



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH PENAMBAHAN 0.4%wt MAGNESIUM DAN  
0.051%wt, 0.31%wt, 2.16%wt TEMBAGA SERTA FRAKSI  
VOLUM DAN PROSES CANAI DINGIN TERHADAP KONDISI  
ANTARMUKA, KEKERASAN DAN KEKUATAN ALUMINIUM  
MATRIKS KOMPOSIT BERPENGUAT KAWAT TALI BAJA  
DENGAN METODE SQUEEZE CASTING**

**SKRIPSI**

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

**RICKY PRADIPTA ADI PUTRA**

**0606075220**

**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 : Ricky Pradipta Adi Putra**

**NPM : 0606075220**

**Tanda Tangan :**

**Tanggal : 9 Desember 2010**

Universitas Indonesia

**HALAMAN PENGESAHAN**

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Ricky Pradipta Adi Putra  
NPM : 0606075220  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul Skripsi : Pengaruh Penambahan 0.4% wt Magnesium Dan 0,051% wt, 0.31% wt, 2.16% wt Tembaga Serta Fraksi Volum Dan Proses Canai Dingin Terhadap Kondisi Antarmuka, Kekerasan dan Kekuatan Aluminium Matriks Komposit Berpenguat Kawat Tali Baja Dengan Metode *Squeeze Casting*

**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 : Dwi Marta Nurjaya, S.T, M.T. ( )  
Penguji 2 : Ir. Dwi Rahmalina, M.T. ( )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 30 Desember 2010

Universitas Indonesia

## KATA PENGANTAR

Saya panjatkan puji syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Metalurgi dan Material Universitas Indonesia. Skripsi ini saya persembahkan kepada kedua orang tua saya yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan kepada saya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Selain itu, saya juga menyadari adanya berbagai pihak yang sangat membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini. Tanpa bantuan mereka, sungguh sangat sulit bagi saya untuk dapat menyelesaikan skripsi ini. Untuk itu saya ucapkan terima kasih yang sebesar-sebesarannya kepada :

1. Prof.Dr.Ing.Ir.Bambang Suharno, selaku dosen pembimbing dan Kepala Departemen Metalurgi dan Material yang membimbing dan selalu memberi arahan dalam penyusunan skripsi ini.
2. Ibu Dwi Rahmalina, selaku pembimbing yang telah bekerja sama dan juga memberikan arahan dalam menyelesaikan skripsi ini
3. Drs. Ahmad Setiyana dan Dra. Enny Srimastutik selaku orang tua penulis dan seluruh keluarga yang selalu memberi dukungan moral dan material selama ini
4. Seorang kekasih tercinta yang selalu di hati, Viona Nesya Artika Sahupala yang selalu memberikan semangat serta dukungan yang tiada henti bagi terselesaikannya skripsi ini
5. Teman-teman satu tim penelitian, Indra Kusuma, Rachmat Ferdian, dan Tri Sutrisno yang selalu bersama-sama bekerja keras dan saling membantu dalam menyelesaikan menyelesaikan penelitian ini
6. Seluruh rekan Metalurgi dan Material angkatan 2006 yang selalu memberi semangat Tangguh, Peduli, Solid terutama kepada Alm. Ari Azhari yang telah memberi banyak pelajaran yang berharga

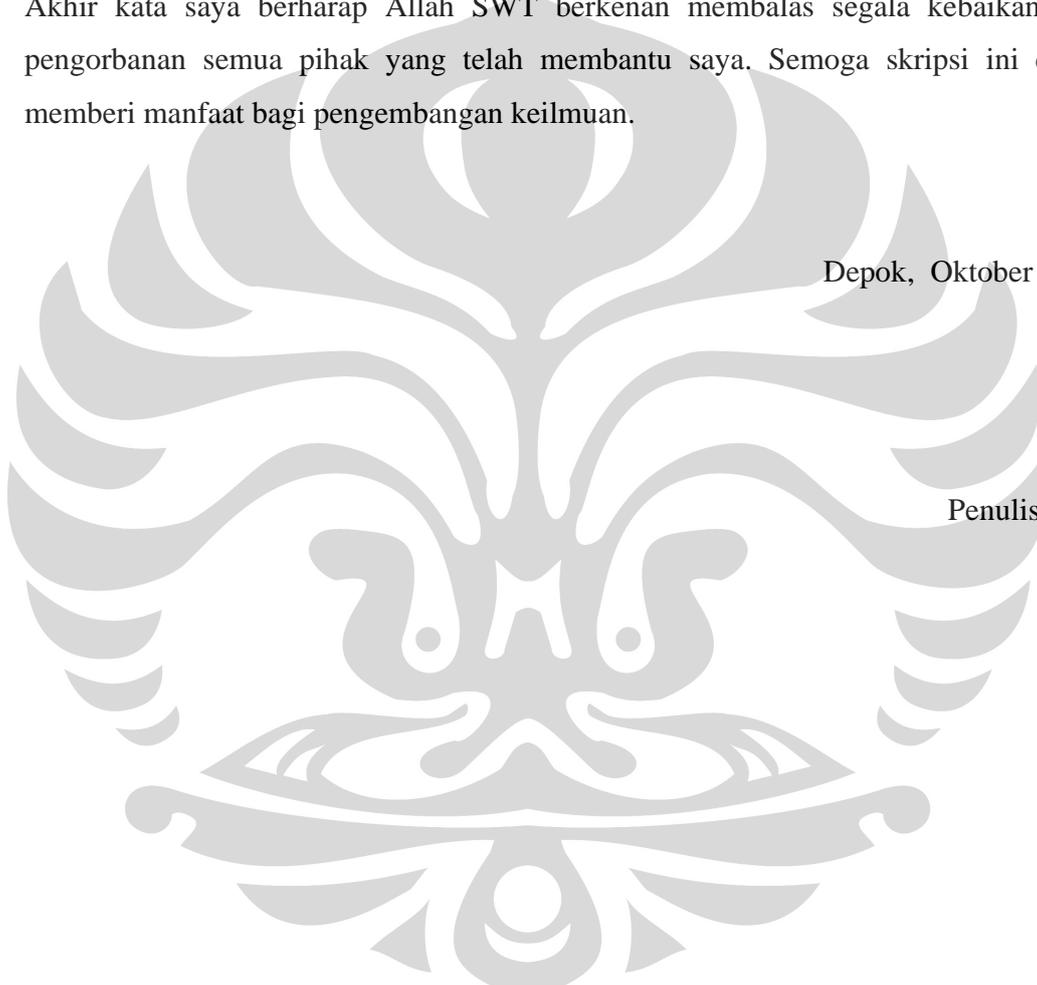
Universitas Indonesia

7. Para dosen yang telah membantu penulis mendalami berbagai ilmu terutama yang berkaitan dengan skripsi ini
8. Seluruh rekan Metalurgi dan Material yang selalu memberi semangat dalam menyelesaikan skripsi ini
9. Seluruh karyawan Departemen Metalurgi dan Material

Akhir kata saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan dan pengorbanan semua pihak yang telah membantu saya. Semoga skripsi ini dapat memberi manfaat bagi pengembangan keilmuan.

