



TUGAS AKHIR - TM 141585

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI
HOLDING TIME DAN TEMPERATUR AGING
PADA PERLAKUAN PANAS *PRECIPITATION*
HARDENING T6 TERHADAP SIFAT MEKANIK
PADUAN ALUMINIUM ADC 12**

Billydiaz Taura Mazda
NRP. 2111 100 008

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Wajan Berata, DEA

**JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016**



FINAL PROJECT - TM 141585

**EXPERIMENTAL STUDY THE EFFECT OF VARIATION
HOLDING TIME AND TEMPERATURE AGING AT HEAT
TREATMENT PRECIPITATION HARDENING T6 ON THE
MECHANICAL PROPERTIES OF ALUMINUM ALLOY
ADC 12**

**Billydiaz Taura Mazda
NRP. 2111 100 008**

**Academic Supervisor
Prof. Dr. Wajan Berata, DEA**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya
2016**

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI HOLDING
TIME DAN TEMPERATUR AGING PADA PERLAKUAN
PANAS PRECIPITATION HARDENING T6 TERHADAP
SIFAT MEKANIK PADUAN ALUMINIUM ADC 12**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Billydiaz Taura Mazda

Nrp. 2111 100 008

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. Ir. Wejan Benard, DE.....(Pembimbing I)
NIP. 195012111985021901
2. Ir. Hari Subiyanto, MSc.....(Penguji I)
NIP. 1960062319880041902
3. Suwarno, ST., MSc, Ph.D.....(Penguji II)
NIP. 1980055202005001003
4. WahyuWijanarko, ST, MSc.....(Penguji III)
NIP. 196103141987011004

SURABAYA

Januari, 2016

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI
HOLDING TIME DAN TEMPERATUR AGING PADA
PERLAKUAN PANAS *PRECIPITATION HARDENING T6*
TERHADAP SIFAT MEKANIK PADUAN ALUMINIUM
ADC 12**

Nama Mahasiswa : Billydiaz Taura Mazda
NRP : 2111 100 008
Jurusan : Teknik Mesin
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir Wajan Berata, DEA.

ABSTRAK

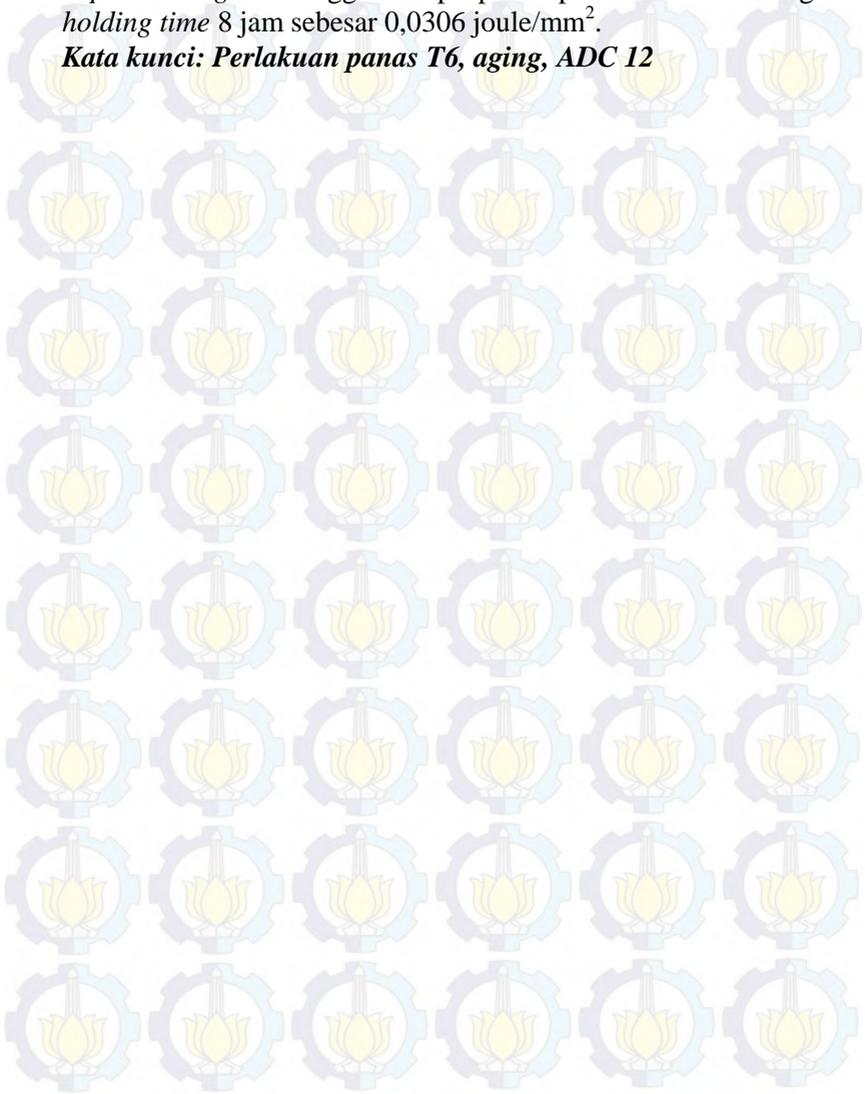
Aluminium *alloy* merupakan material yang paling banyak digunakan sebagai bahan industri dan otomotif. Salah satu jenis aluminium *alloy* sendiri yang sering digunakan yaitu ADC 12. ADC 12 digunakan untuk material pembuatan part otomotif berupa piston. Untuk mendapatkan sifat mekanik yang diharapkan ADC 12 sendiri memerlukan proses perlakuan panas *precipitation hardening T6* yang didalamnya terdapat 2 proses yaitu *solution treatment* dan *aging*.

Pada proses perlakuan panas *precipitation hardening*, mula-mula material mengalami proses *solution treatment* yaitu dipanaskan hingga mencapai temperatur 550°C dan ditahan selama 180 menit, lalu di *quenching* pada media air bertemperatur 60°C dan dilanjutkan proses *aging* berupa pemanasan kembali dengan variasi temperatur 140°C, 170°C, 200°C dan *holding time* 2, 4, 6, 8 jam. Analisa yang dilakukan pada sifat mekanik dan struktur mikro.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa temperatur dan *holding time* saat *aging* pada *precipitation hardening T6* sangatlah berpengaruh terhadap struktur mikro dan sifat mekanik. Struktur mikro yang nampak jelas perbedaannya adalah ukuran dan persebaran *eutectic silicon* di tiap variasi temperatur maupun *holding time*. Presipitat yang terbentuk sendiri berdasarkan kesetaraan antara ADC 12 dengan aluminium tipe a 384 adalah Al₂Cu. Sifat mekanik ADC 12 juga meningkat dibanding dengan *as cast*. Nilai kekerasan tertinggi pada spesimen 170°C dengan

holding time 4 jam sebesar 108,04 BHN. Nilai tertinggi untuk *impact strength* tertinggi terdapa pada spesimen 200°C dengan *holding time* 8 jam sebesar 0,0306 joule/mm².

Kata kunci: *Perlakuan panas T6, aging, ADC 12*



**EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT OF
HOLDING TIME VARIATION AND AGING
TEMPERATURE IN T6 PRECIPITATION HARDENING
HEAT TREATMENT TO THE MECHANICAL
PROPERTIES OF ALUMINIUM ALLOY ADC 12**

Student's Name : Billydiaz Taura Mazda
NRP : 2111 100 008
Department : Mechanical Engineering
Project Advisor : Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA

ABSTRACT

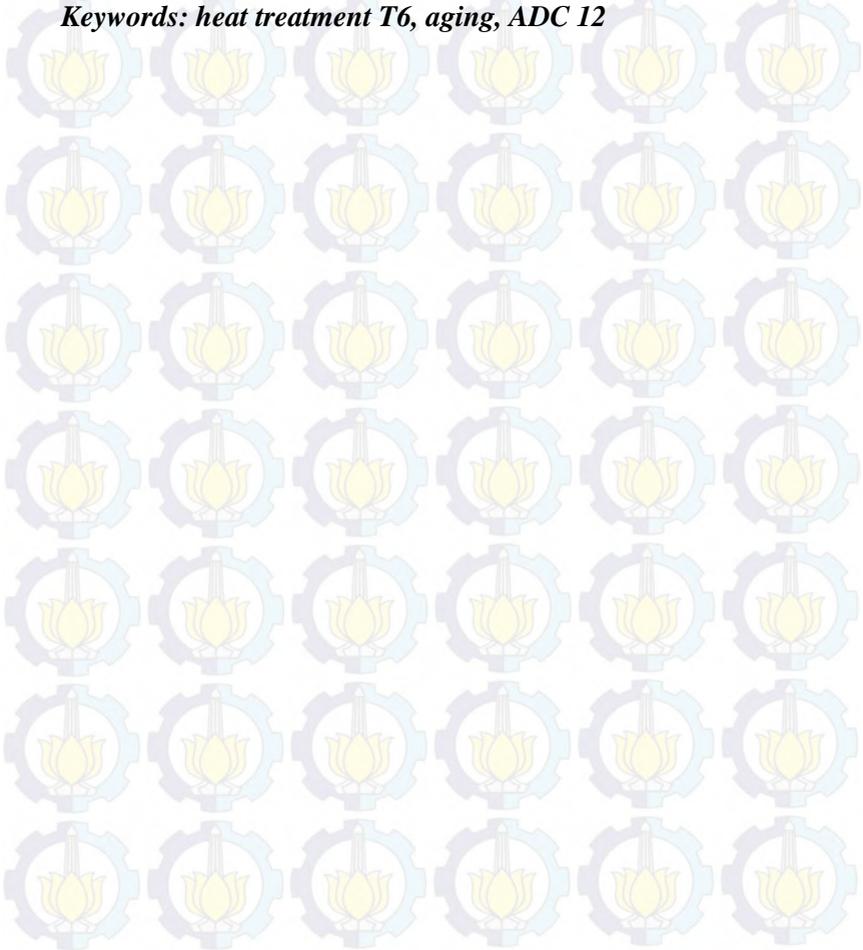
Aluminium alloy is one of the most used material in industry and automotive. One of the most used aluminium alloy is ADC 12. ADC 12 is used in the design and making of piston, one of the component in automotive vehicles. To obtain the mechanical properties needed in the piston design, ADC 12 needs to be processed by precipitation hardening heat treatment T6 which includes of two procedures, solution treatment and aging.

The first process of precipitation hardening, is the solution treatment process, where the material is heated until a 550°C temperature is reached and held for 180 minutes. The material is then quenched in a 60°C water medium and continued to the aging process, where the material that had been quenched is reheated in a variation of temperature 140°C, 170°C, 200°C and held in a variation of 2, 4, 6, and 8 hours of holding time. The mechanical properties and micro structure resulted in the process with each variations is then analysed.

The result of the experiment showed that temperature and holding time during the aging process give a significant effect on the micro structure and mechanical properties of the processed material. Size and the distribution of eutectic silicon seen in the micro structure showed a big difference between each variation of temperature and holding time. Al₂Cu is the precipitate that is self – formed as an equality between ADC 12 and A 384 type

Aluminium. The mechanical properties of ADC 12 is also enhanced compared to as cast. The highest hardness value of the processed alloy is 108, 04 BHN which is obtained through the process of 170°C temperature and 4 hours holding time. The highest impact strength value is 0,0306 Joule/mm², which is obtained through the 200°C and 8 hours holding time process.

Keywords: heat treatment T6, aging, ADC 12



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warohmatulloh Wabarokatuh

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena atas segala rahmat dan Anugerah-Nya yang telah diberikan kepada penuli sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul: **Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Holding Time Dan Temperatur Aging Pada Perlakuan Panas Precipitation Hardening T6 Terhadap Sifat Mekanik Paduan Aluminium ADC 12**. Pada kesempatan ini penulis bermaksud untuk mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Ayah **Nidhomul Manzil** dan Ibu **Asri Indah Yani**, untuk segala doa, restu, kasih, pengorbanan, dan motivasi yang selalu dilimpahkan kepada penulis.
2. **Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA** selaku dosen pembimbing tugas akhir ini. Terima kasih untuk semua waktu, kritik, saran, ilmu dan motivasi yang diberikan ditengah – tengah kesibukan bapak, tanpa itu semua sampai sekarang penulis tidak akan dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
3. **Ir. Hari Subiyanto, MSc., Suwarno, ST.,MSc. Ph.D., Wahyu Wijanarko,ST, MSc**, selaku dosen penguji tugas akhir. Terima kasih atas nasehat dan ilmu yang telah diberikan.
4. Adik saya **Delwista Dela** terima kasih sudah menjadi penambah motivasi.
5. **Dita Arfia “Bebek”** sebagai orang yang mendampingi dan penyemangat hidup saya.
6. **Ir. Sudjud Darsopuspito, MT.** selaku dosen wali yang.
7. Saudara Mushola Ar Rozaq **“Abah Firman, Alm. Robit, Mas Iqbal, Oka, Nabil”** yang menjadi guru dan teman spritual saya.
8. Bapak **Dr. Eng. Sutikno,ST., MT.**, Bapak **Indra Sidharta St,MSc** dan seluruh dosen metalurgi yang telah sabar membimbing dan menjadi mas dalam proses belajar saya.

9. **Much.Nabillah** sebagai saudara dekat,teman kos,teman mancing,teman berkelana yang selalu menemani saya.
10. Semua teman-teman **angkatan 2011 (M54)** yang takkan terlupakan terima kasih atas bantuan, doa, dan kebersamaannya selama kuliah di kampus Teknik Mesin tercinta.
11. **Brahmanda, Chandra, Refki, Dewor, Novia, Galang, Bustan, Iqo** yang telah memberikan semangat, bantuan, dan doa dalam mengerjakan Tugas Akhir.
12. Para penghuni **lab Metallurgy** Teknik Mesin ITS terimakasih atas bantuan, dukungan, dan saran-saran yang telah diberikan.
13. Bapak-bapak karyawan lab Metallurgy Mesin ITS, **Bapak Gatot,Bapak Mantri, Bapak Agus, Bapak Endang, dan Bapak Budi** yang telah banyak memberikan bantuan dan saran dalam pengerjaan Tugas Akhir.
14. **Bapak Ag** yang telah memberikan banyak bantuan dalam pengerjaan Tugas Akhir.
15. Semua karyawan dan Bapak Ibu Dosen di jurusan Teknik Mesin ITS yang telah memberikan bantuan dan ilmunya kepada penulis.
16. Serta semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuannya yang tidak bisa disebutkan satu per satu di halaman ini.

Penulis sadar bahwa penulisan tugas akhir ini memiliki banyak kekurangan, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan dan kesempurnaan tugas akhir ini. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi semua. Amin.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

Judul	
Abstrak	
Lembar Pengesahan	
Kata Pengantar	
Daftar Isi	i
Daftar Gambar	iii
Daftar Tabel	vi
Bab I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Sistematika Penulisan Penelitian	3
Bab II DASAR TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Dasar Teori	5
2.1.1 Karakteris Piston.....	5
2.1.2 Aluminium dan Paduannya.....	6
2.1.3 ADC 12.....	10
2.1.4 Perlakuan Panas Precipitation Hardening T6	12
2.2 Tinjauan Pustaka	19
Bab III METODE PENELITIAN	
3.1 Flowchart Penelitian	23
3.2 Material dan Preparasi	24
3.2.1 Material yang Digunakan	24
3.2.2 Bentuk Spesimen Uji <i>Hardness</i> dan metalografi	26
3.2.3 Bentuk Spesimen Uji <i>impact strength</i>	27
3.3 Perlakuan Panas.....	27
3.4 Peralatan Yang Digunakan	29
3.4.1 Dapur Pemanas	29
3.4.2 Dapur <i>artificial aging</i>	29
3.4.3 Peralatan <i>Grinding</i> dan <i>Polishing</i>	30
3.4.4 Peralatan pengujian etsa (<i>Etching</i>).....	31
3.4.5 Peralatan pengamatan struktur mikro	31

