



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PENAMBAHAN MAGNESIUM PADA  
PEMBUATAN ALUMINIUM KOMPOSIT BERPENGUAT  
TALI KAWAT BAJA KARBON TINGGI TERHADAP  
KONDISI ANTARMUKA DAN SIFAT MEKANIS  
UNTUK APLIKASI MATERIAL ARMOR**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**RACHMAT FERDIAN**

**0606075170**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL  
DEPOK  
DESEMBER 2010**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan  
semua sumber baik yang dikutip maupun  
dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : Rachmat Ferdian**

**NPM : 0606075170**

**Tanda Tangan : .....**

**Tanggal : Desember 2010**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Rachmat Ferdian  
NPM : 0606075170  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul Skripsi : Pengaruh Penambahan Magnesium pada pembuatan Aluminium komposit berpenguat tali kawat baja karbon tinggi terhadap sifat antarmuka dan sifat mekanis untuk aplikasi material armor

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ing. Ir. Bambang Suharno. ( )

Penguji 1 : Ir. Dwi Rahmalina MT ( )

Penguji 2 : Dwi Marta Nurjaya ST. MT. ( )

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : Desember 2010

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur yang sebesar-besarnya kepada ALLAH SWT yang selalu memberikan jalanNya kepada penulis hingga selesainya skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mendapat gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Halaman ini penulis dedikasikan kepada orang-orang hebat, yang selalu memberikan dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini, kepada merekalah penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya:

1. Prof. Dr. Ing. Ir. Bambang Suharno, selaku dosen pembimbing dan kepala Departemen Teknik Metalurgi dan Material FTUI yang telah banyak memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis dalam penyusunan skripsi ini.
2. Ibu Ir. Dwi Rahmalina, MT, yang selalu memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Seluruh jajaran dosen Teknik Metalurgi dan Material yang telah memberikan ilmu mereka kepada penulis selama berkuliah di sana.
4. Hj. Zurisnar dan H. Jamanulis (alm), orang tua penulis, yang kasih dan sayangnya tidak pernah ada habisnya, selalu memberikan doa yang terbaik kepada penulis.
5. Teman-teman satu tim penelitian, Ricky Pradipta A.P, Indra Kusuma, dan Tri Sutrisno, terima kasih atas kerjasama dan bantuannya selama ini.
6. Rekan-rekan Wisma Bakti Ibu: Ghaniyyu Manggala Jodhy, Dwiki Fahmi Nugraha, Ahmad Pratomo, Andrew Al Fajrin, dan kawan-kawan, yang selalu memberikan dukungan moriil kepada penulis.
7. Seluruh rekan-rekan Metal 2006 yang selalu Tangguh, Peduli dan Solid yang tidak bisa disebutkan namanya satu per satu.
8. Rekan-rekan Bedah Kampus, keluarga baru saya, Litia Pratingrum, Ratna Fitria Utami, Michael Joel, Riki Pahlevi Zain, Rahma Nadia Zahra, Agustinus Andika, Tannia Rahaditya, Ayu Setya Ismawati, Wambra

Aswo dan teman-teman lainnya yang tidak bisa disebutkan satu per satu karena keterbatasan halaman. Kalian yang terbaik.

9. Wilda Hajar Rahmawati, terima kasih atas dukungan dan motivasi yang selalu diberikan sampai saat ini.
10. Seluruh karyawan Departemen Teknik Metalurgi dan Material: Pak Nuddin, Bang Mamat, Bang Jalih, Pak Eko, Pak Zainal, Mang Udin, Pak Min, Pak Noor, Ceceu, Mang Hendra, Pak Edi, dan kawan-kawan yang telah turut andil dalam membantu penulis menyelesaikan skripsi ini.

Semoga mereka yang telah membantu penulis selalu diberikan limpahan karuniaNya hingga akhir hayat. Tidak ada yang sempurna di dunia ini, begitu pula dengan skripsi ini. Terimalah dengan segala kekurangan dan kelebihanannya, semoga bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan kita.

Depok, Desember 2010

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS  
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini, :

Nama : Rachmat Ferdian  
NPM : 0606075170  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Departemen : Metalurgi dan Material  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**Pengaruh Penambahan Magnesium pada pembuatan Aluminium Komposit Berpenguat Tali Kawat Baja Karbon Tinggi terhadap Sifat Antarmuka dan Sifat Mekanis untuk Aplikasi Material Armor**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis atau pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada Tanggal : Desember 2010

Yang menyatakan

(Rachmat Ferdian)

## ABSTRAK

Nama : Rachmat Ferdian  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul : Pengaruh Penambahan Magnesium pada pembuatan aluminium komposit berpenguat tali kawat baja karbon tinggi terhadap sifat antarmuka dan sifat mekanis untuk aplikasi material armor

Aluminium sebagai material yang ringan dan cukup murah dapat dijadikan alternatif sebagai pembuatan material armor. Pemaduan tembaga dan magnesium pada matriks aluminium diduga juga dapat meningkatkan kekerasan dari komposit ini. Selain itu, penggunaan tali kawat baja karbon tinggi sebagai penguat untuk meningkatkan kekuatan dari material armor ini. Proses canai dingin juga dipilih untuk meningkatkan kekerasan dari material dan meningkatkan sifat antarmuka penguat dan matriks aluminium. Sifat antarmuka menjadi hal yang penting karena berpengaruh terhadap sifat mekanis dari sebuah komposit.

Pada penelitian ini digunakan cetakan logam yang diberi *plunger* untuk mendapatkan efek *squeeze casting*. Fraksi volum yang digunakan adalah 4 % dan 6 % yang disusun secara unidireksional dalam 1 dan 2 susunan kawat. Cetakan dipanaskan hingga suhu 250° C sementara aluminium dilebur dalam dapur dan ditambah tembaga sebanyak 2 % dan variasi magnesium masing-masing sebanyak 0,01%, 0,79 % dan 1,03 %. Setelah aluminium melebur, dilakukan penuangan pada cetakan yang telah disusun kawat dan setelah mencapai temperatur semi-solid dilakukan penekanan sebesar 10 barr. Pelat komposit tersebut lalu dibagi 2 untuk masing-masing tidak dan diberi proses canai dingin sebesar 10% CW. Masing-masing sampel kemudian dilakukan pengujian kekerasan makro dan tarik untuk mengetahui sifat mekanisnya, serta pengamatan metalografi serta SEM dan EDS untuk mengetahui kondisi antarmuka dari masing-masing sampel.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa pemaduan tembaga dan magnesium tidak memberikan efek konsisten terhadap pembentukan void di antarmuka. Penambahan magnesium menunjukkan pengaruh terhadap peningkatan nilai kekerasan dari aluminium komposit, sementara nilai kuat tarik mengalami penurunan. Efek dari fraksi volum terhadap kuat tarik adalah meningkatkan kekuatan tarik maksimum dari material komposit. Proses canai dingin memberikan pengaruh terhadap pengurangan void di daerah antarmuka. Selain itu, proses canai dingin dengan reduksi ketebalan sebesar 10% juga memengaruhi peningkatan dari nilai kekerasan dan kuat tarik dari aluminium komposit berpenguat tali kawat baja ini.

Kata kunci:

antarmuka, kekuatan tarik, kekerasan, canai dingin, komposit matriks aluminium, material armor, *squeeze casting*

## ABSTRACT

Name : Rachmat Ferdian  
Study Program : Metallurgy and Material Engineering  
Title : The Effect Magnesium in Aluminium Matrix Composite – Reinforced by Steel Wire – to the interface and mechanical properties Manufactured by Squeeze Casting for Material Armor Application

Aluminium as a light and relatively cheap can be produced as alternative armor material. Copper and magnesium alloying could increase the number of hardness of the bulk material, while using the high carbon steel wire rope could strengthen the aluminium composite. Cold rolling process also could improve mechanical and interface properties for the composite. Interface properties play an important part for mechanical properties of a composite.

Squeeze casting process use a steel dies with plunger. Steel wire prepared at 1 and 2 layer unidirectional alignment in 1,4 and 2,8 % of volume fraction. Steel dies was being preheated at 250° C while melting of aluminium with addition of 2wt% of copper and 0.01;0,79;1,03 wt% of magnesium. Melt aluminium pour to the dies that being prepared with reinforce and pressed at 10 barr. Aluminium composite plate divided into two parts : given rolling process with 10% reduction dimention and not. Each samples being tested with macro hardness and tensile test to observe its mechanical properties, also metallographic and SEM examination to observe its interface properties.

Test result shows an inconsistent effect by addition of copper and magnesium to formation of void at the interface between matrix and reinforced. Addition of magnesium shows the effect of increasing the hardness of bulk material, while ultimate tensile strength is decreasing. Fraction volume is increasing ultimate tensile strength of aluminium composite. Cold rolling by 10% reduction of thickness gives an effect of void decreasing in interface, increasing in hardness number, and ultimate tensile strength from aluminium matrix composite with high carbon steel wire rope reinforcement.

Keyword:

Armor material, squeeze casting, aluminium matrix composite, cold rolling, interface, tensile strength, hardness, squeeze casting

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS</b>	ii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	iii
<b>KATA PENGANTAR</b>	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS</b>	vi
<b>ABSTRAK</b>	vii
<b>ABSTRACT</b>	viii
<b>DAFTAR ISI</b>	ix
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	xii
<b>DAFTAR TABEL</b>	xiii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang Penelitian	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Sistematika Penulisan	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Aluminium	
2.1.1 Paduan Aluminium Silikon	6
2.1.2 Unsur Paduan	8
2.2 Komposit	
2.2.1 Daerah Antarmuka pada Komposit	9
2.3 Pengecoran	
2.3.1 Pengecoran <i>squeeze</i>	11
2.4 Proses Canai Dingin	13

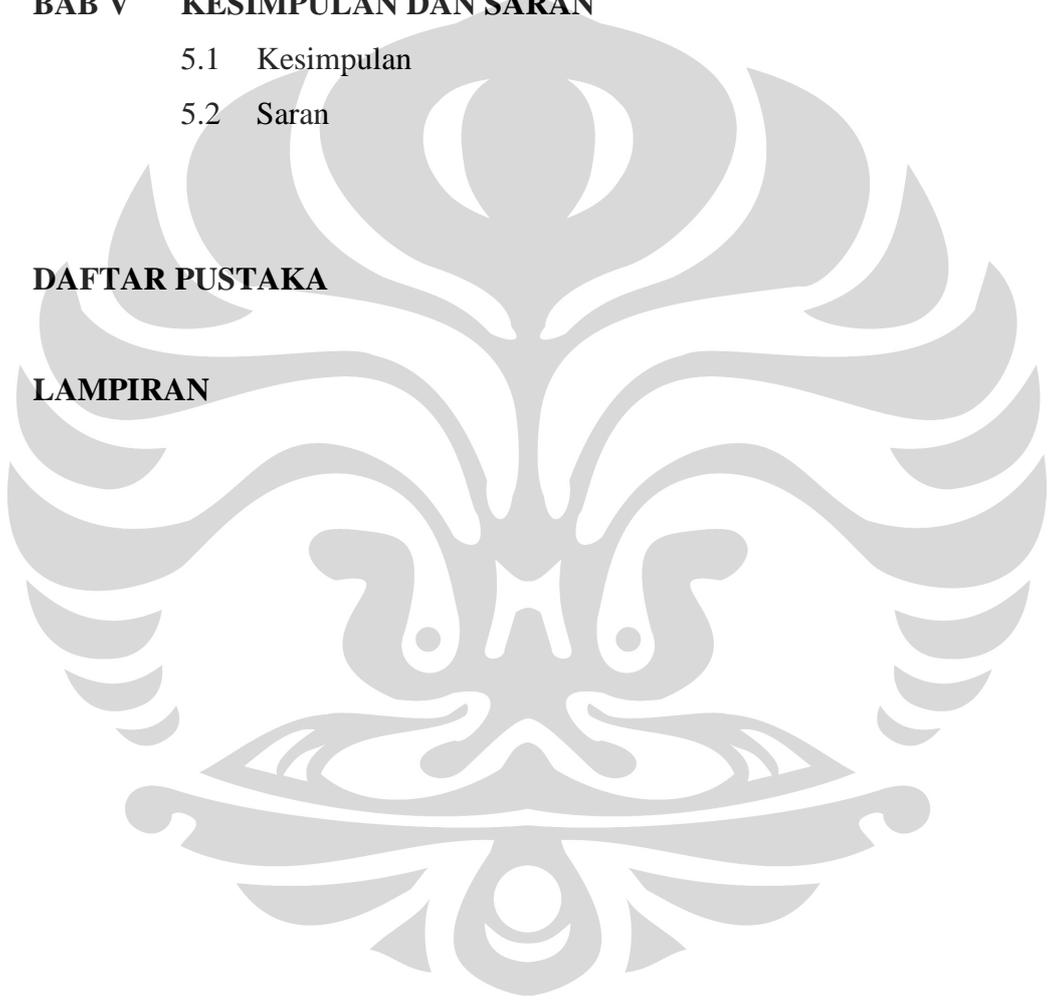
### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1	Diagram Alir Penelitian	15
3.2	Peralatan dan Bahan	
3.2.1	Peralatan	16
3.2.2	Bahan	16
3.3	Proses Pembuatan Sampel	
3.3.1	Perhitungan <i>Material Balance</i>	17
3.3.2	Perhitungan Fraksi Volum Kawat	18
3.4	Proses Pengecoran Logam	
3.4.1	Persiapan Cetakan	20
3.4.2	Peleburan Aluminium	21
3.4.3	Proses Preparasi Sampel	22
3.4	Tahap Pengujian	
3.4.1	Pengujian Komposisi Kimia	23
3.4.2	Pengujian Tarik	24
3.4.3	Pengamatan Struktur Mikro dan Perpatahan	24
3.4.4	Pengujian Kekerasan Material	25

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

4.1	Analisa Komposisi Kimia Hasil Pengecoran	
4.1.1	Analisa Pengaruh Penambahan Magnesium terhadap Sifat Antarmuka	28
4.1.2	Analisa Pengaruh Penambahan Magnesium terhadap Kekerasan Makro	37
4.1.3	Analisa Pengaruh Penambahan Magnesium terhadap Kekuatan Tarik	39
4.2	Analisa Pengaruh Fraksi Volum	
4.2.1	Analisa Pengaruh Fraksi Volum terhadap Kekuatan Tarik	42
4.3	Analisa Pengaruh Proses Canai Dingin	
4.3.1	Analisa Pengaruh Proses Canai Dingin terhadap Sifat	45

Antarmuka	
4.3.2 Analisa Pengaruh Proses Canai Dingin terhadap Kekerasan Makro	47
4.3.3 Analisa Pengaruh Proses Canai Dingin terhadap Kekuatan Tarik	48
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan	52
5.2 Saran	52
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	53
<b>LAMPIRAN</b>	55



## DAFTAR GAMBAR

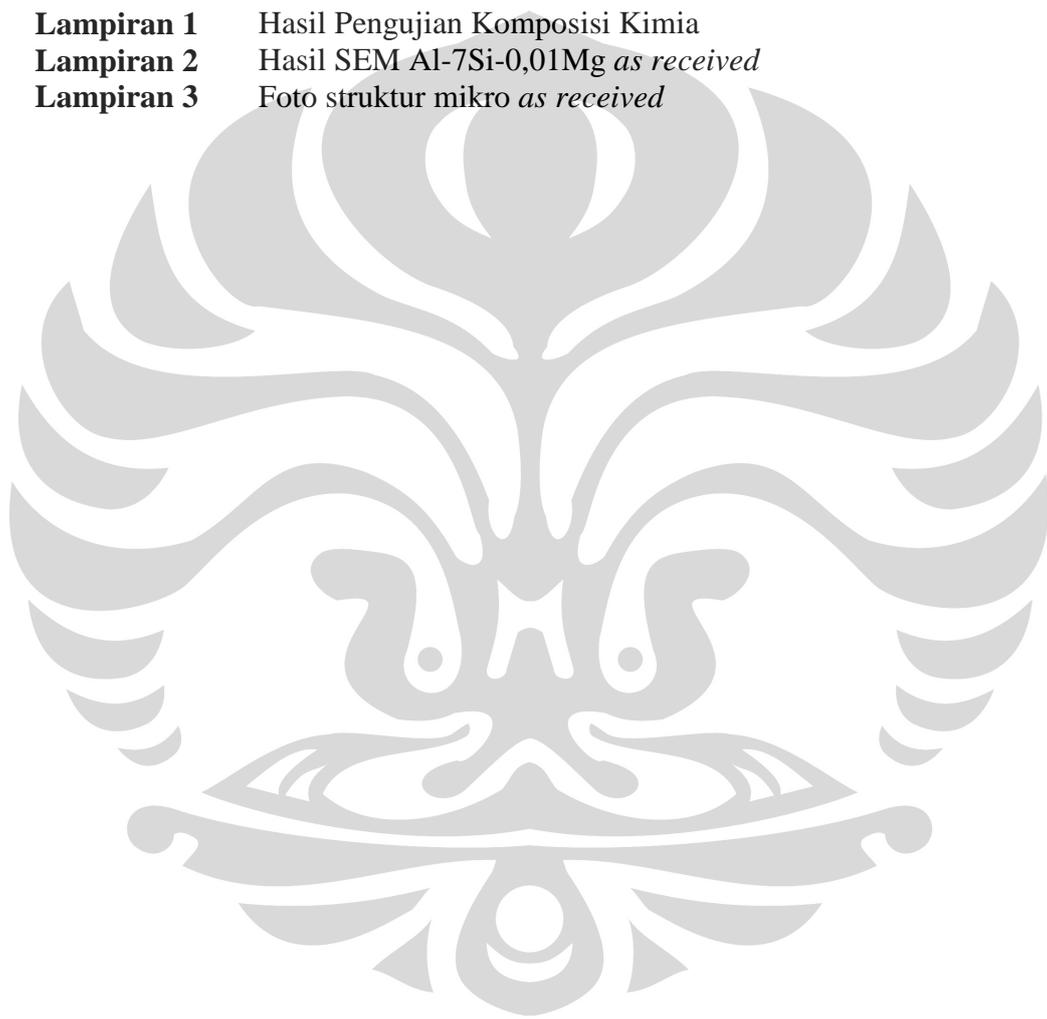
		Halaman
<b>Gambar 1.1</b>	Rompi anti peluru Kevlar	1
<b>Gambar 2.1</b>	Diagram fasa Al-Si	7
<b>Gambar 2.2</b>	Plat aluminium komposit berpenguat tali kawat baja	9
<b>Gambar 2.3</b>	Pembasahan kawat yang baik dan buruk	10
<b>Gambar 2.4</b>	Skema <i>squeeze casting</i>	11
<b>Gambar 2.5</b>	<i>Direct squeeze casting</i>	12
<b>Gambar 2.6</b>	<i>Indirect squeeze casting</i>	13
<b>Gambar 2.7</b>	Mekanisme proses canai dingin	14
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram alir penelitian	15
<b>Gambar 3.2</b>	Gambar cetakan logam beserta plunger	20
<b>Gambar 3.3</b>	Cetakan logam beserta kawat yang telah terpasang	21
<b>Gambar 3.4</b>	Proses peleburan	21
<b>Gambar 3.5</b>	Plat komposit hasil peleburan	22
<b>Gambar 3.6</b>	Mesin ONO Roll	23
<b>Gambar 3.7</b>	Sampel dan proses pengujian tarik	24
<b>Gambar 4.1-4.3</b>	Foto mikro sampel Al-7Si-2Cu-0,01 (lokasi 1-3)	29
<b>Gambar 4.4-4.6</b>	Foto mikro sampel Al-7Si-2Cu-0,79 (lokasi 1-3)	30
<b>Gambar 4.7-4.9</b>	Foto mikro sampel Al-7Si-2Cu-1,03 (lokasi 1-3)	31
<b>Gambar 4.10</b>	Perbandingan penampakan antarmuka ketiga sampel	33
<b>Gambar 4.11</b>	Lapisan intermetalik pada Al-7Si-2Cu-0,01Mg (lokasi 1)	35
<b>Gambar 4.12</b>	Lapisan intermetalik pada Al-7Si-2Cu-0,01Mg (lokasi 2)	36
<b>Gambar 4.13</b>	Skematik pembentukan lapisan intermetalik	37
<b>Gambar 4.14</b>	Grafik kekerasan makro	38
<b>Gambar 4.15</b>	Ilustrasi <i>solid solution strengthening</i>	39
<b>Gambar 4.16</b>	Grafik pengaruh penambahan Mg terhadap kekuatan tarik (1 layer)	40
<b>Gambar 4.17</b>	Grafik pengaruh penambahan Mg terhadap kekuatan tarik (2 layer)	40
<b>Gambar 4.18</b>	Grafik pengaruh fraksi volum terhadap kekuatan tarik	42
<b>Gambar 4.19</b>	Foto makro perpatahan	44
<b>Gambar 4.20</b>	Perbandingan antarmuka sampel canai dingin dan tidak	46
<b>Gambar 4.21</b>	Grafik pengaruh canai dingin terhadap nilai kekerasan (HRB)	47
<b>Gambar 4.22</b>	Ilustrasi proses <i>strain hardening</i>	48
<b>Gambar 4.23</b>	Grafik pengaruh proses canai dingin 10% terhadap kuat tarik (1 layer)	49
<b>Gambar 4.24</b>	Grafik pengaruh proses canai dingin 10% terhadap kuat tarik (2 layer)	49

## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 3.1</b>	Perhitungan berat plat aluminium 17
<b>Tabel 3.2</b>	Perhitungan <i>material balance</i> 17
<b>Tabel 3.3</b>	Spesifikasi Tali Kawat Baja Usha Martin 19
<b>Tabel 3.4</b>	Perhitungan fraksi volum penguat 19
<b>Tabel 3.5</b>	Data hasil pengecoran 22
<b>Tabel 3.6</b>	Data sampel hasil proses canai dingin 23
<b>Tabel 4.1</b>	Komposisi kimia hasil pengecoran 27
<b>Tabel 4.2</b>	Komposisi kimia fasa intermetalik Al-7Si-2Cu-0,01Mg (lokasi 1) 35
<b>Tabel 4.3</b>	Komposisi kimia fasa intermetalik Al-7Si-2Cu-0,01Mg (lokasi 2) 36
<b>Tabel 4.4</b>	Dimensi sampel setelah diberi perlakuan canai dingin 45

## DAFTAR LAMPIRAN

		Halaman
<b>Lampiran 1</b>	Hasil Pengujian Komposisi Kimia	55
<b>Lampiran 2</b>	Hasil SEM Al-7Si-0,01Mg <i>as received</i>	56
<b>Lampiran 3</b>	Foto struktur mikro <i>as received</i>	58



## Bab I

### Pendahuluan

#### 1.1. Latar Belakang

Material yang digunakan sebagai material *armor* dituntut untuk mempunyai ketahanan balistik, yakni ketahanan untuk dapat menahan penetrasi dari peluru maupun proyektil lainnya, dimana struktur metalurgi dari kebutuhan ini dirancang untuk dapat memecahkan atau memerangkap proyektil yang ditembakkan dengan kecepatan tinggi. Persyaratan untuk ketahanan balistik ini dapat dipenuhi dengan mendesain material dengan ketangguhan yang baik terhadap beban dampak balistik dan kekerasan yang sangat tinggi. Faktor lain yang mutlak dipenuhi untuk aplikasi material *armor* adalah pemilihan materialnya dimana diutamakan material dengan ketahanan balistik yang tinggi namun juga relatif ringan agar memudahkan mobilitasnya.