Depok, Oktober 2010

Penulis



Universitas Indonesia

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

---

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

Nama : Ricky Pradipta Adi Putra  
NPM : 0606075220  
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 0.4%wt Magnesium Dan 0.051%wt, 0.31%wt, 2.16%wt Tembaga Serta Fraksi Volum Dan Proses Canai Dingin Terhadap Kondisi Antarmuka, Kekerasan dan Kekuatan Aluminium Matriks Komposit Berpenguat Kawat Tali Baja Dengan Metode *Squeeze Casting***

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 : 9 Desember 2010

Yang menyatakan

(Ricky Pradipta Adi Putra)

Universitas Indonesia

## ABSTRAK

Nama : Ricky Pradipta Adi Putra  
 Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
 Judul : Pengaruh Penambahan 0.4%wt Magnesium Dan 0.051%wt, 0.31%wt, 2.16%wt Tembaga Serta Fraksi Volum Dan Proses Canai Dingin Terhadap Kondisi Antarmuka, Kekerasan dan Kekuatan Aluminium Matriks Komposit Berpenguat Kawat Tali Baja Dengan Metode *Squeeze Casting*

Aluminium merupakan material ringan, murah dan mudah dibentuk. Dalam keadaan murni, aluminium memiliki sifat-sifat seperti kekerasan dan kekuatan yang kurang baik. Dalam bidang militer, aluminium digunakan sebagai material armor pengganti baja. Aluminium sebagai material armor harus memiliki sifat kekerasan dan kekuatan yang tinggi, sehingga aluminium murni harus dipadu dengan material lain untuk dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatannya.

Pada penelitian ini dibuat aluminium komposit (Al7Si) dengan kawat tali baja sebagai penguatnya melalui proses pengecoran metode *squeeze casting* dengan cetakan logam yang berukuran panjang 17cm, lebar 17cm, dan tebal 1cm. Di dalamnya disusun kawat tali baja berdiameter 1 mm dengan jarak antar kawat 2 mm dengan fraksi volum 1.4% dan 2.8% dengan arah yang sama dan cetakan dilakukan *preheating* hingga temperatur 300°C. Al7Si dilebur hingga temperatur 650°C lalu ditambahkan 0.4%Mg dan variasi 0%, 1%, 2%Cu sebagai target penambahan. Lalu dituang ke dalam cetakan dan diberi efek *squeeze* dengan pemberian tekanan 10 barr. Kemudian sampel hasil dibagi dua bagian, dimana salah satunya dilakukan proses canai dingin sebesar 10% *Cold Work*. Semua sampel dipotong dengan ukuran masing-masing 1 cm untuk pengujian tarik. Selain itu dilakukan pengujian kekerasan dan pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik. Semua pengujian dan pengamatan dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan variasi Cu, fraksi volum, dan proses canai dingin terhadap daerah antarmuka dan sifat mekanis masing-masing sampel aluminium komposit.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seiring peningkatan penambahan komposisi Cu dan kenaikan fraksi volum, daerah antarmuka pada sampel menjadi lebih baik yang dibuktikan dengan berkurangnya jumlah dan ukuran *void* yang terjadi pada daerah antarmuka. Kekerasan dan kekuatan sampel juga meningkat seiring dengan peningkatan penambahan komposisi Cu dan kenaikan fraksi volum. Kekerasan dan kekuatan pada sampel dengan proses canai dingin 10% lebih tinggi dibandingkan dengan sampel tanpa proses canai dingin 10% dan juga *void* yang terbentuk pada daerah antarmuka menjadi berkurang.

**Kata Kunci :**

aluminium matriks komposit, antarmuka, canai dingin, fraksi volum, kawat tali baja karbon tinggi, penambahan Cu, *squeeze casting*, uji tarik.

## ABSTRACT

Name : Ricky Pradipta Adi Putra  
 Study Program : Metallurgy and Materials Engineering  
 Title : The effect of 0.4%wt Magnesium and 0.051%wt, 0.31%wt, 2.16%wt Cooper addition with Volume Fraction and Cold Rolling Process toward to The Interface Condition, Hardness and Strength of Aluminum Matrix Composite Reinforced High Carbon Steel Wire Rope with Squeeze Casting Method

Aluminum is a material that light in weight, cheap and good formability. In pure condition, aluminum has poor properties like hardness and toughness. In military, aluminum is used as an armor material changing steel. Aluminum as an armor material must has high hardness and toughness for its properties, because of that reason pure aluminum must alloy with other materials to increase its hardness and toughness.

In this research, was made composite aluminum (Al7Si) with steel wire as its reinforce with squeeze casting method and metal mould that its measure is 17 cm for length, 17cm for wide, and 1cm for thickness. Inside the dies, arranged steel wires with 1 mm for diameter and distance 2 mm between wires with 1.4% and 2.8% volume fraction in unidirectional and the dies is being preheat until 300°C. Al7Si is being melted until 650°C, then added by 0.4%Mg and 0%,1%, and 2%Cu for various addition as target of adding. After melting, aluminum has been poured into the dies and has been given 10 barr pressure as a squeeze effect. Each specimen is cut into two pieces, which one of them use for rolling 10% cold work process. All specimens are cutted with 1 cm for each specimen for tensile test. Beside that, all specimens use hardness test and microstructure observation with optical microscope for see the properties. All tests and observations have been done to see the effect of adding various cooper composition, volume fraction, and cold rolling process to interface condition and mechanical properties for each composite aluminum specimen.

The result of this research shows that along with the increasing composition of cooper added and volume fraction, interface condition on the specimen becomes better that been proved with reducing the amount and dimension of void that been on interface layer. The hardness and toughness of specimen also increase along with the increasing composition of cooper added and volume fraction. The hardness and toughness on specimen with 10% cold rolling process are higher than specimen without 10% cold rolling process and the void on interface layer is also decrease.

**Keywords :**

Aluminum matrix composite, interface, cold rolling process, volume fraction, high carbon steel wire, adding cooper, squeeze casting, tensile test

## DAFTAR ISI

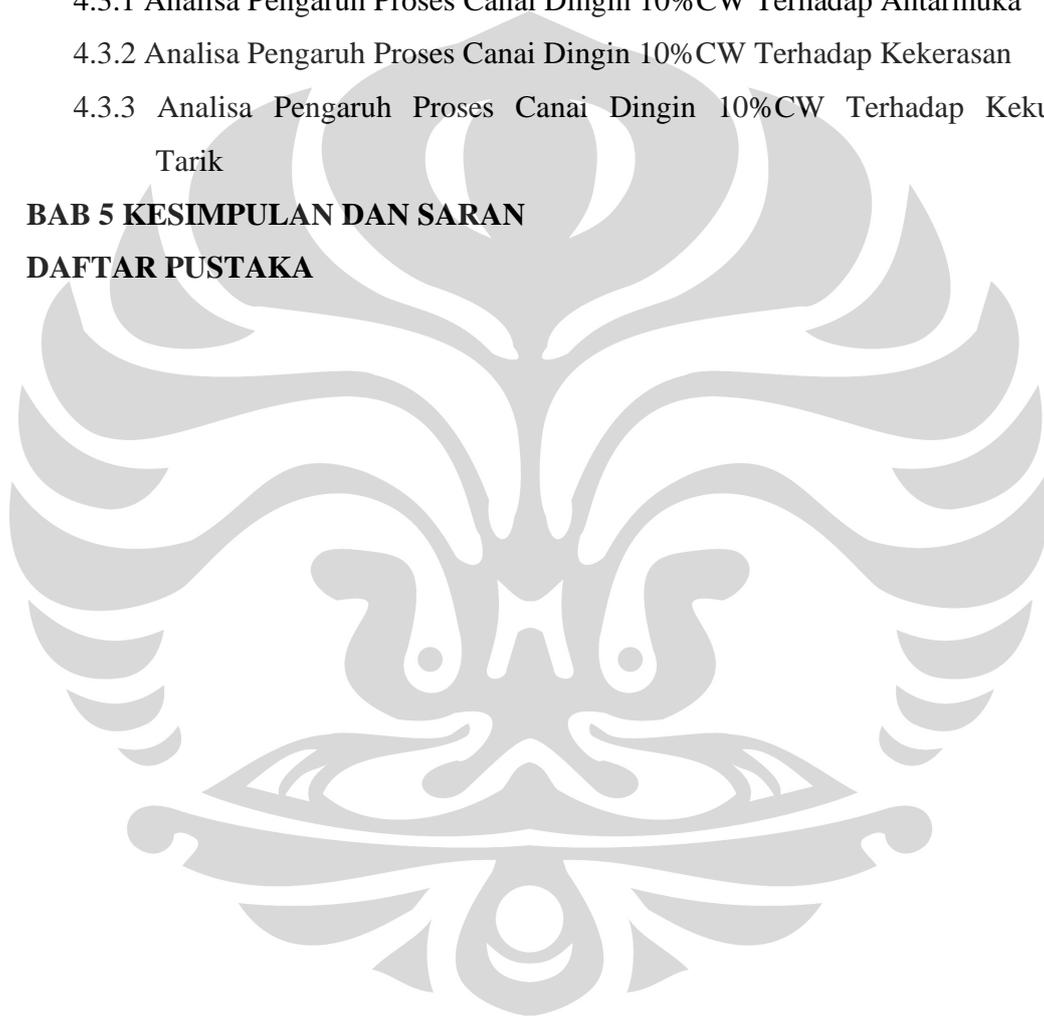
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang Penelitian	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Batasan Penelitian	3
1.4 Sistematika Penulisan	4
<b>BAB II LANDASAN TEORI</b>	
2.1 Aluminium	5
2.2 Aluminium Tuang	6
2.2.1 Paduan Aluminium Silikon	7
2.2.2 Aluminium Silikon (Al 7 wt. % Si)	9
2.2.3 Fasa Intermetalik	12
2.3 Komposit	13

