

**PERLAKUAN PANAS *PRESIPITASI HARDENING* DENGAN
VARIASI LAMA WAKTU *NATURAL AGING* PADA
MATERIAL PADUAN ALUMINIUM SERI 6061**

(Skripsi)

Oleh

Dasuri



**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2023

ABSTRAK

PERLAKUAN PANAS *PRESIPITASI HARDENING* DENGAN VARIASI LAMA WAKTU *NATURAL AGING* PADA MATERIAL PADUAN ALUMINIUM SERI 6061

Oleh

DASURI

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh waktu natural aging terhadap nilai kekerasan dan perubahan mikrostruktur paduan aluminium seri 6061. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah Al-6061 dengan dimensi 40×30×10 cm, kemudian panas. diberi perlakuan suhu 550°C selama 1 jam, kemudian diquenching dengan air kemudian diberi perlakuan natural aging dengan variasi 2 hari, 7 hari dan 14 hari. Hasil komposisi kimia yang diperoleh dengan menggunakan Spectromax menunjukkan persentase Si dalam 1,07 n Mg adalah 1,5%. Hasil uji kekerasan Rockwell tanpa perlakuan panas adalah 60,52 (HRE) dan setelah quenching 37,30 (HRE). Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada variasi 7 hari dengan nilai kekerasan 72,02 (HRE). Jika nilai kekerasan dengan variasi waktu 7 hari meningkat sebesar 9% dari kekerasan material tanpa perlakuan panas. Pada kondisi ini diperoleh hasil kekerasan yang optimal dibandingkan dengan hasil struktur mikro setelah 2 hari dan 14 hari.

Kata kunci: Aluminium 6061, Penuaan alami, kekerasan dan struktur mikro

**HEAT TREATMENT OF HARDENING PRECIPITATION WITH
VARIATIONS IN THE LENGTH OF NATURAL AGING TIME IN 6061 SERIES
ALUMINUM ALLOY MATERIALS**

By :

DASURI

The purpose of this study is to investigate the effect of natural aging time on the hardness value and microstructural changes of aluminum alloy 6061 series. The material used in this study was Al-6061 with dimensions of $40 \times 30 \times 10$ cm, then heat treatment at $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 1 hour, then water quenching, and then natural aging treatment with time variation. 2 days, 7 days and 14 days. Chemical composition results obtained using Spectromax showed a Si percentage of 1.07% and a Mg content of 1.5%. The Rockwell hardness test results show a hardness value of 60.52 (HRE) without heat treatment and 37.30 (HRE) after quenching. The highest hardness value is found in the 7-day variation with a hardness value of 72.02 (HRE). If the hardness value with a time variation of 7 days increased by 9% of the material hardness without heat treatment. In this mode, optimal hardness results are obtained compared to microstructure results with 2- and 14-day time variations.

Keywords: Aluminum 6061, Natural aging, hardness and microstructure

**PERLAKUAN PANAS *PRESIPITASI HARDENING* DENGAN
VARIASI LAMA WAKTU *NATURAL AGING* PADA
MATERIAL PADUAN ALUMINIUM SERI 6061**

Oleh

DASURI

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar SARJANA TEKNIK

Pada

JURUSAN TEKNIK MESIN

Fakultas Teknik Universitas Lampung



**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG**

Judul Skripsi

: PERLAKUAN PANAS PRESIPITASI
HARDENING DENGAN VARIASI LAMA
WAKTU NATURAL AGING PADA MATERIAL
PADUAN ALUMINIUM SERI 6061

Nama Mahasiswa

: *Dasuri*

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1615021016

Program studi

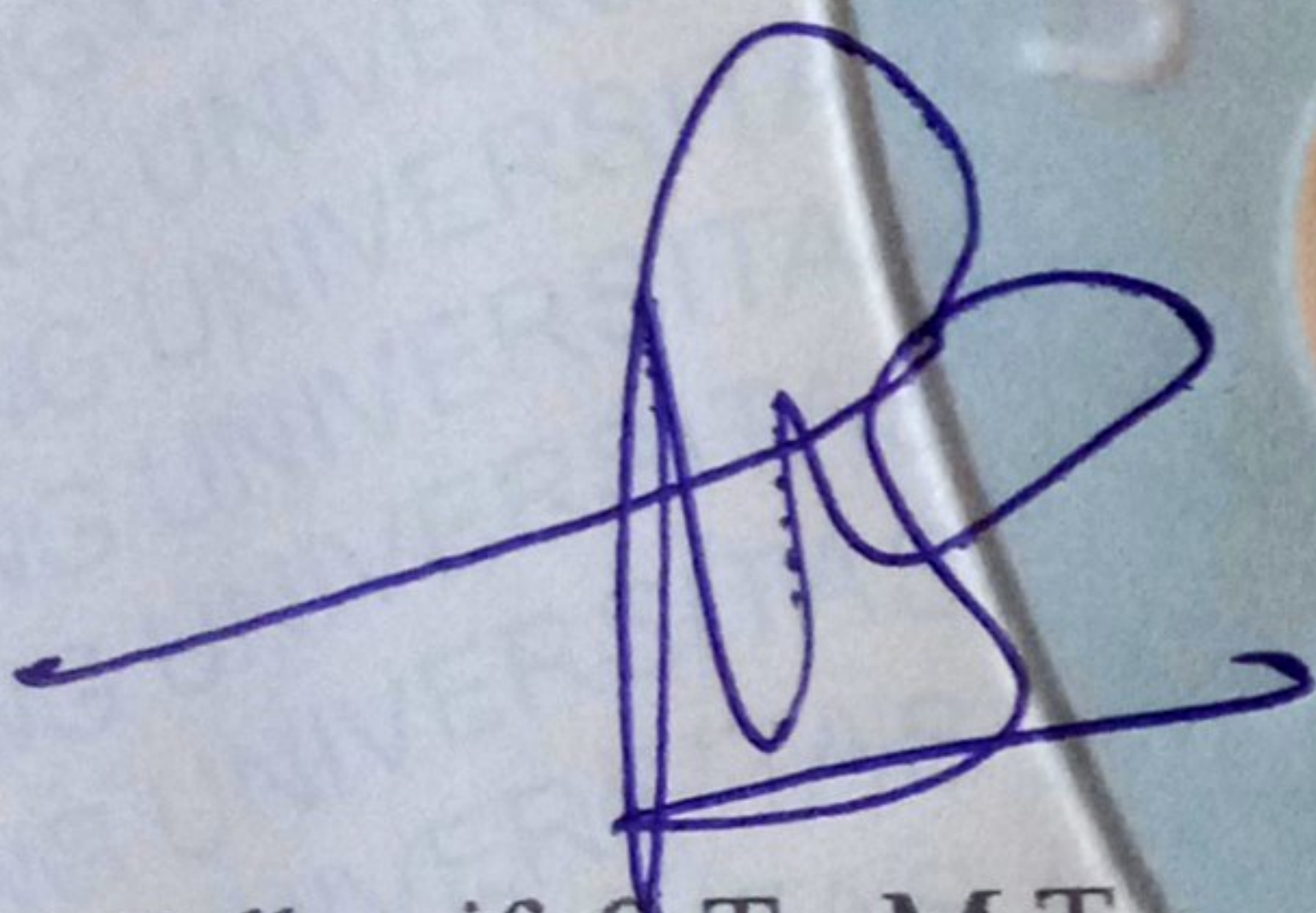
: Teknik Mesin

Fakultas

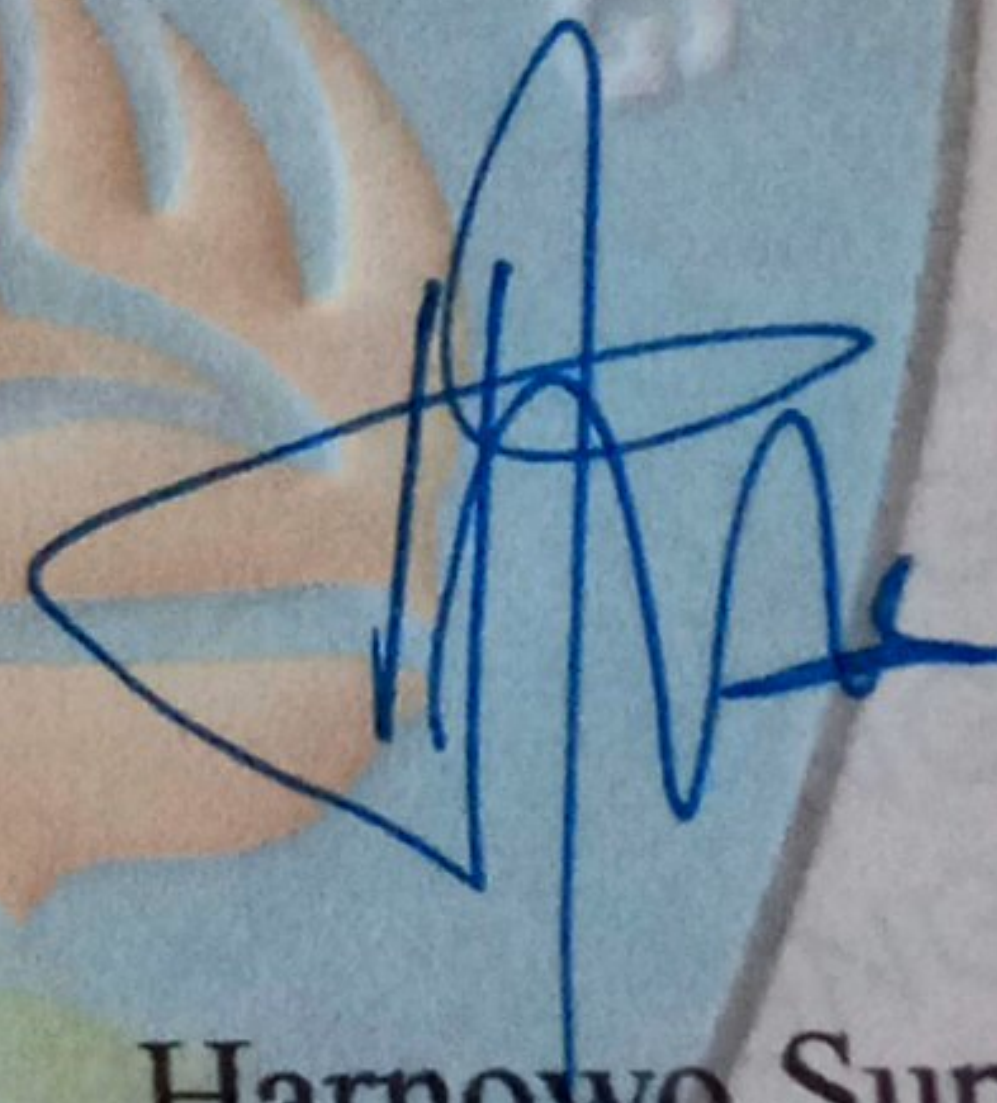
: Teknik

Komisi Pembimbing 1

Komisi Pembimbing 2



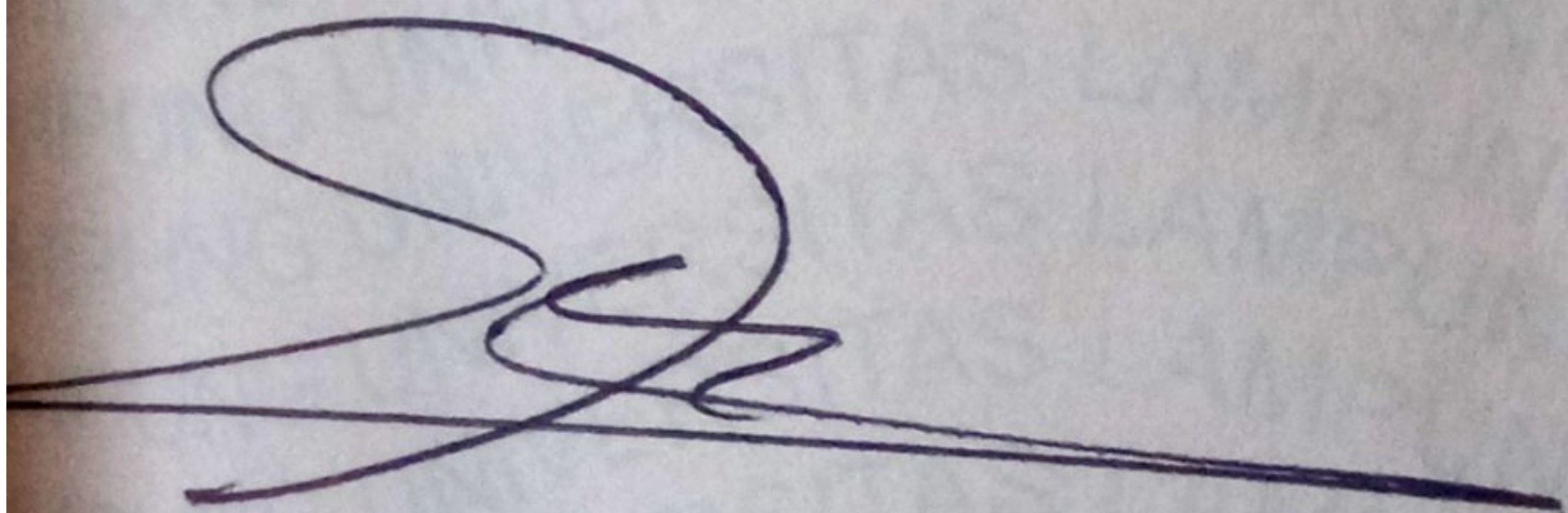
Zulhanif, S.T., M.T.
NIP. 197304022000031002



