



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR – TM141585**

**PENGARUH *BIFILM* TERHADAP RESPON  
*ARTIFICIAL AGING* PADUAN ALUMINIUM  
ADC12**

**BERNARD NOVENTIO SUTRISNO**  
NRP. 02111440000178

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. H. C. Kis Agustin, DEA

Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018





**TUGAS AKHIR – TM141585**

**PENGARUH BIFILM TERHADAP RESPON  
ARTIFICIAL AGING PADUAN ALUMINIUM  
ADC12**

**BERNARD NOVENTIO SUTRISNO**  
NRP. 02111440000178

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. H. C. Kis Agustin, DEA

Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018





**FINAL PROJECT – TM141585**

**EFFECTS OF BIFILM ON THE RESPONSE  
OF ARTIFICIAL AGING OF ALUMINIUM  
ALLOY ADC12**

**BERNARD NOVENTIO SUTRISNO**  
NRP. 02111440000178

Supervisor  
Dr. Ir. H. C. Kis Agustin, DEA

Department of Mechanical Engineering  
Faculty Of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute Of Technology  
Surabaya 2018



**PENGARUH BIFILM TERHADAP RESPON  
ARTIFICIAL AGING PADUAN ALUMINIUM ADC12**

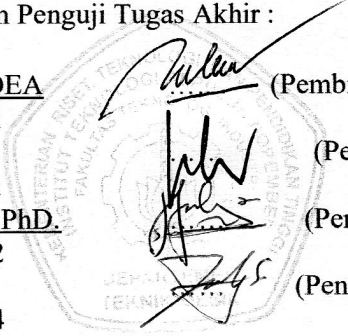
**TUGAS AKHIR**

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

Oleh :

**BERNARD NOVENTIO SUTRISNO**  
NRP. 02111440000178

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. H. C. Kis Agustin, DEA  
NIP. 196308151989032001 (Pembimbing)
  2. Dr. Eng. Sutikno, ST, MT  
NIP. 197407032000031001 (Penguji I)
  3. Fahmi Mubarok, ST, MSc. PhD.  
NIP. 197801152003121002 (Penguji II)
  4. Indra Sidharta, ST, MSc.  
NIP. 198006192006041004 (Penguji III)
- 

**SURABAYA**

**JULI, 2018**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



# **PENGARUH *BIFILM* TERHADAP RESPON *ARTIFICIAL AGING* PADUAN ALUMINIUM ADC12**

**Nama Mahasiswa** : Bernard Noventio Sutrisno  
**NRP** : 02111440000178  
**Jurusan** : Teknik Mesin  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Ir. H. Kis Agustin, DEA.

## **Abstrak**

Paduan aluminium yang paling banyak digunakan oleh industri otomotif, ADC12 perlu untuk mendapatkan peningkatan kekuatan untuk meningkatkan efisiensi kendaraan. Hal ini dapat diraih dengan melakukan perlakuan panas *aging*. Selama ini belum diketahui secara pasti pengaruh salah satu cacat yang paling mudah ditemui, *bifilm*, terhadap respon *aging*-nya. Oleh karena itu dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh *Bifilm* terhadap respon *artificial aging* pada ADC12.

Pada penelitian ini dilakukan tiga kali pengecoran spesimen aluminium ADC12 dengan variasi pengadukan sebelum aluminium cair dituang untuk mendapatkan jumlah *bifilm* yang berbeda. Dilakukan tiga macam variasi yaitu tanpa pengadukan, pengadukan tiga menit, dan pengadukan lima menit. Ingot digunakan sebagai spesimen pembandingan. Pada empat jenis spesimen tersebut diberi perlakuan *artificial aging* T6 (*aging* untuk membentuk presipitat pengeras), dan *artificial aging* T7 (*overaging*). Kedua *aging* tersebut digunakan untuk mengetahui respon yang ditimbulkan akibat adanya *bifilm*. Untuk mengobservasi terjadinya presipitasi, lokasi, serta sebarannya pada paduan ADC12, dilakukan tiga pengujian meliputi mikrostruktur menggunakan mikroskop optis, sebaran unsur tembaga, dan magnesium menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM), dan *microhardness* Vickers.

Perlakuan *artificial aging* T6 pada paduan aluminium ADC12 mengubah fasa  $\theta$  ( $Al_2Cu$ ) dan Q ( $Al_5Cu_2Mg_8Si_6$ ) yang terdapat pada kondisi *as-cast* menjadi presipitat  $\theta'$  ( $Al_2Cu$ ) dan  $\beta'$

(Mg<sub>2</sub>Si) yang koheren dengan matriks  $\alpha$ -Aluminium. Presipitat ini dapat dilihat sebagai titik hitam pada mikroskop optis karena deformasi yang disebabkan oleh presipitat membuat permukaan spesimen menjadi tidak rata setelah dietsa. Saat dilihat menggunakan SEM, tidak nampak perbedaan unsur karena presipitat masih koheren dengan  $\alpha$ -Aluminium. Di lain pihak, *microhardness* matriks  $\alpha$ -Aluminium memiliki nilai sebesar rerata 101 HV, mengimplikasi adanya presipitat  $\theta'$  dan  $\beta'$ . *Artificial aging* T7 menunjukkan perubahan dari presipitat tersebut menjadi fasa  $\theta$  dan Q yang inkoheren dengan  $\alpha$ -Aluminium sehingga muncul pada pengamatan mikroskop optis. Matriks  $\alpha$ -Aluminium mengalami penurunan populasi presipitat  $\theta'$  dan  $\beta'$  yang didukung dengan nilai *microhardness* sebesar rerata 55 HV. Spesimen dengan nilai *bifilm index* sekitar 100 mm yang diberi *artificial aging* T6 menunjukkan respon yang berbeda dengan spesimen dengan nilai *bifilm index* mendekati 0 mm. Presipitat pada matriks  $\alpha$ -Aluminium di sekitar *bifilm* nampak mengalami peningkatan populasi, didukung oleh hasil pengujian *microhardness* yang menunjukkan nilai *microhardness* di sekitar *bifilm* sebesar rerata 67 HV, dan di  $\alpha$ -Aluminium yang jauh dari *bifilm* sebesar rerata 63 HV. Sedangkan perlakuan *artificial aging* T7 pada spesimen dengan nilai *bifilm index* sekitar 100 mm menunjukkan nilai *microhardness* yang tidak selalu lebih tinggi pada sekitar *bifilm* dibandingkan dengan daerah jauh dari *bifilm*.

**Kata Kunci:** ADC12, aluminium, artificial aging, bifilm, bifilm index.

# **EFFECTS OF BIFILM ON THE RESPONSE OF ARTIFICIAL AGING OF ALUMINIUM ALLOY ADC12**

**Student's Name** : Bernard Noventio Sutrisno  
**NRP** : 02111440000178  
**Department** : Mechanical Engineering  
**Supervisor** : Dr. Ir. H. Kis Agustin, DEA.

## **Abstract**

In the automotive industry, ADC12, the most widely used alloy, needs strengthening to increase the efficiency of the vehicle. This strengthening can be achieved by using a heating process called aging. It hasn't been known for certain what one of the most frequently recurring defect, bifilm, does to its aging response. This research is then conducted to study the effect of bifilm to the artificial aging response of ADC12.

Three casting processes of ADC12 were done in this research with varying stirring methods before pouring to acquire differing bifilm amounts. The three stirring methods are; without stirring, three minutes stir, and five minutes stir. Ingot is used as specimen comparison. T6 artificial aging (aging to form hardening precipitate) and T7 artificial aging (overaging). Both aging are used to study the response of the existence of bifilm. To observe the precipitate, location, mapping on ADC12 alloy, 3 tests were conducted: microstructure test using Optic Microscope, Copper mapping and Magnesium mapping using Scanning Electron Microscope (SEM), and microhardness Vickers.

T6 artificial aging treatment on ADC12 aluminium alloy changes  $\theta$  phase ( $Al_2Cu$ ) and Q ( $Al_5Cu_2Mg_8Si_6$ ) that exist in as-cast condition into  $\theta'$  precipitate ( $Al_2Cu$ ) and  $\beta'$  ( $Mg_2Si$ ) that is coherent with  $\alpha$ -Aluminium. This precipitate can be seen as a black dot on optic microscope because of deformation caused by precipitate that makes the specimen surface becomes uneven after being etched. When being observed using SEM, there isn't any elementary

difference because the precipitate is coherent with the  $\alpha$ -Aluminium. On the other hand,  $\alpha$ -Aluminium microhardness averages at 101 HV, implicating the existence of precipitate  $\theta'$  and  $\beta'$ . T7 artificial aging shows changes from that precipitate into  $\theta$  phase and Q that are incoherent with  $\alpha$ -Aluminium so it can be seen on optic microscope observation.  $\alpha$ -Aluminium matrix went through precipitate  $\theta'$  and  $\beta'$  population reduction that are supported by microhardness averages at 55 HV. Specimen with bifilm index number around 100 mm that went through T6 artificial aging shows different response with specimen with bifilm index number reaching approximately 0 mm. The population of precipitate on  $\alpha$ -Aluminium matrix around bifilm increased, supported by the result from microhardness test that shows the microhardness around bifilm averages at 67 HV, and on  $\alpha$ -Aluminium far from bifilm averages at 63 HV. While T7 artificial aging treatment on specimen with bifilm index number around 100 mm results in microhardness average that doesn't always be higher between area near bifilm compared to area far from bifilm.

***Keywords: ADC12, aluminium, artificial aging, bifilm, bifilm index.***

## KATA PENGANTAR

Puji syukur yang sebesar-besarnya penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan perlindungan-Nya selama proses pembuatan tugas akhir dengan lancar serta atas kemudahan yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul : **Pengaruh *Bifilm* Terhadap Respon *Artificial Aging* Paduan Aluminium ADC12**. Dalam kesempatan ini, secara khusus penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Ayah penulis, Edi Soetrisno yang senantiasa memberikan motivasi untuk terus giat menimba ilmu, dan berbuat baik. Ibu penulis, Laniwati, S.E. yang senantiasa memberikan kasih sayang yang tak pernah pupus. Kakak penulis, Marcel F Sutrisno, ST yang senantiasa memberikan motivasi untuk menyelesaikan tugas akhir. Adik penulis, Zefania P Sutrisno yang senantiasa membantu penulis dalam banyak hal.
2. Dr. Ir. H. C. Kis Agustin, DEA selaku dosen pembimbing tugas akhir yang selalu mau meluangkan waktunya untuk membimbing dan memberikan masukan.
3. Dr. Eng. Sutikno, ST, MT, Fahmi Mubarak, ST, MSc. PhD., Indra Sidharta, ST, MSc., Suwarno, ST, MSc. PhD., selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran demi kesempurnaan tugas akhir ini.
4. Teman-teman di jurusan teknik mesin, Edwin, Leonard, Kelvin, Adiyanto, Ayunisa, Astri, Fitri, Fikri, Engra, Usi, Zuli, Amanda, Izda, Tya, Novandita, Mukor, Yolanda, Wira, Antok, Nasir, Antok, Galih, Joko, Singo, Greg, Safaat, Rayhan, Firman, Afif, Rizqu, Luthfan, Ananta, Wira, Arya, Fendy, Welly, Oxi, dan Evelyn, yang senantiasa memberikan warna dalam kehidupan perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Akhir kata, semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi siapapun yang membacanya.

Surabaya, 31 Juli 2018

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xvi
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Penelitian .....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Batasan Penelitian .....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. Penelitian Terdahulu.....	5
2.2. Aluminium .....	6
2.3. Proses Peleburan Aluminium.....	9
2.3.1. Sumber Hidrogen Terlarut pada Aluminium Cair.....	10
2.3.2. Inklusi pada Aluminium Cair .....	12
2.4. <i>Bifilm</i> .....	12
2.5. Paduan Aluminium-Silikon .....	15
2.6. Paduan Aluminium-Silikon-Tembaga .....	17
2.7. <i>Aging</i> pada Paduan Aluminium-Silikon-Tembaga.....	18

2.7.1. <i>Solution Heat Treatment</i> .....	18
2.7.2. <i>Quenching</i> .....	21
2.7.3. <i>Preaging</i> .....	22
2.7.4. <i>Precipitation Age-Hardening</i> .....	22
2.8. Transformasi Fasa <i>Liquid-Solid</i> .....	24
2.9. Transformasi Fasa <i>Solid-Solid</i> .....	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	29
3.1. Diagram Alir Penelitian .....	29
3.2. Peralatan .....	31
3.3. Langkah-langkah Penelitian .....	31
3.3.1. Studi Literatur.....	31
3.3.2. Pengambilan Data Awal .....	31
3.3.3. Desain Eksperimen Pengecoran dan <i>Aging</i> .....	33
3.3.4. Pengujian Metalografi, dan Pengujian Scanning Electron Microscope.....	38
3.4. Tempat dan Jadwal Pelaksanaan Eksperimen .....	40
BAB IV ANALISA DATA & PEMBAHASAN .....	42
4.1. Pengujian Komposisi Kimia Ingot ADC12.....	43
4.2. <i>Reduced Pressure Test</i> (RPT).....	43
4.3. <i>Metallography</i> .....	45
4.3.1. <i>Metallography</i> pada Perbesaran 100x .....	46
4.3.2. <i>Metallography</i> pada Perbesaran 500x .....	50
4.3.3. <i>Metallography</i> pada Perbesaran 1000x .....	54
4.4. <i>Mapping Electron Dispersive X-Ray Spectroscopy</i> (EDS/EDX) .....	58
4.4.1. Sebaran Unsur Oksigen .....	59



4.4.2. Sebaran Unsur Tembaga.....	62
4.4.3. Sebaran Unsur Magnesium.....	66
4.5. Uji <i>Microhardness</i> .....	69
4.6. Ringkasan Analisis .....	75
<b>BAB V KESIMPULAN .....</b>	<b>77</b>
5.1. Kesimpulan.....	77
5.2. Usulan Penelitian Berikutnya .....	79
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>80</b>
<b>BIODATA PENULIS .....</b>	<b>85</b>

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Logam Aluminium Murni .....	6
<b>Gambar 2. 2</b> Kelarutan Hidrogen dalam Aluminium (Campbell, 2011) .....	11
<b>Gambar 2. 3</b> Skema Hidrogen Terlarut yang Berasal dari Reaksi Uap Air di Atmosfer dengan Aluminium Cair (Otsuka, 2003)...	12
<b>Gambar 2. 4</b> Mekanisme Terbentuknya <i>Bifilm</i> (Campbell, 2011) .....	13
<b>Gambar 2. 5</b> Macam-macam <i>Bifilm</i> : (a) <i>Bifilm</i> Baru (b) Gelembung Gas (c) Flux (d) Kotoran Tungku (e) Pasir Cetakan (f) Oksida Lama (Campbell, 2011).....	14
<b>Gambar 2. 6</b> Diagram Fasa Ekuilibrium Paduan Al-Si (Committee, 1992) .....	16
<b>Gambar 2. 7</b> Potongan Diagram Fasa Ternary Al-Si-Cu pada 10% Si (Raghavan, 2007).....	17
<b>Gambar 2. 8</b> Mikrostruktur ADC12 (Al-Si10Cu2Fe) (Shinji Kumai, 2007) .....	18
<b>Gambar 2. 9</b> Skematik Suhu Terhadap Waktu dari Proses <i>Aging</i> (William D. Callister Jr., 2014) .....	18
<b>Gambar 2. 10</b> Diagram Fasa Ekuilibrium Al-Cu (G. Lorimer, 1978) .....	19
<b>Gambar 2. 11</b> Ilustrasi Perubahan Morfologi dari Silikon Eutektik .....	20
<b>Gambar 2. 12</b> Mikrostruktur hasil proses cor paduan aluminium A356 (a), dan mendapat proses <i>solution treatment</i> pada 540° Celcius selama : (b) 2 jam (c) 4 jam (d) 6 jam (Paz, 2003) .....	21
<b>Gambar 2. 13</b> Skematik <i>precipitation hardening</i> oleh fasa $\theta$ pada matriks $\alpha$ (William D. Callister Jr., 2014) .....	23
<b>Gambar 2. 14</b> Pengaruh suhu dan waktu <i>precipitation hardening</i> terhadap kekuatan tarik, dan kekerasan paduan aluminium Al-Si-Mg dalam fungsi komposisi Mg (M. Drouzy, 1980) .....	24

<b>Gambar 2. 15</b> Grafik Energi Total dari <i>Surface Energy</i> dan <i>Volume Energy</i> pada Pertumbuhan Embrio Padat. Ukuran Kritis Ditunjukkan Oleh $d^*$ (Campbell, 2011) .....	25
<b>Gambar 2. 16</b> Grafik Energi Total dari <i>Surface Energy</i> , <i>Strain Energy</i> , dan <i>Volume Energy</i> pada Nukleasi Transformasi Fasa <i>Solid-Solid</i> . Ukuran Kritis Ditunjukkan Oleh $r^*$ (D. A. Porter, 1992) .....	27
<b>Gambar 3. 1</b> Diagram Alir Penelitian.....	30
<b>Gambar 3. 2</b> Dimensi Cawan Peleburan ( <i>crucible</i> ) dalam mm .	32
<b>Gambar 3. 3</b> Diagram Alir Eksperimen Pengecoran dan <i>Aging</i>	33
<b>Gambar 3. 4</b> Dimensi Cetakan <i>Reduced Pressure Test</i> .....	35
<b>Gambar 3. 5</b> Cetakan untuk Spesimen <i>Artificial Aging</i> .....	36
<b>Gambar 3. 6</b> Contoh Spesimen <i>Bifilm Index</i> , Panah Merah Menunjukkan Diameter Maksimum dari Pori (Dispinar, 2005) .	37
<b>Gambar 4.1</b> Spesimen <i>Reduced Pressure Test</i> untuk Penghitungan <i>Bifilm Index</i> .....	44
<b>Gambar 4.2</b> Contoh Pengujian <i>Microhardness</i> pada Fasa $\alpha$ -Aluminium .....	70
<b>Gambar 4.3</b> Contoh Tabel Data Hasil Pengujian <i>Microhardness</i> pada Fasa $\alpha$ -Aluminium .....	70
<b>Gambar 4.4</b> Ilustrasi Tapak Tekan <i>Microhardness</i> dengan Posisi Dekat dan Jauh dari <i>Bifilm</i> .....	71
<b>Gambar 4.5</b> Grafik Nilai <i>Microhardness</i> Matriks $\alpha$ -Aluminium yang Dekat dan Jauh dari <i>Bifilm</i> .....	75

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Kodefikasi <i>Wrought Aluminium</i> oleh Aluminium Association.....	8
<b>Tabel 2.2</b> Kodefikasi <i>Cast Aluminium</i> oleh Aluminium Association.....	8
<b>Tabel 2.3</b> Kodefikasi Paduan Aluminium <i>Die Casting</i> oleh JIS ..	9
<b>Tabel 3.1</b> Pengkondisian Kualitas Aluminium Cair.....	34
<b>Tabel 3.2</b> Jadwal Pelaksanaan Eksperimen.....	40
<b>Tabel 3.3</b> Lokasi Kegiatan Eksperimen .....	41
<b>Tabel 4.1</b> Komposisi Kimia Hasil Uji Spectrometer, dan Komposisi Kimia Standar JIS H 5302.....	43
<b>Tabel 4.2</b> Bifilm Index Spesimen Cor, dan Spesimen Ingot .....	45
<b>Tabel 4.3</b> Metalografi Spesimen Ingot dengan Variasi Perlakuan Cor dan Artificial Aging pada Perbesaran 100x .....	47
<b>Tabel 4.4</b> Metalografi Spesimen Ingot dengan Variasi Perlakuan Cor dan Artificial Aging pada Perbesaran 500x .....	51
<b>Tabel 4.5</b> Metalografi Spesimen Ingot dengan Variasi Perlakuan Cor dan Artificial Aging pada Perbesaran 1000x .....	55
Tabel 4.6	
<b>Tabel 4.6</b> Sebaran Unsur Oksigen pada Lokasi Bifilm .....	59
<b>Tabel 4.7</b> Sebaran Unsur Tembaga pada Lokasi Bifilm.....	63
<b>Tabel 4.8</b> Sebaran Unsur Magnesium pada Lokasi Bifilm.....	67
<b>Tabel 4.9</b> <i>Microhardness</i> Matriks $\alpha$ -Aluminium yang Dekat dengan <i>Bifilm</i> .....	72
<b>Tabel 4.10</b> <i>Microhardness</i> Matriks $\alpha$ -Aluminium yang Jauh dari <i>Bifilm</i> .....	72
<b>Tabel 4.11</b> <i>Microhardness</i> Matriks $\alpha$ -Aluminium pada Daerah yang Dekat dan Jauh dari <i>Bifilm</i> .....	74

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan dunia yang semakin pesat dan diikuti dengan bertambahnya populasi manusia, kebutuhan akan produk-produk yang memberikan kenyamanan dan manfaat bagi kehidupan manusia semakin meningkat. Industri otomotif dan penerbangan yang banyak memberikan sumbangsih dalam pembangunan negara membutuhkan peningkatan efisiensi armadanya untuk mengurangi konsumsi bahan bakar. Peningkatan efisiensi ini sering dicapai dengan menggunakan material-material yang ringan namun kuat. Paduan aluminium merupakan material yang paling banyak digunakan untuk meningkatkan efisiensi kendaraan karena ringan dan kuat. Kekuatan paduan aluminium dapat diraih dengan melakukan perlakuan panas *aging*.

Selama ini kualitas aluminium diukur melalui massa jenis dari paduan aluminium. Massa jenis yang kecil menandakan banyaknya pori yang terdapat di dalam benda cor, sedangkan massa jenis yang besar menandakan kepadatan dari benda cor sehingga bebas dari pori. Keberadaan pori di dalam benda cor sering kali ditekan dengan menggunakan proses cor *High Pressure Die Casting*. Meskipun keberadaan pori dapat ditekan, kualitas dari paduan aluminium masih belum dapat terjamin oleh karena adanya cacat lain berupa inklusi atau oksida. Oksida yang terlipat dan masuk ke dalam benda cor disebut dengan *Bifilm*. Dispinar menemukan bahwa kualitas aluminium dapat dinilai dengan melihat banyaknya *Bifilm* menggunakan indeks bernama *Bifilm Index*.