2.3.1 Komposit Matriks Logam	14
2.3.2 Interface Komposit	15
2.3.3 Komposit Paduan Aluminium Berpenguat Kawat Baja Karbon Tinggi	18
2.3.4 Pengaruh jarak kawat terhadap kondisi antarmuka	19
2.4 Pengecoran	19
2.4.1 <i>Squeeze Casting</i>	20
2.5 Canai Dingin	22
 <b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Diagram alir penelitian	26
3.2 Alat dan Bahan	
3.2.1 Alat	27
3.2.2 Bahan	27
3.3 Perhitungan <i>Mass Balance</i>	28
3.4 Pembuatan Cetakan	28
3.5 Perangkaian Kawat Baja	29
3.6 Proses <i>Casting</i>	31
3.7 Pemotongan Sampel	34
3.8 Proses Canai Dingin	34
3.9 Tahap Pengujian	
3.9.1 Pengujian Komposisi	35
3.9.2 Pengujian Tarik	36
3.9.3 Pengamatan Struktur Mikro	37
3.9.4 Pengujian Kekerasan Material	37

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1 Analisa Komposisi Kimia Hasil Pengecoran	38
4.1.1 Analisa Pengaruh Komposisi Cu Terhadap Daerah Antarmuka	40

4.1.2 Analisa Pengaruh Komposisi Cu Terhadap Nilai Kekerasan	46
4.1.3 Analisa Pengaruh Komposisi Cu Terhadap Kekuatan Tarik	48
4.2 Analisa Fraksi Volum	49
4.2.1 Analisa Pengaruh Variasi Fraksi Volum Terhadap Kekuatan Tarik	49
4.3 Analisa Pengaruh Canai Dingin 10%CW	52
4.3.1 Analisa Pengaruh Proses Canai Dingin 10%CW Terhadap Antarmuka	52
4.3.2 Analisa Pengaruh Proses Canai Dingin 10%CW Terhadap Kekerasan	55
4.3.3 Analisa Pengaruh Proses Canai Dingin 10%CW Terhadap Kekuatan Tarik	57
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b>	60
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	62



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Diagram fasa Al- Si	8
<b>Gambar 2.2</b> Pembagian Komposit berdasarkan penguatnya	13
<b>Gambar 2.3</b> Mekanisme <i>Mechanical Bonding</i>	16
<b>Gambar 2.4</b> Mekanisme <i>Electrostatic Bonding</i>	16
<b>Gambar 2.5</b> Mekanisme <i>Chemical Bonding</i>	17
<b>Gambar 2.6</b> Gaya yang dihasilkan pada peristiwa pembasahan	17
<b>Gambar 2.7</b> Proses <i>Direct Squeeze Casting</i>	20
<b>Gambar 2.8</b> Mekanisme <i>Indirect Squeeze Casting</i>	21
<b>Gambar 2.9</b> Pengaruh % CW terhadap sifat mekanis	24
<b>Gambar 2.10</b> Mekanisme Proses Canai	24
<b>Gambar 2.11</b> Mesin Canai	25
<b>Gambar 3.1</b> Flowchart Penelitian	26
<b>Gambar 3.2</b> Gambar cetakan logam	29
<b>Gambar 3.3</b> Cetakan yang telah terpasang kawat	31
<b>Gambar 3.4</b> Proses peleburan dengan dapur krusibel	32
<b>Gambar 3.5</b> Proses pemanasan cetakan	32
<b>Gambar 3.6</b> Gambar pelat komposit hasil <i>squeeze casting</i>	33
<b>Gambar 3.7</b> Gambar mesin ONO ROLL™	35
<b>Gambar 3.8</b> Proses pengujian tarik dan sampel Al7Si hasil pengujian	36
<b>Gambar 4.1</b> Fotomikro dari komposisi (a) 0.051%Cu; (b) 0.31%Cu; (c) 2.16%Cu (perbesaran 100x)	41
<b>Gambar 4.2</b> Struktur Mikro Sampel Penambahan 0.4%Mg 0.31%Cu (SEM)	42
<b>Gambar 4.3</b> Foto Struktur Makro perpatahan sampel Al7Si0.4Mg2.16Cu fraksi volum 1.4% dengan proses canai dingin 10%CW (perbesaran 6.3x)	44

<b>Gambar 4.4</b> Foto Struktur Makro perpatahan sampel Al7Si0.4Mg2.16Cu fraksi volum 2.8% dengan proses canai dingin 10%CW (perbesaran 6.3x)	45
<b>Gambar 4.5</b> Foto Struktur Makro perpatahan sampel Al7Si0.4Mg2.16Cu fraksi volum 2.8% tanpa proses canai dingin 10%CW (perbesaran 6.3x)	45
<b>Gambar 4.6</b> Perpatahan yang terjadi pada sampel uji tarik setelah pengujian	46
<b>Gambar 4.7</b> Grafik Nilai Kekerasan tanpa Proses Canai Dingin 10%CW	47
<b>Gambar 4.8</b> Mekanisme <i>solid solution strengthening</i>	48
<b>Gambar 4.9</b> Grafik Nilai <i>Ultimate Tensile Strength</i> (UTS) terhadap penambahan komposisi Cu untuk sampel tanpa proses canai dingin 10%CW	48
<b>Gambar 4.10</b> Grafik Nilai <i>Ultimate Tensile Strength</i> (UTS) Al7Si0.4Mg0.051Cu tanpa proses canai dingin 10%CW terhadap perbedaan fraksi volum penguat kawat tali baja	50
<b>Gambar 4.11</b> Grafik Nilai <i>Ultimate Tensile Strength</i> (UTS) Al7Si0.4Mg0.31Cu tanpa proses canai dingin 10%CW terhadap perbedaan fraksi volum penguat kawat tali baja	51
<b>Gambar 4.12</b> Grafik Nilai <i>Ultimate Tensile Strength</i> (UTS) Al7Si0.4Mg2.16Cu tanpa proses canai dingin 10%CW terhadap perbedaan fraksi volum penguat kawat tali baja	51
<b>Gambar 4.13</b> Fotomikro sampel tanpa proses canai dingin 10%CW untuk komposisi (a) 0.051%Cu; (b) 0.31%Cu; (c) 2.16%Cu	53
<b>Gambar 4.14</b> Fotomikro sampel dengan proses canai dingin 10%CW untuk komposisi (a) 0.051%Cu; (b) 0.31%Cu; (c) 2.16%Cu	54
<b>Gambar 4.15</b> Nilai Kekerasan tanpa Proses Canai Dingin 10%CW	55
<b>Gambar 4.16</b> Nilai Kekerasan dengan Proses Canai Dingin 10%CW	56
<b>Gambar 4.17</b> Perbandingan Nilai Kekerasan tanpa dan dengan Proses Canai Dingin 10%CW	57