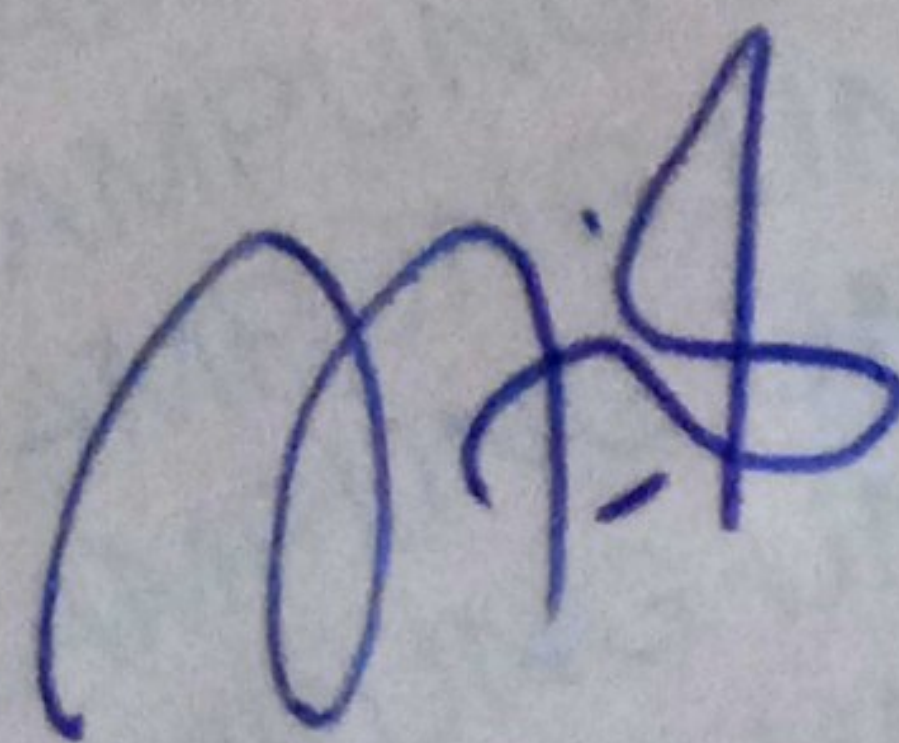
Harnowo Supriadi, S.T., M.T.
NIP. 196909091997031002

Ketua Jurusan
Teknik Mesin

Ketua Program Studi
S1 Teknik Mesin



Dr. Amrul, S.T., M.T.
NIP 197103311999031003



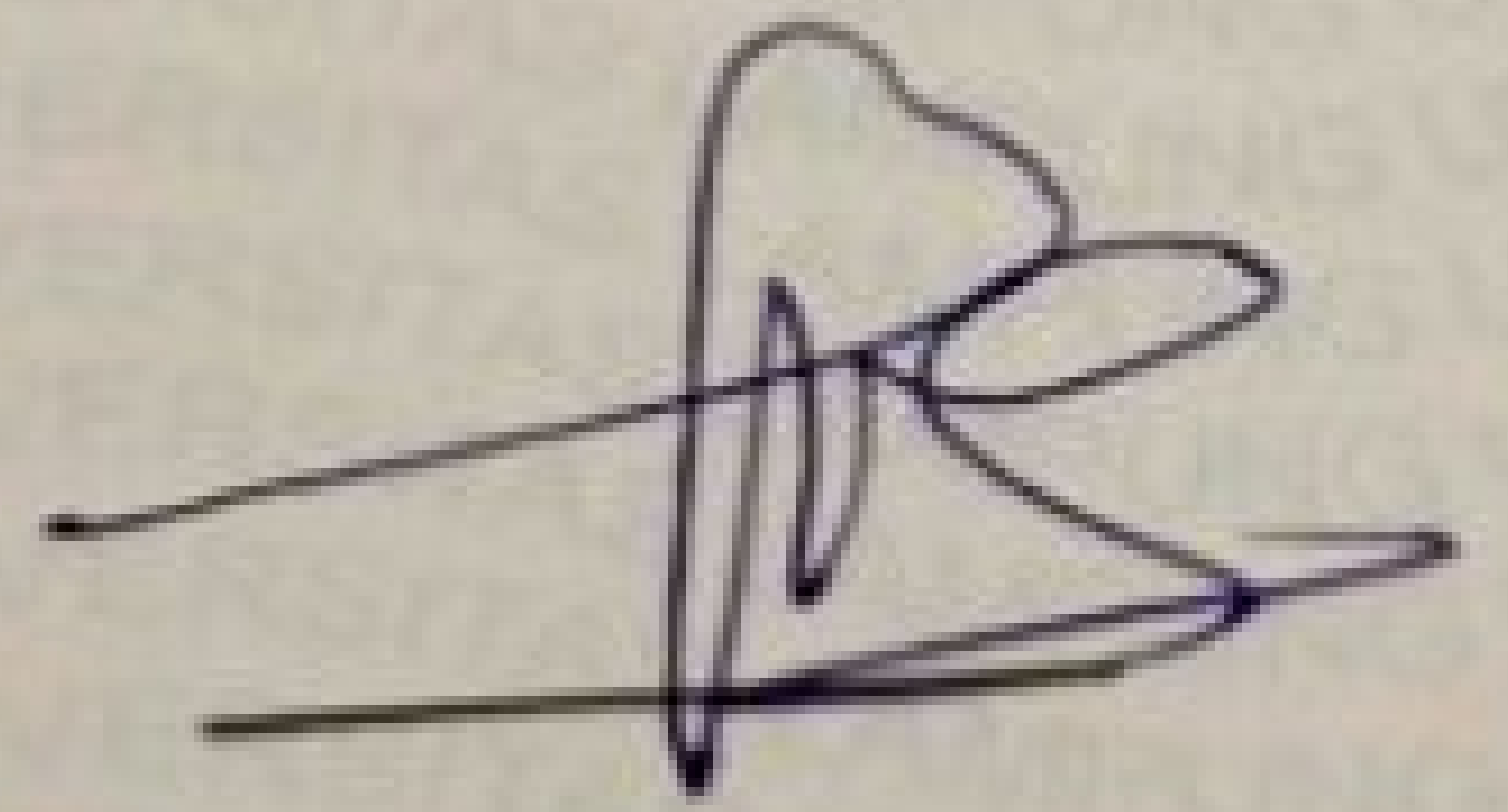
Novri Tanti, S.T., M.T.
NIP 197011041997032001

2023.07.03 10:34

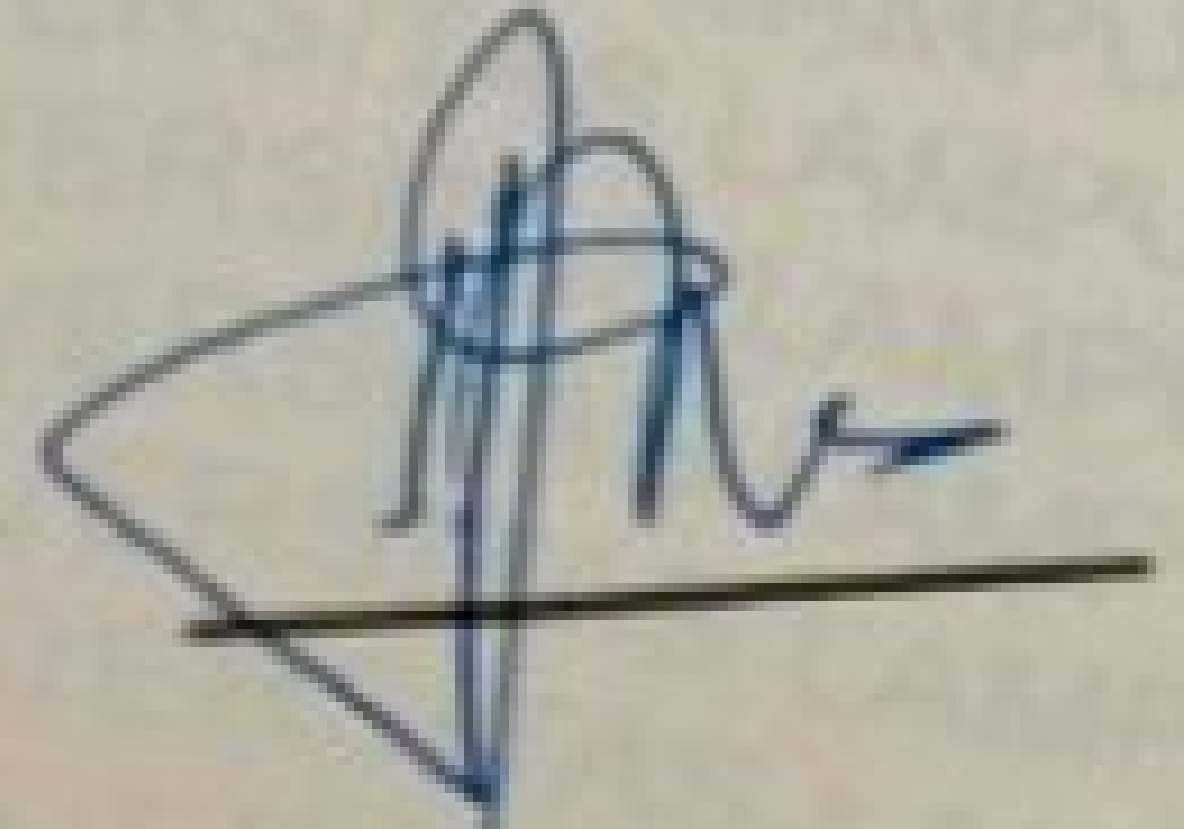
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

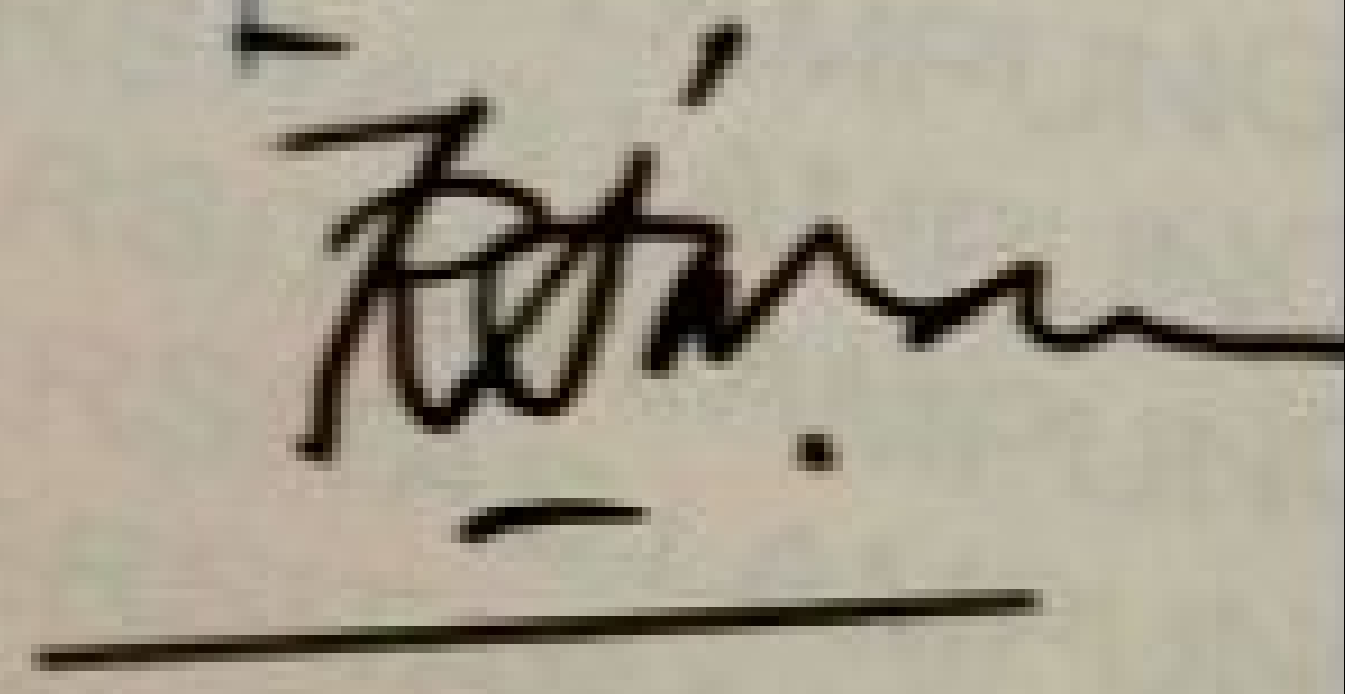
Ketua Penguji : Zulhanif, S.T., M.T.



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




Penguji utama : Ir. Irza Sukmana, S.T., M.T. Ph.D.



