



TUGAS AKHIR- TM141585

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

I GEDE BRAHMANDA ADITIYA PARAMARTHA  
NRP. 2111 100 046

Dosen Pembimbing  
Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA

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



FINAL PROJECT - TM141585

**EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT OF  
PRECIPITATION HARDENING T6 PAIRED WITH  
HOLDING TIME AND SOLUTION TEMPERATURE  
VARIATION TO MECHANICAL PROPERTIES OF  
ALUMINUM ALLOY ADC 12**

I GEDE BRAHMANDA ADITIYA PARAMARTHA  
NRP. 2111 100 046

Advisor  
Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTEMENT  
Fakulty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2016

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

**TUGAS AKHIR**

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 :

**I GEDE BRAHMANDA ADITIYA PARAMARTHA**

**NRP. 2111 100 046**

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA ..... (Pembimbing)  
(NIP. 195012111985021001)
2. Suwarno, ST, MSc, Ph.D ..... (Penguji I)  
(NIP. 1980055202005001003)
3. Wahyu Wijanarko, ST, MSc ..... (Penguji II)  
(NIP. 198202092012121001)
4. Ir. Hari Subiyanto, MSc ..... (Penguji III)  
(NIP. 1960062319888031002)

**SURABAYA**

**Januari, 2016**

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

**Nama Mahasiswa : I Gede Brahmada Aditiya Paramartha**  
**NRP : 2111 100 046**  
**Jurusan : Teknik Mesin**  
**Dosen Pembimbing: Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA.**

***Abstrak***

*Salah satu aplikasi penggunaan paduan aluminium ADC 12 pada komponen otomotif yaitu komponen piston. Dalam penggunaan piston pada sebuah engine, piston tersebut membutuhkan karakteristik sifat mekanik yaitu antara lain nilai kekerasan yang tinggi, kekuatan yang baik agar tidak mudah terdeformasi, dan tahan terhadap deformasi pada suhu tinggi. Sehingga paduan aluminium ADC 12 sebagai bahan dasar pembuatan piston perlu diberikan perlakuan agar memiliki sifat mekanik yang dibutuhkan, perlakuan yang dimaksud adalah perlakuan panas precipitation hardening T6.*

*Perlakuan panas precipitation hardening T6 terdiri dari tiga tahapan yaitu solution treatment yang dilakukan pada dapur pemanas dengan temperatur 510°C, 530°C, dan 550°C serta dalam waktu 3, 4, 5, dan 6 jam. Selanjutnya dilakukan proses quenching dengan media air pada temperatur mencapai 60°C, berikutnya dilakukan proses artificial aging yaitu dengan memanaskan kembali material pada temperatur 150°C selama 4 jam dan langkah terakhir yaitu dilakukan proses quenching kembali.*

Hasil dari penelitian ini adalah setelah dilakukannya proses perlakuan panas precipitation hardening T6 terjadi peningkatan nilai impact strength dan nilai hardness dari spesimen as cast ADC 12. Nilai impact strength hasil perlakuan panas precipitation hardening T6 cenderung semakin meningkat seiring dengan bertambahnya holding time, sementara itu akan cenderung menurun jika terjadi peningkatan temperatur solution treatment. Nilai hardness dari spesimen yang telah diberikan perlakuan panas akan meningkat seiring dengan penambahan holding time hingga mencapai nilai maksimum pada holding time 4 jam lalu mengalami penurunan nilai hardness sejalan dengan bertambahnya holding time yang diberikan, sedangkan akan mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya temperatur solution treatment. Peningkatan nilai impact strength dan nilai hardness pada paduan aluminium ADC 12 yang telah diberikan perlakuan panas precipitation hardening T6 disebabkan oleh tersperoidisasinya silikon yang mengandung  $\text{CuAl}_2$  yang berperan sebagai presipitat dalam matriks.

**Kata kunci:** ADC 12, Piston, Sifat Mekanik, Precipitation Hardening T6, Presipitat

**EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT OF  
PRECIPITATION HARDENING T6 PAIRED WITH  
HOLDING TIME AND SOLUTION TEMPERATURE  
VARIATION TO MECHANICAL PROPERTIES OF  
ALUMINUM ALLOY ADC 12**

**Name** : I Gede Brahmanda Aditiya Paramartha  
**NRP** : 2111 100 046  
**Major** : Mechanical Engineering  
**Supervisor** : Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA.

**Abstract**

*Piston in automotive component is one example of the use of Aluminum Alloy ADC 12. In an engine, the use of alloy for piston is essentially determined by its mechanical properties, such as hardness, strength against deformation and stability under high temperature. Therefore, in order to meet desired alloy for its utilization in piston component, an experiment involving heat precipitation hardening T6 treatment to the Aluminum ADC 12 is need to be conducted.*

*The precipitation hardening T6 is consisted of 3 main stages: (1) solution treatment; (2) quenching; and (3) artificial aging. The solution treatment is done under temperature variation of 510°C, 530°C and 550°C, each in 3, 4, 5 and 6 hours of holding time. After the solution treatment, the specimens is quenched in 60°C water media, continued by artificial aging treatment by heating the specimens under temperature of 150°C in 4 hours. After the whole process, the specimens are quenched back.*

*The result shows significant improvement of impact strength and hardness value, along with the addition of heat treatment to as cast ADC 12. The value of impact strength is observed higher along with the longer holding time, but lower*

along with the increasing temperature during solution treatment. Whilst, the hardness value is higher along with the longer holding time, until reaching maximum hardness value after 4 hours holding time. However, the hardness value is observed decreasing along with the longer holding time, but increasing along with the increasing temperature during solution treatment. The increasing value of impact strength and hardness in Aluminum Alloy ADC 12 after heat precipitation hardening T6 treatment happens due to the presence of spherodized Silcone that contains  $CuAl_2$ , which contribute significantly as precipitate in the matrix.

**Keyword:** ADC 12, Mechanical Characteristics, Piston, Precipitate, Precipitation Hardening T6

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat bimbingan-Nya penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul:

### **“Studi Eksperimental Pengaruh Perlakuan Panas *Precipitation Hardening* T6 dengan Variasi *Holding Time* dan Temperatur *Solution Treatment* Terhadap Sifat Mekanik Paduan Aluminium ADC 12”**

Akhirnya pada kesempatan ini penulis ingin berterima kasih kepada orang – orang di sekitar penulis yang secara langsung maupun tidak langsung ikut terlibat dalam penulisan tugas akhir ini. Secara khusus penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibunda terkasih Ni Nyoman Werni dan Ayah tersayang I Nyoman Sudiatna yang selalu mendukung di kala susah dan senang,
2. Ni Made Mahela Adhistaya Kristiyanti, salaku adik yang tidak pernah gagal membuat tertawa di kala sedang terpuruk.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang senantiasa sabar dalam memberi saran, motivasi, dan ilmu yang sangat bermanfaat.
4. Bapak Yusuf Kaelani selaku dosen wali yang selalu memotivasi penulis selama masa perkuliahan di Teknik Mesin.
5. Bapak Wahyu Wijanarko, ST, MSc, Bapak Ir. Hari Subiyanto, MSc, dan Bapak Suwarno, ST, MSc, Ph.D, selaku dosen penguji yang memberi banyak saran dan masukan.

6. Meka Damayanti, Desak Raka, Desak Ayu Puspita, Adik Lia, Adik Icha, Galuh, dan Wisnu sebagai keluarga yang senantiasa saling menyemangati agar semua bisa sukses.
7. Luh Laksmi Dharayanti Satria, sebagai sahabat hidup yang selalu membantu penulis tanpa perlu dimintai bantuan.
8. Teman – teman rakyat Laboratorium Metalurgi, khususnya teman seperjuangan Tugas Akhir terimakasih atas kerjasamanya selama ini.
9. Teman – teman kontrakan Kroco Academy yaitu Alvin, Arik, Iga, Cubek, Arya, dan Pariy, yang mana selalu ada disaat suka maupun duka.
10. Semua teman – teman yang ada di Jurusan Teknik Mesin, khususnya M-54 , terima kasih banyak.
11. Serta semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuannya yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan. Kritik dan saran penulis harapkan untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, 25 Januari 2016

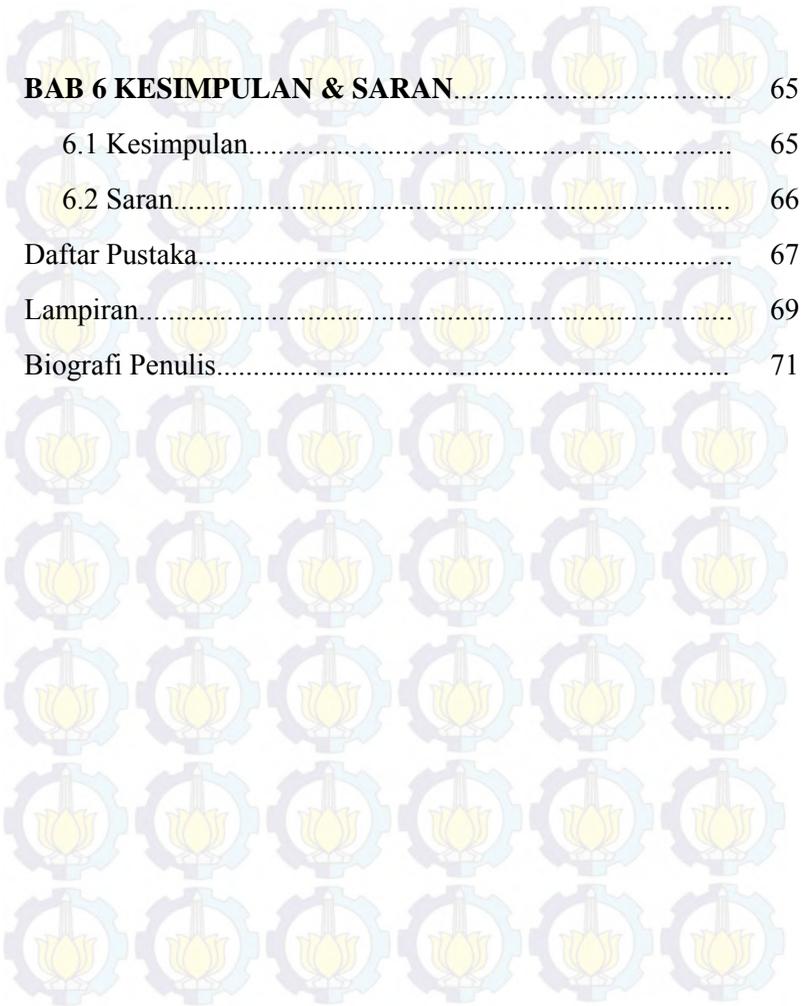
Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	
<b>ABSTRAK</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	ix
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xx
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penulisan.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Laporan.....	4
<b>BAB 2 DASAR TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Dasar Teori.....	5
2.1.1 Aluminium dan Paduannya.....	5
2.1.2 Diagram Fasa Al – Si – Cu.....	7

2.1.3	Aluminium ADC 12.....	9
2.1.4	Mekanisme Penguatan Melalui Proses <i>Precipitation Hardening</i> T6.....	10
2.1.5	<i>Precipitation Hardening</i> T6 Paduan Aluminium ADC 12.....	14
2.2	Tinjauan Pustaka.....	15
<b>BAB 3 METODOLOGI.....</b>		<b>19</b>
3.1	<i>Flowchart</i> Penelitian.....	19
3.2	Material.....	20
3.2.1	Material yang Digunakan.....	20
3.2.2	Bentuk Spesimen Uji.....	21
3.3	Peralatan yang Digunakan.....	22
3.3.1	Dapur <i>Solution Treatment</i> .....	22
3.3.2	Dapur <i>Aging</i> .....	23
3.3.3	Peralatan <i>Grinding</i> dan <i>Polishing</i> .....	23
3.3.4	Peralatan Etsa ( <i>etching</i> ).....	24
3.3.5	Peralatan Pengamatan Struktur Mikro.....	24
3.3.6	Mesin Uji <i>Impact</i> .....	25
3.3.7	Peralatan Uji <i>Hardness</i> .....	25
3.4	Langkah – langkah Percobaan.....	26
3.4.1	Perlakuan Panas.....	26
3.4.2	Pengujian <i>Impact</i> .....	28

3.4.3	Pengujian <i>Hardness</i> .....	28
3.4.4	Pengujian <i>Metallography</i> .....	28
3.5	Desain Percobaan.....	30
<b>BAB 4 DATA HASIL PENELITIAN</b> .....		35
4.1	Data Hasil Pengujian Awal ADC 12.....	35
4.1.1	Pengujian <i>Differential Scanning Calorimetry</i> ...	35
4.1.2	Pengujian Komposisi Kimia pada Spesimen <i>As Cast</i> .....	36
4.1.3	Pengujian Mekanik pada Spesimen <i>As Cast</i> .....	38
4.1.4	Pengujian <i>Metallography</i> pada Spesimen <i>As Cast</i> .....	38
4.2	Struktur Mikro Hasil Perlakuan Panas <i>Precipitation Hardening T6</i> .....	39
4.3	Pengaruh Terhadap <i>Impact Strength</i> .....	43
4.4	Pengaruh Terhadap <i>Hardness</i> .....	47
4.5	Data Hasil Pengamatan <i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i> .....	53
<b>BAB 5 PEMBAHASAN</b> .....		57
5.1	Pengaruh <i>Holding Time</i> dan Temperatur <i>Solution Treatment</i> Terhadap Struktur Mikro ADC 12.....	58
5.2	Pengaruh <i>Holding Time</i> dan Temperatur <i>Solution Treatment</i> Terhadap <i>Impact Strength</i> ADC 12.....	61
5.3	Pengaruh <i>Holding Time</i> dan Temperatur <i>Solution Treatment</i> Terhadap <i>Hardness</i> ADC 12.....	62



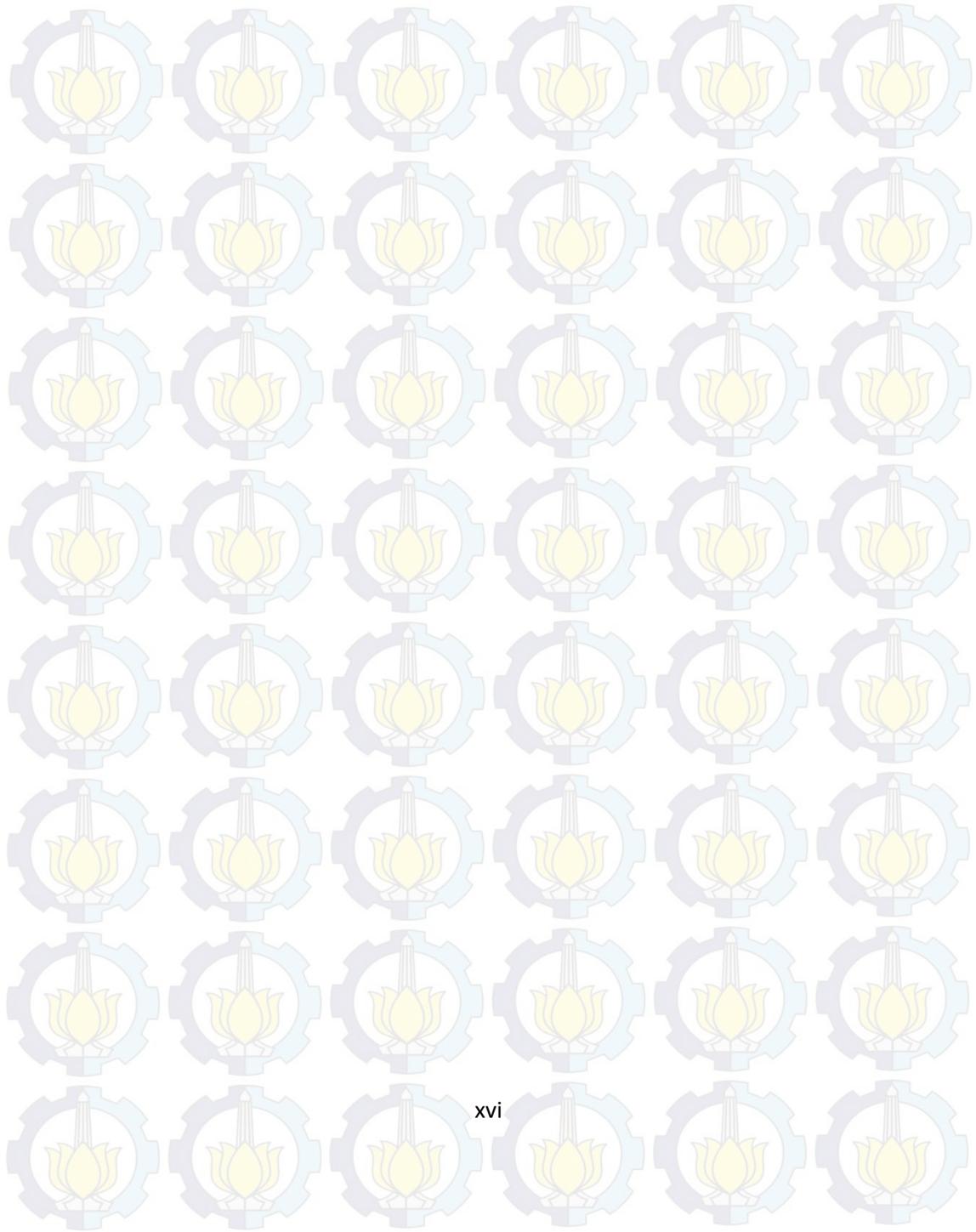
<b>BAB 6 KESIMPULAN &amp; SARAN</b> .....	65
6.1 Kesimpulan.....	65
6.2 Saran.....	66
Daftar Pustaka.....	67
Lampiran.....	69
Biografi Penulis.....	71