**Gambar 4.18** Nilai UTS Sampel tanpa proses canai dingin dengan fraksi volum  
1.4% 58

**Gambar 4.19** Nilai UTS Sampel tanpa proses canai dingin 10%CW dengan fraksi  
volum 1.4% 58



**DAFTAR TABEL**

<b>Tabel 2.1</b> Sifat-sifat Aluminium	6
<b>Tabel 2.2</b> Klasifikasi Paduan Aluminium berdasarkan AA	7
<b>Tabel 2.3</b> Sifat-sifat Magnesium	11
<b>Tabel 3.1</b> Data <i>Mass Balance</i>	28
<b>Tabel 3.2</b> Spesifikasi Tali Kawat Baja Usha Martin	29
<b>Tabel 3.3</b> Data Pengecoran Aluminium Komposit	34
<b>Tabel 3.4</b> Data Perubahan Diameter Hasil Proses Canai Dingin 10% CW	35
<b>Tabel 3.5</b> Data Hasil Uji Komposisi	36
<b>Tabel 4.1</b> Data Komposisi sampel Aluminium Komposit hasil pengujian komposisi	39
<b>Tabel 4.2</b> Target Perolehan Komposisi	39
<b>Tabel 4.3</b> Perbedaan unsur yang terkandung pada titik pengamatan SEM hasil EDX	43
<b>Tabel 4.4</b> Data hasil Pengujian EDX	43

**DATA LAMPIRAN**

<b>Lampiran 1.</b> Hasil Pengujian Komposisi Spektro	64
<b>Lampiran 2.</b> Struktur Mikro Sampel Penambahan 0.4% Mg 0.31% Cu (SEM)	65
<b>Lampiran 3.</b> Hasil EDAX titik 1	66
<b>Lampiran 4.</b> Hasil EDAX titik 2	68
<b>Lampiran 5.</b> Hasil EDAX titik 3	70



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang Penelitian**

Kebutuhan pada sektor pertahanan negara dalam menghadapi era globalisasi akan semakin meningkat dan semakin kompleks jenisnya. Pada saat ini diperlukan peningkatan fasilitas untuk memenuhi kebutuhan pertahanan, salah satunya adalah material tahan peluru (material armor) untuk menunjang perlengkapan TNI dalam melaksanakan tugasnya.

Material armor adalah material yang memiliki tingkat kekerasan tinggi guna menahan berbagai beban kejut yang diberikan, salah satunya adalah beban balistik sesuai dengan aplikasinya sebagai armor/pelindung. Beban balistik merupakan pembebanan pada material dengan laju regangan yang sangat tinggi. Karakteristik armor balistik dapat dipenuhi oleh sifat ketangguhan yang baik dan kekerasan yang tinggi. Ketahanan material logam terhadap beban balistik bergantung pada beberapa parameter, yaitu parameter proyektil (ukuran, bentuk, masa jenis dan kekerasan), parameter impact (kecepatan dan sudut), dan parameter target (kekerasan/kekuatan, keuletan, struktur mikro dan ketebalan)<sup>[1]</sup>.

Aplikasi material armor secara umum menggunakan baja dengan tingkat kekerasan yang tinggi namun dengan berat jenis yang tinggi yang menjadi salah satu kelemahannya. Untuk mengurangi kekurangan yang ada pada bahan baja, penggunaan aluminium pada aplikasi material armor saat ini sangat diminati. Aluminium yang digunakan dalam bentuk paduan. Selain memiliki ketahanan impact balistik yang mencukupi, paduan aluminium juga memiliki berat jenis yang rendah, dan juga proses pembuatan yang lebih ekonomis dibandingkan dengan material tahan peluru lainnya yang kebanyakan menggunakan teknologi yang lebih modern<sup>[2]</sup>. Salah satu penelitian yang telah dilakukan oleh US Army mengenai penggunaan material aluminium sebagai material tahan peluru, menunjukkan bahwa struktur paduan aluminium tahan peluru mempunyai ketahanan impact yang tinggi terhadap proyektil

dengan kecepatan di atas 2000 m/s<sup>[3]</sup>. Namun informasi eksperimen dan komputasional masih sangat terbatas dan memerlukan pembahasan lebih lanjut mengenai penggunaan paduan aluminium ini sebagai material armor<sup>[3]</sup>. Untuk itu pada penelitian saya menggunakan komposit matriks aluminium yang diperkuat dengan kawat tali baja guna mendapatkan ketahanan impak balistik yang baik dan berat material yang ringan. Selain itu ditambahkan unsur paduan magnesium (Mg) dan tembaga (Cu) untuk meningkatkan kekerasan dan kekuatannya. Penelitian ini juga untuk mengetahui pengaruh fraksi volum kawat yang digunakan yaitu 1.4% dan 2.8% terhadap kondisi antar muka dan sifat mekanis dari komposit sebagai acuan dasar untuk pemilihan bahan sebagai material armor. Metode *casting* yang dilakukan dengan menggunakan *squeeze casting*, dimana *squeeze casting* merupakan suatu proses yang mengkombinasikan keuntungan-keuntungan proses *forging* dan *casting*. Hasil *casting* akan dilakukan berbagai pengujian seperti uji keras dan komposisi. Dan pada akhirnya pengaruh proses canailah yang membuat penelitian ini menjadi baru karena proses canai pada material armor belum pernah diteliti oleh peneliti manapun.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh penambahan komposisi Cu dan Mg pada pengecoran material komposit matriks Al berpenguat kawat tali baja terhadap kondisi antar muka dan sifat mekanis.
2. Mengetahui pengaruh fraksi volum 1.4% dan 2.8% terhadap kondisi antar muka dan sifat mekanis
3. Mengetahui pengaruh proses *squeeze casting* sebagai metode pengecoran yang digunakan dalam pembuatan aluminium komposit
4. Mengetahui pengaruh proses canai dingin terhadap kekerasan dan kekuatan aluminium komposit
5. Memberikan gambaran terhadap pengujian selanjutnya yang akan mengarah pada pengaplikasian komposit Al berpenguat kawat tali baja di bidang material armor (impak balistik/material tahan peluru).

### 1.3 Batasan Penelitian

Batasan penelitian ini adalah :

1. Bahan baku yang pada penelitian ini yaitu :
  - a) Ingot paduan Al7Si sebagai matriks
  - b) Material kawat tali baja (*wire rope*) sebagai penguat
  - c) Batang Cu dan pelat Mg sebagai paduan
2. Aluminium komposit dengan penguat material kawat tali baja dibuat pada cetakan logam berukuran 170x170x15 mm.
3. Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah fraksi volum sebesar 1.4% dan 2.8% dan penambahan 0.4% Mg, 0%,1%,2% Cu pada paduan aluminium komposit berpenguat kawat tali baja.
4. Proses pembuatan aluminium komposit berpenguat kawat tali baja menggunakan teknik pengecoran logam dengan metode *squeeze casting* dengan tahapan proses dimulai dari persiapan cetakan, peleburan ingot Al7Si dan proses penuangan logam Al7Si cair ke dalam cetakan.
5. Material komposit yang telah dibuat dilakukan proses canai dingin dengan mereduksi ketebalan hasil sebesar 10% *Cold Work*
6. Pengujian yang dilakukan antara lain :
  - a) Pengujian tarik
  - b) Pengujian kekerasan
  - c) Pengamatan struktur makro daerah patahan
  - d) Pengamatan struktur mikro dengan menggunakan mikroskop optik dan *scanning electron microscope (SEM)*

### 1.4 Sistematika Penulisan

Skripsi ini disusun atas beberapa bab yang terdiri atas pendahuluan, landasan teori, metodologi penelitian, data dan pembahasan, dan penutup.