2. Dekan Fakultas Teknik




Dr. Eng. Ir Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. ↓
NIP 197509282004121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 15 juni 2023

2023.07.03 13:44

Scanned by TapScanner

PERNYATAAN PENULIS

DENGAN INI PENULIS MENYATAKAN SKR IPSI INI DIBUAT SENDIRI
OLEH PENULIS DAN BUKAN HASIL PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR
DALAM PASAL 27 PENGATURAN AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG
DENGAN SURAT KEPUTUSAN REKTOR No. 3187/H26/DT/2010.

YANG MEMBUAT PERNYATAAN



DASURI

NPM. 1615021016

RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir di Pugung pada tanggal 1 Januari 1996 sebagai anak ke empat dari pasangan Bapak Casmono dan Ibu Khotijah. Penulis memulai pendidikan formal awal di SDN 1 Wayjambu Pesisir Selatan Lampung tahun 2004-2010, SMP PGRI 1 Pesisir Selatan Lampung tahun 2010-2013, SMKN 1 Ngambur Pesisir Selatan Lampung tahun 2013-2016..

Pada tahun 2016, penulis melanjutkan studi ke jenjang sarjana (S1) melalui Jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) pada kurikulum Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam organisasi Fossi FT (forum silaturahmi dan studi Islam) dan Birohmah (bina rohani Islam Mahasiswa). Saya melakukan kerja praktek (KP) dari tanggal 01/02/2020 sampai dengan 02/07/2020 di PT.Bukit Asam TBK Unit Pelabuhan Tarahan Bandar Lampung berjudul “Analisis kerusakan lagging Pulley belt Conveyor SRT 001”. Pada bulan Januari-Februari 2022, penulis mengikuti Program Pengabdian Masyarakat (KKN) di Desa Marang, Dusun Kupang, Kabupaten Pesisir Barat, Kabupaten Pesisir Selatan, Provinsi Lampung. Pada tahun 2022, penulis melakukan penelitian dengan judul “Perlakuan Panas Presipitasi Hardening Dengan Variasi Lama Natural Aging Pada Material Paduan Aluminium Seri 6061” di bawah bimbingan Bapak Zulhanif, S.T.,MT sebagai dosen pembimbing 1, Harnowo Supriadi, S.T., M.T sebagai dosen pembimbing 2 dan Ir.Irza Sukmana, S.T., M.T.Ph.D. sebagai penguji skripsi saya pada tanggal 29 Agustus s/d 31 Oktober di Laboratorium Material Fakultas . Teknik, Universitas Lampung..

MOTTO

“Barang siapa yang bertaqwa kepada Allah, maka Allah akan menunjukkan kepadanya jalan keluar dari kesusahan, dan diberikanya rezeki dari jalan yang tidak disangka-sangka, dan barang siapa yang bertawakal kepada Allah, niscaya Allah mencukupkan keperluannya”

(Qs. At-Talaq:2-3)

“Terkadang, Allah mengabulkan apa yang kita butuhkan bukan apa yang kita inginkan karena apa yang kita inginkan belum tentu apa yang kita butuhkan. Logikanya Allah tahu masa depan sedangkan kita tidak”

“Apapun pilihanmu, pilihan Allah adalah yang terbaik. Karena Allah tahu yang terbaik untuk hambanya”

“Boleh jadi kamu membenci sesuatu padahal ia amat baik bagimu, dan boleh jadi pula menyukai sesuatu, padahal ia amat buruk bagimu, Allah mengetahui sedang kamu tidak mengetahui”

(Qs. Al-baqarah: 216)

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

(Qs. Al-baqarah: 286)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah hirobbil 'alamin, puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat, hidayah, rizki dan karunia yang diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan disertasi ini. Doa, syukur dan segala kerendahan hati. Dengan segenap cinta dan kasih sayangku, kupersembahkan karya ini untuk orang-orang yang sangat berharga dalam hidupku:

Ayahku (Casmono) dan Ibuku (Khotijah)

Kedua orang tuaku, terima kasih atas segala ilmu yang engkau berikan kepadaku, yang menyayangi dan mencintaiku dengan penuh kesabaran saat membesarkanku, merawatku sejak kecil dan mendoakanku agar aku menjadi orang yang sukses..

Kakak laki-laki ku (Kartoyo dan syahuri), kakak perempuanku (Eti), adik laki-laki ku (Dedi purnama)

yang selalu memberikan semangat, dan nasihat.

Para Pendidik

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

Seluruh Teman-Temanku

Terimakasih atas semua dukungan dan bantuan yang telah diberikan.

Almamater tercinta, Universitas Lampung

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil'alamin, puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Perlakuan Panas Presipitasi Hardening Dengan Variasi Waktu Natural Aging Pada Material Paduan Aluminium Seri 6061". Tujuan penulisan skripsi ini sebagai salah satu prasyarat untuk memperoleh ijazah dasar dan melatih mahasiswa berpikir cerdas dan kreatif saat menulis karya ilmiah. Penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk penyusunan skripsi ini.

Penulis,

Dasuri

SANWACANA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya dan lindungannya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dan menyelesaikan laporan skripsi dengan lancar dan tetap dalam keadaan sehat. Shalawat serta salam tak lupa penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membimbing umatnya menuju kehidupan yang berakhlak dan berilmu yang baik sehingga dapat menjalani kehidupan dengan baik dan benar. Skripsi ini dibuat sebagai sebuah karya tulis yang merupakan hasil dari pengerjaan tugas akhir yang telah dilakukan. Diharapkan karya tulis ini dapat menjadi salah satu bentuk perkembangan dalam ilmu di bidang material, sehingga skripsi ini dapat diselesaikan sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar Sarjana Teknik Pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung. Semoga karya tulis ini dapat membawa manfaat bagi pembacanya dan dapat dikembangkan lebih jauh lagi. Skripsi ini berjudul “Perlakuan Panas *Presipitasi Hardening* Dengan Variasi Waktu *Natural Aging* Pada Material Paduan Aluminium Seri 6061”

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

1. Orang tua penulis, Casmono dan Khotijah yang selalu mendoakan saya sehingganya saya dapat tetap bersemangat dalam menjalankan Studi Teknik Mesin dan yang selalu memberikan semangat serta dukungan kepada saya selama proses perkuliahan hingga penyelesaian skripsi.
2. Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung.

3. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T.,M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung
4. Bapak Dr. Amrul, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
5. Bapak Zulhanif, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I yang telah bersedia mendidik, memberikan pengarahan dan meluangkan waktu untuk membimbing penulis dalam penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Harnowo Supriadi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang telah bersedia membimbing penulis dalam penyusunan skripsi ini.
7. Bapak Ir. Irza Sukmana, S.T., M.T.Ph.D. selaku Dosen Penguji dalam skripsi ini. Terimakasih banyak atas masukan, saran-saran, motivasi dan yang telah memberikan semangat pada ujian kompre .
8. Seluruh Dosen di Teknik Mesin Universitas lampung yang telah mengajarkan banyak pengetahuan kepada penulis.
9. Teman-teman seperjuangan kuliah saya (Fachrian Giovalka, Dedy Rizaldi, Randa Admiral, Yoki Surya Grahita, dan Muadz) serta yang lainnya yang tidak saya sebutkan satu persatu yang sudah banyak sekali membantu saya, memberikan arahan, memberikan semangat, memberikan motivasi dan masukan hingga terselesaikan skripsi saya ini.
10. Teman marbot Masjid Darul Muawanah Dedi irawan dan Nasir yang memberikan dukungan dan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini
11. Seluruh teman-teman Teknik Mesin Angkatan 2016 yang telah mendukung penulis untuk melaksanakan skripsi sampai selesai.

Bandar Lampung, 15 juni 2023

Dasuri

161502106

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
 BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan Penelitian.....	6
C. Batasan Masalah.....	6
D. Sistematika Penulisan	6
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. <i>Heat Treatment</i>	8
B. <i>Natural Aging</i>	10
C. <i>Precipitation Hardening</i>	10
D. Aluminium.....	13
E. Klasifikasi Alumunium	14
F. Sifat Mekanik Alumunium	16
G. Alumunium 6061	17
H. Paduan Aluminium	19
I. Uji Kekerasan	21

J. Uji Struktur Mikro	24
K. Metalografi	25

BAB III METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian	27
B. Alat dan Bahan	27
C. Prosedur Penelitian	33
D. Diagram Alir.....	36

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil dan Pembahasan Uji Komposisi Al-6061	37
B. Hasil dan Pembahasan Data Uji Kekerasan <i>Rockwell</i>	39
C. Data dan Pembahasan Uji Struktur Mikro	45

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan.....	51
B. Saran.....	51

DAFTAR PUSTAKA	54
----------------------	----

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

No. Gambar	Halaman
1. Skema Perlakuan Panas Dengan Cara <i>Precipitation Hardening</i>	11
2. Diagram fase pemanasan logam	12
3. Diagram Fase Biner Semu Mg ₂ Si.....	18
4. Prinsip Kerja Metode Pengukuran Kekerasan <i>Rockwell</i>	23
5. Tungku (<i>Furnace</i>)	28
6. Alat Uji Kekerasan (<i>Hardness Tester</i>)	30
7. Gerinda Potong	31
8. Amplas.....	31
9. Alumunium Paduan Seri 6061	32
10. Dimensi Alumunium Paduan Seri 6061	32
11. Air	33
12. Diagram Alir	36
13. Potongan Bahan Pengujian Komposisi Al-6061.....	37
14. Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan Tanpa Perlakuan Panas Dan Proses <i>Quenching</i>	41
15. Grafik Perbandinan Nilai Kekerasan Bahan Tanpa Perlakuan, Setelah <i>Quenching</i> Dan Setelah <i>Natural Aging</i>	44
16. Struktur Mikro Al-6061 Sebelum Proses Perlakuan Panas (<i>Raw material</i>).....	45
17. Struktur Mikro Al-6061 Setelah Proses <i>Quenching</i>	46
18. Struktur Mikro Al-6061 Setelah Proses <i>Natural Aging</i> Pada Variasi Waktu 2 Hari	47
19. Struktur Mikro Al-6061 Setelah Proses <i>Natural Aging</i> Pada Variasi Waktu 7 Hari.....	48
20. Struktur Mikro Al-6061 Setelah Proses <i>Natural Aging</i> Pada Variasi Waktu 14 Hari	48

DAFTAR TABEL

No.Tabel	Halaman
1. Skala Kekerasan Metode Pengujian <i>Rockwell</i>	22
2. Skala Kekerasan Metode Pengujian <i>Rockwell</i>	22
3. Skala Kekerasan Dan Pemakaiannya	23
4. Spesifikasi Mesin (<i>Furnace</i>).....	29
5. Spesifikasi Alat Uji Kekerasan (<i>Hardness Tester</i>)	30
6. Data Hasil Pengujian Komposisi Al-6061	38
7. Data Komposisi Bahan Kimia Aluminium.....	39
8. Perbandingan Nilai Kekerasan <i>Rockwell</i> Antara Tanpa Perlakuan Panas dan Proses <i>Quenching</i>	40
9. Perbandingan Nilai Kekerasan Bahan Tanpa Perlakuan, Setelah <i>Quenching</i> dan Setelah <i>Natural Aging</i> Pada Variasi Waktu 2 Hari.....	42
10. Perbandingan Nilai Kekerasan Bahan Tanpa Perlakuan, Setelah <i>Quenching</i> dan Setelah <i>Natural Aging</i> Pada Variasi Waktu 7 Hari.....	43
11. Perbandingan Nilai Kekerasan Bahan Tanpa Perlakuan, Setelah <i>Quenching</i> dan Setelah <i>Natural Aging</i> Pada Variasi waktu 14 Hari.....	43

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Aluminium merupakan logam kedua yang sangat universal digunakan sesudah baja. Perihal ini sebab aluminium mempunyai sebagian keunggulan, semacam bobot yang ringan serta ketahanan terhadap korosi. Tetapi guna aplikasi tertentu, paling utama aluminium murni, sangat lunak serta butuh ditingkatkan kekuatan serta kekerasannya. Perlakuan panas aluminium murni serta paduannya dengan elemen paduan merupakan 2 metode guna menguatkan aluminium murni. Perlakuan panas yang diterapkan pada aluminium bertujuan guna menciptakan dimensi partikel yang lebih halus serta memicu pembuatan endapan yang bermanfaat guna penekanan dislokasi. Aluminium murni tidak membentuk endapan, sehingga perlakuan panas tidak mempengaruhi (Meier.2004)

Penggunaan aluminium dalam dunia industri yang terus menjadi besar menimbulkan pengembangan sifat serta ciri aluminium di tingkatkan. Material ini digunakan di dalam bidang yang luas bukan hanya guna perlengkapan rumah tangga namun pula digunakan guna keperluan pesawat terbang, mobil, kapal laut serta konstruksi. Paduan aluminium dengan meningkatkan magnesium serta silikon merupakan terhitung dalam kelas

paduan yang bisa diperlakukan panaskan. Perlakuan panas alami aging merupakan proses pemanasan logam pada temperatur tertentu diiringi dengan proses pendinginan setelah itu membiarkan pada temperatur kamar sepanjang sebagian waktu dengan tujuan buat membetulkan sifat wujud serta mekanik logam. Tata cara yang digunakan dalam riset ini merupakan tata cara eksperimen. Bersumber pada kasus yang diteliti, hingga riset ini berupaya guna menciptakan terdapat tidaknya pengaruh perlakuan panas alami aging terhadap tingkatan kekerasan pada aluminium, magnesium serta silikon. Hasil riset nilai kekerasan paling tinggi skala Rockwell pada spesimen paduan Al-Mg-Si seri 6061 merupakan pada spesimen tanpa perlakuan, ialah sebesar 57,6 HRB. Nilai kekerasan terendah pada perlakuan panas dengan quenching media pendingin air es, ialah sebesar 39,53 HRB. Nilai kekerasan pada proses perlakuan panas dengan *natural aging* sepanjang 1 hari yaitu 40,086 HRB, kemudian nilai kekerasan pada proses perlakuan panas dengan *natural aging* sepanjang 2 hari yaitu 42,046 HRB. Nilai kekerasan terendah kedua berlangsung pada perlakuan panas *natural aging* sepanjang 3 hari, yakni sebesar 39,98 HRB.