Penggunaan material *armor* yang ringan sangat penting untuk menghemat energi dan memudahkan mobilisasi. Material yang telah lama digunakan sebagai material *armor* adalah baja dan berbagai jenis polimer komposit seperti Kevlar<sup>[1]</sup>. Namun kedua bahan ini tidak lepas dari kekurangan dan kelebihan. Baja memiliki berat jenis yang tinggi sehingga menyulitkan penggunaannya karena berat. Hal ini dapat mengurangi mobilitas dari pemakai material *armor* tersebut.



Gambar 1.1. Rompi Anti Peluru<sup>[2]</sup>

Kevlar, suatu merek dagang dari *DuPont*, merupakan komposit dengan serat aramid yang mempunyai kekuatan yang sangat tinggi, tahan panas dan memiliki berat jenis yang ringan, namun ketahanan panasnya tidak sebaik logam dan harganya juga mahal <sup>[2]</sup>. Permintaan akan material *armor* yang mampu menutup berbagai kelemahan dari material *armor* lainnya dan juga ekonomis mendorong dilakukannya penelitian untuk memperoleh material *armor* yang lebih ringan dan kemampuan proteksi terhadap beban dampak balistik yang baik.

Paduan Aluminium merupakan salah satu material *armor* yang diharapkan dapat digunakan sebagai material *armor* dengan kekerasan yang tinggi, berat jenis rendah dan biaya produksi yang murah sehingga bisa digunakan pada industri militer dalam negeri. Untuk meningkatkan kekerasan dari paduan aluminium tersebut, maka dilakukan penelitian dengan menambahkan tali baja dari baja karbon tinggi sebagai penguat. Proses pengecoran yang dilakukan adalah *squeeze casting* yang dapat meningkatkan kekerasan dari paduan aluminium. Pada komposit ini juga akan dilakukan proses *rolling* untuk meningkatkan kekerasannya. Secara keseluruhan, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan Mg pada pengecoran Al-7Si serta fraksi volum kawat tali baja terhadap karakteristik aluminium komposit berpenguat kawat tali baja, ditinjau dari struktur mikro dan sifat mekanisnya, yang juga merupakan bagian dari penelitian payung mengenai pengembangan material *armor* berbahan dasar aluminium.

## **1.2. Tujuan Penelitian**

1. Mengetahui pengaruh penambahan Mg (0,01;0,79;1,03 wt%) pada pengecoran material komposit matriks Al berpenguat tali kawat baja karbon tinggi terhadap fokus kondisi antar muka kawat dan matriks.
2. Mengetahui pengaruh penambahan Mg (0,01;0,79;1,03 wt%) pada pengecoran material komposit matriks Al berpenguat tali kawat baja karbon tinggi terhadap kekerasan dan kekuatan tariknya
3. Mengetahui pengaruh fraksi volum (1,4% dan 2,8%) kawat tali baja pada pengecoran material komposit matriks Al berpenguat tali kawat baja karbon tinggi terhadap kekerasan dan kekuatan tariknya

4. Mengetahui pengaruh proses canai dingin dengan reduksi sebesar 10% pada material komposit matriks Al berpenguat tali kawat baja karbon tinggi terhadap fokus kondisi antar muka kawat dan matriks.
5. Mengetahui pengaruh proses canai dingin dengan reduksi sebesar 10% pada material komposit matriks Al berpenguat tali kawat baja karbon tinggi terhadap kekerasan dan kekuatan tariknya.
6. Memberikan gambaran terhadap pengujian selanjutnya yang akan mengarah pada pengaplikasian komposit Al berpenguat tali kawat baja karbon tinggi di bidang material *armor* (impak balistik/material tahan peluru).

### 1.3. Batasan Masalah

#### I.3.1. Material Penelitian

1. Logam yang digunakan sebagai matriks adalah *master alloy* Al- 7Si.
2. Kawat yang digunakan sebagai penguat adalah tali kawat baja karbon tinggi.
3. Bahan paduan yang digunakan adalah Cu batangan dan Mg ingot.

#### I.3.2. Proses Pembuatan Material Komposit

1. Kawat baja karbon tinggi disusun dalam suatu cetakan dengan arah penyusunan searah (*unidirectional*) dan dengan 2 variasi fraksi volum yaitu 1,4 % dan 2,8 % yang disusun dalam 1 dan 2 layer pada cetakan.
2. Pengecoran matriks aluminium dilakukan dengan menggunakan dapur krusibel dengan temperatur penahanan pada saat lebur  $\pm 800^{\circ}\text{C}$  dan dilakukan variasi penambahan Mg sebesar 0,01%; 0,79% dan 1,03%, sehingga nantinya didapat tiga buah sampel dengan tiga variasi penambahan Mg.
3. Sebelum dituang, terlebih dahulu ditiupkan gas argon ke dalam leburan aluminium aluminium sebagai *degasser* dan cetakan yang sebelumnya telah tersusun kawat baja karbon tinggi, dilakukan *preheating* hingga temperatur cetakannya mencapai  $250^{\circ}\text{C}$ .

4. Proses penuangan dilakukan pada temperatur  $\pm 850^{\circ}\text{C}$ . Setelah aluminium dituang ke dalam cetakan, segera dilakukan proses *squeeze* dengan memberikan tekanan sebesar 10 barr melalui bagian atas cetakan.
5. Material komposit yang telah dibuat, sebagian dilakukan proses canai dingin dengan nilai reduksi sebesar 10%.

### 1.3.3. Pengujian yang Dilakukan

1. Pengujian komposisi kimia
2. Pengamatan metalografi dengan mikroskop optik
3. Pengamatan fasa antarmuka dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope*
4. Pengujian tarik
5. Pengujian kekerasan

## 1.4. Sistematika Penulisan

Dalam penelitian ini, penulisannya disusun sebagai berikut agar didapatkan kerangka alur pemikiran yang mudah dan praktis. Penulisan skripsi ini disusun berdasarkan bab-bab yang saling berkaitan antara satu dengan lainnya, yaitu :

### **Bab I Pendahuluan**

Membahas mengenai latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian dan sistematika penelitian.

### **Bab II Tinjauan Pustaka**

Membahas mengenai teori pengecoran dan pengaruh pepaduan Cu dan Mg terhadap paduan Al-7 Si serta teori pembasahan antara aluminium sebagai matriks dan kawat sebagai penguatnya.

### **Bab III Metodologi Penelitian**

Membahas mengenai diagram alir penelitian, alat, bahan, prosedur penelitian dan pengujian sampel.

#### **Bab IV Pengolahan Data dan Pembahasan**

Membahas mengenai pengolahan data yang didapat dari hasil pengujian yang telah dilakukan, baik berupa angka, gambar, maupun grafik. Setelah itu, pembahasan mengenai analisa dari hasil pengujian dan membandingkannya dengan teori serta hasil penelitian lain sebelumnya.

#### **Bab V Kesimpulan**

Membahas mengenai kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan.



## Bab II

### Tinjauan Pustaka

#### 2.1. Aluminium

Aluminium memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan logam tuang yang lain karena aluminium memiliki sifat-sifat berikut <sup>[3]</sup> :

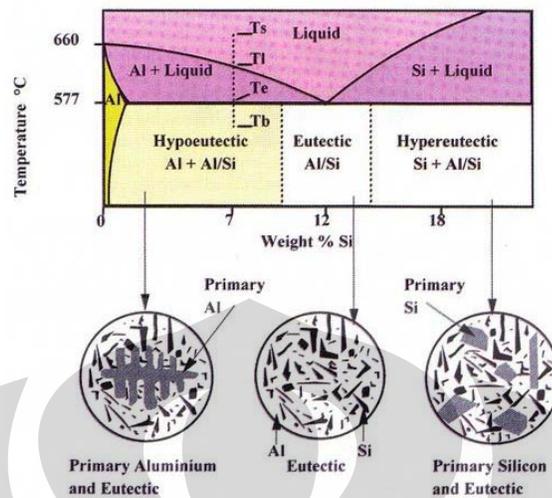
1. Memiliki *fluiditas* yang baik, sehingga dapat mengisi cetakan yang tipis.
2. Memiliki temperatur tuang dan temperatur lebur yang lebih rendah dibandingkan dengan logam lainnya.
3. Perpindahan panas yang cepat dari logam cair ke cetakan, sehingga membuat siklus penuangan menjadi lebih cepat.
4. Kelarutan gas dapat dikurangi dengan proses yang baik.
5. Memiliki stabilitas kimia yang baik.
6. Memiliki permukaan *as-cast* baik, berkilat dan tanpa noda.

Aluminium mempunyai berat jenis yang cukup rendah, yaitu  $2,689 \text{ gr/cm}^3$  dalam keadaan padat dan  $2,3 \text{ gr/cm}^3$  dalam keadaan cair <sup>[3]</sup>. Dengan bobotnya yang ringan ini, paduan aluminium telah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi untuk menggantikan logam-logam lain yang lebih berat.

##### 2.1.1. Paduan Aluminium Silikon

Dari berbagai paduan aluminium, paduan aluminium dengan silikon (Al-Si) lebih banyak digunakan untuk industri komersil <sup>[4]</sup>. Hal ini dikarenakan paduan aluminium silikon memiliki karakteristik yang lebih baik dibandingkan dengan paduan lainnya. Sifat-sifat mekanis tersebut diantaranya mampu cor, ketahanan korosi dan mampu mesin yang baik.

Pada diagram fasa, paduan aluminium silikon memiliki 3 daerah utama, yaitu hipoeutektik, eutektik dan hiper-eutektik. Daerah-daerah tersebut dapat dilihat pada gambar 2.1.



**Gambar 2.1. Diagram fasa Al-Si<sup>[11]</sup>**

Pada komposisi hipoeutektik, terdapat kadar silikon < 11.7 %. Pada daerah ini terjadi pembekuan terjadi melalui fasa cair-padat. Struktur akhir dari komposisi ini adalah struktur yang kaya akan aluminium, dan sebagai fasa utamanya adalah fasa  $\alpha$  dengan struktur eutektik sebagai tambahan <sup>[5]</sup>.

Unsur-unsur paduan biasanya ditambahkan ke dalam aluminium dengan tujuan meningkatkan kekuatan, disamping juga untuk peningkatan sifat-sifat lainnya yang tidak kalah penting.

Magnesium adalah basis untuk kekuatan dan kekerasan dalam perlakuan panas paduan Al-Si dan pada umumnya digunakan dalam paduan kompleks Al-Si yang mengandung tembaga, nikel dan unsur-unsur lainnya. Dalam pemaduan di pengecoran, pada umumnya magnesium memiliki rentang dari 4-10 % . Fase penguat (*hardening phase*) Mg<sub>2</sub>Si akan berguna pada kadar sekitar 0.7 % Mg, lebih dari itu maka efek penguatannya tidak terjadi <sup>[6]</sup>.

Peranan magnesium dalam paduan aluminium silikon ini serupa dengan tembaga, yaitu berpengaruh dalam peningkatan kekuatan korosi, tetapi mengurangi sifat mampu cor, sehingga jumlahnya harus dibatasi <sup>[7]</sup>.

### 2.1.2. Unsur Paduan

#### **Silikon (Si)**

Silikon merupakan unsur paduan yang paling sering digunakan dalam pengecoran aluminium yang digunakan untuk meningkatkan karakteristik logam coran. Silikon dalam perpaduan aluminium-silikon berdampak pada peningkatan mampu alir, meningkatkan ketahanan terhadap retak panas pada hasil coran, serta menurunkan *specific gravity* dan koefisien muai panas<sup>[8]</sup>. Pada Al 7Si kandungan silikon sekitar 7-10 %, keberadaan silikon ini menyebabkan terbentuknya fasa eutektik pada temperatur ruang. Paduan aluminium silikon Al-7Si yang digunakan pada penelitian ini berada pada daerah hipoeutektik.

#### **Tembaga (Cu)**

Tembaga memiliki kelarutan sekitar 5.65 % pada temperatur 550 °C. Pencampuran tembaga bertujuan untuk meningkatkan kekerasan dan kekuatan pada benda hasil coran dan pada kondisi perlakuan panas. Namun, secara umum keberadaan tembaga dapat berdampak kepada penurunan sifat ketahanan terhadap korosi, ketahanan terhadap *hot-tearing*, serta meningkatkan potensi untuk terjadinya penyusutan interdendritik<sup>[8]</sup>.

#### **Magnesium (Mg)**

Magnesium memiliki sifat mudah pada permesinan dan memiliki *stiffness* yang tinggi. Kekuatan pada magnesium rendah pada kondisi murni, sehingga harus dipadu untuk meningkatkan kekuatannya. Paduan aluminium dengan penambah magnesium dilakukan dengan proses *solid solution strenghtening* dan *precipitation hardening*. Dalam pembuatan komposit, Mg bersifat sebagai *wetting agent* atau *dopant*, yaitu sebagai pengikat antarmuka antara matriks dan penguat, yang berfungsi untuk memperkuat ikatan adhesi antara dua atau lebih unsur pembentuk komposit.<sup>[10]</sup>

## **2.2. Komposit**

Komposit merupakan sistem material yang terdiri dari campuran atau kombinasi dari dua atau lebih mikro atau makro konstituen yang berbeda dalam bentuk dan komposisi kimia serta

tidak saling melarutkan satu sama lain untuk memperoleh karakteristik dan sifat yang spesifik [11].

Konstituen penyusun komposit terdiri atas matriks dan penguat. Masing-masing konstituen mempunyai fungsi yang berbeda-beda. Matriks berfungsi sebagai pengikat dan pentransfer beban ke penguat, sedangkan penguat berfungsi sebagai penahan beban tersebut. Komposit dapat dikelompokkan berdasarkan matriks penyusunnya, yaitu dari logam, keramik maupun polimer [1]. Selain berdasarkan jenisnya, suatu komposit dapat diklasifikasikan berdasarkan penguatnya.



**Gambar 2.2. Plat Aluminium dengan susunan penguat tali kawat baja karbon tinggi.**

Sifat akhir pada sebuah komposit ditentukan oleh kandungan *fiber*, material matriks, arah *fiber* dan panjang *fiber* serta distribusi dari komposit [20].

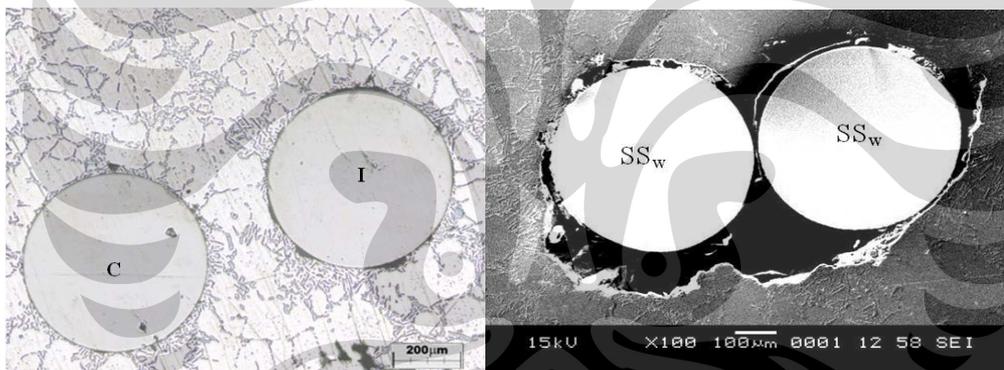
### 2.2.1. Daerah Antarmuka pada Komposit

Pada Matriks dan penguat pada sebuah komposit memiliki antarmuka. Antarmuka adalah sebuah permukaan yang terbentuk oleh suatu batas bersama antara serat penguat dan matriks yang bersentuhan dengan ikatan antara keduanya dan mempertahankan ikatan tersebut terhadap transfer beban [16]. Antarmuka tersebut berfungsi sebagai penerus beban antara matriks dan penguat, seperti terlihat pada gambar 2.3 [1].

Ikatan yang terjadi pada antarmuka tersebut terbentuk saat permukaan penguat telah terbasahi dengan baik oleh matriksnya [12]. Sifat komposit dipengaruhi oleh kekuatan antarmuka.

Jika kekuatan antarmuka lemah, maka kekuatan dan kekakuan yang dihasilkan akan rendah, sebaliknya, jika antarmuka bersifat kuat maka kekuatan dan kekakuan yang dihasilkan akan semakin tinggi [13]

Ikatan antarmuka terjadi karena adanya gaya adhesi antara matriks dan penguatnya. Agar terjadi adhesi yang baik, maka keadaan kontak antara matriks dan penguat harus dalam keadaan yang baik sekali [14]. Untuk menghasilkan pembasahan pada sebuah komposit logam dengan penguat *fiber* yang baik, dibutuhkan proses pengecoran dengan tekanan yang tinggi dengan metode *squeeze casting*. Dengan proses ini, pembasahan yang baik didapatkan. Namun, tidak semua jenis komposit dapat dihasilkan dengan metode ini. Beberapa metode lainnya terus dikembangkan untuk mendapatkan pembasahan yang baik, diantaranya dengan menambahkan pelapis pada *fiber*. Namun, metode *squeeze casting* tetap dianggap lebih efektif untuk menghasilkan komposit logam dengan penguat *fiber* karena menggunakan gaya yang besar untuk mendorong logam cair masuk ke dalam struktur *fiber*. [15].



Gambar 2.3. Foto SEM yang menunjukkan pembasahan antara 2 kawat  
(a) Pembasahan yang baik (b) Pembasahan yang buruk [10]

Salah satu sifat lain yang memengaruhi kekuatan dari komposit adalah kemampubasahan (*wettability*). Kemampubasahan adalah kemampuan matriks untuk dapat mengalir untuk tersebar merata ke permukaan penguatnya. Jika matriks memiliki kemampubasahan yang baik, maka seluruh permukaan dari penguatnya akan tertutup tanpa meninggalkan lubang maupun rongga udara [10].