**Bab 1 Pendahuluan**

Berisi tentang latar belakang penelitian, tujuan penelitian, batasan penelitian dan sistematika penulisan.

**Bab 2 Landasan teori**

Berisi mengenai dasar-dasar teori yang terkait dengan penelitian diantaranya mengenai aluminium komposit baik pengertiannya maupun sifat kemampubasahannya, pengaruh unsur Cu dan Mg, pengecoran dengan metode *squeeze casting*, dan proses canai dingin 10% *Cold Work*.

**Bab 3 Metodologi Penelitian**

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

**Bab 4 Data dan Pembahasan**

Berisikan semua data dari pengujian yang telah dilakukan baik dalam bentuk angka, gambar maupun grafik, serta membahas mengenai analisa dari hasil pengujian tersebut dengan membandingkannya dengan dasar teori.

**Bab 5 Penutup**

Terdiri atas kesimpulan dan saran yang diambil dari penelitian ini.

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Aluminium**

Aluminium merupakan logam *non-ferrous* yang memiliki kelebihan utama yaitu ringan dan ketahanan korosi yang baik. Namun dalam aplikasinya, aluminium tidak dapat digunakan sebagai logam murni karena kekuatan dan kekerasannya rendah. Aluminium memiliki kelebihan dari logam-logam lainnya, antara lain :

1. Aluminium relatif ringan dengan berat jenis sebesar 2,7 g/cm<sup>3</sup> atau hampir 1/3 berat baja.
2. Kekuatan mekanis dan sifat-sifat fisiknya dapat ditingkatkan dengan cara menambahkan unsur-unsur paduan.
3. Aluminium dan logam paduan, pada umumnya memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap larutan kimia, cuaca, dan berbagai jenis gas.
4. Aluminium memiliki sifat elastisitas yang tinggi, sehingga material ini sering digunakan dalam aplikasi yang melibatkan kondisi pembebanan kejut.
5. Aluminium memiliki sifat non-magnetik serta memiliki konduktivitas listrik dan panas yang hampir sebaik tembaga.
6. Aluminium juga bersifat mudah ditempa dan mudah dikerjakan dalam kebanyakan proses manufaktur dan perubahan bentuk.

Aluminium sangat berperan penting dalam berbagai aplikasi karena memiliki sifat-sifat menarik yang beraneka ragam. Beberapa sifat fisik aluminium antara lain:

**Tabel 2.1** Sifat-sifat Aluminium<sup>[3]</sup>

Sifat	99.996% Al	> 99.0% Al
Massa Jenis	2,6989 g/cm <sup>3</sup>	2,71 g/cm <sup>3</sup>
Titik Lebur	660,2 C	653-657 C
Panas jenis	0,2226 cal /g C	0,2297 cal /g C
Koef. Temperatur	0,00429 /C	0,0115 /C
Hantaran Listrik	64,94%	59 % (dianil)
Koef. Ekspansi Linier	23,86 x 10	23,5 x 10
Jenis Kristal	FCC-a= 0,4013	FCC-a = 0,404

## 2.2 Aluminium Tuang

Aluminium tuang paduan dibandingkan dengan kebanyakan logam lainnya memiliki temperatur yang relatif rendah (sekitar 650 °C). Sebagai material tuang aluminium memiliki karakteristik antara lain<sup>[4]</sup>:

- 1) Memiliki temperatur lebur yang rendah. Hal tersebut akan menghemat penggunaan energi dalam proses peleburannya.
- 2) Massa jenis aluminium sekitar 1/3 dari massa jenis baja (2,7 g/cm<sup>3</sup>)
- 3) Fluiditas nya baik sehingga aluminium mampu mengisi rongga – rongga dari cetakan yang tipis.
- 4) Memiliki stabilitas kimia yang cukup baik.
- 5) Memiliki siklus penuangan yang cukup cepat karena perpindahan panas dari aluminium ke cetakan relatif cepat.
- 6) Dalam hal kelarutan gas terhadap hidrogen dapat dikendalikan dengan proses yang tepat.
- 7) Memiliki permukaan *as-cast* yang baik, berkilat, dan tanpa noda.

Paduan aluminium tuang telah diklasifikasikan dalam suatu sistem berdasarkan unsur paduannya, Sistem klasifikasi yang umum dipakai dalam tata nama paduan aluminium tuang adalah berdasarkan standar *Aluminium Association* (AA) dan *American National Standard Institute* (ANSI H35.1-1978). Berikut ini adalah klasifikasi paduan aluminium tuang berdasarkan AA:

**Tabel 2.2** Klasifikasi Paduan Aluminium berdasarkan AA<sup>[5]</sup>

Seri 1xx.x	Al murni ( $\geq 99\%$ )
Seri 2xx.x	Tembaga (Cu)
Seri 3xx.x	Si+Cu/Mg
Seri 4xx.x	Silicon (Si)
Seri 5xx.x	Magnesium(Mg)
Seri 6xx.x	Seri yg tidak digunakan
Seri 7xx.x	Zinc (Zn)
Seri 8xx.x	Sn
Seri 9xx.x	Unsur lain-lain

Digit pertama menunjukkan kelompok paduan, digit kedua dan ketiga menunjukkan jenis spesifikasi aluminium paduan tersebut, sedangkan digit keempat mengindikasikan bentuk produk<sup>[3]</sup>, dimana :

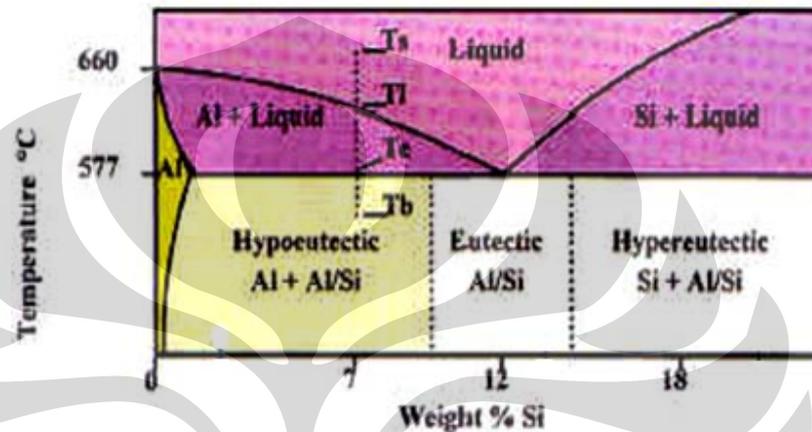
- 0 untuk mengindikasikan keterbatasan kimia yang diberikan pada paduan coran.
- 1 untuk mengindikasikan keterbatasan kimia yang diberikan untuk *ingot* yang digunakan untuk membuat paduan coran.
- 2 untuk mengindikasikan *ingot* namun dengan perbedaan keterbatasan kimia.