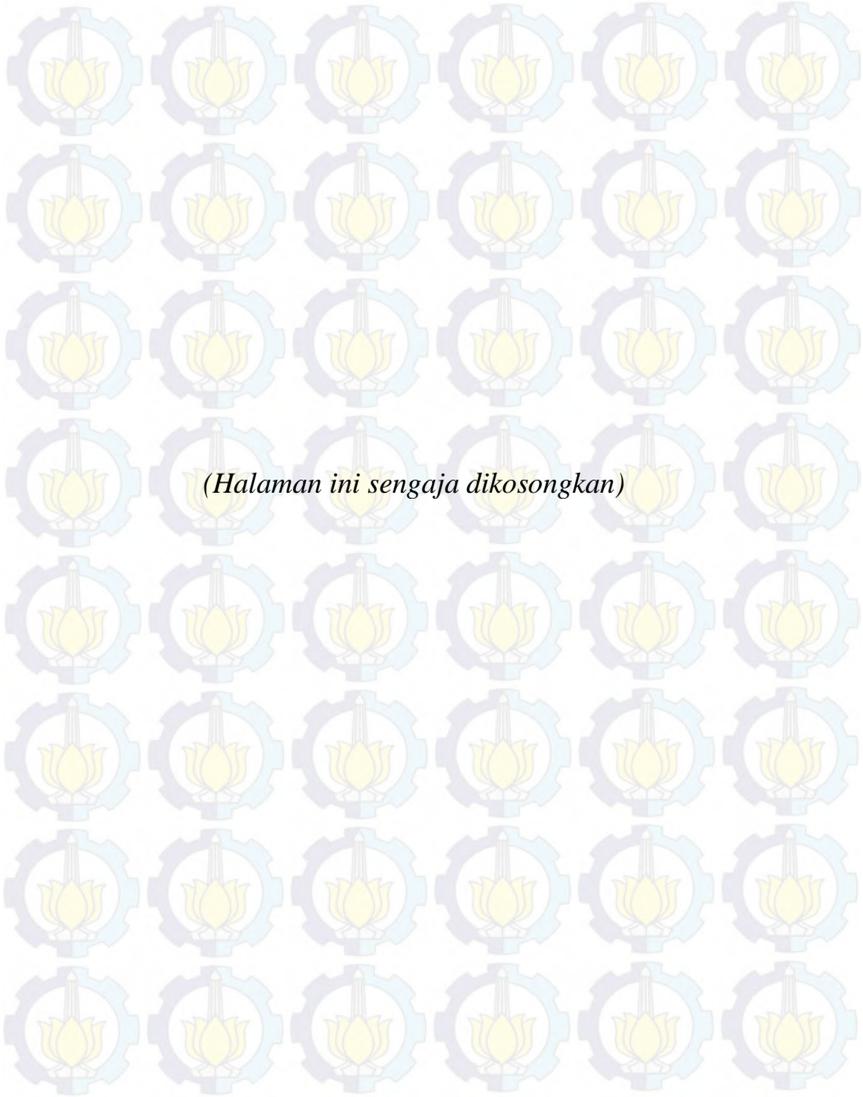
3.4.6 Mesin uji <i>impact</i>	32
3.4.7 Peralatan Kekerasan.....	32
3.5 Langkah Pengerjaan dan Jenis-Jenis Pengujian	33
3.5.1 Pengamatan <i>metalography</i>	33
3.5.2 Pengujian <i>impact</i>	34
3.5.3 Pengujian kekerasan.....	34
3.6 Desain Percobaan	35
Bab IV Data Hasil Percobaan	
4.1 Data pengujian awal spesimen as cast ADC 12	39
4.2 Stuktur Mikro Hasil Proses Precipitation Hardening	41
4.3 Data Hasil Pengujian Kekerasan	43
4.4 Data Hasil Pengujian Impact Strength.....	48
4.5 Data Hasil <i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i>	53
Bab V PEMBAHASAN	
5.1 Pembahasan Komposisi Kimi Pengaruh <i> Holding Time</i> dan Temperatur Terhadap Struktur Mikro	58
5.2 Pengaruh <i> Holding Time</i> dan Temperatur Terhadap Kekerasan	60
5.3 Pengaruh <i> Holding Time</i> dan Temperatur Terhadap Impact Strength.....	62
Bab VI KESIMPULAN DAN SARAN	
6.1 Kesimpulan	65
6.2 Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	66
BIODATA PENULIS	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Bagian-Bagian Piston	5
Gambar 2.2	(a)Diagram ternary Al-Si-Cu, (b)Diagram Fase binary Al-Si-Cu dengan persentase Si 10%	11
Gambar 2.3	(a) Skema Proses Presipitasi Hardening, (b) ilustrasi proses presipitasi hardening pada paduan Al-Si-Cu dengan persentase Si 10%	13
Gambar 2.4	Urutan perubahan fasa pada saat <i>artificial aging</i>	15
Gambar 2.5	(a) <i>supersaturated solute solution</i> , (b) fasa θ ” mulai terbentuk <i>precipitate</i> , (c) fasa keseimbangan θ	16
Gambar 2.6	Hubungan Antara Lamanya Waktu (<i>aging</i>) Dengan Kekuatan dan Kekerasan Paduan Aluminium	18
Gambar 2.7	Nilai kekerasan pada paduan Al tipe 2024 setelah melewati proses <i>artificial aging</i> dengan variasi temperatur	20
Gambar 2.8	Nilai <i>impact strength</i> pada paduan Al tipe 2024 setelah melewati proses <i>artificial aging</i> dengan variasi temperatur	20
Gambar 2.9	Struktur mikro pada paduan Al tipe 2024 setelah melewati proses <i>artificial aging</i> dengan <i>holding time</i> 6 jam dan variasi temperatur menggunakan perbesaran 100x ..	21
Gambar 2.10	Nilai kekerasan pada paduan Al-Si-Mg pada temperatur aging 160C dan 180C	22

Gambar 2.11 Nilai <i>Impact strength</i> pada paduan Al-Si-Mg pada temperatur aging 160C dan 180C...	22
Gambar 3.1.1 Flowchart penelitian	23
Gambar 3.1.2 Lanjutan Flowchart penelitian.....	24
Gambar 3.2 <i>Y – Block</i> spesimen uji <i>hardness</i> dan mikrostruktur	25
Gambar 3.3 <i>Y-Block</i> spesimen uji <i>impact strength</i>	26
Gambar 3.4 Spesimen uji <i>metalography</i> dan <i>hardness</i>	26
Gambar 3.5 Spesimen uji <i>impac strenght</i>	27
Gambar 3.6 Skema perlakuan panas <i>precipitation hardening</i> T6 yang dilakukan pada penelitian.....	28
Gambar 3.7 Dapur pemanas	29
Gambar 3.8 Dapur Artificial aging.....	30
Gambar 3.9 Mesin <i>grinding / Polishing</i>	30
Gambar 3.10 Peralatan pengamatan struktur mikro	31
Gambar 3.11 Peralatan uji <i>impact</i>	32
Gambar 3.12 Mesin uji kekerasan	32
Gambar 3.13 Ilustrasi spesimen uji kekerasan	34
Gambar 4.1 struktur mikro spesimen <i>as cast</i> aluminium ADC 12 (a) perbesaran 500x, (b) perbesaran 1000x	40
Gambar 4.2 struktur mikro spesimen dengan <i>holding time</i> 2 jam(a1.T 140°C), (a2.T170°C), (a3. T200°C). struktur mikro spesimen dengan <i>holding time</i> 4 jam (b1.T 140°C), (b2. T 170°C), (b3,T 200°C). struktur mikro spesimen dengan <i>holding time</i> 6 jam (c1.T 140°C), (c2.T 170°C), (c3.T 200°C). struktur mikro spesimen dengan <i>holding time</i> 6 jam (d1.T 140°C), (d2.T 170°C), (d3.T 200°C).....	42
Gambar 4.3 spesimen <i>hardness</i>	43
Gambar 4.4 Grafik pengaruh <i>holding time</i> terhadap kekerasan	47

Gambar 4.5	Grafik pengaruh temperatur terhadap kekerasan..	47
Gambar 4.6	Spesimen hasil uji <i>impact strength</i> ,(a) temperatur 170C <i>holding time</i> 4 jam, (b) temperatur 200C <i>holding time</i> 8 jam	48
Gambar 4.7	Grafik pengaruh <i>holding time</i> terhadap <i>impact strength</i>	52
Gambar 4.8	Grafik pengaruh temperatur terhadap <i>impact strength</i>	52
Gambar 4.9	Hasil pengujian SEM pada penampang pola patahan As Cast	53
Gambar 4.10	Hasil pengujian SEM pada penampang pola patahan temperatur aging 170 °C dan <i>holding time</i> 4 jam	54
Gambar 4.11	<i>Y - Block</i> Hasil pengujian SEM pada penampang pola patahan temperatur aging 200 °C dan <i>holding time</i> 8 jam spesimen uji <i>hardness</i> dan mikrostruktur	54
Gambar 5.1	Kurva <i>strength or hardness vs aging time</i>) ..	58



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kodifikasi pada paduan wrought aluminium	6
Tabel 2.2	Kodifikasi pada paduan cast aluminium	7
Tabel 2.3	Komposisi kimia ADC 12 menurut standart JIS	11
Tabel 3.1	Variasi temperatur dan waktu penahanan saat <i>aging</i>	29
Tabel 3.2	Rancangan Jumlah Spesimen Penelitian.....	35
Tabel 3.3	Perancangan Nilai Kekerasan.....	36
Tabel 3.4	Perancangan Nilai <i>Impact Strength</i>	37
Tabel 3.5	Perancangan Uji Struktur Mikro	38
Tabel 4.1	Hasil pengujian komposisi kimia Aluminium ADC 12	39
Tabel 4.2	Hasil pengujian kekerasan spesimen <i>as cast</i> aluminium ADC 12	40
Tabel 4.3	Hasil pengujian <i>impact strength</i> spesimen <i>as cast</i> aluminium ADC 12	40
Tabel 4.4	Hasil pengujian kekerasan temperatur 140°C.....	44
Tabel 4.5	Hasil pengujian kekerasan temperatur 170°C.....	45
Tabel 4.6	Hasil pengujian kekerasan temperatur 200°C.....	46
Tabel 4.7	Hasil pengujian impact strength temperatur 140°C..	49
Tabel 4.8	Hasil pengujian impact strength temperatur 170°C..	50
Tabel 4.9	Hasil pengujian impact strength temperatur 200°C..	51



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini, ilmu pengetahuan dalam bidang material telah berkembang semakin pesat. Ilmu logam memegang peranan penting dalam perkembangan teknologi, khususnya dalam bidang otomotif, seperti pemilihan material untuk piston mobil SINAS. Pemilihan logam dalam industri otomotif dipengaruhi oleh banyak faktor, mulai dari faktor ekonomi, sifat mekanik material dan lain sebagainya yang disesuaikan dengan penggunaannya.

Secara umum material yang digunakan untuk membuat suatu piston adalah aluminium *alloy*. Aluminium *alloy* sendiri memiliki sifat mekanik mengikuti unsur paduannya dan sifat yang dibutuhkan oleh piston seperti ringan, tahan aus, tahan korosi pada suhu tinggi, kuat dan keras. Hal itu disebabkan karena piston bekerja pada ruang bakar yang bertemperatur tinggi, mengandung banyak udara dan bertekanan tinggi pula. Aluminium *alloy* sendiri memang harganya relatif mahal dan sebanding dengan sifat yang dimilikinya.

Pada eksperimen kali ini aluminium *alloy* yang digunakan untuk pembuatan piston mobil SINAS berupa ADC 12. ADC 12 sendiri memiliki komposisi yang terdiri dari aluminium sebagai paduan utamanya, Silicon(Si) sebesar 9,6-12%, Besi(Fe) maksimum 1,3%, Copper(Cu) 1,5-3,5%, Mangan(Mn) maksimum sebesar 0,5%, Magnesium(Mg) sebesar 0,3%, Nikel(Ni) maksimum sebesar 0,5%. Zinc(Zn) maksimum sebesar 1% dan Tin(Sn) maksimum sebesar 0,3%. ADC 12 sendiri sebagai material untuk pembuatan piston masih harus diberi perlakuan atau *heat treatment* guna menghasilkan sifat mekanik yang sesuai dengan apa yang diharapkan.

Perlakuan panas yang akan dilakukan berupa perlakuan panas *presipitasi hardening* T6. Dalam proses *presipitasi hardening* tersebut terdapat 2 proses pengerjaan yaitu *solution treatment* yang dilanjutkan dengan *quenching* dan proses *aging*.

Solution treatment sendiri berupa pemanasan logam aluminium di dalam dapur hingga mencapai fasa tunggal *solid solution* dan ditahan sampai sekiranya homogen kemudian dilanjutkan dengan proses *quenching* didalam air. Sedangkan *aging* adalah proses pemanasan kembali setelah proses *quenching* pada temperatur *aging* pada aluminium dan ditahan dalam waktu yang ditentukan. Pada eksperimen dan karakterisasi paduan aluminium ADC 12 waktu tahan dan temperatur pada proses *aging* divariasikan sehingga didapatkan waktu tahan dan temperatur maksimum untuk mendapatkan kekerasan dan *impact strength* maksimum. Diharapkan dengan perlakuan panas tersebut sifat mekanik dari material tersebut akan meningkat.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh temperatur dan *holding time* saat proses *aging* terhadap struktur mikro pada logam paduan aluminium ADC12 ?
2. Bagaimana pengaruh temperatur dan *holding time* saat proses *aging* terhadap *impact strength* dan kekerasan pada logam paduan aluminium ADC12?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian yang dilakukan tidak terlalu meluas sehingga penelitian ini dapat mencapai tujuan yang telah ditentukan, maka diperlukan batasan masalah sebagai berikut:

1. Peralatan yang digunakan untuk melakukan perlakuan panas pada spesimen uji masih dalam kondisi baik.
2. Komposisi paduan aluminium ADC 12 setelah pengecoran dianggap homogen pada seluruh bagian benda uji.
3. Pengaruh proses pembuatan spesimen seperti pemotongan, pengerindaan, dan pemolesan terhadap

struktur mikro dianggap kecil dan diasumsikan sama untuk masing-masing spesimen.

4. Hasil cacat dan porositas hasil pengecoran diabaikan.
5. Hasil pengecoran paduan yang diteliti dianggap padat.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian yang dilakukan adalah bertujuan untuk sebagai berikut:

1. Menganalisa pengaruh variasi *holding time* dan temperatur pada proses *aging* terhadap stuktur mikro logam paduan aluminium ADC 12.
2. Menganalisa pengaruh variasi *holding time* dan tempertur pada proses *aging* terhadap *impact strength* dan kekerasan logam paduan aluminium ADC 12.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Perusahaan industri pengecoran atau pengolahan logam dapat mengaplikasikan proses pembuatan piston mobil dengan baik.
2. Dapat diaplikasikan untuk pembuatan piston mesin Sinjai.
3. Sebagai kontribusi pengetahuan IPTEK dalam bidang ilmu material khususnya metalurgi.

1.6 Sistematika Penulisan Penelitian

Laporan penelitian Tugas Akhir ini disusun secara sistematis dan dibagi dalam beberapa bab dengan rincian sebagai berikut:

• Bab I Pendahuluan

Bab ini berisikan penjelasan latar belakang, permasalahan, maksud dan tujuan, batasan masalah, dan sistematika penulisan laporan.

• Bab II Tinjauan Pustaka

Bab ini berisikan teori dan fakta yang digunakan sebagai dasar untuk melakukan rujukan dan pembahasan permasalahan yang diangkat pada tugas akhir ini.

- **Bab III Metodologi**

Berisi uraian urutan proses pengerjaan tugas akhir yang meliputi pengambilan data, tahap perlakuan panas, dan tahap pengujian.

- **Bab IV Analisa Data**

Pada bab ini akan dilakukan analisa dari data yang didapatkan, disertai dengan grafik yang dihasilkan dari data yang ada.

- **Bab V Pembahasan**

Pada bab ini akan dilakukan pembahasan dari percobaan yang telah dilakukan dengan membandingkan nilai kekuatan untuk mematahkan, nilai kekerasan, dan foto struktur mikro dari hasil percobaan dengan produk yang ada dipasaran.

- **Bab VI Kesimpulan dan Saran**

Bab ini berisi kesimpulan dan saran untuk pengembangan tugas akhir ini nantinya.

BAB II

DASAR TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dasar Teori

2.1.1 Karakteris Piston

Piston yang dalam bahasa Indonesia dikenal dengan istilah torak. Torak adalah komponen penting dalam kendaraan bermotor, karena piston memegang peranan penting dalam proses pembakaran dalam ruang bakar. Sehingga material untuk piston merupakan material dengan spesifikasi khusus dan biasanya digunakan biji aluminium untuk membuat paduannya. Komponen mesin ini dipegang oleh setang piston yang mendapatkan gerakan naik turun dari *flywheel*. Bentuk bagian piston dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Bagian-Bagian Piston

Piston bekerja terus menerus selama mesin hidup. Komponen ini menerima temperatur dan tekanan tinggi didalam ruang bakar, sehingga mutlak harus memiliki daya tahan tinggi. Oleh karena itu, pabrikan kini lebih memilih paduan aluminium (Al-Si). Paduan ini diyakini mampu meradiasikan panas yang lebih efisien dibanding material lainnya. Karena paduan ini juga memiliki daya tahan terhadap korosi dan abrasi, koefisien pemuaian yang rendah, dan juga mempunyai kekuatan yang tinggi.

2.1.2 Aluminium dan Paduannya

Aluminium merupakan logam yang paling banyak terdapat di lapisan kerak bumi. Pada umumnya, aluminium terdapat secara alami sebagai mineral bauksit. Sehingga harus diproses lebih lanjut dengan proses *Bayer* dan *Hall-Heroult* untuk mendapatkan aluminium murni. Secara umum, aluminium memiliki keuntungan sebagai berikut:

1. Ringan, dengan massa jenis $2,7\text{gr/cm}^3$
2. Memiliki *castability* dan keuletan yang baik
3. Memiliki sifat tahan korosi yang baik
4. Memiliki konduktivitas listrik dan panas yang baik
5. Nilai kekuatannya dapat bervariasi, bahkan dapat melebihi baja struktural

Oleh karena itu, aluminium banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari, mulai dari kebutuhan rumah tangga hingga komponen industri dan otomotif.

Aluminium dapat diklasifikasikan menjadi paduan *wrought* aluminium dan paduan *cast* aluminium. Paduan *wrought* aluminium *difabrikasi* dengan proses pembentukan (*forming*), sedangkan *cast* aluminium *difabrikasi* dengan proses pengecoran. Pada umumnya, kedua klasifikasi tersebut dikodifikasikan berdasarkan unsur paduan utamanya. Kodifikasi dari aluminium dapat dilihat pada tabel 2.1 dan 2.2

Tabel 2.1 Kodifikasi pada paduan wrought aluminium [6]

Paduan	Unsur Paduan Utama
1xxx	Aluminium murni
2xxx	Tembaga
3xxx	Mangan
4xxx	Silikon
5xxx	Magnesium
6xxx	Magnesium dan silikon
7xxx	Seng
8xxx	Besi atau timah
9xxx	Unassigned

Tabel 2.2 Kodifikasi pada paduan cast aluminium [6]

Paduan	Unsur Paduan Utama
1xx.x	Aluminium murni, maksimal 99%
2xx.x	Tembaga
3xx.x	Silikon, dengan tambahan tembaga atau magnesium
4xx.x	Silikon
5xx.x	Magnesium
6xx.x	Seng
7xx.x	Timah
8xx.x	Unsur lain seperti besi
9xx.x	Unused

Metode untuk meningkatkan kekuatan pada paduan aluminium ada dua cara, yaitu peningkatan kekuatan melalui deformasi plastis atau pengerjaan dingin (*cold working*) dan perlakuan panas *precipitation hardening*. Paduan aluminium juga dapat diklasifikasi sesuai perlakuan panas yang diberikan untuk meningkatkan kekuatannya yaitu berupa *heat-treatable* dan *non-heat treatable*. Perlakuan panas yang dapat diberikan pada paduan aluminium.:

1. *F, as cast*
2. *O, diberi perlakuan panas anealing*
3. *T4, solution treatment dan pendinginan cepat (quenching)*
4. *T5, quenching dan artificial aging pada kondisi as cast*
5. *T6, solution treatment, quenching dan artificial aging*
6. *T7, solution treatment, quenching dan artificial aging hingga kondisi overaging*

Umumnya sifat mekanik dari aluminium selain sifat mekanik dasar yang dimiliki oleh aluminium mengikuti dari unsur paduannya. Adapun klasifikasi paduan aluminium menurut paduannya adalah sebagai berikut :

- *Paduan Al-Si*

Paduan Al-Si ditemukan oleh A. Pacz tahun 1921. paduan Al-Si yang telah diperlakukan panas dinamakan *Silumin*. Sifat – sifat silumin sangat diperbaiki oleh perlakuan panas dibanding dengan unsur paduan. Paduan Al-Si umumnya dipakai dengan 0,15% – 0,4%Mn dan 0,5 % Mg. Paduan yang diberi perlakuan pelarutan (*solution heat treatment*), *quenching*, dan *aging* dinamakan *silumin* γ , dan yang hanya mendapat perlakuan *aging* saja dinamakan *silumin* β . Paduan Al-Si yang diberi perlakuan panas harus ditambah dengan Mg juga Cu serta Ni untuk memberikan kekerasan pada saat diberi perlakuan. Bahan paduan ini biasa dipakai untuk torak motor. [5].