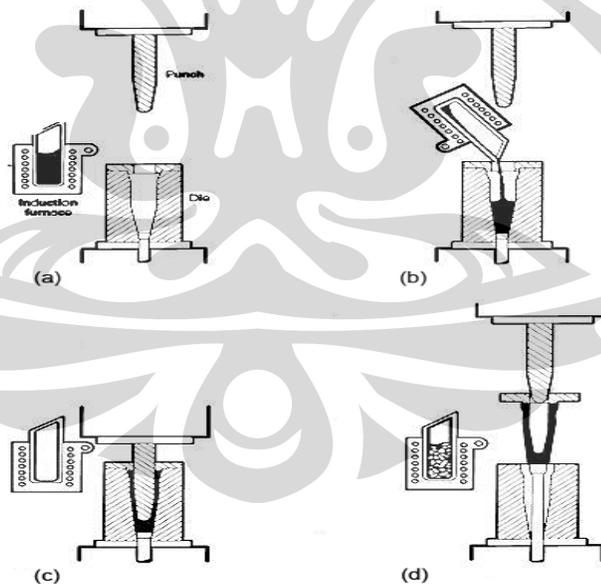
Dalam komposit, kondisi antarmuka antara matriks aluminium dengan penguat *wire rope* sangatlah penting, berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, jarak antar kawat minimal adalah 200 µm. Karena di bawah jarak tersebut aluminium tidak dapat membasahi wire steel

rope dengan sempurna, dimana terbentuk *void* atau kekosongan sehingga interface buruk, seperti terlihat pada gambar 2.3.<sup>[10]</sup>

## 2.3. Pengecoran

### 2.3.1. *Squeeze Casting*

*Squeeze casting* adalah sebuah proses pengecoran yang baru dan akan terus berkembang. Proses ini baik untuk menghasilkan produk aluminium yang memiliki kekuatan dan keuletan yang tinggi, serta ringan. Teknologi ini telah banyak digunakan dalam industri otomotif yang menginginkan produk cor yang ringan, sehingga bisa meningkatkan efisiensi bahan bakar<sup>[16]</sup>. Pengecoran *squeeze* sering disebut juga penempaan logam cair (*liquid metal forging*). Proses pemadatan logam cair dilaksanakan didalam cetakan yang ditekan dengan tenaga hidroliis<sup>[17]</sup>. Penekanan logam cair oleh permukaan cetakan akan menghasilkan perpindahan panas yang cepat dan menghasilkan penurunan porositas.

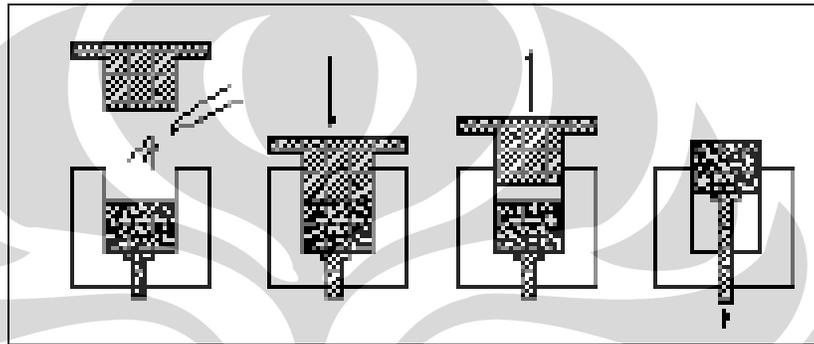


Gambar 2.4. Skema *squeeze casting* (a) punch dan dies dipersiapkan (b) Al cair dituang (c) logam cair diberi tekanan dengan *punch* (d) *punch* diangkat dan produk dikeluarkan<sup>[18]</sup>

*Squeeze casting* dibagi menjadi 2 jenis, tergantung pada mekanisme pengisian logam cair ke dalam cetakan, yakni *direct* dan *indirect squeeze casting*.

### 1. *Direct Squeeze*

*Direct squeeze casting* (DSC) adalah proses *squeeze casting* dimana logam cair diberi tekanan secara langsung hingga mendingin dan diharapkan mampu mengurangi adanya porositas ataupun penyusutan, seperti terlihat pada gambar 2.5. <sup>[16]</sup>.

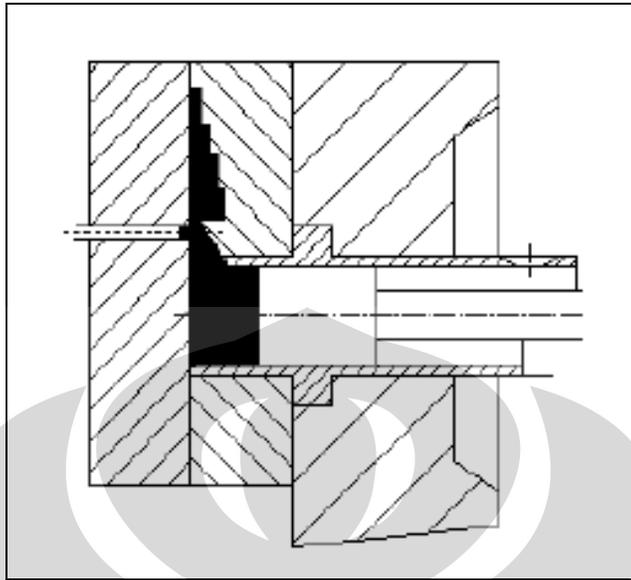


Gambar 2.5. Mekanisme proses *direct squeeze casting* <sup>[18]</sup>

Keuntungan metode DSC lainnya adalah tidak memerlukan adanya *gating system* dan baik untuk material dengan fluiditas yang kurang baik karena bisa dikurangi dengan pemberian tekanan.

### 2. *Indirect Squeeze Casting*

*Indirect squeeze casting* adalah proses *squeeze casting* dimana logam cair diinjeksikan ke dalam rongga cetak dengan bantuan piston berdiameter kecil hingga logam cair membeku <sup>[16]</sup>.



Gambar 2.6. Mekanisme proses *Indirect Squeeze Casting*<sup>[18]</sup>

Keuntungan dari proses ISC adalah mampu menghasilkan produk cor dengan dimensi yang lebih rumit. Secara khusus, ada kelemahan proses ISC dibandingkan DSC, yaitu adanya *gating system* yang menyebabkan adanya kebutuhan penambahan material untuk *gating system*<sup>[16]</sup>.

Hasil proses penempaan logam cair adalah produk yang mendekati ukuran standarnya (*near-net shape*) dengan kualitas yang baik. Sedangkan struktur-mikro hasil pengecoran *squeeze* tampak lebih padat dibandingkan dengan hasil pengecoran dengan cara *gravity*. Hal ini terjadi karena kontak logam cair dengan permukaan *die* memungkinkan terjadinya perpindahan panas yang cukup cepat sehingga menghasilkan struktur-mikro yang homogen dengan sifat mekanik yang baik<sup>[18]</sup>

#### 2.4. Proses Canai Dingin

Canai merupakan proses pembentukan logam dimana batang logam dilewatkan melalui sepasang bola *roll*. Canai diklasifikasikan berdasarkan suhu logam saat diroll. Bila temperatur logam berada di atas temperatur rekristalisasi, maka proses rolling dinamakan hot rolling. Sementara bila temperatur logam berada di bawah temperatur rekristalisasi, maka proses *rolling* dinamakan *cold rolling*.

Secara umum, proses pengerjaan dingin berakibat<sup>[19]</sup> :

1. Terjadinya tegangan dalam logam, tegangan tersebut dapat dihilangkan dengan suatu perlakuan panas.
2. Struktur butir mengalami distorsi atau perpecahan
3. Kekerasan dan kekuatan meningkat, hal ini seiring dengan kemunduran dalam keuletan
4. Penyelesaian permukaan yang lebih baik Dapat diperoleh toleransi dimensi yang lebih ketat.

Parameter pengerolan yang utama ialah<sup>[20]</sup>:

1. Diameter rol.
2. Hambatan deformasi logam yang tergantung pada struktur metalurgi, suhu, dan laju regangan.
3. Gesekan antara rol dengan benda kerja.
4. Adanya tegangan tarik ke depan atau ke belakang pada bidang lembaran

Penambahan efek canai dilakukan untuk meningkatkan kekerasan pada aluminium, sehingga akan didapatkan kekerasan yang optimum untuk diaplikasikan sebagai material armor yang membutuhkan kekerasan yang tinggi.



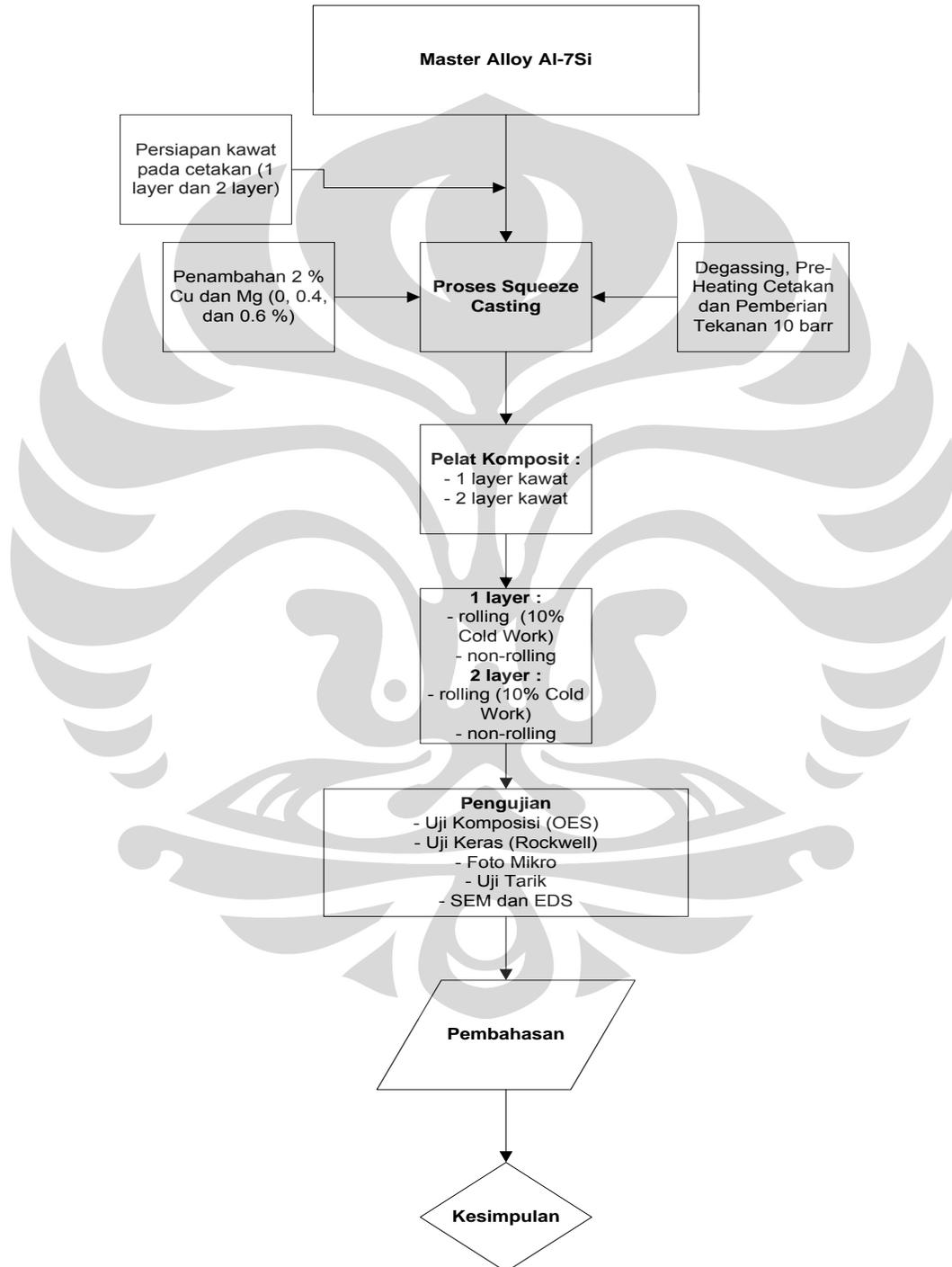
## ROLLING PROCESS

**Gambar 2.5. Mekanisme Proses Canai<sup>[22]</sup>**

## Bab III

### Metodologi Penelitian

#### III.1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

## **III.2. Peralatan dan Bahan**

### **III.2.1. Peralatan**

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dapur Peleburan Krusibel
2. Kowi
3. *Ladle*
4. Cetakan logam
5. Mesin *pneumatic pressure*
6. Mesin Uji Tarik Servopulser 20 ton Shimadzu.
7. Mesin Uji Keras ROCKY
8. *Scanning Electron Microscope* LEO-420
9. Mesin Poles
10. Mesin Amplas
11. Mikroskop optik

### **III.2.2. Bahan**

1. *Master Alloy* Al- 7Si
2. Serbuk Mg
3. *High carbon steel wire rope*
4. Kertas amplas

5. Kain beludru (kain poles).
6. Zat poles Alumina.
7. Zat etsa

### 3.3. Proses Pembuatan Sampel

#### 3.3.1. Perhitungan *Material Balance*

Penghitungan *mass balance* untuk masing-masing sampel pelat :

**Tabel 3.1. Perhitungan Berat Pelat Aluminium**

Ketebalan (mm)	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Volume (mm <sup>3</sup> )	$\rho_{Al}$ (gr/mm)	Berat Al untuk satu pelat (gr)
15	170	170	382.500	0,0027	1032,75

Kebutuhan aluminium untuk 1 kali pengecoran adalah 1032,75 gram. Dalam persiapan peleburan, dibulatkan menjadi 1400 gram. Maka perhitungan unsur paduan Tembaga dan Magnesium yang dipakai adalah sebagai berikut :

**Tabel 3.2. Perhitungan Material Balance**

Al-7Si-2Cu-0,01Mg	
Material Input	
Nama	Berat (gram)
Al-7Si	1250,6
Cu	25,2
Mg	-

<b>Al-7Si-2Cu-0,01Mg</b>	
Material Input	
Nama	Berat (gram)
Al-7Si	1381,6
Cu	28,6
Mg	13
<b>Al-7Si-2Cu-0,01Mg</b>	
Material Input	
Nama	Berat (gram)
Al-7Si	1219,2
Cu	25,2
Mg	15,2

### 3.3.2. Perhitungan Fraksi Volum Kawat

Untuk pemasangan kawat pada cetakan, dibuat 2 tipe pemasangan kawat, yaitu 1 *layer* pada bagian atas cetakan, dan 2 *layer* pada bagian bawahnya. Pemasangan kawat dengan susunan 1 dan 2 *layer* untuk mendapatkan fraksi volum sebesar 1,4 dan 2,8 %. Kawat-kawat tersebut disusun secara unidirectional (satu arah).

**Tabel 3.3 . Spesifikasi Tali Kawat Baja Usha Martin**

Kadar Karbon	1,7%
Diameter <i>Rope</i>	16 mm
Jumlah <i>Strand</i>	6
Jumlah <i>Wire per Strand</i>	19
Diameter <i>Wire</i>	1,03 mm
Specific Tensile Strength of Wire	1960 N/mm <sup>2</sup>
Standard Specification	ANSI/API Spec 9a
Brand	Usha Martin

Berikut adalah perhitungan fraksi volum yang digunakan (1 *layer* pada cetakan berjumlah 20 kawat dan 2 *layer* adalah 2 x 21 kawat) :

$$\% \text{ Fraksi Volum} = (\text{Total Volum Kawat} / \text{Volum Plat}) \times 100 \% \dots (3.1)$$

$$\text{Volum pelat} = p \times l \times t = 170 \times 15 \times 85 = 216.750 \text{ mm}^3$$

$$\text{Volum}_1 \text{ buah wire} = \pi \times \text{panjang kawat} \times (\text{jari-jari kawat})^2 = 3.14 \times 170 \times (0.515)^2 = 141,46 \text{ mm}^3$$

$$\text{Total Volum 1 layer} : 141,46 \text{ mm}^3 \times 20 = 2829,2 \text{ mm}^3$$

$$\text{Total Volum 2 layer} : 141,46 \text{ mm}^3 \times 42 = 5941,1 \text{ mm}^3$$

**Tabel 3.4. Perhitungan Fraksi Volum**

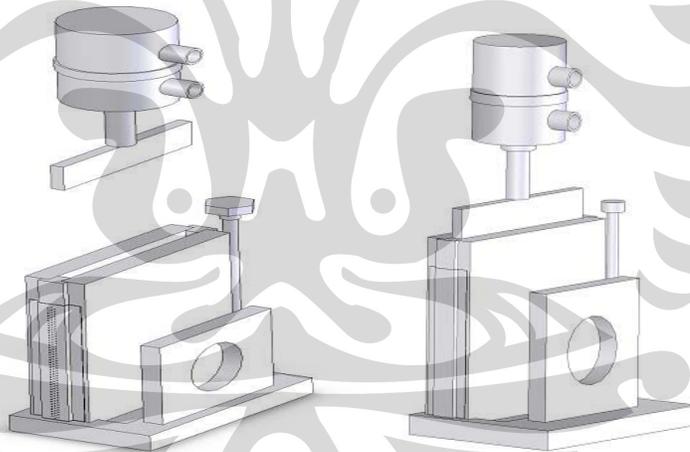
$$\% \text{ Fraksi Volum 1 layer} = (2829,2/216.750) \times 100\% = 1,4 \%$$

$$\% \text{ Fraksi Volum 2 Layer} = (5941,1/216.750) \times 100 \% = 2,8 \%$$

### 3.4. Proses Pengecoran Logam

#### 3.4.1. Persiapan Cetakan

1. *Wire Rope* yang didapat diurai menjadi *single wire*. Kawat inilah yang kemudian akan digunakan sebagai penguat dalam pembuatan aluminium komposit.
2. Tali kawat baja yang akan digunakan dibersihkan dan dilakukan pengamplasan untuk mengurangi pelumas dan kotoran yang masih menempel.
3. Tali kawat baja dipasang 1 dan 2 *layer* secara paralel dalam 1 cetakan, yakni 1 *layer* di bagian atas dan 2 *layer* di bagian bawah.
4. Kawat-kawat tersebut dikencangkan agar susunannya tidak berantakan saat dilakukan penuangan<sup>[25]</sup>
5. Persiapan lainnya adalah melakukan preheating pada cetakan beserta *plunger* +/- 250<sup>0</sup> C agar gradien panas antara aluminium cair dan cetakan tidak terlalu jauh yang dapat menyebabkan aluminium cair meletup saat dituang.



Gambar 3.2. Gambar cetakan logam beserta *plunger*.



**Gambar 3.3. Gambar cetakan yang telah terpasang kawat yang sudah dikencangkan**

### **3.4.2. Peleburan Aluminium**

1. Aluminium yang akan dilebur adalah *master alloy* Al-7Si. Tembaga yang akan dijadikan paduan berbentuk *rod* dan magnesiumnya berbentuk ingot.
2. Aluminium dilebur dalam dapur krusibel dengan bahan bakar berupa briket batubara.



**Gambar 3.4. Proses peleburan dengan dapur krusibel**

3. Tembaga dan magnesium yang akan dilebur dimasukkan ke dalam kowi beberapa saat setelah aluminium melebur.
4. Proses *degassing* dengan peniupan gas Argon selama 3-5 detik untuk mengeluarkan gas-gas hidrogen yang ada dalam logam cair.

5. Proses penuangan logam cair ke dalam cetakan yang sudah disusun penguat tali kawat baja karbon dan dilakukan *pre-heating*, untuk kemudian dilakukan penekanan sebesar 10 barr pada suhu 690-710° C untuk mendapatkan efek *squeeze casting*



Gambar 3.5. Gambar pelat komposit hasil *squeeze casting*.