### 2.2.1 Paduan Aluminium Silikon

Paduan aluminium silikon (Al-Si) merupakan paduan yang paling umum digunakan. Hal ini dikarenakan paduan aluminium silikon memiliki karakteristik cor yang sangat baik dibandingkan dengan paduan lainnya. Selain itu paduan ini memiliki variasi sifat fisik dan mekanis, seperti sifat mampu cor (*castability*), ketahanan korosi, dan sifat mampu permesinan yang baik serta dapat pula dilas. Penguatan pada paduan Al-Si didapat dengan penambahan Cu, Mg atau Ni dalam jumlah kecil. Silikon dapat meningkatkan sifat-sifat pengecoran yang baik sedangkan tembaga dapat meningkatkan kekuatan tarik, *machinability*, dan konduktivitas termal. Namun, tembaga dapat menurunkan

keuletan dan ketahanan terhadap korosi. Paduan aluminium silikon terbagi menjadi 3 jenis berdasarkan konsentrasi unsur Si yang memiliki, yaitu:

- Hipo eutektik ( $< 11,7\%$  Si)
- Eutektik ( $11,7 - 12,2\%$  Si)
- Hiper eutektik ( $> 12,2\%$  Si)



**Gambar 2.1** Diagram fasa Al- Si<sup>[4]</sup>

Berdasarkan kandungan silikon yang terdapat pada paduannya, maka paduan aluminium silikon dibagi menjadi tiga daerah<sup>[3]</sup>, yaitu:

a) Hipoeutektik silikon

Merupakan paduan aluminium silikon yang memiliki kadar Si  $< 11.7\%$ . Pada diagram fasa diatas terlihat bahwa dalam kondisi ini proses pembekuan berlangsung melalui fasa cair-padat, dengan struktur akhir dari komposisi ini berupa struktur yang didominasi oleh aluminium. Fasa utama yang terdapat pada hipoeutektik silikon berupa fasa  $\alpha$ -Al dan struktur eutektik sebagai struktur tambahan.

b) Eutektik silikon

Paduan aluminium silikon yang memiliki kadar Si  $11.7-12\%$ . Pada kondisi ini paduan Al-Si dapat membeku secara langsung dari fasa cair ke fasa padat. Proses pembekuan yang berlangsung menyerupai pembekuan logam murni, dimana temperatur awal dan

temperatur akhir adalah sama (isothermal). Adanya struktur eutektik ini mengakibatkan paduan aluminium silikon memiliki karakteristik mampu cor yang baik.

c) Hipereutektik silikon

Paduan aluminium silikon dengan kadar Si > 12.2 %. Mikrostruktur paduan ini terdiri dari endapan partikel silikon primer dalam matriks eutektik. Proses pembekuannya melalui fasa cair-padat yang didominasi hadirnya partikel silikon dengan fasa eutektik sebagai fasa tambahan. Dengan adanya endapan partikel silikon, maka paduan aluminium silikon hipereutektik memiliki ketahanan aus yang sangat baik. Akan tetapi kekuatan tarik dan keuletannya menjadi lebih rendah dibandingkan dengan aluminium silikon hipoeutektik. Selain itu, adanya endapan partikel silikon ini menjadi masalah pada proses permesinannya.

### 2.2.2 Aluminium Silikon (Al 7 wt. % Si)

#### 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>[3]</sup>. Pada Al 7Si kandungan silikon sekitar 7-10 %, keberadaan silikon ini menyebabkan terbentuknya fasa eutektik pada temperatur ruang. Paduan aluminium silikon Al 7 wt. % Si berada pada daerah hipoeutektik.

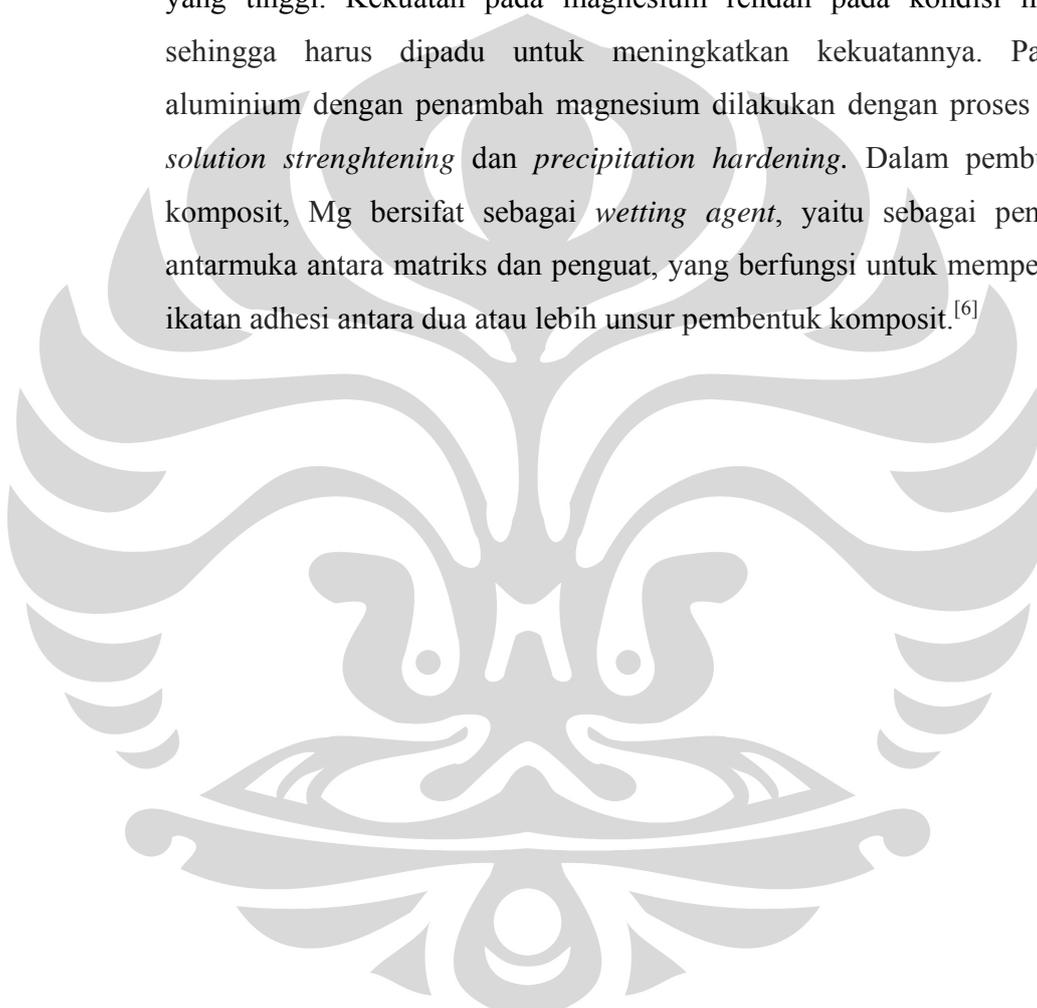
#### Tembaga (Cu)

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>[3]</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 strengthening* dan *precipitation hardening*. Dalam pembuatan komposit, Mg bersifat sebagai *wetting agent*, yaitu sebagai pengikat antarmuka antara matriks dan penguat, yang berfungsi untuk memperkuat ikatan adhesi antara dua atau lebih unsur pembentuk komposit.<sup>[6]</sup>



**Tabel 2.3** Sifat-sifat Magnesium <sup>[7]</sup>

<b>Sifat Fisik</b>	<b>Nilai</b>
Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	1,74
Berat Atom (g/mol)	24,315
Warna	Putih keperakan
Struktur Kristal	Hexagonal
Titik Lebur (°C)	650
Titik Didih (°C)	1090
<b>Sifat Mekanik</b>	<b>Nilai</b>
Ratio Poisson	0,29
Kekerasan (BHN)	260
Kekuatan Luluh (MPa)	45
<b>Sifat Thermal</b>	<b>Nilai</b>
Konduktivitas Panas (W/m °K)	156
Koefisien Ekspansi Thermal [ $\mu\text{m}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ]	24,8
Kapasitas Panas [ $\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ ]	24,869

Mekanisme *solid solution strengthening* dan *precipitation hardening* dapat mempengaruhi sifat mekanis pada paduan aluminium. *Precipitation hardening* terjadi bila sebelumnya dilakukan perlakuan panas, sementara bila hasil pengecoran biasa terjadi *solid solution strengthening*. *Solid solution strengthening* merupakan mekanisme penguatan logam dengan cara menghambat pergerakan dislokasi dengan adanya atom impurities yang berada di antara atom *host*. Atom penyusup (*impurities*) tersebut

masuk ke dalam atom *host* baik sebagai substitusi ataupun sebagai interstisi solid solution. Atom impuritis yang memiliki jari-jari atom yang lebih besar dari jari-jari atom *host* masuk sebagai substitusi. Sedangkan atom impurity yang memiliki jari-jari atom lebih kecil dari jari-jari atom *host* masuk sebagai interstisi. Atom penyusup yang masuk kedalam solid solution akan memberikan beban tegangan ataupun regangan pada kisi disekitar atom-atom dasar. Tegangan ataupun regangan kisi tersebut akan menghasilkan interaksi antara dislokasi dengan atom-atom impurities, dimana pergerakan dislokasi menjadi terhambat. Terhambatnya pergerakan dislokasi tersebut mengakibatkan paduan aluminium memiliki nilai *ultimate tensile strength* (UTS) dan *yield strength* yang lebih tinggi dibanding logam aluminium murni. Hal ini membuktikan bahwa atom Mg dan Cu yang mengalami *solid solution strengthening* di dalam atom aluminium, akan meningkatkan kekuatan pada paduan aluminium.