Billydiaz Taura Mazda pada 2016 melakukan studi eksperimental pengaruh variasi *holding time* dan suhu *aging* pada perlakuan panas *precipitation hardening* T6 terhadap sifat mekanik paduan aluminium ADC12. Didapatkan hasil kekerasan maksimal

pada *solution treatment* dengan suhu 550°C, ditahan selama 180 menit, dan *aging* dengan suhu 170°C dengan *holding time* 4 jam. Kekerasan maksimal yang didapatkan sebesar 108.04 BHN (Billydiaz Taura Mazda, 2016). Derya Dispinar pada 2006 mengajukan sebuah indeks yang digunakan untuk mengukur kualitas dari aluminium cair dengan nama *Bifilm Index*. Indeks ini mengukur total diameter maksimum dari pori yang muncul pada spesimen *Reduced Pressure Test*. Muhammet Uludağ pada 2018 meneliti fenomena *hot tear* yang sering terjadi pada paduan aluminium dengan tambahan elemen Sr, Ti, dan B sebagai pengecil besar butir. Dilakukan pengambilan nilai *bifilm index* dari tiap peleburan. Ditemukan bahwa *bifilm* dapat menginsiasi terjadinya *hot tear*. Bertambahnya nilai *bifilm index* meningkatkan kemungkinan terjadinya *hot tear* pada paduan aluminium (Muhammet Uludağ, The effects of degassing, grain refinement & Sr-addition on melt quality-hot tear sensitivity relationships in cast A380 aluminum alloy, 2018).

Hingga saat ini pengaruh keberadaan *bifilm* terhadap respon *artificial aging* di dalam benda cor paduan aluminium belum diketahui secara jelas terutama pada paduan aluminium ADC12. Paduan aluminium ADC12 yang merupakan paduan yang paling banyak digunakan di dalam industri transportasi membutuhkan perhatian lebih tentang hubungan *bifilm* dan *aging*-nya.

### 1.2. Perumusan Penelitian

Pada penelitian ini, permasalahan utama yang ingin diketahui adalah pengaruh *Bifilm Index* terhadap respon *artificial aging* pada paduan aluminium ADC12.

### 1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh *Bifilm* terhadap respon *artificial aging* pada paduan aluminium ADC12.



#### 1.4. **Batasan Penelitian**

Batasan yang diterapkan dalam penelitian ini adalah :

1. Komposisi kimia ingot paduan aluminium ADC12 yang digunakan sama.
2. Cetakan cor dan spesimen tidak bereaksi.
3. Kecepatan tuang konstan.
4. Tinggi penuangan konstan.
5. Kualitas paduan aluminium yang dites dengan mesin *Reduced Pressure Test* sama dengan yang dituang untuk parameter pengkondisian aluminium cair yang sama.

#### 1.5. **Manfaat Penelitian**

Penelitian yang dilakukan ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi berbagai kalangan. Adapun manfaat yang bisa diberikan adalah sebagai berikut :

1. Dapat memberikan manfaat kepada kalangan industri mengenai pengaruh *bifilm* terhadap respon *artificial aging* pada paduan aluminium ADC12.
2. Meningkatkan perhatian industri dan akademisi terhadap kehadiran *bifilm* sebagai tolak ukur kualitas aluminium yang baik.
3. Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat dan wawasan bagi peneliti.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Penelitian Terdahulu**

Billydiaz Taura Mazda pada 2016 melakukan studi eksperimental pengaruh variasi *holding time* dan suhu *aging* pada perlakuan panas *precipitation hardening* T6 terhadap sifat mekanik paduan aluminium ADC12. Didapatkan hasil kekerasan maksimal pada *solution treatment* dengan suhu 550°C, ditahan selama 180 menit, dan *aging* dengan suhu 170°C dengan *holding time* 4 jam. Kekerasan maksimal yang didapatkan sebesar 108.04 BHN (Billydiaz Taura Mazda, 2016).

I Gede Brahmada Aditya Paramartha pada 2016 melakukan studi eksperimental pengaruh variasi *holding time* dan suhu *solution treatment* pada perlakuan panas *precipitation hardening* T6 terhadap sifat mekanik paduan aluminium ADC12. Didapatkan hasil kekerasan maksimal pada *solution treatment* dengan suhu 550°C, ditahan selama 4 jam, dan *solution treatment* dengan suhu 150°C dengan *holding time* 4 jam. Kekerasan setelah *solution treatment* didapatkan sebesar 108% dari kondisi *as-cast* (I Gede Brahmada Aditya Paramartha, 2016).

Derya Dispinar pada 2006 mengajukan sebuah indeks yang digunakan untuk mengukur kualitas dari aluminium cair dengan nama *Bifilm Index*. Indeks ini mengukur total diameter maksimum dari pori akibat *bifilm* yang muncul pada spesimen *Reduced Pressure Test* (Derya Dispinar J. C., 2006).

Muhammet Uludağ pada 2018 meneliti fenomena *hot tear* yang sering terjadi pada paduan aluminium dengan tambahan elemen Sr, Ti, dan B sebagai pengecil butir. Dilakukan pengambilan nilai *bifilm index* dari tiap peleburan. Ditemukan bahwa *bifilm* dapat menginsiasi terjadinya *hot tear*. Bertambahnya nilai *bifilm index* meningkatkan kemungkinan terjadinya *hot tear* pada paduan aluminium (Muhammet Uludağ, The effects of

degassing, grain refinement & Sr-addition on melt quality-hot tear sensitivity relationships in cast A380 aluminum alloy, 2018).

## 2.2. Aluminium

Pertama kali Aluminium ditemukan oleh Hans Christian Ørsted, seorang ilmuwan Denmark pada tahun 1825 dengan mereaksikan *anhydrous aluminium chloride* dengan *potassium amalgam* menghasilkan gumpalan logam kecil nampak seperti timah. Produksi Aluminium pada saat itu sangatlah mahal, dan memiliki harga yang bersaing dengan Perak. Penggolongan Aluminium sebagai logam mulia berakhir pada tahun 1889 ketika ilmuwan Charles Martin Hall dan Paul Héroult menemukan cara mengekstraksi aluminium secara murah (Hall-Heroult Process) serta mendirikan perusahaan “Pittsburg Reduction Company”, sekarang lebih dikenal sebagai Alcoa.



**Gambar 2. 1** Logam Aluminium Murni

Aluminium (gambar 2.1) merupakan logam *non-ferrous* dengan tingkat konsumsi terbesar di dunia. Sekitar 75% dari penggunaan logam *non-ferrous* adalah logam aluminium. Hal ini disebabkan oleh sifat-sifat dari aluminium yang tahan karat, konduktivitas panas dan listrik yang tinggi, serta sifat mekaniknya yang dapat direkayasa menjadi material yang jauh lebih kuat dari aluminium murni. Selain hal tersebut kelebihan aluminium dapat didaur ulang dengan murah karena hanya membutuhkan 5% dari

energi yang dibutuhkan untuk mengekstrasi aluminium dari pasir bauksit. Produk aluminium daur ulang lebih dikenal sebagai *secondary aluminium* sedangkan produk murni hasil ekstrasi dikenal sebagai *primary aluminium*. Pengaplikasian logam aluminium sangatlah luas, hampir semua hal dalam kehidupan modern menggunakan logam ini, mulai dari peralatan rumah tangga, kendaraan bermotor, bangunan, hingga roket luar angkasa.

Aluminium murni memiliki titik leleh pada suhu  $660^{\circ}$  Celcius, dan titik didih pada  $2470^{\circ}$  Celcius, sedangkan massa jenis aluminium padat adalah  $2.70 \text{ g/cm}^3$ , dan pada kondisi cair  $2.375 \text{ g/cm}^3$ . Salah satu sifat istimewa dari aluminium adalah bersifat paramagnetik yang berarti sedikit terpengaruh oleh medan magnet, sehingga sering digunakan sebagai penghalang medan magnet pada alat-alat elektrik seperti pada motor listrik, dan wadah komponen elektronik.

Aluminium sering kali dipadukan dengan logam lain sehingga menjadi aluminium paduan. Pemberian paduan ini dapat meningkatkan kekuatan mekanik, dan meningkatkan sifat-sifat tertentu seperti tahan korosi, konduktivitas listrik, konduktivitas panas, kemudahan cor, dan kemudahan pembentukan. Paduan aluminium dapat dibedakan menjadi *wrought aluminium*, dan *cast aluminium*. *Wrought aluminium* adalah paduan aluminium yang dapat difabrikasi dengan baik menggunakan proses pembentukan (*forming*). *Cast aluminium* adalah paduan aluminium yang dapat difabrikasi dengan baik menggunakan proses pengecoran. Komposisi kimia pada paduan *wrought*, dan *cast aluminium* dapat dikenali dengan membaca kodifikasinya. Sistem kodifikasi *wrought*, dan *cast aluminium* dituangkan pada tabel 2.1 dan tabel 2.2.

**Tabel 2.1** Kodifikasi *Wrought Aluminium* oleh Aluminium Association (Association, International Alloy Designations and Chemical Composition Limits for Wrought Aluminum and Wrought Aluminum Alloys, 2015)

Kode Paduan	Paduan Utama
1xxx	Aluminium murni tanpa paduan
2xxx	Tembaga
3xxx	Mangan
4xxx	Silikon
5xxx	Magnesium
6xxx	Magnesium dan Silikon
7xxx	Seng
8xxx	Besi atau Timah

**Tabel 2.2** Kodifikasi *Cast Aluminium* oleh Aluminium Association (Association, Standards for Aluminum Sand and Permanent Mold Castings, 2008)

Kode Paduan	Paduan Utama
1xx.x	Minimal 99% Aluminium murni
2xx.x	Tembaga
3xx.x	Silikon, dan Tembaga atau Magnesium
4xx.x	Silikon
5xx.x	Magnesium
7xx.x	Seng
8xx.x	Timah
9xx.x	Elemen lain

Pengecoran aluminium menggunakan cetakan berbahan baja disebut dengan *die casting*. Paduan aluminium yang digunakan untuk keperluan *die casting* memiliki perbedaan dalam komposisinya. Industri di Indonesia sering menggunakan sistem kodifikasi terstandar JIS (Japanese Industrial Standard) untuk

paduan aluminium *die casting*. Sistem kodifikasi JIS untuk paduan aluminium die casting dituangkan pada tabel 2.3.

**Tabel 2.3** Kodifikasi Paduan Aluminium Die Casting oleh JIS (Standard, 2006)

Kode Paduan	ISO	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Other	Al
ADC1		1.0 max	11.0 - 13.0	0.3 max	0.5 max	1.3 max	0.5 max	Remainder
ADC1C	Al-Si12CuFe	1.2 max	11.0 - 13.5	0.3 max	0.5 max	1.3 max	0.5 max	Remainder
ADC2	Al-Si12Fe	0.1 max	11.0 - 13.5	0.1 max	0.1 max	1.3 max	0.5 max	Remainder
ADC3		0.6 max	9.0 - 10.0	0.4 - 0.6	0.5 max	1.3 max	0.5 max	Remainder
ADC5		0.2 max	0.3 max	4.0 - 8.5	0.1 max	1.8 max	0.5 max	Remainder
ADC6		0.1 max	1.0 max	2.5 - 4.0	0.4 max	0.8 max	0.5 max	Remainder
ADC7	Al-Si5Fe	0.1 max	4.5 - 6.0	0.1 max	0.1 max	1.3 max	0.5 max	Remainder
ADC8	Al-Si6Cu4Fe	3.0 - 5.0	5.0 - 7.0	0.3 max	2.0 max	1.3 max	0.5 max	Remainder
ADC10		2.0 - 4.0	7.5 - 9.5	0.3 max	1.0 max	1.3 max	0.5 max	Remainder
ADC10Z		2.0 - 4.0	7.5 - 9.5	0.3 max	3.0 max	1.3 max	0.5 max	Remainder
ADC11	Al-Si8Cu3Fe	2.5 - 4.0	7.5 - 9.5	0.3 max	1.2 max	1.3 max	0.5 max	Remainder
ADC12	Al-Si10Cu2Fe	1.5 - 3.5	9.6 - 12.0	0.3 max	1.0 max	1.3 max	0.5 max	Remainder
ADC12Z		1.5 - 3.5	9.6 - 12.0	0.3 max	3.0 max	1.3 max	0.5 max	Remainder
ADC14		4.0 - 5.0	16.0 - 18.0	0.45 - 0.65	1.5 max	1.3 max	0.5 max	Remainder

### 2.3. Proses Peleburan Aluminium

Dalam melebur aluminium akan ada banyak hal yang harus diperhatikan untuk menghindari terjadinya banyak cacat dan penurunan sifat mekanik pada produk hasil cor yang disebabkan oleh terbentuknya oksida, terlarutnya gas hidrogen, dan masuknya inklusi. Sering kali terdapat inklusi pada *secondary aluminium* yang merupakan paduan aluminium dengan bahan dasar aluminium daur ulang. Perlu perhatian khusus dalam melakukan peleburan *secondary aluminium* karena proses yang kurang tepat ditandai dengan banyaknya inklusi pada cairan aluminium. (Otsuka, 2003) Inklusi ini dapat berupa oksida, dan *non-metallic inclusion*. Oksida dapat masuk ke dalam logam cair ketika aluminium dan paduannya bereaksi dengan udara dan terdorong masuk ke dalam cairan.

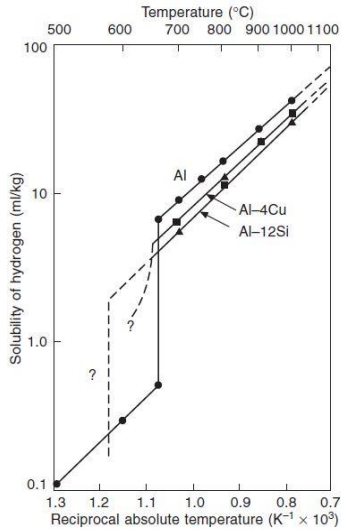
Proses peleburan diawali dengan memanaskan tungku hingga suhu 700° – 850° Celcius. Pemanasan awal dibutuhkan untuk mengurangi kandungan uap air yang terserap ke dalam dinding tungku ketika tungku tidak digunakan. Setelah tungku bersuhu 700° – 850° Celcius, kandungan uap air pada dinding

tungku telah berkurang, dan peleburan dapat segera dilakukan dengan memasukkan aluminium ke dalam tungku. Aluminium cair dapat dengan mudah bereaksi dengan udara yang kontak dengannya membentuk senyawa seperti oksida, dan menghasilkan hidrogen yang terlarut.

### **2.3.1. Sumber Hidrogen Terlarut pada Aluminium Cair**

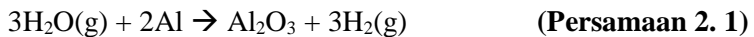
Satu-satunya elemen gas terlarut pada aluminium cair yang cukup memberikan dampak buruk terhadap hasil cor adalah hidrogen. Keberadaan hidrogen yang terlarut dalam aluminium cair ini dapat menyebabkan terjadinya pori di dalam padatan aluminium. Kelarutan dari hidrogen pada aluminium dan paduannya meningkat dengan naiknya suhu seperti ditunjukkan pada gambar 2.2. Konsentrasi hidrogen mengalami perubahan yang signifikan pada saat proses perubahan fasa aluminium dari padat menjadi cair, dan sebaliknya.



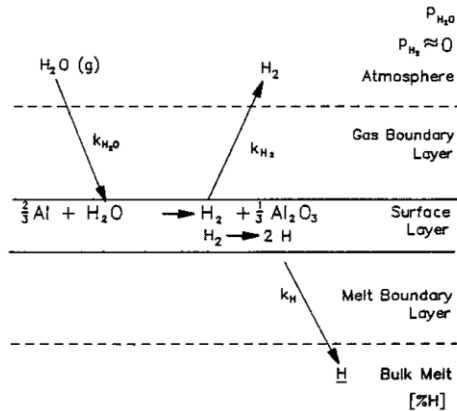


**Gambar 2. 2** Kelarutan Hidrogen dalam Aluminium (Campbell, 2011)

Penyebab utama adanya keberadaan hidrogen ini adalah kandungan uap air pada udara terbuka yang bereaksi dengan permukaan aluminium cair. Aluminium cair yang panas menjadi sebuah media yang cocok bagi uap air untuk bereaksi menghasilkan aluminium oksida dan gas hidrogen (Persamaan 2.1).



Sebagian atom hidrogen masuk ke dalam aluminium cair, dan sebagian keluar sebagai gas hidrogen dari aluminium cair yang secara skematis ditunjukkan di gambar 2.3.



**Gambar 2. 3** Skema Hidrogen Terlarut yang Berasal dari Reaksi Uap Air di Atmosfer dengan Aluminium Cair (Otsuka, 2003)

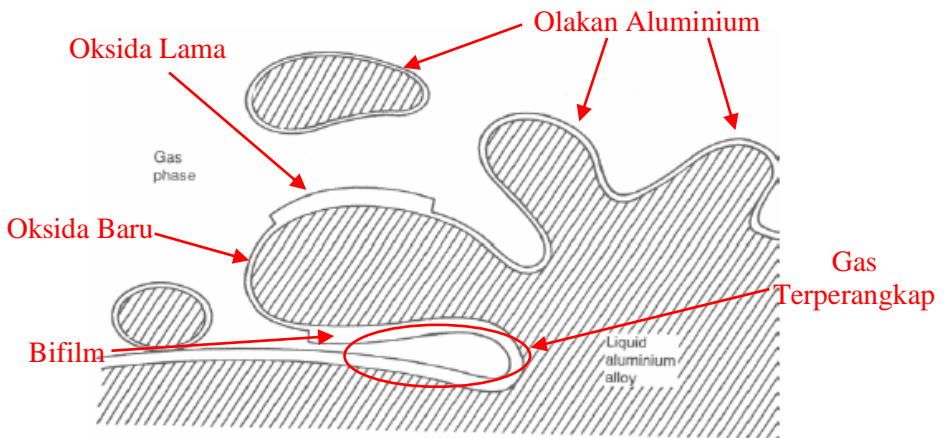
### 2.3.2. Inklusi pada Aluminium Cair

Terdapat beberapa inklusi yang paling sering muncul pada proses peleburan aluminium, yaitu berupa oksida, karbida, dan garam. Inklusi tersebut pada umumnya berasal dari kotoran-kotoran yang menempel pada aluminium daur ulang, udara lingkungan yang lembab, dan dinding tungku yang tergerus. Adapun jenis-jenis oksida yang sering terjadi adalah hasil dari reaksi aluminium dengan lingkungan dimana logam tersebut dilebur. Oksida ini dapat berupa  $Al_2O_3$ ,  $Al_2MgO_4$ , dan  $MgO$ . Karbida yang paling sering muncul pada cairan aluminium adalah  $Al_4C_3$ . Sedangkan inklusi-inklusi lainnya dapat berupa  $TiB_2$  (berasal dari *grain refiner*),  $Na_3AlF_6$ ,  $MgCl$ ,  $AlCl_3$ ,  $NaCl$ , dan  $KCl$ .

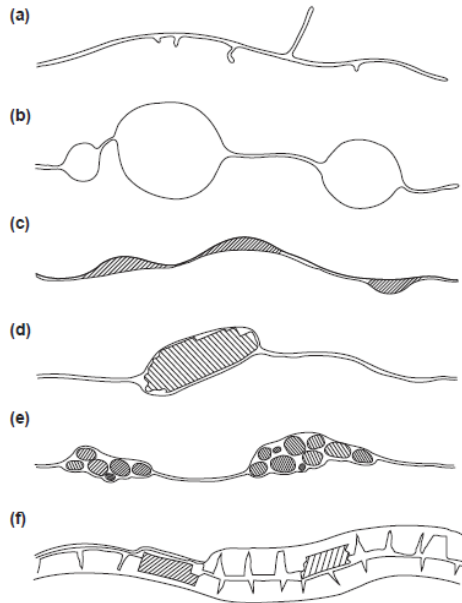
### 2.4. *Bifilm*

Oksida aluminium memiliki sifat yang cukup stabil, dan tidak dapat menyalurkan ion oksigen sehingga dapat melindungi aluminium murni dibalik oksida dari oksidasi lebih lanjut. *Bifilm*

adalah oksida aluminium tipis (berukuran sekitar 20 nm) pada permukaan aluminium cair yang terlipat masuk ke dalam cairan aluminium akibat olakan dengan sedikit gas diantara lipatannya (Gambar 2.4) (Campbell, 2011). Bifilm dapat terisi oleh berbagai macam inklusi seperti gas, flux, kotoran, pasir cetakan, dan oksida lama (Gambar 2.5). Alat bantu peleburan yang masuk ke dalam aluminium cair dapat dengan mudah membentuk *bifilm* baru. *Bifilm* pada aluminium memiliki massa jenis yang hampir sama dengan aluminium cair karena adanya gas yang terperangkap di tengah-tengah *bifilm*, sehingga ketika oksida aluminium masuk ke dalam cairan aluminium maka akan susah terangkat ke atas. Keberadaan *bifilm* pada aluminium dapat menurunkan kekuatan tarik, menginisiasi terjadinya pori, dan menginisiasi terjadinya *hot tear* (Derya Dispinar A. A., 2010) (Derya Dispinar J. C., 2006) (Muhammet Uludağ, The effects of degassing, grain refinement & Sr-addition on melt quality-hot tear sensitivity relationships in cast A380 aluminum alloy, 2018).



**Gambar 2. 4** Mekanisme Terbentuknya *Bifilm* (Campbell, 2011)



**Gambar 2. 5** Macam-macam *Bifilm* : (a) *Bifilm* Baru (b) Gelembung Gas (c) Flux (d) Kotoran Tungku (e) Pasir Cetakan (f) Oksida Lama (Campbell, 2011)

*Bifilm Index*, pertama kali digagas oleh Dispinar (Dispinar, 2005), adalah indeks yang digunakan untuk mengukur kualitas dari aluminium cair. *Bifilm index* menilai kualitas dengan mengukur panjang total dari *bifilm* yang terdapat di aluminium cair. Pengukuran *bifilm index* memerlukan mesin *Reduced Pressure Test* (RPT) sebagai alat bantu. Cara kerja mesin RPT adalah dengan membantu membuka *bifilm* yang terdapat di dalam cairan aluminium. Terbukanya *bifilm* didapatkan dengan proses pembekuan aluminium cair dalam sebuah ruangan bertekanan rendah/vakum. Tekanan vakum akan menyebabkan gas hidrogen yang awalnya terlarut di dalam aluminium untuk terdifusi ke rongga di antara *bifilm*. Pembekuan yang berjalan bersamaan dengan terbukanya rongga *bifilm* menyebabkan rongga ini tidak

dapat terisi oleh aluminium cair. Difusi hidrogen ke dalam rongga *bifilm* membuat *bifilm* menjadi lebih besar 10x dari semula.