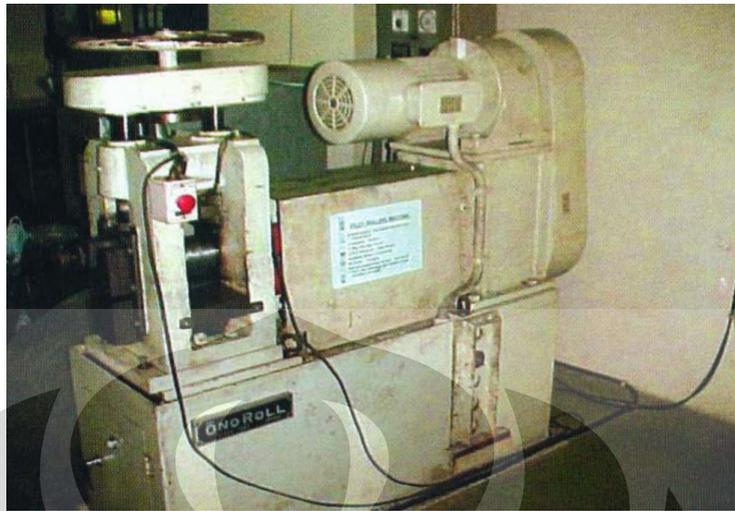
Berikut adalah data pengecoran aluminium komposit berpenguat tali kawat baja karbon :

Tabel 3.5. Data Hasil Pengecoran

	<b>Al-7Si-2Cu-0,01Mg</b>	<b>Al-7Si-2Cu-0,79Mg</b>	<b>Al-7Si-2Cu-1,03Mg</b>
Material Input (gram)	Al-7Si : 1250,6	Al-7Si : 1381,6	Al-7Si : 1219,2
	Cu : 25,2	Cu : 28,6 ; Mg : 13	Cu : 25,2 ; Mg : 15,2
Waktu Tahan	11 menit	20 menit	18 menit
Temperatur Tuang	796 °C	768 °C	780 °C
Temperatur Cetakan	250 °C	228 °C	215 °C
Berat Plat (gram)	1219,2	1186	1183

### 3.3.5. Proses Preparasi Sampel

Pelat aluminium komposit dibagi dua berdasarkan susunan kawatnya, yaitu 1 *layer* dan 2 *layer*. Masing-masing bagian tersebut dibagi menjadi 2 lagi untuk kemudian ada yang diberi perlakuan rolling (10% CW) dan tidak. Proses rolling dilakukan di Laboratorium Teknik Pengubahan Bentuk dengan menggunakan mesin ONO Roll.



Gambar 3.6. Mesin ONO ROLL™

Berikut adalah data sampel yang diberikan perlakuan canai dingin :

Tabel 3.6. Data Sampel Canai Dingin

No	Komposisi Mg	Jumlah Layer	Ketebalan Awal (mm)	Ketebalan Akhir (mm)	% Reduksi Aktual
1	0,01 %	1 layer	15,2	13,4	11,84
		2 layer	15,3	14,5	5,23
2	0,79 %	1 layer	14,5	13,5	6,9
		2 layer	14,8	14,0	5,4
3	1,03 %	1 layer	14,9	14,7	1,34
		2 layer	15,3	14,3	6,53

### 3.4. Tahap Pengujian

#### 3.4.1. Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia pelat aluminium komposit tersebut, untuk mengetahui apakah komposisi tersebut sudah sesuai dengan perhitungan *mass balance*. Pengujian ini berlaku untuk komposisi kimia dari bulk material.

Pengujian ini menggunakan Optical Emission Spectroscopy di Laboratorium Uji Komposisi di LIPI.

Pengujian komposisi secara mikroskopis juga dilakukan dengan metode EDS untuk mengetahui komposisi kimia pada daerah *interface* antara matriks aluminium dengan penguat kawat baja karbon tinggi.

### 3.4.2. Pengujian Tarik

Pengujian kadar tarik menggunakan standar ASTM D 3552 untuk sampel dengan penguat kawat. Mesin yang digunakan adalah mesin uji tarik Shimadzu yang ada di Laboratorium Metalurgi Fisik Departemen Metalurgi dan Material.



Gambar 3.7. Proses pengujian tarik dan sampel Al7Si hasil pengujian

### 3.4.3. Pengamatan Struktur Mikro dan Perpatahan

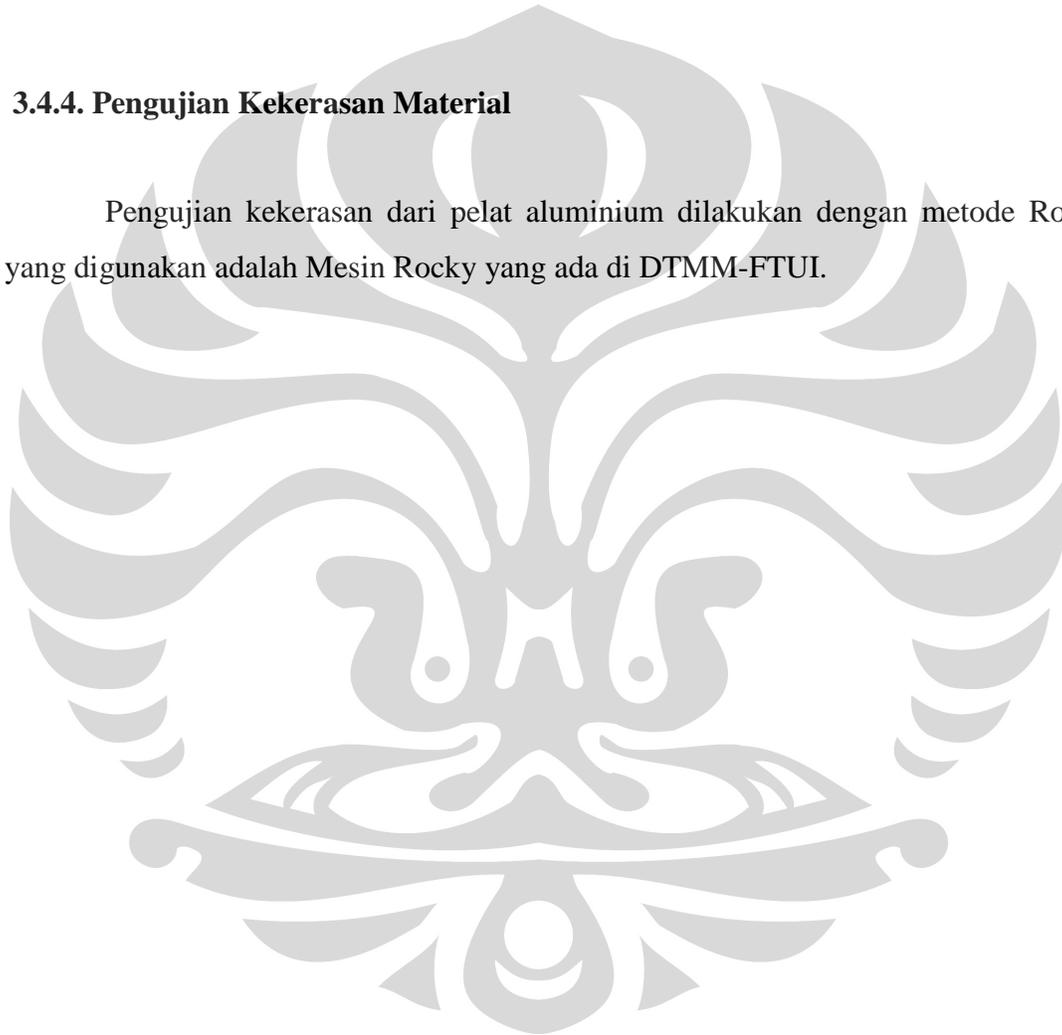
Pengamatan struktur mikro dilakukan di Laboratorium Metalografi dan HST di DTMM-FTUI. Untuk mengetahui struktur mikro dari sampel dilakukan sesuai dengan standar

ASTM E-3. Sebelum sampel diamati struktur mikronya, terlebih dahulu dilakukan persiapan sampel metalografi dengan pengamplasan, poles, etsa dan kemudian baru diamati di bawah mikroskop optik.

Selain itu, dilakukan juga pengamatan pada daerah patahan sampel. Untuk mengetahui jenis perpatahan dari sampel uji tarik, digunakan mesin SEM yang ada di DTMM-FTUI.

#### **3.4.4. Pengujian Kekerasan Material**

Pengujian kekerasan dari pelat aluminium dilakukan dengan metode Rockwell. Mesin yang digunakan adalah Mesin Rocky yang ada di DTMM-FTUI.



## **BAB IV**

### **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

#### 4.1. Analisa Komposisi Kimia Hasil Pengecoran

Pada penelitian ini, target awal untuk variabel komposisi tembaga adalah 2 wt%, sedangkan untuk magnesium masing-masing adalah 0; 0,4 dan 0,6 wt%. Berdasarkan penelitian sebelumnya, jumlah magnesium yang ditambahkan pada saat peleburan adalah sebesar 2 kali lipat dari jumlah seharusnya akibat adanya *weight loss* yang cukup besar pada saat peleburan.

Namun persentase komposisi yang didapat untuk tembaga dan magnesium tidak sesuai dengan prediksi awal. Tabel 4.1 di bawah ini menjelaskan tentang komposisi kimia pelat komposit hasil pengecoran untuk setiap variasi penambahan magnesium.

Tabel 4.1. Komposisi pelat komposit hasil pengecoran

	Komposisi Kimia (wt %)		
	Mg 0,01%	Mg 0,79%	Mg 1,03%
Al	90,82	91,21	91,05
Si	6,65	6,11	6,12
Mg	0,01	0,79	1,03
Cu	2,84	2,16	2,10
Mn	0,022	0,014	0,012
Zn	0,089	0,091	0,089
Ni	-	-	-
Fe	0,081	0,081	0,081
Pb	0,059	0,049	0,045
Bi	0,013	0,024	0,017
Cr	0,0002	-	-
Ti	0,011	0,011	0,011
Sn	0,004	0,007	0,006
V	0,002	0,002	0,001
Ca	0,001	0,0011	0,002
Be	0,0001	0,0001	0,0001

Pada tabel di atas, terlihat bahwa jumlah tembaga dan magnesium yang sebenarnya tidak sesuai dengan prediksi awal. Untuk kadar tembaga, hal ini kemungkinan diakibatkan proses *degassing* yang cukup lama yang mengakibatkan slang *degasser* yang terbuat dari tembaga ikut terlarut dalam aluminium cair. Sedangkan untuk magnesium, kemungkinan diakibatkan oleh kurang akuratnya prediksi *weight loss* yang terjadi sehingga kadarnya tidak sesuai dengan prediksi awal.

Berdasarkan hasil pengujian komposisi kimia di atas, terlihat komposisi tembaga yang cenderung tetap sehingga bisa dijadikan variabel tetap pada pembuatan aluminium komposit berpenguat tali kawat baja ini. Penambahan Cu bertujuan meningkatkan kekuatan dan kekerasan dari paduan aluminium <sup>[5]</sup>.

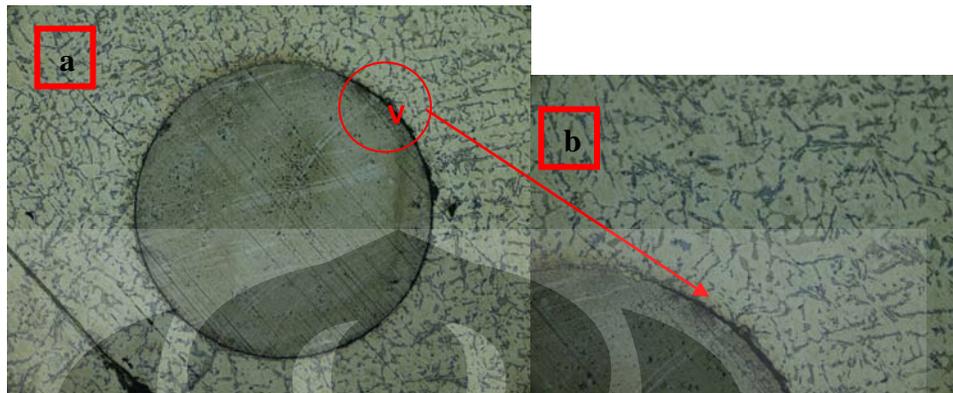
Pada tabel di atas, komposisi magnesium menunjukkan variasi komposisi yang dapat menjadi variabel pembeda antara masing-masing komposisi terhadap sifat antarmuka maupun sifat mekanis seperti kekuatan tarik dan nilai kekerasan dari masing-masing sampel. Penambahan magnesium juga bertujuan untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasan dari paduan aluminium tersebut <sup>[5]</sup>.

Dari tabel 4.1 terlihat bahwa kadar magnesium untuk masing-masing sampel berurutan adalah 0,01 wt%; 0,79 wt% dan 1,03 wt%. Terdapat juga komposisi unsur lainnya seperti Mn, Zn, Fe dan lainnya yang berjumlah kecil sehingga dianggap tidak terlalu memengaruhi sifat mekanis dari pelat aluminium komposit tersebut.

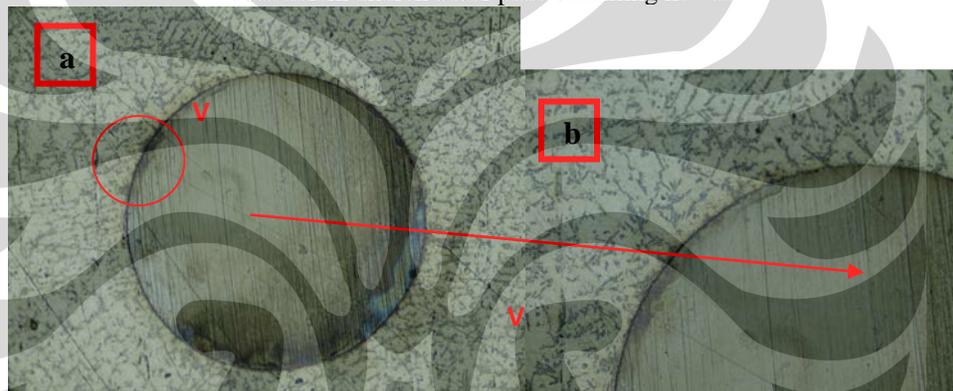
#### 4.1.1. Analisa Penambahan Magnesium terhadap Sifat Antarmuka

Masing-masing sampel dilakukan pengamatan metalografi untuk mengetahui pengaruh magnesium terhadap sifat antarmuka dari matriks aluminium dan penguat tali kawat baja. Sifat antarmuka yang diamati antara lain *void* yang terbentuk dan lapisan intermetalik yang terjadi antara matriks aluminium dan penguat tali kawat baja. Dari sifat antarmuka yang diamati, dapat terlihat sebaik apa pembasahan yang terjadi antara matriks dan penguat yang dapat memengaruhi sifat mekanis dari pelat aluminium komposit tersebut. Semakin sedikit *void* yang terbentuk pada antarmuka penguat dan matriks berarti pembasahannya semakin baik dan sifat mekanisnya pun akan semakin baik <sup>[10]</sup>.

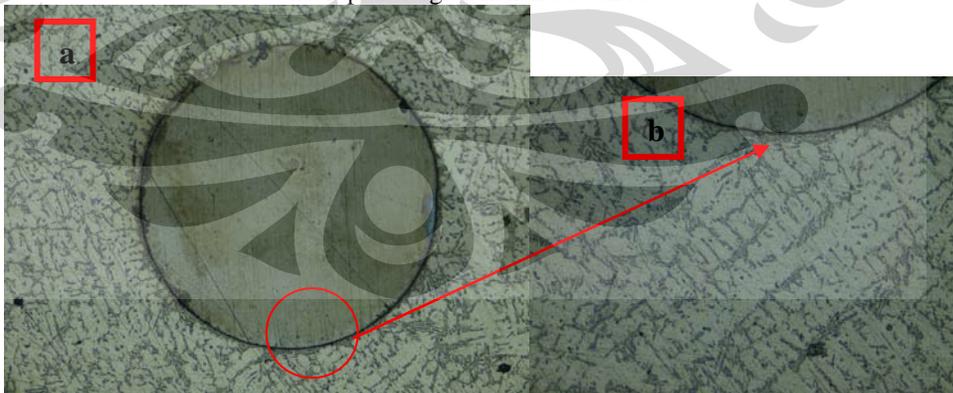
#### 4.1.1.1. Al-7Si-2,84Cu-0,01Mg



Gambar 4.1. Penampakan antarmuka Al-7Si-2,84Cu-0,01Mg (lokasi-1) (a) Perbesaran 100x (b)Perbesaran 200x. Terlihat *void* pada bagian kanan atas kawat. Selebihnya tidak terlihat *void* dalam ukuran besar pada sekeliling kawat.



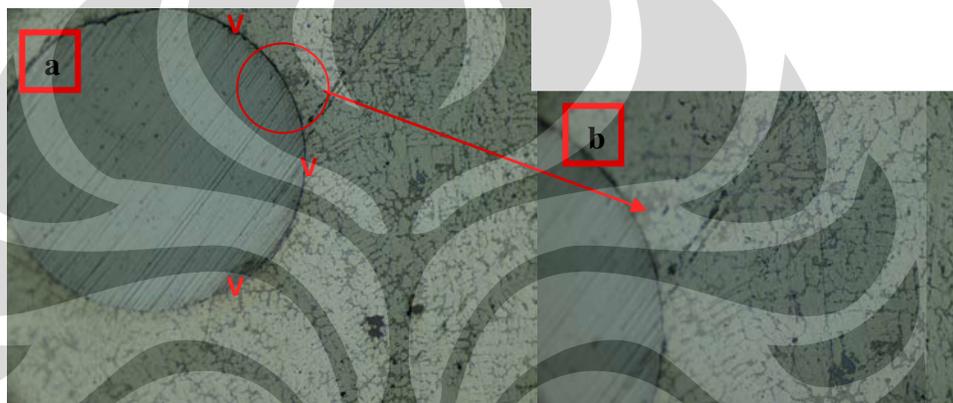
Gambar 4.2. Penampakan antarmuka Al-7Si-2,84Cu-0,01Mg (lokasi-2) (a) Perbesaran 100x (b)Perbesaran 200x. Terlihat *void* pada bagian atas kawat yang cukup besar dan *void* yang kecil pada bagian kanan bawah foto.



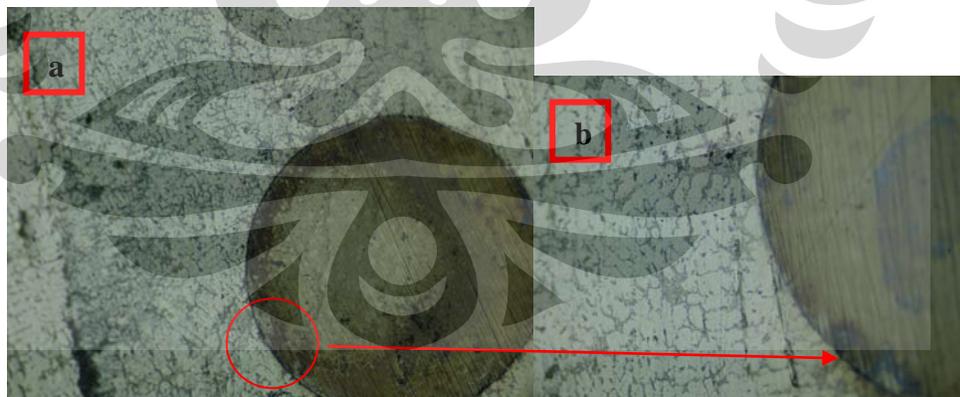
Gambar 4.3. Penampakan antarmuka Al-7Si-2,84Cu-0,01Mg (a) Perbesaran 100x (b)Perbesaran 200x. Secara keseluruhan, tidak terlihat *void* dalam ukuran besar pada antarmuka kawat.

Pada gambar 4.1-4.3 di atas, terlihat bahwa pembasahan pada sampel dengan komposisi 0,01 wt% Mg cukup baik hampir di keseluruhan kawat. Hanya terdapat beberapa *void* yang terdapat di beberapa bagian pada kawat, seperti *void* kecil di gambar 4.1 dan 4.2. Hal ini memperlihatkan bahwa pembasahan kawat pada komposisi 0,01 wt% Mg adalah cukup baik.

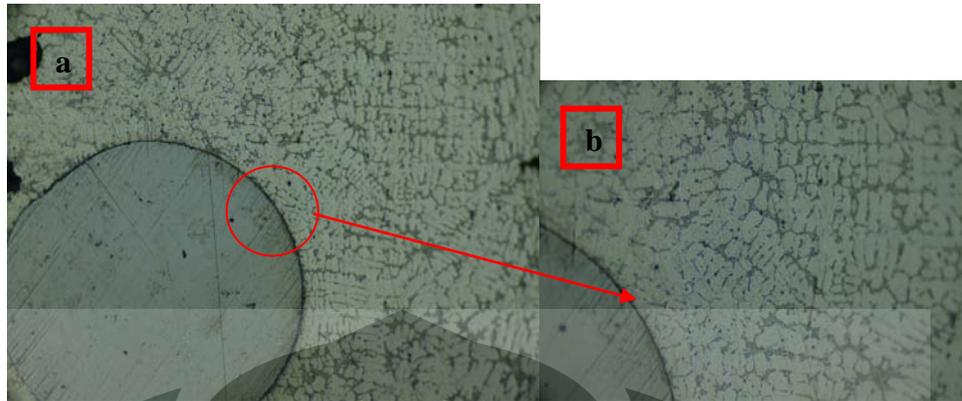
#### 4.1.1.2. Al-7Si-2,16Cu-0,79Mg



Gambar 4.4. Penampakan antarmuka Al-7Si-2,16Cu-0,79Mg (lokasi-1) (a) Perbesaran 100x (b)Perbesaran 200x. Terlihat *void* pada bagian atas kawat dan selebihnya pembasahan pada kawat terlihat cukup baik.