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram fasa paduan Al – Si – Cu (a) dan diagram fasa Al – Si – Cu secara vertikal dengan kandungan Si sebesar 10 % (b).....	8
Gambar 2.2	Skema proses perlakuan panas dengan cara <i>precipitation hardening</i> .....	11
Gambar 2.3	(a) <i>Supersaturated solute solution</i> , (b) fasa $\theta''$ <i>precipitate</i> (Al-Cu) mulai terbentuk, (c) fasa $\theta$ .....	13
Gambar 2.4	Skema kekuatan atau kekerasan sebagai fungsi log waktu <i>aging</i> pada temperatur konstan selama presipitasi.....	13
Gambar 2.5	Grafik nilai energi vs waktu <i>solution treatment</i> dari temperatur <i>solution treatment</i> 540°C, 550°C, 560°C.....	16
Gambar 2.6	Grafik nilai kekerasan vs waktu <i>solution</i> pada temperatur 540°C, 550°C, dan 560°C.....	16
Gambar 2.7	Grafik nilai <i>impact strength</i> vs temperatur <i>solution treatment</i> yaitu sebesar 465°C, 490°C, 525°C.....	17
Gambar 2.8	Grafik nilai kekerasan material spesimen berbanding dengan waktu <i>solution treatment</i> pada temperatur 465°C, 490°C, 525°C.....	18
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> penelitian.....	19
Gambar 3.2	Standar <i>Y-Block</i> yang digunakan pada penelitian.....	21
Gambar 3.3	Dimensi spesimen uji <i>impact</i> .....	21

Gambar 3.4	Spesimen uji <i>metalography</i> .....	22
Gambar 3.5	Dapur <i>solution treatment</i> .....	22
Gambar 3.6	Dapur untuk proses <i>aging</i> .....	23
Gambar 3.7	Mesin <i>grinding</i> dan <i>polishing</i> .....	23
Gambar 3.8	Peralatan pengamatan struktur mikro.....	24
Gambar 3.9	Mesin uji <i>impact</i> .....	25
Gambar 3.10	Mesin uji <i>hardness</i> .....	25
Gambar 3.11	Skema perlakuan panas <i>precipitation hardening</i> pada temperatur 540°C (a), 550°C (b), dan 560°C (c).....	27
Gambar 3.12	Ilustrasi spesimen pengujian kekerasan.....	28
Gambar 4.1	Data perbandingan <i>heatflow</i> dengan temperatur pemanasan pada pengujian DSC spesimen <i>as cast</i> .....	36
Gambar 4.2	Struktur mikro awal material <i>as cast</i> ADC 12 (a) perbesaran 500x (b) perbesaran 1000x.....	36
Gambar 4.3	Struktur mikro pada variasi temperatur 510°C dengan <i>holding time</i> 3, 4, 5, 6 jam perbesaran 1000x.....	40
Gambar 4.4	Struktur mikro pada variasi temperatur 530°C dengan <i>holding time</i> 3, 4, 5, 6 jam perbesaran 1000x.....	40

Gambar 4.5	Struktur mikro pada variasi temperatur 550°C dengan <i>holding time</i> 3, 4, 5, 6 jam perbesaran 1000x.....	41
Gambar 4.6	Penampang patahan spesimen <i>impact</i> setelah dilakukan pengujian.....	43
Gambar 4.7	Grafik <i>impact strength</i> vs <i>holding time</i> untuk spesimen ADC 12 yang telah diberi perlakuan panas <i>precipitation hardening</i> T6.	45
Gambar 4.8	Grafik <i>impact strength</i> vs temperatur <i>solution treatment</i> untuk spesimen ADC 12 yang telah diberi perlakuan panas <i>precipitation hardening</i> T6.....	46
Gambar 4.9	Spesimen ADC 12 yang telah diuji <i>hardness</i> .	50
Gambar 4.10	Grafik nilai <i>hardness</i> vs <i>holding time</i> pada spesimen ADC 12 yang telah mengalami perlakuan panas <i>precipitation hardening</i> T6.	50
Gambar 4.11	Grafik nilai <i>hardness</i> vs temperatur <i>solution treatment</i> pada spesimen ADC 12 yang telah mengalami perlakuan panas <i>precipitation hardening</i> T6.....	52
Gambar 4.12	Hasil pengamatan SEM pada penampang pola patahan spesimen <i>as cast</i> dengan perbesaran 1500x.....	53
Gambar 4.13	Hasil pengamatan SEM pada spesimen yang memiliki nilai <i>impact strength</i> terendah dengan pembesaran 1500x.....	54
Gambar 4.14	Hasil pengamatan SEM dengan pembesaran 1500x pada spesimen dengan nilai <i>impact strength</i> tertinggi.	54



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sistem kodifikasi pada paduan <i>wrought</i> aluminium.....	6
Tabel 2.2	Sistem kodifikasi pada paduan <i>cast</i> aluminium.....	6
Tabel 2.3	Komposisi paduan aluminium menurut standar JIS H 5302.....	9
Tabel 2.4	Sifat mekanik paduan aluminium menurut JIS H 5302.....	9
Tabel 3.1	Elemen Paduan JIS ADC 12.....	20
Tabel 3.2	Jumlah spesimen yang dibutuhkan untuk tiap pengujian pada variasi temperatur dan waktu <i>solution treatment</i> .....	30
Tabel 3.3	Rancangan Penelitian Untuk Temperatur 510°C.....	31
Tabel 3.4	Rancangan Penelitian Untuk Temperatur 530°C.....	32
Tabel 3.5	Rancangan Penelitian Untuk Temperatur 530°C.....	33
Tabel 3.6	Rancangan Penelitian Untuk <i>As Cast</i> .....	34
Tabel 4.1	Data hasil pengujian unsur kimia spesimen ADC 12.....	37
Tabel 4.2	Data hasil pengujian sifat mekanik material <i>as cast</i> ADC 12.....	38
Tabel 4.3	Data hasil pengujian impact pada variasi temperatur 510°C.....	43
Tabel 4.4	Data hasil pengujian impact pada variasi temperatur 530°C.....	44

Tabel 4.5	Data hasil pengujian impact pada variasi temperatur 550°C.....	44
Tabel 4.6	Data hasil pengujian kekerasan pada variasi temperatur 510°C.....	48
Tabel 4.7	Data hasil pengujian kekerasan pada variasi temperatur 530°C.....	48
Tabel 4.7	Lanjutan.....	49
Tabel 4.8	Data hasil pengujian kekerasan pada variasi temperatur 550°C.....	49

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan produsen logam aluminium terbesar dibandingkan dengan negara anggota ASEAN lainnya, yaitu pada tahun 2012 tercatat produksi logam aluminium sebesar 250.000 ton. [9] Produksi logam aluminium ini mendorong meningkatnya penggunaan logam aluminium di berbagai sektor industri, salah satu sektor industri yang paling banyak menggunakan logam aluminium adalah industri otomotif. Dalam industri otomotif, logam aluminium beserta paduannya adalah logam paduan yang umum digunakan karena memiliki sifat tahan terhadap korosi, memiliki bobot yang ringan, dan kemampuan mudah dibentuk yang baik.

Komponen otomotif yang berbahan dasar logam paduan aluminium yaitu antara lain adalah blok mesin, kepala silinder, pijakan kaki, dan piston. Pada proses pembuatan piston, digunakan bahan dasar logam paduan aluminium seri ADC 12. Aluminium seri ADC 12 sering digunakan tidak hanya pada pembuatan piston namun pada pembuatan komponen lainnya, karena aluminium seri ADC 12 mudah untuk ditemui dipasaran dan memiliki karakteristik sifat mekanik yang baik dibandingkan dengan aluminium jenis lainnya.

Karakteristik sifat mekanik yang dibutuhkan untuk bahan dasar pembuatan piston sebuah *engine* adalah kekerasan, kekuatan, dan tahan terhadap deformasi pada suhu tinggi. Beberapa sifat mekanik yang telah disebutkan tersebut sangatlah dibutuhkan oleh piston itu sendiri, mengingat kerja dari piston sangatlah berat yaitu harus tahan terhadap beban *impact* yang dikarenakan oleh ledakan pembakaran bahan bakar yang bercampur udara pada ruang bakar, harus tahan terhadap keausan karena terus bergesekan

dengan silinder *engine*, dan harus memiliki nilai kekuatan yang tinggi agar tidak mudah terdeformasi (rusak atau pecah) saat beroperasi pada temperatur yang tinggi dan waktu operasi yang lama.

Melihat kebutuhan akan sifat mekanik yang harus dipenuhi pada proses pembuatan piston, maka logam paduan aluminium seri ADC 12 dirasa kurang mampu untuk memenuhi kebutuhan tersebut sehingga perlu untuk dilakukan proses lanjutan untuk dapat meningkatkan sifat mekanik dari logam paduan aluminium seri ADC 12 tersebut, proses lanjutan yang dapat dilakukan meningkatkan sifat mekanik aluminium seri ADC 12 secara signifikan adalah dengan proses perlakuan panas. Proses perlakuan panas yang dilakukan untuk dapat meningkatkan sifat mekanik agar sesuai dengan kebutuhan yang diharapkan adalah *precipitation hardening* T6.

Proses perlakuan panas *precipitation hardening* T6 yang diterapkan pada aluminium ADC 12 memiliki tujuan agar dapat meningkatkan nilai kekerasan dan ketangguhan dari logam paduan aluminium tersebut secara signifikan. Oleh karena melihat perlunya dilakukan proses lanjutan pada logam paduan aluminium ADC 12 tersebutlah yang melatar belakangi dilakukannya penelitian ini, dengan mengambil perlakuan panas *precipitation hardening* T6 yang divariasikan pada bagian temperatur *solution treatment* dan *holding time* dengan melihat pengaruhnya terhadap perubahan sifat mekanik dan struktur mikro logam paduan aluminium ADC 12.

## 1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh *solution treatment* terhadap *impact strength* dan kekerasan pada logam paduan aluminium ADC 12.

2. Bagaimana pengaruh *solution treatment* terhadap struktur mikro pada logam paduan aluminium ADC 12.

### 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. Pengaruh *natural aging* diabaikan.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian yang dilakukan adalah bertujuan untuk sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh *solution treatment* terhadap *impact strength* dan kekerasan pada logam paduan aluminium ADC 12.
2. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh *solution treatment* terhadap struktur mikro pada 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 kendaraan bermotor contohnya mesin *Sinjay*.

3. Sebagai kontribusi pengetahuan dan teknologi dalam bidang ilmu material khususnya metalurgi.

#### 1.6 Sistematika Penulisan Laporan

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

- **Bab 1 Pendahuluan**  
Bab ini berisikan penjelasan latar belakang, permasalahan, maksud dan tujuan, batasan masalah, dan sistematika penulisan laporan.
- **Bab 2 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 3 Metodologi**  
Berisi uraian urutan proses pengerjaan yang meliputi pengambilan data, tahap perlakuan panas, dan tahap pengujian.
- **Bab 4 Data Hasil Penelitian**  
Pada bab ini akan dilakukan analisa dari data yang didapatkan, disertai dengan grafik yang dihasilkan dari data yang ada.
- **Bab 5 Pembahasan**  
Pada bab ini akan dilakukan pembahasan dari percobaan yang telah dilakukan dengan membandingkan nilai *impact strength*, nilai *hardness*, dan pengaruhnya terhadap perubahan struktur mikro dari hasil percobaan.
- **Bab 6 Kesimpulan dan Saran**  
Bab ini berisi kesimpulan dan saran untuk pengembangan tugas akhir ini nantinya.

## BAB 2

### DASAR TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Dasar Teori

##### 2.1.1 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 cara proses Bayer dan Hall – Heroult untuk mendapatkan aluminium murni. Secara umum, aluminium memiliki keuntungan sebagai berikut:

1. Ringan, dengan massa jenis 2,7 gram/cm<sup>3</sup>.
2. Memiliki *castability* dan keuletan yang baik.
3. Memiliki sifat tahan terhadap korosi karena memiliki oksida protektif pada permukaannya.
4. Memiliki konduktivitas listrik dan panas yang baik.
5. Nilai kekuatannya dapat bervariasi, bahkan melebihi baja struktural [4].

Aluminium murni mempunyai sifat mampu cor dan sifat mekanik yang kurang baik. Oleh karena itu, dipergunakan paduan aluminium karena sifat mekanisnya akan diperbaiki dengan menambahkan unsur tembaga, silisium, magnesium, mangan, nikel, dan sebagainya. Coran paduan aluminium memiliki berat jenis yang ringan dan merupakan penghantar panas yang baik. Paduan Al – Si, Al – Cu – Si, dan Al – Si – Mg adalah contoh paduan aluminium yang banyak digunakan untuk komponen – komponen permesinan. Sedangkan Al – Cu – Ni – Mg dan Al – Si – Cu – Ni – Mg adalah contoh deretan paduan yang banyak dipergunakan pada komponen mesin yang tahan panas, dan Al – Mg untuk bagian – bagian yang tahan korosi.

Oleh karena itu, aluminium banyak digunakan dalam kehidupan sehari – hari, mulai dari kebutuhan rumah tangga hingga komponen struktural dengan sifat mekanik yang

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

Tabel 2.1 Sistem kodifikasi pada paduan *wrought* aluminium

Paduan	Unsur Paduan Utama
1xxx	Aluminium murni, tidak ada tambahan unsur paduan
2xxx	penting
3xxx	Tembaga
4xxx	Mangan
5xxx	Silikon
6xxx	Magnesium
7xxx	Magnesium dan silikon
8xxx	Seng
9xxx	Unsur lain seperti besi atau timah <i>Unassigned</i>

Tabel 2.2 Sistem kodifikasi pada paduan *cast* aluminium

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	<i>Unused</i>
7xx.x	Seng
8xx.x	Timah
9xx.x	Unsur lain

Metode untuk meningkatkan kekuatan paduan aluminium ada dua cara yaitu peningkatan kekuatan melalui

deformasi plastis atau pengerjaan dingin (*cold working*) dan perlakuan panas *precipitation hardening*. Oleh karena itu, paduan aluminium dapat diklasifikasikan lagi berdasarkan pada kemampuan suatu paduan tersebut diberi perlakuan panas untuk meningkatkan kekuatannya. Klasifikasi paduan aluminium yang dimaksud adalah *heat – treatable* dan *non - heat treatable*. Berikut adalah perlakuan panas utama yang bisa diberikan pada paduan aluminium:

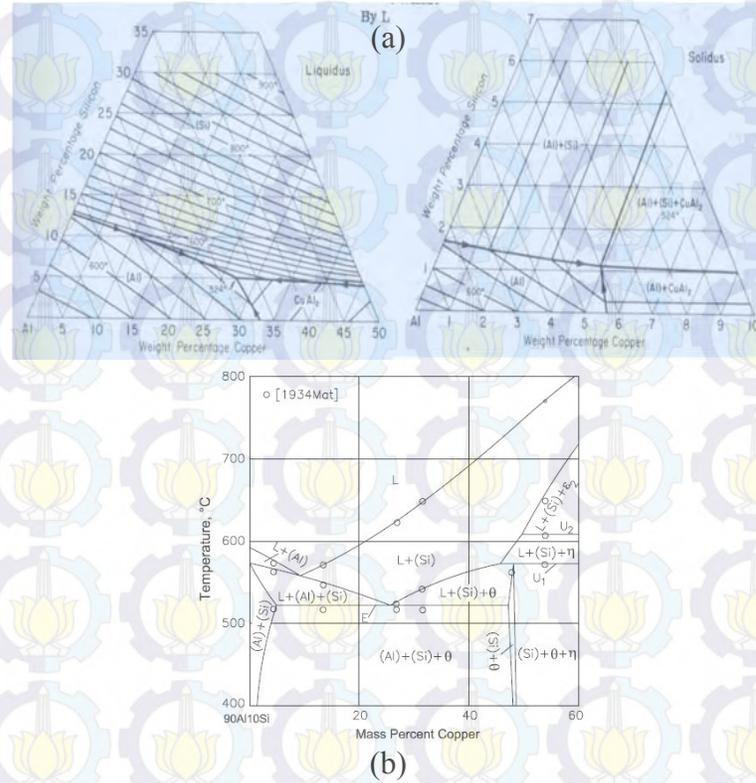
1. F yaitu *as cast*.
2. O yaitu diberi perlakuan panas *annealing*.
3. T4 yaitu *solution treatment* dan pendinginan cepat (*quenching*).
4. T5 yaitu *quenching* dan *artificial aging* dari kondisi *as cast*.
5. T6 yaitu *solution treatment*, *quenching* dan *artificial aging*.
6. T7 yaitu *solution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

Perlakuan panas tersebut merupakan kodifikasi tambahan untuk memberikan informasi tentang perlakuan panas yang telah diberikan pada suatu paduan aluminium.

### **2.1.2 Diagram Fasa Al – Si – Cu**

Paduan Al – Si – Cu memiliki sifat mampu cor yang baik, tahan korosi, dapat diproses dengan permesinan, dan dapat dilas. Diagram fasa dari Al – Si – Cu ditunjukkan pada gambar 2.1, diagram ini digunakan sebagai pedoman umum untuk menganalisa perubahan fasa pada proses pengecoran paduan Al – Si – Cu.

Fungsi lain dari unsur silikon dapat mereduksi koefisien ekspansi termal dari paduan aluminium. Selama pemanasan terjadi, pemuai volume paduan tidak terlalu besar. Hal ini akan menjadi sangat penting saat proses pendinginan dimana akan terjadi pengusutan volume paduan aluminium. [1]



Gambar 2.1 Diagram fasa paduan Al – Si – Cu (a) dan diagram fasa Al – Si – Cu secara vertikal dengan kandungan Si sebesar 10 % (b). [11]

### 2.1.3 Aluminium ADC 12

ADC 12 merupakan paduan aluminium tuang yang mengikuti tatanama JIS (*Japan Industrial Standart*). Paduan aluminium ADC 12 ini memiliki kesetaraan dengan paduan aluminium 384.0-F dan 383.0-F. [8] Menurut standar klasifikasi AA, aluminium jenis ini termasuk ke dalam paduan Al-Si-Cu. Paduan aluminium ADC 12 mempunyai beberapa unsur penyusun dan persentase jumlah tiap unsurnya, berikut adalah komposisi beberapa jenis paduan aluminium menurut standar JIS H 5302 yang disajikan pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Komposisi paduan aluminium menurut standar JIS H 5302. [7]

JIS	ISO	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Sn	Pb	Ti	Al
ADC1		<0,1	11,0-13,0	<0,3	<0,5	<1,3	<0,3	<0,5	<0,1			Rem.
ADC1C	Al-Si12Cu Fe	<1,2	11,0-13,5	<0,3	<0,5	<1,3	<0,5	<0,3	<0,1	<0,2	<0,2	Rem.
ADC2	Al-Si12Fe	<0,10	11,0-13,5	<0,10	<0,1	<1,3	<0,5	<0,1	<0,05	<0,1	<0,2	Rem.
ADC3		<0,6	90-10	0,4-0,6	<0,5	<1,3	<0,3	<0,5	<0,1			Rem.
ADC5		<0,2	<0,3	4,0-8,5	<0,1	<1,8	<0,3	<0,1	<0,1			Rem.
ADC6		<0,1	<1,0	2,5-4,0	<0,4	<0,8	0,4-0,6	<0,1	<0,1			Rem.
ADC7	Al-Si5Fe	<0,10	4,5-6,0	<0,1	<0,1	<1,3	<0,5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,2	Rem.
ADC8	Al-Si6Cu4 Fe	3,0-5,0	5,0-7,0	<0,3	<2,0	<1,3	0,2-0,6	<0,3	<0,1	<0,2	<0,2	Rem.
ADC10		2,0-4,0	7,5-9,5	<0,3	<1,0	<1,3	<0,5	<0,5	<0,2			Rem.
ADC10Z		2,0-4,0	7,5-9,5	<0,3	<3,0	<1,3	<0,5	<0,5	<0,2			Rem.
ADC11	Al-Si8Cu3 Fe	2,5-4,0	7,5-9,5	<0,3	<1,2	<1,3	<0,6	<0,5	<0,2	<0,3	<0,2	Rem.
<b>ADC12</b>		<b>1,5-3,5</b>	<b>9,6-12,0</b>	<b>&lt;0,3</b>	<b>&lt;1,0</b>	<b>&lt;1,3</b>	<b>&lt;0,5</b>	<b>&lt;0,5</b>	<b>&lt;0,2</b>			<b>Rem.</b>
ADC12Z		1,5-3,5	9,6-12,0	<0,3	<3,0	<1,3	<0,5	<0,5	<0,2			Rem.