Rongga bifilm dapat dilihat dengan memotong sampel tepat ditengah, sehingga dapat memberikan hasil yang dapat diandalkan karena gas akan lebih banyak terdifusi di bagian tengah sampel (Dispinar, 2005). *Bifilm index* didapatkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

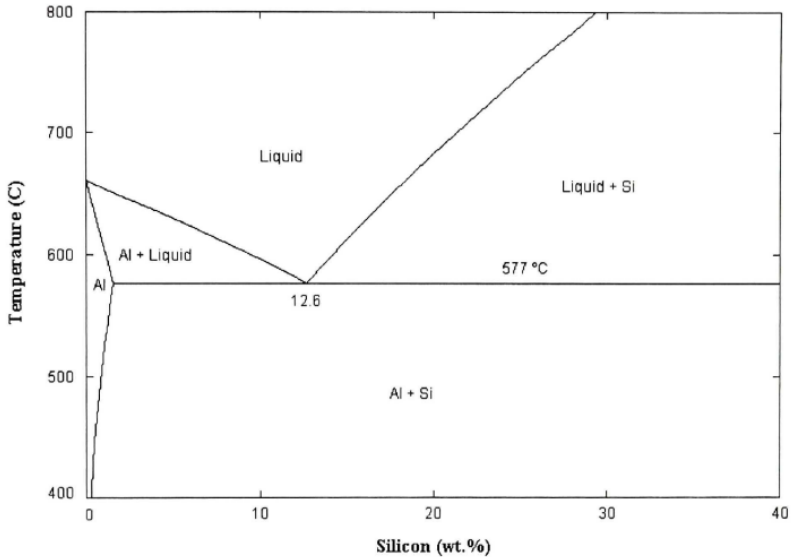
$$L_b = \sum(\text{pore length}) \quad \text{(Persamaan 2. 2)}$$

$L_b$  : Bifilm Index (mm)

*Pore length* adalah diameter maksimum dari pori akibat *bifilm* yang dapat diukur setelah permukaan dari potongan dihaluskan dan dipoles. Pengukuran dapat dilakukan dengan mengukur garis pori dari cetakan foto pori yang diperbesar menggunakan mikroskop. Tekanan untuk mendapatkan *bifilm index* adalah sebesar 100 mbar, yang terbukti memiliki *reproduceability* baik.

## 2.5. Paduan Aluminium-Silikon

Paduan Aluminium-Silikon merupakan paduan dengan karakteristik kemampuan cor baik, ketahanan korosi baik, kemudahan diproses permesinan, dan dapat dilas. Sistem paduan ini memiliki titik eutektik pada suhu  $577^{\circ}$  Celcius dengan komposisi 12.6% berat Si seperti ditunjukkan pada gambar 2.6 diagram fasa ekuilibrium dari paduan Al-Si.



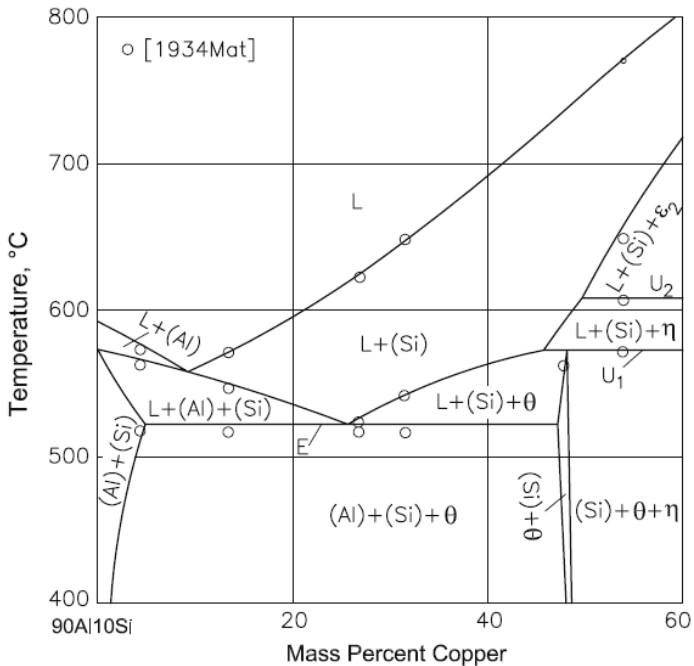
**Gambar 2. 6** Diagram Fasa Ekuilibrium Paduan Al-Si (Comittee, 1992)

Berdasarkan struktur mikro dan jumlah kandungan silikon-nya, paduan Al-Si dapat dikelompokkan menjadi 3 bagian, yaitu *hypoeutectic alloys* dengan kandungan silikon 5% - 10% berat, *eutectic alloys* dengan kandungan silikon 10% - 14% berat, dan *hypereutectic alloys* dengan kandungan silikon 14% - 20% berat.

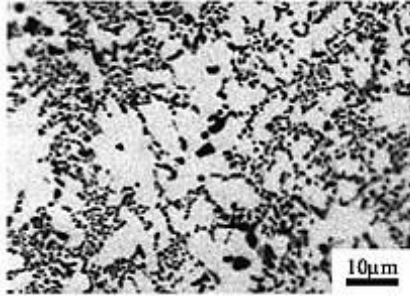
Aplikasi yang membutuhkan kemudahan cor, dan ketahanan korosi umumnya menggunakan paduan hypoeutektik. Pada paduan ini dapat ditambahkan sedikit tembaga, atau magnesium serta dilakukan proses *aging* untuk meningkatkan kekuatan mekaniknya. Paduan hypoeutektik banyak digunakan pada industri otomotif, penerbangan, dan militer. Sementara itu, paduan hypereutektik banyak digunakan pada aplikasi yang membutuhkan ketahanan gesek yang baik, dan ekspansi termal rendah diantaranya pada blok mesin, piston, dan rumah piston.

## 2.6. Paduan Aluminium-Silikon-Tembaga

Paduan Aluminium-Silikon-Tembaga memiliki karakteristik yang hampir sama dengan paduan Aluminium-Silikon. Penambahan Tembaga sebagai unsur paduan ke 2 meningkatkan kekuatan mekanik, dan tahan panasnya. Paduan ADC12 memiliki kandungan Silikon kurang lebih 10% sehingga penggunaan potongan diagram fasa ternary Al-Si-Cu pada 10% Si dapat membantu memahami pengaruh komposisi Tembaga di dalam sistem paduan seperti pada gambar 2.7. Gambar 2.8 menunjukkan mikrostruktur paduan Aluminium ADC12.



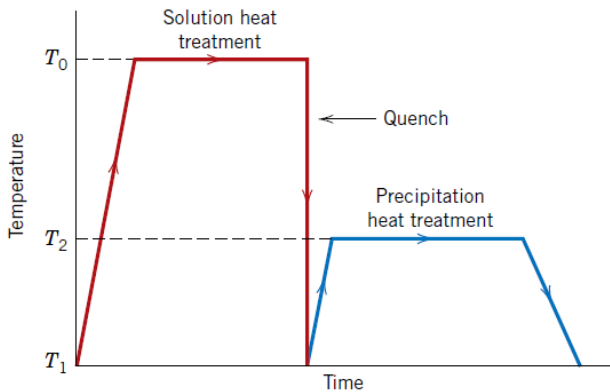
**Gambar 2. 7** Potongan Diagram Fasa Ternary Al-Si-Cu pada 10% Si (Raghavan, 2007)



**Gambar 2. 8** Mikrostruktur ADC12 (Al-Si10Cu2Fe) (Shinji Kumai, 2007)

### 2.7. *Aging* pada Paduan Aluminium-Silikon-Tembaga

Proses *artificial aging* paduan ADC12 (Al-Si10Cu2Fe) terdiri dari *solution heat treatment*, *water quenching*, dan *artificial aging* seperti pada gambar 2.9. Besarnya perubahan kekuatan mekanik dari paduan aluminium setelah proses *aging* bergantung pada kombinasi parameter suhu dan waktu yang digunakan.

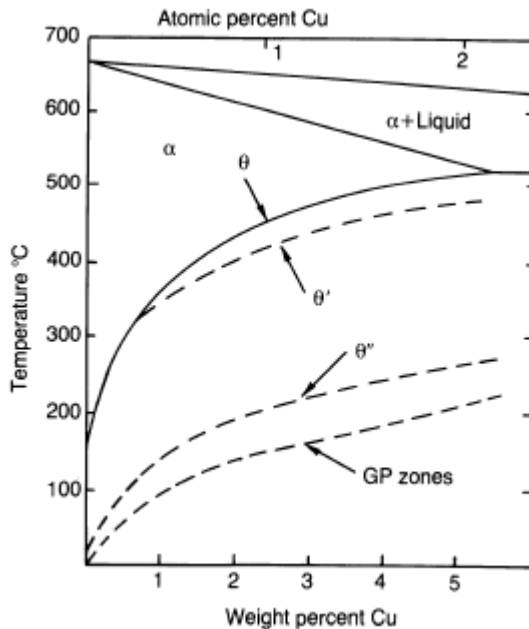


**Gambar 2. 9** Skematik Suhu Terhadap Waktu dari Proses *Aging* (William D. Callister Jr., 2014)

#### 2.7.1. *Solution Heat Treatment*



Proses *solution heat treatment* dilakukan untuk mendapatkan larutan padatan lewat jenuh (*supersaturated solid solution*). Proses ini melarutkan elemen paduan utama (Cu, dan Si) ke dalam  $\alpha$ -Al untuk mendapatkan larutan padatan (Cubberly, 1981). Gambar 2.10 menunjukkan diagram fasa ekuilibrium Al-Cu.



**Gambar 2. 10** Diagram Fasa Ekuilibrium Al-Cu (G. Lorimer, 1978)

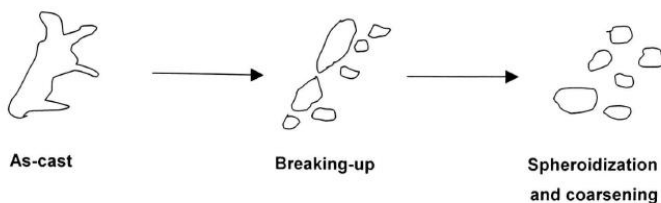
Timbul 3 respon dari proses *solution heat treatment* yaitu, pelarutan elemen paduan utama ke  $\alpha$ -Al, *homogenization* pada benda cor, dan *spheroidization* dan *coarsening* dari morfologi silikon eutektik (Paz, 2003).

Dokumen ASTM B917/B917M-2001 melakukan perilaku panas *solution treatment* dengan menahan suhu

paduan Al-Si pada 540 ° Celcius selama 4 hingga 12 jam. Suhu ini dapat melarutkan Cu hingga 4% (gambar 2.10). Penggunaan suhu solution treatment dibawah 500° Celcius sering dipakai untuk menghindari fenomena blistering dimana permukaan dari benda cor menjadi pecah karena pembesaran ukuran pori di bawah permukaan benda cor (B. C. Wu).

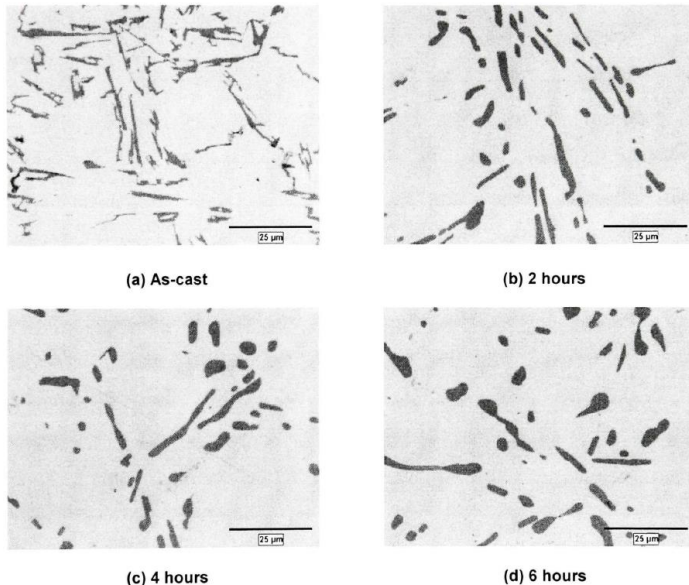
*Homogenization* adalah proses penghomogenan semua bagian dari benda cor. Struktur mikro awal sebelum proses solution treatment mempengaruhi waktu yang dibutuhkan oleh suatu paduan untuk dapat mencapai struktur mikro yang homogen. Mikro struktur yang kasar membutuhkan waktu lebih lama karena membutuhkan energi lebih banyak untuk dapat memecah besar kristalnya menjadi lebih kecil dan homogen.

Morfologi dari silikon eutektik berperan penting dalam menentukan properti mekanik dari paduan. Morfologi dari silikon dilihat dari ukuran partikel, dan jarak antar butir kristal. Dalam kondisi normal pengecoran, bentuk dari butir kristal silikon nampak seperti plat kasar yang lebih susah untuk diproses permesinan. Perubahan bentuk butir kristal silikon merupakan efek samping dari proses *Solution Treatment* karena suhu yang digunakan menyebabkan silikon mengalami *spheroidization* dan *coarsening*.



**Gambar 2. 11** Ilustrasi Perubahan Morfologi dari Silikon Eutektik

Proses *spheroidization* dan *coarsening* diawali dengan pemecahan bentuk silikon *acicular platelets* menjadi bagian yang lebih kecil. Pecahan kecil silikon berubah lebih lanjut menjadi seperti bola (*spheroidize*). Proses ini diilustrasikan pada gambar 2.11. Gambar 2.12 menunjukkan mikrostruktur paduan A356 pada hasil cor, dan setelah mendapat proses *solution treatment* selama 2, 4, dan 6 jam.



**Gambar 2. 12** Mikrostruktur hasil proses cor paduan aluminium A356 (a), dan mendapat proses *solution treatment* pada 540° Celcius selama : (b) 2 jam (c) 4 jam (d) 6 jam (Paz, 2003)

### 2.7.2. *Quenching*

*Quenching* adalah proses pendinginan cepat benda cor dari suhu *solution treatment* hingga suhu ruang yang bertujuan untuk mendapatkan larutan padat lewat jenuh (*supersaturated solid solution*). Laju pendinginan yang

relatif lambat dalam proses *quenching* akan menimbulkan presipitasi, *localize overaging*, hilangnya ketahanan korosi pada batas butir, dan respon lambat dari proses *age hardening* (Martin, 1998) (Stanley, 1987). Laju pendinginan yang terlalu cepat akan menimbulkan gradien termal yang menyebabkan timbulnya tegangan sisa, dan distorsi (D. S. Thompson, 1971).

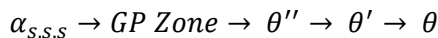
Berdasarkan ASTM B-917 menyatakan bahwa penting bagi benda cor untuk melewati suhu  $(460 - 260)^\circ$  Celcius dengan cepat untuk menghindari fasa presipitasi stabil yang dapat menurunkan kemampuan tarik, dan ketahanan korosi dari benda cor (International, 2001).

### 2.7.3. *Preaging*

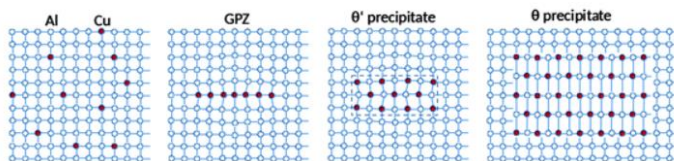
*Preaging* adalah proses *natural aging* yang dialami oleh benda cor akibat adanya jeda waktu dari proses *quenching* hingga dimulainya proses *artificial aging*. *Preaging* dapat menyebabkan turunnya nilai *yield strength*, *ultimate tensile strength*, dan *hardness* dari paduan Al-Si-Cu. Sebuah studi menunjukkan bahwa *preaging* selama 3 jam dapat memberikan penurunan kekuatan tarik dari benda cor (B. Chamberlain, 1973).

### 2.7.4. *Precipitation Age-Hardening*

*Precipitation Hardening* adalah proses yang meningkatkan kekuatan mekanik dari paduan aluminium dengan menimbulkan fasa metastabil  $\theta'$  melalui proses presipitasi (D. A. Porter, 1992). Proses presipitasi total dapat dituangkan sebagai berikut :

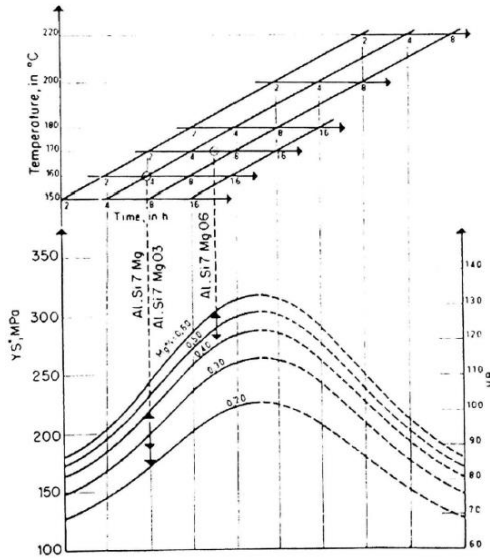


Proses awal *precipitation hardening* adalah dengan nukleasi presipitat berupa *Cu-rich coherent Guiner-Preston(GP) zones*. *GP zones* pada Al-Cu berbentuk piringan memiliki ketebalan 2 atom, dan diameter sekitar 10 nm. *GP Zones* akan berubah menjadi fasa metastabil  $\theta''$  yang berbentuk piringan dengan ketebalan sekitar 10 nm, dan diameter sekitar 100 nm. Seperti *GP Zones*, struktur kristal  $\theta''$  koheren dengan matriks  $\alpha$  seperti pada gambar 2.13.  $\theta''$  berubah menjadi  $\theta'$  dengan struktur kristalnya semi-koheren dengan matriks  $\alpha$  yang menyebabkan terjadinya peningkatan maksimum kekuatan tarik dari paduan (Lumley, 2011). Perubahan  $\theta''$  menjadi  $\theta'$  diketahui menyebabkan penurunan kekuatan tarik dari paduan, tetapi meningkatkan kekuatan leleh paduan karena struktur kristalnya yang lebih stabil dari  $\theta''$ .



**Gambar 2. 13** Skematik *precipitation hardening* oleh fasa  $\theta$  pada matriks  $\alpha$  (William D. Callister Jr., 2014)

Gambar 2.14 menunjukkan kombinasi dari suhu dan waktu terhadap kekuatan tarik yang dihasilkan. Paduan A356 (AlSi7Mg0.3) mendapatkan kekuatan tarik tertinggi pada suhu 160° Celcius setelah mengalami proses *precipitation hardening* selama 20 jam. Keuletan paduan aluminium akan turun sebanding dengan kenaikan kekuatan tariknya.



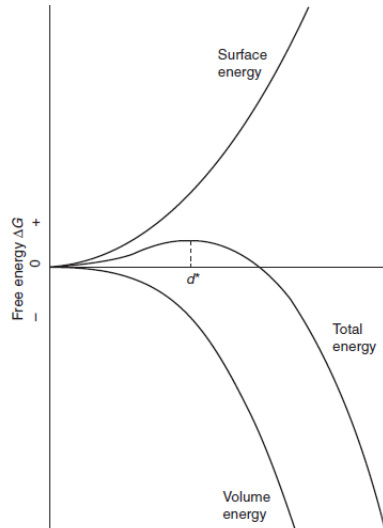
**Gambar 2. 14** Pengaruh suhu dan waktu *precipitation hardening* terhadap kekuatan tarik, dan kekerasan paduan aluminium Al-Si-Mg dalam fungsi komposisi Mg (M. Drouzy, 1980)

## 2.8. Transformasi Fasa *Liquid-Solid*

Terdapat 2 proses yang terjadi dalam transformasi fasa *liquid-solid* yaitu pembentukan inti atom padatan (nukleasi), dan pertumbuhan padatannya dengan mengkonsumsi fasa cair (Haasen, 2003). Nukleasi dapat terjadi dengan 2 cara yaitu homogen, atau heterogen.

Nukleasi homogen terjadi secara seragam di sembarang tempat pada cairan. Penurunan suhu dari atom membutuhkan energi yang berasal dari penambahan volume dari embrio, namun dengan bertambahnya volume terdapat energi terpakai untuk membentuk permukaan baru. Energi bersih yang dibutuhkan untuk terjadi nukleasi dari embrio naik hingga maksimum kemudian turun. Embrio yang tidak dapat mencapai energi maksimum yang dibutuhkan akan menyusut dan kembali terlarut ke dalam cairan logam di sekelilingnya. Suhu yang cukup rendah memberikan

kesempatan bagi embrio untuk tumbuh di atas ukuran kritis yang akan mendorong pertumbuhan lebih lanjut (Campbell, 2011). Peristiwa ini disebut dengan suhu nukleasi homogen yang digambarkan dalam sebuah grafik pada gambar 2.16.



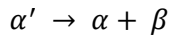
**Gambar 2. 15** Grafik Energi Total dari *Surface Energy* dan *Volume Energy* pada Pertumbuhan Embrio Padat. Ukuran Kritis Ditunjukkan Oleh  $d^*$  (Campbell, 2011)

Nukleasi heterogen terjadi pada lokasi-lokasi khusus dimana terdapat cacat kristal, dan partikel asing (oksida, logam paduan, dan semacamnya). Keberadaan partikel asing ini dapat mengurangi *surface energy* yang dibutuhkan untuk membentuk embrio padat sehingga energi total yang dibutuhkan lebih kecil. Berbagai macam partikel asing akan memberikan pengurangan *surface energy* yang berbeda-beda sehingga nukleasi heterogen terjadi di rentang suhu yang cukup besar (Campbell, 2011).