Nilai kekerasan pada *natural aging* sepanjang 2 hari merupakan yang paling tinggi dibanding dengan spesimen proses alami aging sepanjang 1 hari serta 3 hari. Perihal ini menampilkan jika ada perbandingan nilai kekerasan permukaan pada permukaan Al-Mg-Si antara saat sebelum serta sesudah mengalami proses perlakuan panas dengan *alterasi expose natural aging*. Sehingga bisa disimpulkan kalau *alterasi expose* pada proses *natural aging* mempengaruhi pada tingkatan kekerasan pada Al-Mg-Si. (Marsikan. 2015)

Ditinjau dari jumlah pemakaian aluminium yang terus menjadi meningkat tiap tahunnya, sehingga butuh dicoba perbaikan sifat mekanik aluminium 6061. Sifat mekanik aluminium 6061 bisa ditingkatkan lewat proses *aging*. Riset ini bertujuan guna menaikkan sifat mekanik 6061 dan memperoleh sifat mekanik antara aluminium 6061 yang dikeraskan dengan memakai tata cara *natural aging* yang dilanjutkan dengan *artificial aging*. Riset ini memakai

tata cara eksperimen laboratorium. Proses alami *aging* serta *artificial aging* di jalani dengan proses *solution heat treatment* pada temperatur 520°C ditahan sepanjang 30 menit, serta *quenching* dicoba dengan media kombinasi air serta *dromus oil*. Berikutnya proses *natural aging* dicoba dengan penahanan di temperatur kamar sepanjang 7 hari, dilanjutkan proses *artificial aging*, pemanasan dicoba pada temperatur 200°C dengan *alterasi holding time* sepanjang 2, 4 serta 6 jam. (Tsamroh. 2021)

Perlakuan panas merupakan salah satu proses guna merubah struktur logam dengan metode memanaskan spesimen pada tungku pada temperatur tertentu setelah itu didinginkan. *Natural aging* merupakan proses penuaan yang dicoba pada paduan aluminium pada kondisi dingin maupun memakai temperatur kamar. Riset ini dicoba guna mengenali pengaruh alami aging terhadap tingkatan kekerasan paduan Al-Mg-Si. Tata cara yang digunakan dalam riset ini merupakan tata cara eksperimen memakai analisis statistik korelasi komparatif. Bersumber pada kasus yang diteliti hingga riset ini berupaya guna menciptakan terdapat tidaknya pengaruh perlakuan panas alami aging terhadap kekerasan pada paduan Al-Mg-Si.

Hasil riset nilai kekerasan memakai perlengkapan uji kekerasan Brinell pada spesimen paduan Al-Mg-Si seri 6061 tanpa perlakuan panas mempunyai nilai rata-rata kekerasan sebesar 710251 HBN. Spesimen yang sudah lewat proses perlakuan panas dengan temperatur 550°C setelah itu *diquenching* dengan media air es pada temperatur -10°C mempunyai rata-rata nilai kekerasan sebesar 376709 HBN. Spesimen yang sudah melalui proses perlakuan panas alami aging sepanjang 2 hari mempunyai rata-rata nilai kekerasan sebesar 4336363 HBN. Spesimen yang sudah melalui proses perlakuan panas *natural aging* sepanjang 4 hari mempunyai rata-rata nilai kekerasan 636049 HBN. Spesimen yang telah melalui proses perlakuan panas *natural aging* selama sejauh 6 hari memiliki rata-rata nilai kekerasan sebesar 856049 HBN. Dari hasil riset tersebut menampilkan jika ada perbandingan nilai kekerasan pada permukaan paduan Al-Mg-Si antara saat sebelum serta sehabis melalui proses perlakuan panas dengan alterasi waktu *Natural aging*. Sehingga bisa

disimpulkan jika *natural aging* mempengaruhi terhadap kekerasan pada paduan Al-Mg-Si.

Pada automotif ataupun alat-alat konstruksi biasanya memakai Aluminium Alloy (AA) 6061. Secara eksklusif reduksi berat sebagai bagian yang berarti dalam upaya menaikkan efisiensi energi mesin kendaraan, contohnya merupakan penggunaan aluminium paduan pada kendaraan bermotor (Miller, 2000). Tidak hanya itu, paduan Aluminium 6061 memiliki sifat-sifat yang menguntungkan semacam tahan terhadap korosi, bisa diperlakukan, ketangguhan baik, dan sifat sanggup las yang baik, sehingga banyak industri maju memakai material ini selaku bahan utama dalam perancangan perlengkapan ataupun konstruksi. Paduan aluminium seri 6061 dipotong sesuai dengan standart ASTM. Pada sesi awal aluminium seri 6061 diberi perlakuan panas dengan temperatur 300°C sepanjang 1 jam, setelah itu diquenching dengan media pendingin berbentuk air. Sesudah hasil proses aging, dicoba uji kekerasan.

Subagyo (2017) menjalankan studi perihal cara *artificial aging* pada Aluminium seri 6061 dengan memberikan perlakuan panas pada temperatur 450°C sepanjang 15 menit, seterusnya *diquenching* dengan memakai oli sebagai perantara pendingin sesudah itu diberi perlakuan panas balik pada temperatur 190°C dengan modifikasi *holding time* 1 jam, 5 jam, serta 11 jam, kemudian didinginkan dengan cara pelan dengan temperatur ruangan. Hasil studi memperlihatkan jika angka kekerasan paling tinggi pada materi dengan modifikasi *holding time* 5 jam sebesar 79,6 (HRB), serta mengalami pengurangan angka kekerasan pada bahan dengan modifikasi *holding time* 11 jam sebesar 50,4 (HRB), disebabkan pada bahan itu telah mengalami *over aging*. Aluminium A356 selaku bahan pengecoran baling-baling sedang memiliki daya yang kecil serta berkarakter getas. riset dijalani guna mengerti pengaruh *natural aging* pada temperatur ruang pada kekerasan serta daya

aluminium paduan A356. periode *aging* pada temperatur ruang divariasikan mulai 1 sampai 20 hari. Pengujian yang dijalani yaitu percobaan komposisi , percobaan tarik , serta percobaan kekerasan. angka ketahanan tarik terbaik diraih sesudah natural aging 10 hari, dengan angka 183,6 MPa. angka keuletan material turun bersamaan dengan bertambahnya durasi *natural aging*. angka kekerasan meninggi bersamaan dengan bertambahnya waktu aging, serta mendekati kekerasan terbaik sesudah *aging* 6 hari dengan angka kekerasan 94 BHN (Suyanto,dkk. 2019)

pemakaian aluminium paduan di dunia perusahaan pada masa ini selalu meningkat kencang lantaran aluminium mempunyai sifat mekanik yang bagus , seperti tahan korosi, kualitas yang ringan , kekuatan serta kekerasan yang tinggi , dan sanggup di daur kembali. Pengelasan adalah salah satu pemicu terbentuknya kegagalan pada sebagian besar elemen di dunia perusahaan. Tujuan dari riset ini yakni guna melihat kekuatan tarik , kekerasan serta susunan mikro dari Aluminium Alloy 6061-O dengan arah pengelasan tungsten inert gas (TIG) longitudinal yang di-post weld *heat treatment* (PWHT) atau yang tidak di PWHT, selanjutnya menetapkan hasil transformasi sifat mekanik dari material uji coba.

Penelitian ini menggunakan perlakuan panas T6 dengan suhu larutan 520°C dan pendingin air dingin, kemudian penuaan buatan pada suhu 175°C dan perubahan waktu 8 jam, 18 jam dan 24 jam. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kekuatan tarik material meningkat setelah PWHT, dengan kekuatan tarik tertinggi sebesar 389,492 MPa untuk PWHT 24 jam, lebih besar dari 378,021 MPa untuk PWHT 18 jam dan PWHT 8 jam. , yaitu 365,294 MPa. PWHT 8 jam, 18 jam dan 24 jam, tegangan menurun masing-masing sebesar 5,9%, 2,4% dan 3,2%. Nilai kekerasan meningkat setelah PWHT. PWHT 8 jam memiliki kekerasan tertinggi di zona panas (HAZ) sebesar 109,7 Hv. Bahan las tanpa PWHT dan PWHT selama 8 jam dan 24 jam hanya memiliki nilai kekerasan tertinggi yaitu 81,4 Hv, 100,2 Hv dan 104,7 Hv. PWHT T6 berpengaruh signifikan terhadap sifat mekanik material las Al 6061-O. Proses

PWHT meningkatkan nilai kekuatan tarik dan kekerasan, tetapi melemahkan sifat elastis material. Material PWHT 8 jam memiliki sifat mampu bentuk yang paling tinggi (Agy Randhiko et al. 2014). Berdasarkan beberapa penelitian di atas, paduan aluminium sering mengalami perlakuan panas (*aging*) untuk meningkatkan kekuatannya. Penelitian ini dilakukan pada paduan aluminium seri Al-Mg-Si 6061 yang diberi perlakuan suhu 550 °C, diquenching dengan air dan dilakukan variasi waktu perlakuan natural aging 2 hari, 7 hari dan 14 hari. . Perbandingan kekerasan dan struktur mikro aluminium sebelum dan sesudah perlakuan natural aging diketahui dari penelitian yang dilakukan.

B. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh waktu *Natural Aging* terhadap nilai kekerasan Aluminium paduan seri 6061.
2. Mengetahui pengaruh waktu *Natural Aging* terhadap perubahan struktur mikro Aluminium paduan seri 6061.

C. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Aluminium paduan seri 6061.
2. Proses perlakuan panas yang dilakukan adalah *Natural aging*.
3. Metode *quenching* menggunakan media air.
4. Variasi lama waktu yang dipakai adalah 2 hari, 7 hari dan 14 hari.
5. Pengujian yang dilakukan adalah uji komposisi kimia, uji *hardness* (*rockwell*) dan uji struktur mikro OM (*optical microscope*).

D. Sistematika Penulisan

Tugas akhir ini terdiri 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 mengenai perlakuan panas (*heat treatment*) *natural aging* Aluminium (Al), paduan

Aluminium seri 6061, sifat mekanik Aluminium seri 6061, pengujian kekerasan (*hardness*) dan uji struktur mikro.

BAB III : METODE PENELITIAN

Pada bab ini berisikan waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan, prosedur penelitian dan diagram alir.

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

LAMPIRAN

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Proses perlakuan panas, juga disebut sebagai perlakuan panas, adalah suatu proses yang mengubah sifat logam dengan mengubah struktur mikro melalui pemanasan dan pengaturan kecepatan pendinginan dengan atau tanpa mengubah komposisi kimia logam yang bersangkutan. Tujuan dari proses perlakuan panas adalah untuk menghasilkan sifat logam yang diinginkan (Jaya, 2015).

Perlakuan panas merupakan suatu metode yang digunakan untuk meningkatkan kekuatan pada Aluminium paduan (Pranata, dkk, 2014). Perlakuan panas merupakan suatu proses memanaskan hingga temperatur tertentu kemudian didinginkan menggunakan cara tertentu untuk menghasilkan sifat yang lebih baik (Sumpena dan wardoyo, 2018). Proses perlakuan panas bertujuan untuk mengubah struktur logam dengan cara memanaskan spesimen uji hingga mencapai suhu tertentu pada dapur *furnace* (tanur). Pemanasan dilakukan pada temperatur rekristalisasi yang dimiliki oleh masing-masing logam. Kemudian, spesimen uji didinginkan dalam media pendingin seperti air, air garam, udara, oli dan solar dimana setiap media pendingin tersebut memiliki kerapatan pendinginan yang berbeda-beda. Proses dalam perlakuan panas terdiri atas tiga tahapan yaitu *heating*, *cooling* dan *cooling*. Pemanasan adalah proses pemanasan pada suhu tertentu dan dalam jangka waktu tertentu, dengan tujuan memberikan

kesempatan terjadinya perubahan struktur atom secara menyeluruh. Holding adalah proses mempertahankan pemanasan pada suhu tertentu dengan tujuan agar terbentuk struktur yang teratur dan seragam sebelum proses pendinginan. Pendinginan adalah proses pendinginan yang berlangsung pada laju tertentu, yang tujuannya adalah untuk mencapai struktur dan sifat fisik dan mekanik yang diinginkan. (Maskik, 2010).