Selain itu pada paduan aluminium ADC 12 juga terdapat sifat mekanik yang terkandung pada aluminium paduan tersebut beserta perbandingan dengan aluminium jenis lain yaitu seperti terlihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 Sifat mekanik paduan aluminium menurut JIS H 5302. [7]



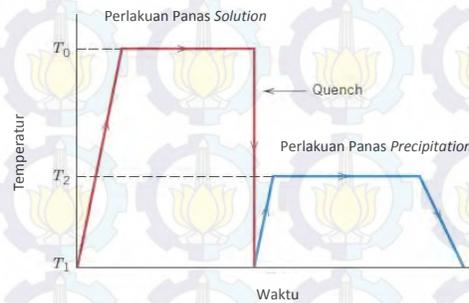
JIS	Tensile Strength Mpa min.		Yield Strength Mpa min		Brinell Hardness		
	Average	ASTM	Average	ASTM	HB		HRB
					Average	ASTM	
ADC1	250	290	172	130	71,2	72	36,2
ADC3	279	320	179	170	71,4	76	36,7
ADC5	213	310	145	190	64,4	74	30,1
ADC6	266	280	172		64,7	67	27,3
ADC10	241	320	157	160	73,6	83	39,4
<b>ADC12</b>	<b>228</b>	<b>310</b>	<b>154</b>	<b>150</b>	<b>74,1</b>	<b>86</b>	<b>40,0</b>
ADC14	193	320	188	250	76,8	108	43,1

Paduan aluminium ADC 12 juga disebut dengan paduan Al – Si – Cu yaitu paduan aluminium yang mengandung tembaga dengan rentang 1,5 – 3,5 wt % memiliki sifat – sifat mekanik dan mampu mesin yang baik, sedangkan mampu cornya tidak begitu baik. Oleh karena itu paduan aluminium Al – Si – Cu dibuat dengan menambahkan unsur silikon hingga tercapai standar sebesar 9,6 – 12,0 wt % untuk memperbaiki sifat mampu cornya. Paduan ini dipakai untuk bagian – bagian kendaraan bermotor dan beberapa peralatan industri. Biasanya didalam paduan ini tidak hanya terdapat unsur Si dan Cu sebagai unsur paduan utamanya, tetapi tidak jarang ditemukan unsur – unsur paduan lainnya dalam jumlah kecil.

#### 2.1.4 Mekanisme Penguatan Melalui Proses *Precipitation Hardening T6*

Tidak semua paduan aluminium dapat diberi perlakuan panas. Paduan aluminium yang dapat diberi proses *heat treatment* hanya paduan aluminium dari kelompok 2XX.X, 3XX.X, dan 7XX.X yang mana kelompok paduan aluminium tersebut memiliki elemen paduan utama yaitu tembaga, magnesium, dan seng. Paduan aluminium dari kelompok lainnya dapat ditingkatkan sifat mekaniknya hanya dengan pekerjaan dingin (*cold working*) karena pengerasan presipitasi tidak terjadi didalamnya. [3]

*Precipitation hardening* atau *age hardening* merupakan mekanisme perlakuan panas pada paduan aluminium yang bertujuan untuk meningkatkan nilai kekuatan dan kekerasan dari paduan aluminium tersebut. Kenaikan kekuatan tersebut diakibatkan oleh terhambatnya pergerakan dislokasi akibat timbulnya partikel – partikel kecil dalam skala nano yang tersebar merata pada matriks. Partikel – partikel kecil tersebut, pada umumnya disebut presipitat, timbul setelah paduan aluminium diberi perlakuan panas.



Gambar 2.2 Skema proses perlakuan panas dengan cara *precipitation hardening*. [6]

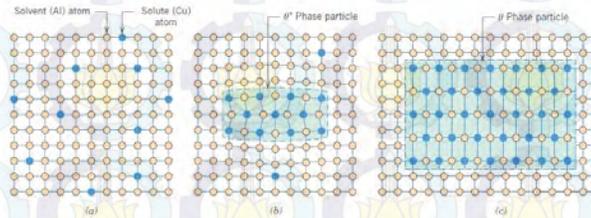
Tahap pertama dalam proses *precipitation hardening* adalah *solution heat treatment*. Tahapan proses ini merupakan pemanasan logam paduan aluminium dalam dapur pemanas dengan temperatur kurang dari  $577^{\circ}\text{C}$  atau hingga mencapai zona satu fasa dan dilakukan penahanan atau *holding time* sesuai dengan jenis dan ukuran benda kerja, pada tahap ini terjadi pelarutan fasa – fasa yang ada menjadi larutan padat. Tujuan dari proses ini yaitu untuk mendapatkan larutan padat yang mendekati homogen (fasa tunggal).

Tahap kedua adalah *quenching*, tahap ini merupakan tahap yang paling kritis dalam proses perlakuan panas, yaitu dengan cara mendinginkan logam yang telah dipanaskan dalam dapur pemanas kedalam media pendingin

biasanya digunakan air. Dipilihnya air sebagai media pendingin pada proses *quenching* karena air merupakan media pendingin yang cocok untuk logam – logam yang memiliki tingkat kekerasan atau *hardenability* yang relatif rendah seperti logam paduan aluminium. Pendinginan dilakukan secara cepat, dari temperatur *solution treatment* ke temperatur yang lebih rendah, pada umumnya mendekati temperatur ruang. Tujuan dilakukan *quenching* adalah agar larutan padat homogen yang terbentuk pada *solution heat 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 pada temperatur biasa atau temperatur ruang. Pada proses *quenching* tidak hanya menyebabkan atom terlarut tetap ada dalam larutan, namun juga menyebabkan jumlah kekosongan atom tetap besar. Adanya kekosongan atom dalam jumlah besar dapat membantu proses difusi atom pada temperatur ruang untuk membentuk zona Guinier – Preston. Zona Guinier – Preston adalah kondisi didalam paduan dimana terdapat agregasi atom padat atau pengelompokan atom padat. [10]

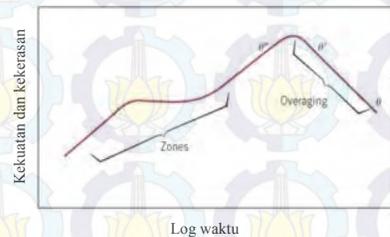
Tahap ketiga adalah penuaan (*aging*) pada paduan aluminium dibedakan menjadi dua, yaitu penuaan alami (*natural aging*) dan penuaan buatan (*artificial aging*). Pada tahap ketiga ini dimana  $\alpha$  jenuh dan  $\alpha$ SS dipanaskan dibawah suhu *solvus* untuk menghasilkan sebuah endapan halus terdispersi. Atom berdifusi hanya pada jarak pendek di temperatur *aging*. Karena  $\alpha$  jenuh tidak stabil, atom tembaga tambahan berdifusi ke nukleasi dan presipitat tumbuh. Pembentukan endapan terdispersi halus dalam paduan ini adalah tujuan dari *precipitation hardening*. Dalam proses *precipitation hardening* paduan Al – Si – Cu, dikenali 3 struktur yaitu yang pertama adalah GP – 1 zona, GP – 2 zona (juga disebut  $\theta''$ ), fasa  $\theta'$ , dan fasa  $\theta$  - ( $\text{CuAl}_2$ ).

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 pengkristalan paduan aluminium ( $150^{\circ}\text{C}$ ), dibawah temperatur pengkristalan atau diatas temperatur pengkristalan logam paduan aluminium. *Artificial aging* berlangsung pada temperatur antara  $100^{\circ}\text{C} - 200^{\circ}\text{C}$ .



Gambar 2.3 (a) *Supersaturated solute solution*, (b) fasa  $\theta'$  *precipitate* mulai terbentuk, (c) fasa  $\theta$ . [6]

Pada gambar 2.3 menunjukkan terbentuknya kembali fasa keseimbangan pada proses *aging* aluminium – tembaga sehingga paduan akan kembali ke fasa awal yaitu  $\theta$  sedangkan kekerasan sebagai fungsi dari logaritma waktu *aging* pada temperatur konstan selama pengerasan presipitasi dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Skema kekuatan atau kekerasan sebagai fungsi log waktu *aging* pada temperatur konstan selama presipitasi. [6]

### 2.1.5 *Precipitation Hardening* T6 Paduan Aluminium ADC 12

Proses *precipitation hardening* T6 pada paduan aluminium ADC 12 terdiri dari tahapan *solution treatment*, proses *quenching*, dan diakhiri dengan tahapan *aging*. Tahapan *solution treatment* merupakan langkah awal dari proses *precipitation hardening*. Tahapan ini bertujuan untuk melarutkan silikon dan tembaga agar mendapatkan sebuah larutan padat homogen. Temperatur pemanasan pada *solution treatment* tidak boleh melebihi temperatur lebur batas butirnya (*boundary melting*). [2]

Untuk paduan aluminium ADC 12, proses pemanasan tidak boleh melebihi 577°C (garis eutektik) dimana setelah melewati temperatur ini akan terjadi proses meleburnya batas butir dan terjadi perubahan fasa dari larutan padat jenuh menjadi fasa campuran padat dan *liquid* sehingga mengganggu pembentukan larutan padat jenuh dan mengakibatkan turunnya kekuatan.

Dibutuhkan waktu yang cukup agar silikon dan tembaga dapat terlarut. Jumlah persentase silikon lebih banyak dari persentase tembaga. Hal ini mengakibatkan adanya silikon yang tidak berikatan dengan tembaga. Silikon yang tidak berikatan dengan tembaga akan larut ke dalam fasa  $\alpha$ -Al menjadi campuran eutektik Al – Si – Cu.

Proses *quenching* merupakan tahapan kedua yang dilakukan dengan tujuan mendapatkan larutan padat jenuh (*supersaturated solid solution*) dimana larutan ini nantinya akan menjadi embrio dari presipitat ketika dilakukan proses *aging*. Tahapan *aging* merupakan proses pertumbuhan presipitat. Pada paduan aluminium ADC 12, presipitat yang muncul adalah  $\text{CuAl}_2$  yang berasal dari larutan padat jenuh.  $\text{CuAl}_2$  ini merupakan fasa  $\theta$ , perkembangan  $\text{CuAl}_2$  dipengaruhi oleh temperatur dan waktu pemanasan pada saat *aging*. Tahapan yang dilalui pada *aging* adalah sebagai berikut:

$\alpha\text{SSS} > \text{GP zone} > \theta'' > \theta' > \text{fasa } \theta$

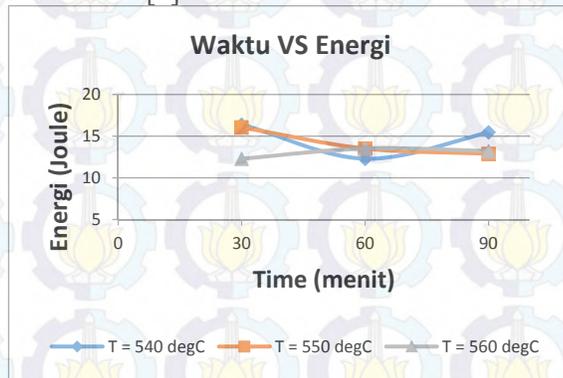
Partikel dari  $\text{AlCu}_2$  akan mengalami pertumbuhan seiring dengan bertambahnya waktu atau dengan adanya peningkatan temperatur *aging*. Semakin bertambahnya waktu dan temperatur maka transformasi fasa akan semakin cepat terjadi, dari fasa  $\alpha\text{SSS}$  menjadi  $\theta$  yang ditandai dengan adanya perbesaran dimensi dari presipitat. Nilai kekuatan dan kekerasan maksimum terjadi pada fasa  $\theta''$ , kemudian setelah melewati fasa tersebut sifat mekanik akan cenderung menurun. [2]

Pada saat proses *aging*, silikon terlarut juga terpengaruh oleh adanya pertambahan waktu dan temperatur. Silikon yang terlarut dan membentuk campuran eutektik Al – Si – Cu yang lebih kecil dan terpisah dibandingkan dengan kondisi *as cast* yang cenderung memiliki luasan Al – Si – Cu yang menggelembung. Seperti pada fenomena pertumbuhan  $\text{CuAl}_2$ , seiring bertambahnya waktu dan temperatur maka partikel silikon akan mengalami perbesaran ukuran yang mengakibatkan turunnya nilai sifat mekaniknya.

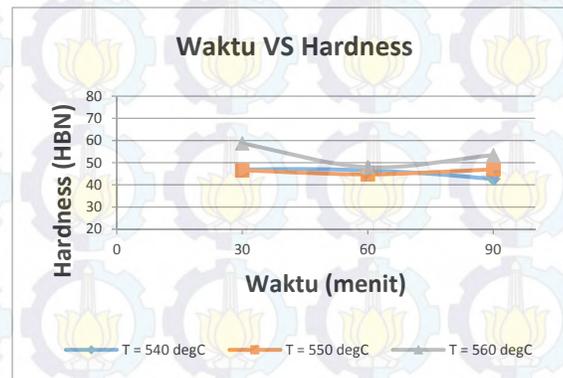
## 2.2 Tinjauan Pustaka

Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh Asri Kusumaningtyas pada tahun 2012 tentang studi eksperimental perbandingan pengaruh variasi *solution treatment* pada perlakuan panas *precipitation hardening* T6 terhadap sifat mekanik paduan Al – Si – Mg, diperoleh bahwa waktu yang dibutuhkan untuk *solution treatment* dapat dipersingkat. Hasil penelitian yang telah dilakukan tersebut menunjukkan bahwa dengan waktu kurang dari satu jam *solution treatment* dapat melarutkan silikon dan magnesium cukup banyak. Variasi temperatur dan waktu *solution treatment* yang dilakukan adalah  $540^\circ\text{C}$ ,  $550^\circ\text{C}$ , dan  $560^\circ\text{C}$  sedangkan waktu yang digunakan adalah 30, 60, 90, dan 360 menit.

Dari penelitian tersebut diperoleh hasil bahwa energi *impact* dari hasil *short solution treatment* dalam dapur *salt bath* cenderung menurun seiring dengan bertambahnya waktu *solution*, sementara energi *impact* akan cenderung menurun juga seiring makin tingginya temperatur *solution*. Sedangkan nilai kekerasan dari hasil *short solution treatment* dalam dapur *salt bath* akan meningkat seiring bertambahnya waktu *solution*, sementara nilai kekerasannya akan semakin meningkat juga seiring bertambahnya temperatur *solution*. [4]



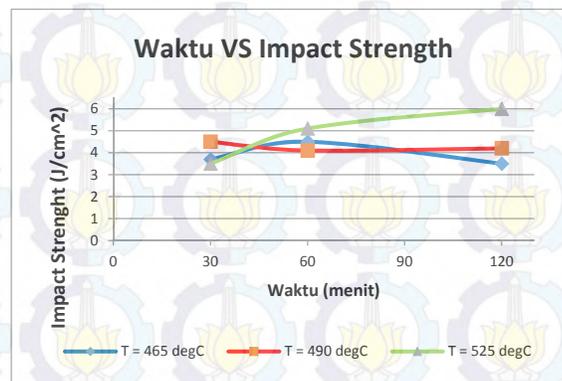
Gambar 2.5 Grafik nilai energi vs waktu *solution treatment* dari temperatur *solution treatment* 540°C, 550°C, 560°C. [4]



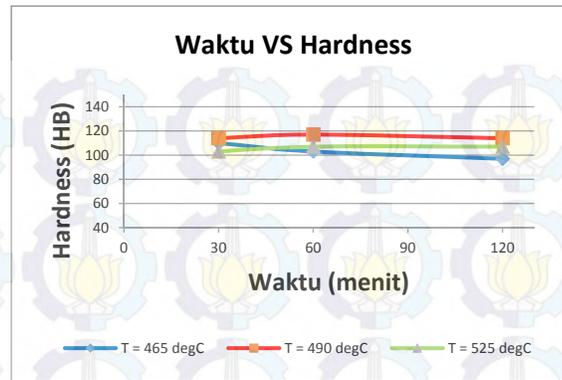
Gambar 2.6 Grafik nilai kekerasan vs waktu *solution* pada temperatur 540°C, 550°C, dan 560°C. [4]

Hasil penelitian lainnya yang dilakukan oleh J. Pezda mengenai pengaruh perlakuan panas terhadap perubahan sifat mekanis pada material  $AlZn_{10}Si_7MgCu$ , dimana pada penelitian tersebut temperatur *solution* mempengaruhi proses *solution treatment* karena temperatur akan mempengaruhi laju pertumbuhan dan sferoidisasi partikel silikon. *Solution treatment* yang waktunya dipersingkat harus tetap memenuhi dua fungsi utama *solution treatment* yaitu menaikkan kadar magnesium dan silikon yang terlarut dalam matriks  $\alpha$  hingga maksimum dan mendistribusikannya secara homogen.