- *Paduan Al-Cu dan Al-Cu-Mg*

Paduan Al-Cu-Mg adalah paduan yang mengandung 4% Cu dan 0,5% Mg serta dapat mengeras dalam beberapa hari oleh penuaan, dalam temperatur biasa atau *natural aging* setelah *solution heat treatment* dan *quenching*. Studi tentang logam paduan ini telah banyak dilakukan salah satunya oleh Nishimura yang telah berhasil dalam menemukan senyawa *terner* yang berada dalam keseimbangan dengan Al, yang kemudian dinamakan senyawa S dan T. Ternyata senyawa S berupa Al_2CuMg mempunyai kemampuan *aging* pada temperatur biasa. Paduan Al-Cu dan Al-Cu-Mg dipakai sebagai bahan dalam industri pesawat terbang. [5]

- *Paduan Al-Mn*

Mangan (Mn) adalah unsur yang memperkuat Aluminium tanpa mengurangi ketahanan korosi dan dipakai untuk membuat paduan yang tahan terhadap korosi. Paduan Al-Mn dalam penamaan standar AA adalah paduan Al 3003 dan Al 3004. Komposisi standar dari paduan Al 3003 adalah Al, 1,2 % Mn, sedangkan komposisi standar Al 3004 adalah Al, 1,2 % Mn, 1,0 % Mg. Paduan Al 3003 dan Al 3004 digunakan sebagai paduan tahan korosi tanpa perlakuan panas. [5]

- *Paduan Al-Mg*

Paduan dengan 2 – 3 % Mg dapat mudah ditempa, dirol dan diekstrusi, contoh paduan AL-Mg adalah paduan Al 5052 dimana paduan yang biasa dipakai sebagai bahan tempaan. Paduan Al 5052 adalah paduan yang paling kuat dalam sistem ini, dipakai setelah 10 kali dikeraskan oleh pengerasan regangan apabila diperlukan kekerasan tinggi. Sedangkan paduan jenis Al 5083 yang dianil adalah paduan antara (4,5 % Mg), dimana bersifat kuat dan mudah dilas oleh karena itu sekarang dipakai sebagai bahan untuk tangki LNG. [5]

- *Paduan Al-Mn-Zn*

Di Jepang pada permulaan tahun 1940 Iragashi dan kawan-kawan mengadakan studi dan berhasil dalam pengembangan suatu paduan dengan penambahan kira – kira 0,3 % Mn atau Cr dimana butir kristal padat diperhalus dan mengubah bentuk presipitasi serta retakan dimana korosi tegangan tidak terjadi. Pada saat itu paduan tersebut dinamakan *ESD* atau *duralumin super ekstra*. Selama perang dunia ke dua di Amerika serikat dengan tujuan yang hampir sama telah dikembangkan pula suatu paduan yaitu suatu paduan yang terdiri dari: Al, 5,5 % Zn, 2,5 % Mn, 1,5% Cu, 0,3 % Cr, 0,2 % Mn yang sekarang dinamakan paduan Al-7075. Paduan ini mempunyai kekuatan tertinggi diantara paduan-paduan lainnya. Penggunaan paduan ini paling besar adalah untuk bahan konstruksi pesawat udara, disamping itu juga digunakan dalam bidang konstruksi. [5]

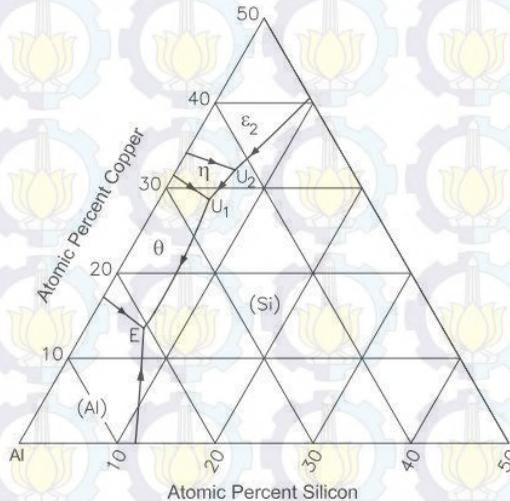
- *Paduan Al-Mg-Si*

Sebagai paduan Al-Mg-Si dalam sistem klasifikasi AA dapat diperoleh pada paduan Al 6063 dan Al 6061. Paduan dalam sistem ini mempunyai kekuatan kurang sebagai bahan tempaan dibandingkan dengan paduan – paduan lainnya, tetapi sangat liat, sangat baik mampu bentuknya untuk penempaan, ekstrusi dan sebagainya. Paduan Al 6063 dipergunakan untuk rangka – rangka konstruksi, karena paduan dalam sistem ini mempunyai kekuatan yang cukup baik tanpa mengurangi hantaran listrik, maka selain

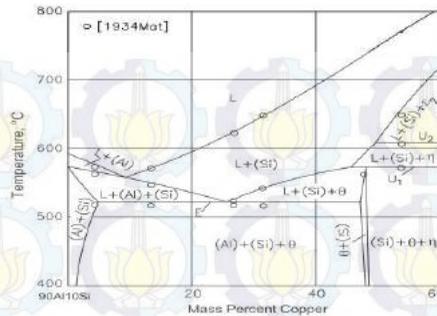
dipergunakan untuk rangka konstruksi juga digunakan untuk kabel tenaga, dunia penerbangan dan otomotif. [5]

2.1.3 ADC 12

Paduan aluminium yang digunakan dalam penelitian ini adalah paduan ADC 12. ADC 12 banyak digunakan untuk keperluan atau material dalam bidang otomotif apun penerbangan. ADC 12 sendiri merupakan paduan aluminium dengan unsur terbanyak adalah AL, Si, dan Cu. *Copper* (Cu), dapat menaikkan kekuatan dan kekerasan pada paduan aluminium, namun menurunkan *elongation* (pertambahan panjang saat ditarik). Berdasarkan JIS H 5302 kandungan *copper* (Cu) dalam aluminium yang paling optimal adalah antara 4-6%. Paduan Al-Si-Cu diagram fasenya dapat di dekati dengan diagram fase Al-Si. Hal tersebut digunakan untuk mempermudah mempelajari perubahan fasa yang terjadi. Gambar 2.2 berikut merupakan diagram fasa Al-Si-Cu yang dijadikan sebagai pedoman yang merupakan turunan dari diagram ternary Al-Si. [7]



(a)



(b)

Gambar 2.2 (a) Diagram ternary Al-Si-Cu, (b) Diagram Fase binary Al-Si-Cu dengan persentase Si 10% [12]

Material ADC 12 atau Al-Si-Cu merupakan pengembangan dari paduan Al-Si. Silikon memiliki karakteristik meningkatkan nilai kekuatan dan kekerasan dari aluminium. *Copper* ditambahkan kedalam paduan Al-Si untuk lebih meningkatkan sifat mekanik paduan berupa nilai kekuatan dan kekerasan melalui pembentukan presipitat fasa θ'' . Fasa θ'' yang dapat terbentuk ketika proses precipitation hardening ini adalah θ'' Al_2Cu . *Copper* dan silikon dalam paduan ini memiliki peranan penting dalam menentukan sifat mekanik dari paduan Al-Si-Cu. [8]

Komposisi kimia untuk paduan aluminium ADC12 ini dapat diketahui melalui tabel 2.3 berikut:

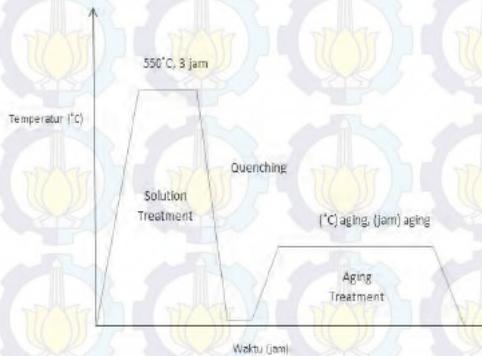
Tabel 2.3 Komposisi kimia ADC 12 menurut standart JIS

ELEMEN PADUAN	ADC 12 (JIS)	
Cu	1.5 - 3.5	wt%
Si	9.6 - 12	wt%
Mg	0.3 maks	wt%
Zn	1.0 maks	wt%
Fe	1.3 maks	wt%
Mn	0.5 maks	wt%
Ni	0.5 maks	wt%
Sn	0.2 maks	wt%
Pb		wt%
Ti		wt%
Al	Remainder	wt%

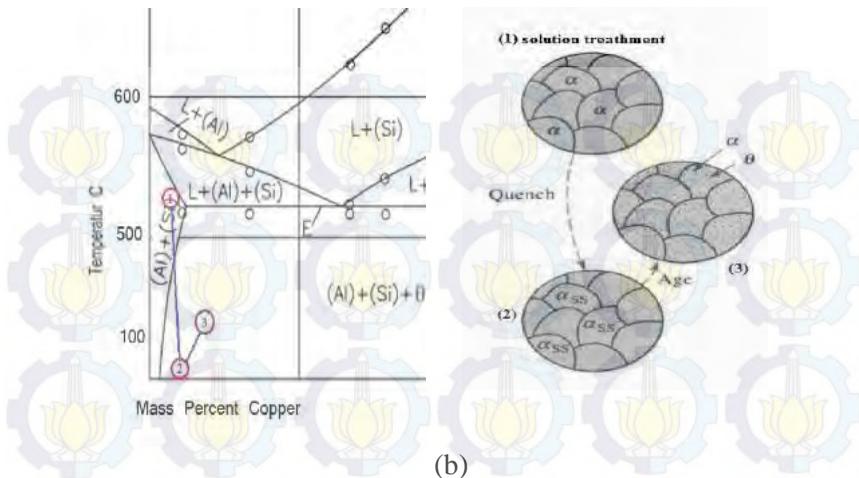
2.1.4 Perlakuan Panas Precipitation Hardening T6

Precipitation hardening merupakan mekanisme penguatan utama pada paduan Al yang dapat diberi perlakuan panas. Perlakuan panas ini bertujuan untuk meningkatkan nilai kekuatan dan kekeeraan pada paduan aluminium. Kenaikan nilai kekuatan tersebut diakibatkan oleh terhambatnya pergerakan dislokasi akibat timbulnya partikel-partikel kecil dalam skala nano yang tersebar merata pada matriks. Partikel kecil tersebut umumnya disebut *precipitat*, yang timbul ketika paduan Al diberi perlakuan panas.

Precipitation hardening umumnya terdiri dari dua tahap perlakuan panas, yaitu *solution treatment* yang dilanjutkan dengan *quenching* dan *aging* (*precipitation treatment*). Skema *solution treatment* dan *aging* dapat ditinjau pada gambar 2.3. Temperatur pemanasan untuk kedua tahap tersebut bervariasi tergantung dari jenis paduan aluminium dan pada umumnya memiliki range tertentu. [9]



(a)



Gambar 2.3 (a) Skema Proses Presipitasi Hardening, (b) ilustrasi proses presipitasi hardening pada paduan Al-Si-Cu dengan persentase Si 10% [11]

Solution treatment dilakukan dengan cara memanaskan paduan aluminium hingga mencapai daerah satu fasa (*solid solution*) dan ditahan untuk melarutkan semua atom unsur paduan lain sehingga hanya akan terbentuk fasa tunggal yaitu *solid solution*. *Holding time* yang dilakukan disesuaikan dengan ukuran dan jenis benda kerja. [5]

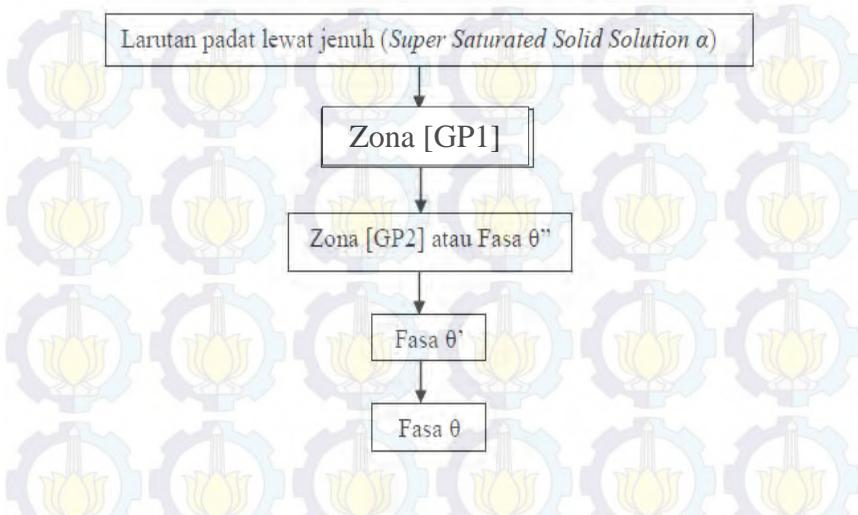
Proses *quenching* atau pendinginan secara cepat dilakukan setelah proses *holding time* pada suhu *solution treatment* telah selesai. *Quenching* merupakan tahap yang paling kritis dalam proses perlakuan panas. *Quenching* dilakukan dengan cara mendinginkan logam yang telah dipanaskan dalam dapur pemanas kedalam media pendingin. Dalam proses *precipitasi hardening* logam yang *diquenching* adalah logam paduan aluminium yang telah dipanaskan dalam dapur pemanas kedalam media pendingin air. Dipilihnya air sebagai media pendingin pada proses *quenching* karena air merupakan media pendingin yang cocok untuk logam-logam yang memiliki tingkat kekerasan atau

hardenabiliti yang relatif rendah seperti logam paduan aluminium. Pendingin dilakukan secara cepat, dari temperatur pemanas (550° C) ke temperatur yang lebih rendah, pada umumnya mendekati temperatur ruang. Tujuan dilakukan *quenching* adalah agar larutan padat homogen yang terbentuk pada *solution treatment* dan kekosongan atom dalam keseimbangan termal pada temperatur tinggi tetap pada tempatnya. Pada tahap *quenching* akan menghasilkan larutan padat lewat jenuh (*Super Saturated Solid Solution*) yang merupakan fasa tidak stabil atau *non equilibrium* pada temperatur biasa atau temperatur ruang. [5].

Proses *aging* dilakukan setelah proses *quenching* dimana spesimen uji dipanaskan kembali pada temperatur yang tidak terlalu tinggi. *Aging* pada aluminium dapat dibagi menjadi 2 yaitu *natural aging* dan *artificial aging*.

Natural aging adalah penuaan untuk paduan aluminium yang di *age hardening* dalam keadaan dingin. *Natural aging* berlangsung pada temperatur ruang antara 15°C- 25°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. [5]

Pada tahap *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 pembentukan Zona GP. 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. Urut-urutan perubahan fasa pada paduan Al-Si dalam proses *artificial aging* adalah sebagai berikut:



Gambar 2.4 Urutan perubahan fasa pada saat *artificial aging* [1]

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

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

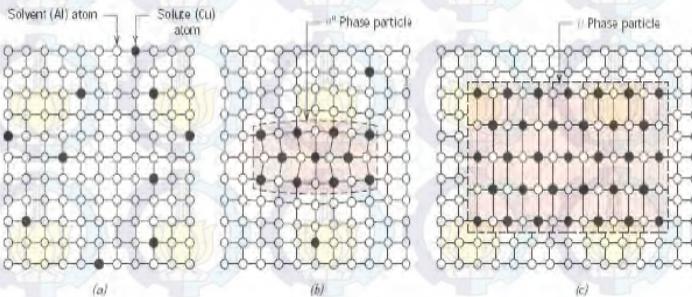
b. Zona [GP 1]

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 *super saturated solid solution α* [10]. Zona [GP 1] akan muncul pada tahap mula atau awal dari proses *artificial aging*. Zona ini terbentuk ketika temperatur *artificial aging* dibawah 100°C 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 mulai dapat meningkatkan kekerasan logam paduan aluminium [10].

c. Zona [GP 2] atau Fasa Θ''

Setelah temperatur *artificial aging* melewati 100°C ke atas, maka akan mulai muncul fasa Θ'' atau zona [GP 2]. Pada temperatur 130°C akan terbentuk zona [GP2] dan apabila waktu penahanan *artificial aging*nya terpenuhi maka akan didapatkan tingkat kekerasan yang optimal [10]. Biasanya proses *artificial aging* berhenti ketika sampai terbentuknya zona [GP 2] dan terbentuknya fasa antara yang halus (presipitasi Θ''), karena setelah melewati zona [GP 2] maka paduan akan kembali menjadi lunak kembali. Jika proses *artificial aging* berlangsung sampai terbentuknya fasa Θ'' atau zona [GP 2], maka disebut dengan pengerasan tahap kedua. Gambar 2.5 menunjukkan terbentuknya kembali fasa keseimbangan pada proses *aging* aluminium-silicon-tembaga sehingga paduan akan kembali ke fasa awal yaitu θ .