Komposisi penyusun logam sangat memengaruhi sifat-sifatnya. Struktur mikro logam juga memengaruhi sifat logam, terutama sifat mekanik. Sifat mekanis logam atau paduan akan berbeda jika struktur mikronya diubah. Struktur logam dan paduan dapat berubah karena perlakuan panas atau pendinginan. Menurut Nurlina (2019), pengaturan kecepatan proses pendinginan dan batas suhu yang digunakan selama proses pengujian dapat memungkinkan material logam memiliki sifat yang diinginkan sesuai kebutuhan manusia.

Proses perlakuan panas pada Aluminium paduan dilakukan dengan melakukan pemanasan sampai terjadi fase tunggal, kemudian dilakukan penahanan beberapa saat yang selanjutnya dilakukan pendinginan cepat sampai mengalami perubahan ke fase lain. Perubahan yang terjadi adalah pengendapan fase kedua atau presipitasi yang diawali dengan proses *nukleasi* dan munculnya kluster atom yang menjadi awal dari terbentuknya presipitat. Presipitat dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasannya. Proses ini merupakan proses *age hardening* yang disebut *natural aging* (Permatasari, 2020).

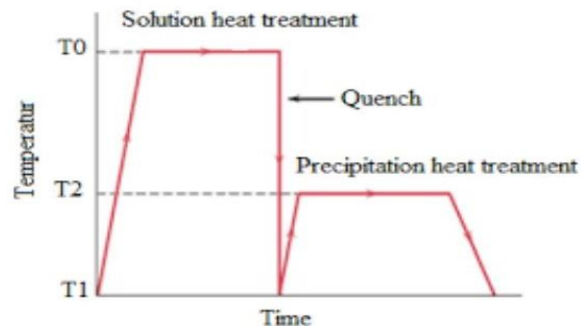
B. *Natural Aging*

Penuaan natural adalah proses menahan material pada suhu ruangan selama waktu tertentu. Hanya penuaan alami yang dapat menghasilkan cluster atau pengelompokan elemen paduan terlarut. Salah satu contohnya adalah paduan aluminium AW-6060, di mana terbentuk kelompok Mg dan Si, yang berdampak pada sifat mekanis yang lebih baik.

Proses penuaan natural dapat memengaruhi sifat mekanik material. Sifat mekanik aluminium paduan tinggi biasanya lebih buruk setelah mengalami proses penuaan selama beberapa waktu, sedangkan aluminium paduan rendah memiliki sifat mekanik yang lebih baik. Aluminium jenis ini banyak digunakan dalam industri otomotif dan konstruksi. Penelitian alami telah dilakukan untuk meningkatkan sifat mekanik paduan aluminium (Suyanto et al.).

C. *Precipitation Hardening*

Proses memberikan perlakuan panas pada paduan aluminium atau baja dikenal sebagai penguatan presipitasi. Proses ini dilakukan pada aluminium dengan tujuan meningkatkan kekerasan dan kekuatan bahan (Rochman, 2010). Setelah paduan aluminium menerima perlakuan panas, partikel nano kecil yang tersebar rata pada matriks menyebabkan peningkatan kekuatan. Partikel kecil ini disebut presipitat (Gede, 2016).

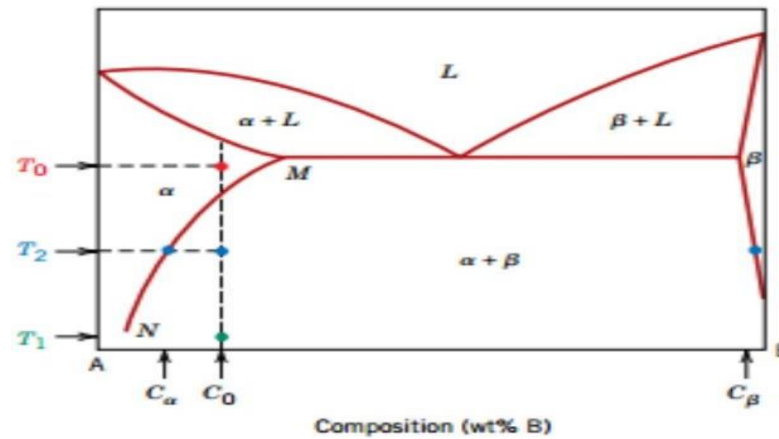


Gambar 1. Skema Proses Perlakuan Panas dengan Cara *Precipitation Hardening*

(Sumber: Callister, 2007)

Precipitation hardening proses dilakukan dalam dua tahap: *heat treatment solution*, *quenching*, dan *precipitation heat treatment*. Pemanasan logam paduan aluminium dalam dapur pemanas dengan suhu di bawah 577°C , atau hingga mencapai zona satu fasa, adalah metode pengobatan panas solusi. Setelah itu, waktu penahanan atau penyimpanan disesuaikan dengan jenis dan ukuran benda kerja. Pada fase ini, fasa-fasa yang ada pelarut menjadi larutan padat. Tujuan dari proses ini (fase tunggal) adalah untuk mendapatkan larutan padat yang mendekati homogen (Gede, 2016). Tujuan pengobatan larutan panas juga adalah untuk mendapatkan larutan padat yang mendekati homogen. Pertama, logam paduan aluminium dipanaskan dalam dapur pemanas hingga mencapai temperatur T_0 . Pada temperatur T_0 , fase logam paduan aluminium akan menjadi kristal campuran α dalam larutan.

Proses *solution heat treatment* dapat dijelaskan dalam gambar 2. berikut:



Gambar 2. Diagram Fase Pemanasan Logam
Paduan Sumber: (Callister, D. William dan David
G.Rethwisch, 2013)

Mendinginkan logam yang telah dipanaskan dalam dapur pemanas ke dalam media pendingin yang biasanya terdiri dari air adalah tahap kedua dalam proses pemanasan dan tahap yang paling penting dalam proses perlakuan panas. Tujuan *quenching* adalah untuk memastikan bahwa larutan padat homogen yang terbentuk pada solusi perlakuan panas dan kekosongan atom tetap pada tempatnya pada temperatur tinggi dalam keseimbangan termal (Paryono, 2011).

Pada tahap *quenching*, jenuh SSS (Super Saturated Solid Solution α), yang merupakan fasa tidak stabil pada temperatur normal atau temperatur ruang, akan menghasilkan larutan padat. Proses *quenching* juga menyebabkan banyak kekosongan atom tetap. Zona Guinier-Preston (Zona GP) adalah kondisi di dalam paduan di mana terdapat *agregasi* atau pengelompokan atom padat. Proses difusi atom pada temperatur ruang dapat dibantu oleh kekosongan atom yang besar. Tahun 1999, Prof. Tata Surdia, MS. Met. E., dan Prof. Dr. Shinroku Saito. 1999)

Tahap berikutnya dalam proses penuaan, yaitu penuaan, dimulai dengan pemanasan. *Aging* atau penuaan adalah istilah untuk perubahan sifat yang terjadi dengan berjalanya waktu. Penuaan paduan aluminium dikenal sebagai penuaan alami (penuaan alami) dan penuaan buatan (penuaan buatan). Penuaan buatan adalah penuaan paduan aluminium yang dipanaskan oleh penuaan dalam keadaan panas. Penuaan buatan terjadi pada suhu ruang antara 100–200 °C dan waktu penahanan 1–24 jam. Penuaan alami (natural aging) terjadi pada suhu ruang antara 15°–25°C dan waktu penahanan 5–8 hari. (Fuad Abdillah,2010).

D. Aluminium

Aluminium diambil dari kata latin *alumen*, alum. Orang Yunani dan Romawi kuno menggunakan tawas sebagai cairan penyumbat pori dan sebagai pewarna untuk menajamkan. Pada tahun 1787, Lavoisier mengira bahwa unsur ini adalah oksida logam yang tidak diketahui. Pada tahun 1761, de Morveau mengusulkan nama aluminium untuk basis tawas. Pada tahun 1827, Wohler dianggap sebagai ilmuwan yang berhasil mengisolasi logam ini. Pada tahun 1807, Davy mengusulkan untuk menamai logam ini dengan aluminium, meskipun ia kemudian setuju untuk menggantinya dengan aluminium. Nama marga ini sama dengan nama banyak unsur lain yang diakhiri dengan "ium". Aluminium adalah unsur logam paling umum di Bumi, dengan hampir 8% kerak bumi adalah aluminium. Sir Humphrey Davy menemukan aluminium sebagai unsur pada tahun 1809 dan H.C. pertama dikurangi menjadi logam. Oersted pada tahun 1955. Bijih bauksit merupakan bahan utama dalam produksi aluminium, ditemukan dalam batuan di kerak bumi. Aluminium masih terdapat dalam batuan ini dalam bentuk silikat dan komponen lain yang lebih kompleks. Karena komponen aluminium ini sangat kompleks, diperlukan penelitian lebih dari 60 tahun untuk menemukan cara yang

ekonomis untuk membuat aluminium dari bijih bauksit. (Surdia .T., Saito, S., 1995)

Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik. Aluminium memiliki kelebihan yaitu memiliki massa jenis yang rendah, harga yang relatif murah, konduktor listrik dan panas yang baik, kemampuan menahan korosi, serta ketahanan oksidasi (Aziz, 2017). Kekuatan mekanik pada Aluminium dapat ditingkatkan dengan penambahan unsur padu, seperti Cu, Mg, Zn, Mn dan Ni (Santoso, 2018). Peningkatan kekuatan mekanik Aluminium dapat dilakukan dengan menambahkan unsur Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni dan sebagainya dengan cara satu persatu atau bersama-sama yang dapat memberikan sifat-sifat baik lainnya seperti ketahanan korosi, tahan terhadap aus, memiliki koefisien pemuaian rendah dan sebagainya. Penggunaannya material ini bukan hanya digunakan untuk peralatan rumah tangga, tetapi dapat digunakan juga sebagai keperluan material pesawat terbang, mobil, kapal laut, konstruksi dan sebagainya (Utama, 2009).

E. Klasifikasi Aluminium

Menurut Standar H35.1 American National Standard Institute (ANSI) dan Asosiasi Aluminium (AA), sistem modifikasi paduan aluminium menggunakan empat angka, dengan angka pertama menunjukkan unsur dominan paduan:

- 1xxx : Mendekati kandungan Aluminium murni (99% Al)
- 2xxx : Tembaga (Cu)
- 3xxx : Mangan (Mn)
- 4xxx : Silicon (Si)
- 5xxx : Magnesium (Mg)
- 6xxx : Magnesium dan Silicon (Mg, Si)

- 7xxx : Seng (Zn)
- 8xxx : Paduan lainnya
- 9xxx : Dalam pengembangan

Sistem penamaan aluminium tempa (*wrought alloy*) yang ditunjukkan di atas dapat diartikan sebagaimana pada digit pertama menunjukkan jenis unsur paduan utamanya, sedangkan pada digit kedua menunjukkan modifikasi dari paduan. Jika digit keduanya 0 mengindikasikan paduan orisinil dan integer 1-9 menunjukkannya adanya modifikasi pada paduan orisinil. Pada digit ketiga dan keempat tidak menunjukkan signifikansi khusus, melainkan hanya untuk membedakan kelompok paduan aluminium yang berbeda. Berdasarkan metode penguatannya, aluminium dibagi menjadi dua kelompok yaitu *heat treatable alloys* dan *non heat treatable alloys*. *Heat treatable alloys* adalah paduan aluminium yang dapat diperkeras dengan penuaan. Sementara *non heat treatable alloys* merupakan paduan aluminium yang tidak dapat diperkuat dengan penuaan melainkan dengan penguatan larutan-padat (*solid solution strengthening*), penguatan butir (*strain hardening*) atau penguatan dispersi (*dispersion strengthening*). Paduan tempa yang dapat diperkuat melalui perlakuan panas adalah kelas 2xxx, 6xxx, 7xxx, dan beberapa jenis dari kelas 8xxx. Sedangkan pada seri 1xxx, 3xxx, 4xxx, dan 5xxx merupakan *non heat treatable alloys* yang sifat mekaniknya diperoleh melalui mekanisme *hot working* dan *cold working* selama proses produksi dan dalam pekerjaan pasca produksi dengan proses penguatan seperti penguatan regangan dan *full annealing*. Hal ini dilakukan untuk paduan milik 1xxx, 3xxx, 4xxx, dan 5xxx series. (Abdan Syakura. 2011).

F. Sifat Mekanik Aluminium

Aluminium merupakan bahan yang sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari hal dikarenakan aluminium memiliki sifat-sifat yang sangat baik dan mempunyai keunggulan dibandingkan dengan material lain. Berikut ini merupakan sifat-sifat umum aluminium. Adapun sifat-sifat mekanik dari aluminium adalah sebagai berikut:

1. Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik adalah besar tegangan yang dihasilkan dari pengujian tarik. Nilai tertingginya dapat dilihat pada kurva tegangan-regangan hasil pengujian dan pada saat necking terjadi. Kekuatan tarik dapat digunakan sebagai ukuran kekuatan bahan, tetapi itu bukanlah ukuran kekuatan alami. Untuk aplikasi yang membutuhkan kekuatan tarik yang tinggi, aluminium paduan diperlukan karena aluminium murni memiliki kekuatan tarik yang sangat rendah, sekitar 90 MPa. Aluminium paduan dengan logam lain yang telah melalui berbagai perlakuan termal dapat mencapai kekuatan tarik hingga 600 MPa (paduan 7075).