Fungsi ini sangat penting untuk menghasilkan energi *impact* yang optimum. Selain itu syarat yang lain adalah menaikkan ukuran dan jarak antar partikel silikon. Pada penelitian ini terdapat variasi temperatur dan waktu *solution treatment* yang digunakan yaitu pada temperatur 465°C, 490°C, dan 525°C sedangkan waktu *solution* yang digunakan adalah 30, 60, dan 120 menit. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini yaitu terdapat kenaikan energi *impact* seiring dengan naiknya temperatur dan waktu *solution treatment* dan juga semakin naiknya waktu *solution treatment* maka nilai kekerasan akan meningkat, sedangkan semakin tinggi temperatur *solution* maka nilai kekerasan akan meningkat juga. [5]



Gambar 2.7 Grafik nilai *impact strength* vs temperatur *solution treatment* yaitu sebesar 465°C, 490°C, 525°C. [5]

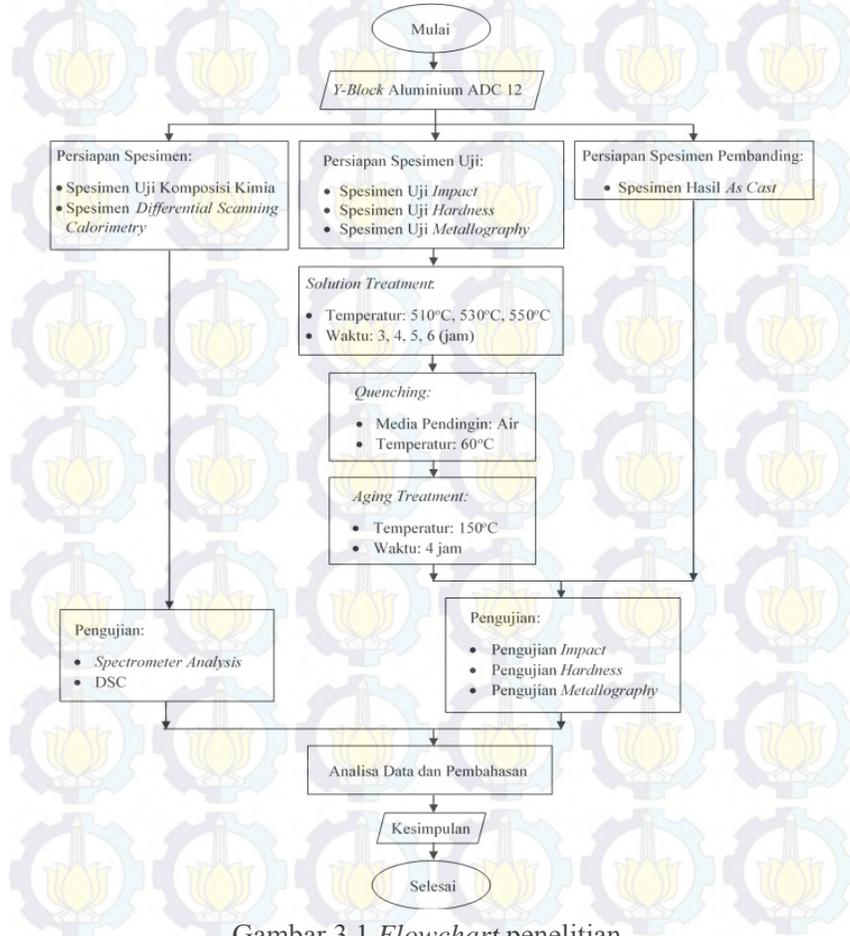


Gambar 2.8 Grafik nilai kekerasan material spesimen berbanding dengan waktu *solution treatment* pada temperatur 465°C, 490°C, 525°C. [5]

## BAB 3

### METODOLOGI

#### 3.1 Flowchart Penelitian



Gambar 3.1 Flowchart penelitian

### 3.2 Material

#### 3.2.1 Material yang digunakan

Material logam yang digunakan dalam penelitian ini adalah logam paduan aluminium ADC 12 dengan komposisi kimia paduan menurut Standard JIS H 5302 sebagai berikut:

Tabel 3.1 Elemen Paduan JIS ADC 12

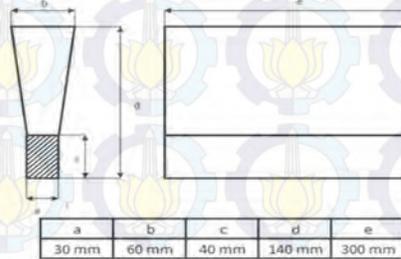
No.	Elemen Paduan	ADC 12 (JIS) wt %	ADC 12 (CV. ICCI) wt %
1.	Cu	1,5 – 3,5	1.71
2.	Si	9,6 – 12,0	9,78
3.	Mg	0,3 maksimal	0.235
4.	Zn	1,0 maksimal	0,611
5.	Fe	1,3 maksimal	0.791
6.	Mn	0,5 maksimal	0.034
7.	Ni	0,5 maksimal	0.015
8.	Sn	0,2 maksimal	0.044
10.	Cr		0.005
11.	Al	<i>remainder</i>	86.131

Proses pengecoran dilakukan dengan menggunakan metode *gravity die casting*. Paduan dilelehkan pada temperatur 750°C, lalu dilakukan pembersihan *dross* dari permukaan logam cair sebelum dituang ke dalam cetakan. Logam cair dituang ke dalam cetakan permanen yang terbuat dari baja ASSAB 8047.

### 3.2.2 Bentuk Spesimen Uji

#### 1. Standar Y – Block

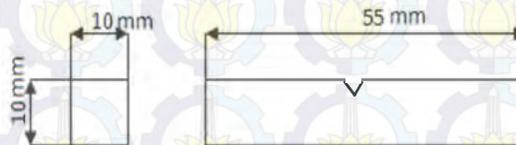
Bentuk spesimen uji yang digunakan adalah Y – Block Aluminium ADC 12 yang sesuai dengan standar JIS G 5502.



Gambar 3.2 Standar Y – Block yang digunakan pada penelitian

#### 2. Bentuk Spesimen Uji Impact

Standar Y – Block yang diperoleh dari hasil pengecoran di CV. ICCI selanjutnya akan dibentuk menjadi spesimen uji *impact* dengan standar JIS H 5202 seperti pada gambar:

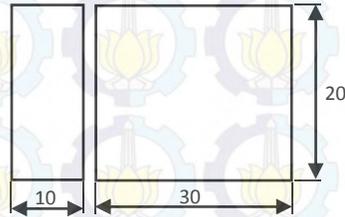


Gambar 3.3 Dimensi spesimen uji *impact*.

#### 3. Bentuk Spesimen Uji Hardness dan Metallography

Spesimen yang akan digunakan untuk pengujian *metallography* dibentuk dari Y – Block yang

telah dibuat sebelumnya. Bentuk spesimen *metallography* dan pengujian *hardness* seperti pada gambar berikut:



Gambar 3.4 Spesimen uji *metallography*.

### 3.3 Peralatan yang Digunakan

#### 3.3.1 Dapur *Solution Treatment*

Peralatan dapur *solution treatment* yang digunakan memiliki tujuan untuk memberikan perlakuan panas dan *holding time* pada temperatur serta waktu penahanan yang telah ditentukan sebelumnya. Pada penelitian ini digunakan dapur pemanas dengan kapasitas pemanasan dari temperatur 30°C hingga 3000°C.



Gambar 3.5 Dapur *solution treatment*.

### 3.3.2 Dapur *Aging*

Dapur *aging* ini memiliki kapasitas pemanasan 30°C hingga 750°C. Peralatan ini digunakan untuk melakukan proses *aging* pada variasi temperatur dan waktu yang sudah ditentukan.



Gambar 3.6 Dapur untuk proses *aging*.

### 3.3.3 Peralatan *Grinding* dan *Polishing*

Peralatan ini digunakan untuk membuat permukaan spesimen menjadi rata sehingga dapat digunakan untuk mengamati 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 3.7 Mesin *grinding* dan *polishing*.

### 3.3.4 Peralatan Etsa (*Etching*)

Proses etsa dilakukan dengan maksud untuk mengkorosikan bagian permukaan spesimen sehingga struktur mikro spesimen dapat diamati dibawah mikroskop. Pada proses etsa ini, *etching reagent* yang digunakan adalah larutan *modified Keller's reagent* yang mana terdiri dari 2,5 ml HNO<sub>3</sub>, 1,0 ml HCl, 1,5 HF, dan 95 ml air dengan waktu 3 – 5 detik.

### 3.3.5 Peralatan Pengamatan Struktur Mikro

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

1. Mikroskop dan kamera digital.
2. 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*. Melalui peralatan ini juga dapat dilakukan pengamatan dengan pembesaran 100X sampai 1000X sesuai dengan kebutuhan. Gambar alat yang digunakan adalah sebagai berikut:



Gambar 3.8 Peralatan pengamatan struktur mikro.

### 3.3.6 Mesin Uji *Impact*

Mesin uji *impact* yang digunakan adalah Karl Frank GMBH tipe 580 M dengan kapasitas 30 Kpm yang merupakan inventaris peralatan Jurusan Teknik Mesin ITS.



Gambar 3.9 Mesin uji *impact*

### 3.3.7 Peralatan Uji *Hardness*

Mesin uji *hardness* yang digunakan dalam penelitian ini adalah inventaris Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Mesin ITS. Mesin uji *hardness* yang digunakan adalah mesin uji kekerasan metode Brinell.

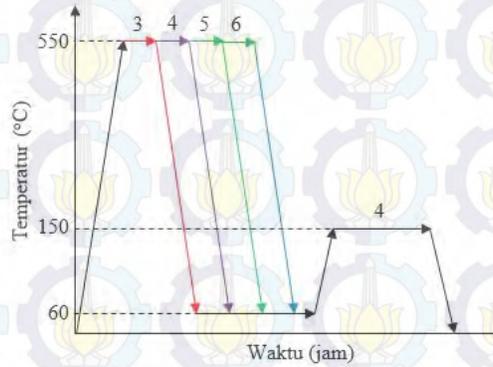


Gambar 3.10 Mesin uji *hardness*

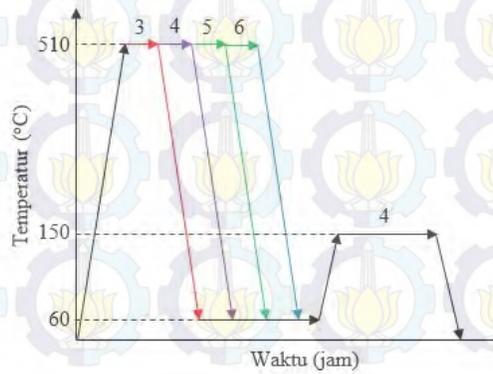
### 3.4 Langkah – langkah Percobaan

#### 3.4.1 Perlakuan Panas

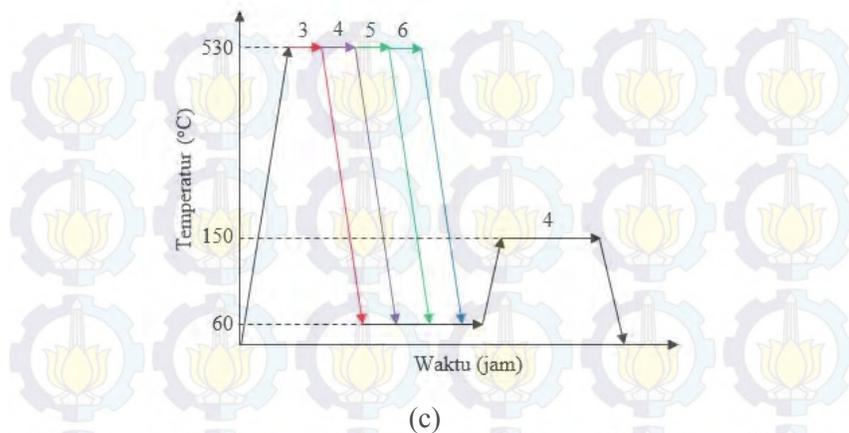
Perlakuan panas *precipitation hardening* yang digunakan dalam penelitian ini adalah perlakuan panas T6, dimana secara umum perlakuan panas T6 terdiri dari *solution treatment*, pendinginan secara cepat (*quenching*), dan dilanjutkan dengan *artificial aging*. Variasi yang dilakukan adalah pada tahapan temperatur *solution treatment* dan waktu penahanannya. Tahapan perlakuan panas dilakukan sesuai dengan ilustrasi pada gambar 3.11.



(a)



(b)



Gambar 3.11 Skema perlakuan panas *precipitation hardening* pada temperatur 550°C (a), 530°C (b), dan 510°C (c).

*Solution treatment* dilakukan dengan cara memanaskan spesimen dari temperatur kamar hingga temperatur yang telah ditentukan yaitu 510°C, 530°C, dan 550°C di dalam dapur pemanas, kemudian ditahan pada temperatur tersebut selama 3, 4, 5, dan 6 jam. Proses *solution treatment* ini dilakukan secara konvensional (*non salt bath*) yang bertujuan untuk mendapatkan larutan padat yang mendekati homogen (fasa tunggal).

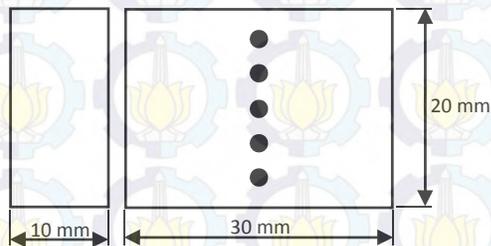
Setelah spesimen mencapai waktu penahanan yang diperlukan, spesimen didinginkan secara cepat (*quenching*) ke dalam air dengan temperatur 60°C. Tahap selanjutnya adalah proses *aging*, dimana spesimen dipanaskan di dalam dapur pemanas hingga mencapai temperatur 150°C dan ditahan selama empat jam. Parameter yang digunakan pada tahap *aging* ini merupakan parameter yang sering dipakai di industri otomotif. Setelah empat jam, spesimen didinginkan secara cepat ke dalam air hingga mencapai temperatur kamar.

### 3.4.2 Pengujian *Impact*

Metode pengujian *impact* yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *Charpy*. Pengujian menggunakan tiga spesimen untuk masing – masing variasi temperatur dan waktu penahanan. Pengujian *impact* menggunakan beban sebesar 15 kpm. Pada pengujian *impact*, mula – mula spesimen ditempatkan pada *anvil* dan *dial* penunjuk diatur ke posisi 0. Kemudian palu dinaikkan dengan sudut sebesar  $156^\circ$ , setelah itu palu dilepas untuk dapat memukul spesimen uji.

### 3.4.3 Pengujian *Hardness*

Metode pengujian kekerasan yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *Brinell*. Pengujian menggunakan satu spesimen untuk masing – masing variasi. Pengujian kekerasan *Brinell* menggunakan indenter bola baja yang dikeraskan dengan diameter 2,5 mm. Pengujian dilakukan menggunakan mesin uji Frank, spesimen yang diuji berbentuk balok seperti terlihat pada gambar 3.12. Nilai kekerasan yang diperoleh akan dirata – rata.



Gambar 3.12 Ilustrasi spesimen pengujian kekerasan.

### 3.4.4 Pengujian *Metallography*

Setelah meterial mengalami perlakuan panas *precipitation hardening* T6, selanjutnya dilakukan pengujian

*metallography* pada material untuk mengamati struktur mikro dari spesimen tersebut. Adapun tahapan dari pengujian *metallography* adalah sebagai berikut:

1. *Grinding dan Polishing*

Proses *grinding* pada spesimen dilakukan dengan cara spesimen digosok 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.

2. *Etching*

Tujuan dari proses *etching* adalah untuk mendapatkan permukaan material yang dapat diamati dengan mikroskop optis. *Etching* dilakukan dengan mencelupkan material ke dalam *etching reagent* tertentu selama waktu yang telah ditentukan sesuai dengan karakteristik dari jenis *etching reagent* yang digunakan pada material tersebut. Adapun *etching reagent* yang digunakan adalah *modified Keller's reagent* yang mana terdiri dari 2,5 ml  $\text{HNO}_3$ , 1,0 ml HCl, 1,5 HF, dan 95 ml air dengan waktu 3 – 5 detik.

3. Pengamatan struktur mikro dengan menggunakan mikroskop optis

Setelah dilakukan proses *etching*, 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, 500x, dan 1000x pada titik yang telah ditentukan.

### 3.5 Desain Percobaan

Rencana percobaan yang akan dilakukan pada penelitian ini dapat dijabarkan melalui tabel jumlah spesimen yang dibutuhkan pada variasi temperatur dan waktu *solution treatment* adalah sebagai berikut:

Tabel 3.2 Jumlah spesimen yang dibutuhkan untuk tiap pengujian pada variasi temperatur dan waktu *solution treatment*.

Temperatur <i>Solution Treatment</i> (°C)	Waktu <i>Solution Treatment</i> (jam)	Jumlah Spesimen <i>Hardness</i>	Jumlah Spesimen <i>Metallography</i>	Jumlah Spesimen <i>Impact</i>
<i>As cast</i>	-	1	1	3
510	3	1	1	3
	4	1	1	3
	5	1	1	3
	6	1	1	3
530	3	1	1	3
	4	1	1	3
	5	1	1	3
	6	1	1	3
550	3	1	1	3
	4	1	1	3
	5	1	1	3
	6	1	1	3
<b>Total per pengujian</b>		<b>13</b>	<b>13</b>	<b>39</b>
<b>Total keseluruhan</b>		<b>65</b>		

Setelah mengetahui seberapa banyak jumlah material spesimen yang dibutuhkan, maka langkah selanjutnya adalah bagaimana rancangan penelitian yang akan dilakukan untuk dapat memperoleh data yang baik dan sesuai, rancangan penelitian tersebut dapat dijelaskan melalui tabel yaitu sebagai berikut:

Tabel 3.3 Rancangan Penelitian Untuk Temperatur 510°C

Temperatur (°C)	Waktu (jam)	Impact (Joule/mm <sup>2</sup> )		Hardness (HB)	
		Data ke:	Rata - rata	Data ke:	Rata - rata
510	3	II.1		H1.1	
		II.2		H1.2	
		II.3		H1.3	
				H1.4	
				H1.5	
	4	II.4		H1.6	
		II.5		H1.7	
		II.6		H1.8	
				H1.9	
				H1.10	
	5	II.7		H1.11	
		II.8		H1.12	
II.9			H1.13		
			H1.14		
			H1.15		
6	II.10		H1.16		
	II.11		H1.17		
	II.12		H1.18		
			H1.19		
			H1.20		

Note: I = Data pengujian *impact*, H = Data pengujian *hardness*.

