atau *holding time* selama 60 menit.

### b. *Quenching*

Mendinginkan logam yang telah dipanaskan dalam *furnace* ke dalam media pendingin dengan menggunakan air.

c. *Aging* (Penuaan)

1. *Artificial aging*

Menetapkan suhu pengkristalan untuk paduan Aluminium 2024 dengan temperatur 190<sup>0</sup>C dan variasi holding time adalah 3 jam, 5 jam, dan 7 jam. Pendinginan pada *temperatur* ruangan.

2. *Uji Kekerasan (Hardness)*

Adapun tahapan dalam uji kekerasan adalah sebagai berikut:

- a. Membersihkan permukaan benda uji dan amplas sehingga kedua permukaan tersebut benar- benar rata dan sejajar..
- b. Memasang penetrator *diamond/steel ball* sesuai dengan jenis material yang akan diuji.
- c. Memastikan *handle* dalam posisi *unloading*
- d. Memutar *exchanging handle / proper weight* sesuai pengujian kekerasan.
- e. Memasang benda uji Al-2024 pada kedudukannya (anvil) lalu mengencangkan dengan memutar *handwheel*. Hingga spesimen menyentuh penetrator dan jarum kecil pada dial indikator menuju garis merah.
- f. Mengatur *dial indicator* sehingga jarum besar tepat pada garis indikator C atau B.
- g. Menarik *handle* ke depan untuk pengetesan pembebanan utama. Pada saat itu jarum panjang akan berputar *anticlockwise* dan *handle* bergerak ke depan secara perlahan.

- h. Ketika jarum panjang berhenti, mendorong *handle* untuk menghilangkan pengetesan pembebanan utama. ( saat menarik *handle* dan mendorong *handle* secara perlahan dan hati – hati ).
- i. Melakukan pembacaan pada indikator. Untuk pengujian dengan *diamond* penetrator, baca pada garis bagian luar indikator (garis berwarna hitam). Untuk pengujian dengan *steel ball* penetrator baca pada bagian dalam indikator (garis berwarna merah).
- j. Memutar *handwheel* berlawanan jarum jam untuk menurunkan spesimen. Melakukan pengujian sampel selanjutnya sesuai prosedur 3 sampai 10 sebanyak 3 kali untuk masing-masing spesimen

### 3. Uji Struktur Mikro

Adapun tahapan dalam pengujian struktur mikro adalah sebagai berikut:

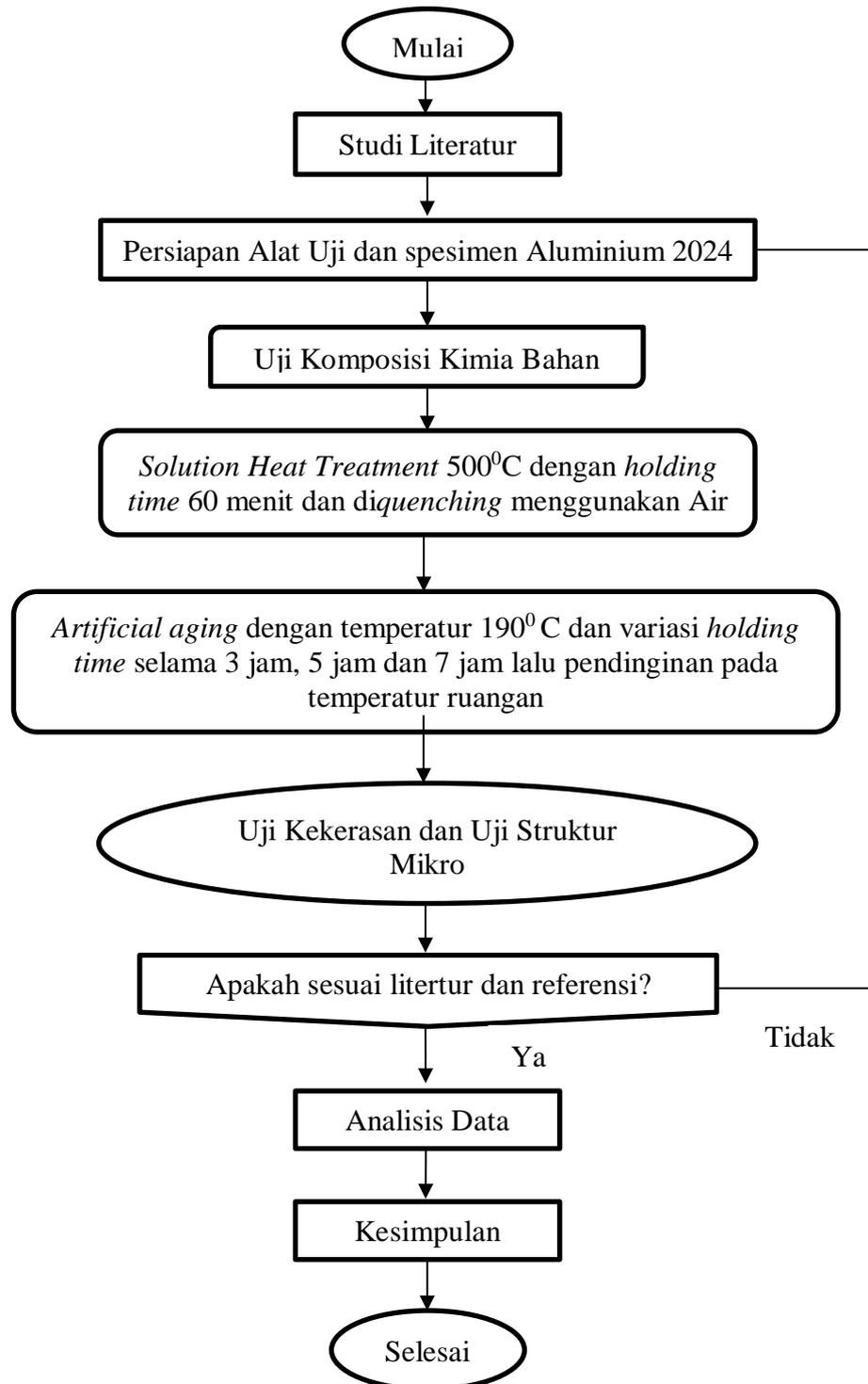
- a. Mempersiapkan spesimen dengan dimensi yang sesuai yaitu 10 x 10 mm.
- b. Memasang amplas pada mesin pemolis, dimulai dari polis yang paling kasar. Pengamplasan dilakukan dalam keadaan basah untuk menghilangkan panas dan pengotor dari benda uji.
- c. Setelah cukup rata, maka mengganti amplas dengan amplas yang agak halus yaitu amplas nomor 800, kemudian mengamplas nomor 1200, dan yang terakhir menggunakan amplas yang paling halus