Gam

bar 2.5 (a) *supersaturated solute solution*, (b) fasa θ'' mulai terbentuk *precipitate*, (c) fasa keseimbangan θ [1]

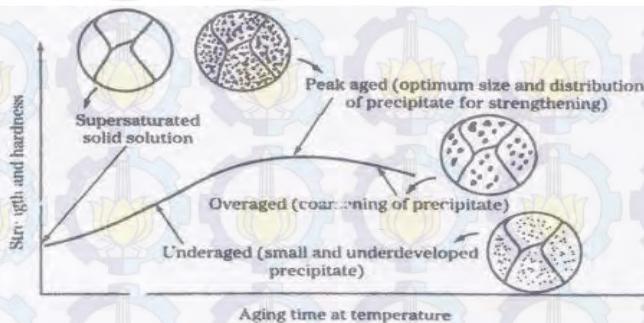
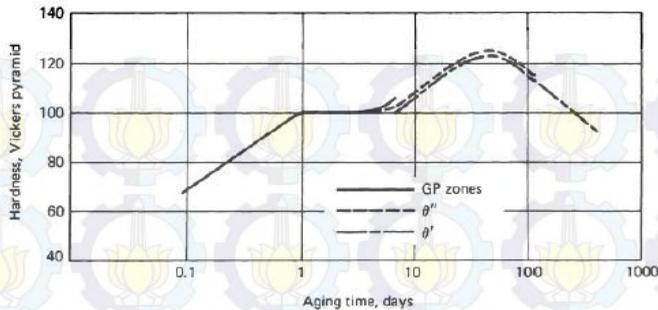
d. Fasa Θ'

Kalau paduan aluminium *holding time aging* atau waktu *aging* diperpanjang tetapi temperturnya tetap, maka akan terbentuk presipitasi dengan struktur kristal yang teratur yang berbeda dengan fasa Θ'' . Fasa ini dinamakan fasa antara atau fasa

Θ' . Terbentuknya fasa Θ' ini masih dapat memberikan sumbangan terhadap peningkatan kekerasan pada paduan aluminium. Peningkatan kekerasan yang terjadi pada fasa Θ' ini berjalan sangat lambat.

e. Fasa Θ

Apabila temperatur dinaikan atau waktu *aging* diperpanjang, maka fasa Θ' berubah menjadi fasa Θ . Jika fasa Θ 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. Hubungan antara waktu (*aging*) dengan kekerasan paduan aluminium diawali oleh proses perubahan fasa yang terbentuk pada proses *precipitation hardening* dimana fasa berawal dari *supersaturated solute solution*, setelah proses *quenching*. Kemudian paduan akan mengalami penuaan atau munculnya presipitat baru seiring bertambahnya waktu, Hubungan antara waktu (*aging*) dengan kekerasan dapat dilihat pada gambar



Gambar.2.6 Hubungan Antara Lamanya Waktu (*aging*) Dengan Kekuatan dan Kekerasan Paduan Aluminium [10].

Dalam kurva penuaan tersebut, pada awal-awal tahap *artificial aging* struktur atau fasanya masih berupa larutan padat lewat jenuh (*Super Saturated Solid Solution*). Seiring dengan penambahan waktu penuaan atau ketika penuaan sampai di daerah *under aged*, maka mulai terbentuk zona *presipitat* zona [GP 1] dan paduan aluminium menjadi agak kuat dan keras. Ketika waktu *aging* ditambah lagi maka akan masuk dalam daerah *peak aged*. Pada daerah *peak aged* presipitat mengumpul atau mulai terbentuk zona [GP 2] dan fasa antara yang halus (fasa Θ'). Jika fasa-fasa tersebut mulai terbentuk maka akan didapatkan tingkat kekerasan dan kekuatan logam paduan aluminium yang optimal. Apabila setelah mencapai *peak aged* (puncak penuaan) waktu *artificial aging* masih ditambah lagi maka akan masuk dalam

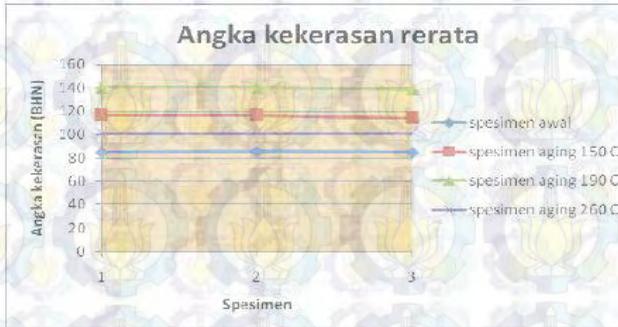
daerah *over aged*. Pada daerah *over aged* ini akan didapatkan fasa Θ , jika fasa Θ ini terbentuk maka akan menyebabkan paduan aluminium menjadi lunak kembali dan berkurang kekerasannya. [10]

Serta struktur mikro lainnya selain presipitat yang berpengaruh terhadap nilai kekerasan dan *impact strength* pada proses *precipitation hardening* ini adalah ukuran dan persebaran *eutectic Si*. *Eutectic Si* yang terbentuk bersifat getas. *Eutectic Si* ini berperan sebagai penyebab timbulnya tegangan sehingga menurunkan ikatan antar struktur. [14]

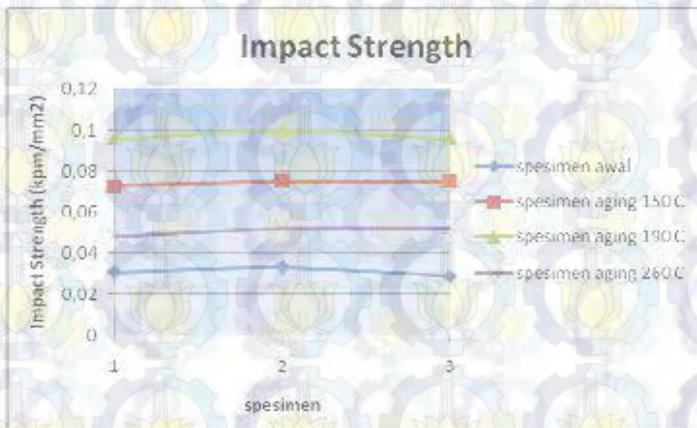
2.2 Tinjauan Pustaka

Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh Abdillah pada tahun 2011 tentang studi eksperimental pengaruh temperatur *aging* terhadap sifat mekanik pada pengerasan presipitasi paduan aluminium tipe 2024, diperoleh bahwa waktu dan temperatur saat proses *aging* pada proses *precipitation hardening* dapat mempengaruhi sifat mekanik dari paduan aluminium tipe 2024. Dalam paduan aluminium tipe 2024 ini, kandungan 4,5%Cu dan lebih banyak Mg berperan penting dalam menentukan sifat mekanik dari paduan aluminium tersebut, terutama magnesium yang dapat menyebabkan paduan ini sangatlah keras. Variasi temperatur dan waktu *aging* yang dilakukan adalah 150°C, 190°C, 260°C dan waktu penahanan masing-masing selama 6 jam.

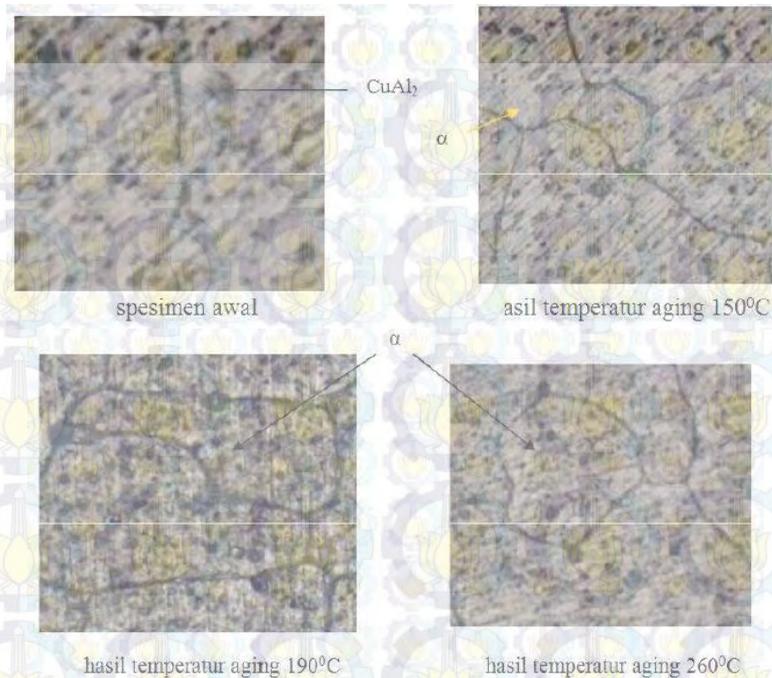
Dari penelitian tersebut diperoleh bahwa terdapat kondisi *under aging* pada temperatur 150°C. Serta kekerasan, kekuatan, dan *impact strength* tertinggi terdapat pada saat spesimen mengalami *critical aging* pada temperatur 190°C dengan fasa Θ'' . Dimana setelah itu nilai dari kekerasan, kekuatan dan *impact strength* cenderung turun dikarenakan material mengalami *over aging*. Hal ini terjadi akibat munculnya CuAl₂ dalam fasa Θ pada saat kondisi *over aging* pada suhu 260°C.



Gambar 2.7 Nilai kekerasan pada paduan Al tipe 2024 setelah melewati proses *artificial aging* dengan variasi temperatur.[4]

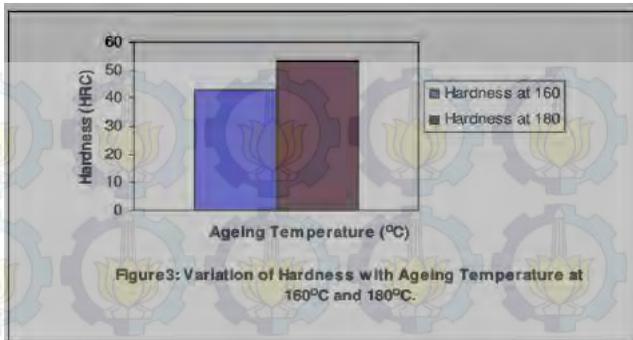


Gambar 2.8 Nilai *impact strength* pada paduan Al tipe 2024 setelah melewati proses *artificial aging* dengan variasi temperatur[4]

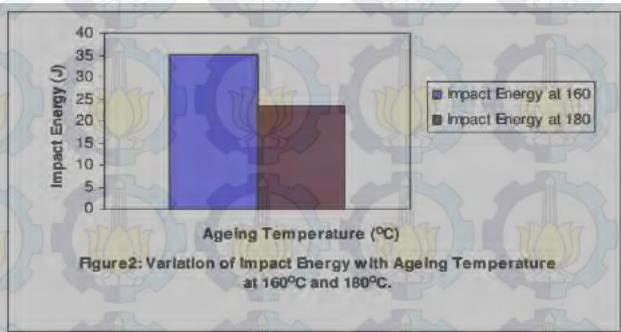


Gambar 2.9 Struktur mikro pada paduan Al tipe 2024 setelah melewati proses *artificial aging* dengan *holding time* 6 jam dan variasi temperatur menggunakan perbesaran 100x [4]

Menurut Oladele and J.A. Omotoyinbo dalam penelitiannya tentang eksperimen dan evaluasi variasi temperatur dan waktu penahanan saat aging pada paduan Al-Si-Mg. Variasi temperatur *aging* yang digunakan sebesar 160 °C dan 180 °C dan waktu penahan masing-masing selama 8 jam. Dan didapatkan hasil bahwa ketika suhu 180 °C dan waktu penahanan selama 8 jam tersebut memiliki nilai *impact strength*, kekuatan dan kekerasan lebih tinggi dibandingkan pada suhu 160 °C.



Gambar 2.10 Nilai kekerasan pada paduan Al-Si-Mg pada temperatur aging 160C dan 180C. [15]

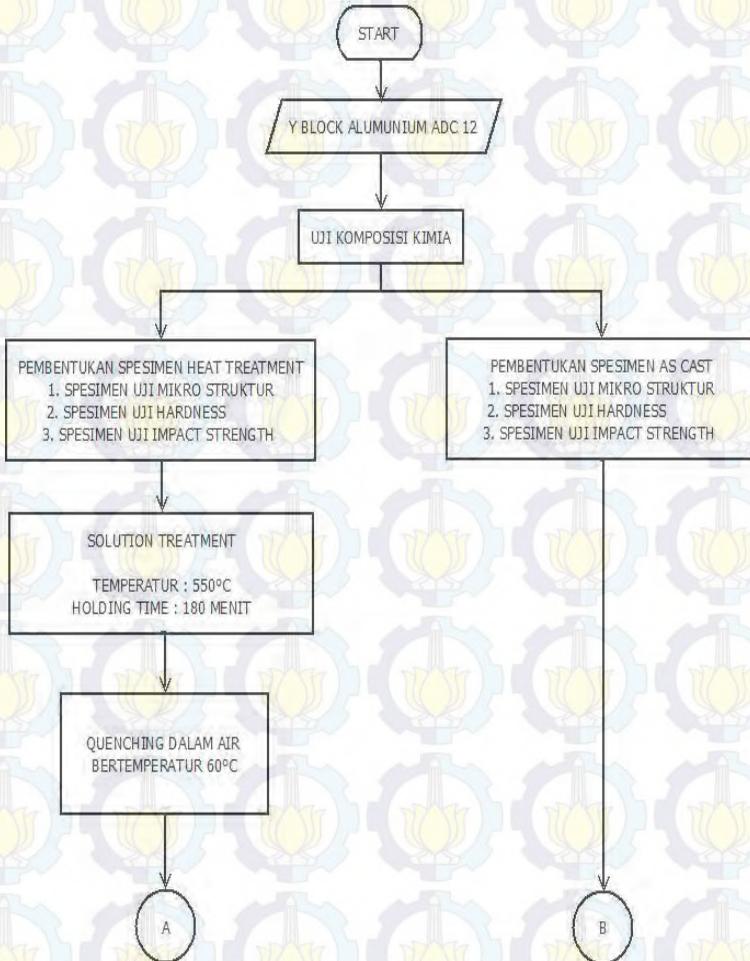


Gambar 2.11 Nilai *Impact strength* pada paduan Al-Si-Mg pada temperatur aging 160C dan 180C [15]

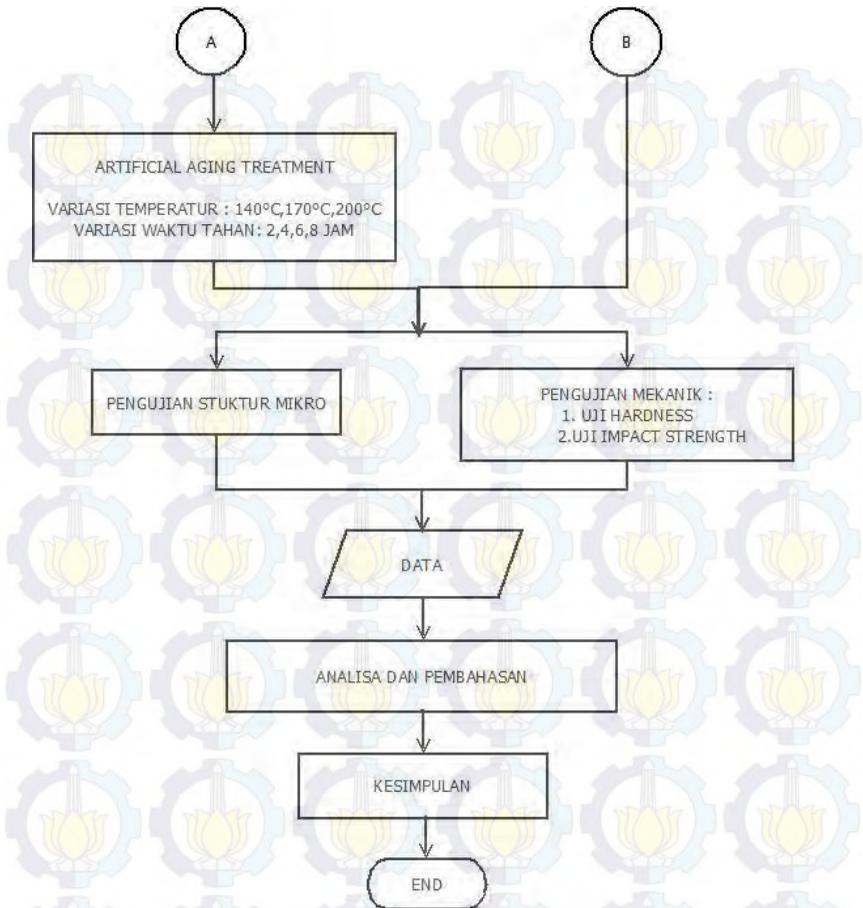
Dari penelitian tersebut dapat diketahui bahwa kandungan Mg dan Si sangatlah berperan penting dalam menentukan nilai kekerasan, *impact strength* dan kekuatan pada paduan tersebut. Ketika diamati struktur mikro yang terbentuk pada suhu 180 °C terjadi peningkatan penyebaran dari senyawa presipitat Mg₂Si intermetalik di semua Al-matriks secara menyeluruh serta ukuran dan persebaran DAS yang merata. Hal itu yang menyebabkan sifat mekaniknya jauh lebih baik dibanding dengan temperatur *aging* 160 °C.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Flowchart Penelitian



Gambar 3.1.1 Flowchart penelitian



Gambar 3.1.2 Lanjutan flowchart penelitian

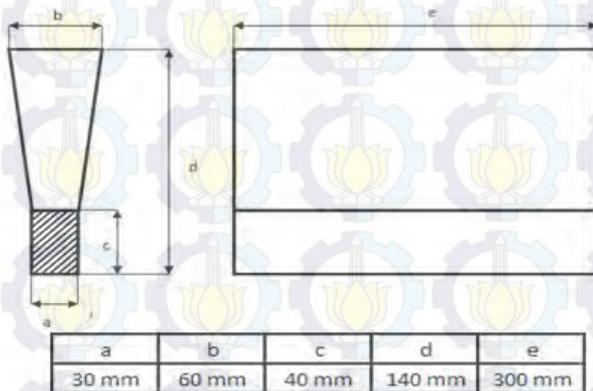
3.2 Material dan Preparasi

3.2.1 Material yang Digunakan

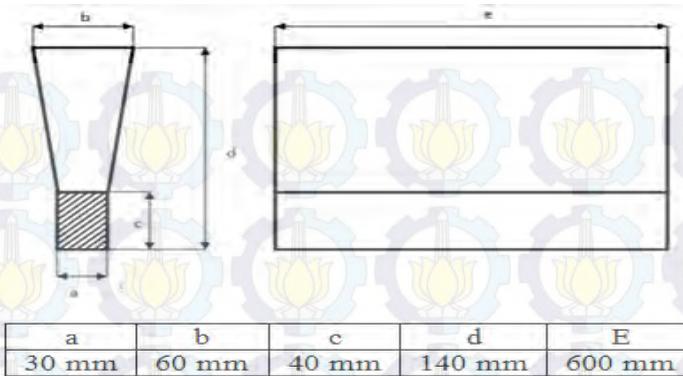
Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah Aluminium paduan ADC 12 yang diperoleh dari proses pengecoran pada PT ICCI.