Tabel 3.4 Rancangan Penelitian Untuk Temperatur 530°C

Temperatur (°C)	Waktu (jam)	Impact (Joule/mm <sup>2</sup> )		Hardness (HB)		
		Data ke:	Rata - rata	Data ke:	Rata - rata	
530	3	I2.1		H2.1		
		I2.2		H2.2		
		I2.3		H2.3		
	4				H2.4	
					H2.5	
		I2.4		H2.6		
		I2.5		H2.7		
	5	I2.6		H2.8		
				H2.9		
				H2.10		
	6	I2.7		H2.11		
		I2.8		H2.12		
I2.9			H2.13			
			H2.14			
			H2.15			
	I2.10		H2.16			
	I2.11		H2.17			
	I2.12		H2.18			
			H2.19			
			H2.20			

Note: I = Data pengujian *impact*, H = Data pengujian *hardness*.

Tabel 3.5 Rancangan Penelitian Untuk Temperatur 550°C

Temperatur (°C)	Waktu (menit)	Impact (Joule/mm <sup>2</sup> )		Hardness (HB)	
		Data ke:	Rata - rata	Data ke:	Rata - rata
550	3	13.1		H3.1	
		13.2		H3.2	
		13.3		H3.3	
	4			H3.4	
				H3.5	
		13.4		H3.6	
		13.5		H3.7	
	5	13.6		H3.8	
				H3.9	
				H3.10	
	6	13.7		H3.11	
		13.8		H3.12	
		13.9		H3.13	
				H3.14	
				H3.15	
	6	13.10		H3.16	
		13.11		H3.17	
		13.12		H3.18	
			H3.19		
			H3.20		

Note: I = Data pengujian *impact*, H = Data pengujian *hardness*.

Tabel 3.6 Rancangan Penelitian Untuk *As Cast*

Temperatur (°C)	Waktu (menit)	Impact (Joule/mm <sup>2</sup> )		Hardness (HBN)	
		Data ke:	Rata - rata	Data ke:	Rata - rata
<i>As Cast</i>	-	I0.1		H0.1	
		I0.2		H0.2	
		I0.3		H0.3	
				H0.4	
				H0.5	

Note: I = Data pengujian *impact*, H = Data pengujian *hardness*.

## BAB 4

### DATA HASIL PENELITIAN

Berdasarkan dari data hasil penelitian pada variasi *holding time* dan temperatur *solution treatment* pada proses perlakuan panas *precipitation hardening* T6 terhadap logam paduan aluminium ADC 12, diperoleh suatu struktur mikro yang berbeda. Sebelum melakukan pengamatan *metallography*, dilakukan serangkaian persiapan spesimen meliputi proses *grinding*, *polishing*, dan *etching*. Proses *etching* dilakukan dengan cara mencelupkan spesimen kedalam larutan *etching reagent* berupa *modified Keller's reagent* yang mana terdiri dari 2,5 ml HNO<sub>3</sub>, 1,0 ml HCl, 1,5 HF, dan 95 ml air. Selain itu pula, dari hasil pengujian didapatkan data distribusi nilai *impact strength* dan *Brinell hardness* pada masing – masing variasi *holding time* dan temperatur *solution treatment*.

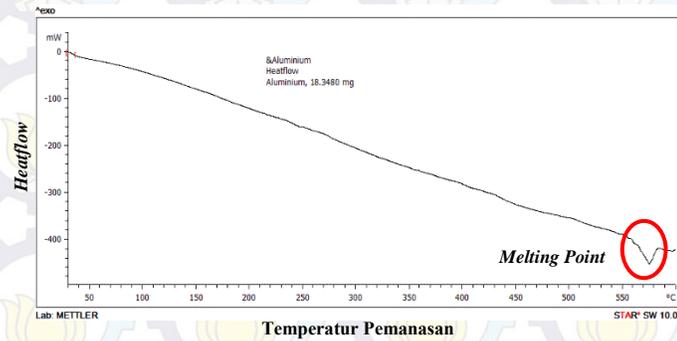
#### 4.1 Data Hasil Pengujian Awal ADC 12

Pengujian awal dilakukan untuk mengetahui karakteristik spesimen awal yang belum diberikan perlakuan panas *precipitation hardening* T6, yaitu berupa pengujian unsur kimia, *impact strength*, *Brinell hardness*, struktur mikro *as cast*, dan juga dilakukan pengujian *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) yang mana pengujian DSC ini bertujuan untuk mengetahui apakah pemilihan variasi temperatur *solution treatment* sudah berada dibawah temperatur eutektik atau melewati temperatur eutektik dari logam paduan aluminium ADC 12 yang diperoleh dari pengecoran di CV. ICCI.

##### 4.1.1 Pengujian *Differential Scanning Calorimetry*

Pengujian DSC dilakukan pada spesimen *as cast* paduan aluminium ADC 12 yang bertujuan untuk mengetahui

apakah pemilihan variasi temperatur *solution treatment* pada proses perlakuan panas *precipitation hardening* T6 sudah berada dibawah temperatur eutektik dari spesimen ADC 12 itu sendiri atau telah melewati temperatur eutektik dari spesimen tersebut oleh karena itu dilakukan pengujian DSC guna memastikan variasi temperatur *solution treatment* yang dilakukan sudah tepat, berikut adalah data hasil pengujian DSC yaitu:



Gambar 4.1 Data perbandingan *heatflow* dengan temperatur pemanasan pada pengujian DSC spesimen *as cast*

#### 4.1.2 Pengujian Komposisi Kimia pada Spesimen *As Cast*

Salah satu pengujian awal yang dilakukan pada spesimen *as cast* yang belum diberikan perlakuan panas *precipitation hardening* T6 adalah pengujian kandungan komposisi kimia yang terkandung dalam spesimen tersebut. Pengujian ini menggunakan alat *Spectrometer Foundry - MASTER* yang mana nantinya hasil yang diperoleh akan dibandingkan dengan data spesifikasi yang dikeluarkan oleh perusahaan sebagai penyedia material dan berdasarkan standar JIS H 5302 sebagai patokan, berikut adalah data yang diperoleh yaitu:

Tabel 4.1 Data hasil pengujian unsur kimia spesimen ADC 12.

No.	Elemen Paduan	ADC 12 (JIS H 5302) wt %	ADC 12 (CV. ICCI) wt %	Spectrometer wt %
1.	Cu	1,5 – 3,5	1,71	1,33
2.	Si	9,6 – 12,0	9,78	6,45
3.	Mg	0,3 maksimal	0,235	0,0887
4.	Zn	1,0 maksimal	0,611	0,659
5.	Fe	1,3 maksimal	0,791	0,756
6.	Mn	0,5 maksimal	0,034	0,423
7.	Ni	0,5 maksimal	0,015	0,0906
8.	Sn	0,2 maksimal	0,044	0,0106
9.	Cr		0,005	0,0234
10.	Al	<i>remainder</i>	86,131	89,8

Berdasarkan pada tabel 4.1 yang memuat data hasil pengujian komposisi kimia yang terkandung dalam spesimen *as cast* ADC 12, bahwa semua data spesifikasi komposisi kimia yang diperoleh dari perusahaan nilainya memenuhi rentang komposisi kimia berdasarkan pada standar JIS H 5302 namun setelah dilakukan pengujian kembali pada material hasil pengecoran yang sama diperoleh hasil komposisi yang berbeda pada kandungan unsur tembaga (Cu) dan silikon (Si). Hal ini dapat dilihat bahwa pada data spesifikasi perusahaan dinyatakan bahwa nilai kandungan tembaga sebesar 1,71 wt % namun pada pengujian *spectrometer* diperoleh nilai 1,33 wt %, begitu juga dengan nilai kandungan unsur silikon pada data spesifikasi perusahaan dinyatakan sebesar 9,78 wt % namun pada pengujian *spectrometer* diperoleh nilai sebesar 6,45 wt % yang mana kedua nilai yang diperoleh berada dibawah nilai standar JIS H 5302 yang digunakan sebagai acuan.

#### 4.1.3 Pengujian Mekanik pada Spesimen *As Cast*

Pengujian berikutnya yang dilakukan adalah pengujian mekanik yang mencakup pengujian *impact* dan *hardness*. Pengujian *impact* pada material *as cast* bertujuan untuk mengetahui seberapa besar nilai *impact strength* dari material yang belum diberikan perlakuan panas.

Selanjutnya adalah pengujian *hardness*, jenis *hardness* yang dilakukan adalah *hardness Brinell* yang bertujuan untuk mengetahui seberapa besar nilai *hardness* spesimen yang belum diberikan perlakuan panas. Nilai yang diperoleh akan dijadikan sebagai pembandingan dengan nilai *hardness* dan *impact strength* yang diperoleh pada spesimen setelah diberikan perlakuan. Berikut ini adalah data yang diperoleh dari pengujian mekanik spesimen *as cast* yaitu:

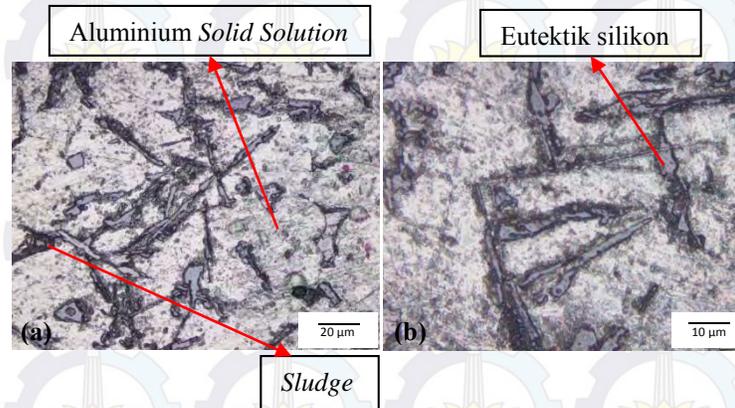
Tabel 4.2 Data hasil pengujian sifat mekanik material *as cast* ADC 12.

<i>Impact Strength</i> (Joule/mm <sup>2</sup> )		<i>Hardness (HBN)</i>	
0,02452	0,02452	61,546	59,679
0,02452		62,664	
0,02452		60,457	
		57,355	
		56,373	

#### 4.1.4 Pengujian *Metallography* pada Spesimen *As Cast*

Gambar struktur mikro *as cast* spesimen ADC 12 ditampilkan pada gambar 4.2, dimana material ADC 12 memiliki kesetaraan dengan aluminium seri 384-F sehingga berdasarkan *Metal Handbook* Vol. 7 dapat dijelaskan bahwa material ADC 12 yang berupa spesimen *as cast* memiliki eutektik silikon yang tersebar merata di seluruh bagian spesimen dan berukuran kecil memanjang sedangkan spesimen ini juga memiliki matriks aluminium *solid solution*

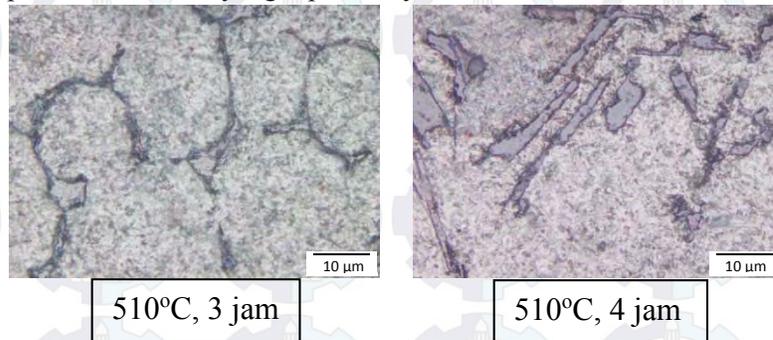
yang mengelilingi fasa eutektik silikon tersebut, selain itu juga terdapat kotoran (*sludge*) berukuran bulat memanjang yang bercampur dengan matriks aluminium *solid solution*.

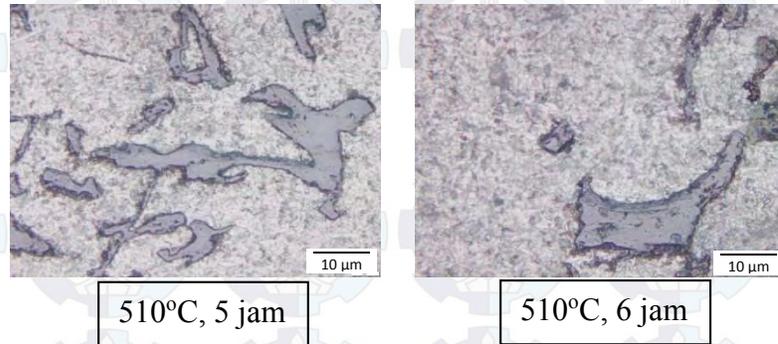


Gambar 4.2 Struktur mikro awal material *as cast* ADC 12 (a) perbesaran 500x (b) perbesaran 1000x.

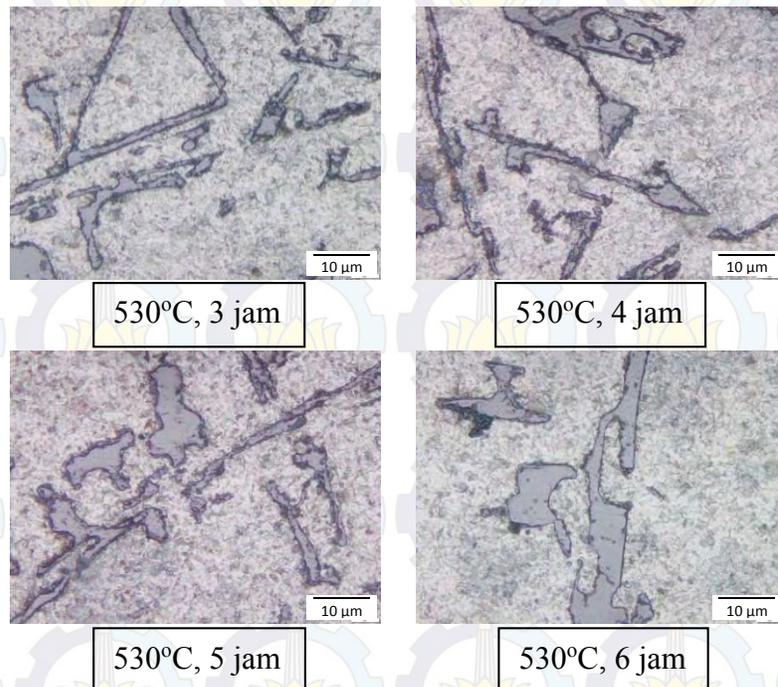
#### 4.2 Struktur Mikro Hasil Perlakuan Panas *Precipitation Hardening T6*

Pengujian *metallography* dilakukan pada semua spesimen. Berikut ini merupakan hasil pengujian dengan perbesaran 1000x yang diperoleh yaitu:

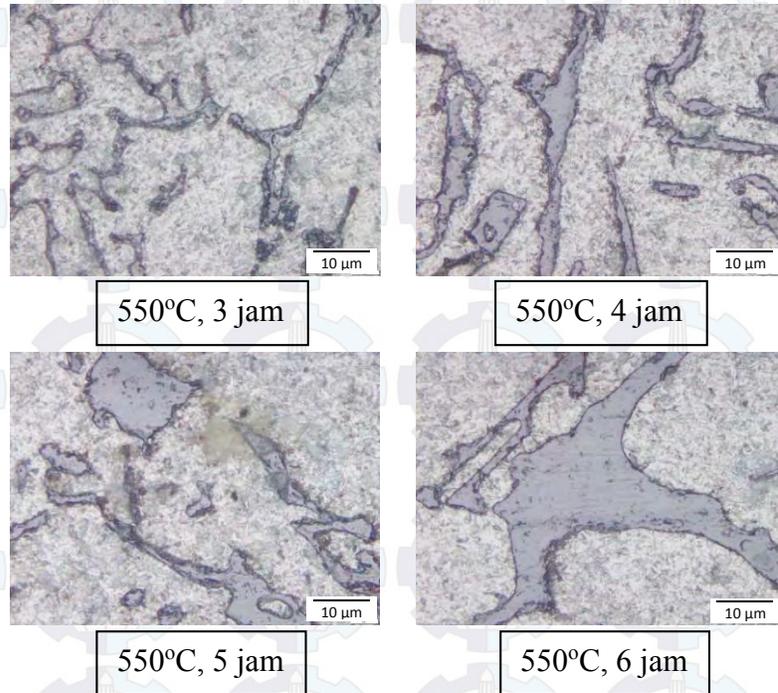




Gambar 4.3 Struktur mikro pada variasi temperatur 510°C dengan *holding time* 3, 4, 5, 6 jam perbesaran 1000x.



Gambar 4.4 Struktur mikro pada variasi temperatur 530°C dengan *holding time* 3, 4, 5, 6 jam perbesaran 1000x.



Gambar 4.5 Struktur mikro pada variasi temperatur 550°C dengan *holding time* 3, 4, 5, 6 jam perbesaran 1000x.

Pengujian *metallography* dilakukan pada spesimen yang telah diberikan perlakuan panas *precipitation hardening* T6 dengan variasi temperatur *solution treatment* dan *holding time* yang telah ditentukan sebelumnya. Selanjutnya dilakukan proses *grinding*, *polishing*, dan *etching* menggunakan *modified Keller's reagent* lalu dilakukan pengujian *metallography* menggunakan mikroskop.

10 μm

Setelah pengujian diperoleh hasil struktur mikro seperti pada gambar 4.3, 4.4, dan 4.5 terdapat 12 spesimen yang diberikan pengujian untuk melihat struktur mikro yang terbentuk pada masing – masing spesimen tersebut. Untuk satu variasi temperatur *solution treatment* terdapat perubahan struktur mikro yaitu semakin membesarnya ukuran eutektik silikon yang mengandung presipitat  $\text{CuAl}_2$ . Fasa tersebut terbentuk sejalan dengan semakin meningkatnya *holding time* dari 3, 4, 5, hingga 6 jam. [12]

Sedangkan jika dilihat berdasarkan variasi temperatur maka semakin tinggi temperatur *solution treatment* maka semakin besar juga eutektik silikon yang terbentuk yang mana berdasarkan hasil pengujian dapat dilihat secara visual bahwa pada temperatur  $550^\circ\text{C}$  dan *holding time* 6 jam terbentuknya eutektik silikon mempunyai ukuran yang paling besar dibandingkan dengan struktur mikro pada temperatur lain.