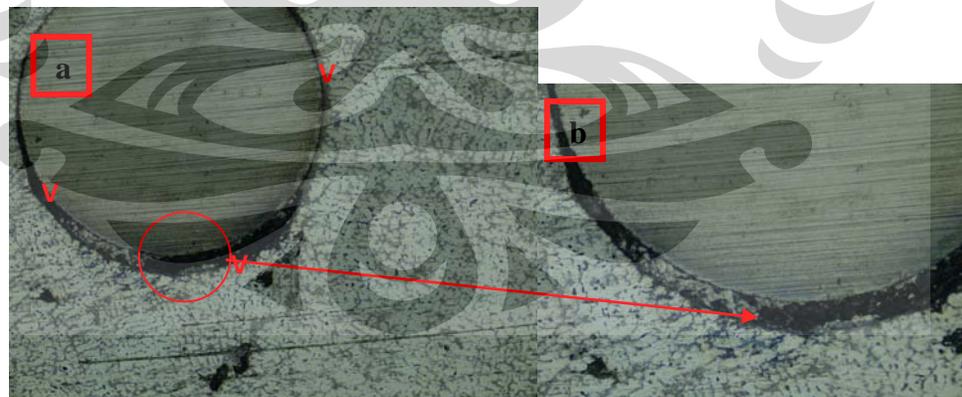
Gambar 4.5. Penampakan antarmuka Al-7Si-2,16Cu-0,79Mg (lokasi-3) (a) Perbesaran 100x (b)Perbesaran 200x. Terlihat adanya *void* dalam ukuran kecil pada bagian kiri bawah kawat. Selebihnya pembasahan pada kawat terlihat cukup baik.



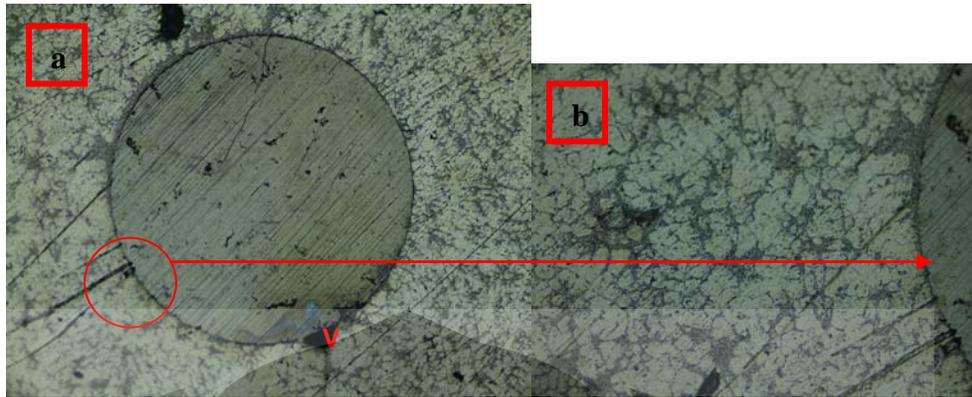
Gambar 4.6. Penampakan antarmuka Al-7Si-2,16Cu-0,79Mg (a) Perbesaran 100x (b)Perbesaran 200x. Tidak terlihat adanya *void* yang cukup besar pada antarmuka kawat di atas.

Pada komposisi 0,79 wt %Mg juga terlihat bahwa pembasahan pada kawat terlihat cukup baik jika dilihat dari gambar 4.4-4.6. Hal ini diperlihatkan dengan pembasahan yang cukup baik di sekitar kawat, walau ada beberapa bagian yang tetap memiliki *void* pada gambar 4.4.

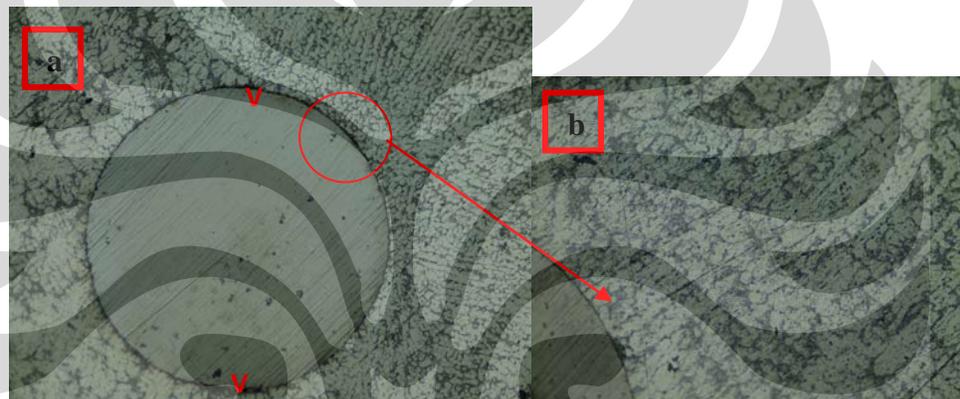
#### 4.1.1.3. Al-7Si-2,10Cu-1,03Mg



Gambar 4.7. Penampakan antarmuka Al-7Si-2,10Cu-1,03Mg (lokasi-1) (a) Perbesaran 100x (b)Perbesaran 200x. Terlihat pembasahan kawat yang sangat buruk pada sekeliling kawat, terutama bagian bawah kawat.



Gambar 4.8. Penampakan antarmuka Al-7Si-2,10Cu-1,03Mg (lokasi-2) (a) Perbesaran 100x (b)Perbesaran 200x. Terlihat *void* dengan ukuran cukup besar pada bagian bawah kawat, namun secara keseluruhan pembasahan kawat terlihat cukup baik.



Gambar 4.9. Penampakan antarmuka Al-7Si-2,10Cu-1,03Mg (a) Perbesaran 100x (b)Perbesaran 200x.Terlihat *void* dalam ukuran kecil pada bagian atas dan bawah kawat. Selibuhnya pembasahan terlihat baik.

Pembasahan yang sangat buruk terlihat pada gambar 4.7. Hal ini kemungkinan disebabkan karena pendinginan yang sangat cepat sehingga tidak terbentuk pembasahan yang baik pada kawat. Pada pengecoran dengan komposisi magnesium 1,03 wt%, preheating yang dilakukan pada cetakan dan kawat hanya sebesar 215 °C sehingga terdapat gradient temperatur yang terlalu jauh saat penuangan, yang mungkin mengakibatkan pembasahan yang terjadi tidak optimal <sup>[23]</sup>. Pada gambar 4.8, terdapat sedikit *void* pada bagian bawah kawat, yang kemungkinan disebabkan kurang bersihnya pembersihan kawat sehingga menyebabkan pembasahan tidak optimal dan membuat *void*.

Gambar 4.9 secara keseluruhan menunjukkan pembasahan yang cukup baik walaupun masih terdapat *void* dalam ukuran yang kecil.

#### 4.1.1.4. Perbandingan Jumlah *Void* Antar Komposisi Mg (0,01%;0,79%;1,03%)

Dari gambar-gambar di atas, tidak terlihat dengan jelas adanya konsistensi pengaruh penambahan Mg terhadap penambahan *void* pada ketiga variasi komposisi Mg. Hampir semua kawat memperlihatkan pembasahan yang cukup baik, dan di lain pihak juga menunjukkan adanya *void*.

Merujuk pada penelitian sebelumnya yang menyebutkan bahwa pengaruh magnesium terhadap pembasahan penguat tali kawat baja optimum hingga komposisi 0,31% Mg<sup>[19]</sup>. Magnesium berfungsi sebagai *wetting agent* dengan tujuan untuk memperbaiki sifat antarmuka antara penguat dengan matriks<sup>[11]</sup>. Namun terlihat pada gambar 4.7 dan 4.8 pembasahan yang buruk pada kadar Mg 1,03 wt%. Hal ini dimungkinkan karena pengaruh pemaduan dengan tembaga yang dapat mengurangi *castability* dari paduan aluminium, sehingga menyebabkan timbulnya *void* pada permukaan kawat<sup>[5]</sup>.

Untuk membandingkan pengaruh ketiga komposisi magnesium disusunlah gambar 4.4 di bawah ini untuk lebih memperjelas pengaruh dari magnesium tersebut terhadap sifat antarmuka penguat tali kawat baja diambil dari gambar terbaik.



Gambar 4.10. Perbandingan sifat antarmuka antar sampel berdasarkan variasi penambahan Mg perbesaran 100x (a) 0,01% Mg, (b) 0,79% Mg, (c) 1,03% Mg

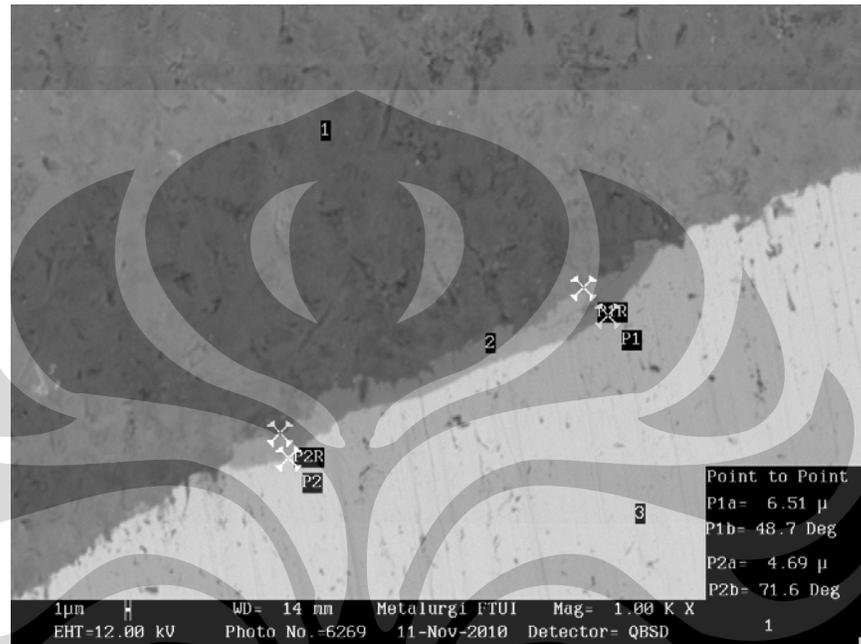
Salah satu kunci untuk mendapatkan sifat komposit secara efektif adalah memastikan bahwa ikatan yang terjadi antara matriks dengan penguatnya terjadi secara optimal. Pembasahan pada kawat oleh matriks aluminium mutlak diperlukan untuk mendapatkan sifat yang diinginkan. Ketiadaan *void* atau tidak terbasahnya kawat oleh matriks menjadi indikasi pembasahan yang baik <sup>[10]</sup>. Pengaruh magnesium terhadap sifat antarmuka adalah sebagai *wetting agent* atau *dopant*, yang berfungsi untuk mengoptimalkan ikatan adhesi antarmuka antara penguat dengan matriks <sup>[24]</sup>. Secara keseluruhan terlihat bahwa tidak terlihat perbedaan yang signifikan atas pengaruh penambahan magnesium terhadap sifat antarmuka penguat dengan matriks. Pembentukan ikatan adhesi yang baik selama pembuatan komposit adalah sebuah proses yang dinamis yang dipengaruhi oleh kondisi selama pemrosesan dan sangat memengaruhi sifat dari komposit itu sendiri <sup>[1]</sup>

#### 4.1.1.5. Analisa Pengaruh Penambahan Mg terhadap Pembentukan Lapisan Intermetalik

Adhesi antara *fiber* dengan matriks adalah salah satu variabel yang harus diperhatikan untuk mendapatkan sifat mekanis dan performa yang baik pada material komposit. Interfasa tidak hanya dilihat pada interaksi secara kimia dan fisika saja, tapi juga mempertimbangkan struktur dan sifat baik pada kawat maupun pada matriks yang dekat dengan daerah interfasa. Fasa yang dimaksud di sini merujuk pada daerah dengan dimensi yang terbatas dimana sifat fasa tersebut berbeda dengan fasa *bulk* materialnya<sup>[1]</sup>.

Sifat yang baik pada interfasa mutlak diperlukan dalam menggabungkan matriks dan penguat terhadap sifat-sifat pada komposit. Fungsi interfasa adalah untuk menyalurkan tegangan atau beban antara kawat

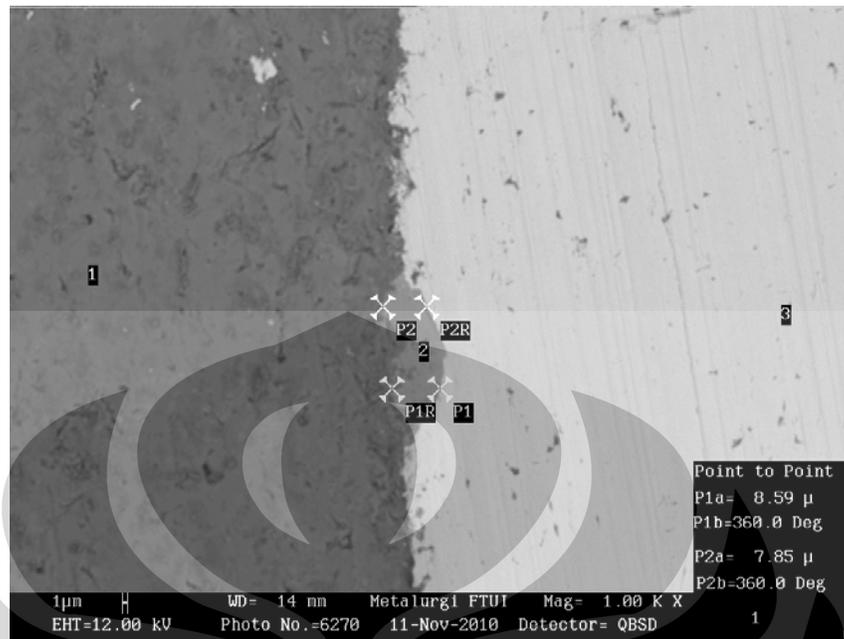
dengan matriks aluminium. Jadi ketika interfasa terjadi secara menyeluruh, sebuah material komposit dapat dikatakan ideal ikatan adhesi antara penguat dan matriksnya <sup>[1]</sup>.



Gambar 4.11. Lapisan Intermetalik yang terbentuk pada permukaan penguat kawat tali baja dengan matriks Al-7Si-2Cu-0,01Mg. (1) matriks aluminium, (2) lapisan intermetalik (3) penguat kawat tali baja.

Tabel 4.2. Komposisi Kimia Gambar 4.6

Unsur (%)	1 (Matriks Al)	2 (Lapisan Intermetalik)	3 (Kawat Tali Baja)
O	4,26	1,15	1,08
Al	91,43	54,56	1,01
Si	2,69	9,86	0,39
Fe	-	34,43	97,52



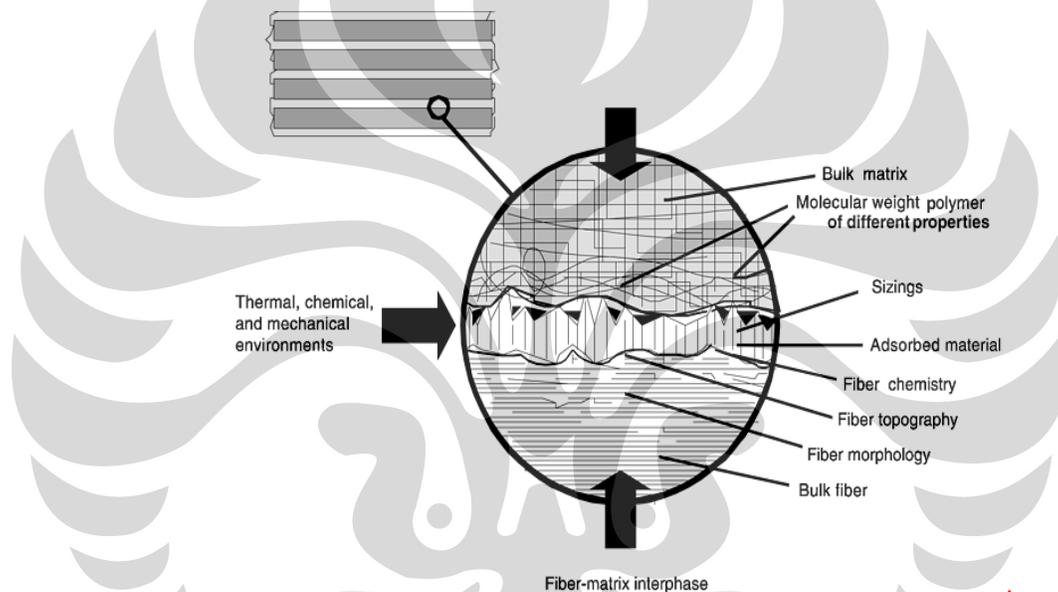
Gambar 4.12. Lapisan Intermetalik yang terbentuk pada permukaan penguat kawat tali baja dengan matriks Al-7Si-2Cu-0,01Mg. (1) matriks aluminium, (2) lapisan intermetalik (3) penguat kawat tali baja.

Tabel 4.3. Komposisi Kimia Lapisan Intermetalik

Unsur (%)	1 (Matriks Al)	2 (Lapisan Intermetalik)	3 (Kawat Tali Baja)
O	6,27	1,57	0,07
Al	92,76	54,34	0,30
Si	0,97	9,36	-
Fe	-	34,74	99,64

Pada kedua gambar di atas, terlihat lapisan yang berbeda warna pada permukaan penguat tali kawat baja yang diduga lapisan intermetalik. Hal ini diperkuat dengan hasil EDS yang diuji pada tiga bagian yang diberi nomor 1,2 dan 3 untuk membandingkan komposisi kimia antara matriks aluminium, kawat tali baja dan lapisan yang diduga sebagai fasa intermetalik.

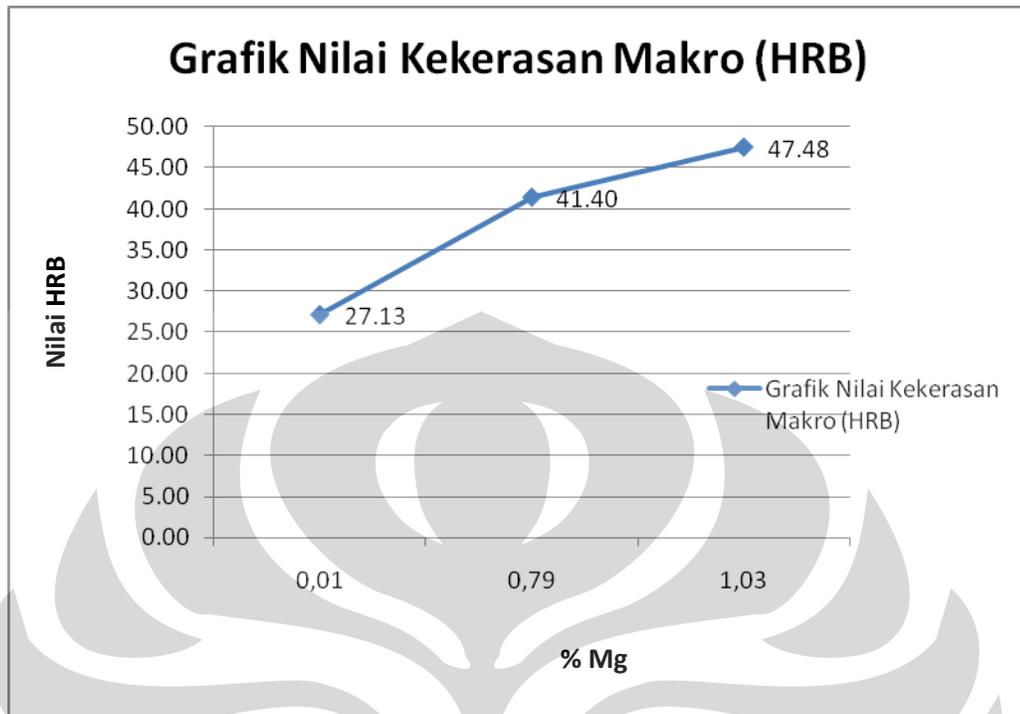
Pada kedua tabel di atas, terlihat bahwa lapisan yang ada pada permukaan penguat kawat tali baja tersebut adalah lapisan intermetalik, yang dibuktikan dengan hasil pengujian EDS. Lapisan intermetalik ini hanya ditemukan pada sebagian kecil sampel Al-7Si-2Cu-0,01Mg dan pada variasi Mg lainnya tidak ditemukan. Hal ini diduga karena waktu pendinginan yang terlalu cepat pada saat penuangan aluminium cair, sehingga lapisan intermetalik belum sempat terbentuk<sup>[12]</sup>. Selanjutnya akan dijelaskan lewat gambar 4.7 di bawah ini.