### 2.2.3 Fasa Intermetalik

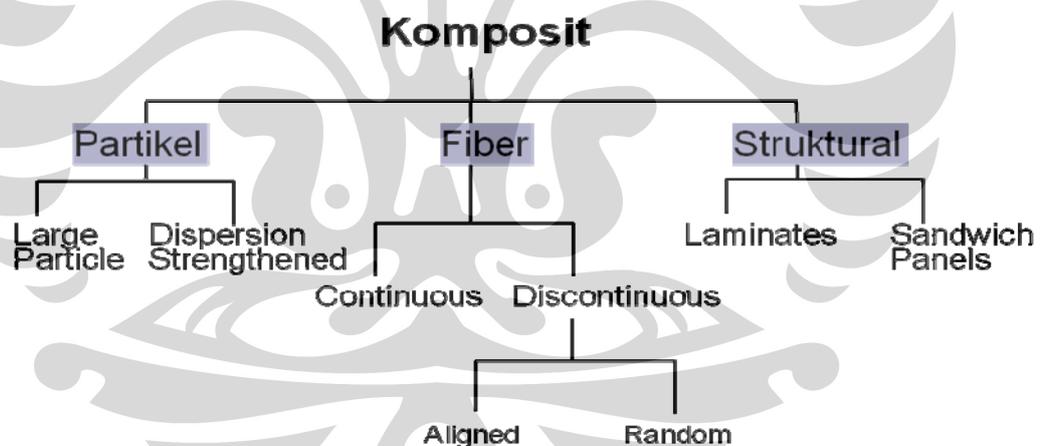
Fasa intermetalik merupakan fasa kedua yang mengendap pada struktur mikro paduan aluminium, yang terbentuk sebagai akibat dari komposisi kimia yang melebihi batas kelarutannya. Fasa ini terbentuk akibat hadirnya unsur tambahan yang menyebabkan terbentuknya oksida dalam paduan aluminium, serta akibat terjadinya modifikasi yang berlebihan karena penambahan unsur modifikasi pada aluminium paduan<sup>[8]</sup>. Keberadaan fasa ini dipengaruhi oleh komposisi dan mekanisme pembekuan yang terjadi. Pada reaksi solidifikasi paduan Al-Si hipoeutektik dan eutektik terjadi beberapa mekanisme pengendapan fasa, yaitu :

1. Pembentukan jaringan dendritik  $\alpha$ -aluminium.
2. Reaksi eutektik Al-Si.
3. Pengendapan fasa kedua eutektik seperti  $Mg_2Si$  dan  $Al_2Cu$

Fasa yang paling sering muncul pada paduan Al-Si adalah fasa  $Al_5FeSi$  dan  $Al_{15}(Mn,Fe)_3Si_2$ . Dan selanjutnya pada tahapan akhir solidifikasi terjadi pengendapan fasa  $Mg_2Si$  dan  $Al_2Cu$ .

### 2.3 Komposit

Komposit adalah material hasil kombinasi makroskopis dari dua atau lebih komponen yang berbeda, dengan tujuan untuk mendapatkan sifat-sifat fisik dan mekanik tertentu yang lebih baik daripada sifat masing-masing komponen penyusunnya. Komposit tersusun dari dua fasa, satu disebut sebagai matriks, dimana matriks bersifat kontinu dan mengelilingi fasa yang satunya, yang disebut penguat. Kekuatan dan sifat dari komposit merupakan fungsi dari fasa penyusunnya, komposisinya serta geometri dari fasa penguat. Geometri fasa penguat disini adalah bentuk dan ukuran partikel, distribusi, dan orientasinya. Penguat merupakan material yang umumnya jauh lebih kuat dari matriks dan berfungsi memberikan kekuatan tarik. Matriks berfungsi sebagai media transfer beban ke penguat, menahan penyebaran retak dan melindungi penguat dari efek lingkungan serta kerusakan akibat benturan.



**Gambar 2.2** Pembagian Komposit berdasarkan penguatnya<sup>[9]</sup>

Berdasarkan sifat penguatannya, maka komposit dibagi menjadi dua, yaitu:

- a. Komposit Isotropik adalah komposit yang penguatannya memberikan penguatan yang sama untuk berbagai arah (dalam arah transversal maupun longitudinal) sehingga segala pengaruh tegangan atau regangan dari luar akan mempunyai nilai penguatan yang sama.

b. Komposit Anisotropik adalah komposit yang matriksnya memberikan penguatan tidak sama terhadap arah yang berbeda, misalnya nilai penguatan untuk arah transversal tidak sama dengan penguatan arah longitudinal.

Sedangkan berdasarkan matriksnya, komposit dibedakan menjadi 3 jenis <sup>[9]</sup>, yaitu:

1. Komposit berbasis logam (*Metal Matrix Composite*/MMC)
2. Komposit berbasis polimer (*Polymer Matrix Composite*/PMC)
3. Komposit berbasis keramik (*Ceramic Matrix Composite*/CMC)

Sifat-sifat komposit secara umum bila dibandingkan dengan komponen-komponen penyusunnya antara lain memiliki kekuatan dan ketangguhan yang lebih baik, lebih ringan, ketahanan aus dan ketahanan korosi yang lebih baik, ketahanan temperatur tinggi dan *creep* yang lebih baik, ketahanan impak serta konduktivitas listrik dan termal yang lebih baik, serta umur fatik yang lebih lama. Hal ini disebabkan oleh sifat-sifat komponen penyusunnya yang saling menutupi kekurangan satu dengan yang lain <sup>[10]</sup>.

### 2.3.1 Komposit Matrik Logam

Komposit matriks logam adalah salah satu jenis komposit yang merupakan kombinasi dari dua material atau lebih dengan matriks berupa logam dan umumnya menggunakan keramik sebagai penguat. Syarat-syarat suatu matriks dapat digunakan pada MMC <sup>[9]</sup>:

- a. Mempunyai keuletan yg tinggi
- b. Mempunyai titik lebur yg rendah
- c. Mempunyai densitas yg rendah

Bila ditinjau dari segi sifat mekanisnya, MMC jika dibandingkan dengan material monolitik memiliki sifat-sifat sebagai berikut <sup>[9]</sup> & <sup>[11]</sup>:

- Kekuatan tinggi
- Modulus elastis tinggi
- Ketahanan fatik lebih baik
- Memiliki sifat yang baik pada temperatur tertentu, yaitu kekuatan tinggi dan laju *creep* yang rendah

- Koefisien termal ekspansi lebih rendah, konduktivitas listrik dan termal tinggi
  - Ketahanan aus lebih baik
  - Sifat ketangguhan dan ketahanan impact serta ketahanan permukaan tinggi
  - Tahan terhadap perubahan lingkungan atau temperatur secara tiba-tiba
- Keunggulan MMC jika dibandingkan dengan PMC, yaitu <sup>[9]</sup>:
- Temperatur operasi lebih tinggi
  - Lebih tahan terhadap api
  - Memiliki kekakuan dan kekuatan yang lebih tinggi
  - Tidak menyerap kelembaban
  - Konduktivitas panas dan listrik lebih tinggi
  - Ketahanan terhadap radiasi lebih tinggi