Eutektik silikon ini dapat juga disebut dengan silikon tersperoidisasi. Sehingga secara visual seiring bertambahnya *holding time*, silikon yang tersperoidisasi akan semakin membesar ukurannya. Selain itu, jarak antar silikon tersperoidisasi akan semakin bertambah pula. Silikon yang tersperoidisasi pun akan semakin membesar jika temperatur *solution treatment* semakin tinggi. Oleh karena itu perubahan struktur mikro pada masing – masing spesimen akan mempengaruhi sifat mekanik dari spesimen tersebut yang di tinjau dari karakteristik nilai *impact strength* dan *hardness*.

### 4.3 Pengaruh Terhadap *Impact Strength*

Berdasarkan hasil pengujian *impact* pada setiap spesimen, diperoleh data nilai *impact strength* untuk keseluruhan spesimen yang diuji. Pengujian *impact* menggunakan mesin uji *impact* yang terdapat di *workshop* Jurusan Teknik Mesin ITS. Grafik pengaruh temperatur *solution treatment* terhadap nilai *impact strength* hasil perlakuan panas *precipitation hardening* T6 pada masing – masing variasi adalah sebagai berikut:

Tabel 4.3 Data hasil pengujian *impact* pada variasi temperatur 510°C

Spesimen		<i>Impact Strength</i> (Joule/mm <sup>2</sup> )	IS rata-rata (Joule/mm <sup>2</sup> )	IS as cast (Joule/mm <sup>2</sup> )
Temperatur	<i>Holding Time</i>			
510°C	3 jam	0.02452	0.02860	0,02452
		0.03677		
		0.02452		
	4 jam	0.03677	0.02860	
		0.02452		
		0.02452		
	5 jam	0.02452	0.03269	
		0.03677		
		0.03677		
	6 jam	0.09194	0.05108	
		0.03065		
		0.03065		



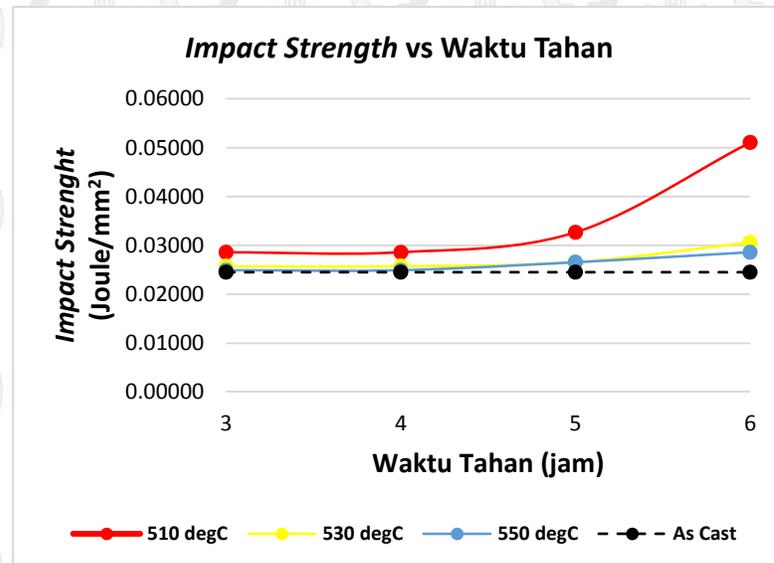
Gambar 4.6 Penampang patahan spesimen *impact* setelah dilakukan pengujian.

Tabel 4.4 Data hasil pengujian *impact* pada variasi temperatur 530°C

Spesimen		<i>Impact Strength</i> (Joule/mm <sup>2</sup> )	IS rata-rata (Joule/mm <sup>2</sup> )	IS as cast (Joule/mm <sup>2</sup> )
Temperatur	<i>Holding Time</i>			
530°C	3 jam	0.02452	<b>0.02452</b>	<b>0,02452</b>
		0.02452		
		0.02452		
	4 jam	0.02452	<b>0.02452</b>	
		0.02452		
		0.02452		
	5 jam	0.03065	<b>0.02656</b>	
		0.02452		
		0.02452		
	6 jam	0.03677	<b>0.03065</b>	
		0.03065		
		0.02452		

Tabel 4.5 Data hasil pengujian *impact* pada variasi temperatur 550°C

Spesimen		<i>Impact Strength</i> (Joule/mm <sup>2</sup> )	IS rata-rata (Joule/mm <sup>2</sup> )	IS as cast (Joule/mm <sup>2</sup> )
Temperatur	<i>Holding Time</i>			
530°C	3 jam	0.03065	<b>0.02493</b>	<b>0,02452</b>
		0.02574		
		0.01839		
	4 jam	0.02574	<b>0.02493</b>	
		0.02452		
		0.02452		
	5 jam	0.02452	<b>0.02656</b>	
		0.02452		
		0.03065		
	6 jam	0.02452	<b>0.02860</b>	
		0.02452		
		0.03677		



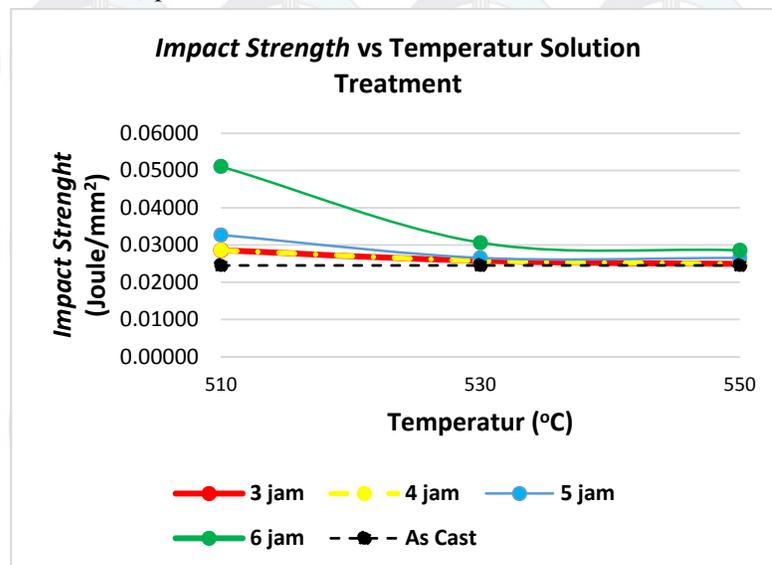
Gambar 4.7 Grafik *impact strength* vs waktu tahan untuk spesimen ADC 12 yang telah diberi perlakuan panas *precipitation hardening* T6

Setelah mendapatkan keseluruhan data nilai *impact strength* untuk setiap spesimen yang diuji dan setelah data tersebut ditampilkan melalui tabel maka selanjutnya data nilai *impact strength* tersebut dapat dilakukan pengolahan dengan mengkonversinya menjadi grafik dengan tujuan memudahkan pembacaan dan untuk mengetahui distribusi dari data yang telah diperoleh.

Data hasil pengujian yang telah di konversi menjadi grafik dapat dilihat pada gambar 4.7, pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa nilai tertinggi dari *impact strength* terdapat pada variasi temperatur *solution treatment* 510°C dengan *holding time* sebesar 6 jam yaitu sebesar 0,05108 Joule/mm<sup>2</sup>. Selanjutnya nilai terendah dari *impact strength* terdapat pada variasi temperatur *solution treatment* 550°C dengan *holding time* sebesar 3 jam yaitu

sebesar 0,02574 Joule/mm<sup>2</sup>. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa spesimen ADC 12 mengalami peningkatan *nilai impact strength* sebesar 108 % dari kondisi *as cast* ke kondisi spesimen telah diberi perlakuan panas.

Pada keseluruhan data yang ditampilkan pada grafik menunjukkan distribusi data yaitu semakin rendah temperatur *solution treatment*-nya maka nilai *impact strength* akan semakin meningkat dan hal ini juga berlaku pada satu variasi temperatur yang mana nilai *impact strength* dari spesimen pada satu variasi temperatur akan meningkat sejalan dengan penambahan *holding time*. Sehingga pada satu variasi temperatur nilai *impact strength* akan meningkat sejalan dengan meningkatnya *holding time* yang diberikan dan nilai *impact strength* tertinggi diperoleh dari variasi temperatur terendah yaitu variasi temperatur 510°C yang jauh dibawah temperatur eutektik dari material ADC 12 tersebut.



Gambar 4.8 Grafik *impact strength* vs temperatur *solution treatment* untuk spesimen ADC 12 yang telah diberi perlakuan panas *precipitation hardening T6*

Selain grafik pengaruh hubungan antara *impact strength* vs waktu tahan terdapat pula grafik lain yang dapat menjelaskan data yang telah diperoleh dari spesimen yang sudah diberi perlakuan panas, grafik tersebut adalah grafik pengaruh hubungan antara *impact strength* vs temperatur *solution treatment* seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.6.

Berdasarkan gambar 4.8, pada satu variasi temperatur yaitu temperatur 510°C nilai *impact strength* tertinggi terdapat pada *holding time* 6 jam dan terendah pada *holding time* 3 jam dan 4 jam, sedangkan pada variasi temperatur 530°C nilai *impact strength* tertinggi terdapat pada *holding time* 6 jam dan terendah pada *holding time* 3 jam dan 4 jam, lalu pada variasi temperatur 550°C nilai *impact strength* tertinggi terdapat pada *holding time* 6 jam dan terendah pada *holding time* 3 jam dan 4 jam.

Dari distribusi data pada grafik dapat dilihat bahwa semakin tinggi temperatur *solution treatment* maka nilai *impact strength* semakin menurun, namun pada setiap variasi temperatur diperoleh bahwa *holding time* 6 jam selalu memiliki nilai *impact strength* tertinggi di bandingkan dengan yang lain.

#### 4.4 Pengaruh Terhadap *Hardness*

Pengujian lain yang dilakukan adalah pengujian *hardness*, berikut ini adalah grafik pengaruh temperatur *solution treatment* terhadap nilai *hardness Brinell* dari spesimen hasil perlakuan panas pada masing – masing variasi temperatur *solution treatment* dan *holding time*. Pengujian kekerasan ini menggunakan mesin uji *hardness Brinell* yang terdapat di laboratorium Jurusan Teknik Mesin ITS. Pengujian ini menggunakan metode *Brinell* dengan beban 31,25 kp dan menggunakan indenter bola baja yang dikeraskan. Guna mendapatkan nilai kekerasan tersebut dilakukan 5 kali indentasi secara berurutan pada penampang melintang spesimen.

Tabel 4.6 Data hasil pengujian kekerasan pada variasi temperatur  
510°C

No	Spesimen	Titik	BHN per Titik	BHN rata-rata	BHN as cast
1	Temp. 510°C 3 jam	1	93.263	<b>93.370</b>	<b>59,679</b>
		2	89.303		
		3	97.491		
		4	89.303		
		5	97.491		
2	Temp. 510°C 4 jam	1	102.010	<b>99.430</b>	<b>59,679</b>
		2	104.387		
		3	102.010		
		4	97.491		
		5	91.251		
3	Temp. 510°C 5 jam	1	97.491	<b>95.800</b>	<b>59,679</b>
		2	97.491		
		3	97.491		
		4	93.263		
		5	93.263		
4	Temp. 510°C 6 jam	1	95.342	<b>94.565</b>	<b>59,679</b>
		2	91.251		
		3	97.491		
		4	91.251		
		5	97.491		

Tabel 4.7 Data hasil pengujian kekerasan pada variasi temperatur  
530°C

No	Spesimen	Titik	BHN per Titik	BHN rata-rata	BHN as cast
1	Temp. 530°C 3 jam	1	102.010	<b>99.343</b>	<b>59,679</b>
		2	95.342		
		3	95.342		
		4	102.010		
		5	102.010		
2	Temp. 530°C 4 jam	1	102.010	<b>102.485</b>	<b>59,679</b>
		2	102.010		
		3	102.010		
		4	104.387		
		5	102.010		

Tabel 4.7 Lanjutan.

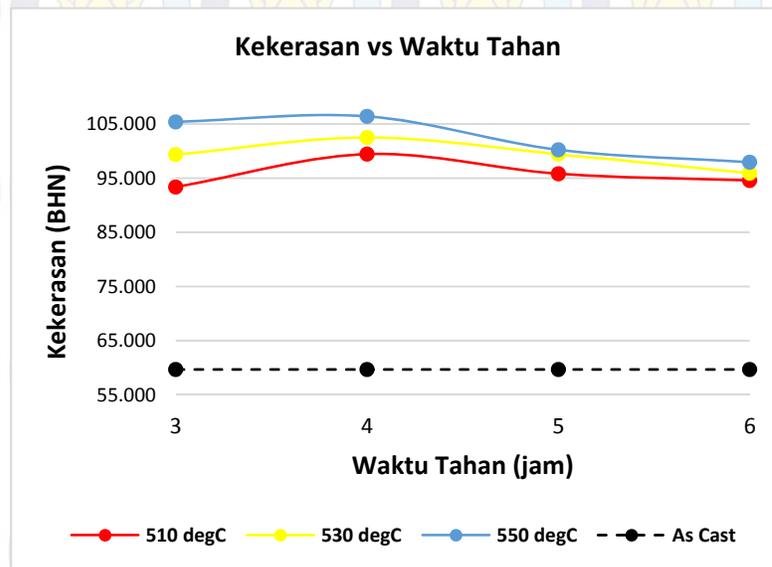
1	Temp. 530°C 5 jam	1	102.010	<b>99.421</b>	<b>59,679</b>
		2	106.848		
		3	97.491		
		4	93.263		
		5	97.491		
2	Temp. 530°C 6 jam	1	102.010	<b>95.900</b>	
		2	99.712		
		3	93.263		
		4	93.263		
		5	91.251		

Tabel 4.8 Data hasil pengujian kekerasan pada variasi temperatur 550°C

No	Spesimen	Titik	BHN per Titik	BHN rata-rata	BHN as cast
1	Temp. 550°C 3 jam	1	106.848	<b>105.371</b>	<b>59,679</b>
		2	104.387		
		3	104.387		
		4	106.848		
		5	104.387		
2	Temp. 550°C 4 jam	1	106.848	<b>106.390</b>	
		2	109.396		
		3	106.848		
		4	102.010		
		5	106.848		
3	Temp. 550°C 5 jam	1	102.010	<b>100.218</b>	
		2	99.712		
		3	97.491		
		4	104.387		
		5	97.491		
4	Temp. 550°C 6 jam	1	97.491	<b>97.935</b>	
		2	97.491		
		3	99.712		
		4	97.491		
		5	97.491		



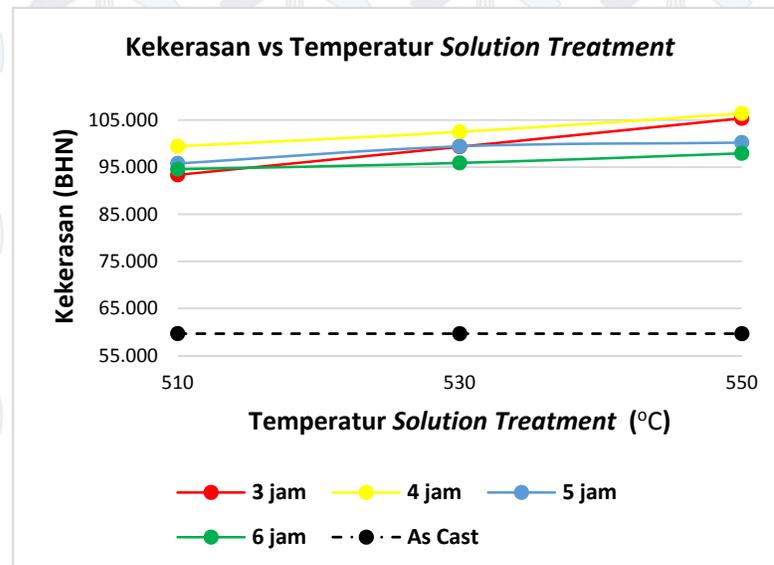
Gambar 4.9 Spesimen ADC 12 yang telah diuji *hardness*.



Gambar 4.10 Grafik nilai kekerasan vs waktu tahan pada spesimen ADC 12 yang telah mengalami perlakuan panas *precipitation hardening T6*

Berdasarkan tabel data yang diperoleh dari pengujian *hardness* yang telah dilakukan, data tersebut dapat dikonversi menjadi suatu grafik data yaitu grafik pengaruh hubungan *hardness* vs waktu tahan seperti yang terlihat pada gambar 4.10. Grafik tersebut menggambarkan distribusi nilai *hardness* dari material ADC 12 yang telah diberi perlakuan panas pada setiap variasi temperatur dan variasi *holding time*.

Dapat dilihat pada grafik hubungan antara *hardness* vs waktu tahan menunjukkan kecenderungan yang sama untuk tiap variasi temperatur yaitu untuk temperatur 510°C, 530°C, dan 550°C mempunyai nilai *hardness* yang mengalami peningkatan hingga satu titik maksimal pada *holding time* 4 jam lalu semakin menurun sejalan dengan bertambahnya *holding time* yang diberikan. Nilai *hardness* maksimal terletak pada variasi temperatur 550°C dengan *holding time* 4 jam yaitu sebesar 106.390 HBN sedangkan nilai *hardness* minimal terletak pada variasi temperatur 510°C dengan *holding time* 3 jam yaitu sebesar 93.370 HBN, nilai tersebut jauh lebih besar jika dibandingkan dengan nilai *hardness* spesimen *as cast* yaitu sebesar 59.679 HBN yang mana spesimen ini tidak diberi perlakuan panas dan bertindak sebagai pembanding dalam penelitian ini. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa spesimen ADC 12 mengalami kenaikan nilai *hardness* sebesar 78,3 % dari kondisi *as cast* ke kondisi spesimen yang telah diberikan perlakuan.