Gambar 4.13. Ilustrasi proses terjadinya fasa intermetalik<sup>[1]</sup>

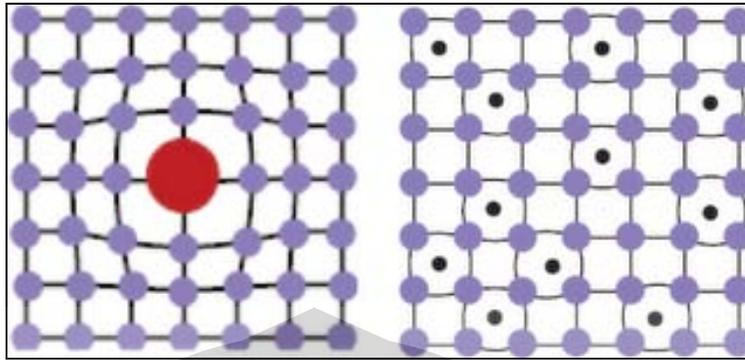
#### 4.1.2. Analisa Pengaruh Penambahan Magnesium terhadap Kekerasan Makro

Masing-masing sampel juga dilakukan pengujian kekerasan makro dengan metode Rockwell. Hasil dari pengujian kekerasan dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.14. Grafik nilai kekerasan makro pelat komposit aluminium berdasarkan variasi penambahan magnesium

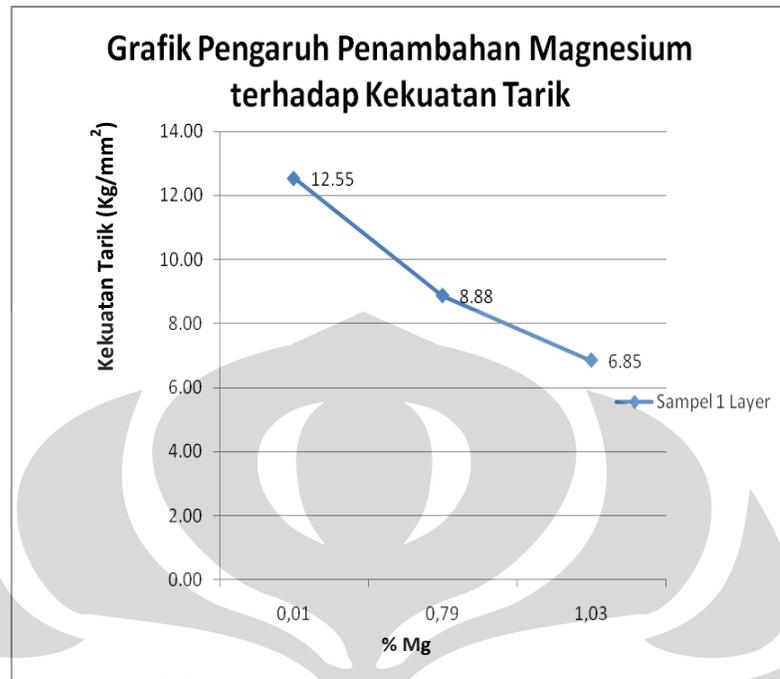
Berdasarkan grafik di atas, terlihat bahwa seiring dengan meningkatnya kadar magnesium pada aluminium komposit, nilai kekerasannya juga mengalami peningkatan. Hal ini sudah sesuai dengan literatur yang menyebutkan bahwa magnesium dapat meningkatkan kekerasan paduan aluminium dengan mekanisme *solid solution strengthening*. Atom magnesium dan tembaga yang mengalami mekanisme *solid solution strengthening* ke dalam atom aluminium akan menghambat pergerakan dislokasi dan meningkatkan nilai kekerasan dari *bulk material* aluminium <sup>[26]</sup>



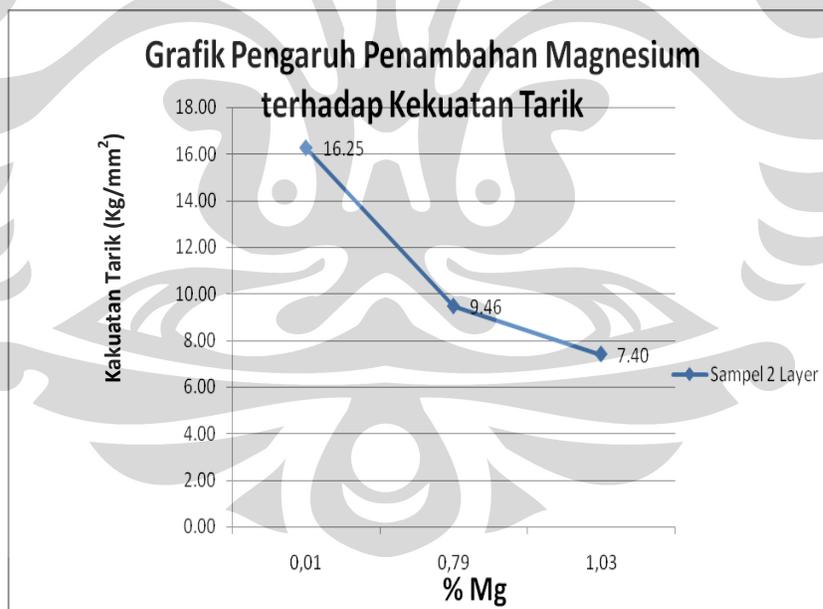
Gambar 4.15 Skema *solid solution strengthening*<sup>[21]</sup>

#### 4.1.3. Analisa Pengaruh Penambahan Magnesium terhadap Kekuatan Tarik

Gambar di bawah ini akan menunjukkan pengaruh penambahan magnesium terhadap sifat-sifat material yang didapat dari pengujian tarik, seperti kekuatan tarik maksimum dan elongasi. Dari hasil tersebut, akan diketahui apakah material tersebut cocok untuk aplikasi sebagai material *armor* karena material tersebut harus cukup ulet untuk dapat menahan beban impact. Aluminium *hypoeutectic* dipilih selain karena ketersediaannya, juga karena paduan ini memberikan ketangguhan yang cukup tinggi.<sup>[7]</sup>



Gambar 4.16. Grafik pengaruh penambahan magnesium terhadap kekuatan tarik sampel 1 layer.



Gambar 4.17. Grafik pengaruh penambahan magnesium terhadap kekuatan tarik sampel 2 layer.

Kedua grafik di atas menjelaskan pengaruh dari penambahan magnesium terhadap kekuatan tarik maksimum dari masing-masing sampel (1

dan 2 layer) hingga sampel tersebut mengalami perpatahan. Pada gambar 4.8, didapatkan bahwa untuk sampel dengan komposisi magnesium sebesar 0,01 wt% adalah  $12,55 \text{ kg/mm}^2$ , untuk sampel 0,79 wt% Mg adalah  $8,88 \text{ kg/mm}^2$  dan untuk sampel 1,03 wt% Mg adalah  $6,85 \text{ kg/mm}^2$ . Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa seiring dengan penambahan kadar magnesium pada pelat aluminium komposit, harga kekuatan tarik maksimum yang didapat akan semakin kecil. Hal ini berdampak pada berkurangnya keuletan dari pelat aluminium komposit.

Sedangkan pada grafik kekuatan tarik maksimum untuk sampel 2 layer juga menunjukkan kecenderungan yang sama dengan sampel 1 layer yaitu terjadi penurunan kekuatan tarik maksimum sejalan dengan penambahan kadar magnesium pada saat pengecoran pelat aluminium komposit. Jika diurutkan, kekuatan tarik maksimum mulai dari kadar terkecil hingga terbesar (0,01-0,79-1,03%) adalah  $16,25 \text{ kg/mm}^2$ ;  $9,46 \text{ kg/mm}^2$  dan  $7,40 \text{ kg/mm}^2$ .

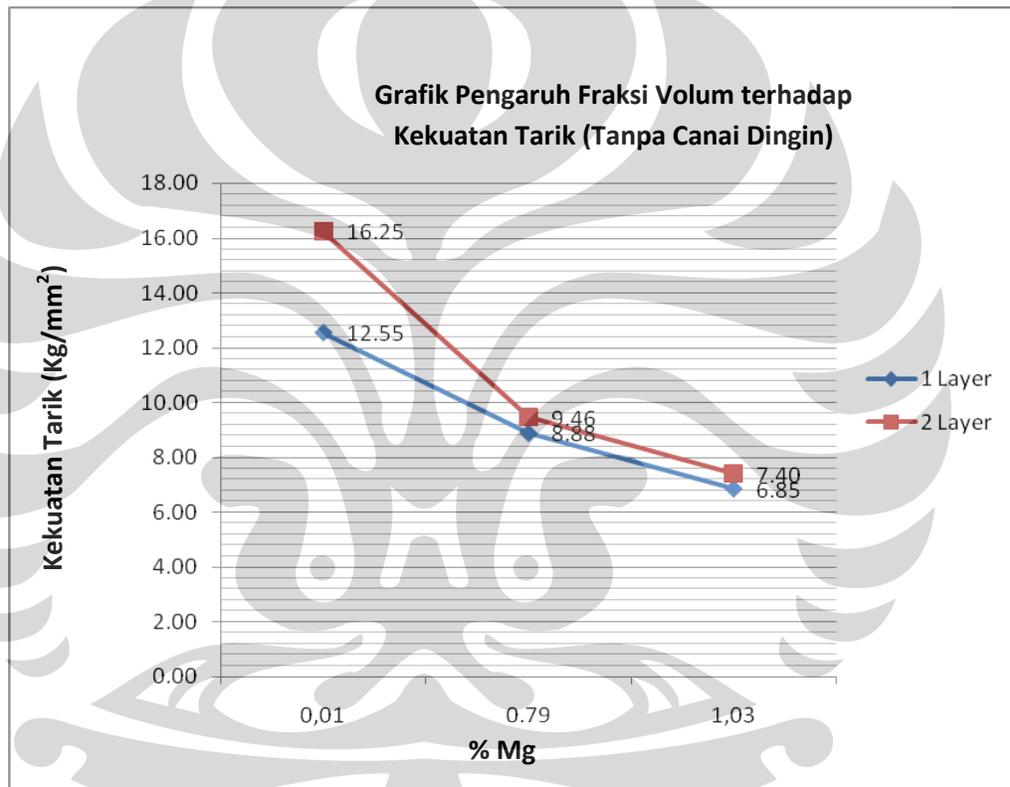
Grafik pengaruh penambahan magnesium terhadap kekerasan dan kuat tarik yang didapat pada penelitian ini saling berbanding terbalik, artinya saat penambahan magnesium, kekerasan meningkat dan justru kuat tarik mengalami penurunan. Penambahan magnesium seharusnya meningkatkan kekuatan tarik dari aluminium, namun ternyata prediksi tersebut meleset.

Hal ini diduga diakibatkan adanya adsorpsi dari zat-zat kimia yang menempel di permukaan kawat akibat terekspos dengan udara sebelum terjadinya proses penuangan. Hal ini dapat mengakibatkan berkurangnya sifat-sifat permukaan yang menguntungkan bagi material komposit tersebut. Material asing yang terserap tersebut dapat menjadi awal dari terbentuknya void yang dapat mengganggu sifat permukaan dari komposit yang selanjutnya juga akan memengaruhi sifat mekanis dari material komposit<sup>[1]</sup>.

## 4.2. Analisa Pengaruh Fraksi Volum

### 4.2.1. Analisa Pengaruh Variasi Fraksi Volum terhadap Kekuatan Tarik

Variasi fraksi volum memberikan pengaruh terhadap kekuatan mekanis, salah satunya adalah kekuatan tarik. Berikut adalah grafik hasil uji tarik dari sampel 1 *layer* dan 2 *layer*.



Gambar 4.18. Grafik pengaruh fraksi volum terhadap kekuatan tarik sampel tanpa canai dingin

Sampel yang diuji adalah sampel yang diberi perlakuan canai dingin dan yang tidak. Pada sampel yang tidak diberi perlakuan canai dingin, kekuatan tarik sampel 2 *layer* lebih besar daripada sampel 1 *layer*. Pada sampel tanpa canai dingin, kekuatan tarik pada kadar Mg 0,01 wt%

menunjukkan angka 12,55 kg/mm<sup>2</sup> untuk sampel 1 *layer* dan 16,25 kg/mm<sup>2</sup> untuk sampel 2 *layer*.

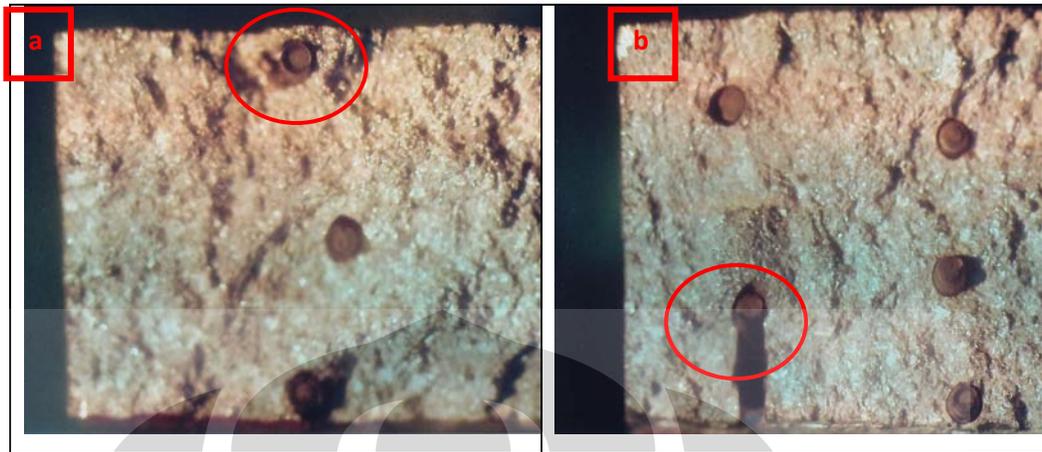
Untuk sampel dengan kadar 0,79 wt% Mg, kekuatan tarik untuk sampel 1 *layer* adalah sebesar 8,88 kg/mm<sup>2</sup> dan untuk sampel 2 *layer* adalah 9,46 kg/mm<sup>2</sup>. Untuk sampel dengan komposisi 1,03 wt% Mg kekuatan tarik sampel 1 *layer* adalah 6,85 kg/mm<sup>2</sup> dan untuk sampel 2 *layer* adalah 7,40 kg/mm<sup>2</sup>.

Dari data hasil pengujian tersebut, dapat terlihat bahwa penambahan fraksi volum memberikan hasil positif terhadap kenaikan kekuatan tarik dari komposit aluminium berpenguat tali kawat baja ini. Hal ini berkaitan dengan persamaan *rules of mixture* sebagaimana diilustrasikan pada persamaan di bawah ini :

$$E_L = E_f V_f + E_m (1 - V_f) \dots (4.1)^{[1]}$$

$E_L$  adalah *tensile modulus* dari material komposit, sementara  $E_f$  dan  $E_m$  menunjukkan *modulus* Young yang dimiliki oleh kawat dan matriks, dan  $V_f$  adalah fraksi volum dari kawat penguat. Hal ini sesuai dengan hasil pengujian yang menunjukkan kekuatan tarik yang lebih besar pada sampel 2 *layer* jika dibandingkan dengan sampel 1 *layer*. Hubungan ini diperoleh dari beban yang diberikan secara normal sesuai dengan arah kawat. Persamaan ini menjelaskan peningkatan kekuatan tarik yang dialami seiring dengan peningkatan fraksi volum <sup>[1]</sup>

Untuk lebih mendapat pemahaman yang lebih mendalam mengenai pengaruh fraksi volum terhadap kekuatan tarik, diambil foto makro perpatahan dari sampel dengan 2 variasi fraksi volum yang berbeda seperti di bawah ini :



Gambar 4.19. Foto makro perpatahan sampel 0,79 wt% Mg dengan perbesaran 6,3x (a) Sampel 1 layer (b) Sampel 2 layer

Pada gambar 4.14 di atas terlihat bahwa perpatahan yang terjadi adalah perpatahan getas yang ditunjukkan dengan warna perpatahan yang terang. Dapat terlihat juga bahwa penguat tidak berfungsi sesuai dengan tugasnya karena mengalami perpatahan lebih dulu. Daerah yang diberi lingkaran adalah daerah yang diduga menjadi awal penjalaran retak. Inisiasi retak ini kemungkinan diakibatkan oleh *void* yang ada di sekitar kawat.

#### 4.3. Analisa Pengaruh Proses Canai Dingin

Pada subbab ini akan dibahas mengenai pengaruh proses canai dingin terhadap sifat mekanis dan penampakan antarmuka dari aluminium komposit berpenguat tali kawat baja karbon. Berikut adalah tabel dimensi sampel sebelum dan sesudah proses canai dingin :

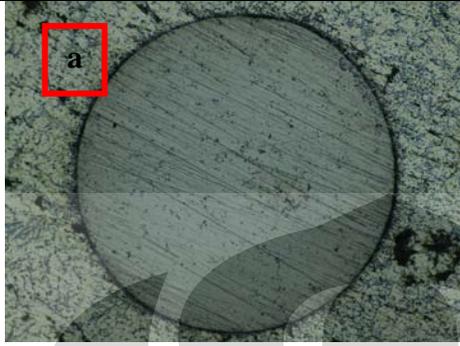
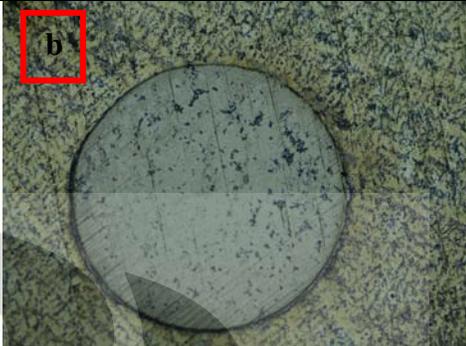
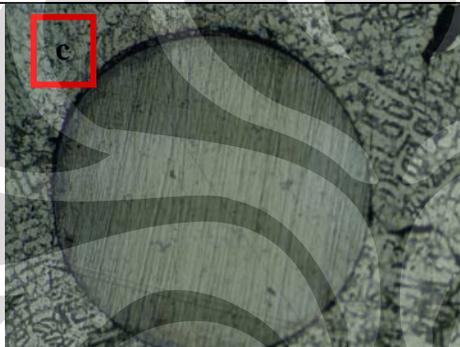
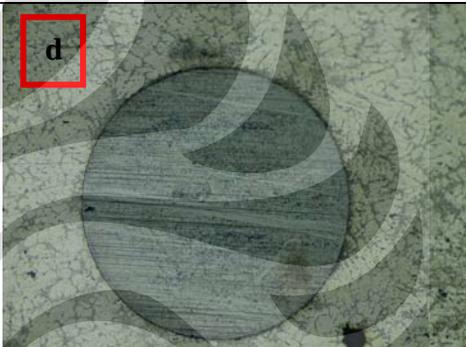
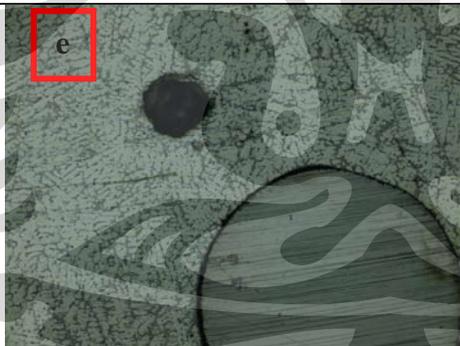
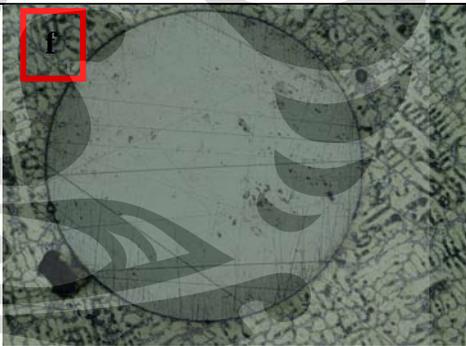
Tabel 4.4. Dimensi sampel sebelum dan setelah canai dingin

No	Komposisi Mg	Jumlah Layer	Ketebalan Awal (mm)	Ketebalan Akhir (mm)	% Reduksi Aktual
1	0,01 %	1 layer	15,2	13,4	11,84
		2 layer	15,3	14,5	5,23
2	0,79 %	1 layer	14,5	13,5	6,9
		2 layer	14,8	14,0	5,4
3	1,03 %	1 layer	14,9	14,7	1,34
		2 layer	15,3	14,3	6,53

Pada tabel 4.4 di atas, terlihat bahwa reduksi ketebalan aktual tidak mencapai angka 10% untuk hampir semua sampel. Hal ini diakibatkan oleh keadaan sampel yang mengalami keretakan atau *bending* saat diberikan proses canai secara bertahap. Saat sampel mengalami awal keretakan, maka proses canai akan dihentikan sehingga tidak mencapai reduksi sebesar 10% seperti yang diinginkan.