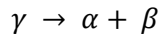
## 2.9. Transformasi Fasa *Solid-Solid*

Terdapat 5 jenis perubahan fasa solid-solid yaitu *precipitation reactions*, *eutectoid transformations*, *ordering reactions*, dan *massive transformations*. Perubahan fasa ini terjadi akibat perubahan suhu sehingga terbentuk fasa yang lebih stabil pada suhu tersebut.

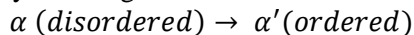
*Precipitation reactions* adalah perubahan fasa dari metastabil larutan padat lewat jenuh menjadi fasa yang lebih stabil. Reaksi perubahan fasanya dituangkan dalam reaksi berikut:



*Eutectoid transformations* adalah perubahan fasa metastabil menjadi 2 fasa stabil. Reaksi perubahan fasanya dituangkan dalam reaksi berikut:



*Precipitation reactions* dan *eutectoid transformations* mengakibatkan perubahan komposisi dan difusi jarak jauh. Sedangkan *ordering reactions* adalah perubahan fasa yang terjadi tanpa terjadi perubahan komposisi dan difusi jarak jauh. Reaksi perubahan fasanya dituangkan dalam reaksi berikut:



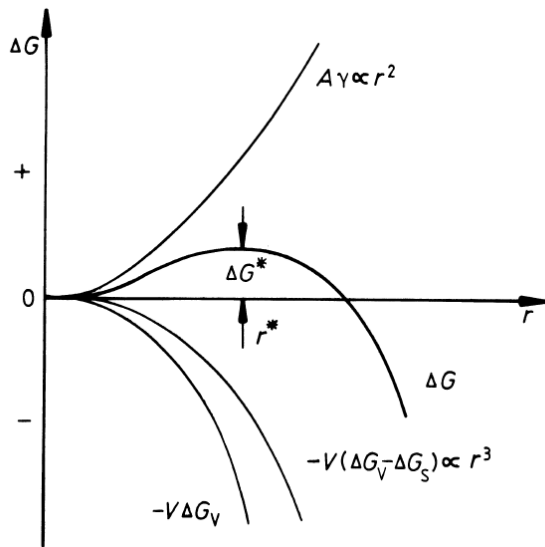
*Massive transformations* adalah perubahan fasa yang mempunyai komposisi kimia yang sama namun dengan perbedaan dalam struktur kristalnya. Reaksi perubahan fasanya dituangkan dalam reaksi berikut:



Nukleasi pada transformasi fasa solid-solid dibagi menjadi 2 yaitu nukleasi homogen, dan nukleasi heterogen. Nukleasi homogen terjadi apabila atom dapat melampaui energi aktivasi



yang dibutuhkan. Energi total yang dibutuhkan nukleasi homogen dari transformasi fasa solid-solid memiliki perbedaan dengan transformasi fasa *liquid-solid* dimana terdapat tambahan energi strain ( $\Delta G_s$ ).  $\Delta G_s$  timbul akibat transformasi yang terjadi tidak dapat menempati lokasi awal secara sempurna. Perbedaan volume dari fasa *solid* baru dan fasa *solid* lama menyebabkan munculnya regangan yang harus diatasi oleh fasa *solid* baru. Gambar 2.16 menunjukkan grafik energi yang dibutuhkan oleh untuk terjadi nukleasi pada transformasi fasa *solid-solid*.



**Gambar 2. 16** Grafik Energi Total dari *Surface Energy*, *Strain Energy*, dan *Volume Energy* pada Nukleasi Transformasi Fasa *Solid-Solid*. Ukuran Kritis Ditunjukkan Oleh  $r^*$  (D. A. Porter, 1992)

Nukleasi heterogen pada transformasi fasa *solid-solid* terjadi pada *grain boundaries*, *excess vacancy*, *dislocations*, *inclusions*, dan semua yang meningkatkan energi bebas dari material (D. A. Porter, 1992). Pada batas butir, nukleasi dapat terjadi dengan

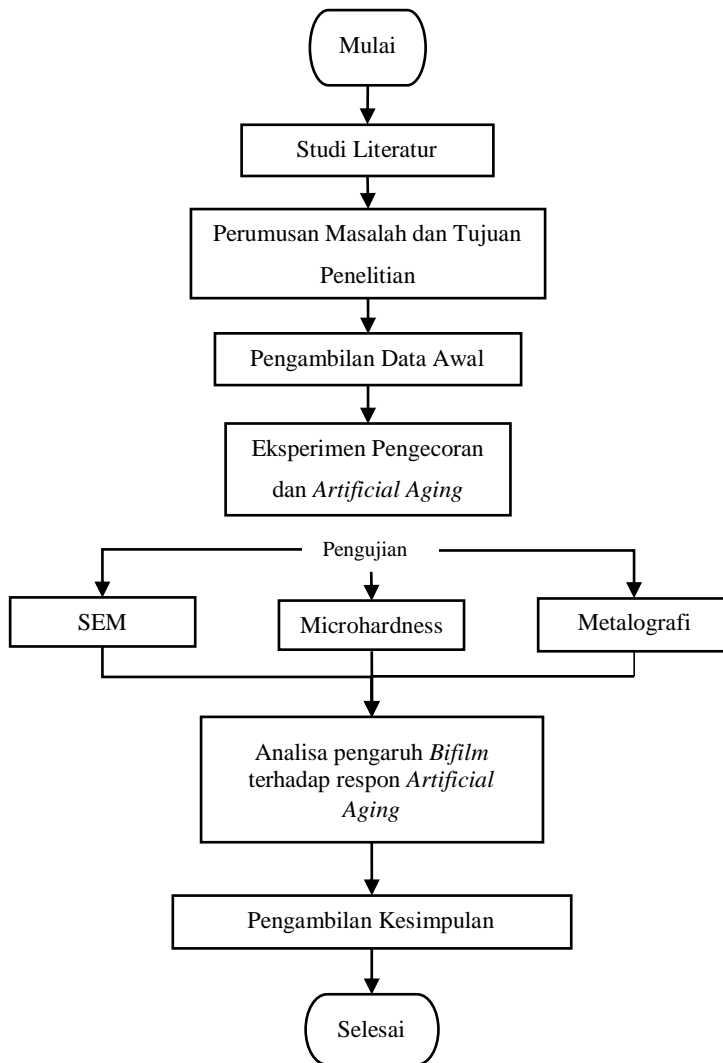
melibatkan energi yang dibutuhkan untuk menambah volume dari embrio presipitat, energi pembentukan permukaan kluster, dan energi untuk menghilangkan batas butir. Keberadaan *vacancy* dapat mempercepat laju difusi, dan menghilangkan energi regangan dari embrio. *Vacancy* yang membentuk kluster, maupun yang berdiri sendiri dapat menghilangkan energi regangan yang dibutuhkan agar nukleasi dapat terjadi. *Dislocation* dapat menjadi pendukung terjadinya nukleasi oleh karena keberadaannya dapat mengurangi energi regangan yang dibutuhkan oleh embrio untuk tumbuh. Inklusi memberikan banyak sumbangan energi bebas untuk membentuk permukaan bagi embrio untuk dapat tumbuh sehingga terjadi nukleasi.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1. Diagram Alir Penelitian**

Langkah-langkah dalam melakukan penelitian ini digambarkan secara singkat dalam bentuk diagram alir yang ditunjukkan pada gambar 3.1.



**Gambar 3. 1** Diagram Alir Penelitian

### 3.2. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut :

1. Penggaris dan Jangka Sorong
2. Kamera Digital
3. Software CAD
4. Gerinda dan Mesin Geraji
5. Mesin Bubut
6. Mesin Freis
7. Tungku Peleburan dan Sistem Pembakarannya
8. Tungku Perlakuan Panas
9. Mesin *Polishing*
10. Mesin Uji Tarik
11. *Stereo Microscope*
12. *Scanning Electron Microscope*

### 3.3. Langkah-langkah Penelitian

Adapun langkah-langkah yang dilakukan untuk melakukan eksperimen ini adalah sebagai berikut:

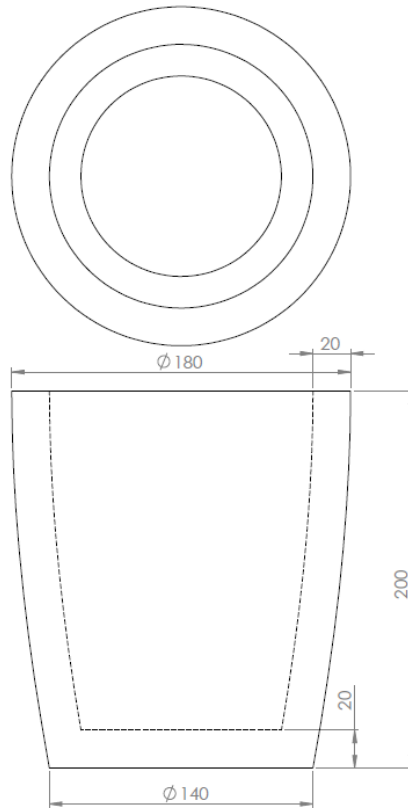
#### 3.3.1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan teori proses dan eksperimen-eksperimen yang berhubungan dengan *bifilm index*, konstruksi mesin *Reduced Pressure Test*, serta siklus termal *artificial aging* dari paduan ADC12. Faktor-faktor dalam melakukan eksperimen untuk mencari *bifilm index*, dari aluminium serta untuk melakukan *artificial aging* didapatkan dari jurnal, artikel, dan buku terkait.

#### 3.3.2. Pengambilan Data Awal

Pengambilan data awal dilakukan sebagai patokan dimensi dalam merancang alat-alat pendukung eksperimen yaitu cetakan spesimen *reduced pressure test*, dan *aging*.

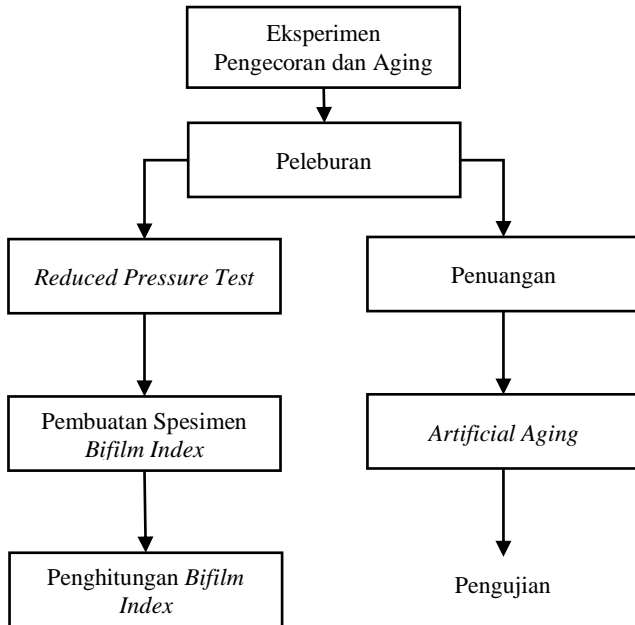
Cawan peleburan yang digunakan berkapasitas 5,5 kg dengan dimensi ditunjukkan pada gambar 3.2.



**Gambar 3. 2** Dimensi Cawan Peleburan (*crucible*) dalam mm

### 3.3.3. Desain Eksperimen Pengecoran dan *Aging*

Langkah-langkah dalam melakukan eksperimen pengecoran dan *aging* ini digambarkan secara singkat dalam bentuk diagram alir yang ditunjukkan pada gambar 3.3.



**Gambar 3. 3** Diagram Alir Eksperimen Pengecoran dan *Aging*

#### Alat dan Bahan Eksperimen

Alat dan bahan eksperimen akan disiapkan sebagai berikut :

1. Tungku peleburan
2. Cawan peleburan kapasitas 5.5 kg
3. Penjepit cawan peleburan
4. Tabung gas LPG
5. Mesin RPT

6. Cetakan sampel RPT
7. Cetakan sampel uji tarik
8. *Aluminium Alloy* ADC12 Ingot
9. Tungku perlakuan panas
10. Bak air panas

### **Peleburan**

Peleburan dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Pemanasan tungku dan cawan peleburan hingga suhu 850° Celcius
2. Penimbangan Ingot paduan ADC12 sebanyak 5.5 kg
3. Pemasukkan Ingot paduan ADC12 ke dalam cawan peleburan
4. Peleburan paduan ADC12 hingga suhu 720° Celcius
5. Pengkondisian kualitas aluminium cair sesuai dengan tabel 3.1
6. Pemisahan dross dari permukaan aluminium cair ke luar tungku

Perlakuan untuk mendapatkan kualitas dari aluminium cair akan dibedakan menjadi 5 tipe yaitu, A, B, C, D, dan E. Perlakuan ini diharapkan dapat memberikan hasil *bifilm index* yang berbeda-beda dari tiap peleburan. Variabel yang membedakan untuk mencapai masing-masing kondisi dituangkan pada tabel berikut :

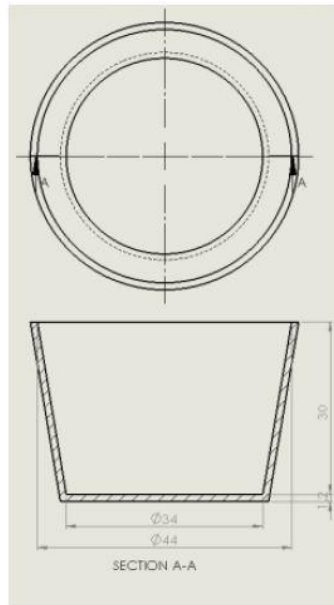
**Tabel 3.1** Pengkondisian Kualitas Aluminium Cair

Spesimen	Lama Pengadukan (menit)
1	0
2	3
3	5



### Penuangan

Penuangan dilakukan ke dalam 2 cetakan yaitu cetakan *reduced ressure test*, dan cetakan *artificial aging*. Cetakan RPT menggunakan dimensi cetakan yang dibuktikan memiliki reproducibility *bifilm index* yang baik seperti pada gambar 3.4 (E. Tan, 2011).



**Gambar 3. 4** Dimensi Cetakan *Reduced Pressure Test*

Cetakan *artificial aging* menggunakan cetakan dengan bentuk yang serupa dengan cetakan *reduced pressure test*, dengan dimensi yang lebih besar. Cetakan akan menghasilkan 12 spesimen *artificial aging* seperti pada gambar 3.6.



**Gambar 3. 5** Cetakan untuk Spesimen *Artificial Aging*

### **Reduced Pressure Test dan Bifilm Index**

*Reduced Pressure Test* dilakukan sesaat sebelum penuangan dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

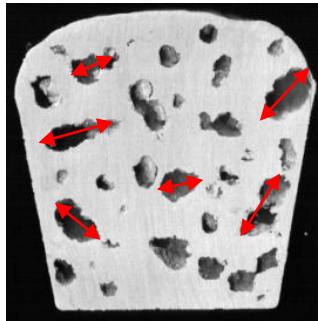
1. Pemanasan cetakan RPT diatas aluminium cair sebelum digunakan untuk mengambil spesimen
2. Pengambilan 3 spesimen aluminium cair sekaligus
3. Peletakan spesimen ke atas plat dasar ruang vakum
4. Penutupan ruang vakum
5. Penyalaan pompa vakum
6. Pengecekan tekanan vakum pada 100 mbar atau -0.9 MPa
7. Setelah kurang lebih 7 menit pompa vakum dimatikan
8. Pengambilan spesimen dari cetakannya

Pemindahan logam cair yang berada dalam cetakan menuju mesin RPT dilakukan secara cepat untuk meminimalisir turunnya suhu aluminium cair karena RPT yang baik dapat dicapai apabila aluminium mengalami pembekuan saat berada dalam ruang vakum. Tekanan

pompa vakum diatur sebelum pengujian dilakukan agar tidak terjadi kesalahan penggunaan tekanan saat pengujian.

*Bifilm Index* didapatkan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Spesimen *Bifilm Index* dipotong melintang tepat di tengah-tengah dari diameter spesimen
2. *Grinding* menggunakan kertas gosok dengan kekasaran 200 hingga 2000, dan dipoles menggunakan serbuk alumina.
3. Pengambilan foto penampang berpori akibat *bifilm* menggunakan mikroskop
4. Pencetakan foto permukaan berpori akibat *bifilm*
5. Pengukuran diameter maksimum dari pori akibat *bifilm*



**Gambar 3. 6** Contoh Spesimen *Bifilm Index*, Panah Merah Menunjukkan Diameter Maksimum dari Pori (Dispinar, 2005)

### *Artificial Aging*

*Aging* dari benda cor akan dilakukan dengan kondisi spesimen yang sudah dilepaskan dari komponen-komponen saluran cetakan cor. *Aging* dilakukan dengan siklus termal sebagai berikut :

1. *Solution Treatment* pada suhu 450° Celcius selama 15 menit.
2. *Quenching* pada air panas dengan suhu 60° Celcius selama 6 detik dengan gerakan mengaduk cepat.
3. *Artificial aging* pada suhu 170 ° Celcius selama 6 jam (T6), atau suhu 250 ° Celcius selama 6 jam (T7).
4. Pendinginan dilakukan diluar tungku dengan udara bebas.

*Aging* dilakukan pada tungku hambatan listrik dengan pengatur suhu tungku otomatis. Tungku hambatan listrik yang digunakan adalah Nabertherm B-150. *Quenching* dilakukan menggunakan bak air, dan tang pemegang spesimen. *Artificial aging* dilakukan setelah semua spesimen selesai proses *quenching*. Tungku didinginkan dan segera diatur untuk perlakuan *artificial aging*. Pendinginan tungku dilakukan dengan membuka tutup tungku dan membiarkan udara dingin bertukar dengan udara panas di dalam tungku. Jeda waktu antara *quenching* dan *artificial aging* akan diatur seminimal mungkin untuk mencegah penurunan permanen kemampuan mekanik dari spesimen.

#### **3.3.4. Pengujian Metalografi, dan Pengujian Scanning Electron Microscope**

##### **Pengujian Metalografi**

Pengujian metalografi dilakukan untuk melihat mikrostruktur dari paduan ADC12. Pengujian dilakukan pada kondisi spesimen berikut :

1. Hasil Cor
2. Setelah mendapat *Artificial Aging*

Sebelum spesimen metalografi dapat diamati di bawah mikroskop, spesimen harus dipersiapkan agar batas butir pada paduan aluminium dapat diamati. Digunakan mikroskop optis Olympus BX60M. Berikut ini adalah tahap

persiapan spesimen setelah spesimen dipotong dari benda cor :

### 1. *Grinding*

Pada proses ini, spesimen digosok pada mesin *grinding*, pertama-tama menggunakan *grit* yang paling kasar yaitu 80 dan setelah itu menggunakan *grit* yang lebih halus secara bertahap yaitu *grit* 120, 240, 320, 400, 500, 600, 1200, dan 2000. Penggosokan dilakukan dengan pertama-tama meletakkan permukaan yang ingin digosok pada permukaan kertas gosok dengan *grit* paling kasar, dengan dialiri sedikit air. Setelah terjadi goresan berbentuk garis-garis yang sejajar dan merata, spesimen dicuci dengan air kemudian kembali digosok dengan mengubah arah peletakan permukaan, sehingga goresan baru akan terbentuk tegak lurus dari goresan yang pertama. Setelah penggosokan dengan kertas penggosok paling kasar selesai, kertas penggosok diganti dengan kertas penggosok yang lebih halus sampai *grit* 2000. Proses terakhir adalah *polishing* menggunakan kain dengan bantuan air untuk menghilangkan debu kecil yang terkikis akibat bergesekan dengan kain.

### 2. *Etching*

Proses *Etching* dilakukan dengan mencelupkan permukaan spesimen ke dalam larutan kimia tertentu (*etchant*). Digunakan 1 gram NaOH yang dilarutkan pada 100 ml air. Air yang digunakan untuk melarutkan campurannya adalah air hasil distilasi. *Etching* dilakukan dengan mencelupkan spesimen yang telah dihaluskan permukaannya selama 1 menit, dan dibilas menggunakan alkohol.

## **Pengujian Scanning Electron Microscope**

*Scanning Electron Microscope* (SEM) adalah mikroskop yang menggunakan pancaran elektron yang difokuskan untuk mendapatkan sinyal interaksi atom dengan

elektron. Sinyal ini dapat digunakan untuk melihat topografi, dan komposisi kimia dari permukaan yang dipancarkan elektron. Pada percobaan ini SEM digunakan untuk melihat topografi, dan komposisi kimia pada penampang pori akibat *bifilm* dan sekitarnya. Data yang didapatkan digunakan untuk melakukan analisa lebih lanjut mengenai pengaruh *bifilm* terhadap respon *artificial aging*-nya. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat pada laboratorium Metalurgi Teknik Mesin ITS. Pengujian dilakukan langsung ke permukaan pori akibat *bifilm* pada spesimen sebelum *artificial aging*, hasil *artificial aging* T6, dan hasil *artificial aging* T7.