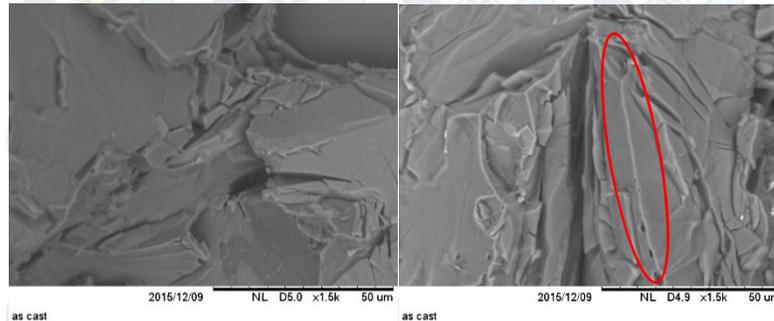


Gambar 4.11 Grafik nilai kekerasan vs temperatur *solution treatment* pada spesimen ADC 12 yang telah mengalami perlakuan panas *precipitation hardening* T6

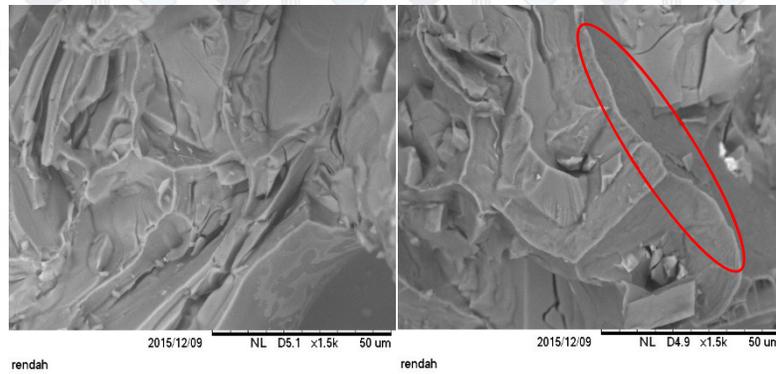
Pada gambar 4.11 yaitu grafik nilai *hardness* vs temperatur *solution treatment* pada spesimen ADC 12 yang telah mengalami perlakuan panas *precipitation hardening* T6 dapat dilihat bahwa untuk setiap *holding time* akan mengalami kenaikan nilai *hardness* sejalan dengan bertambahnya temperatur *solution treatment* dari 510°C ke 530°C lalu ke 550°C. Pada satu variasi temperatur yang sama nilai *hardness* mengalami kecenderungan meningkat menuju satu titik maksimal lalu mengalami penurunan, pada grafik tersebut mengalami titik maksimal pada setiap variasi *holding time* 4 jam. Nilai *hardness* maksimal untuk setiap variasi temperatur ternyata kesemuanya terletak pada variasi *holding time* 4 jam, dan terkecil yaitu pada temperatur 510°C dengan *holding time* 3 jam.

#### 4.5 Data Hasil Pengamatan *Scanning Electron Microscope* (SEM)

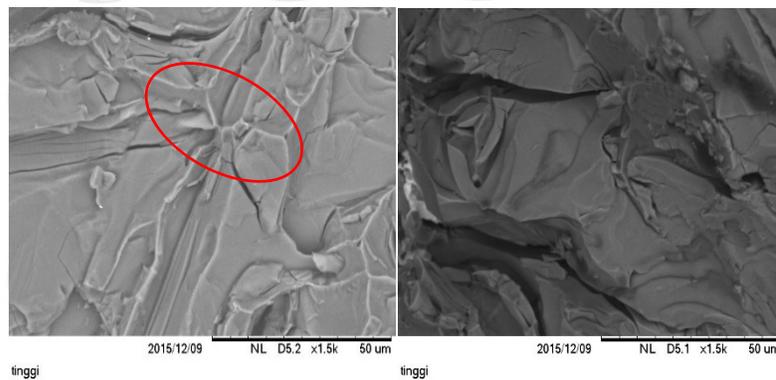
Berdasarkan hasil pola patahan yang dihasilkan pada saat pengujian *impact* maka dilakukanlah pengamatan *scanning electron microscope* (SEM) guna melihat karakter pola patahan yang dimiliki oleh spesimen setelah diberikan perlakuan. Pada pengamatan SEM yang telah dilakukan dipilih spesimen yang memiliki nilai *impact strength* paling kecil, *impact strength* paling besar, dan spesimen yang tidak diberikan perlakuan panas yaitu spesimen *as cast*. Spesimen yang memiliki nilai *impact strength* paling kecil yaitu spesimen yang telah diberi perlakuan panas dengan variasi temperatur *solution treatment* pada 550°C dan variasi *holding time* 3 jam, sedangkan spesimen yang memiliki nilai *impact strength* paling besar yaitu spesimen yang telah mengalami perlakuan panas dengan variasi temperatur *solution treatment* 510°C dan *holding time* 6 jam, serta dilakukan pengamatan pada spesimen yang tidak diberikan perlakuan panas (*as cast*) guna melihat perbandingan pola patahan yang terjadi antara spesimen yang diberi perlakuan panas dan yang tidak mengalami perlakuan panas. Berikut ini adalah gambar hasil pengamatan SEM untuk masing – masing spesimen yaitu:



Gambar 4.12 Hasil pengamatan SEM pada penampang pola patahan spesimen *as cast* perbesaran 1500x



Gambar 4.13 Hasil pengamatan SEM pada spesimen yang memiliki nilai *impact strength* terendah dengan pembesaran 1500x.

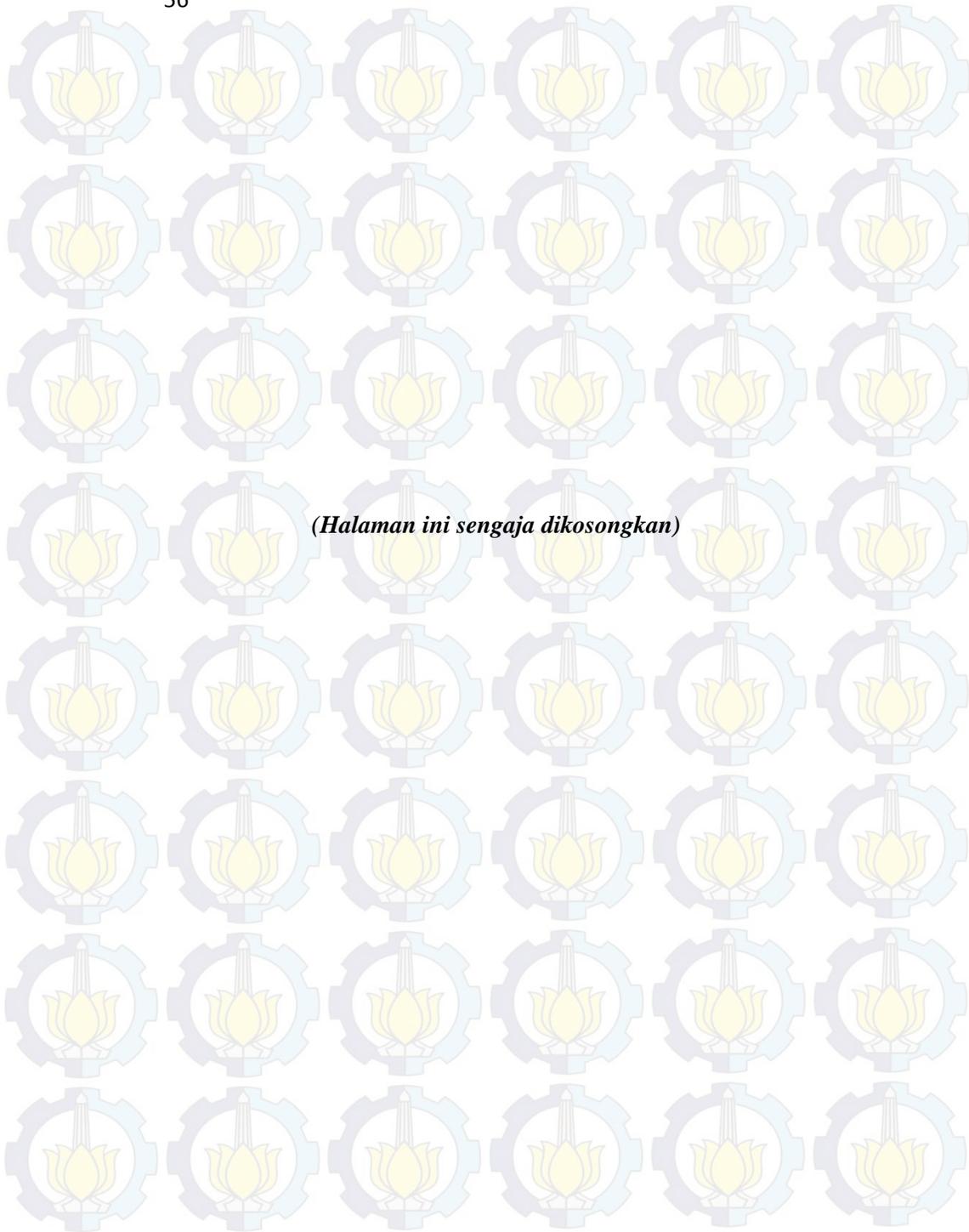


Gambar 4.14 Hasil pengamatan SEM dengan pembesaran 1500x pada spesimen dengan nilai *impact strength* tertinggi.

Terlihat berdasarkan hasil foto SEM bahwa terdapat perbedaan karakteristik pola patahan yang ditunjukkan oleh spesimen *as cast*, spesimen dengan nilai *impact strength* terendah, dan spesimen dengan nilai *impact strength* tertinggi. Perbedaan tersebut secara visual dapat dilihat bahwa pada spesimen dengan nilai *impact strength* tinggi memiliki pola patahan getas yang lebih pendek – pendek dibandingkan dengan spesimen dengan nilai



*impact strength* terendah yang memiliki pola patahan getas lebih panjang – panjang, pola patahan tersebut ditunjukkan oleh lingkaran merah pada masing – masing gambar. Meskipun kesemuanya menunjukkan pola patahan getas namun dapat dilihat bahwa antara spesimen yang dibandingkan memiliki perbedaan yaitu besar tidaknya patahan getas yang terjadi meskipun sama – sama getas dan memiliki nilai *impact strength* yang kecil jika dibandingkan dengan nilai *impact strength* material lain seperti baja atau besi.



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB 5

### PEMBAHASAN

Berdasarkan data hasil penelitian pada BAB 4 maka akan dibuat beberapa analisa pembahasan mengenai pengaruh temperatur *solution treatment* dan *holding time* pada proses perlakuan panas *precipitation hardening* T6. Adanya variasi perlakuan panas *precipitation hardening* T6 tentu akan berpengaruh terhadap sifat mekanik paduan aluminium ADC 12, dimana sifat mekanik yang ditinjau berupa nilai *impact strength*, nilai *hardness* spesimen, dan analisa juga dilakukan pada perubahan struktur mikro dari spesimen sebelum diberikan perlakuan panas dan setelah diberikan perlakuan panas yang mana perubahan ini akan mendukung adanya perubahan yang terjadi pada sifat mekanik dari paduan aluminium ADC 12.

Salah satu pengujian awal yang telah dilakukan pada spesimen *as cast* adalah pengujian *spectrometer* yaitu untuk mengetahui kandungan komposisi kimia dari spesimen yang akan diberi perlakuan panas. Ternyata setelah dilakukan perbandingan antara spesifikasi spesimen dengan data hasil pengujian terdapat perbedaan kandungan komposisi kimia yaitu pada unsur tembaga yang mana pada spesifikasi tertera nilai sebesar 1,77 wt % sedangkan pada hasil *spectrometer* diperoleh hasil sebesar 1,33 wt %, nilai pada *spectrometer* tersebut berada dibawah rentang nilai yang terdapat pada standar JIS H 5302 yaitu antara 1,5 – 3,5 wt %. Begitu juga dengan unsur silikon yang mana pada data spesifikasi tertera nilai sebesar 9,78 wt % sedangkan pada hasil *spectrometer* diperoleh hasil sebesar 6,45 wt % dan nilai tersebut berada dibawah nilai standar yaitu antara 9,6 – 12 wt %.

Kurangnya kandungan unsur tembaga dan silikon akan mempengaruhi secara langsung karakteristik dari spesimen ADC 12, hal ini disebabkan karena unsur tembaga mempunyai peranan

yaitu meningkatkan kekerasan dari material dengan membentuk presipitat, memperbaiki kekuatan tarik dari material, dan mempermudah proses pengerjaan dengan mesin. Sedangkan unsur silikon memegang peranan yaitu untuk meningkatkan sifat mampu alir dari material, mempermudah proses pengecoran, meningkatkan daya tahan terhadap kerosi, menurunkan penyusutan hasil cor, dan menurunkan keuletan bahan terhadap beban kejut jika kandungan silikon terlalu tinggi.

Pengujian lain yang dilakukan pada spesimen awal adalah pengujian *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) yang bertujuan untuk mengetahui temperatur eutektik spesimen sehingga tidak terjadi kesalahan pada penentuan temperatur *solution treatment*. Berdasarkan pengujian DSC yang ditunjukkan pada gambar 4.1 yang mana diperoleh data bahwa *peak* pertama yaitu terletak pada temperatur sekitar 580°C atau yang ditunjukkan oleh lingkaran merah pada gambar tersebut merupakan daerah temperatur *melting* dari spesimen ADC 12, data hasil pengujian ini didukung berdasarkan data pengujian yang dilakukan oleh Hamasaki pada tahun 2013 yang menyebutkan bahwa *melting point* dari material ADC 12 sebesar 582,85°C [13]. Pengujian DSC dilakukan pada rentang temperatur 0°C hingga temperatur 600°C karena hanya ingin melihat perilaku spesimen pada rentang temperatur tersebut dan ternyata pada rentang waktu tersebut spesimen belum mengalami tahap *melting* atau dapat dikatakan bahwa variasi temperatur *solution treatment* yang dipilih yaitu sebesar 510°C, 530°C, dan 550°C sudah tepat.

### **5.1 Pengaruh *Holding Time* dan Temperatur *Solution Treatment* Terhadap Struktur Mikro ADC 12**

Variasi yang diberikan pada saat perlakuan panas *precipitation hardening* T6 pada paduan aluminium ADC 12 adalah variasi *holding time* dan temperatur *solution treatment* yang mana variasi temperatur *solution treatment* yang diberikan terdiri dari tiga tingkatan yaitu 510°C, 530°C, dan 550°C. Kesemua tingkatan

temperatur tersebut divariasikan kembali pada empat variasi *holding time* yang berbeda yaitu 3 jam, 4 jam, 5 jam, dan 6 jam.

Jika dibandingkan antara gambar 4.2 yang menunjukkan struktur mikro awal material *as cast* ADC 12 perbesaran 500x dan perbesaran 1000x dengan gambar 4.3, 4.4, dan 4.5 mengenai hasil struktur mikro keseluruhan spesimen dari semua variasi dengan perbesaran 1000x maka dapat dilihat bahwa adanya perbedaan antara struktur mikro pada material yang belum diberikan perlakuan panas dengan material yang telah diberikan perlakuan panas. Pada struktur mikro *as cast* terdapat silikon eutektik yang berbentuk memanjang dan berukuran kecil – kecil dengan jarak yang rapat antar silikon eutektiknya, berbeda jika dibandingkan dengan struktur mikro yang terbentuk ketika spesimen diberikan perlakuan panas *precipitation hardening* T6. Hal ini menandakan bahwa saat proses perlakuan panas berlangsung banyak dari unsur silikon yang terlarut.

Pada gambar 4.3, 4.4, dan 4.5 dapat dilihat bahwa pada satu variasi temperatur terbentuknya silikon eutektik akan semakin membesar sejalan dengan bertambahnya *holding time* yang diberikan pada saat proses perlakuan panas, hal ini juga mengakibatkan terbentuknya silikon eutektik akan semakin membesar jika temperatur *solution treatment* juga semakin bertambah, selain perubahan ukuran pada silikon eutektik terdapat juga perubahan jarak antar silikon eutektik tersebut yaitu semakin bertambahnya *holding time* maka silikon eutektik akan semakin renggang begitu juga jika terjadi penambahan pada temperatur *solution treatment*.

Hal ini disebabkan oleh dengan adanya penambahan *holding time*, partikel silikon yang tersperoidisasi akan semakin besar ukurannya. Selain itu, adanya jarak antar partikel silikon tersperoidisasi akan semakin bertambah pula. Seiring naiknya temperatur *solution treatment*, pecahnya partikel silikon akan semakin sedikit, sehingga jarak antar partikel silikon akan semakin besar (renggang) dan ukuran partikel silikon tersebut juga akan membesar.

Selain hal tersebut terdapatnya penambahan *holding time* menyebabkan proses *coarsening* berlangsung dalam waktu yang lebih lama. Partikel silikon sferoid dengan diameter yang lebih besar dari diameter kritisnya akan mengalami proses *coarsening*, sementara partikel silikon sferoid dengan diameter yang lebih kecil dari diameter kritisnya akan larut dan bergabung dengan partikel silikon sferoid yang lebih besar. Hal ini menyebabkan bertambahnya jarak antar partikel silikon sferoid seiring bertambahnya *holding time*.

Pengamatan presipitat  $\text{CuAl}_2$  tidak dapat dilakukan secara visual karena ukuran presipitat tersebut lebih kecil dari  $1 \mu\text{m}$  sedangkan kemampuan mikroskop untuk menampilkan gambar struktur mikro tidak memadai jika digunakan untuk menampilkan presipitat yang ukurannya sangat kecil tersebut. Oleh karena itu pada *ASM Metal Handbook vol.7* disebutkan bahwa presipitat yang terbentuk karena adanya peristiwa *aging* dari spesimen ADC 12 pada saat proses perlakuan panas *precipitation hardening* T6 ikut larut dan terkandung dalam silikon yang tersferoidisasi, dikarenakan pada proses perlakuan panas terjadi perubahan struktur mikro pada spesimen ADC 12 yang ditunjukkan oleh perubahan bentuk silikon eutektik yang mengalami sferoidisasi, maka pertumbuhan presipitat juga mengalami penambahan jumlah setiap variasi yang diberikan. Dengan demikian perubahan sifat mekanik yang disebabkan oleh salah satunya yaitu presipitat dapat dideskripsikan dengan terjadinya kenaikan nilai *hardness* dan kenaikan nilai *impact strength* dari spesimen ADC 12 yang telah diberikan perlakuan panas jika dibandingkan dengan spesimen *as cast*.

## 5.2 Pengaruh *Holding Time* dan Temperatur *Solution Treatment* Terhadap *Impact Strength* ADC 12

Nilai  *impact strength*  paduan aluminium ADC 12 yang telah diberikan perlakuan panas  *precipitation hardening*  T6 dipengaruhi oleh faktor temperatur  *solution treatment*  dan  *holding time*  yang digunakan selama proses perlakuan panas. Pada gambar 4.7 menampilkan grafik yang menunjukkan pengaruh hubungan antara nilai  *impact strength*  dan  *holding time* , nilai dari grafik ini didapatkan setelah melakukan pengujian  *impact*  pada spesimen yang telah diberi perlakuan panas. Sedangkan pada gambar 4.8 menampilkan grafik yang menunjukkan hubungan antara nilai  *impact strength*  terhadap temperatur  *solution treatment* .