2. Kekerasan

Kekerasan adalah kombinasi berbagai sifat bahan yang mencegah deformasi bahan saat gaya diterapkan. Faktor-faktor seperti plastisitas, elastisitas, kekuatan tarik, ductility, viskoelastisitas, dan lainnya memengaruhi kekerasan suatu bahan. Ada banyak cara untuk mengukur dan menguji kekerasan. Kekerasan diukur dengan metode Brinell, Vickers, Mohs, dan Rockwell. Untuk aplikasi yang membutuhkan kekerasan, aluminium harus dipadukan dengan logam lain atau diproses secara fisik atau termal. Ini karena kekerasan aluminium murni sangat rendah, sekitar 20 skala Brinell. Paduan aluminium dengan kandungan Cu

sebesar 4,4% yang dipanaskan dan disimpan pada suhu tinggi dapat menghasilkan kekerasan Brinnel sebesar 160.

3. *Ductility* (kelenturan)

Sifat mekanis suatu bahan yang dikenal sebagai ductility menjelaskan seberapa jauh bahan tersebut dapat berubah bentuk plastis tanpa retakan. Dalam pengujian tarik, kekuatan ditunjukkan oleh bentuk necking. Bahan dengan kekuatan tinggi akan mengalami necking yang sangat sempit, sedangkan bahan dengan kekuatan rendah hampir tidak akan mengalami necking sama sekali. Ductility diukur dalam pengujian tarik dengan menggunakan skala yang disebut elongasi. Seberapa besar suatu bahan bertambah panjang selama pengujian kekuatan tarik disebut elongasi. Elongasi diukur dalam persentase pertambahan panjang per panjang awal bahan yang diujikan.

4. *Recyclability* (daya untuk didaur ulang)

Aluminium merupakan salah satu bahan yang dapat didaur ulang tanpa menurunkan kualitas awalnya. Peleburan aluminium hanya memerlukan sedikit energi yaitu sekitar 5% dari energi yang diperlukan untuk memproduksi logam utama yang diperlukan dalam proses daur ulang.

5. *Reflectivity* (daya pemantulan)

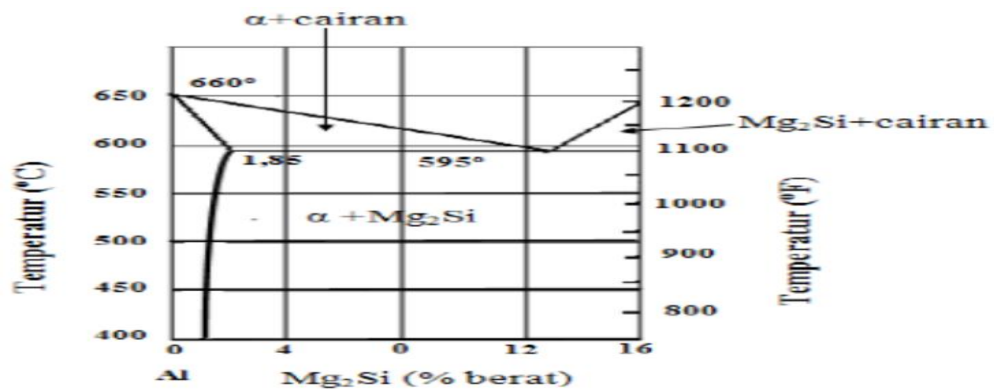
Salah satu bahan yang dapat didaur ulang tanpa kehilangan kualitasnya, aluminium hanya membutuhkan 5% energi untuk memproduksi logam utama yang dibutuhkan untuk proses daur ulang.

G. Aluminium 6061

Unsur paduan utama aluminium seri 6061 adalah Mg dan Si. Itu juga dapat diproses dengan panas dan tahan terhadap umur. Dengan bertambahnya usia, presipitat yang terbentuk di dalam suatu penyelesaian solid yang sangat

saturasi (ssss) menjadi lebih keras seiring dengan ukuran dan jumlah presipitat. Setelah mencapai titik tertinggi, material menjadi terlalu tua, mengurangi sifat mekaniknya. Komposisi aluminium seri 6xxx, paduan Al-Mg-Si, menunjukkan kekuatan tempaan yang rendah. Namun, sangat baik dalam membentuknya untuk penempaan dan ekstrusi. Tahun 2017, Tomoya Aoba, Masakazu Kobayashi, dan Hiromi Miura.

Karena memiliki berbagai keunggulan, seperti kemampuan permesinan yang baik, penyelesaian permukaan yang sempurna, kekuatan yang tinggi dan ringan, dan tahan korosi, paduan aluminium seri 6061 sangat populer di industri maju. Menurut ASM Metal Handbook Volume 9, yang diterbitkan pada tahun 2004, aluminium seri 6061 memiliki komposisi kimia dengan persentase unsur Al yang paling besar, diikuti oleh persentase unsur Mg dan Si. Karena seri 6061 merupakan paduan dari Al-Mg-Si, komposisi unsur silikon (Si) dan magnesium (Mg) sangat mempengaruhi sifat mekanik paduannya, sehingga



Gambar 3. Diagram Fasa Biner Semu Mg_2Si

(Sumber: Surdia, T. & Saito, S., 1995)

H. Paduan Aluminium

Logam paduan aluminium termasuk dalam tiga kategori: cor atau tempa; perlakuan panas; dan bahan yang terkandung di dalamnya. Logam paduan aluminium dapat diperlakukan panas atau tidak dapat diperlakukan panas. Berikut ini adalah beberapa elemen paduan aluminium yang memiliki efek positif dan negatif.

1. Magnesium (Mg)

Budenski, K: Michael (1999) mengatakan bahwa kandungan magnesium (Mg) meningkatkan kekuatan melalui penguatan larutan padat (penguatan larutan padat), dan dengan paduan sekitar 3%, pengerasan prestipitasi terjadi. Mg memberikan sifat kekuatan, kemampuan dilas, dan ketahanan korosi yang sangat baik. Namun, dampaknya muncul saat proses pengecoran.

2. Tembaga (Cu)

Menurut Elwin L. Rooy (1997), unsur tembaga (Cu) dalam paduan aluminium meningkatkan kekerasan bahan, meningkatkan kekuatan tarik, dan membuat proses pengerjaan dengan mesin menjadi lebih mudah. Paduan yang mengandung 4-6% Cu memiliki reaksi panas yang baik. Biasanya, tembaga mengalami penurunan ketahanan terhadap korosi secara keseluruhan, serta penurunan ketahanan terhadap hot tear dan cor, yang juga dikenal sebagai kasatabilitas. Namun, efek negatifnya adalah mengurangi ketahanan korosi material, yang mengurangi keuletan.

3. Seng (Zn)

Menurut Budenski, K: Michael (1999), sifat mampu cor seng rendah; paduan seng yang tinggi cenderung retak dengan mudah saat panas (retak panas) dan mengalami penyusutan yang tinggi, dengan prosentase 10%. Selain itu, kombinasi seng dengan elemen lain meningkatkan kekuatan dengan sangat tinggi, dan konsentrasi rendah paduan kembar (kurang dari 3%) memiliki efek yang tidak berguna.

4. Mangan (Mn)

Menurut Budenski, K: Michael (1999), unsur mangan (Mn) dalam paduan alumunium memiliki efek positif, yaitu meningkatkan kekakuan melalui penguatan larutan padat (Strengthening Solid Solution), dengan paduan sekitar 3% (0,5%) dan ketahanan pada suhu tinggi, meningkatkan ketahanan korosi, dan mengurangi efek buruk unsur besi. Selain itu, efek negatifnya termasuk menurunkan kemampuan penuaan dan meningkatkan kekasaran butiran pertikel.

5. Silikon (Si)

Menurut Budenski, K: Michael (1999), unsur mangan (Mn) dalam paduan alumunium memiliki efek positif, yaitu meningkatkan kekakuan melalui penguatan larutan padat (Strengthening Solid Solution), dengan paduan sekitar 3% (0,5%) dan ketahanan pada suhu tinggi, meningkatkan ketahanan korosi, dan mengurangi efek buruk unsur besi. Selain itu, efek negatifnya termasuk menurunkan kemampuan penuaan dan meningkatkan kekasaran butiran pertikel.

6. Silikon (Si)

Menurut Budenski, K: Michael (1999), unsur silikon (Si) dalam alumunium paduan membantu proses pengecoran, meningkatkan mampu alir, memperbaiki sifat dan karakteristik coran, menurunkan penyusutan

coran, dan meningkatkan ketahanan korosi. Di sisi lain, unsur silikon memiliki efek negatif, yaitu menurunkan keuletan material terhadap bahan kejut, dan coran akan rapuh jika kandungannya terlalu tinggi.

Penambahan unsur seng pada paduan Al-Si tidak akan berdampak besar karena kelarutan seng dapat mencapai 88,8% pada 442°C. Namun, ketika digabungkan dengan tembaga (Cu) dan magnesium (Mg), dapat menghasilkan sifat kekerasan dan kekuatan karena terbentuknya paduan head-treatment $MgZn_2$ dan $CuAl_2$. Namun, dalam jumlah yang berlebihan, unsur Zn meningkatkan kegetasan, mengurangi ketangguhan, dan mengurangi ketahanan korosi. Oleh karena itu, kandungannya dibatasi hanya pada 0,1% hingga kurang dari 1%.

I. Uji Kekerasan

Kekerasan adalah salah satu sifat mekanik suatu material. Ketika suatu material diberikan gaya, struktur mikronya tidak dapat kembali ke bentuknya semula, yang berarti bahwa material tersebut tidak dapat kembali ke bentuknya semula. Khususnya, kekerasan suatu material harus diketahui. Kemampuan suatu material untuk menahan beban indentifikasi atau penetrasi disebut kekerasan (Hadi, 2011).

Ketika gaya tertentu diberikan pada suatu benda uji yang dipengaruhi oleh pembebanan, benda uji akan deformasi; ini dikenal sebagai pengujian kekerasan. Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengukur kekerasan logam, bukan kekerasan bahan itu sendiri. Karena tingkat kekerasan logam didasarkan pada standar satuan yang baku, metode pengujian kekerasan logam diatur dan diakui oleh standar industri global. Teknik memiliki tiga jenis pengujian kekerasan: pengujian kekerasan Rockwell, pengujian kekerasan Brinell, dan pengujian kekerasan Vickers.

Pengujian kekerasan material metode Rockwell menggunakan skala A, B, C, D, E, dan seterusnya untuk mengukur kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahannya terhadap indentor yang terbuat dari bola baja atau kerucut yang ditekan pada permukaan material yang diuji. Skala A memiliki persyaratan khusus untuk digunakan, sementara skala E mengukur kekerasan material yang diuji.

Tabel 1. 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	
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. Bearing metals and other very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that does not give anvil effect.
K	1/8-in. (3.175-mm) ball	150	red	
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	

Tabel 2. Skala Kekerasan Metode Pengujian *Rockwell* (Calilister,2007)

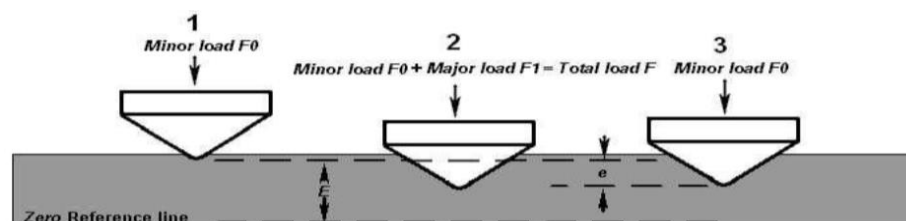
Skala	Penekan	Beban			Skala Kekerasan	Warna Angka
		Awal	Utama	Jumlah		
A	Kerucut intan 120°	10	50	60	100	Hitam
B	Bola baja 1,558 mm (1/16")	10	90	100	130	Merah
C	Kerucut intan 120°	10	140	150	100	Hitam
D	Kerucut intan 120°	10	90	100	100	Hitam
E	Bola baja 3,175 mm (1/8")	10	90	100	130	Merah
F	Bola baja 1,558 mm	10	50	60	130	Merah
G	Bola baja 1,558 mm	10	140	150	130	Merah
H	Bola baja 3,175 mm	10	50	60	130	Merah
K	Bola baja 3,175 mm	10	140	150	130	Merah
L	Bola baja 6,35 mm (1/4")	10	50	60	130	Merah
M	Bola baja 6,35 mm	10	90	100	130	Merah
P	Bola baja 6,35 mm	10	140	150	130	Merah
R	Bola baja 12,7 mm (1/2")	10	50	60	130	Merah
S	Bola baja 12,7 mm	10	90	100	130	Merah
V	Bola baja 12,7 mm	10	140	150	130	Merah

Cara penggunaan skala di atas adalah dengan menentukan dan memilih nilai maksimum kekerasan yang dapat diterima oleh skala tertentu. Jika skala tertentu tidak dapat menunjukkan nilai kekerasan yang tepat, maka kita dapat menentukan skala lain yang dapat menunjukkan tingkat kekerasan yang jelas. Tabel 3 di bawah ini berfungsi sebagai acuan untuk menentukan dan memilih skala kekerasan.