### 3.4. Tempat dan Jadwal Pelaksanaan Eksperimen

**Tabel 3.2** Jadwal Pelaksanaan Eksperimen

Kegiatan	Minggu ke																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Pengumpulan Data Awal	■																	
Perancangan Alat		■	■	■														
Penulisan Proposal		■	■	■														
Penyiapan Ruangan Seminar Proposal					■													
Seminar Proposal						■												
Pembelian Bahan dan Alat					■	■	■											
Pembuatan Alat					■	■	■											
Proses Peleburan, dan Pengecoran								■	■									
Reduced Pressure Test									■									
Perlakuan Artificial Aging										■								
Proses Metalografi											■							
Proses Scanning Electron Microscope												■						
Penganalisaan Data Hasil Eksperimen													■	■	■			
Penyiapan Ruangan Sidang Tugas Akhir															■			
Sidang Tugas Akhir																■	■	
Revisi Laporan Tugas Akhir																	■	■

Eksperimen dilaksanakan pada lokasi yang sesuai menunjang kegiatan eksperimen sesuai dengan yang tertera pada tabel 3.2. Lokasi-lokasi diadakannya eksperimen ini tertera pada tabel 3.3 sebagai berikut :

**Tabel 3.3** Lokasi Kegiatan Eksperimen

Nama Kegiatan	Seminar Proposal	Pembelian Bahan dan Alat	Pembuatan Alat	Proses Peleburan, Pengecoran, dan Reduced Pressure Test	Perlakuan Artificial Aging, dan Permesinan Spesimen
<b>Lokasi Kegiatan</b>	Ruang Sidang Laboratorium Metalurgi Teknik Mesin ITS	Jl. Raden Saleh, Surabaya	Bengkel Mesin, Jl. Margomulyo Jaya, Surabaya	Laboratorium Cor Teknik Mesin ITS	Workshop Laboratorium Metalurgi Teknik Mesin ITS
<b>Nama Kegiatan</b>	Proses Metalografi, dan SEM	Penganalisaan Data Hasil Eksperimen	Sidang Tugas Akhir		
<b>Lokasi Kegiatan</b>	Laboratorium Metalurgi Teknik Mesin ITS	Teknik Mesin ITS	Ruang Sidang Laboratorium Metalurgi Teknik Mesin ITS		

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



## BAB IV ANALISA DATA & PEMBAHASAN

### 4.1. Pengujian Komposisi Kimia Ingot ADC12

Pengujian komposisi kimia dilakukan menggunakan alat *Spectrometer* milik pabrik penyuplai ingot ADC12. Komposisi kimia standar dari paduan ADC12 ditulis pada dokumen JIS H 5302. Komposisi kimia material ingot yang didapat dari hasil uji *Spectrometer*, dan standar komposisi kimia paduan ADC12 berdasarkan JIS H 5302 dituangkan pada tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Komposisi Kimia Hasil Uji *Spectrometer*, dan Komposisi Kimia Standar JIS H 5302 (Standard, 2006)

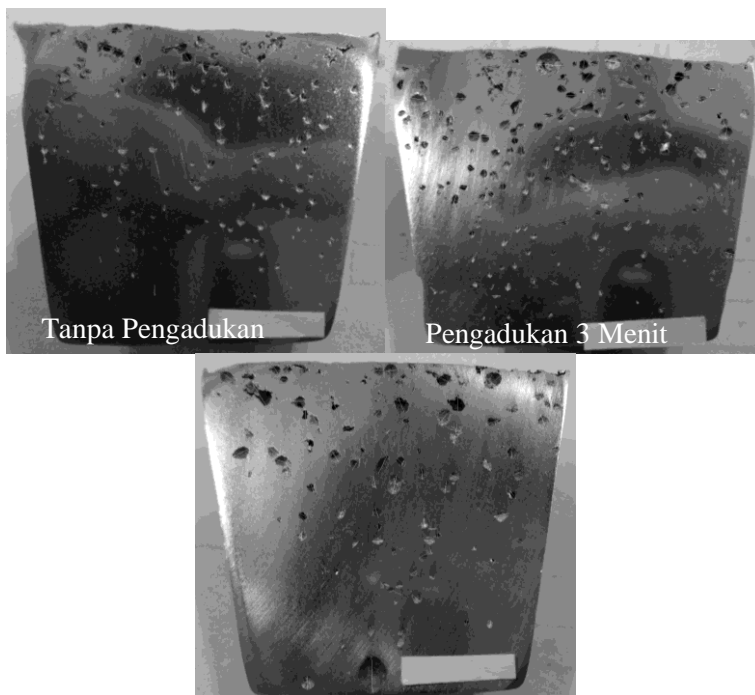
Elemen Paduan	Hasil Uji <i>Spectrometer</i> (% wt)	Standar JIS H 5302 (% wt)
Cu	1.81	1.5 – 3.5
Si	10.54	9.6 – 12.0
Mg	0.26	0.3 maksimal
Zn	0.85	1.0 maksimal
Fe	0.87	1.3 maksimal
Al	85.67	Sisa

Didapatkan hasil uji yang menunjukkan bahwa ingot yang digunakan memiliki komposisi kimia yang sesuai dengan standar komposisi kimia paduan ADC12 berdasarkan JIS H 5302.

### 4.2. *Reduced Pressure Test (RPT)*

Dilakukan *Reduced Pressure Test* kepada 3 jenis spesimen hasil cor sesuai prosedur. Spesimen ini dibelah menjadi 2 bagian pada sumbu aksial untuk mendapatkan penampang tengahnya. Permukaan dari penampang tengah ini dihaluskan menggunakan kertas amplas yang kemudian dipoles menggunakan serbuk alumina. Permukaan yang sudah halus difoto menggunakan

kamera dengan pencahayaan yang cukup. Foto penampang ini dimasukkan ke dalam software analisa gambar yang digunakan untuk membantu menghitung jumlah panjang *bifilm* yang nampak. Foto spesimen yang sudah diproses menggunakan software nampak pada gambar 4.1.



**Gambar 4.1** Spesimen *Reduced Pressure Test* untuk Penghitungan *Bifilm Index*

Nilai yang terukur pada software dihitung kembali untuk menjadi *bifilm index*. Nilai *bifilm index* untuk 3 spesimen hasil cor, dan spesimen ingot disusun pada tabel 4.2

**Tabel 4.2** *Bifilm Index* Spesimen Hasil Cor, dan Spesimen Ingot

Spesimen	<i>Bifilm Index</i> (mm)
Tanpa Pengadukan	99.926
Pengadukan 3 Menit	103.263
Pengadukan 5 Menit	123.845
Ingot	~0

Didapatkan hasil *bifilm index* yang semakin tinggi seiring dengan bertambahnya durasi pengadukan. Namun hasil ini tidak berbanding lurus antara durasi pengadukan, dengan *bifilm* yang dihasilkan. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui secara pasti hubungan antara durasi pengadukan dan *bifilm index* yang dihasilkan.

#### 4.3. *Metallography*

Persiapan spesimen untuk pengambilan gambar mikrostruktur dilakukan pada 4 jenis spesimen yaitu pada ingot, dengan tanpa pengadukan, dengan pengadukan selama 3 menit, dan dengan pengadukan selama 5 menit. Semua jenis spesimen diberikan 3 macam perlakuan yaitu tanpa *artificial aging*, dengan *artificial aging* T6, dan dengan *artificial aging* T7. Semua spesimen yang telah *digrinding* dan *dipoles*, dietsa menggunakan *etchant* dengan komposisi 1 gram NaOH, dan 100 gram Aquades. Pencelupan spesimen ke dalam *etchant* dilakukan selama 1 menit, dan pembilasan dilakukan menggunakan ethanol.

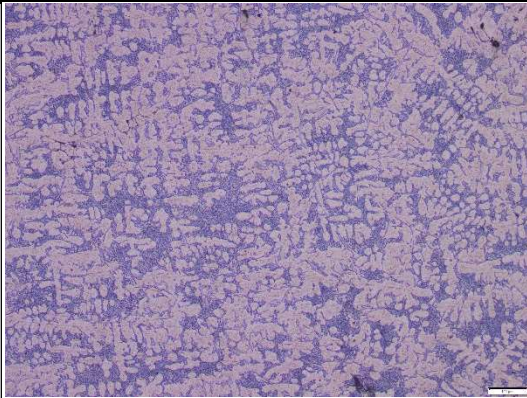
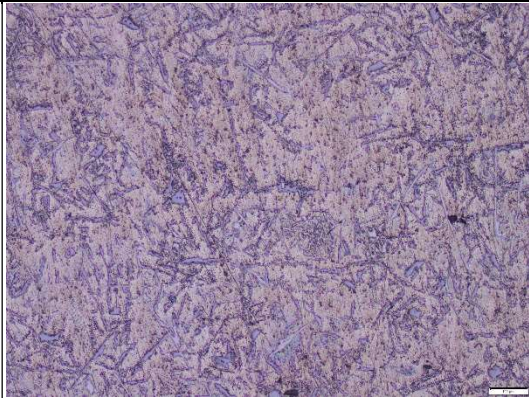
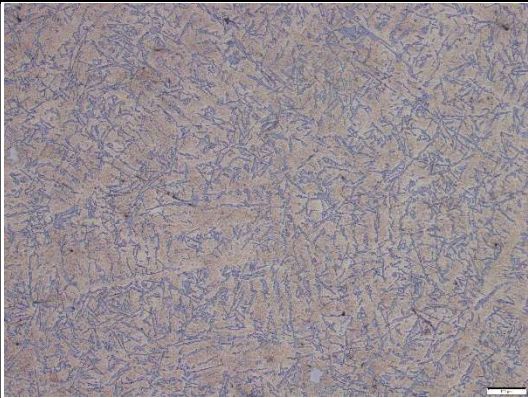
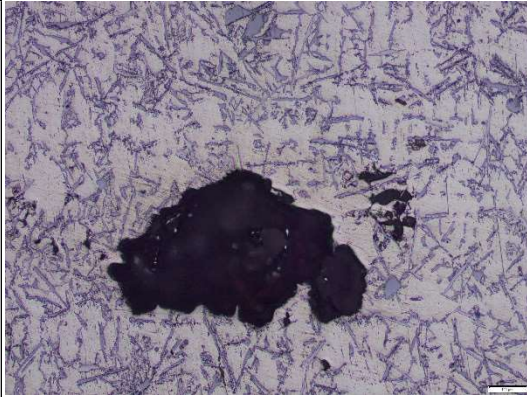
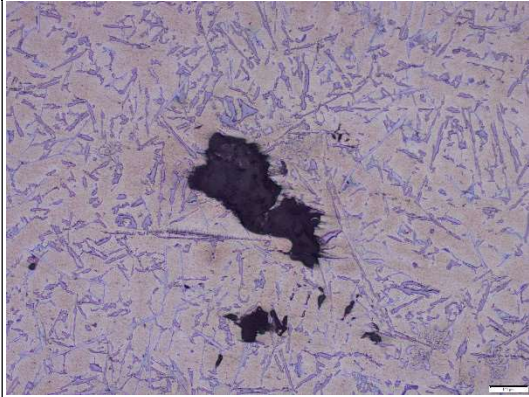
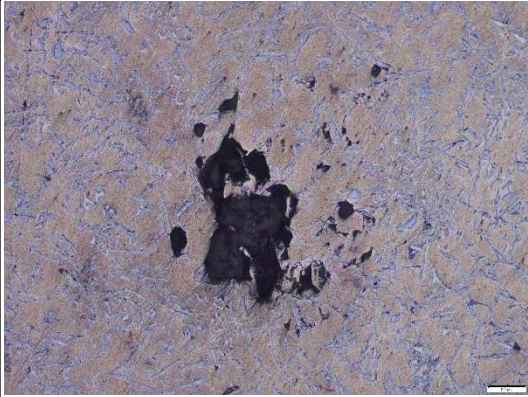
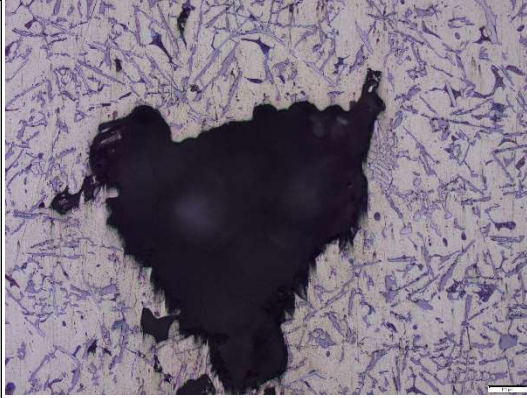
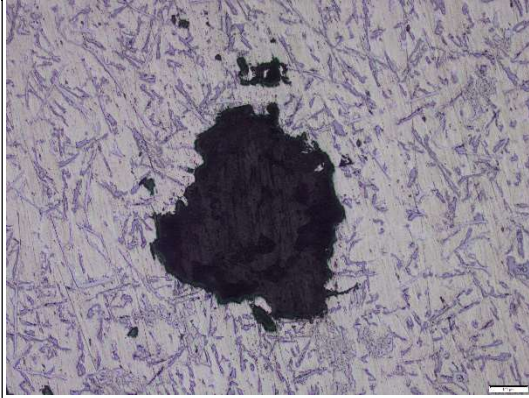
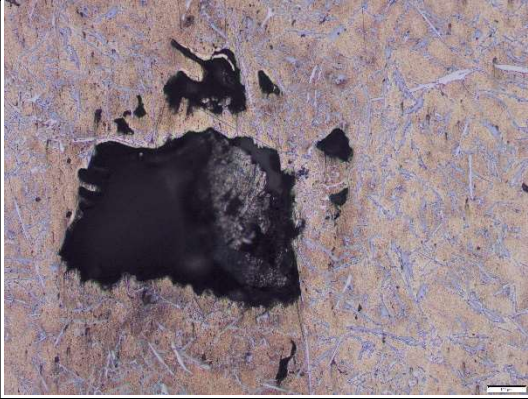
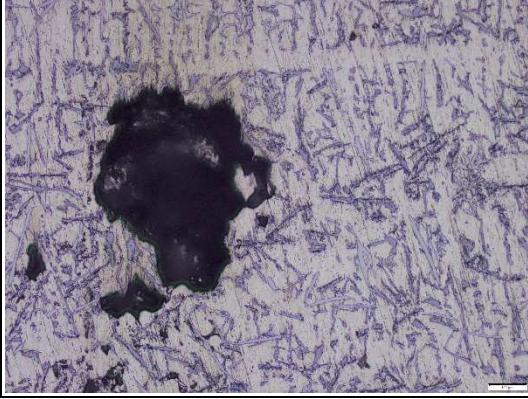
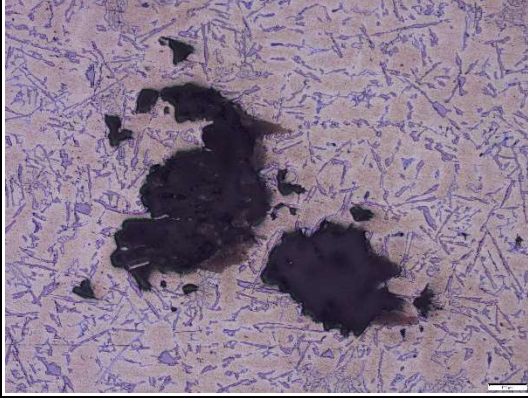
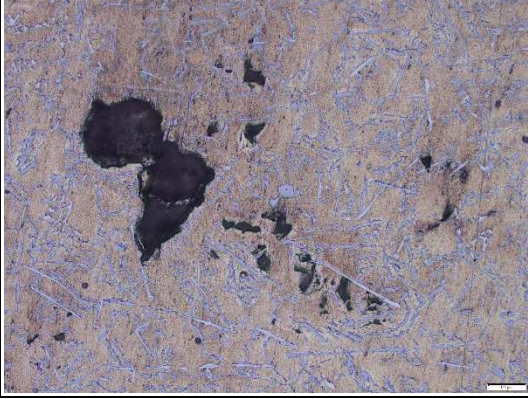
Pengambilan gambar dilakukan di 2 lokasi, yaitu di daerah dekat *bifilm*, dan di daerah yang jauh dari *bifilm*. Pengambilan gambar pada spesimen ingot tidak menunjukkan *bifilm* karena pada ingot tidak terdapat *bifilm*. Diambil 3 gambar dengan perbesaran yang berbeda di tiap lokasi yaitu perbesaran 100x, 500x, dan 1000x.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



4.3.1. Metalografi pada Perbesaran 100x

Tabel 4.3 Metalografi Spesimen Ingot dengan Variasi Perlakuan Cor dan *Artificial Aging* pada Perbesaran 100x

No	Jenis Spesimen	Tanpa <i>Artificial Aging</i>	<i>Artificial Aging</i> T6	<i>Artificial Aging</i> T7
1	Ingot			
2	Tanpa Pengadukan			
3	Pengadukan 3 Menit			
4	Pengadukan 5 Menit			





Nampak pada tabel 4.3 struktur mikro dari paduan ADC12 yang mendapatkan variasi durasi pengadukan saat cor, serta perlakuan *artificial aging*. Dilakukan identifikasi fasa berdasarkan bentuk yang telah diidentifikasi oleh peneliti lain (Kumar Shaha, 2015). Fasa  $\alpha$ -Aluminium nampak dengan jelas berbentuk dendrit pada spesimen ingot yang tidak mendapatkan perlakuan *artificial aging*, sedangkan pada spesimen lain tidak terlalu jelas. Hal ini disebabkan oleh kecepatan pendinginan yang berbeda. Pada spesimen selain spesimen ingot yang tidak mendapatkan perlakuan *artificial aging*, fasa silikon eutektik berbentuk seperti plat berwarna ungu. Fasa  $\pi$  pada spesimen yang tidak mendapatkan perlakuan *artificial aging* berbentuk seperti plat berwarna kelabu. Sedangkan jika diberi perlakuan *artificial aging* T6, fasa ini berubah bentuk menjadi seperti *ranting-ranting*, dan jika diberi perlakuan *artificial aging* T7, fasa ini berubah bentuk menjadi blok berukuran besar.

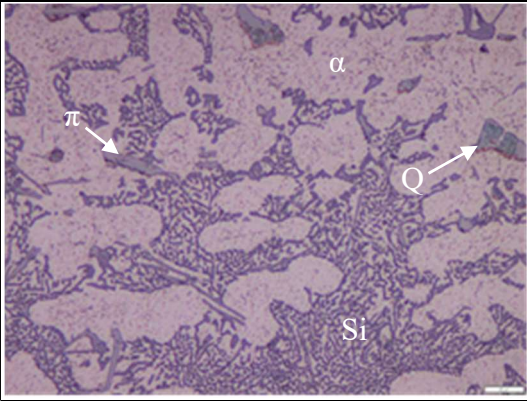
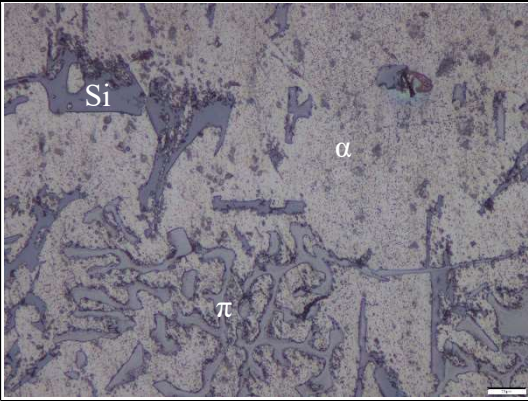
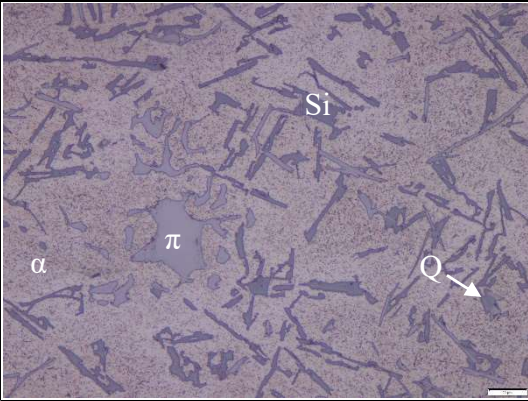
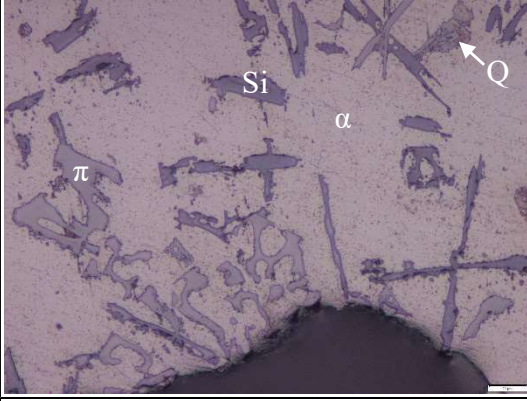
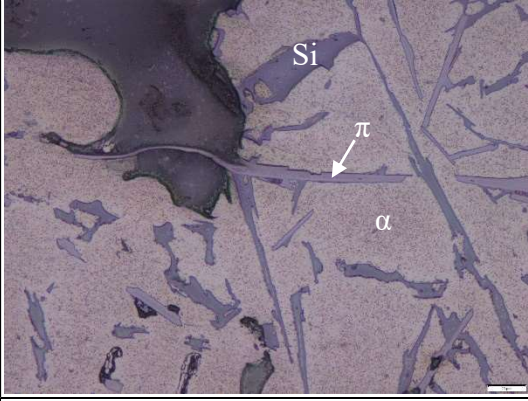
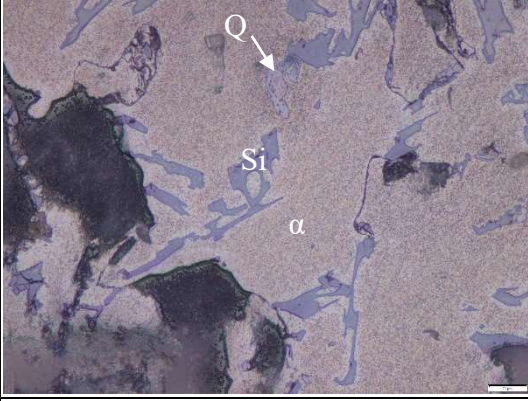