#### 4.3.1. Analisa Pengaruh Proses Canai Dingin terhadap Sifat Antarmuka

Proses canai dingin sebanyak 10% reduksi dilakukan untuk meningkatkan kekerasan dari bulk material. Selain itu, proses canai dingin juga memberikan pengaruh kepada sifat antarmuka antara penguat dengan matriks. Proses canai dingin dilakukan searah dengan arah kawat. Namun tidak semua sampel diberi perlakuan canai dingin hingga 10%. Proses canai dingin dilakukan bertahap hingga mencapai reduksi sebesar 10%. Bila sebelum mencapai angka 10% sampel sudah mengalami inisiasi retak, maka proses canai dingin akan dihentikan. Berikut adalah penampakan antarmuka dari sampel yang diberikan proses canai dingin dan yang tidak :

Komposisi	Tanpa Canai Dingin	Dengan Canai Dingin
0,01 % Mg		
0,79 % Mg		
1,03 % Mg		

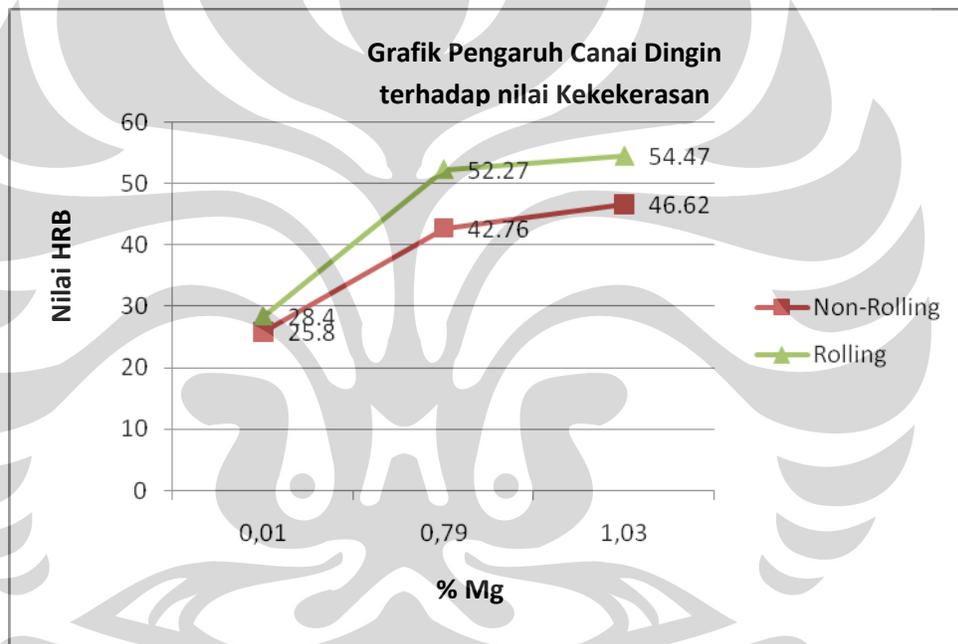
Gambar 4.20. Perbandingan sifat antarmuka berdasarkan variasi penambahan Magnesium dan perlakuan canai dingin dengan perbesaran 100x (a-b) 0,01% Mg (c-d) 0,79% Mg, (e-f) 1,03 Mg

Dari gambar-gambar di atas, terlihat bahwa dengan adanya proses canai dingin, *void* yang terbentuk pada daerah antarmuka antara kawat dengan matriks aluminium bisa direduksi. Hal ini sesuai dengan penelitian

sebelumnya yang menyebutkan bahwa proses canai dingin dapat mengurangi adanya *void* pada daerah antarmuka penguat dengan matriks <sup>[19]</sup>.

#### 4.3.2. Analisa Pengaruh Proses Canai Dingin terhadap Kekerasan Makro

Proses canai dingin dilakukan pada sampel untuk meningkatkan kekerasan dari matriks aluminium. Dilakukan pengujian kekerasan Rockwell untuk mengetahui seberapa besar pengaruh proses canai dingin dalam meningkatkan kekerasan masing-masing sampel.



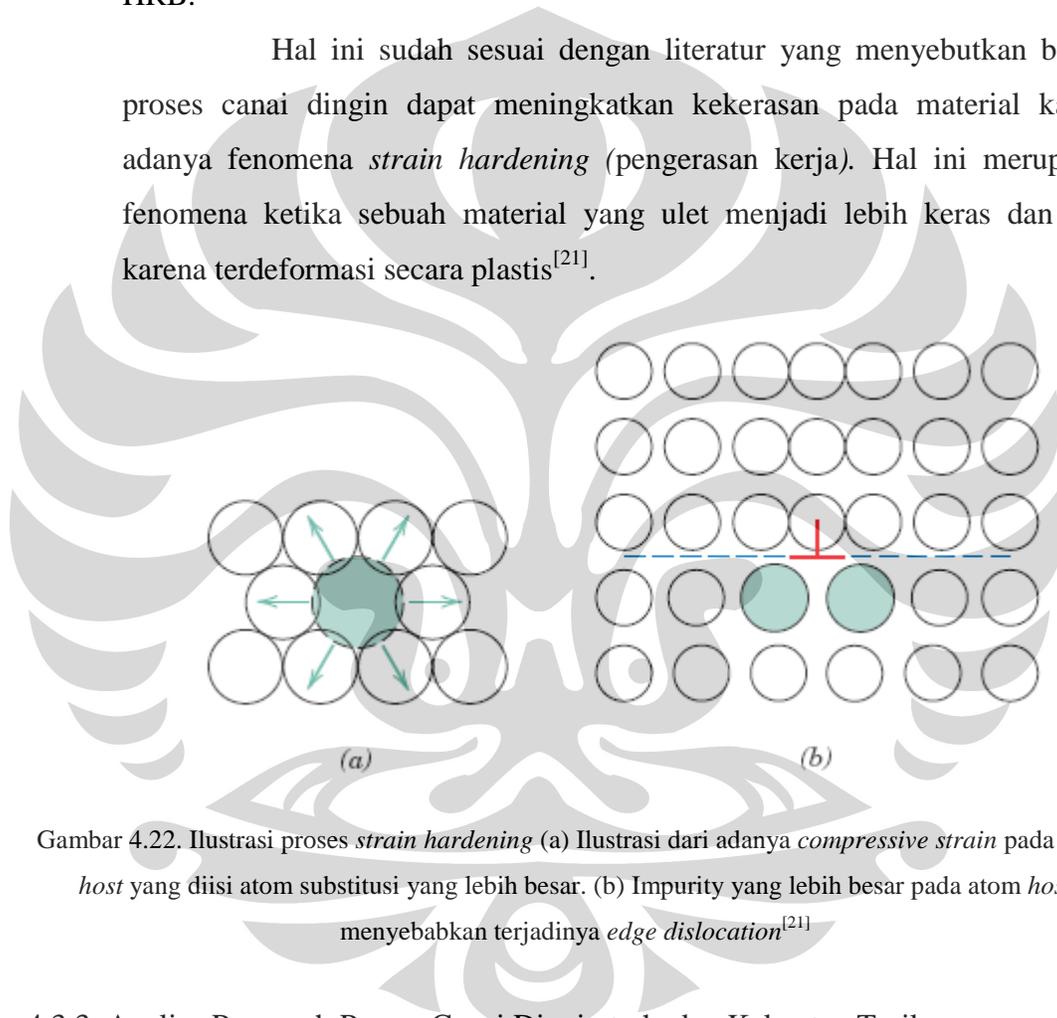
Gambar 4.21. Grafik pengaruh proses canai dingin terhadap nilai kekerasan makro (HRB)

Dari grafik di atas, terlihat bahwa proses canai dingin selalu dapat meningkatkan kekerasan dari sampel komposit ini. Seperti terlihat pada gambar 4.15, semua data kekerasan sampel canai menunjukkan angka yang lebih keras dibandingkan sampel tanpa canai dingin.

Pada sampel dengan komposisi 0,01 wt% sampel canai menunjukkan angka 28,4 HRB, lebih keras daripada sampel tanpa canai yaitu sebesar 25,8 HRB. Pada sampel dengan komposisi 0,79 wt% Mg, sampel

canai dingin (54,02 HRB) lebih keras dibanding tanpa canai (42,76 HRB) dan komposisi terakhir yaitu 1,03 wt% Mg, sampel canai lebih keras (53,36 HRB) dibanding dengan sampel tanpa canai dingin (46,62 HRB). Dan pada komposisi 1,03 2 wt% Mg, kekerasan sampel dengan canai dingin juga lebih keras dibanding tanpa canai, yakni 54,47 HRB berbanding dengan 46,62 HRB.

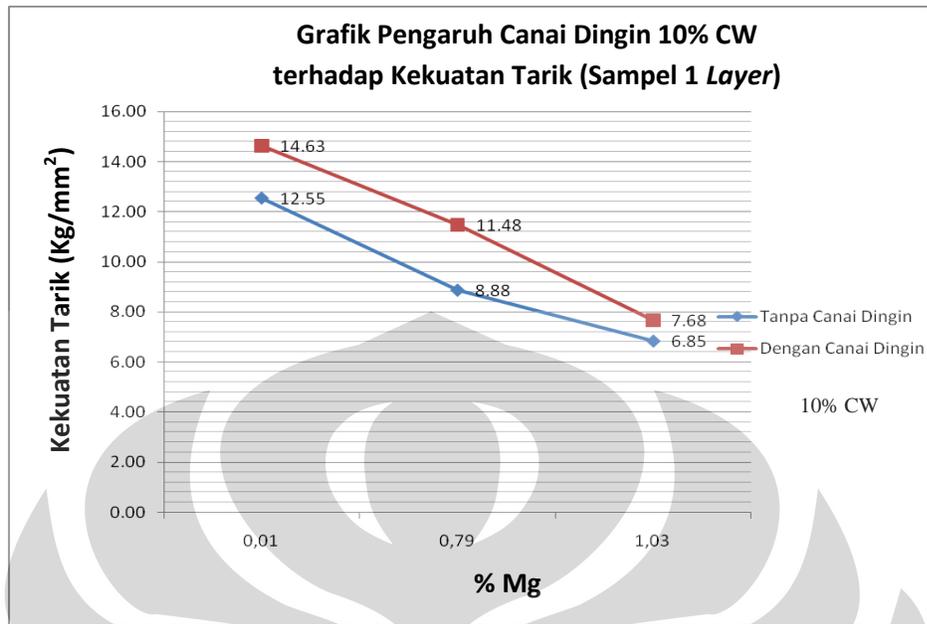
Hal ini sudah sesuai dengan literatur yang menyebutkan bahwa proses canai dingin dapat meningkatkan kekerasan pada material karena adanya fenomena *strain hardening* (pengerasan kerja). Hal ini merupakan fenomena ketika sebuah material yang ulet menjadi lebih keras dan kuat karena terdeformasi secara plastis<sup>[21]</sup>.



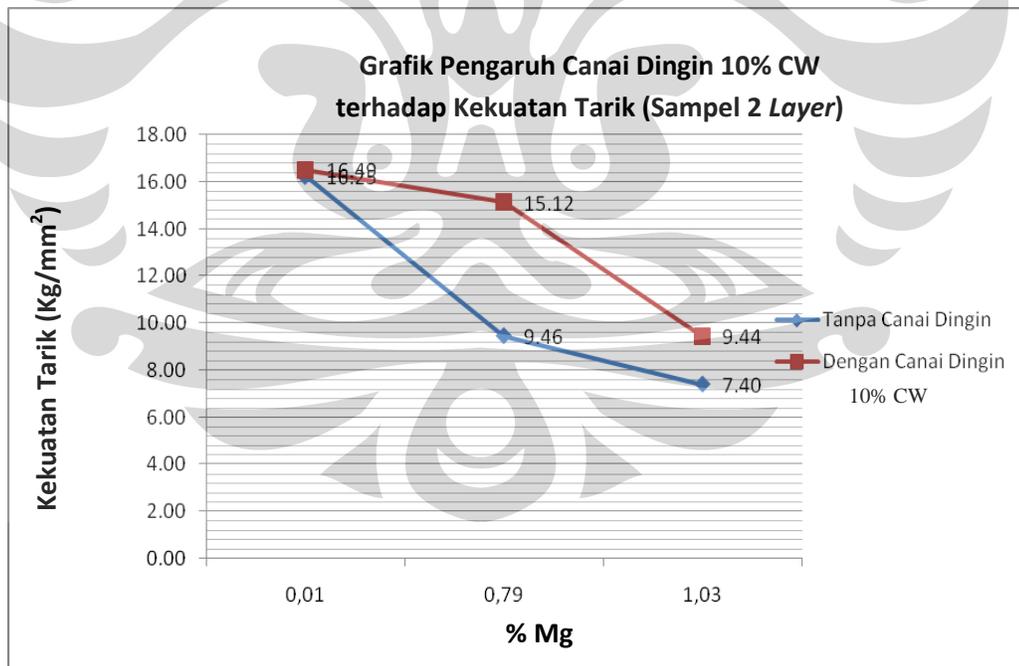
Gambar 4.22. Ilustrasi proses *strain hardening* (a) Ilustrasi dari adanya *compressive strain* pada atom *host* yang diisi atom substitusi yang lebih besar. (b) Impurity yang lebih besar pada atom *host* menyebabkan terjadinya *edge dislocation*<sup>[21]</sup>

#### 4.3.3. Analisa Pengaruh Proses Canai Dingin terhadap Kekuatan Tarik

Proses canai dingin juga diduga memberikan pengaruh terhadap kekuatan tarik dari pelat aluminium komposit. Untuk mengetahui pengaruh dari proses canai dingin, maka dilakukanlah pengujian tarik dengan hasil sebagai berikut :



Gambar 4.23. Grafik pengaruh proses canai dingin terhadap kekuatan tarik maksimum (sampel 1 layer)



Gambar 4.24. Grafik pengaruh proses canai dingin terhadap kekuatan tarik maksimum (sampel 2 layer)

Pada kedua grafik di atas, kekuatan tarik dari sampel canai dan tanpa cenderung mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya kadar Mg. Pada gambar 4.16, pada kadar 0,01 wt% Mg tercatat bahwa sampel tanpa canai memiliki kuat tarik sebesar 12,27 kg/mm<sup>2</sup> dan sampel canai sebesar 14,63 kg/mm<sup>2</sup>. Kekuatan tarik mengalami penurunan pada kadar Mg 0,79 wt% sebesar 8,88 kg/mm<sup>2</sup> untuk sampel tanpa canai dingin dan 11,48 kg/mm<sup>2</sup> dengan canai dingin. Dan untuk sampel dengan kadar 1,03 wt% Mg, kuat tarik maksimum untuk sampel dengan canai dingin lebih besar dari sampel tanpa canai dingin, yaitu 7,68 kg/mm<sup>2</sup> berbanding 6,85 kg/mm<sup>2</sup>. Dari grafik terlihat bahwa pada sampel 1 *layer*, sampel dengan canai dingin lebih besar kuat tarik maksimumnya dibanding sampel tanpa canai dingin.

Sama halnya dengan sampel 1 *layer*, sampel 2 *layer* juga menunjukkan kecenderungan bahwa kuat tarik maksimum sampel dengan canai dingin lebih besar dibanding sampel tanpa canai dingin. Pada sampel 0,01 wt% Mg kekuatan tarik sampel canai lebih besar, yaitu 16,49 kg/mm<sup>2</sup> berbanding 16,25 kg/mm<sup>2</sup> untuk sampel tanpa canai dingin. Sementara pada kadar Mg 0,79 wt%, kuat tarik maksimum sampel dengan canai dingin lebih besar dari sampel tanpa canai dingin, yakni 15,12 kg/mm<sup>2</sup> berbanding 9,46 kg/mm<sup>2</sup>. Pada kadar Mg 1,03 wt%, sampel dengan canai dingin juga menunjukkan angka yang lebih besar dibandingkan sampel tanpa canai dingin, yakni 9,44 kg/mm<sup>2</sup> berbanding dengan 7,40 kg/mm<sup>2</sup>.

Hal ini disebabkan oleh menumpuknya dislokasi pada paduan aluminium yang terbentuk selama terjadinya deformasi. Dislokasi yang menumpuk mengakibatkan dislokasi ini menghambat perambatan retak pada saat pengujian tarik dan menghasilkan nilai UTS yang lebih tinggi untuk sampel yang diberikan canai dingin. Ini membuktikan bahwa dengan meningkatnya kepadatan dislokasi, keuletan berkurang karena pergerakan dislokasi sulit untuk bergerak <sup>[21]</sup>

Perubahan struktur internal pada paduan aluminium menyebabkan perubahan yang cukup berpengaruh terhadap sifat mekanis. Salah satu sifat yang paling terpengaruh adalah kekuatan tarik. *Work-hardening* menunjukkan pengaruh terhadap kenaikan kekuatan tarik antara sampel yang diberi canai dingin dan tidak. Hal ini diakibatkan karena akibat perubahan dimensi dari sampel kepadatan dislokasi bertambah, mengakibatkan kekerasan meningkat dan mengurangi keuletan dari paduan aluminium [27]



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. KESIMPULAN

1. Pemaduan tembaga sebanyak 2 wt% dan variasi magnesium (0,01;0,79;1,03 wt%) tidak menunjukkan hasil yang konsisten terhadap terbentuknya *void* di antarmuka penguat dengan matriks aluminium
2. Pembentukan lapisan intermetalik antara penguat tali kawat baja karbon tinggi dengan matriks aluminium hanya berhasil diperoleh pada Al-7Si-2Cu-0,01Mg.
3. Penambahan magnesium menyebabkan nilai kekerasan *bulk* material mengalami peningkatan, tetapi kuat tarik maksimumnya mengalami penurunan dan tidak sesuai dengan prediksi.
4. Variasi fraksi volum berpengaruh terhadap peningkatan kekuatan tarik dari material aluminium komposit berpenguat tali kawat baja karbon.
5. Proses canai dingin berpengaruh terhadap pengurangan *void* yang ada di antarmuka kawat dan matriks
6. Proses canai dingin berperan dalam menaikkan nilai kekerasan antara sampel yang diberi perlakuan canai dan tidak. Kekuatan tarik juga mengalami peningkatan dibanding sampel yang tidak diberi perlakuan canai dingin. Hal ini karena adanya mekanisme *work hardening* yang menyebabkan kepadatan dislokasi meningkat.

#### 5.2. SARAN

1. Peleburan sebaiknya diberi waktu tahan agar mendapat efek *semisolid* yang diinginkan. Selain itu waktu tahan juga dibutuhkan untuk mendapatkan fasa intermetalik yang dapat diamati.
2. Proses pembersihan kawat yang lebih bersih agar kawat benar-benar bebas dari pengotor yang dapat menyebabkan *void* di permukaan kawat.
3. Proses pengencangan kawat yang lebih baik untuk meminimalisir terjadinya *void* karena longgarnya kawat.

## DAFTAR PUSTAKA

1. *ASM Handbook Vol 21 : Composites* (USA: ASM International, 2001)
2. [http://www2.dupont.com/Kevlar/en\\_US/index.html](http://www2.dupont.com/Kevlar/en_US/index.html). Diakses tanggal 16 Desember 2010.
3. Suharno, Bambang. *Slide Kuliah Pengecoran Paduan Aluminium*. Departemen Teknik Metalurgi dan Material FTUI. Depok.
4. \_\_\_\_\_, *Alloying : Understanding the Basics*.
5. *ASM Handbook. Volume 15 : Casting*. ASM International : Metal Park, Ohio. 1988.
6. Hatch, John E. *Aluminum Properties and Physical Metallurgy*. American Society for Metals : Metal Parks, Ohio. 1995.
7. ASM International. *ASM Specialty Handbook : Aluminum and Aluminum Alloys*. Ohio : American Society for Metals, 1993.
8. Backerud, Lennart; Chai, Guocai; Tamminen, Jarmo. *Solidification Characteristics of Aluminum Alloys : Volume 2 Foundry Alloys*. Stockholm : Skan Aluminium. 1990.
9. American Foundrymen's Society Inc. *Aluminium casting Technology*, (Illinois,1993)
10. Mazlee mohd. Noor, Shamsul Baharia Jamaludin dan Kamarudin Hussin; *Microstructural Study of Al-Si-Mg Alloy Reinforced with Stainless Steel Wires Composite via Casting Technique*; School of Material Engineering, University Malaysia Perlis (UniMAP).
11. Mohar, Rahmat Setiawan. "*Pengaruh Kadar Zat Penggabung PP-g-MA Terhadap Karakteristik Komposit Polipropilena Berpengisi 10 % Berat Serbuk Kayu Karet*". Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2008.
12. Matthews, F.L. dan Rawlings, R.D, *Composite Materials: Engineering and Science* (London: Chapman and Hall), 1994.
13. Kim, J.K dan Mai, Y.W, *Engineered Interfaces in Fiber Reinforced Composites* (Elsevier Science Ltd, 1998)
14. Vasiliev, V.V. dan Morozov, E.V, *Advanced Mechanics of Composite Materials* (Amsterdam:Elsevier Ltd,2007), hal. 18.