Tabel 3. Skala Kekerasan dan Pemakaiannya (Callister, 2007)

Skala	Pemakaiannya
A	Untuk <i>carbide cementite</i> , baja tipis, dan baja dengan lapisan keras yang tipis
B	Untuk paduan tembaga, baja lunak, paduan aluminium, dan besi tempa
C	Untuk baja, besi tuang keras, besi tempa peritik, titanium, baja dengan lapisan keras yang dalam, dan bahan-bahan lain yang lebih keras daripada skala B-100
D	Untuk baja tipis, baja dengan lapisan keras yang sedang, dan besi tempa peritik
E	Untuk besi tuang, paduan aluminium, magnesium, dan logam-logam bantalan
F	Untuk paduan tembaga yang dilunakkan dan pelat lunak yang tipis
G	Untuk besi tempa, paduan tembaga, nikel-seng, dan tembaga-nikel
H	Untuk aluminium, seng, dan timbal
K	Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan-bahan tipis
L	Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan-bahan tipis
M	Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan-bahan tipis
P	Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan-bahan tipis
R	Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan-bahan tipis
S	Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan-bahan tipis
V	Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan-bahan tipis

Metode Rockwell, yang digambarkan pada gambar 4, melibatkan menekan benda uji dengan beban minor (Minor Load F_0) sebelum menekannya dengan beban mayor (Major Load F_1). Pada langkah ketiga, beban mayor diambil sehingga beban minor tersisa. Pada kondisi ketiga, indenter ditahan seperti pada saat beban total F .



Gambar 4. Prinsip Kerja Metode Pengukuran Kekerasan *Rockwell*

(Sumber: Hadi, 2011)

J. Uji Struktur Mikro

Struktur mikro merupakan struktur yang terdapat dalam suatu material dalam susunan yang sangat kecil. Struktur mikro hanya dapat diketahui menggunakan mikroskop yang mampu melakukan pembesaran yang baik seperti mikroskop elektron, mikroskop sinar x dan mikroskop ion. Pengamatan struktur mikro diawali dengan memotong material uji yang akan kita amati. Selanjutnya material yang telah dipotong, kemudian diampelas hingga halus.

Struktur yang terletak dalam susunan yang sangat kecil dalam suatu material disebut struktur mikro. Hanya dengan menggunakan mikroskop yang memiliki kemampuan pembesaran yang tinggi, seperti mikroskop elektron, mikroskop sinar x, dan mikroskop ion, struktur mikro dapat dipahami. Pengamatan struktur mikro dimulai dengan memotong bahan uji yang akan kita amati. Setelah itu, bahan tersebut diampelas hingga halus.

Dengan ampelas yang kasar hingga halus, pengampelasan ini dilakukan berulang kali.

Setelah halus, permukaan material dipoles dengan metal polish hingga tampak seperti kaca dan mengkilap tanpa goresan. Selanjutnya, pengetsaan dilakukan dengan mencelupkan bahan ke dalam larutan etsa dengan permukaan menghadap ke atas. Larutan harus tersirkulasi saat pencelupan melakukan reaksi pada permukaan benda uji, harus dicuci bersih lalu dikeringkan dan diperiksa di bawah mikroskop atau difoto. Studi struktur mikro menghasilkan berbagai bentuk struktur, ukuran dan bagian struktur mikro (Zainuri, 2011)

struktur mikro dan peningkatan kekerasan pada spesimen saling berhubungan. Sebagaimana diketahui bahwa spesimen yang memiliki butir lebih kecil cenderung memiliki angka kekerasan yang lebih tinggi (Garcia-renteria, Torrez-gonzalez and Cruz-hern, 2020).

Peningkatan kekerasan pada paduan aluminium 6061 adalah dikarenakan pembentukan endapan (*presipitat*) dari Mg-Si yang ditandai dengan bintik-bintik hitam pada hasil pengujian struktur mikro. Endapan (*presipitat*) inilah yang memiliki sifat keras, yang kemudian mengisi pada batas butir paduan, sehingga menyebabkan paduan mengalami peningkatan kekerasan. Adanya penurunan angka kekerasan pada spesimen dengan perlakuan Na+AA (6 jam) diduga spesimen telah mengalami *over aging*, sehingga butir kembali membesar. Spesimen dengan butir yang relatif besar akan cenderung menurun kekerasannya (Zhang, 2016; Rymer et al., 2020).

Menurut penelitian lain, *over aging* disebabkan oleh penggunaan suhu atau waktu yang lebih lama dari yang diperlukan oleh material untuk mencapai puncak penuaan. *Over aging* menyebabkan aglomerasi partikel di fase presipitasi, yang mengakibatkan penurunan kekuatan (Herring, 2019).

K. Metalografi

merupakan bidang studi yang mempelajari mikrostruktur dan makrostruktur logam, paduan logam, dan material lainnya serta hubungannya dengan sifat material. Dalam istilah lain, itu adalah proses mengukur suatu material secara kualitatif dan kuantitatif menggunakan data yang dikumpulkan dari material tersebut. Karena struktur mikro sangat memengaruhi sifat fisik dan mekanik logam, setiap logam akan memiliki sifat yang berbeda tergantung pada struktur mikronya, penelitian tentang struktur mikro sangat penting dalam ilmu metalurgi.

Logam dengan struktur mikro yang kecil akan memiliki kekerasan yang lebih tinggi, dan logam dengan struktur mikro yang besar akan menjadi lebih ulet atau kurang keras. Komposisi kimia logam atau paduan tersebut, serta proses yang dialaminya, memengaruhi struktur mikro itu sendiri.

Tujuan metalografi adalah untuk mendapatkan struktur mikro dan makro logam sehingga sifat mekaniknya dapat dianalisis. Dua kategori pengamatan metalografi adalah sebagai berikut:

- a. Metalografi makro
- b. Metalografi mikro

Untuk memastikan bahwa benda uji dapat dilihat dengan jelas saat dilihat melalui mikroskop optik, tahap preparasi harus dilakukan. Ini dilakukan untuk memastikan bahwa hasil gambar pada metalografi sangat penting. Semakin baik persiapan benda uji, semakin jelas gambar struktur yang dihasilkan. Berikut adalah langkah-langkah yang diperlukan untuk mempersiapkan:

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

Pengamatan struktur mikro dimulai dengan memotong bahan uji yang akan kita amati. Setelah itu, bahan tersebut diampelas hingga halus. Dengan ampelas yang kasar hingga halus, pengampelasan ini dilakukan berulang kali. Setelah halus, permukaan material dipoles dengan metal polish hingga tampak seperti kaca dan mengkilap tanpa goresan. Selanjutnya, pengetsaan dilakukan dengan mencelupkan bahan ke dalam larutan etsa dengan permukaan menghadap ke atas. Benda uji harus digerakkan saat reaksi terjadi pada permukaannya karena pencelupan dan larutan harus tersirkulasi. Setelah itu, bahan uji harus dibersihkan, dikeringkan, dan diamati atau difoto menggunakan mikroskop. Pemeriksaan struktur mikro akan menghasilkan berbagai bentuk, ukuran, dan komponen struktur (Zainuri, 2011).

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Adapun waktu dan tempat dilaksanakannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan pada tanggal 29 Agustus sampai dengan 31 Oktober 2022.

2. Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di beberapa tempat yaitu:

- a. Proses perlakuan panas dilakukan di Laboratorium Material Teknik, Universitas Lampung.
- b. Pengujian Struktur Mikro dilakukan di Laboratorium LIPI Tanjung Bintang Lampung.
- c. Pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Material Teknik dan Laboratorium Metrologi Industri, Universitas Lampung.

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 paduan seri 6061.



Gambar 5. Tungku (*Furnace*)

Tabel 4. Spesifikasi Mesin (*Furnace*)

Model	L64/14
Tahun	2000
Frekuensi	50 HZ
Temperatur Max	1400°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 Lampung dengan standar DIN 50103. Alat ini digunakan untuk menguji tingkat kekerasan Aluminium-6061 sebelum dan sesudah mendapat perlakuan panas Adapun pengujian kekerasan dalam penelitian ini menggunakan metode *rockwell* dan menggunakan indenter bola baja 1/8”.



Gambar 6. Alat Uji Kekerasan (*Hardness Tester*)

Tabel 5. Spesifikasi Alat Uji Kekerasan

Nama alat	<i>Hardness Tester</i>
<i>PreLoad</i>	10 kgf (98,07 N)
<i>Test Load</i>	60-100–150 <i>Rockwell</i>
	63,5–125–87,5 <i>Brinell</i>
	10-60 <i>Vickers</i>
<i>Working</i>	<i>Rockwell traditional – electronic control</i>
<i>Feasible Test</i>	<i>Rockwell, Brinell + Vickers</i>
<i>Hight and Depth Capacity</i>	215 x 190 mm
<i>Diameter of coloumn and anvil</i>	60 x 60 mm
<i>Max load</i>	1.000 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 40 cm, lebar 30 cm dan tebal 10 cm.



Gambar 7. 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 8. Amplas

2. Bahan

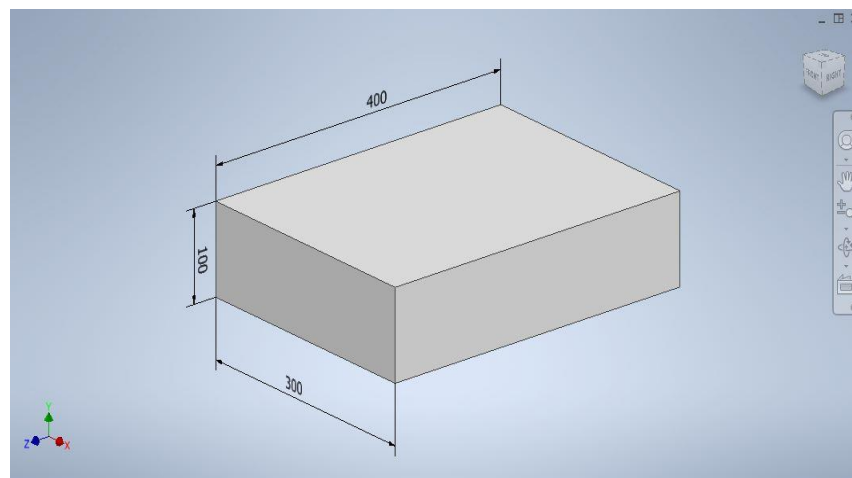
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Aluminium paduan seri 6061

Alumunium paduan seri 6061 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 9. Aluminium paduan seri 60



Gambar 10. Dimensi alumunium paduan seri 6061

b. air

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



Gambar 11. Air

C. Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Persiapan spesimen

Menyiapkan spesimen berupa Aluminium 6061 yang akan digunakan dalam proses pengujian.

2. Perlakuan Panas *Precipitation Hardening*

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

a. *Solution Heat Treatment*

1. Memanaskan logam paduan Aluminium 6061 dalam *furnace* dengan temperatur 550°C .
 2. Melakukan penahanan atau *holding time* selama 1 jam
- b. *Quenching*
- Mendinginkan logam yang telah dipanaskan dalam *furnace* ke dalam media pendingin dengan menggunakan air.

c. *Aging* (Penuaan)

1. *Natural aging*

Proses menahan material pada suhu ruangan dalam jangka waktu 2 hari, 7 hari dan 14 hari α jenuh dan αSS dipanaskan di bawah suhu solvas untuk menghasilkan sebuah endapan halus terdispersi.

2. Uji kekerasan (*Hardness*)

Adapun tahapan dalam uji kekerasan adalah sebagai berikut:

- a. Mempersiapkan spesimen yang telah di amplas terlebih dahulu.
- b. Mengkalibrasi alat uji kekerasan.
- c. Memasang indentor yang berbentuk bola baja 3,175 mm (1/8) dengan skala merah.
- d. Meletakkan sesimen Al 6061 pada meja uji dari alat, kemudian mengatur handle alat uji hingga indentor menyentuh permukaan spesimen.
- e. Memutar *handle* hingga jarum dari skala minor menunjukkan angka 0.
- f. Kemudian menarik tuas beban berlawanan arah jarum jam dan tunggu hingga 10 detik, lalu tarik kembali tuas searah jarum jam.
- g. Menurunkan *handle* landasan hingga indentor tidak lagi menyentuh spesimen.
- h. Kemudian mencatat hasil uji yang diperoleh.