Proses pengecoran dilakukan dengan menggunakan metode *gravity die casting*. Paduan dilelehkan pada temperatur 750 °C, kemudian dilakukan pembersihan *dross* dari permukaan logam cair sebelum dituang ke dalam cetakan. Logam *Al Alloy* cair dituang ke dalam cetakan permanen yang terbuat dari *Cast Iron*

Bentuk spesimen uji yang digunakan adalah *Y-Block ADC 12* dengan standart JIS G 5502, hal ini dikarenakan belum ditemukannya standart *y-block* yang dikhususkan untuk bahan aluminium. JIS G 5502 sendiri mengatur standarisasi untuk *y-block* berbahan dasar *ferrous*. Penggunaan *y-block* sendiri diharapkan dapat membentuk spesimen yang homogen dan meminimalisir porositas. Dimana pada gambar 3.2 merupakan gambar *y-block* untuk spesimen uji *hardness* dan mikrostruktur. Sedangkan gambar 3.3 merupakan gambar *y-block* untuk spesimen uji *impact strength*. [16]



Gambar 3.2 *Y-Block* spesimen uji *hardness* dan mikrostruktur

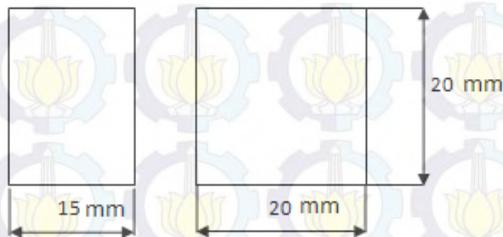


Gambar 3.3 Y-Block spesimen uji *impact strength*

Material yang dihasilkan untuk pengujian *impact* sesuai standar JIS H 5202. Untuk material pengujian metalografi dan kekerasan merupakan hasil dari *machining*. [16]

3.2.2 Bentuk Spesimen Uji *Hardness* dan metalografi

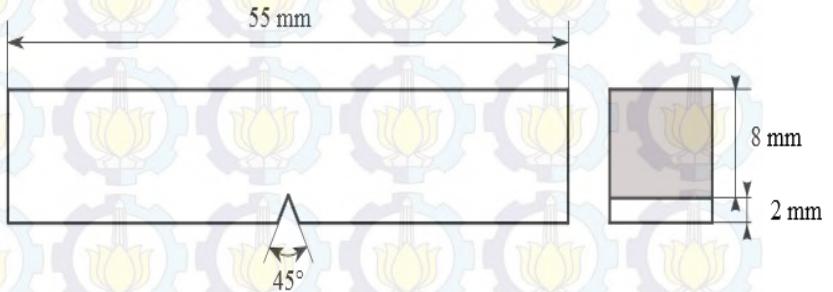
Spesimen yang akan digunakan untuk pengujian *metalography* dibentuk dari *Y-block* yang telah dibuat sebelumnya. Bentuk spesimen *metalography* dan pengujian kekerasan seperti pada gambar berikut.



Gambar 3.4 Spesimen uji *metalography* dan *hardness*

3.2.3 Bentuk Spesimen Uji *impact strength*

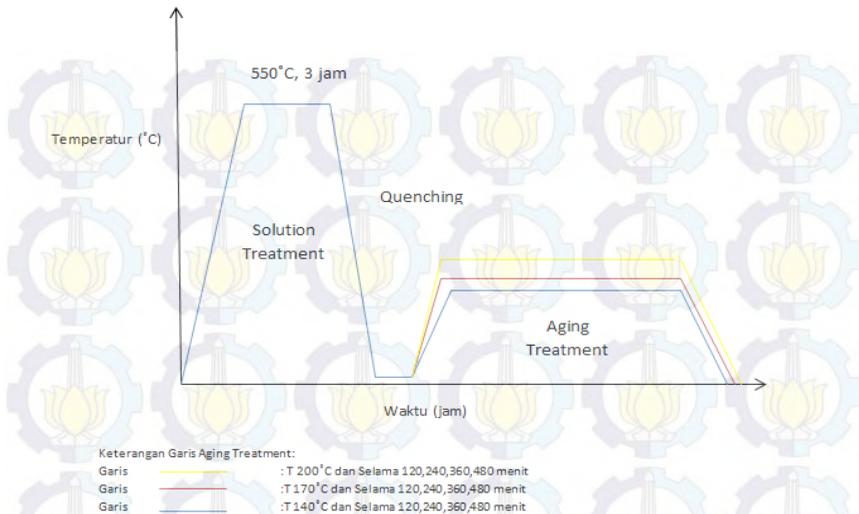
Standard Y-Block yang diperoleh dari hasil pengecoran di PT. ICCI akan dibentuk spesimen uji *impact* dengan standart JIS H 5202 seperti pada gambar :



Gambar 3.5 Spesimen uji *impac strength* [16]

3.3 Perlakuan Panas

Perlakuan panas *precipitation hardening* yang dilakukan pada penelitian kali ini adalah perlakuan panas T6, dimana secara umum perlakuan panas T6 terdiri dari *solution treatment*, pendinginan cepat (*quenching*), dan dilanjutkan *artificial aging*. Modifikasi yang dilakukan pada perlakuan panas T6 adalah dengan menaikkan temperatur pada saat proses *aging* dan memperlama waktu penahanannya. Tahap perlakuan panas dilakukan sesuai dengan ilustrasi gambar 3.6 sebagai berikut:



Gambar 3.6 Skema perlakuan panas *precipitation hardening* T6 yang dilakukan pada penelitian

Solution treatment dilakukan dengan cara memanaskan spesimen di dalam dapur hingga mencapai suhu yang telah ditentukan yaitu 550 °C. Dan ditahan dalam 3 jam kemudian di *quenching* pada media air dengan temperatur 60 °C. Pemilihan temperatur dan waktu tahan pada saat *solution treatment* berdasarkan jurnal dan buku dimana pada temperatur 550°C paduan aluminium akan mengalami kondisi *super saturated solid solution*. [12]

Setelah melalui proses *solution treatment* spesimen diberi perlakuan kembali yaitu *aging*. Pada proses *aging* spesimen dipanaskan kembali hingga mencapai temperatur yang ditentukan dan ditahan dalam waktu yang ditentukan pula. Kemudian spesimen didinginkan secara cepat ke dalam air hingga mencapai suhu kamar. Variasi temperatur dan waktu saat proses *aging* ditunjukkan dalam tabel berikut :

Tabel 3.2 Variasi temperatur dan waktu penahanan saat *aging*

Temperatur Aging (T)(°C)	Waktu Penahanan Aging (jam)
140	2
170	4
200	6
	8

Pemilihan variasi temperatur dan waktu pada saat proses *artificial aging* sendiri berdasarkan study literatur dan buku mengenai pengetahuan bahan teknik dan material serta proses pemanasan *presipitasi hardening* sendiri. Dimana pada proses *artificial aging* temperatur 100°C-200°C adalah batas temperatur yang berguna untuk menimbulkan presipitat pada spesimen. [10]

3.4 Peralatan Yang Digunakan

3.4.1 Dapur Pemanas

Peralatan ini digunakan untuk memberikan perlakuan panas dan juga *Holding time* pada temperatur serta waktu penahan yang telah ditentukan. Pada penelitian ini digunakan dapur pemanas dengan kapasitas pemanasan 30°C hingga 900°C.



Gambar 3.7 Dapur pemanas

3.4.2 Dapur *artificial aging*

Dapur ini memiliki kapasitas pemanasan 30°C hingga 750°C. Temperatur ditentukan melalui controler diluar dapur tertentu agar dicapai hasil yang diinginkan. Peralatan ini digunakan untuk melakukan proses *aging* pada variasi temperatur dan waktu yang sudah ditentukan



Gambar 3.8 Dapur Artificial aging

3.4.3 Peralatan *Grinding* dan *Polishing*

Peralatan ini digunakan untuk membuat permukaan spesimen rata, sehingga dapat digunakan untuk pengamatan struktur mikro maupun struktur makro. Proses ini berlangsung secara bertahap menggunakan kertas gosok dengan tingkat grid tertentu dengan dialiri air sampai permukaan spesimen tersebut halus. Sedangkan *polishing* menggunakan kain wol yang ditaburi bubuk alumina dan dialiri air sampai permukaan spesimen lebih halus lagi.



Gambar 3.9 Mesin *grinding* / *Polishing*

3.4.4 Peralatan pengujian etsa (*Etching*)

Proses etsa dilakukan dengan maksud untuk menkorosikan bagian permukaan spesimen sehingga struktur mikro spesimen

dapat . Pada proses etsa ini *etching reagent* yang digunakan adalah larutan “*keller*” yang merupakan campuran antara 95mL air, 1,5 mL HF, 1mL HCl dan 2,5mL HNO₃

3.4.5 Peralatan pengamatan struktur mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan di laboratorium metalurgi dimana peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Mikroskop dan kamera digital
- Satu unit komputer

Gambar struktur mikro yang diperoleh dari mikroskop dikirim ke *digital still recorder* melalui kamera. Gambar ini kemudian direkam oleh *digital still recorder* kemudian disimpan oleh komputer dalam bentuk file. Dengan peralatan ini dapat dilakukan pengamatan dengan pembesaran 100X sampai dengan 1000X sesuai dengan kebutuhan. Gambar 3.10 dibawah ini menampilkan peralatan yang digunakan.



Gambar 3.10 Peralatan pengamatan struktur mikro

3.4.6 Mesin uji *impact*

Mesin uji *impact* yang digunakan adalah Karl Frank GMBH tipe 580M dengan kapasitas 30 Kpm yang berada di jurusan teknik Mesin ITS



Gambar 3.11 Peralatan uji *impact*

3.4.7 Peralatan Kekerasan

Mesin uji kekerasan yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah milik laboratorium Metallurgi Jurusan Teknik Mesin ITS Surabaya. Mesin yang digunakan adalah mesin uji kekerasan metode brinell.



Gambar 3.12 Mesin uji kekerasan

3.5 Langkah Pengerjaan dan Jenis-Jenis Pengujian

Setelah material dibentuk sesuai standar untuk masing masing pengujian, selanjutnya material akan dilakukan proses perlakuan panas *precipitation hardening T6* dimana didalamnya terdapat 2 perlakuan yaitu *solution treatment* dimana material dipanaskan pada suhu 550°C dan ditahan selama 180 menit kemudian didinginkan cepat dalam air bertemperatur 60°C dan dilanjutkan proses aging dengan variasi temperatur dan waktu. Untuk proses *aging* sendiri temperatur yang ditentukan yaitu 140°C, 170°C, 200°C dan waktu penahanan selama 2, 4, 6, 8 jam.

3.5.1 Pengamatan *metalography*

Setelah material mengalami perlakuan panas *precipitation hardening*, kemudian dilakukan pengamatan metalografi pada material untuk mengamati struktur mikronya. Adapun tahap dari *metalography* adalah sebagai berikut :

- Gerinda (*Grinding*) & Poles (*Polishing*)

Proses *grinding* pada spesimen , yaitu spesimen digosok dengan menggunakan mesin *grinding* dan kertas gosok dengan grid 80-2000. kemudian spesimen dipoles menggunakan kain wol serta ditaburi bubuk alumina sampai permukaan spesimen mengkilap seperti kaca.

- Etsa (*Etching*)

Tujuan dari etsa adalah untuk mendapatkan permukaan yang dapat diamati dengan mikroskop optis. Etsa dilakukan dengan mencelupkan material ke dalam *etching reagent* tertentu selama waktu tertentu pula sesuai dengan karakteristik dari jenis *etching reagent* yang digunakan pada material tertentu. adapun *etching reagent* yang digunakan adalah *keller reagent* selama 3 – 5 detik.

- Pengamatan struktur mikro dengan menggunakan mikroskop optis.

Setelah dilakukan etsa, struktur mikro dari material dapat diamati dengan menggunakan mikroskop optis. Pengambilan gambar struktur mikro dilakukan dengan menggunakan kamera otomatis yang dihubungkan dengan komputer sehingga mampu

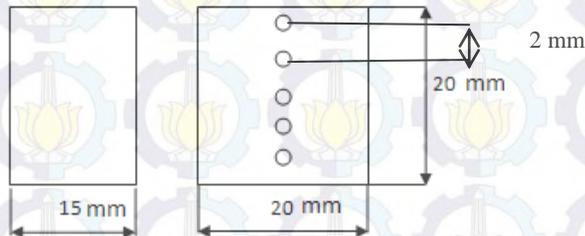
menangkap gambar secara digital. Pengambilan gambar struktur mikro pada material dengan perbesaran 100x dan 500x pada titik yang ditentukan.

3.5.2 Pengujian *impact*

Metode pengujian *impact* yang digunakan pada penelitian ini adalah metode Charpy. Pengujian menggunakan tiga spesimen untuk masing-masing varisasi. Pengujian *impact* menggunakan beban sebesar 15 kpm. Pada uji *impact*, mula-mula spesimen ditempatkan pada *anvil* dan dial penunjuk diatur ke posisi 0. Kemudian palu dinaikkan dengan sudut sebesar 156° , setelah itu palu dilepas untuk menghantam spesimen uji.

3.5.3 Pengujian kekerasan

Metode pengujian kekerasan yang digunakan pada penelitian ini adalah metode Brinnel. Pengujian menggunakan satu spesimen untuk masing-masing variasi. Pengujian kekerasan Brinnel menggunakan indentor bola baja yang dikeraskan. Pada uji kekerasan Brinnel, mula-mula permukaan spesimen yang akan diuji diletakkan pada meja preparat kemudian ditekan oleh indentor dengan memberikan beban utama sebesar 30,25 kp selama beberapa saat, kemudian beban utama dilepas.



Gambar 3.13 Ilustrasi spesimen uji kekerasan.

3.6 Desain percobaan

Untuk pelaksanaan percobaan, dibawah ini merupakan rancangan percobaan dengan menggunakan dua variabel, yaitu temperatur *aging* dan *holding time*, dengan kenaikan temperatur *aging* dan *holding time* secara bertahap.

Adapun variasi temperatur saat proses aging yaitu 140, 170, 200°C serta variasi holding time 2,4,6,8 jam.

Tabel 3.3 Rancangan Jumlah Spesimen Penelitian

No	Kode	Temperatur (°C)	Holding Time (menit)	Nilai kekerasan (HBN)	Impact Strengt (joule/mm ²)	Sruktur Mikro
1	As cast			1	3	1
2	A11	140	120	1	3	1
3	A12		240	1	3	1
4	A13		360	1	3	1
5	A14		480	1	3	1
6	A21	170	120	1	3	1
7	A22		240	1	3	1
8	A23		360	1	3	1
9	A24		480	1	3	1
10	A31	200	120	1	3	1
11	A32		240	1	3	1
12	A33		360	1	3	1
13	A34		480	1	3	1

Tabel 3.4 Perancangan Nilai Kekerasan

No	Kode	Temperatur (°C)	Holding Time (menit)	Nilai kekerasan (HBN)				Rata-rata
1	As cast							
2	A11	140	120					
3	A12		240					
4	A13		360					
5	A14		480					
6	A21	170	120					
7	A22		240					
8	A23		360					
9	A24		480					
10	A31	200	120					
11	A32		240					
12	A33		360					
13	A34		480					

Tabel 3.5 Perancangan Nilai *Impact Strength*

No	Kode	Temperatur (°C)	Holding Time (menit)	<i>Impact Strength</i> (joule/ mm ²)			Rata-rata
1	As cast						
2	A11	140	120				
3	A12		240				
4	A13		360				
5	A14		480				
6	A21		170	120			
7	A22	240					
8	A23	360					
9	A24	480					
10	A31	200		120			
11	A32		240				
12	A33		360				
13	A34		480				

Tabel 3.6 Perancangan Uji Struktur Mikro

No	Kode	Temperatur (°C)	<i>Holding Time</i> (menit)	Sruktur Mikro
1	As cast			
2	A11	140	120	
3	A12		240	
4	A13		360	
5	A14		480	
6	A21		170	120
7	A22	240		
8	A23	360		
9	A24	480		
10	A31	200		120
11	A32		240	
12	A33		360	
13	A34		480	

BAB IV DATA HASIL PENELITIAN

Dari hasil penelitian pada variasi *holding time* dan temperatur *aging* pada proses perlakuan panas *precipitation hardening T6* terhadap material paduan aluminium ADC 12, diperoleh suatu struktur mikro yang menyerupai tinjauan pustaka. Sebelum melakukan pengamatan *metallography*, dilakukan serangkaian persiapan spesimen meliputi proses grinding, polishing dan etsa. Proses etsa dilakukan dengan mencelupkan material kedalam larutan etsa berupa *Keller reagent* (1ml Hf + 5ml HNO₃ + 2,5ml HCl +100ml aquades). Untuk memudahkan dalam pengamatan dan analisa struktur mikro yang terjadi, maka akan ditunjukkan oleh foto struktur mikro pada setiap spesimen. Juga dengan dilakukannya pengujian mekanik yaitu uji kekerasan dengan *brinell test* dan uji *impact strength* didapatkan data perubahan kekerasan dan *impact strength* terhadap variasi *holding time* dan temperatur. Dari data hasil pengujian tersebut selanjutnya akan dianalisa.