15. Yue, T.M. and G.A. Chadwick, *Squeeze Casting of Light Alloys and Their Composites*. Journal of Material Processing Technology, Vol. 58 No. 2 – 3 . 1996.
16. Tjitro, Soejono. et.al “Pengecoran Squeeze” Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kristen Petra, <http://puslit.petra.ac.id/journals/mechanical/>
17. BCS. *Optimization of the Squeeze Casting Process for Aluminium Alloy Parts*. (Washington: U.S Department of Energy), 2000.
18. Hu, B.H., et al, *Squeeze Casting of Al-Si-Cu-Fe-Mn-Mg Alloy*. Journal of Processing and Fabrication of Advanced Materials VI, Vol. 1, 1998
19. Kusuma, Indra. Skripsi. *Pengaruh Magnesium dan Proses Canai Dingin terhadap Kondisi Antarmuka Komposit –Matriks Paduan Aluminium- Berpenguat Kawat Baja yang Dibuat dengan Metode Squeeze Casting untuk Aplikasi Armor*. Skripsi. Program Sarjana Fakultas Teknik UI. Depok. 2010.
20. Tajally, M., Z. Huda and H.H. Masjuki, 2009. *Effect of cold rolling on bending and tensile behavior of 7075 aluminum alloy*. J. Applied Sci., 9: 3888-3893.
21. Callister, William. D. *Material Science and Engineering : And Introduction*. Wiley.2007.
22. [http://www.efunda.com/processes/metal\\_processing/cold\\_rolling.cfm](http://www.efunda.com/processes/metal_processing/cold_rolling.cfm). Diakses 17 Desember 2010.
23. Sutrisno, Tri. *Pengaruh Tembaga dan Proses Canai Dingin terhadap Kondisi Antarmuka Komposit –Matriks Paduan Aluminium- Berpenguat Kawat Baja yang Dibuat dengan Metode Squeeze Casting untuk Aplikasi Armor*. Skripsi. Program Sarjana Fakultas Teknik UI. Depok. 2010.
24. Bhagat, R.B. *High Pressure Squeeze Casting of Stainless Steel Wire Reinforced Aluminium*
25. Okhyusen, Victor. F. *A Practical Assesment Fiber Reinforced Aluminium Matrix Composite*. (Pomona: California State Polytechnic University), 2004
26. \_\_\_\_\_, Lecture kuliah “Metalurgi Fisik I, *Strengthening Mechanism-Precipitation Hardening*” Departemen Metalurgi dan Material FTUI - 2009
27. <http://www.keytometals.com/Article55.htm>. Diakses tanggal 9 Desember 2010.

## Lampiran 1

### Data Uji Komposisi Kimia

AVERAGE:MgO .6 .Cu2  
12.10.2010 10:40:43

Al		91.05	0.00043
Si		6.12	0.01323
Mg		1.03	0.01934
Cu		2.10	0.01342
Mn		0.012	0.00032
Zn		0.089	0.00096
Ni	AA	0.00	0.00409
Fe		0.081	0.01654
Pb		0.045	0.00001
Bi		0.017	0.00510
Cr		0.00	0.00064
Ti	AA	0.011	0.00057
Sn		0.0059	0.00481
V		0.0013	0.00028
Ca		0.0016	0.00082
Be		0.0001	0.00000

AVERAGE:MgO Cu2  
12.10.2010 10:42:31

Al		90.82	0.17220
Si		6.65	0.10348
Mg	A	0.0090	0.00001
Cu		2.84	0.03761
Mn		0.022	0.00025
Zn		0.089	0.00048
Ni	AA	0.00	0.00409
Fe		0.081	0.03038
Pb		0.059	0.00386
Bi		0.013	0.00085
Cr		0.0002	0.00012
Ti	A	0.011	0.00111
Sn		0.0039	0.00074
V		0.0016	0.00061
Ca		0.0009	0.00025
Be		0.0001	0.00000

AVERAGE:MgO .4 .Cu2  
12.10.2010 10:38:30

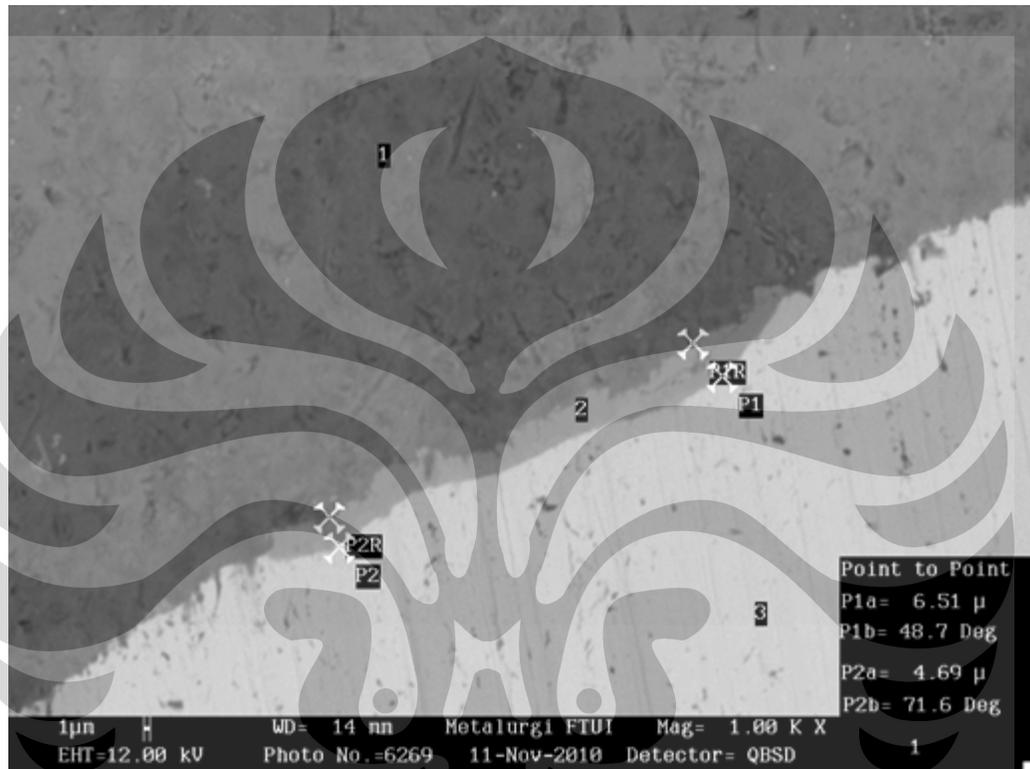
Al		91.21	0.11976
Si		6.11	0.18011
Mg		0.79	0.02144
Cu		2.16	0.00535
Mn		0.014	0.00026
Zn		0.091	0.00068
Ni	AA	0.00	0.00066
Fe		0.081	0.04242
Pb		0.049	0.00317
Bi		0.024	0.00367
Cr		0.00	0.00056
Ti	AA	0.011	0.00064
Sn		0.0066	0.00094
V		0.0020	0.00028
Ca		0.0011	0.00029
Be		0.0001	0.00001

## Lampiran 2

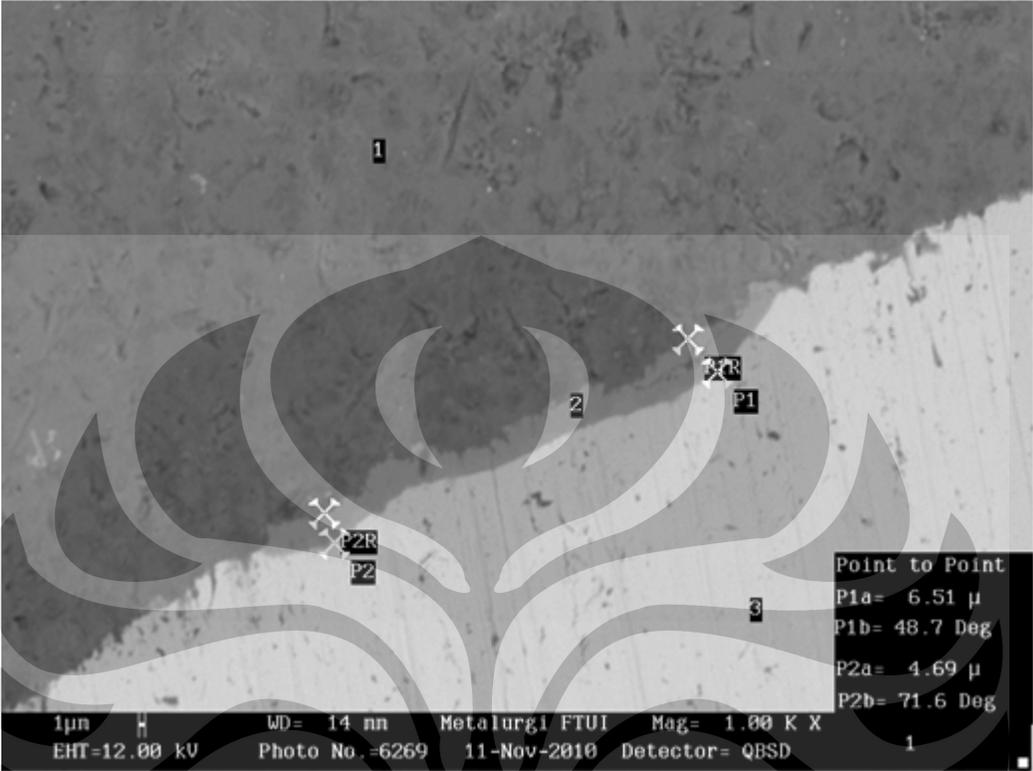
### HASIL PENGUJIAN SEM

(Lapisan Intermetalik)

Komposisi 0,01 % Mg (Lokasi 1)



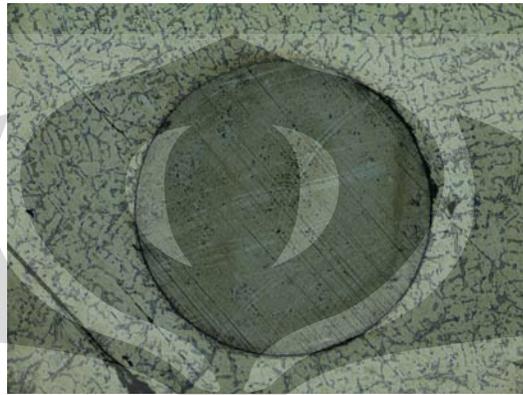
**Komposisi 0,01 % Mg (Lokasi 2)**



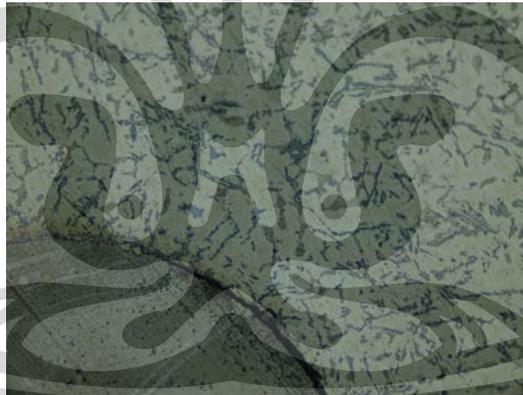
### Lampiran 3

#### Foto Struktur Mikro

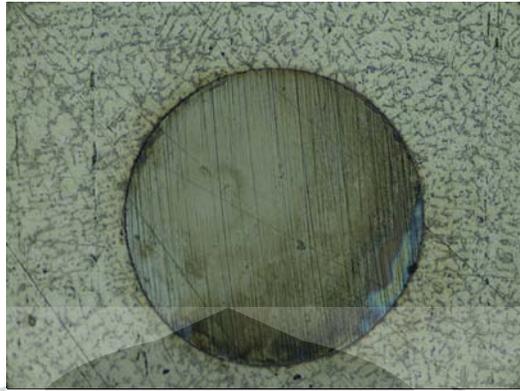
##### 1. Al-7Si-2,84Cu-0,01Mg Sebelum Canai



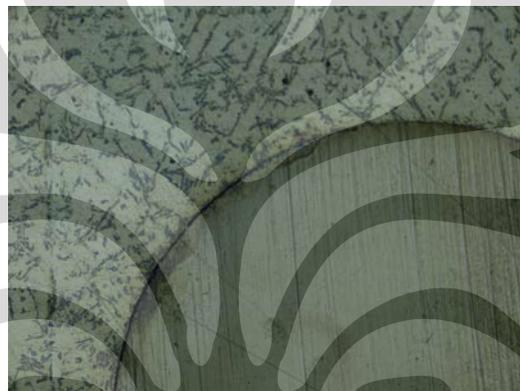
Lokasi 1 (perbesaran 100x)



Lokasi 1 (perbesaran 200x)



Lokasi 2 (perbesaran 100x)



Lokasi 2 (perbesaran 200x)

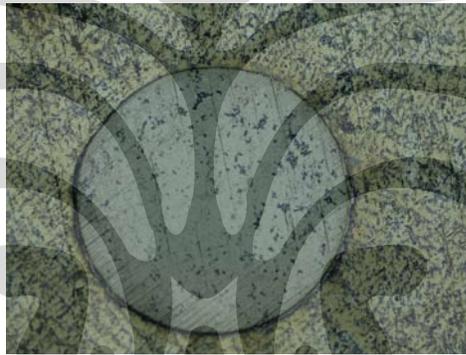


Lokasi 3 (perbesaran 100x)



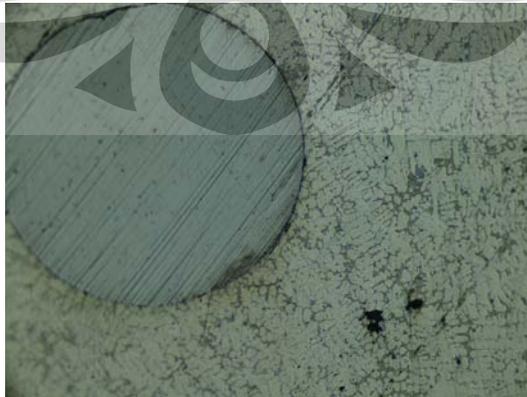
Lokasi 3 (Perbesaran 200x)

**2. Al-7Si-2,84Cu-0,01Mg Setelah Canai**



Perbesaran 100x

**3. Al-7Si-2,16Cu-0,79Mg Sebelum Canai**



Lokasi 1 (perbesaran 100x)



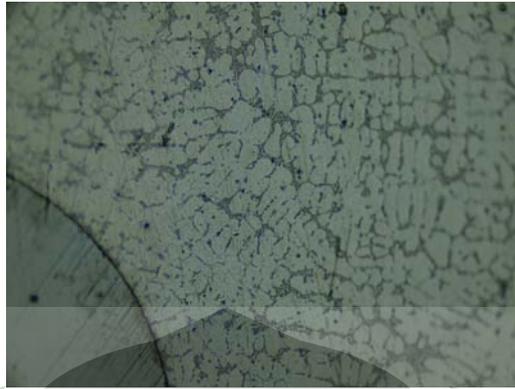
Lokasi 2 (perbesaran 100x)



Lokasi 2 (perbesaran 200x)

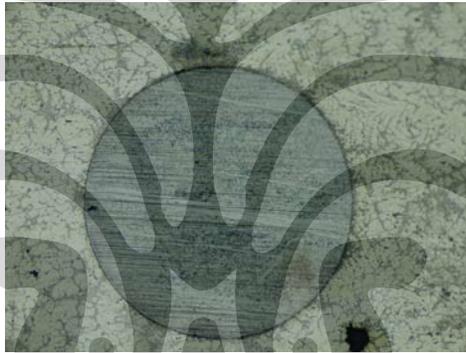


Lokasi 3 (perbesaran 100x)



Lokasi 3 (perbesaran 200x)

**4. Al-7Si-2,16Cu-0,79Mg Setelah Canai**

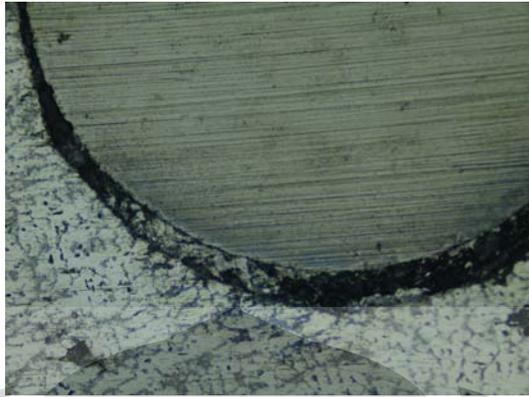


Perbesaran 100x

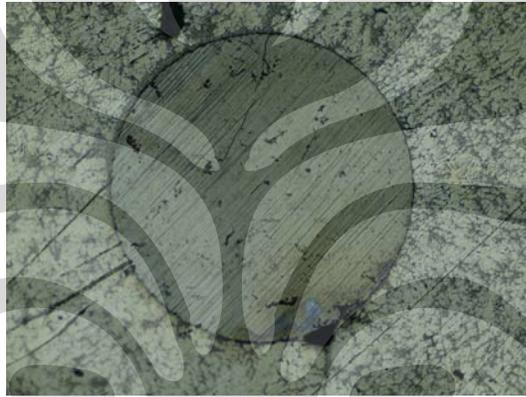
**5. Al-7Si-2,10Cu-1,03Mg Sebelum Canai**



Lokasi 1 (perbesaran 100x)



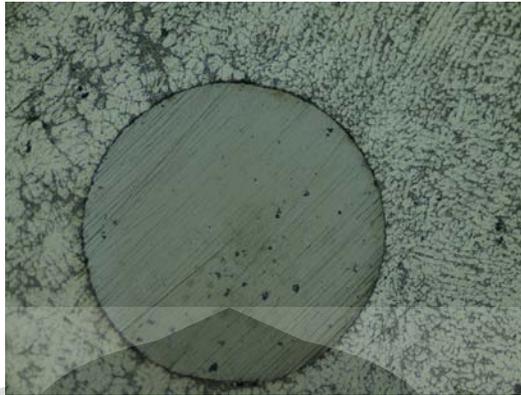
Lokasi 1 (perbesaran 200x)



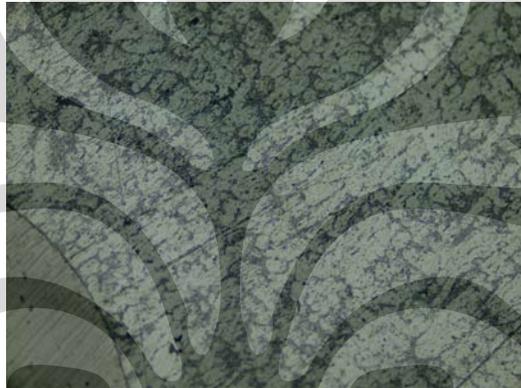
Lokasi 2 (perbesaran 100x)



Lokasi 2 (perbesaran 200x)

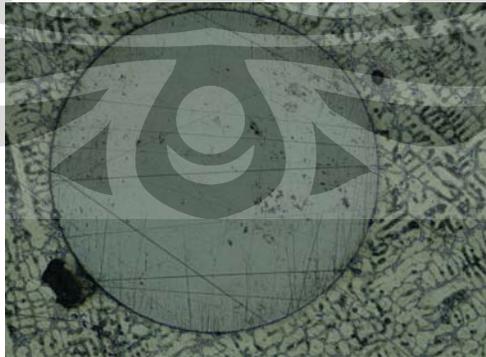


Lokasi 3 (perbesaran 100x)



Lokasi 3 (perbesaran 200x)

**6. Al-7Si-2,10Cu-1,03Mg Setelah Canai**



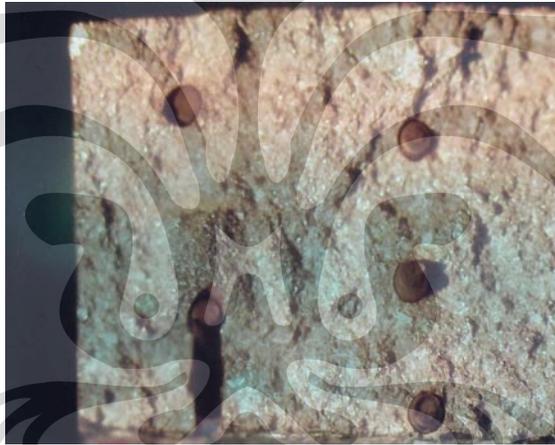
Perbesaran 100x

## Lampiran 4

### Foto Struktur Makro Perpatahan



Sampel Non-Rolling 0,79% Mg (1 layer)



Sampel Non-Rolling 0,79% Mg (2 layer)