Nilai  *impact strength*  spesimen  *as cast*  paduan aluminium ADC 12 adalah sebesar 0,02452 Joule/mm<sup>2</sup>, ditunjukkan pada gambar 4.7 yang tampak bahwa paduan aluminium ADC 12 mengalami kenaikan nilai  *impact strength*  setelah mengalami proses perlakuan panas  *precipitation hardening* . Nilai  *impact strength*  tertinggi terdapat pada temperatur 510°C sebesar 0,05108 Joule/mm<sup>2</sup>, sedangkan harga  *impact strength*  yang paling rendah terdapat pada temperatur 550°C yaitu sebesar 0,02574 Joule/mm<sup>2</sup>.

Selain dipengaruhi oleh temperatur  *solution treatment* , perubahan nilai  *impact strength*  juga dipengaruhi oleh pengaruh  *holding time* . Berdasarkan data yang diperoleh, pada temperatur 510°C nilai  *impact strength*  paling kecil terjadi pada  *holding time*  3 dan 4 jam, selanjutnya nilai  *impact strength*  mengalami kenaikan pada  *holding time*  5 dan 6 jam. Pada temperatur 530°C, nilai  *impact strength*  paling kecil terjadi pada  *holding time*  3 jam, selanjutnya nilai  *impact strength*  mengalami kenaikan pada  *holding time*  5 jam dan 6 jam. Pada temperatur 550°C, nilai  *impact strength*  terkecil terjadi pada  *holding time*  3 jam, selanjutnya nilai  *impact strength*  mengalami kenaikan pada  *holding time*  5 dan 6 jam. Nilai  *impact strength*  mengalami peningkatan yang signifikan pada  *holding time*  6 jam yang mana merupakan variasi  *holding time*  yang memiliki nilai  *impact strength*  tertinggi. Kecenderungan pola dari nilai grafik

pada gambar 4.7 memiliki kesamaan dengan hasil penelitian terdahulu oleh Asri K pada tahun 2012. [4], dalam penelitian tersebut paduan aluminium Al – Si – Mg mengalami peningkatan nilai *impact strength* seiring dengan bertambahnya *holding time* namun terjadi pada variasi temperatur yang paling rendah dari kesemua tingkatan variasi yang digunakan.

Apabila dihubungkan dengan faktor perubahan struktur mikro, pada gambar 4.7 dapat dilihat bahwa nilai *impact strength* paling tinggi pada temperatur 510°C dengan *holding time* 6 jam karena distribusi fasa silikon eutektik yang terbentuk ukurannya semakin membesar dan memiliki jarak yang berjauhan antara satu dengan yang lainnya. Hal yang terjadi pada penelitian ini adalah didapatkannya data *impact strength* yang berbanding terbalik dengan nilai *hardness* dari spesimen paduan aluminium ADC 12, peningkatan nilai *impact strength* dan penurunan nilai *hardness* ini disebabkan oleh pecahan partikel silikon yang tersperoidisasi saat proses perlakuan panas *precipitation hardening* T6 berlangsung. Speroidisasi partikel silikon yang mengandung presipitat  $\text{CuAl}_2$  ini berpengaruh terhadap sifat mekanik dari spesimen. Kondisi silikon sferoid ini memberikan sifat keuletan, ketangguhan, dan kemampuan bentuk (*machinability*) yang baik, namun nilai kekerasannya sangat rendah. Kondisi inilah yang menyebabkan peningkatan nilai *impact strength* dan penurunan nilai *hardness*.

### **5.3 Pengaruh *Holding Time* dan Temperatur *Solution Treatment* Terhadap *Hardness* ADC 12**

Berdasarkan data pada BAB 4 gambar 4.10 yang menampilkan grafik hubungan antara nilai *hardness* terhadap *holding time* yang mana nilai dari grafik tersebut diperoleh dari hasil pengujian *hardness Brinell* pada spesimen uji yang telah di berikan perlakuan panas dengan variasi *holding time* dan temperatur *solution treatment*, data grafik ini nantinya dapat dianalisa mengapa kecenderungan data yang terbentuk seperti

demikian dengan analisa yang dihubungkan dengan sumber terkait seperti referensi penelitian sebelumnya dan yang jelas bahwa perubahan sifat mekanik dengan karakteristik *hardness* yang terjadi disebabkan oleh perubahan dari struktur mikro dari spesimen paduan aluminium ADC 12 tersebut.

Nilai *hardness* dari spesimen *as cast* paduan aluminium ADC 12 adalah 59,679 BHN. Pada gambar 4.10 dapat dilihat bahwa spesimen paduan aluminium ADC 12 mengalami kenaikan nilai *hardness* setelah mengalami proses perlakuan panas *precipitation hardening* T6. Pada gambar 4.10 tersebut juga dapat dilihat pengaruh *holding time* terhadap nilai *hardness* spesimen tersebut, sedangkan pada gambar 4.11 menunjukkan pengaruh hubungan antara *hardness* dengan temperatur *solution treatment* yang menunjukkan pengaruh kenaikan nilai *hardness* dari spesimen *as cast* yang disebabkan oleh pengaruh temperatur *solution treatment*.

Nilai *hardness* tertinggi terjadi pada temperatur 550°C yaitu sebesar 106,390 BHN, selanjutnya mengalami penurunan nilai *hardness* dengan semakin berkurangnya temperatur *solution treatment*, sedangkan nilai *hardness* yang paling kecil terletak pada temperatur 510°C yaitu sebesar 93,370. Pada gambar 4.10 dapat dilihat bahwa pengaruh *holding time* terhadap nilai *hardness* pada masing – masing temperatur *solution treatment*. Untuk masing – masing temperatur *solution treatment*, nilai *hardness* paling tinggi terjadi pada *holding time* 4 jam, selanjutnya mengalami penurunan seiring semakin bertambahnya *holding time* dan nilai *hardness* paling kecil terdapat pada *holding time* 6 jam. Kecenderungan distribusi nilai *hardness* pada grafik yang diperoleh dari hasil pengujian spesimen paduan aluminium ADC 12 sama dengan hasil penelitian terdahulu oleh Asri K pada tahun 2012. [4] yang mana data pada grafik tersebut mengalami peningkatan *hardness* setelah diberikan proses perlakuan panas, nilai *hardness* akan meningkat hingga satu titik maksimal lalu setelah itu mengalami penurunan

sejalan dengan bertambahnya *holding time* dan temperatur *solution treatment*.

Apabila dihubungkan dengan faktor struktur mikro dan melihat data grafik yaitu semakin bertambahnya temperatur *solution treatment* maka akan meningkatkan nilai *hardness* dari spesimen paduan aluminium ADC 12 tersebut namun jika *holding time* bertambah akan terjadi peningkatan nilai *hardness* juga hingga mencapai nilai maksimal namun setelah hal tersebut akan terjadi penurunan nilai *hardness* sejalan dengan bertambahnya *holding time*. Kenaikan temperatur *solution treatment* akan menyebabkan bertambahnya ukuran silikon sferoid menjadi diameter yang lebih besar dari diameter kritisnya. Dalam hal ini *rate of coarsening* berperan besar, dimana *rate of coarsening* akan meningkat seiring naiknya temperatur *solution treatment*. Peningkatan *rate of coarsening* akan mengakibatkan peningkatan diameter partikel tersperoidisasi.

Fakta yang terjadi bahwa dengan meningkatkan temperatur *solution treatment*, jumlah silikon sferoid dengan diameter yang lebih besar dari diameter kritisnya akan meningkat sebesar 10% [4]. Kondisi sferoid akan menyebabkan timbulnya tegangan antara partikel silikon dengan matriks sekelilingnya. Semakin banyak jumlah partikel silikon yang tersperoidisasi dan semakin besar diameternya, maka tegangan yang ditimbulkan akan semakin besar dan juga presipitat  $\text{CuAl}_2$  yang tumbuh seiring dengan diberikannya perlakuan panas pada spesimen juga berkontribusi dalam meningkatkan nilai *hardness* dari spesimen ADC 12 melalui peristiwa *aging* pada proses *precipitation hardening* T6. Hal tersebutlah yang menyebabkan terjadinya peningkatan nilai *hardness* dari spesimen paduan aluminium ADC 12 hingga mencapai satu nilai maksimal lalu menurun kembali seiring dengan bertambahnya *holding time*.

## BAB 6

### KESIMPULAN & SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian yang telah dilakukan dan berdasarkan pada analisa data serta pembahasan adalah sebagai berikut, yaitu:

1. Setelah dilakukannya proses perlakuan panas *precipitation hardening* T6 terjadi peningkatan nilai *impact strength* dan nilai *hardness* dari spesimen *as cast* ADC 12 dengan spesimen yang telah diberi perlakuan panas.
2. Nilai *impact strength* pada spesimen hasil perlakuan panas *precipitation hardening* T6 cenderung semakin meningkat seiring dengan bertambahnya *holding time*, sementara itu nilai *impact strength* akan cenderung menurun jika terjadi peningkatan temperatur *solution treatment*.
3. Nilai *hardness* dari spesimen yang telah diberikan perlakuan panas *precipitation hardening* T6 akan meningkat seiring dengan penambahan *holding time* hingga mencapai satu nilai maksimum lalu mengalami penurunan nilai *hardness* sejalan dengan bertambahnya *holding time* yang diberikan, sedangkan nilai *hardness* akan mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya temperatur *solution treatment*.
4. Spesimen *as cast* ADC 12 memiliki struktur mikro yang terdiri dari silikon eutektik yang berbentuk kecil memanjang dengan jarak yang berhimpit satu sama lain dan dikelilingi oleh matriks aluminium *solid solution*, kemudian silikon tersebut membesar dan jaraknya merenggang (tersperoidisasi) seiring dengan bertambahnya *holding time* dan temperatur *solution treatment*.
5. Peningkatan nilai *impact strength* dan nilai *hardness* pada paduan aluminium ADC 12 yang telah diberikan perlakuan panas *precipitation hardening* T6 disebabkan oleh

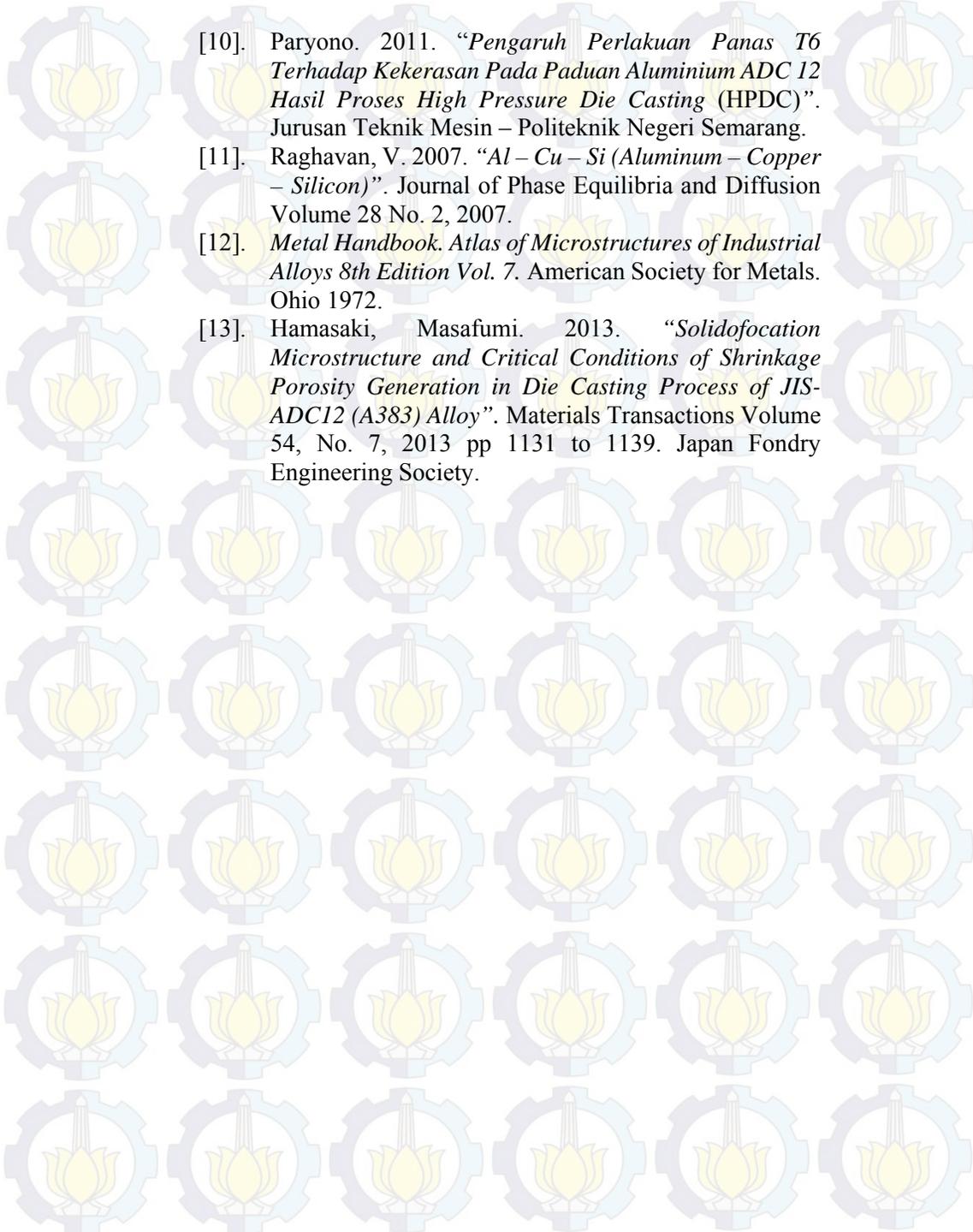
tersperoidisasinya fasa silikon eutektik yang mengandung  $\text{CuAl}_2$  yang berperan sebagai presipitat dalam matriks.

## 6.2 Saran

Setelah diperolehnya kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan maka sejalan dengan hal tersebut terdapat hal – hal yang dapat digunakan sebagai saran guna menunjang penelitian sejenis yang akan dilaksanakan selanjutnya, saran tersebut adalah pada saat pengecoran paduan aluminium ADC 12 diusahakan kandungan komposisi kimia dari material tersebut sudah sesuai dengan standar yang ada agar hasil sifat mekanik yang nantinya diharapkan dari proses perlakuan panas dapat tercapai dengan baik.

## 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]. Firman, R. 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.
- [3]. Firdianto, Arie. 2006. “*Studi Eksperimental Pengaruh Perlakuan Panas T6 Ulang Terhadap Perbaikan Sifat Mekanis Pada Paduan Aluminium A356.0 Yang Mengalami Gagal Proses Perlakuan Panas T6 Sebelumnya*”. Jurusan Teknik Mesin – Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [4]. 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.
- [5]. Pezda, J. 2012. “*Heat Treatment Of AlZn<sub>10</sub>Si<sub>7</sub>MgCu Alloy And Its Effect On Change Of Mechanical Properties*”. Archives of Foundry Engineering Volume 12, 135-138.
- [6]. Callister, W. D. *Materials Science and Engineering: An Introduction, 7<sup>th</sup> Edition*. New York: John Willey and Sons. 2007
- [7]. JSA, *JIS Handbook*. 2006.
- [8]. *ASM Handbook, Volume 3, Alloy Phase Diagrams*. 1992.
- [9]. Kajian Kebijakan Pengembangan Industri Mineral Sebagai Kawasan Ekonomi Khusus. Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. 2012.

- 
- [10]. Paryono. 2011. “*Pengaruh Perlakuan Panas T6 Terhadap Kekerasan Pada Paduan Aluminium ADC 12 Hasil Proses High Pressure Die Casting (HPDC)*”. Jurusan Teknik Mesin – Politeknik Negeri Semarang.
- [11]. Raghavan, V. 2007. “*Al – Cu – Si (Aluminum – Copper – Silicon)*”. *Journal of Phase Equilibria and Diffusion* Volume 28 No. 2, 2007.
- [12]. *Metal Handbook. Atlas of Microstructures of Industrial Alloys 8th Edition Vol. 7*. American Society for Metals. Ohio 1972.
- [13]. Hamasaki, Masafumi. 2013. “*Solidofocation Microstructure and Critical Conditions of Shrinkage Porosity Generation in Die Casting Process of JIS-ADC12 (A383) Alloy*”. *Materials Transactions* Volume 54, No. 7, 2013 pp 1131 to 1139. Japan Foundry Engineering Society.

**Lampiran 1**

Spesifikasi paduan aluminium ADC 12 dari CV. Industri Cahaya Cipta Indonesia.



CV. INDUSTRI CAHAYA CIPTA INDONESIA  
JL. RAYA MASTRIP, KEDURUS NO. 53 - 55  
SURABAYA

Issued : ITS Date : 01 OKTOBER 2015  
Test Certificate : 1  
Method : Test Spectrometer HILGER ANALYTICAL  
MATERIAL : ALUMINIUM

DISCRIPTION : BLOCK 300X140X30MM  
BLOCK 600X140X30MM

Chemical Composition									
Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Fe	Cr	Sn	Ni	
9,78	1,71	0,034	0,235	0,611	0,701	0,005	0,044	0,015	

HORMAT KAMI,



## BIODATA PENULIS



I Gede Brahmanda Aditya Paramartha lahir di Candikuning pada 25 Agustus 1993 adalah anak pertama dari dua bersaudara pasangan I Nyoman Sudiatna dan Ni Nyoman Werni, memiliki seorang adik perempuan bernama Ni Made Mahela Adhistaya Kristiyanti. Penulis yang akrab di panggil Brahmanda ini memulai pendidikannya dari TK Bina Putra I pada tahun 1998-1999 dan sekolah dasar di SD nomor 4 Candikuning pada tahun 1999-2005. Penulis melanjutkan sekolah ke SMPN 1 Baturiti pada tahun 2005-2008, sedangkan pendidikan tingkat atas dilalui di SMAN 1 Singaraja pada tahun 2008-2011.

Penulis melanjutkan pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada jurusan Teknik Mesin. Selama kuliah, penulis aktif sebagai asisten Laboratorium Metalurgi sejak semester 7 dan aktif juga di kegiatan non akademik yaitu pada Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin sebagai Kabiro Riset dan Pelatihan Divisi Roda 2.

Saran dan kritik yang membangun untuk penulis dapat dikirim melalui email [brahmanda\\_aditya@yahoo.com](mailto:brahmanda_aditya@yahoo.com) atau [brahmandaaditya@gmail.com](mailto:brahmandaaditya@gmail.com).