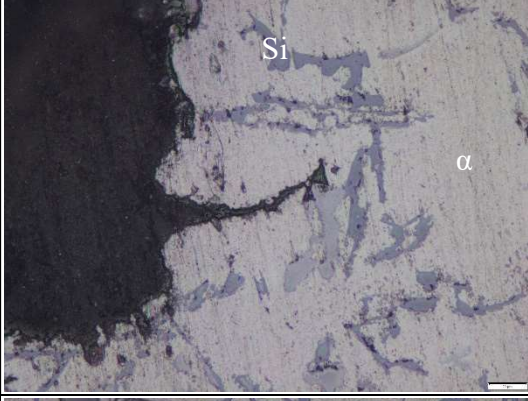

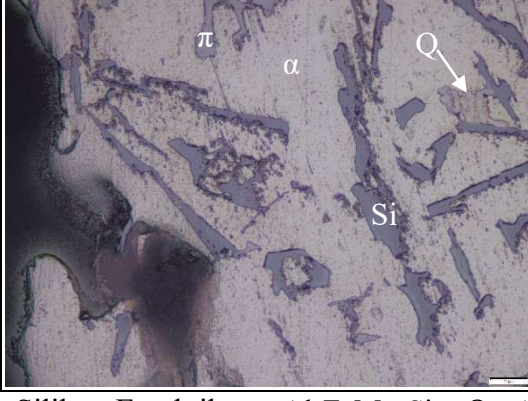
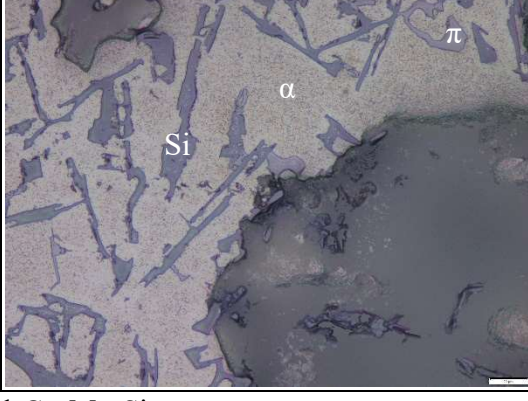
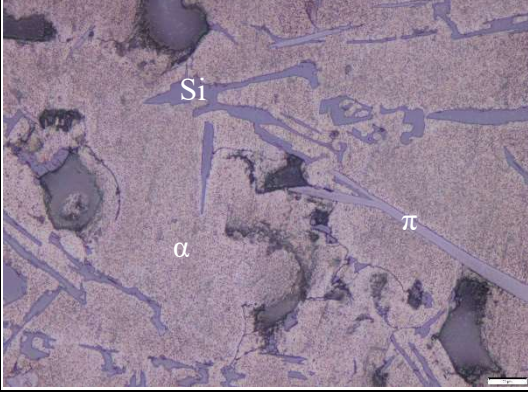
Fasa  $\theta$  pada spesimen yang tidak mendapatkan *artificial aging* berbentuk bongkah kecil berwarna kelabu. Perlakuan *artificial aging* T6 akan merubah bentuk fasa  $\theta$  menjadi presipitat  $\theta'$  berbentuk bintik-bintik kecil yang terdapat pada matriks  $\alpha$ -Aluminium. Presipitat ini merupakan salah satu komponen penting yang dapat meningkatkan kekerasan matriks  $\alpha$ -Aluminium. Selain presipitat  $\theta'$ , terdapat presipitat lain yaitu  $\beta'$  yang muncul setelah fasa Q mendapatkan perlakuan *artificial aging* T6. Presipitat  $\beta'$  juga terdapat pada matriks  $\alpha$ -Aluminium.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



4.3.2. Metalografi pada Perbesaran 500x

Tabel 4.4 Metalografi Spesimen Ingot dengan Variasi Perlakuan Cor dan *Artificial Aging* pada Perbesaran 500x

No	Jenis Spesimen	Tanpa Artificial Aging	Artificial Aging T6	Artificial Aging T7
1	Ingot			
2	Tanpa Pengadukan			
3	Pengadukan 3 Menit			
4	Pengadukan 5 Menit			

$\alpha$  :  $\alpha$ -Aluminium; Si : Silikon Eutektik;  $\pi$  :  $Al_8FeMg_3Si_6$ ; Q :  $Al_5Cu_2Mg_8Si_6$





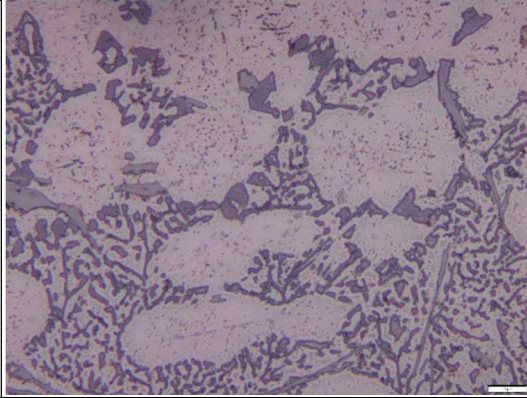

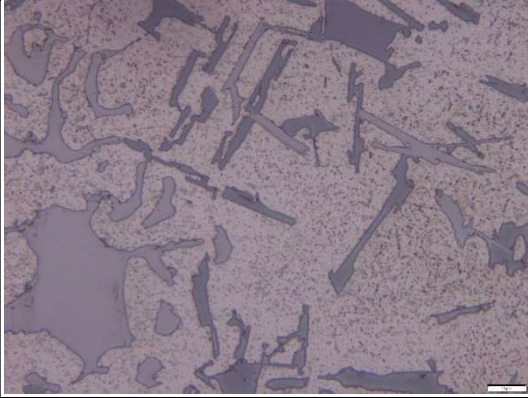
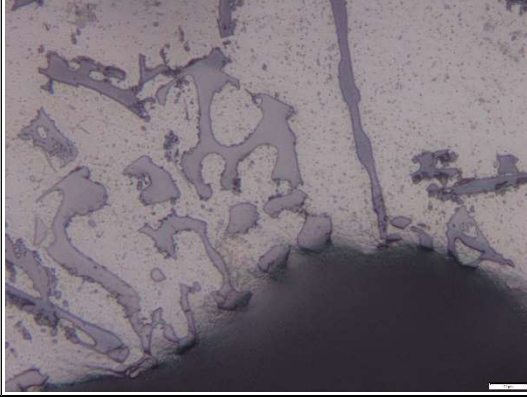




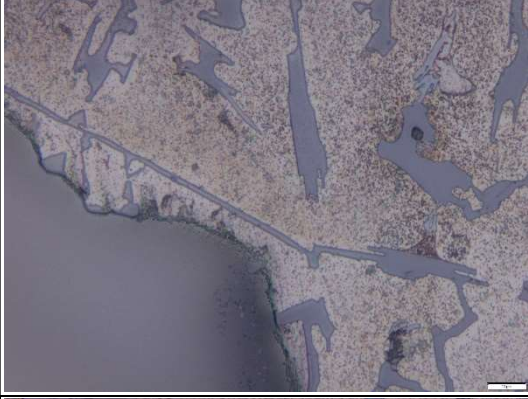


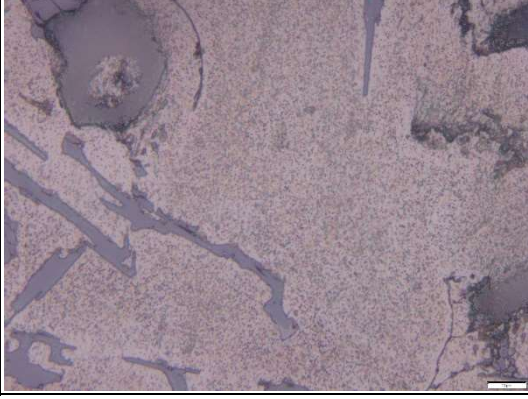
Nampak pada tabel 4.4, struktur mikro dari semua spesimen yang divariasikan perlakuan cor-nya, dan *artificial aging*-nya. Struktur mikro yang diambil pada perbesaran 500x ini menunjukkan informasi mengenai fasa-fasa yang terdapat pada paduan. Dapat kita lihat pada perbesaran 500x terdapat fasa-fasa yang nampak baik pada spesimen yang tidak mendapatkan *artificial aging*, maupun yang mendapatkan *artificial aging* T6, atau T7. Fasa yang nampak pada ketiga perlakuan panas ini adalah  $\alpha$ -Aluminium, Silikon Eutektik, dan  $\pi$  ( $\text{Al}_8\text{FeMg}_3\text{Si}_6$ ). Fasa lainnya nampak muncul, dan hilang ketika diberi perbedaan perlakuan *artificial aging*. Fasa-fasa yang dimaksud adalah  $\theta$  ( $\text{Al}_2\text{Cu}$ ), dan Q ( $\text{Al}_5\text{Cu}_2\text{Mg}_8\text{Si}_6$ ).

Unsur Cu dan Mg yang terdapat di dalam paduan dapat membentuk fasa  $\theta'$  ( $\text{Al}_2\text{Cu}$ ) dan  $\beta'$  ( $\text{Mg}_2\text{Si}$ ) yang terdistribusi pada matriks  $\alpha$ -Aluminium. Dapat kita lihat pada hasil *artificial aging* T6 dan T7 bahwa pada matriks  $\alpha$ -Aluminium terdapat bintik-bintik yang merupakan presipitat  $\theta'$  dan  $\beta'$ . Pada daerah sekeliling bifilm spesimen tanpa pengadukan hasil *artificial aging* T6, nampak muncul banyak presipitat yang populasinya nampak lebih banyak daripada daerah yang jauh dari bifilm. Namun hal ini tidak terjadi di seluruh bagian keliling presipitat. Keliling bifilm yang terdapat fasa silikon eutektik nampak tidak menunjukkan kenaikan populasi presipitat. Presipitat ini nampak makin jelas pada perbesaran 1000x pada tabel 4.5.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

4.3.3. Metalografi pada Perbesaran 1000x

Tabel 4.5 Metalografi Spesimen Ingot dengan Variasi Jenis Spesimen dan *Artificial Aging* pada Perbesaran 1000x

No	Jenis Spesimen	Tanpa <i>Artificial Aging</i>	<i>Artificial Aging</i> T6	<i>Artificial Aging</i> T7
1	Ingot			
2	Tanpa Pengadukan			
3	Pengadukan 3 Menit			
4	Pengadukan 5 Menit			

θ' berupa bintik-bintik hitam / kelabu



Pada tabel 4.5, presipitat  $\theta'$  dan  $\beta'$  dapat kita lihat dengan jelas terdapat pada matriks  $\alpha$ -Aluminium. Presipitat ini muncul pada spesimen yang mendapatkan perlakuan artificial aging T6, atau T7. Nampak distribusi yang berbeda pada daerah yang dekat dengan fasa silikon eutektik. Terdapat daerah yang menyerupai garis putih mengelilingi silikon eutektik. Garis ini berukuran tebal pada spesimen yang mendapatkan perlakuan *artificial aging* T6, dan berukuran tipis pada spesimen yang mendapatkan perlakuan *artificial aging* T7. Garis ini tidak nampak pada spesimen yang tidak mendapatkan perlakuan *artificial aging*. Garis ini bisa jadi timbul karena efek etsa yang digunakan, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai garis ini.

**Tabel 4.6** Fasa pada Spesimen Tanpa *Artificial Aging*, *Artificial Aging* T6, dan *Artificial Aging* T7

No	Tanpa <i>Artificial Aging</i>			<i>Artificial Aging</i> T6			<i>Artificial Aging</i> T7		
	Kode Fasa	Rumus Kimia	Morfologi	Kode Fasa	Rumus Kimia	Morfologi	Kode Fasa	Rumus Kimia	Morfologi
1	$\alpha$	Al	Dendritik	$\alpha$	Al	Dendritik	$\alpha$	Al	Dendritik
2	Si	Si	Eutektik Ungu	Si	Si	Eutektik Ungu	Si	Si	Eutektik Ungu
3	$\theta$	$Al_2Cu$	Bongkah Kecil Kelabu	$\theta'$	$Al_2Cu$	Bintik Kecil pada Matriks $\alpha$ -Aluminium	$\theta$	$Al_2Cu$	Bongkah Kecil Kelabu
4	Q	$Al_3Cu_2Mg_5Si_6$	Huruf Cina	$\beta'$	$Mg_2Si$	Bintik Kecil pada Matriks $\alpha$ -Aluminium	Q	$Al_3Cu_2Mg_5Si_6$	Huruf Cina
5	$\pi$	$Al_8FeMg_5Si_6$	Jarum Kelabu	$\pi$	$Al_8FeMg_5Si_6$	Ranting Kelabu	$\pi$	$Al_8FeMg_5Si_6$	Bongkah Kelabu

Pada tabel 4.5 disajikan fasa-fasa yang nampak pada paduan ADC12 yang mendapatkan 3 perlakuan berbeda yaitu, tanpa *artificial aging*, *artificial aging* T6, dan *artificial aging* T7. Perbedaan perlakuan lama pengadukan saat cor menunjukkan morfologi fasa-fasa yang tidak berbeda. Hasil uji struktur mikro menunjukkan bahwa fasa  $\theta$  dan Q terpengaruh dengan adanya perlakuan *artificial aging*. Fasa  $\theta$  dan Q ini berubah menjadi  $\theta'$  dan  $\beta'$  saat

mendapatkan perlakuan *artificial aging* T6, serta kembali menjadi  $\theta$  dan Q dengan ukuran besar saat mendapatkan perlakuan *artificial aging* T7. Fasa  $\alpha$ , Si, dan  $\pi$  tidak terpengaruh dengan adanya perlakuan *artificial aging*. Fasa Si dapat terpengaruh oleh *artificial aging* dengan memberikan perlakuan *solution treatment*-nya dengan durasi yang lebih lama. Pada percobaan ini dilakukan perlakuan *solution treatment* selama 15 menit hanya untuk melarutkan semua unsur Cu, dan Mg ke dalam fasa  $\alpha$ -Aluminium untuk menghasilkan fasa  $\alpha$  *super saturated solid solution* yang digunakan untuk proses *precipitation hardening*.

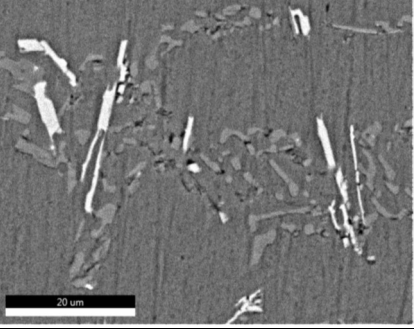
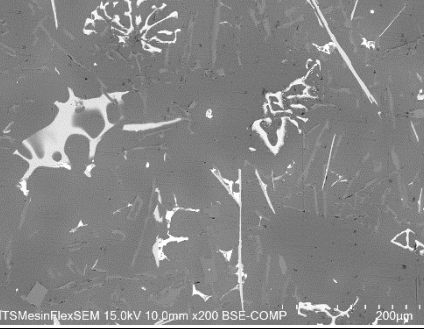
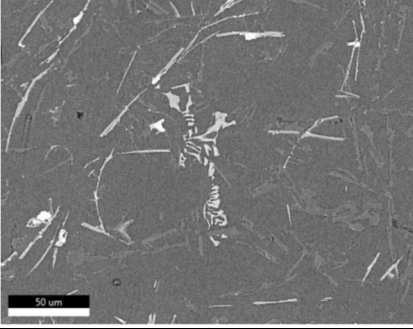
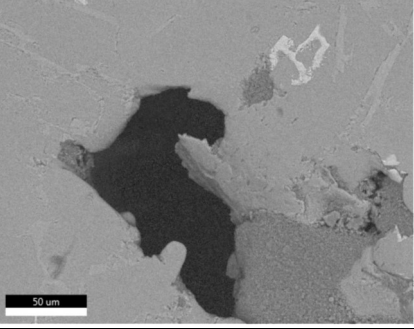
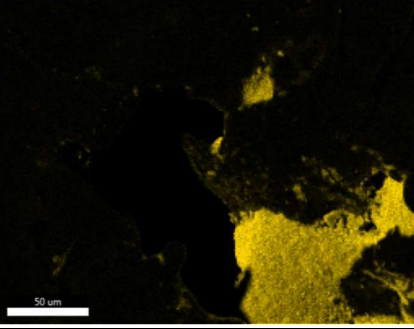
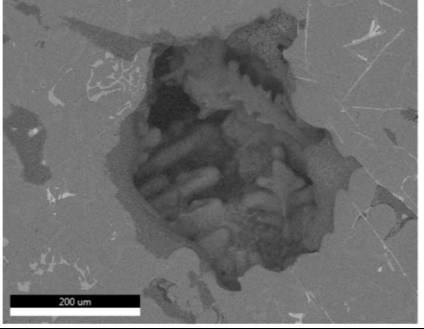
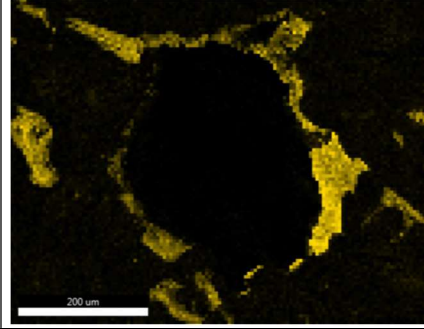
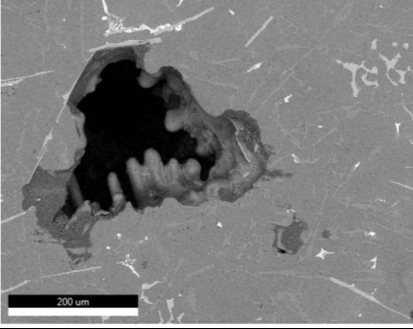
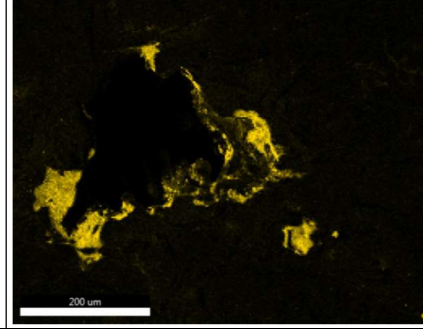
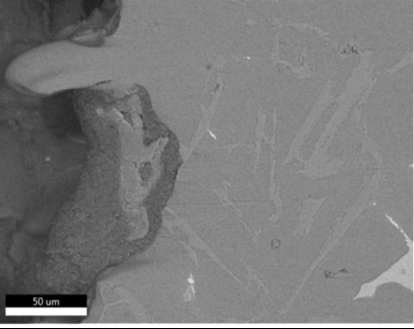
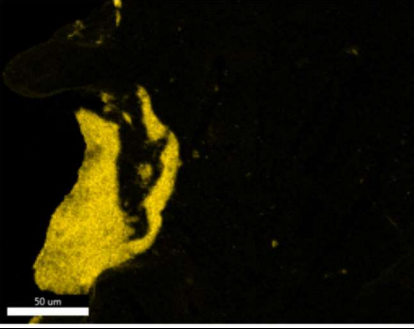

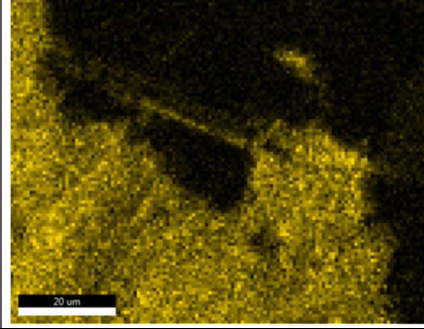
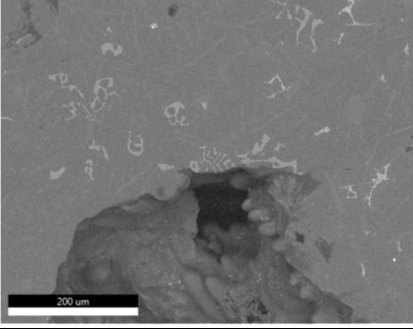
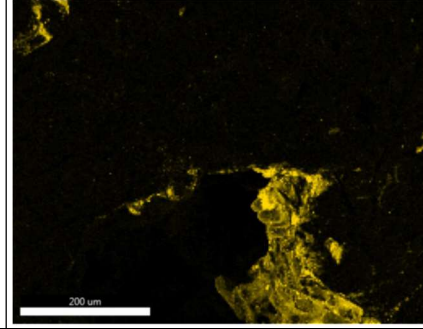
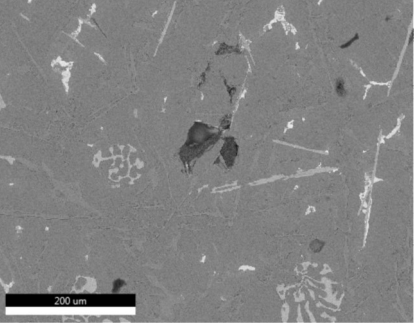
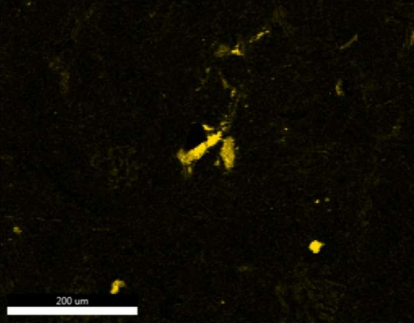
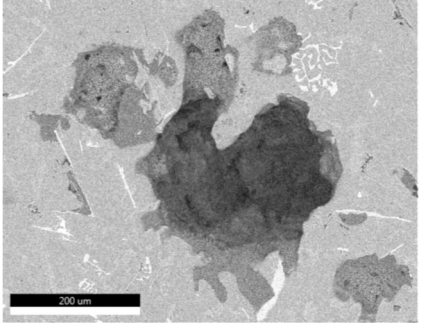
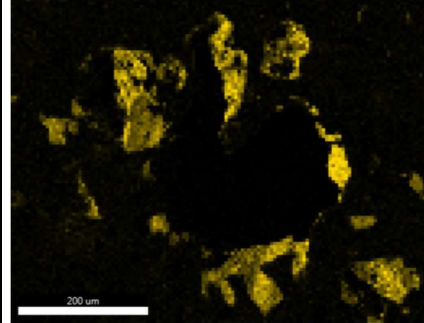
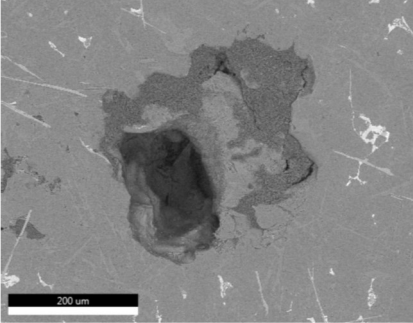
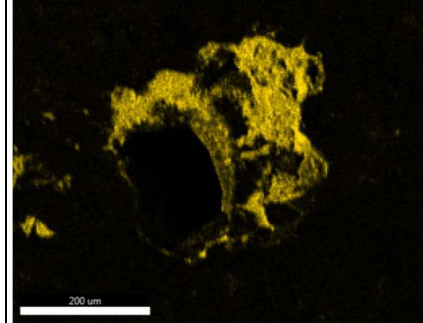
#### 4.4. *Mapping Electron Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS/EDX)*

Pengujian sebaran unsur (*Mapping EDS*) dilakukan kepada semua spesimen dengan lokasi yang dipilih adalah lokasi yang dekat dengan *bifilm*. Pengujian sebaran unsur difokuskan untuk mengamati distribusi dari presipitat  $\theta'$  dan  $\beta'$  serta fasa  $\theta$  dan Q. Oleh karena itu, pengujian sebaran unsur diatur untuk mendeteksi unsur Cu, Mg, dan O. Unsur Cu dan Mg dicari karena merupakan unsur penyusun presipitat  $\theta'$  dan  $\beta'$  serta fasa  $\theta$  dan Q. Sedangkan unsur O dicari untuk mengetahui letak *bifilm*, serta menganalisa interaksinya dengan presipitat. Hasil pengujian sebaran unsur disajikan dalam tabel 4.7, 4.8, dan 4.9.