4.1 Data Pengujian Material Awal Spesimen As Cast ADC 12

Tabel 4.1 : Hasil pengujian komposisi kimia Aluminium ADC 12

ELEMEN PADUAN	ADC 12 (JIS)		ADC 12 (PTICCI)	
Cu	1.5- 3.5	wt%	1.65	wt%
Si	9.6 - 12	wt%	10.12	wt%
Mg	0.3 maks	wt%	0.241	wt%
Zn	1.0 maks	wt%	0.8	wt%
Fe	1.3 maks	wt%	0.79	wt%
Mn	0.5 maks	wt%	0.147	wt%
Ni	0.5 maks	wt%	0.06	wt%
Sn	0.2 maks	wt%	0.022	wt%
Pb		wt%		wt%
Ti		wt%	0.039	wt%
Al	Remainder	wt%	86.131	wt%

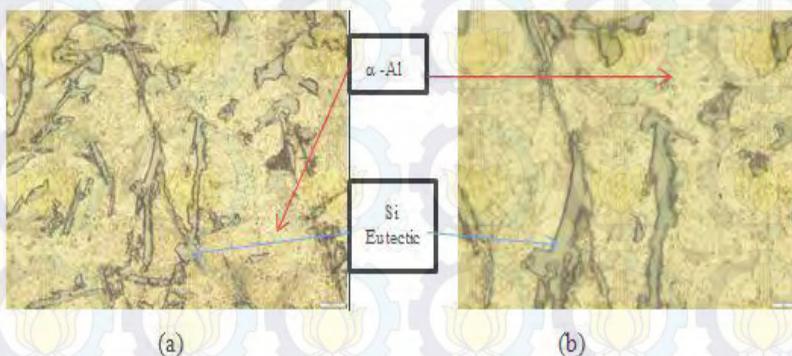
Tabel 4.2 : Hasil pengujian kekerasan spesimen *as cast* aluminium ADC 12

Spesimen	Titik	BHN per Titik	BHN Rata-rata
As Cast	1	61,546	59,679
	2	62,664	
	3	60,457	
	4	57,355	
	5	56,373	

Tabel 4.3 : Hasil pengujian *impact strength* spesimen *as cast* aluminium ADC 12

Spesimen		Titik	Impact Strength	Impact Strength Total
Temperatur	Holding Time		(joule/mm ²)	(joule/mm ²)
<i>as cast</i>		1	0,02452	0,026048648
		2	0,02452	
		3	0,03065	
		4	0,02452	

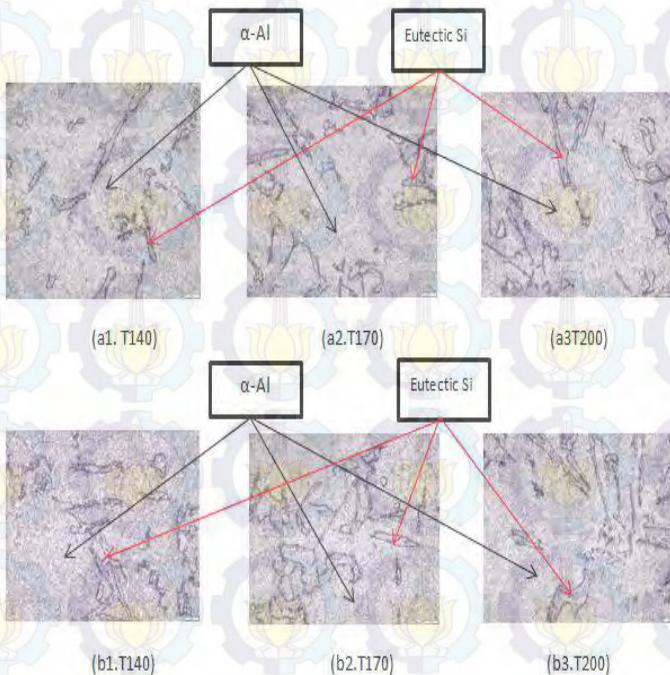
Gambar struktur mikro yang terbentuk pada spesimen *as cast* paduan aluminium ADC 12 ini ditunjukkan pada gambar 4.1 dimana paduan yang memiliki komposisi utama Al-Si-Cu memiliki struktur mikro berupa matrik α -Al dan Eutectic silicon

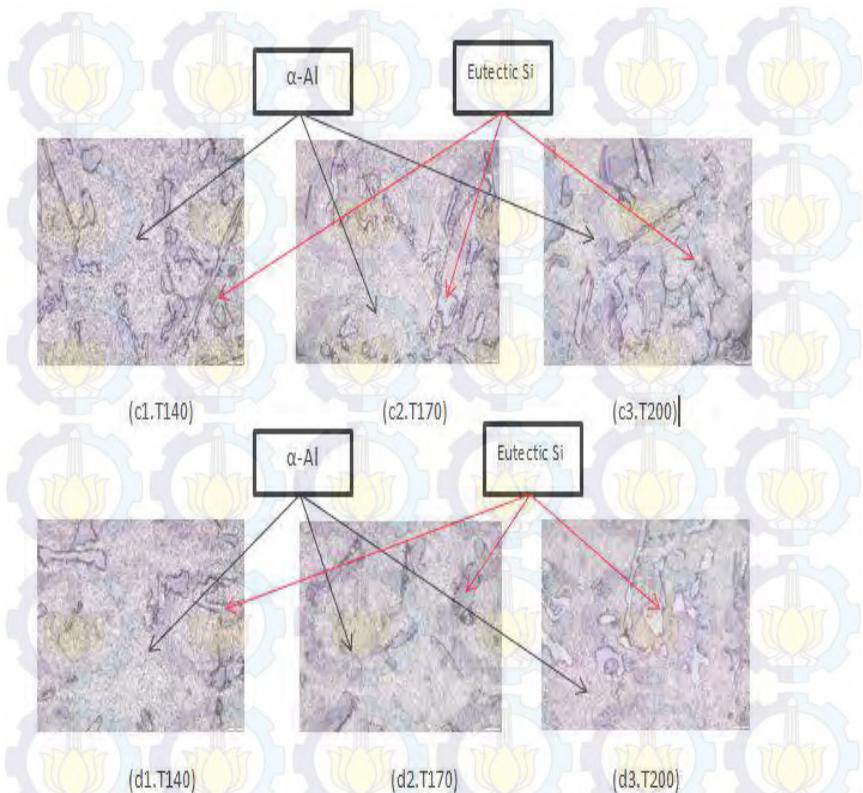


Gambar 4.1 struktur mikro spesimen *as cast* aluminium ADC 12 (a) perbesaran 500x, (b) perbesaran 1000x

4.2 Stuktur Mikro Hasil Proses Precipitation Hardening

Penelitian yang dilakukan mencakup perlakuan panas *precipitation hardening T6* dengan menggunakan dua macam variasi, yaitu variasi temperatur dan *holding time* pada saat *aging* perlakuan panas *precipitation hardening T6*. Pembentukan struktur mikro dari paduan aluminium ADC 12 ini merujuk pada fase diagram Al-Si-Cu yang telah ditunjukkan pada gambar 2.2. Kedua variasi tersebut berpengaruh terhadap pembentukan struktur mikro terutama terhadap persentase Si terlarut dan pembentukan presipitat. Berikut ditampilkan struktur mikro hasil perlakuan panas *precipitation hardening T6* pada masing-masing variasi temperatur dan waktu tahan.





Gambar 4.2

- struktur mikro spesimen dengan *holding time* 2 jam (a1.T 140°C), (a2.T170°C), (a3. T200°C).
- struktur mikro spesimen dengan *holding time* 4 jam (b1.T 140°C), (b2. T 170°C), (b3,T 200°C).
- struktur mikro spesimen dengan *holding time* 6 jam (c1.T 140°C), (c2.T 170°C), (c3.T 200°C).
- struktur mikro spesimen dengan *holding time* 6 jam (d1.T 140°C), (d2.T 170°C), (d3.T 200°C)

Dari data gambar struktur mikro diatas dapat kita lihat perbedaannya, yaitu perubahan dari persebaran dan ukuran *eutectic Si*. Untuk presipitat sendiri tidak dapat dilihat dari pengujian struktur mikro ini. Namun dapat dipastikan adanya presipitat Al_2Cu . Hal ini berdasarkan kesetaraan antara ADC 12 dan aluminium tipe A 384. Dimana kita dapat melihat pada handbook ASM tentang struktur mikro aluminium A 384 memiliki presipitat Al_2Cu . [7]

Pada temperatur $140^{\circ}C$ dengan *holding time* 2 jam memiliki ukuran *eutectic Si* yang kecil dan tidak merata. Semakin bertambahnya *holding time* dengan variasi temperatur yang sama ukuran dan persebaran ukuran *eutectic Si* semakin besar. Begitu juga dengan peningkatan temperatur saat *aging*, dengan meninjau saat *holding time* yang sama yaitu selama 2 jam pada temperatur $170^{\circ}C$ dan $200^{\circ}C$ memiliki ukuran dan persebaran *eutectic Si* yang semakin besar.

4.3 Data Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan ini menggunakan metode *brinell test*. Awal mulanya spesimen hardness dgrinding terlebih dahulu dengan kertas gosok grid 80 sampai dengan 2000. Kemudian spesimen di polising dengan alumina hingga permukaannya halus dan rata. Pengujian dilakukan dengan mengambil 5 nilai kekerasan dalam satu spesimen secara horizontal. Hal ini dilakukan guna untuk mengurangi data yang kurang akurat. Berikut hasil data pengujian:



Gambar 4.3 spesimen *hardness*

Tabel 4.4 Hasil pengujian kekerasan temperatur 140°C

No	Spesimen	Titik	BHN per Titik	BHN Rata-rata
1	As Cast	1	61,546	59,679
		2	62,664	
		3	60,457	
		4	57,355	
		5	56,373	
2	Temp. 140, 2 jam	1	97,491	94,630
		2	93,263	
		3	97,491	
		4	87,416	
		5	97,491	
3	Temp. 140, 4 jam	1	97,491	97,491
		2	97,491	
		3	97,491	
		4	97,491	
		5	97,491	
4	Temp. 140, 6 jam	1	97,491	90,714
		2	97,491	
		3	87,416	
		4	85,587	
		5	85,587	
5	Temp. 140, 8 jam	1	93,263	89,805
		2	87,416	
		3	85,587	
		4	95,342	
		5	87,416	

Pada variasi temperatur ini yaitu temperatur 140°C dengan *holding time* 2 jam memiliki nilai kekerasan 94,63 BHN. Kemudian mencapai nilai kekerasan maksimum yang dapat dicapai dengan variasi temperatur ini ketika *holding time* selama 4 jam yaitu sebesar 97,49 BHN. Setelah itu seiring bertambahnya *holding time* dengan variasi temperatur yang sama yaitu ketika *holding time* selama 6 jam dan 8 jam kekerasannya menurun yaitu sebesar 90,71 BHN dan 89,80 BHN.

Tabel 4.5 Hasil pengujian kekerasan temperatur 170°C

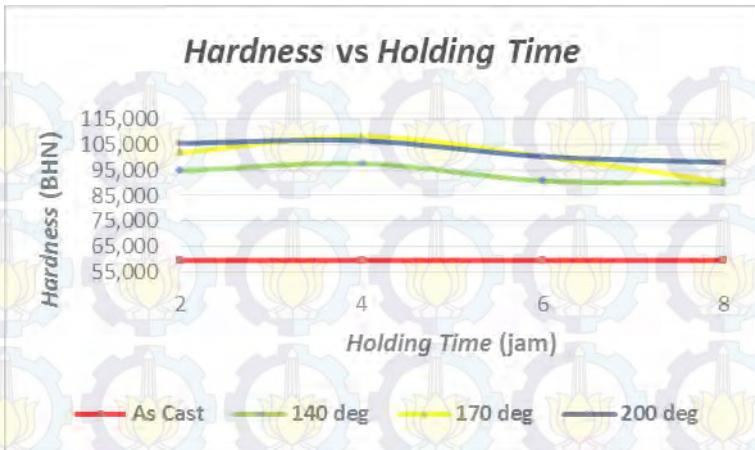
No	Spesimen	Titik	BHN per Titik	BHN Rata-rata
1	As Cast	1	61,546	59,679
		2	62,664	
		3	60,457	
		4	57,355	
		5	56,373	
2	Temp. 170, 2 jam	1	106,848	101,691
		2	104,387	
		3	95,342	
		4	97,491	
		5	104,387	
3	Temp. 170, 4 jam	1	104,387	108,049
		2	109,396	
		3	117,607	
		4	106,848	
		5	102,010	
4	Temp. 170, 6 jam	1	106,848	100,266
		2	102,010	
		3	97,491	
		4	97,491	
		5	97,491	
5	Temp. 170, 8 jam	1	93,263	90,182
		2	89,303	
		3	87,416	
		4	85,587	
		5	95,342	

Pada variasi temperatur ini yaitu temperatur 170°C dengan *holding time* 2 jam memiliki nilai kekerasan 101,69 BHN. Kemudian mencapai nilai kekerasan maksimum yang dapat dicapai dengan variasi temperatur ini ketika *holding time* selama 4 jam yaitu sebesar 108,04 BHN. Setelah itu seiring bertambahnya *holding time* dengan variasi temperatur yang sama yaitu ketika *holding time* selama 6 jam dan 8 jam kekerasannya menurun yaitu sebesar 100,26 BHN dan 90,18 BHN.

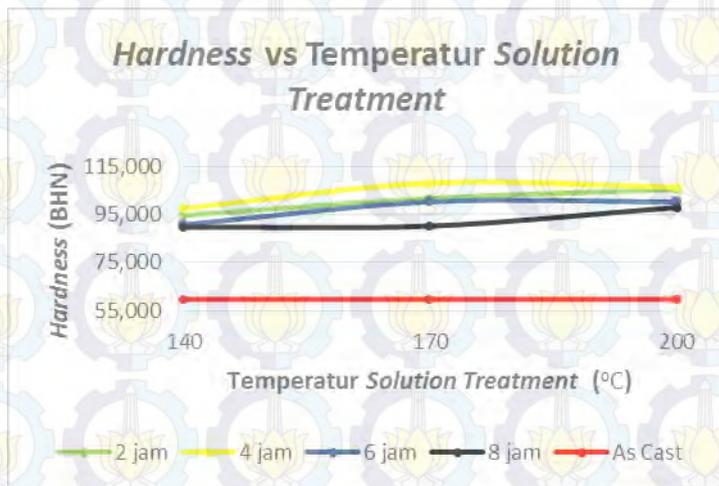
Tabel 4.6 Hasil pengujian kekerasan temperatur 200°C

No	Spesimen	Titik	BHN per Titik	BHN Rata-rata
1	As Cast	1	61,546	59,679
		2	62,664	
		3	60,457	
		4	57,355	
		5	56,373	
2	Temp. 200, 2 jam	1	106,848	105,371
		2	104,387	
		3	104,387	
		4	106,848	
		5	104,387	
3	Temp. 200, 4 jam	1	106,848	106,390
		2	109,396	
		3	106,848	
		4	102,010	
		5	106,848	
4	Temp. 200, 6 jam	1	102,010	100,218
		2	99,712	
		3	97,491	
		4	104,387	
		5	97,491	
5	Temp. 200, 8 jam	1	97,491	97,935
		2	97,491	
		3	99,712	
		4	97,491	
		5	97,491	

Pada variasi temperatur ini yaitu temperatur 200°C dengan *holding time* 2 jam memiliki nilai kekerasan 105,37 BHN. Kemudian mencapai nilai kekerasan maksimum yang dapat dicapai dengan variasi temperatur ini ketika *holding time* selama 4 jam yaitu sebesar 106,39 BHN. Setelah itu seiring bertambahnya *holding time* dengan variasi temperatur yang sama yaitu ketika *holding time* selama 6 jam dan 8 jam kekerasannya menurun yaitu sebesar 100,21 BHN dan 97,93 BHN.



Gambar 4.4 Grafik pengaruh holding time terhadap kekerasan



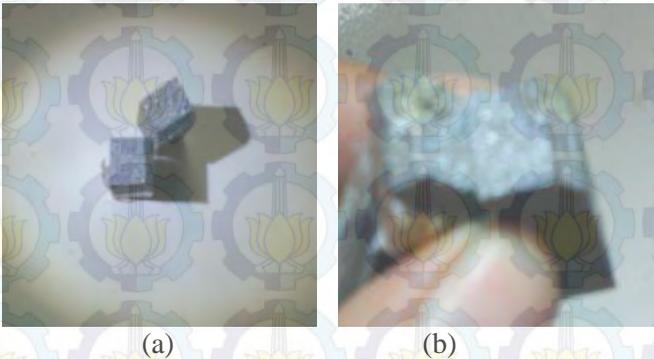
Gambar 4.5 Grafik pengaruh temperatur terhadap kekerasan

Dilihat dari kedua grafik tersebut bahwa spesimen yang memiliki nilai kekerasan maksimum terdapat pada temperatur 170°C dengan *holding time* 4 jam. Jika ditinjau dari tren grafiknya pada grafik pengaruh *holding time* terhadap kekerasan cenderung

turun setelah melewati waktu kurun 4 jam. Dan pada grafik pengaruh temperatur terhadap kekerasan cenderung naik pada suhu 140°C sampai temperatur 170°C dan kemudian turun kembali kekerasannya pada temperatur 200°C. Hal itu memungkinkan terjadi karena dapat disebabkan kondisi *over aging* pada temperatur 200°C.

4.4 Data Hasil Pengujian Impact Strength

Pengujian impact strength ini sesuai dengan standar JIS H 5202. Pengujian ini dilakukan dengan mesin Karl Frank GMBH tipe 580M dengan metode carphy. Hasil dari pengujian *impact strength* ini sebagai berikut:



Gambar 4.6 Spesimen hasil uji *impact strength* ,(a) temperatur 170C *holding time* 4 jam, (b) temperatur 200C *holding time* 8 jam

Tabel 4.7 Hasil pengujian impact strength temperatur 140°C

Spesimen		Titik	Impact Strength (joule/mm ²)	Impact Strength Rata-rata (joule/mm ²)
Temperatur	Holding Time			
140	2	1	0,03065	0,029113195
		2	0,02452	
		3	0,03065	
		4	0,03065	
	4	1	0,02452	0,024516375
		2	0,02452	
		3	0,02452	
		4	0,02452	
	6	1	0,02452	0,024516375
		2	0,02452	
		3	0,02452	
		4	0,02452	
	8	1	0,02452	0,024516375
		2	0,02452	
		3	0,02452	
		4	0,02452	
as cast	1	0,02452	0,026048648	
	2	0,02452		
	3	0,03065		
	4	0,02452		

Nilai *impact strength* yang diperoleh dari variasi temperatur aging 140°C selama 2 jam yaitu 0,0291 joule/mm². Kemudian nilai *impact strength*nya turun dan cenderung konstan pada variasi temperatur yang sama dengan *holding time* 4,6,8 jam yaitu sebesar 0,0245 joule/mm².