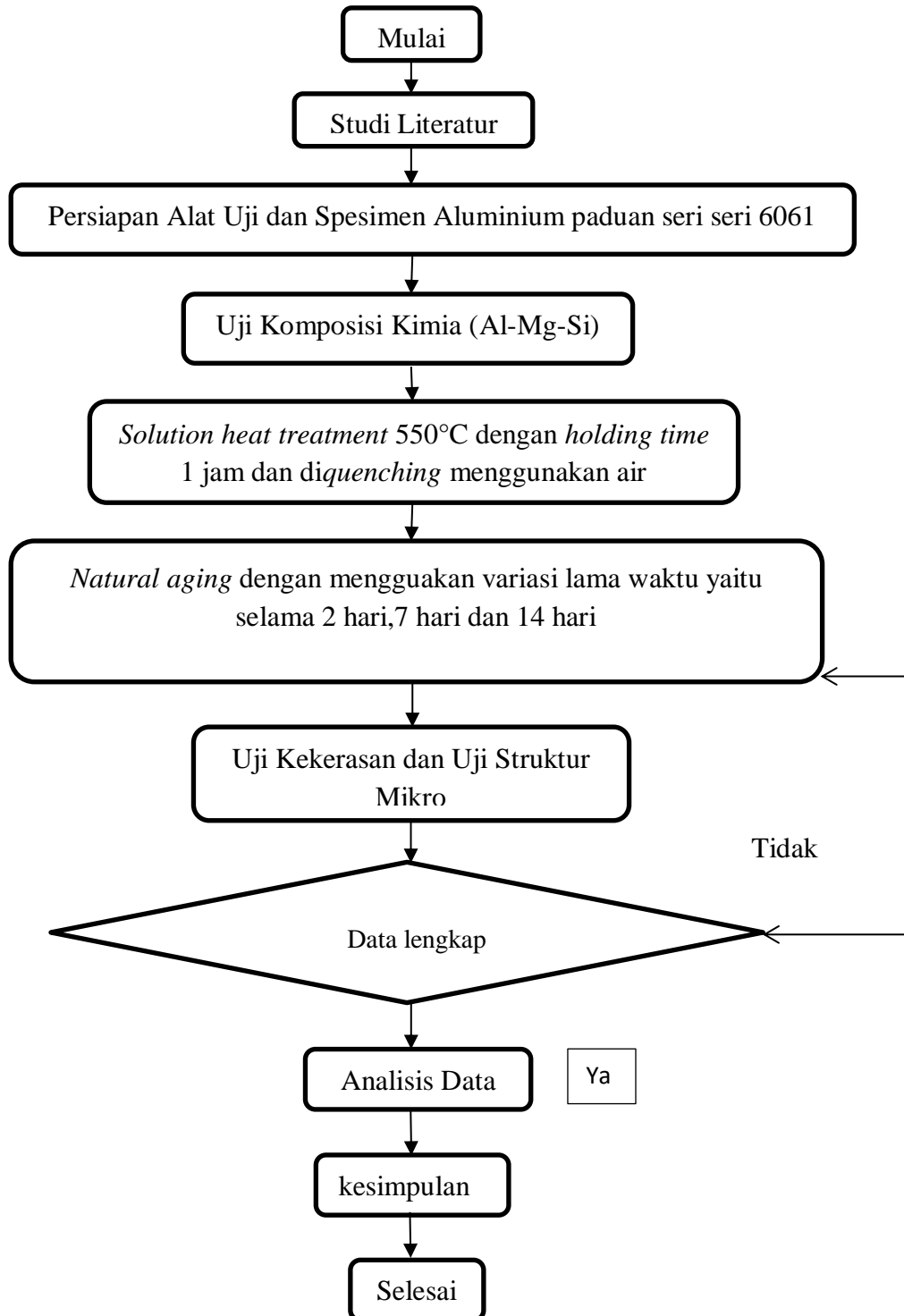
3. Uji stuktur mikro

Adapun tahapan dalam pengujian struktur mikro adalah sebagai berikut:

- a. Menyiapkan spesimen dengan dimensi yang sesuai yaitu 10 x 10 mm.
- b. Menyiapkan cetakan untuk proses *mounting*.
- c. Menuangkan resin *polyster* yang telah dicampur katalis pada cetakan spesimen, lalu menunggu hingga kering dan mengeras sempurna.
- d. Mengeluarkan spesimen dari cetakan spesimen.
- e. Menghaluskan permukaan spesimen aluminium 6061 dengan *polisher grinding machine* dengan tingkatan amplas, 360,400,600,800,1000,1500 dan 2000.
- f. Menggosok permukaan yang telah dihaluskan dengan autosol sampai permukaan benar-benar mengkilap.
- g. Mencelupkan permukaan spesimen yang telah mengkilap ke dalam larutan etsa (3 ml HCL, 2 ml HF, 5 ml HNO₃, 190 ml air).
- h. Mengamati struktur mikro dan permukaan spesimen aluminium 6061 dengan menggunakan mikroskop optik.

D. Diagram Alir

Adapun diagram alir dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 12. Diagram alir

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Adapun Kesimpulan yang didapatkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Proses penuaan alami dapat meningkatkan kekerasan aluminium 6061.
2. Kekerasan maksimal dicapai dengan penuaan alami dalam waktu 7 hari.
3. Setelah 7 hari kekerasan cenderung konstan.
4. Pengamatan struktur mikro selama 7 hari penuaan alami, terlihat bahwa fasa α'' lebih banyak dibandingkan struktur mikro pada waktu lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa kekerasan penuaan alami 7 hari lebih besar daripada fluktuasi penuaan alami 2 hari.

B. Saran

Adapun saran dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Disarankan untuk selalu mengecek suhu selama perlakuan panas. Karena jika kenaikan suhu terlalu tinggi akan menimbulkan gelembung-gelembung pada bahan Al 6061 sehingga permukaan Al tidak rata dan teroksidasi. Hal ini membuat bahan menjadi sangat lunak, sehingga tidak dapat dibaca selama uji kekerasan.
2. Sebaiknya menggunakan uji SEM EDX untuk mendapatkan hasil struktur mikro yang lebih jelas.
3. Untuk penelitian selanjutnya perlu memperhatikan setiap perlakuan panas, melakukan pengujian terhadap kekerasan dan struktur mikro, agar hasil data yang diperoleh sesuai dengan teori yang ada.
4. Untuk penelitian selanjutnya, perlu dilakukan uji sifat mekanik seperti uji tarik dan uji impak untuk mendukung uji kekerasan dan struktur mikro.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdan Syakuura. 2011. Proses Pengecoran Vakum dan Analisis Evolusi Mikrostruktur Paduan Al-Zn-Mg-Cu dengan Variasi Komposisi Selama Aging Pada Temperatur 120°C dan 190°C. *Journal Universitas Indonesia*.
- Agy Randhiko, dkk, 2004. Pengaruh Post Weld Treatment (PWHT) T6 pada Aluminium Alloy 6061-0 dan pengelasan Longitudinal Tungsten Inert Gas terhadap sifat mekanik dan struktur mikro. Universitas Diponegoro
- Angga, Anugrah, Novrio. 2018. Pengaruh Aging 200°C dengan Waktu 1-9 Jam Terhadap Sifat Mekanik Al-Cu Remelting. *Skripsi*. Universitas Sanatha Darma. Yogyakarta.
- ASM Handbook Vol 9. 2004. *Metallography And Microstructure*. ASM International.
- ASTM International, Designation: E18-15. *Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials*. ASTM International.
- Aziz, Afif. F., Kiryanto dan Santosa, Ari. W. B. 2017. Analisa Kekuatan Tarik, Kekuatan Tekuk, Komposisi dan Cacat Pengecoran Paduan Aluminium Flat Bar dan Limbah Kampas Rem dengan Menggunakan Cetakan Pasir dan

Cetakan Hidrolik sebagai Bahan Komponen Jendela Kapal. *Jurnal Teknik Perkapalan*. Vol. 05, No. 1: 97-103.

Budenski, K. Michael. 1999. *Journal of Materials. The Institute of Materials*

Callister, W. D. 2007. *Materials Science and Engineering: An Introduction, 7th Edition*. John Willey And Sons. New York.

Callister, D. William dan David G. Rethwisch. 2013 *Material Science and Engineering, 9th Edition*. Wiley Binder. United States of America.

Elwin L. Rooy (1997) pengaruh positif unsur tembaga (Cu) dalam paduan aluminium

Fuad, Abdillah. 2010. *Perlakuan Panas Paduan Al-Si Pada Prototipe Piston Berbasis Material Piston Bekas*. Universitas Diponegoro Semarang

Garcia-renteria, M.A., Torrez-gonzalez, R. and Cruz-hern, V.L. (2020) 'First assessment on the microstructure and mechanical properties of gtaw-gmaw hybrid welding of 6061-t6 AA; 59 (october), pp. 658-667. Doi: 10.1016/j.jmapro.2020.09.069.

Gede, I. Brahmada, A. P. 2016. Studi Eksperimental Pengaruh Perlakuan Panas *Precipitation Hardening* T6 dengan Variasi *Holding Time* dan Temperatur *Solution Treatment* Terhadap Sifat Mekanik Paduan Aluminium Adc 12. *Tugas Akhir*. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.

Hadi.2011. *HardnessTesting*. diaksesdi:<http://hadisaputrameng.files.wordpress.com/2011/09/Pertemuan-Ke-2-Properties-Of-Materials-And-TestinGPage02.Pdf>. Pada tanggal 22 Maret 2022. Pukul 08:16 WIB.

Harianto.Joni 2018. Pengaruh *natural aging* terhadap kekerasan pada paduan Al-Mg-Si/Joni Harianto. Diploma thesis. Universitas Negeri Malang.

Herring, D. H. (2019) *overaging*, *Industrial Heating*. Available at: <https://www.industrialheating.com/articles/94773-overaging>.

Jaya. 2015. *Heat Treatment*. Universitas Lampung. Lampung. Diakses di: <http://digilib.unila.ac.id/141442/17/BAB%20II.pdf>. Pada tanggal: 10 September 2021. Pukul 13.00 WIB.

Liao, X. et al. (2020) '*Effect of Pre-Aging, Over-Aging and Re-aging on Exfoliation Corrosion and Electrochemical Corrosion Behavior of Al-Zn-Mg-Cu Alloys*'; pp. 81-88 doi: 10.4236/msce.2020.82008.

Masgik. 2010. *Heat Treatment Pada Aluminium Paduan*. Diakses di: <http://matrudin.files.wordpress.com/2013/10/material-teknik-08th.pdf>. Pada Tanggal: 22 Maret 2022. Pukul 08:34 Wib.

Masrikan, Anthoy Salim. 2005. Pengaruh perlakuan panas *natural aging* terhadap tingkat kekerasan pada paduan Alumunium Magnesium Sulukon. Universitas Negeri Malang.

- Meier, M. 2004. *Heat Treatment of Aluminium Alloys. Department of Chemical Engineering and Materials Science. University of California*
- Nurlina, Nila. 2019. Pengaruh Pengujian Hardening Pada Baja Karbon Rendah Sebagai Solusi Peningkatan Kualitas Material. *Jurnal Qua Teknika*. Vol. 9, No. 1: 11-20.
- Paryono. 2011. Pengaruh Perlakuan Panas T6 Terhadap Kekerasan Pada Paduan Aluminium Adc 12 Hasil Proses *High Pressure Die Casting (HPDC)*. Jurusan Teknik Mesin. Politeknik Negeri Semarang.
- Permatasari, Dessy., Zuhaimi Dan Jannifar, A. 2020. Analisa Sifat Mekanik Aluminium Alloy 6151 setelah Mengalami Perlakuan Panas. *Jurnal Mesin Sains Terapan*. Vol. 4, No. 1: 1-5.
- Pranata D.E.M., Alfirano, & Jajat, M. 2014. Analisis Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Paduan Al 2014 Hasil Proses *Aging* dengan Variasi Temperatur dan Waktu Tahan.
- Prof. Ir. Tata Surdia Ms. Met. E. And Prof. Dr. Shinroku Saito. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. PT. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Rochman, R., Haryati, P. Dan Purbo, C. 2010. Karakterisasi Sifat Mekanik dan Pembentukan Fasa Presipitat Pada Aluminium Alloy 2024-T81 Akibat Perlakuan Penuaan. *Mekanika*. Vol. 8, No. 2: 165-171.

Santoso, Edi Dan Nafi, Maulana. 2018. Analisa Pengaruh Variasi Penambahan Cu dan Waktu *Aging* Pada Hasil Pengecoran AlCu Terhadap Struktur Mikro. *Mekanika-Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 5, No. 2: 6-11.

Sumpena Dan Wardoyo. 2018. Pengaruh Variasi Temperatur Hardening dan Tempering Paduan AlMgSi-Fe12% Hasil Pengecoran terhadap Kekerasan. *Jurnal Engine*. Vol. 2, No. 1: 26-32.

Surdia, T. Saito, S. 1995. *Pengetahuan Bahan Teknik*. PT. Pradnya Pramita. Jakarta.

Suyanto dkk. 2019. Pengaruh *Natural Aging* terhadap sifat mekanis Aluminium paduan A-365 sebagai bahan propeler. Politeknik Negeri Semarang. Semarang

Tsamroh, D. I. (2021) 'Comparison finite element analysis on duralium strength against multistage artificial aging process', *Archives of Materials Science and Engineering*, 109(1), pp. 29–34. doi: 10.5604/01.3001.0015.0512.

Tomoya Aoba, Masakazu Kobayashi, Hiromi Miura. 2017. Effects of Aging On Mechanical Properties And Microstructure Of Multidirectionally Forged 7075 Aluminum Alloy. *Journal Department of Mechanical Engineering*. Toyohashi University of Technology Japan.

Zainuri, dkk.2011. Analisa Kekerasan Dan Struktur Mikro Pada Baja AISI 1018 Akibat Proses *Pack Carburizing* Dengan Variasi Konsentrasi Serbuk Cangkang Keong. Mas.<https://media.neliti.com/media/publications/589/69-ID-analisa-kekerasan-dan-struktur-mikro-pad.pdf>. Diakses pada 17 Mei 2023.

Zhang, W. (2016) 'Rolling, Partial and Full Annealing of 6061 Characterization of Microstructure, Tensile Strengths and Ductility; Materials Sciences and Applications, 07(09), pp. 453-464. doi: 10.4236/msa.2016.79040.