4.4.1. Sebaran Unsur Oksigen

Tabel 4.7 Sebaran Unsur Oksigen pada Lokasi Bifilm

No	Jenis Spesimen	Tanpa <i>Artificial Aging</i>		<i>Artificial Aging T6</i>		<i>Artificial Aging T7</i>	
		Surface Composition	Sebaran Unsur Oksigen	Surface Composition	Sebaran Unsur Oksigen	Surface Composition	Sebaran Unsur Oksigen
1	Ingot		-		-		-
2	Tanpa Pengadukan						
3	Pengadukan 3 Menit						
4	Pengadukan 5 Menit						



Nampak pada tabel 4.7 sebaran unsur oksigen yang ditandai dengan warna kuning. Pada dinding pori terdeteksi adanya unsur oksigen yang menunjukkan bahwa di dalam pori terdapat bifilm. Bifilm ini tidak utuh melapisi semua bagian dinding pori karena bifilm robek saat solidifikasi. Dinding pori yang letaknya terlalu jauh di bawah permukaan yang diobservasi, tidak dapat terdeteksi karena keterbatasan kemampuan mesin. Kedalaman lebih dari 5  $\mu\text{m}$  tidak dapat diamati oleh mesin penguji sebaran unsur.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



4.4.2. Sebaran Unsur Tembaga

Tabel 4.8 Sebaran Unsur Tembaga pada Lokasi *Bifilm*

No	Jenis Spesimen	Tanpa <i>Artificial Aging</i>		<i>Artificial Aging T6</i>		<i>Artificial Aging T7</i>	
		Surface Composition	Sebaran Unsur Tembaga	Surface Composition	Sebaran Unsur Tembaga	Surface Composition	Sebaran Unsur Tembaga
1	Ingot						
2	Tanpa Pengadukan						
3	Pengadukan 3 Menit						
4	Pengadukan 5 Menit						





Unsur tembaga pada paduan ADC12 nampak pada tabel 4.8 dengan warna hijau. Pada spesimen yang tidak mendapatkan *artificial aging*, unsur ini nampak sebagian tersebar pada matriks  $\alpha$ -Aluminium, dan sebagian membentuk fasa  $\theta$ . Pada kondisi setelah diberi *artificial aging* T6, unsur Cu membentuk presipitat  $\theta'$  ( $\text{Al}_2\text{Cu}$ ) yang terdistribusi merata di matriks  $\alpha$ -Aluminium. Pada kondisi T6 juga nampak terdapat beberapa unsur Cu yang nampak berkumpul membentuk fasa. Fasa ini dapat diakibatkan oleh durasi *solution treatment* yang kurang lama sehingga fasa stabil  $\theta$  tidak sepenuhnya terlarut pada  $\alpha$ -Aluminium. Sedangkan pada kondisi setelah diberi *artificial aging* T7, unsur Cu membentuk fasa  $\theta$  ( $\text{Al}_2\text{Cu}$ ) dan Q ( $\text{Al}_5\text{Cu}_2\text{Mg}_8\text{Si}_6$ ) yang berukuran besar.

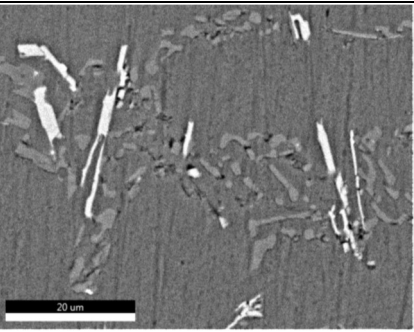
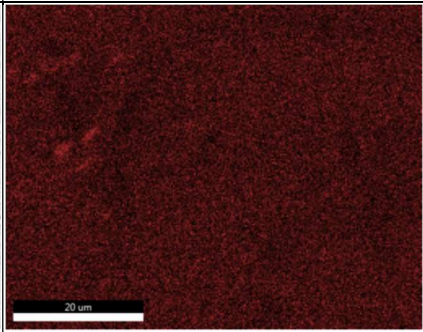
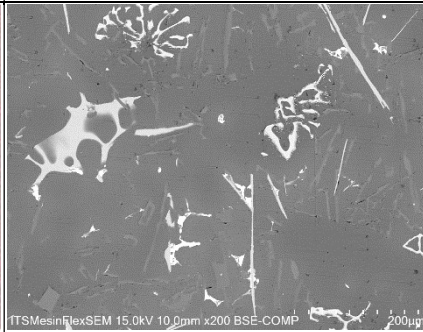
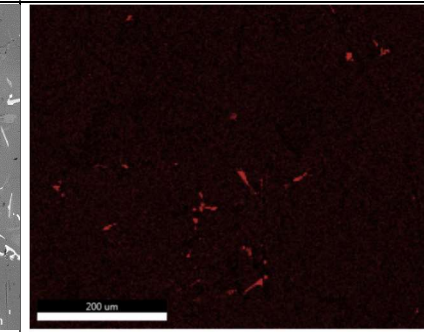
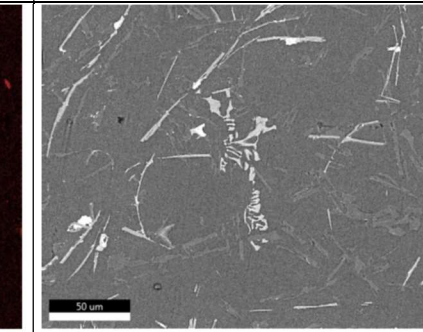
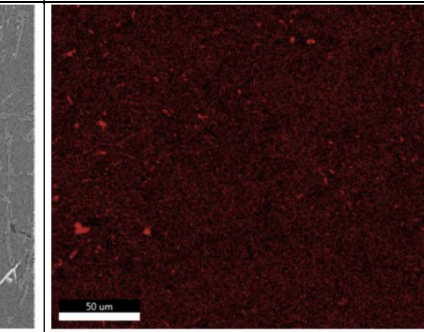
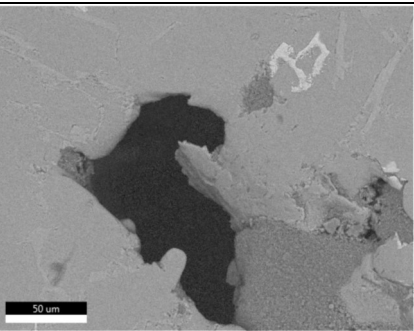
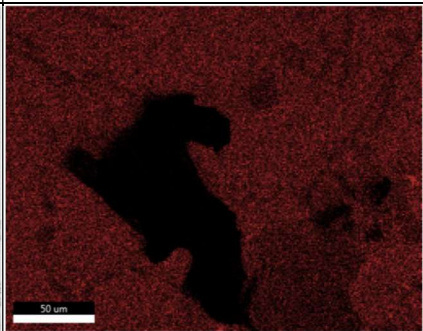
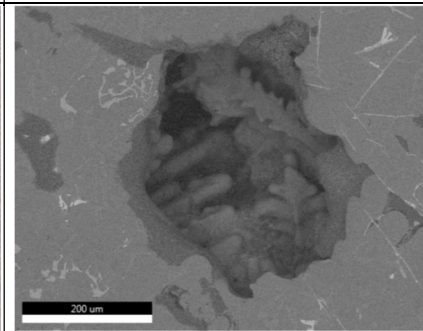
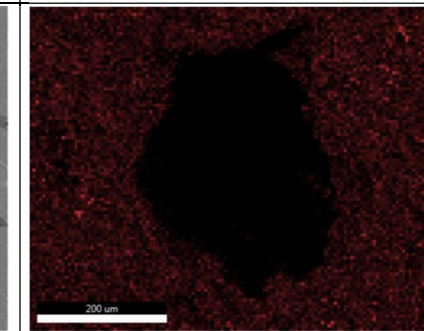
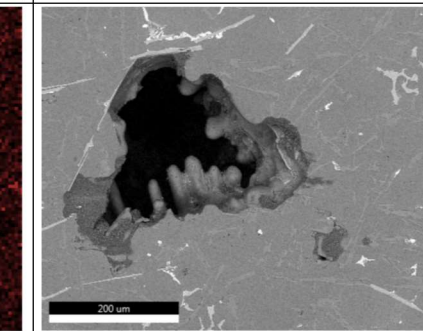
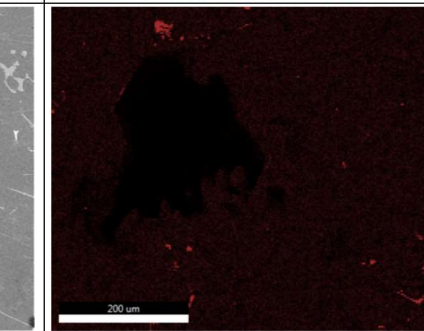
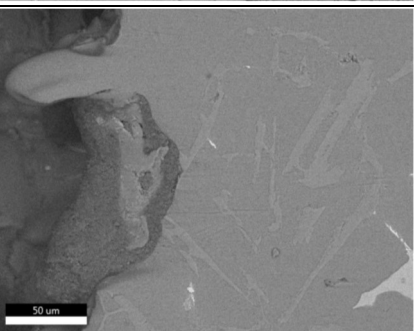
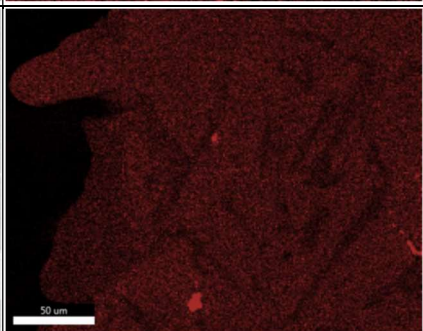

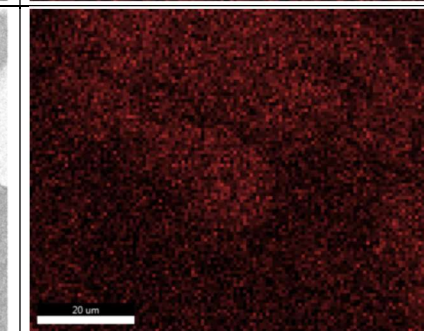
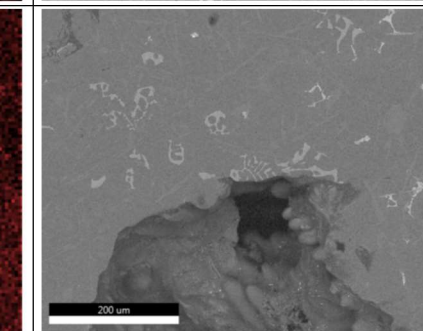
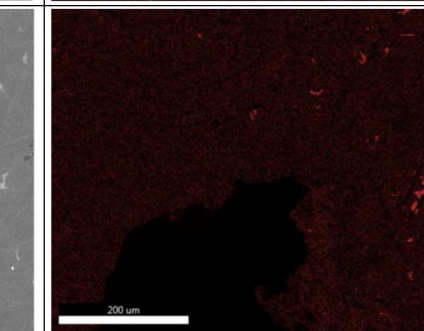
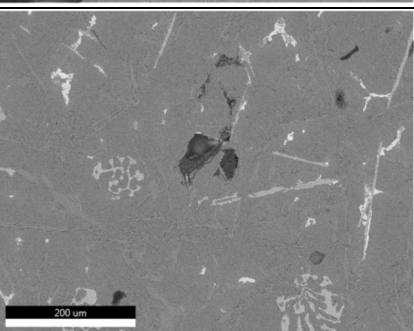
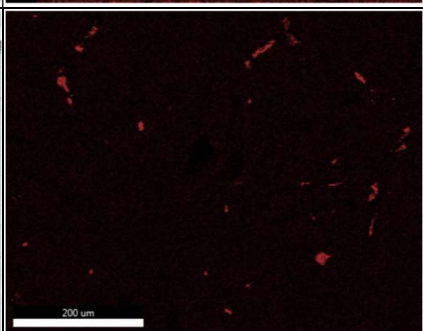
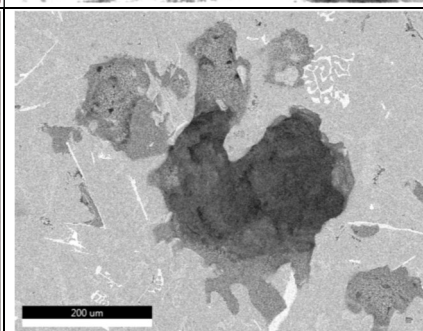
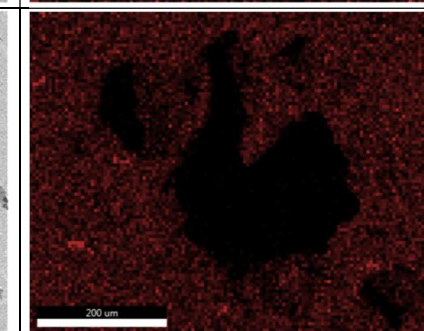
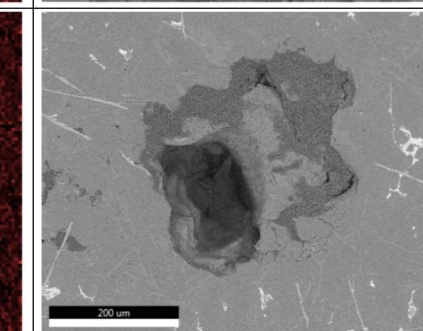
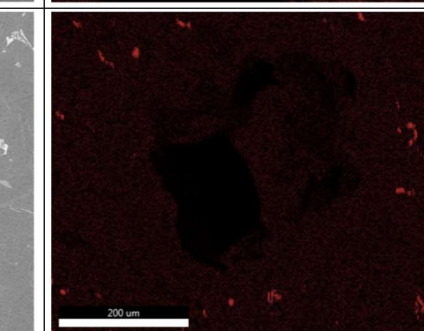
Interaksi antara *bifilm* dengan presipitat ini masih belum dapat nampak dengan jelas ketika dilihat menggunakan pengujian sebaran unsur. Di sekitar *bifilm* tidak nampak terdapat perubahan populasi presipitat. Hal ini berbeda dengan hasil pengujian metalografi yang menunjukkan terdapat perbedaan antara di sekeliling *bifilm* dengan matriks  $\alpha$ -Aluminium yang jauh dari *bifilm*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



4.4.3. Sebaran Unsur Magnesium

Tabel 4.9 Sebaran Unsur Magnesium pada Lokasi *Bifilm*

No	Jenis Spesimen	Tanpa <i>Artificial Aging</i>		<i>Artificial Aging T6</i>		<i>Artificial Aging T7</i>	
		Surface Composition	Sebaran Unsur Magnesium	Surface Composition	Sebaran Unsur Magnesium	Surface Composition	Sebaran Unsur Magnesium
1	Ingot						
2	Tanpa Pengadukan						
3	Pengadukan 3 Menit						
4	Pengadukan 5 Menit						





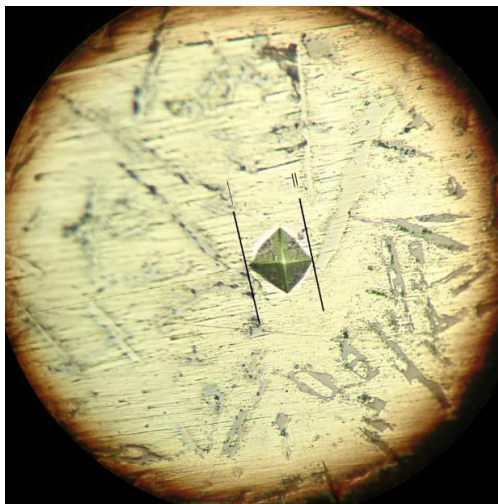
Pada tabel 4.9 nampak hasil pengujian sebaran unsur Magnesium yang ditandai dengan warna merah. Nampak bahwa unsur Mg pada spesimen yang tidak mendapatkan *artificial aging* memiliki lebih banyak titik-titik merah yang tersebar merata di matriks  $\alpha$ -Aluminium. Unsur ini nampak sebagian membentuk fasa  $\beta$  ( $Mg_2Si$ ) yang berukuran cukup besar.

Pada spesimen dengan pengadukan 5 menit, pengujian sebaran unsur dilakukan pada perbesaran yang sama terhadap spesimen yang diberi perlakuan *artificial aging* yang berbeda. Perlakuan *artificial aging* nampak memberikan pengaruh terhadap distribusi dari unsur Mg ini. Dapat kita lihat bahwa pada spesimen yang tidak mendapatkan *artificial aging*, unsur Mg banyak membentuk fasa  $\beta$ . Sedangkan ketika diberi perlakuan *artificial aging* T6, unsur ini terdistribusi lebih merata pada matriks  $\alpha$ -Aluminium membentuk presipitat  $\beta'$ . Perlakuan *artificial aging* T7 pada spesimen ini menunjukkan perubahan pada unsur Mg, dimana unsur Mg membentuk fasa  $\beta$  dan tidak tersebar merata pada matriks  $\alpha$ -Aluminium sebagai fasa  $\beta'$ .

#### 4.5. Uji *Microhardness*

Dilakukan pengujian *microhardness* pada semua spesimen. Pengujian dilakukan menggunakan pembebanan sebesar 0.25 Newton pada matriks  $\alpha$ -Aluminium yang terdapat di dekat *bifilm*, dan di daerah yang jauh dari *bifilm* sebanyak 3 kali. Pengujian di dekat *bifilm* yang memberikan hasil terlalu rendah akan diulang pada posisi lain karena menghindari adanya rongga tepat dibawah lokasi pengujian sehingga menurunkan nilai kekerasan fasa  $\alpha$ -Aluminium. Ketebalan minimal dari daerah tapak tekan menurut spesifikasi mesin adalah 60  $\mu m$ . Contoh pengujian *microhardness* pada fasa  $\alpha$ -Aluminium terdapat pada gambar 4.2. Data yang didapatkan dari mesin pengujian *microhardness* berupa tabel yang contohnya dapat dilihat pada gambar 4.3. Hasil pengujian *microhardness* matriks  $\alpha$ -Aluminium pada daerah yang dekat

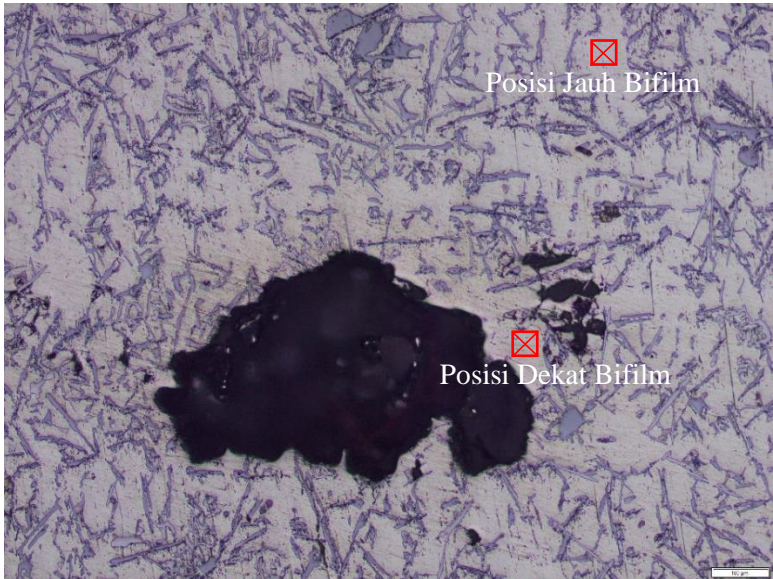
dengan *bifilm*, dan jauh dari *bifilm* dituangkan dalam tabel 4.8 dan 4.9 dengan satuan HV.