Tabel 4.8 hasil pengujian *impact strength* temperatur 170°C

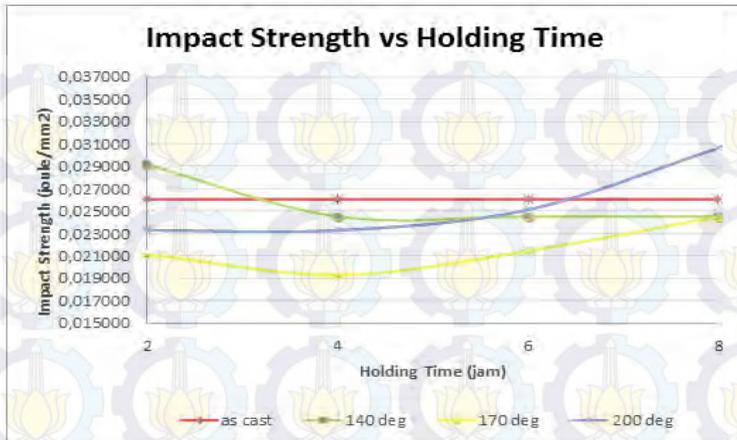
Spesimen		Titik	Impact Strength (joule/mm ²)	Impact Strength Rata-rata (joule/mm ²)
Temperatur	Holding Time			
170	2	1	0,02206	0,021145373
		2	0,02206	
		3	0,02206	
		4	0,01839	
	4	1	0,02206	0,019306645
		2	0,01839	
		3	0,01839	
		4	0,01839	
	6	1	0,02452	0,021451828
		2	0,01839	
		3	0,01839	
		4	0,02452	
	8	1	0,02452	0,024516375
		2	0,02452	
		3	0,02452	
		4	0,02452	
as cast	1	0,02452	0,026048648	
	2	0,02452		
	3	0,03065		
	4	0,02452		

Pada variasi temperatur ini yaitu temperatur 170°C dengan holding time 2 jam memiliki nilai *impact strength* 0,0211 joule/mm². Kemudian mencapai nilai *impact strength* terendah yang dicapai dengan variasi temperatur ini ketika holding time selama 4 jam yaitu sebesar 0,0193 joule/mm². Setelah itu seiring bertambahnya holding time dengan variasi temperatur yang sama yaitu ketika holding time selama 6 jam dan 8 jam *impact strengthnya* naik yaitu sebesar 0,0214 joule/mm² dan 0,0245 joule/mm².

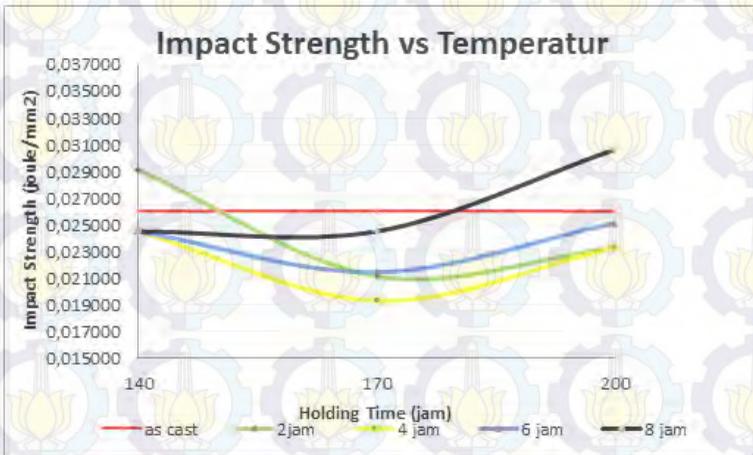
Tabel 4.9 hasil pengujian *impact strength* temperatur 200°C

Spesimen		Titik	Impact Strength	Impact Strength Rata-rata
Temperatur	Holding Time		(joule/mm ²)	(joule/mm ²)
200	2	1	0,02452	0,023290556
		2	0,02206	
		3	0,02206	
		4	0,02452	
	4	1	0,02329	0,023290556
		2	0,02329	
		3	0,02329	
		4	0,02329	
	6	1	0,02452	0,025129284
		2	0,02452	
		3	0,02452	
		4	0,02697	
	8	1	0,03065	0,030645469
		2	0,03065	
		3	0,03065	
		4	0,03065	
as cast	1	0,02452	0,026048648	
	2	0,02452		
	3	0,03065		
	4	0,02452		

Spesimen dengan variasi temperatur 200°C dengan *holding time* 2 jam dan 4 jam memiliki nilai *impact strength* 0,0232 joule/mm². Kemudian *impact strength*nya meningkat seiring dengan bertambahnya *holding time* yaitu selama 6 jam dan 8 jam yaitu sebesar 0,0251 joule/mm² dan 0,0306 joule/mm².



Gambar 4.7 grafik pengaruh holding time terhadap *impact strength*



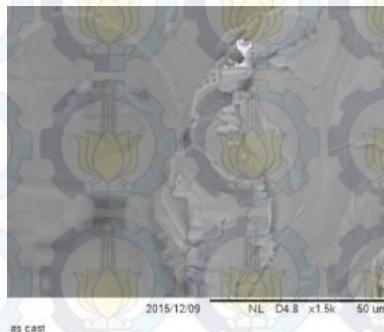
Gambar 4.8 grafik pengaruh temperatur terhadap *impact strength*

Dilihat dari kedua grafik tersebut bahwa spesimen yang memiliki nilai *impact strength* maksimum terdapat pada temperatur 200°C dengan *holding time* 8 jam. Jika ditinjau dari

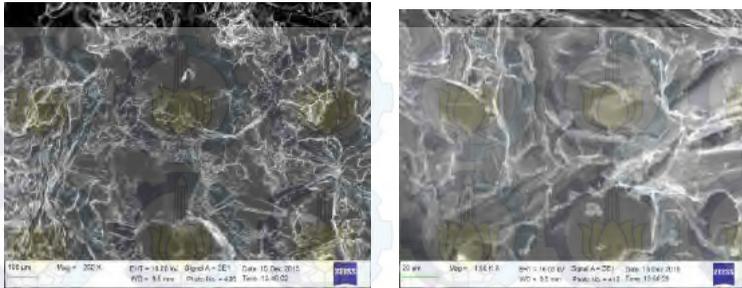
tren grafiknya pada grafik pengaruh *holding time* terhadap *impact strength* cenderung naik setelah melewati waktu kurun 4 jam. Dan pada grafik pengaruh temperatur terhadap *impact strength* cenderung turun pada suhu 140°C sampai temperatur 170°C dan kemudian naik kembali *impact strength*nya. Hal itu memungkinkan terjadi karena dapat disebabkan kondisi *over aging* pada temperatur 200°C sehingga lebih ulet.

4.5 Data Hasil Scanning Electron Microscope (SEM)

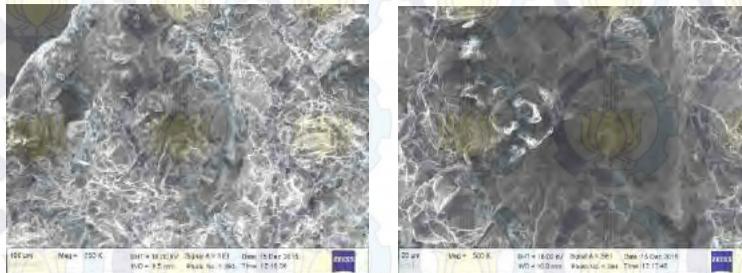
Untuk melihat karakter pola patahan apakah material itu getas atau ulet dari hasil perlakuan panas, dilakukan pengujian SEM untuk mengetahui perbedaan material yang getas dan yang lebih ulet. Untuk pengujian ini diambil satu sampel dari material yang memiliki *impact strength* terendah dan satu sample yang memiliki *impact strength* tertinggi serta sampel material tanpa perlakuan (*as cast*). Dari data hasil pengujian *impact* diatas, material yang dianggap paling getas adalah material yang nilai *impact strenght* paling kecil, yaitu pada material dengan temperatur 170°C serta *holding time* 4 jam. Sedangkan material paling ulet adalah material dengan *impact strength* paling besar, yaitu pada temperatur 200°C serta *holding time* 8 jam. berikut ini adalah gambar hasil pengujian SEM pada masing-masing material tersebut.



Gambar 4.9 Hasil pengujian SEM pada penampang pola patahan *As Cast*



Gambar 4.10 Hasil pengujian SEM pada penampang pola patahan temperatur *aging* 170°C dan *holding time* 4 jam



Gambar 4.11 Hasil pengujian SEM pada penampang pola patahan temperatur *aging* 200°C dan *holding time* 8 jam

Micrograf SEM dari permukaan patahan spesimen ditunjukkan pada gambar 4.9 , 4.10 dan 4.11. Pola patahan pada gambar 4.9 dan 4.10 tidak terdapat perbedaan yang mencolok . Oleh karena itu gambar 4.11 digunakan sebagai pembandingan. Meskipun dalam keseluruhan spesimen dikatakan patah brittle. Pada gambar 4.9 dan 4.10 menunjukkan menunjukkan bahwa spesimen tanpa perlakuan (*as cast*) dan spesimen dengan perlakuan panas *precipitation hardening* T6 dengan temperatur *aging* 170°C *holding time* 4 jam bersifat brittle atau getas. Pada gambar 4.9 dan 4.10 ini menunjukkan pola patahan *flat face* dengan permukaan patahan lebih rata dan tidak ada perbedaan ketinggian butiran yang signifikan. Hal tersebut menunjukkan

bahwa kedua spesimen tersebut bersifat lebih getas dari pada gambar 4.11. Pada gambar 4.11 yaitu gambar SEM penampang patahan pada spesimen dengan perlakuan panas *precipitation hardening T6* dengan temperatur *aging* 200°C holding time 8 jam juga menunjukkan pola patahan yang getas . Hal itu dapat ditunjukkan dengan bentuk pola patahan yang berupa *equixed dimple on flat face*. Adanya dimple dan perbedaan ketinggian patahan yang ditunjukkan pada gambar 4.11 ini menunjukkan bahwa spesimen ini lebih ulet dari pada spesimen pada gambar 4.9 dan 4.10. pengolahan data berupa gambar SEM ini mengacu pada ASM Metals handbook volume 12. [12]





(Halaman ini sengaja dikosongkan)

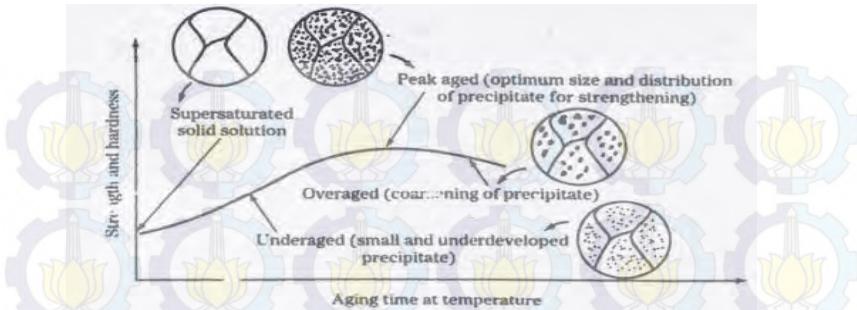
BAB V

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data hasil penelitian pada BAB IV maka akan dibuat beberapa analisa pengaruh temperature dan *holding time* pada proses *aging* dalam perlakuan panas *precipitation hardening T6*, dimana analisa tersebut berdasarkan dari data komposisi kimia dan struktur mikro. Selain itu akan dibuat analisa pengaruh adanya perubahan fase yang terjadi setelah proses *aging* terhadap *impact strength* dan kekerasan, yang didukung oleh data struktur mikro dan hasil pengujian SEM.

Melihat dari data uji komposisi kimia yang di keluarkan oleh PT.ICCI dimana komposisi utama dari paduan alumunium ini adalah aluminium, silicon dan copper. Kandungan dari silicon dan copper masih tergolong dalam batas standart JIS H 5302. Juga paduan lainnya yang mendorong terbentuknya presipitat saat proses *precipitation hardening* seperti Magnesium dan Besi juga masing termasuk dalam batas yang ditentukan. Dilihat dari pengujian struktur mikro pada gambar 4.1 yang dilakukan pada spesimen as cast struktur mikro yang terbentuk berupa matrik α -Al dan *eutectic Si*. [7,10]

Dengan meninjau komposisi kimia dari paduan alumunium ADC 12 dari PT ICCI memungkinkan didapatkan berbagai macam presipitat setelah proses *aging* pada perlakuan panas *precipitation hardening T6*. Akan tetapi presipitat yang mendominasi yaitu Al₂Cu berdasarkan ASM handbook tentang mikrofografi. Persentase presipitat dapat dipengaruhi oleh temperatur dan holding time saat proses *aging*. Sedangkan persentase dan ukuran presipitat sendiri berpengaruh pada nilai kekerasan suatu material sesuai gambar 2.6. [10]



Gambar 5.1 Kurva *strength or hardness vs aging time*) [10]

5.1 Pengaruh Holding Time dan Temperatur Terhadap Struktur Mikro

Struktur mikro hasil proses *aging* dalam perlakuan panas *precipitation hardening T6* dipengaruhi oleh temperatur dan *holding time*. Hal itu dapat dilihat pada gambar 4.2 yang merupakan gambar struktur mikro untuk tiap variasi temperatur maupun *holding time*. Jelas terlihat perbedaan struktur mikro antara spesimen *as cast* yang ditunjukkan oleh gambar 4.1 dengan spesimen hasil perlakuan panas *precipitation hardening T6*. Untuk menentukan struktur mikro pada paduan aluminium ADC 12 ini digunakan kesetaraan dengan paduan aluminium tipe 384 sesuai ASM metals handbook. Pada spesimen *as cast* terdiri dari matrix α -Al dan *eutectoid Si*. [7]

Pada spesimen hasil perlakuan panas *precipitation hardening T6* dapat kita lihat bahwa *holding time* dan temperatur berpengaruh terhadap jumlah silikon terlarut, ukuran dan persebaran presipitat yang terbentuk. Ketika proses solution treatment pada *precipitation hardening T6* paduan aluminium adc 12 membentuk fasa tunggal yaitu *solid solution*. Setelah itu melalui proses *quenching* dan terbentuk fasa *super saturated solid solution*. Kemudian dilanjutkan proses *aging*, ketika proses aging berlangsung ini mulai muncul presipitat. Presipitat yang diharapkan terbentuk dalam fasa Θ'' (CuAl₂). Perubahan fasa

saat *aging* disebabkan seiring dengan naiknya temperatur saat *aging* maupun bertambahnya waktu *holding time*. [10]



Terlihat perbedaan antara struktur mikro yang terbentuk antara masing-masing variasi temperatur maupun *holding time*. Untuk presipitat sendiri memang tidak dapat jelas ditunjukkan dengan pengujian struktur mikro. Perbedaan yang sangat mencolok terdapat pada ukuran dan persebaran *eutectic Si*. Tetapi jika dikaitkan dengan hasil pengujian mekanik yaitu kekerasan, fasa presipitat yang terbentuk serta ukuran dan persebaran *eutectic Si* ini menunjang nilai kekerasan. Ketika meninjau variasi *holding time*, saat temperatur 170°C dengan *holding time* 4 jam memiliki nilai kekerasan tertinggi. Nilai kekerasan ini dipatkan karena terdapatnya presipitat CuAl₂ dalam fasa Θ'' , ukuran dan persebaran *eutectic Si* dimana ukuran dan distribusinya optimum. Pada saat temperatur *aging* 170C dengan *holding time* 2 jam kekerasannya dibawah spesimen dengan *holding time* 4 jam ini. Hal ini disebabkan karena kondisi *under aging* dimana ukuran presipitat lebih kecil. Serta persebaran dan ukuran *eutectic silicon* yang lebih kecil dan tidak merata. Sedangkan pada *holding time* 6 jam dan 8 jam kekerasannya menurun, hal ini disebabkan karena kondisi *over aging* dengan fasa Θ' . Serta ukuran *eutectoid silicon* yang lebih besar. Pada saat kondisi *over aging* ini ukuran presipitat membesar dan jaraknya semakin rapat bahkan dapat menjadi kondisi equilibrium jika *holding time* diperpanjang dan terbentuk fasa Θ . Begitu pula dengan variasi temperatur, ketika spesimen dengan temperatur *aging* 140°C dan 200°C dengan *holding time* 4 jam nilai kekerasannya dibawah kekerasan spesimen saat temperatur 170°C dengan *holding time* 4 jam. Hal ini dapat diakibatkan karena terbentuknya presipitat serta ukuran dan persebaran *eutectic Si* yang ukuran maupun persebarannya tidak maksimum. Hal ini sesuai dengan penelitian Abdillah (2011) yang menyatakan bahwa struktur mikro yang dapat terbentuk dari kondisi *under aging* yaitu inisiasi presipitat, *critycal aging* dimana terbentuk

presipitat Θ'' , dan kondisi *over aging* dengan fasa yang terbentuk Θ Al₂Cu.

5.2 Pengaruh Holding Time dan Temperatur Terhadap Kekerasan

Kekerasan material hasil proses *aging* dalam perlakuan panas *precipitation hardening T6* dipengaruhi oleh temperatur serta *holding time* yang digunakan selama proses perlakuan panas. Pada gambar 4.4 ditampilkan grafik hubungan *holding time aging* terhadap nilai kekerasan yang diperoleh dari material *as cast* dan setelah proses *aging* dalam perlakuan panas *precipitation hardening T6* dengan *holding time* masing masing 2, 4, 6 dan 8 jam. Sedangkan pada grafik 4.5 bisa dilihat pengaruh temperatur *aging* terhadap nilai kekerasan.