yaitu nomor 2000. Kemudian mempolis dengan menggunakan autosol.

- d. Sebelum melakukan pengetzaan, permukaan benda uji harus sudah halus dan datar. Pengetzaan dilakukan dengan mencelupkan material ke dalam reaktan beberapa saat.
- e. Mencuci benda uji yang telah dietsa dengan aquades kemudian Meringkan sebelum diamati pada mikroskop
- f. Memfoto gambar apabila gambar yang diperoleh tampak jelas sesuai dengan pembesaran pada mikroskop.

#### D. Diagram Alir

Adapun diagram alir dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



## V. SIMPULAN DAN SARAN

### A. Simpulan

Adapun simpulan yang didapatkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dalam penelitian ini didapatkan hasil komposisi kimia bahan Al-2024 dengan persentase Al sebesar 90,6 % dan persentase Cu sebesar 5,90%.
2. Perlakuan *artificial aging* dengan variasi *holding time* yang dilakukan pada penelitian ini dapat meningkatkan nilai kekerasan Al-2024 dilihat dari hasil pengamatan struktur mikro dan uji kekerasan *rockwell*
3. Dari hasil pengujian kekerasan dengan perlakuan *Artificial aging* didapatkan hasil kekerasan dengan *holding time* 3 jam nilai kekerasan meningkat 4,12% menjadi 77,53 HRB dari nilai kekerasan tanpa perlakuan sebesar 71,5 HRB. Material dengan *holding time* 5 jam nilai kekerasan meningkat 8,48% menjadi 84,63 HRB. Material dengan *holding time* 7 jam nilai kekerasannya menjadi 83 HRB atau 7,51% dari nilai kekerasan tanpa perlakuan. Ini menunjukkan bahwa perlakuan *Artificial Aging* dengan *holding time* 5 jam merupakan yang paling optimal.

4. Dari hasil uji kekerasan *rockwell* menunjukkan bahwa nilai kekerasannya menurun pada *holding time* 7 jam. Hal itu terjadi karena waktu tahan yang digunakan untuk material Al-Cu terlalu lama, sehingga terbentuk endapan fasa  $\theta$  yang stabil, pada tahap ini presipitat dan matriks dalam keadaan seimbang, sehingga menyebabkan partikel yang terbentuk semakin besar yang berakibat pada penurunan kekerasan pada material, atau dapat juga disebut material mengalami *over aged*.

## **B. Saran**

Adapun saran dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pada saat proses *heat treatment* dianjurkan untuk selalu memantau suhu. Karena jika suhu melonjak terlalu tinggi akan menimbulkan gelembung pada material Al-Cu yang mengakibatkan permukaan Al-Cu tidak rata dan teroksidasi. Sehingga material menjadi sangat lunak yang berakibat tidak dapat terbaca ketika melakukan pengujian kekerasan.
2. Untuk mendapatkan hasil struktur mikro yang lebih jelas sebaiknya menggunakan uji SEM EDX.
3. Untuk penelitian selanjutnya hendaknya perlu memperhatikan tiap proses yang dilakukan pada saat perlakuan panas, melakukan uji kekerasan dan struktur mikro agar hasil data yang didapatkan sesuai dengan teori yang telah ada.

4. Untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan pengujian sifat mekanik seperti uji tarik dan uji impak sebagai penunjang pada pengujian kekerasan dan struktur mikro.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, F., 2010. “ Perlakuan Panas Paduan AL-Si Prototipe Piston Berbasis Material Piston Bekas.” Thesis S-2 Teknik Mesin Universitas Diponegoro Semarang.
- Akid Abdul Azis. 2019. Pengaruh *Artificial Aging* Variasi  *Holding Time* 60 Menit, 90 Menit dan 120 Menit Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Pada Aluminium Paduan (Al-Cu). Universitas Muhammadiyah Surakarta. Jawa Tengah
- Anonim, 2010. Proses *Thermal* Logam. Diakses di: <http://ft.unsada.ac.id/wp-content/uploads/2010/02/bab7b-mt.pdf>. Pada tanggal: 5 september 2021. Pukul 08.00 WIB.
- Anrinal, 2011. Perlakuan Panas. Diakses di: <http://bahanajar.itp.ac.id/index.php?dir=Anrinal/metalurgi%20Fisika/materi%20Ajar%20%28Pdf-Version%29/&file=11-12%20Perlakuan%20Panas.pdf>. Pada tanggal 12 September 2021. Pukul 15.00 WIB.
- Anugerah Nuvrio Angga. 2018. Pengaruh *Aging* 200°C Dengan Waktu 1-9 Jam Terhadap Sifat Mekanik Pada Al-Cu 4,5% *Remelting*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Sanata Dharma.
- ASM Handbook, Vol.2. 1991. *Heat Treating*. ASM International: The Materials Information Company.
- Astika, I M. 2019. *Harness Improvements Of Aluminium Alloy 2024 T3 After Artificial Aging Treatment*. Universitas Udayana. Bali.
- ASTM International, Designation: E18-15. *Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials*. ASTM International.

- D.A.P Reis dkk, 2012. *Effect of Artificial Aging on the Mechanical Properties of an Aerospace Aluminium Alloy 2024*. Trans Tech Publications, Switzerland.
- E. Totten, George, dan MacKenzie, D. Scott. 2003. *Handbook of Aluminium vol 1 Physical Metallurgy and Processes*. Marcel Dekker, Inc. New York
- Fuad, 2010. *Perlakuan Panas Pada Paduan Al-Si*. Diakses di: <http://eprint.undip.ac.id/25530/1/Fuad.pdf>. Pada tanggal: 17 September 2021. Pukul 13.00 WIB.
- Hadi, 2011. *Hardness Testing*. Diakses di: <http://hadisaputrameng.files.wordpress.com/2011/09/pertemuan-ke-2-properties-of-materials-and-testing-page-02.pdf>. Pada tanggal 11 September 2021. Pukul 16.00 WIB.
- Imam Subagyo. 2017. *Analisis Pengaruh Artificial Aging Terhadap Sifat Mekanis Pada Aluminium Seri 6061*. Universitas Negeri Lampung. Lampung.
- Jaya, 2015. *Heat treatment*. Diakses di: <http://digilib.unila.ac.id/141442/17/BAB%20II.pdf>. Pada tanggal: 10 September 2021. Pukul 13.00 WIB.
- Masgik, 2010. *Heat Treatment pada Aluminium paduan*. Diakses di: <http://matrudin.files.wordpress.com/2013/10/material-teknik-08th.pdf>. Pada tanggal: 17 September 2021. Pukul 09.00 WIB.
- Meier, M. 2004. *Heat Treatment of Aluminium Alloys*. Department of Chemical Engineering and Materials Science. University of California.
- Metals Handbook, Vol.7. *Atlas of Microstructures of Industrial Alloys*. ASM Handbook Committee.
- Pranata, Muhammad Didi Endah, Alfirano, Jajat Mujiar. *Analisis Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Pada Paduan AL 2014 Hasil Proses Aging Dengan Variasi Temperatur dan Waktu Tahan*. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Banten.

- Radutoiu,dkk.2012. *Effect of the over-ageing treatment on the mechanical properties of AA2024 aluminium alloy*. Revista de chimie (Chemistry magazine). Prancis
- Reed-Hill, R.E. (1973). *Physical Metallurgy Principle*, 2nd.ed. Wadsward, California, 101
- Rochman, R., Haryati, P. dan Purbo, C. 2010. Karakterisasi Sifat Mekanik dan Pembentukan Fasa Presipitat Pada *Aluminium Alloy 2024-T<sub>81</sub>* Akibat Perlakuan Penuaan. *Mekanika*. Vol. 8, No. 2: 165-171.
- Smith, 1995. *Material Science and Engineering (second edition)*. New York. Mc Grew.Hili.inc. Diakses di: <http://trove.nla.gov.au/work/17704220>. pada tanggal: 18 September 2021 pukul 12.30 WIB.
- Tata Surdia dan Prof. Dr. Shinroku Saito. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. PT. Pradnya Paramita. Jakarta.