**Gambar 4.2** Contoh Pengujian *Microhardness* pada Fasa  $\alpha$ -Aluminium

No.	HV	L 1	L 2	HRC	Ju
1	96.9	21.87	21.87	---	OK
2	103	21.22	21.22	---	OK
3	103	21.48	20.89	---	OK

**Gambar 4.3** Contoh Tabel Data Hasil Pengujian *Microhardness* pada Fasa  $\alpha$ -Aluminium



**Gambar 4.4** Ilustrasi Tapak Tekan *Microhardness* dengan Posisi Dekat dan Jauh dari *Bifilm*

**Tabel 4.9** *Microhardness* Matriks  $\alpha$ -Aluminium yang Dekat dengan *Bifilm*

No	Nama Spesimen		Posisi	HRV 1 (HV)	HRV 2 (HV)	HRV 3 (HV)	Rerata (HV)	Standar Deviasi
	Kode Cor	Perlakuan Aging						
1	0	No	-	74.6	78.6	75.5	76.233	1.71335
2	1	No	Dekat	74.7	74.2	71	73.3	1.63911
3	2	No	Dekat	75.1	77.9	73.7	75.567	1.74611
4	3	No	Dekat	78.2	72	74.3	74.833	2.55908
5	0	T6	-	96.9	103	103	100.97	2.87557
6	1	T6	Dekat	63.6	65.9	64.5	64.667	0.94634
7	2	T6	Dekat	63.9	64.6	67.4	65.3	1.51217
8	3	T6	Dekat	71.1	69.9	68.9	69.967	0.89938
9	0	T7	-	66	63.4	68.6	66	2.12289
10	1	T7	Dekat	55.1	58.4	55.3	56.267	1.5107
11	2	T7	Dekat	54.7	57.3	53.4	55.133	1.62138
12	3	T7	Dekat	56.4	51.4	56.3	54.7	2.33381

0 : Ingot; 1 : Tanpa Pengadukan; 2 : Pengadukan 3 Menit; 3 : Pengadukan 5 Menit

**Tabel 4.10** *Microhardness* Matriks  $\alpha$ -Aluminium yang Jauh dari *Bifilm*

No	Nama Spesimen		Posisi	HRV 1 (HV)	HRV 2 (HV)	HRV 3 (HV)	Rerata (HV)	Standar Deviasi
	Kode Cor	Perlakuan Aging						
1	0	No	-	74.6	78.6	75.5	76.233	1.71335
2	1	No	Jauh	75.5	77.7	78.4	77.2	1.23558
3	2	No	Jauh	76.9	72.4	73.8	74.367	1.88031
4	3	No	Jauh	77.8	78.8	74.2	76.933	1.9754
5	0	T6	-	96.9	103	103	100.97	2.87557
6	1	T6	Jauh	61.1	62.2	63	62.1	0.77889
7	2	T6	Jauh	61.8	63.6	65.2	63.533	1.38884
8	3	T6	Jauh	61.7	65.2	66.5	64.467	2.02704
9	0	T7	-	66	63.4	68.6	66	2.12289
10	1	T7	Jauh	57.4	58.1	58.1	57.867	0.32998
11	2	T7	Jauh	52.8	53.9	51	52.567	1.19536
12	3	T7	Jauh	54.9	54	55.6	54.833	0.6549

0 : Ingot; 1 : Tanpa Pengadukan; 2 : Pengadukan 3 Menit; 3 : Pengadukan 5 Menit

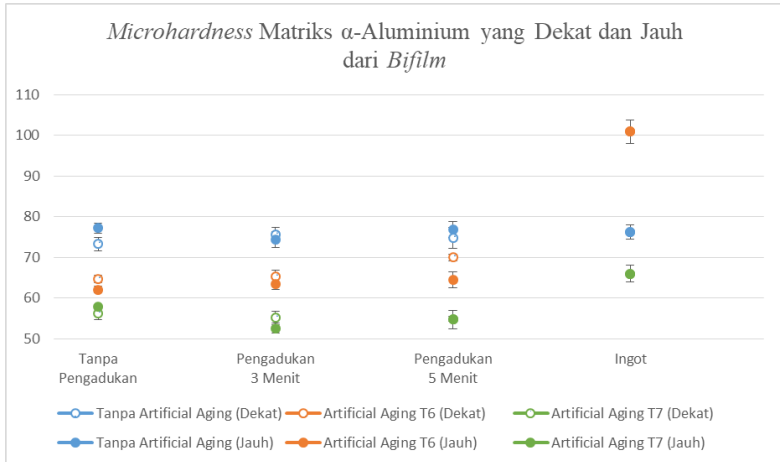
Didapatkan hasil yang menunjukkan nilai kekerasan tertinggi pada spesimen ingot (*artificial aging* T6) sebesar 103 HV dengan rata-rata sebesar 100.97 HV. Sedangkan nilai kekerasan terendah pada spesimen pengadukan 3 menit (*artificial aging* T7) yang lokasinya jauh dari *bifilm* sebesar 51 HV. Spesimen yang mendapatkan perlakuan *artificial aging* T6 menunjukkan kekerasan yang lebih tinggi dibanding dengan spesimen yang mendapatkan perlakuan *artificial aging* T7. Hal ini berlaku untuk spesimen dengan nilai *bifilm index* tinggi, maupun rendah. Namun, spesimen yang berasal dari ingot (nilai *bifilm index* rendah) memiliki kekerasan matriks  $\alpha$ -Aluminium yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan spesimen dengan nilai *bifilm* tinggi yang perlakuan *artificial aging*-nya sama (sebagai contoh Ingot T6 memiliki kekerasan rerata 101 HV, sedangkan spesimen pengadukan 5 menit memiliki kekerasan rerata 64,467 HV). Spesimen yang tidak mendapatkan *artificial aging* menunjukkan nilai kekerasan matriks  $\alpha$ -Aluminium yang relative sama yaitu sekitar 75 HV, baik pada ingot maupun pada spesimen yang memiliki nilai *bifilm index* yang tinggi.

**Tabel 4.11** *Microhardness* Matriks  $\alpha$ -Aluminium pada Daerah yang Dekat dan Jauh dari *Bifilm*

No	Nama Spesimen		Posisi	HRV 1	HRV 2	HRV 3	Rerata	Standar Deviasi
	Kode Cor	Perlakuan Aging						
1	0	No	-	74.6	78.6	75.5	76.233	1.713346303
2	1	No	Dekat	74.7	74.2	71	73.3	1.639105447
			Jauh	75.5	77.7	78.4	77.2	1.235583533
3	2	No	Dekat	75.1	77.9	73.7	75.567	1.74610678
			Jauh	76.9	72.4	73.8	74.367	1.880307303
4	3	No	Dekat	78.2	72	74.3	74.833	2.559079696
			Jauh	77.8	78.8	74.2	76.933	1.975404319
5	0	T6	-	96.9	103	103	100.97	2.875567577
6	1	T6	Dekat	63.6	65.9	64.5	64.667	0.946337971
			Jauh	61.1	62.2	63	62.1	0.778888096
7	2	T6	Dekat	63.9	64.6	67.4	65.3	1.51217283
			Jauh	61.8	63.6	65.2	63.533	1.388844444
8	3	T6	Dekat	71.1	69.9	68.9	69.967	0.899382504
			Jauh	61.7	65.2	66.5	64.467	2.027039439
9	0	T7	-	66	63.4	68.6	66	2.12289111
10	1	T7	Dekat	55.1	58.4	55.3	56.267	1.510702559
			Jauh	57.4	58.1	58.1	57.867	0.329983165
11	2	T7	Dekat	54.7	57.3	53.4	55.133	1.621384868
			Jauh	52.8	53.9	51	52.567	1.195361405
12	3	T7	Dekat	56.4	51.4	56.3	54.7	2.333809475
			Jauh	54.9	54	55.6	54.833	0.65489609

0 : Ingot; 1 : Tanpa Pengadukan; 2 : Pengadukan 3 Menit; 3 : Pengadukan 5 Menit





**Gambar 4.5** Grafik Nilai *Microhardness* Matriks  $\alpha$ -Aluminium yang Dekat dan Jauh dari *Bifilm*.

Kekerasan mikro pada daerah yang dekat dengan *bifilm*, dengan daerah yang jauh dari *bifilm* menunjukkan perbedaan yang signifikan pada spesimen hasil *artificial aging* T6, maupun T7. Pada spesimen hasil *artificial aging* T6, daerah yang dekat dengan *bifilm* selalu menunjukkan kekerasan mikro yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah yang jauh dari *bifilm* (sebagai contoh pada spesimen pengadukan 5 menit, kekerasan mikro matriks  $\alpha$ -Aluminium pada daerah yang dekat dengan *bifilm* sebesar 69,967 HV, dan daerah yang jauh dari *bifilm* sebesar 64.467 HV). Sedangkan pada spesimen yang tidak mendapatkan *artificial aging*, serta mendapatkan *artificial aging* T7 menunjukkan nilai kekerasan mikro  $\alpha$ -Aluminium yang tidak selalu lebih keras pada daerah dekat dengan *bifilm*.

#### 4.6. Ringkasan Analisis

Hasil metalografi pada spesimen *artificial aging* T6 menunjukkan terjadi peningkatan populasi presipitat pada matriks  $\alpha$ -Aluminium di sekeliling *bifilm*. Hasil pengujian *microhardness*

menunjukkan hasil yang serupa, dimana kekerasan mikro matriks  $\alpha$ -Aluminium di sekitar *bifilm* nampak mengalami peningkatan. Peningkatan kekerasan mikro dari matriks  $\alpha$ -Aluminium diakibatkan oleh bertambah banyaknya presipitat  $\theta'$  ( $\text{Al}_2\text{Cu}$ ) dan  $\beta'$  ( $\text{Mg}_2\text{Si}$ ).

Perbedaan distribusi presipitat pada spesimen *artificial aging* T6 dengan spesimen yang tidak mendapatkan *artificial aging* dapat dibedakan dengan mudah pada pengujian sebaran unsur (*Mapping* EDS). Nampak dengan jelas bahwa presipitat yang diwakilkan oleh unsur Cu pada hasil *artificial aging* T6 memiliki distribusi yang lebih merata dari spesimen tanpa *artificial aging*. Namun, perbedaan distribusi presipitat pada daerah dekat *bifilm* dan jauh *bifilm* tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Meskipun hasil pengujian *microhardness* menunjukkan bahwa di sekeliling *bifilm* memiliki kekerasan mikro yang lebih tinggi (populasi presipitat lebih banyak), perbedaan distribusinya tidak nampak signifikan pada pengujian sebaran unsur.

Apabila hasil uji *microhardness* matriks  $\alpha$ -Aluminium pada spesimen *artificial aging* T6 yang memiliki nilai *bifilm index* tinggi dibandingkan dengan spesimen *artificial aging* T6 yang berasal dari ingot, didapatkan perbedaan nilai kekerasan mikro matriks  $\alpha$ -Aluminium yang terpaut jauh, sekitar 30-40 HV. Turunnya nilai kekerasan mikro matriks  $\alpha$ -Aluminium yang mendapatkan *artificial aging* T6 dengan nilai *bifilm index* tinggi, menunjukkan bahwa keberadaan *bifilm* dapat memberikan pengaruh terhadap respon *artificial aging* paduan ADC12. Berdasarkan hasil pengujian kekerasan mikro matriks  $\alpha$ -Aluminium pada spesimen yang berbeda nilai *bifilm index*-nya saja, *bifilm* nampaknya menjadi lokasi favorit nukleasi presipitat. Meskipun hasil pengujian sebaran unsur tidak menunjukkan intensitas presipitat yang tinggi di sekeliling *bifilm* bila dibanding dengan daerah yang jauh dari *bifilm*, hasil pengujian *microhardness* menunjukkan bahwa keberadaan *bifilm* dapat menjadi tempat nukleasi presipitat pengeras.

## BAB V KESIMPULAN

### 5.1. Kesimpulan

Hasil *artificial aging* memberikan perubahan struktur mikro *as-cast* yang meliputi macam fasa, dan sebarannya. Pengujian sebaran unsur (*Mapping EDS*) dan uji *microhardness* pada struktur mikro tersebut memberikan data-data yang mengimplikasikan pengaruh *bifilm* terhadap respon *artificial aging* pada paduan aluminium ADC12 sebagai berikut :

1. Hasil cor paduan ADC12 yang tidak mendapatkan *artificial aging* :
  1. Pengadukan pada saat proses pengecoran menghasilkan nilai *bifilm index* yang cenderung naik dengan bertambah panjangnya durasi pengadukan.
  2. Struktur mikro paduan ADC12 setelah pengecoran terdiri dari fasa  $\alpha$ -Aluminium (saturated Cu, Mg, Si, dan Fe), Silikon Eutektik,  $\theta$  ( $Al_2Cu$ ), Q ( $Al_5Cu_2Mg_8Si_6$ ), dan  $\pi$  ( $Al_8FeMg_3Si_6$ ).
2. Hasil cor paduan ADC12 yang mendapatkan *artificial aging* T6 dan T7 :

#### Persamaan

1. Fasa Silikon Eutektik, dan  $\pi$  ( $Al_8FeMg_3Si_6$ ) terdapat baik pada hasil cor yang mendapatkan *artificial aging* T6, maupun T7.
2. *Bifilm* nampak dapat menjadi lokasi nukleasi dari fasa-fasa yang terdapat pada paduan ADC12.

#### Perbedaan

1. Fasa  $\theta$  ( $Al_2Cu$ ) dan Q ( $Al_5Cu_2Mg_8Si_6$ ) tidak nampak pada spesimen yang mendapatkan *artificial aging* T6. Fasa  $\theta$  dan Q berubah menjadi fasa  $\theta'$  ( $Al_2Cu$ ) dan  $\beta'$  ( $Mg_2Si$ ) yang merupakan fasa metastabil yang koheren dengan matriksnya, fasa  $\alpha$ -Aluminium. Sedangkan pada spesimen yang mendapatkan *artificial aging* T7,

terbentuk fasa  $\theta$  dan Q yang tidak koheren dengan matriks  $\alpha$ -Aluminium.

2. Pada spesimen yang mendapatkan *artificial aging* T6, terdapat peningkatan populasi presipitat di sekitar *bifilm*. Sedangkan pada spesimen yang mendapatkan *artificial aging* T7, populasi presipitat di sekitar *bifilm* dengan yang jauh dari *bifilm* tidak nampak berbeda.
3. Nampak garis putih di sekitar silikon eutektik pada spesimen yang mendapatkan *artificial aging* T6. Garis putih ini merupakan matriks  $\alpha$ -Aluminium dengan populasi presipitat yang lebih sedikit daripada daerah yang jauh dari silikon eutektik. Sedangkan pada spesimen yang mendapatkan *artificial aging* T7, garis putih ini menjadi semakin tipis.
3. Didapatkan nilai kekerasan mikro matriks  $\alpha$ -Aluminium pada spesimen yang tidak mendapatkan *artificial aging* sebesar rerata 75 HV, baik pada spesimen yang mengandung banyak *bifilm* maupun sedikit *bifilm*. Perlakuan *artificial aging* T6 menghasilkan nilai kekerasan mikro matriks  $\alpha$ -Aluminium sebesar rerata 101 HV pada spesimen yang mengandung sedikit *bifilm*, dan pada spesimen yang mengandung banyak *bifilm* sebesar rerata 67 HV (daerah dekat dengan *bifilm*), serta sebesar rerata 63 HV (daerah jauh dari *bifilm*). Perlakuan *artificial aging* T7 menunjukkan penurunan kekerasan mikro matriks  $\alpha$ -Aluminium menjadi sebesar rerata 65 HV pada spesimen yang mengandung sedikit *bifilm*, dan sebesar rerata 55 HV (daerah dekat maupun jauh dari *bifilm*) pada spesimen yang mengandung banyak *bifilm*. Didapatkan pola yang menunjukkan bahwa kekerasan mikro dari matriks  $\alpha$ -Aluminium selalu turun apabila paduan ADC12 yang mengandung *bifilm* mendapatkan perlakuan *artificial aging*.
4. Hasil pengujian sebaran unsur (*Mapping EDS*) dan *microhardness* matriks  $\alpha$ -Aluminium menunjukkan bahwa terdapat perbedaan distribusi presipitat setelah spesimen diberi *artificial aging*. Muncul perbedaan yang cukup

signifikan antara spesimen yang mengandung banyak *bifilm*, dengan spesimen yang mengandung sedikit *bifilm*. Pada spesimen yang mengandung banyak *bifilm*, populasi presipitat di sekitar *bifilm* meningkat sehingga kekerasan matriks  $\alpha$ -Aluminium yang mengandung presipitat meningkat. Sedangkan pada spesimen yang mengandung sedikit *bifilm*, distribusi presipitat tidak terpengaruh oleh adanya *bifilm*. Hal ini dapat mengimplikasikan bahwa *bifilm* memberikan pengaruh terhadap respon *artificial aging*-nya.

## 5.2. Usulan Penelitian Berikutnya

Dari penelitian yang telah dilakukan, diusulkan materi penelitian berikutnya sebagai berikut :

1. Metode pembuatan hasil cor dengan kandungan *bifilm* dari 0 hingga tinggi, dan pengaruhnya terhadap *artificial aging*.
2. Observasi presipitat yang bernukleasi pada *bifilm* menggunakan pengujian *Transmission Electron Microscope*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## DAFTAR PUSTAKA

- Association, T. A. (2008). *Standards for Aluminum Sand and Permanent Mold Castings*. The Aluminum Association, Inc.
- Association, T. A. (2015). *International Alloy Designations and Chemical Composition Limits for Wrought Aluminum and Wrought Aluminum Alloys*. The Aluminum Association, Inc.
- B. C. Wu, J. J. (n.d.). *T6 Heat Treatment for Die Casting ADC12 Alloy*. Taipei: Department of Materials Engineering, Tatung University.
- B. Chamberlain, V. J. (1973). **Reappraisal of Tensile Properties of Aluminum-Silicon-Magnesium Casting Alloys**. *AFS Transaction Vol. 81*, 322-327.
- Billydiaz Taura Mazda, W. W. (2016). **Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Holding Time dan Temperatur Aging Pada Perlakuan Panas Precipitation Hardening T6 Terhadap Sifat Mekanik Paduan Aluminium ADC 12**. *Jurnal Teknik ITS*, 4.
- Campbell, J. (2011). *Complete Casting Handbook*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Comittee, A. (1992). *ASM Handbook Volume 3*. ASM International.
- Cubberly, W. H. (1981). *Metals Handbook 9th Edition Volume 4 Heat Treating*. Ohio: ASM International.
- D. A. Porter, K. E. (1992). *Phase Transformations in Metals and Alloys*. Chapman and Hall.
- D. S. Thompson, B. S. (1971). **Quench Rate Effects in Aluminum-Zinc-Magnesium-Copper Alloys**. *Metallurgical Transactions*, 2, 1149-1160.
- Derya Dispinar, A. A. (2010). **Degassing, hydrogen and porosity phenomena in A356**. *Material Science and Engineering A*.

- Derya Dispınar, J. C. (2006). **Use of Bifilm Index as an Assessment of Liquid Metal Quality**. *International Journal of International Cast Metal Research*, 19(1).
- Dispınar, D. (2005). **Determination of Quality of Aluminium and Its Alloy**. Birmingham: University of Birmingham.
- E. Tan, A. R. (2011). **Reproducibility of Reduced Pressure Test Result in Testing of Liquid Aluminum Gas Levels**. *6th International Advanced Technologies Symposium*. Elazığ.
- G. Lorimer, K. C. (1978). **Precipitation Processes in Solids**. *The Metallurgical Society of AMIE*, 87.
- Haasen, P. (2003). **Physical Metallurgy**. Cambridge University Press.
- Hans Leo Lukas, N. L. (2005). **Al-Cu-Si. Ternary Alloy Systems: Phase Diagrams, Crystallographic and Thermodynamic Data · Light Metal Systems. Part 2, 11A2**.
- I Gede Brahmanda Aditiya Paramartha, W. W. (2016). **Studi Eksperimental Pengaruh Perlakuan Panas Precipitation Hardening T6 dengan Variasi Holding Time dan Temperatur Solution Treatment Terhadap Sifat Mekanik Paduan Aluminium ADC12**. *Jurnal Teknik ITS*, 4(1).
- International, A. (2001). **ASTM Standard B917/B917M-2001 Standard Practice for Heat Treatment of Aluminum Alloys Castings from All Processes**. ASTM International.
- Kaczorowski, M. (1985). **The Role of Excess Silicon in the Process of Precipitation Hardening of Aluminium-Magnesium-Silicon Alloys**. *Aluminum*, Vol. 61, 756-762.
- Kumar Shaha, S. (2015). **Development and Development of Cast Modified Al-Si-Cu-Mg Alloy for Heat Resistant Power Train Applications**. Toronto: Ryerson University.
- Lumley, R. (2011). **Fundamentals of Aluminium Metallurgy**. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- M. Drouzy, S. J. (1980). **Interpretation of Tensile Results by Means of Quality Index and Probable Yield Strength**. *AFS International Cast Metals Research Volume 5*, 43-50.



- M. Tiryakioğlu, J. C. (2013). **Quality Index for Aluminum Alloy Castings**. *AFS Transactions*, 217-222.
- Martin, J. W. (1998). **Precipitation Hardening**, 2nd Edition. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Muhammet Uludağ, R. Ç. (2018). **The effects of degassing, grain refinement & Sr-addition on melt quality-hot tear sensitivity relationships in cast A380 aluminum alloy**. *Engineering Failure Analysis*.
- Otsuka, R. (2003). Molten Metal Processing. In D. S. George E. Totten, **Handbook of Aluminum Volume 1 Physical Metallurgy and Processes** (pp. 643-694). New York: Marcel Dekker, Inc.
- Paz, J. F. (2003). **Heat Treatment and Precipitation in A356 Aluminum Alloy**. Montreal: McGill University.
- Rafael Colas, E. V. (2003). Castings. In D. S. George E. Totten, **Handbook of Aluminum Volume 1 Physical Metallurgy and Processes** (pp. 591-641). New York: Marcel Dekker, Inc.
- Raghavan, V. (2007). Al-Cu-Si. *Journal of Phase Equilibria and Diffusion*, 28(2).
- Shinji Kumai, Y. N. (2007). Improvement of Tear Toughness of ADC12 Aluminum Alloy by Refined Solidification Structure. *Journal of Japan Foundry Engineering Society*, 79(12), 717-725.
- Standard, J. I. (2006). **JIS H 5302 Aluminium Alloy Die Casting**. Japanese Standard Association.
- Stanley, J. T. (1987). Quench Factor Analysis of Aluminum Alloys. *Materials Science and Technology*, 3, 923-935.
- Szekely, A. G. (1976). The Removal of Solid Particles from Molten Aluminum in the Spinning Nozzle Inert Floatation Process. *Metal Transaction 7B*, 259-270.
- William D. Callister Jr., D. G. (2014). **Materials Science and Engineering An Introduction**. Danvers: John Wiley & Sons, Inc.

Zsigmondy, R. (1917). Elektrochem volume 23. *Journal of the Chemical Society volume 14*, 101.

## BIODATA PENULIS



**Bernard Noventio Sutrisno** lahir di Surabaya, 6 November 1996, merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Edi Soetrisno dan Laniwati. Penulis mengawali pendidikan formal di TK Widya Merti, Surabaya dan melanjutkan jenjang pendidikan dasar di SDK Karitas 1, Surabaya. Pendidikan menengah penulis diambil di SMPK Santa Maria, Surabaya dan dilanjutkan ke SMAK St. Louis 1, Surabaya. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan perguruan

tinggi pada tahun 2014 di jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Pada awal masa perkuliahan, penulis banyak belajar mengenai dunia teknik dengan mengikuti kegiatan riset mobil listrik nasional (Molina) dan mengikuti perlombaan mobil listrik tenaga surya, World Solar Challenge 2015 di Australia. Penulis juga aktif pada awal pengembangan sepeda motor listrik kerja sama antara ITS dengan perusahaan swasta, GESITS (Garansindo Electric Scooter Institut Teknologi Sepuluh Nopember). Penulis mulai aktif dan banyak belajar mengenai ilmu metalurgi pada tahun ketiga dengan bergabung ke Laboratorium Metalurgi dan Laboratorium Cor. Selama bergabung pada Laboratorium Metalurgi dan Laboratorium Cor, penulis selalu mengikuti kegiatan sebagai asisten praktikum. Untuk informasi, saran, dan kepentingan sehubungan dengan penelitian, penulis dapat dihubungi melalui surat elektronik : [bernardnoventios@gmail.com](mailto:bernardnoventios@gmail.com).