Harga kekerasan material *as cast* paduan aluminium ADC 12 adalah 59,679 BHN. Dari gambar 4.4 dan 4.5 tersebut tampak bahwa material paduan aluminium ADC 12 mengalami kenaikan harga kekerasan setelah mengalami proses *precipitation hardening*. Harga kekerasan tertinggi terjadi pada temperatur 170°C dengan *holding time* selama 4 jam. Sedangkan harga kekerasan paling rendah terjadi pada temperatur 140°C dengan *holding time* 8 jam

Holding time dan temperatur pada saat *aging* pada proses *precipitation hardening T6* sangatlah berpengaruh terhadap kekerasan spesimen yaitu paduan aluminium ADC 12. Pada saat temperatur *aging* 140°C dengan *holding time* 2 jam memiliki nilai kekerasan 94,63 BHN dan mengalami kenaikan sebesar 58,5%. Ketika *holding time* selama 4 jam kekerasan spesimen meningkat menjadi 97,49 BHN mengalami kenaikan sebesar 63,3%. Setelah itu ketika *holding time* terus berlanjut yaitu selama 6 jam dan 8 jam kekerasan spesimen terus menurun yaitu sebesar 90,71 BHN dan 89,80 BHN mengalami kenaikan sebesar 52% dan 50%. Spesimen dengan variasi temperatur 170°C pada saat *holding time* 2 jam memiliki nilai kekerasan 101,69 BHN mengalami kenaikan sebesar 70,3%. Kekerasan meningkat ketika *holding time* 4 jam

yaitu sebesar 108,04 BHN mengalami kenaikan sebesar 81% dan merupakan kekerasan maksimum yang dapat tercapai. Setelah itu spesimen mengalami penurunan kekerasan ketika *holding time* selama 6 jam 8 jam yaitu sebesar 100,26 BHN dan 90,18 BHN mengalami kenaikan sebesar 68% dan 51%. Pada saat variasi temperatur *aging* 200°C dengan *holding time* selama 2 jam memiliki kekerasan sebesar 105,37 BHN mengalami kenaikan sebesar 76,5%. Ketika *holding time* selama 4 jam mengalami kenaikan yang tidak terlalu signifikan yaitu sebesar 106,39 BHN mengalami kenaikan sebesar 78,2%. Kemudian ketika spesimen dengan *holding time* selama 6 jam dan 8 jam kekerasannya turun sebesar 1002,21 BHN dan 97,93 BHN mengalami kenaikan sebesar 57% dan 64%. Dari Keseluruhan data nilai kekerasan yang didapat dari spesimen precipitation hardening T6 meningkat antara 50%-80%.

Dengan data kekerasan yang didapat menunjukkan bahwa, temperatur dan *holding time* selama proses aging sangatlah berpengaruh terhadap nilai kekerasan paduan aluminium ADC 12. Hal ini sesuai dengan dasar teori maupun tinjauan pustaka yang ada. Dimana spesimen akan mengalami kenaikan kekerasan ketika mengalami proses precipitation hardening dan akan mendapatkan kekerasan maksimum ketika temperatur tertentu yaitu pada temperatur *aging* 170°C dengan *holding time* 4 jam. Kekerasan maksimum ini dapat tercapai karena adanya presipitat yang berupa Θ'' . Akan tetapi presipitat Θ'' dengan bertamabahnya temperatur dan holding time akan membesar dan berubah kembali menjadi fasa yang setimbang yaitu Θ ketika kondisi *over aging*. [10]

Pengujian struktur mikro juga dapat mendukung data kekerasan yang didapat. Dengan pengujian struktur mikro ini dapat dilihat bahwa pada spesimen dengan temperatur aging 170°C dan holding time selama 4 jam memiliki jumlah presipitat yang jauh lebih banyak dibandingkan dengan yang lain dan tersebar merata, sehingga dengan banyaknya presipitat yang terbentuk ini dapat meningkatkan kekerasan pada spesimen ini.

Serta ukuran dan persebaran dendrit dan eutectic Si yang optimum pada spesimen ini juga berpengaruh besar dalam menyumbang nilai kekerasannya. Nampak jelas ukuran dan persebaran eutectic Si yang tersebar merata pada spesimen ini. Hal ini sesuai dengan penelitian Abdillah (2011) yang menyatakan bahwa terdapat kondisi *under aging*. Serta kekerasan tertinggi terdapat pada saat spesimen mengalami *critical aging* dengan fasa Θ'' . Dimana setelah itu nilai dari kekerasan cenderung turun dikarenakan material mengalami *over aging*.

5.3 Pengaruh Holding Time dan Temperatur Terhadap Impact Strength

Impact Strength material hasil proses *aging* dalam perlakuan panas *precipitation hardening T6* dipengaruhi oleh temperatur serta *holding time* yang digunakan selama proses perlakuan panas. Pada gambar 4.7 ditampilkan grafik hubungan *holding time aging* terhadap harga *impact strength* yang diperoleh dari material *as cast* dan setelah proses *aging* dalam perlakuan panas *precipitation hardening T6* dengan *holding time* masing masing 2, 4, 6 dan 8 jam. Sedangkan pada grafik 4.8 bisa dilihat pengaruh temperatur *aging* terhadap nilai *impact strength*.

Harga *impact strength* material *as cast* paduan aluminium ADC 12 adalah 0,026049 Joule/mm². Dari gambar 4.7 dan 4.8 tersebut tampak bahwa material paduan aluminium ADC 12 mengalami kenaikan harga *impact strength* setelah mengalami proses *precipitation hardening* dan ada juga yang mengalami penurunan dibanding dengan spesimen *as cast*. Harga *impact strength* tertinggi terjadi pada temperatur 200°C dengan *holding time* selama 8 jam. sedangkan harga *impact strength* paling rendah terjadi pada temperatur 170°C dengan *holding time* 4 jam.

Holding time dan temperatur saat *aging* pada proses *precipitation hardening T6* sangatlah berpengaruh terhadap nilai *impact strength* paduan aluminium ADC 12. Pada spesimen dengan temperatur *aging* 140°C nilai *impact strength* tertinggi pada holding time 2 jam yaitu 0,029 Joule/mm² mengalami

kenaikan sebesar 11% ,kemudian nilai *impact strength*nya turun ketika *holding time* 4 jam yaitu 0,024 Joule/mm² mengalami penurunan sebesar 5% dan pada *holding time* 6 jam dan 8 jam nilai *impact strength*nya tetap. Pada spesimen dengan temperatur *aging* 170°C dengan *holding time* 2 jam memiliki nilai *impact strength* 0,021 Joule/mm² mengalami penurunan sebesar 18%, kemudian ketika *holding time* 4 jam memiliki nilai *impact strength* terendah yaitu senilai 0,019 Joule/mm² mengalami penurunan sebesar 25% dan ketika *holding time* selama 6 jam dan 8 jam nilai *impact strength* lebih tinggi yaitu 0,021 Joule/mm² dan 0,024 Joule/mm² mengalami penurunan sebesar 17% dan 5%. Sedangkan pada temperatur 200°C tren nilai *impact strength*nya mirip dengan temperatur 170°C yaitu pada *holding time* 2 jam dan 4 jam memiliki *impact strength* 0,023 Joule/mm² mengalami penurunan sebesar 10% kemudian naik ketika *holding time* 6 jam dan 8 jam. Pada temperatur 200°C dengan *holding time* 8 jam memiliki nilai *impact strength* tertinggi yaitu sebesar 0,030 Joule/mm² mengalami kenaikan sebesar 17%. Secara garis besar grafik antara *impact strength* dengan *holding time* dan temperatur mengalami penurunan walaupun tidak signifikan.

Nilai *impact strength* yang didapat sesuai dengan dasar teori yang ada, bahwa nilai kekerasan berbanding terbalik dengan nilai *impact strength*nya. Jadi semakin keras suatu spesimen maka energi yang dibutuhkan untuk mematahkan spesimen tersebut akan semakin kecil. Dengan teori tersebut temperatur *aging* dan *holding time* saat *aging* mempengaruhi nilai *impact strength*. Nilai *impact strength* akan turun ketika mencapai temperatur dan *holding time* dimana akan terbentuk presipitat fasa Θ'' ,ukuran dan persebaran eutectic Si yang semakin besar dan juga ukuran dan persebaran dendrit. Pada temperatur 170°C dengan *holding time* 4 jam merupakan *critical aging* sehingga terbentuk fasa Θ'' ,eutecti Si yang optimum menyebabkan nilai *impact strength*nya terendah karena eutectic Si dan presipitat bersifat getas.. Jika *holding time* terus berlanjut dan temperatur *aging* naik maka presipitat akan membesar dan akan terbentuk kembali fasa

setimbang Θ serta ukuran DAS yang semakin kecil dapat meningkatkan nilai *impact strength* [14]. Pada temperatur 200C dan *holding time* selama 8 jam memungkinkan terdapat presipitat yang membesar dan terbentuk kembali fasa setimbang Θ serta nampak jelas bahwa persebaran dendrit (DAS) semakin rapat.

Nilai *impact strength* tersebut juga sesuai dengan hasil pengujian SEM pada masing masing permukaan patahan material hasil perlakuan *precipitation hardening T6* yang paling getas dan yang paling ulet. Dari nilai *impact strength* dapat diketahui bahwa material hasil perlakuan *precipitation hardening T6* yang paling getas adalah material dengan temperatur *aging* 170°C dengan *holding time* 4 jam. Sedangkan material hasil perlakuan *austempering* paling ulet adalah material dengan temperatur *aging* 200°C dengan *holding time* 8 jam. Dari gambar hasil pengujian SEM, gambar 4.10 spesimen dengan temperatur *aging* 170C dngan *holding time* 4 jam merupakan pola patahan *brittle*. Hal tersebut ditunjukkan dengan pola patahan *flat face* dengan permukaan patahan lebih rata dan tidak ada perbedaan ketinggian butiran yang signifikan. Hal itu dapat terjadi akibat patah statis dan tidak terjadi deformasi plastis. Sedangkan pada gambar 4.11 dengan temperatur *aging* 200C dngan *holding time* 8 jam merupakan patahan ulet. Hal itu dapat ditunjukkan dengan bentuk pola patahan yang berupa *equixed dimple on flat face*. Adanya dimple dan perbedaan ketinggian patahan yang ditunjukkan pada gambar 4.11 ini menunjukkan bahwa spesimen ini lebih ulet dari pada spesimen pada gambar 4.10. Hal tersebut terjadi karena memungkinkan adanya deformasi plastis pada material ketika patah. Nilai *impact strength* berbanding terbalik dengan nilai kekerasan suatu material. Hal ini sesuai dengan penelitian Oladele and J.A. Omotoyinbo bahwa ketika ukuran dan persebaran presipitat optimum material akan memiliki nilai kekerasan yang maksimum dan *impact strength* yang minimum karena bersifat sangat getas. Sedangkan *impact strength* sangatlah ditunjang oleh persebaran dendrit (DAS).

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan.

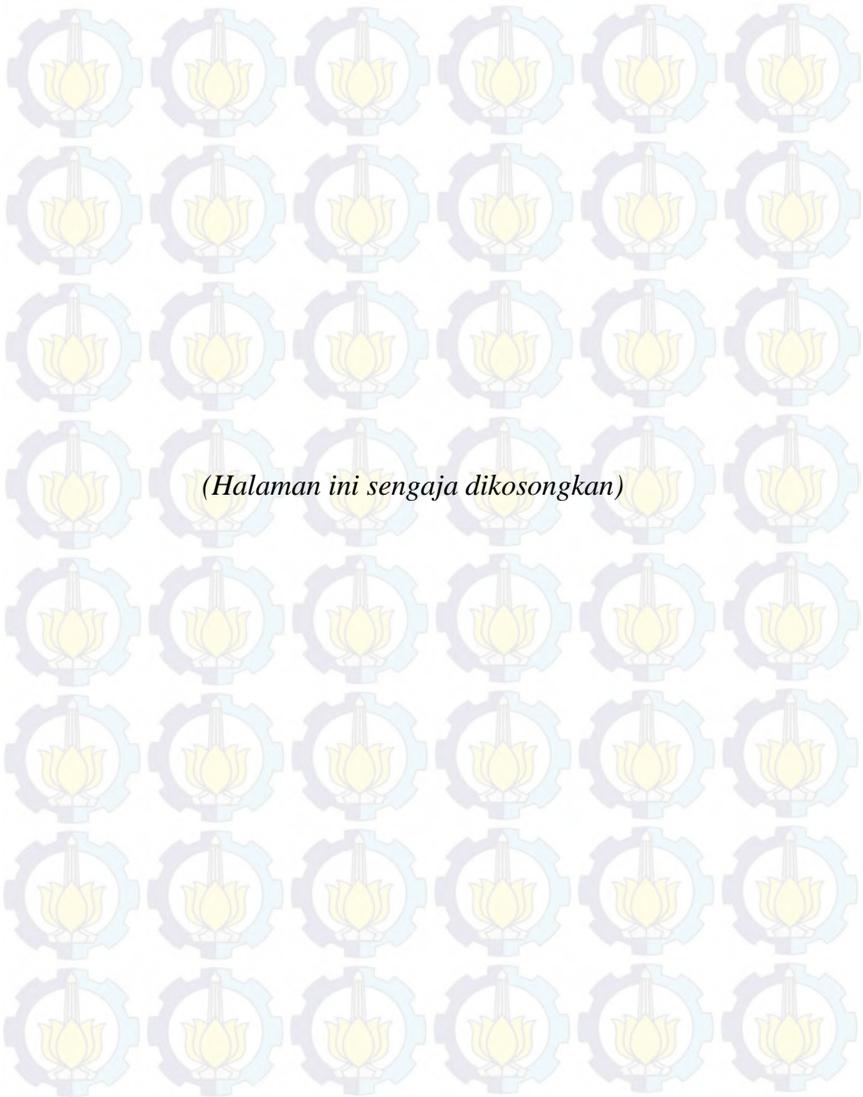
Setelah melakukan penelitian maka kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Struktur mikro dipengaruhi oleh temperatur dan *holding time* saat *aging* pada *precipitation hardening T6*, dimana struktur mikro yang berpengaruh terhadap sifat mekanik adalah presipitat Al₂Cu, ukuran dan persebaran *eutectic Si*
2. Nilai kekerasan maksimum diperoleh saat temperatur *aging* 170C dengan *holding time* 4 jam sebesar 108,04 BHN.
3. Nilai *impact strength* maksimum diperoleh saat temperatur *aging* 200C dengan *holding time* 8 jam.
4. Kondisi *under aging* terjadi ketika temperatur 140C dengan *holding time* 2 jam, sedangkan kondisi *over aging* terjadi saat temperatur *aging* 200C dengan *holding time* 8 jam.

6.2. Saran

Setelah dilakukannya perlakuan panas *precipitation hardening T6* pada paduan aluminium ADC 12 ini adapun saran yang dapat diberikan untuk pengerjaan dan kebaikan tugas akhir selanjutnya yaitu:

1. Perlu dilakukan pengujian sifat mekanik lainnya seperti uji tarik, uji keausan dan uji *fatigue* guna kelayakan sebagai material piston.
2. Perlu dilakukan pengujian sintesis dan *screening* molekul serta menggunakan *software* microcal dan celref untuk mengetahui bentuk dan ukuran dari presipitat.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdillah, F., 2010. “Perlakuan Panas Paduan AL-Si Prototipe Piston Berbasis Material Piston Bekas.” Thesis S-2 Teknik Mesin Universitas Diponegoro Semarang.
- [2] Kusumaningtyas, Asri., 2012. “Studi Eksperimental Perbandingan Pengaruh Variasi Solution Treatment Pada Perlakuan Panas Precipitation Hardening T6 Terhadap Sifat Mekanik Paduan Al-Si-Mg.” Jurusan Teknik Mesin - Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [3] Firman, Rahardian.P., 2012. “Pengaruh Solution Treatment Dalam Garam Cair Dan Dapur Pemanas Konvensional T6 Terhadap Sifat Mekanik Al-Si-Mg.” Jurusan Teknik Mesin - Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [4] Abdillah, A., 2011. “Studi Eksperimental Pengaruh Temperatur Aging Terhadap Sifat Mekanik Pada Pengerasan Presipitasi Paduan Aluminium Tipe 2024.” Jurusan Teknik Mesin - Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [5] Surdia, Tata & Saito, Shinroku. 1992. *Pengetahuan Bahan Teknik. (edisi kedua)*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- [6] Kaufmann, J.G. Introduction to Aluminium Alloys and Tempers. Ohio: ASM International. 2000.
- [7] ASM International. All Rights Reserved Aluminum-Silicon Casting Alloys: Atlas Microfractographs, 2004
- [8] Syakuura, Abdan., 2012. “Sifat Mekanik Dan Pengerasan Presipitasi Paduan Al-Zn-Mg Dengan Variasi Kandungan Cu Selama Aging Pada Temperatur 120C.” Jurusan Metalurgi dan Material – Universitas Indonesia.

- [9] Kaufmann, J.G. and E.L. Rooy. *Aluminium Alloy Casting*. Ohio : ASM International. 2004
- [10] Smith, F. William. 1995. *Material Science and engineering. (second edition)*. New York: Mc Graw- Hill inc.
- [11] Askeland, 1996 , *The Science and Engineering of Materials*, 3rd Edition, Nelson Thomas Ltd. United Kingdom.
- [12] Raghavan, V. *Al-Cu-Si (Aluminium-Copper-Silicon)*. JPEDAV: ASM International. 2007.
- [13] ASM International. *Metals handbook volume 12*. 2004
- [14] Rochiem, 2012 “Karakterisasi Sifat Mekanik Paduan Aluminium AA.319-T6 Akibat Pengaruh Variasi Temperatur *Aging* Pada Proses *Precipitation Hardening*.” Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [15] Oladele,I.O, 2012 “ Evaluating the Influence of Ageing Temperature onthe Mechanical Properties of Al-Mg-Si Alloy.” Metallurgical and Materials Engineering Department Federal University of Technology, Akure. Ondo State, Nigeria.
- [16] JSA, “JIS handbook,” ed: Japanese Standards Assocation, 2008.

BIODATA PENULIS



Penulis yang memiliki nama lengkap **Billydiaz Taura Mazda** lahir di sebuah kota di Jawa Timur yang bernama **Jember**, pada tanggal **24 April 1993**. Dia merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis menghabiskan masa kecilnya di dalam keluarga yang bahagia dan penuh kasih sayang. Penulis menjalani pendidikan dimulai dari **TK Siti Hajjar 2 Jember**, **SD Jember Lor I Jember**, **SMP 2 Jember**, dan masa SMA dijalani di **SMA 1 Jember**. Setelah lulus dari SMA, penulis memutuskan untuk melanjutkan studi di salah satu perguruan tinggi terbaik di Indonesia yaitu **Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya**.

Selama masa studi di Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember, penulis bergabung dengan salah satu organisasi kemahasiswaan yang bernama Himpunan Mahasiswa Mesin (HMM). Dalam organisasi tersebut penulis mendapatkan ilmu tentang pengelolaan sumber daya manusia termasuk diberi kesempatan menjadi steering comitte. Penulis memiliki hobi terhadap olahraga dan berpetualang. Cita-cita terbesar penulis adalah membahagiakan kedua orang tua dan membangun bangsa Indonesia menjadi negara yang lebih baik dan mandiri menuju globalisasi dunia