Secara umum MMC memiliki sifat<sup>[9]</sup> :

1. Ketahanan aus dan muai termal yang lebih baik
2. Kekuatan/kekakuan spesifik yang tinggi
3. Diharapkan tahan terhadap temperatur tinggi

Proses pembuatan MMC antara lain<sup>[9]</sup>:

- A. Continuously Reinforced MMC
- B. Discountinuously Reinforced MMC
  1. Powder Metallurgy
  2. Casting/Liquid Infiltration
  3. Compocasting
  4. Squeeze Casting

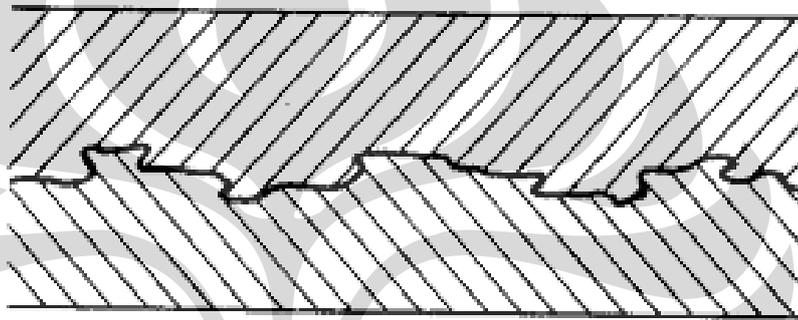
### 2.3.2 *Interface* Komposit

*Interface* merupakan daerah dua dimensi secara diskontinu antara dua material. Pada *interface* terdapat ikatan yang kuat antara matrik dan penguatnya dengan fungsi sebagai transfer beban. Sifat-sifat yang dipengaruhi oleh *interface*

adalah *strength*, *stiffness*, *fracture toughness*, *creep fatigue*, dan *environment degradation*. Beberapa jenis ikatan yang dapat terjadi pada *interfacial bonding*<sup>[9]</sup>:

a) *Mechanical Bonding*

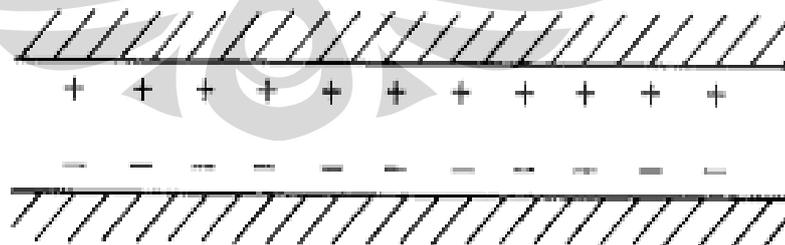
Mekanisme penguncian (*interlocking*) terjadi antara 2 permukaan, yaitu penguat dan matriks. Permukaan yang kasar dapat menyebabkan *interlocking* yang terjadi semakin banyak dan *mechanical bonding* menjadi efektif. Ikatan menjadi efektif jika beban yang diberikan paralel terhadap *interface*.



**Gambar 2.3** Mekanisme *Mechanical Bonding*<sup>(9)</sup>

b) *Electrostatic bonding*

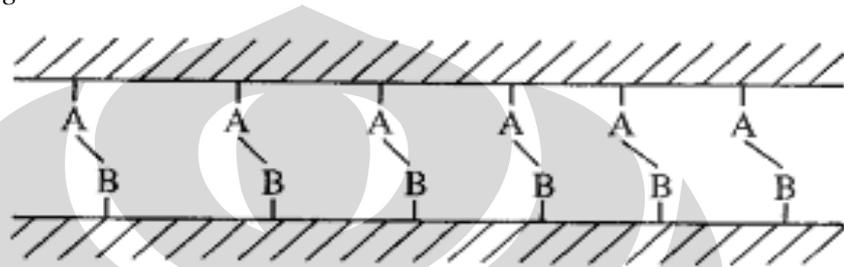
*Electrostatic bonding*, merupakan proses tarik-menarik antara permukaan yang berbeda tingkat kelistrikannya, yaitu adanya muatan positif (+) serta muatan negatif (-) dan terjadi pada skala atomik. Efektivitas terhadap jenis ikatan ini dapat menurun jika ada kontaminasi permukaan dan kehadiran gas yang terperangkap.



**Gambar 2.4** Mekanisme *Electrostatic Bonding*<sup>(9)</sup>

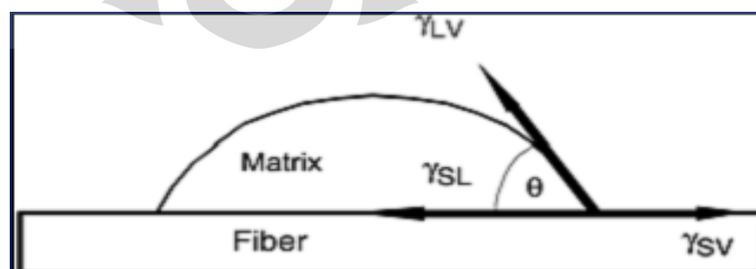
c) *Chemical bonding*

*Chemical bonding* dibentuk oleh grup-grup yang bersifat kimia pada permukaan penguat (B) dan matriks (A). Kekuatan ikatan ditentukan oleh jumlah ikatan kimiawi menurut luas dan tipe ikatan kimia itu sendiri. Ikatan kimia ini terbentuk karena adanya *wetting agent*.



**Gambar 2.5** Mekanisme Chemical Bonding<sup>(9)</sup>

Pembasahan (*wettability*) dihasilkan dari interaksi antarmolekul ketika keduanya terbawa secara bersamaan, sehingga merupakan kontak antara fasa *liquid* dan permukaan fasa *solid*. Derajat pembasahan dijelaskan dengan sudut kontak (*contact angle*), yaitu sudut antarmuka fasa *liquid-vapor* bertemu dengan antarmuka fasa *solid-liquid*. Jika pembasahan sangat baik, maka sudut kontak kecil dan cairan akan menyebar lebih luas sehingga menutupi daerah permukaan. Sudut kontak dengan besar  $> 90^\circ$  memiliki karakteristik permukaan yang tidak membasahi (*not wettable*), sedangkan untuk sudut kontak dengan besar  $< 90^\circ$  bersifat membasahi (*wettable*). Pembasahan juga penting dalam daya lekat antar material (*adherence*).



**Gambar 2.6** Gaya yang dihasilkan pada peristiwa pembasahan<sup>[10]</sup>

### 2.3.3 Komposit Paduan Aluminium Berpenguat Kawat Baja Karbon Tinggi

Penggunaan kawat baja karbon tinggi bertujuan untuk meningkatkan kekuatan aluminium komposit dan juga berfungsi sebagai penahan energi kinetik peluru saat dilakukan aplikasi pengujian balistik. Dari tujuan itu diharapkan peluru yang berpenetrasi akan terperangkap sehingga tidak sampai menembus komposit aluminium. Selain itu, penggunaan kawat tali baja ini juga dapat membentuk fasa intermetalik Fe-Al-Si. Keberadaan fasa intermetalik ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang positif dalam peningkatan nilai kekerasan yang dimiliki material komposit ini. Hal ini disebabkan karena afinitas logam aluminium terhadap besi (Fe) yang tinggi, sehingga reaksi fisika-kimia antarmuka (*interface reaction*) akan cepat terjadi pada permukaan wire steel dengan aluminium cair. Reaksi ini menghasilkan pembentukan senyawa intermetalik Fe-Al-Si, dimana kandungan Fe pada lapisan intermetallik dapat mempengaruhi nilai kekerasan mikro yang dimilikinya. Besi mengakibatkan densitas lapisan meningkat karena semakin banyak ikatan antara Al dengan Fe, dengan demikian pada lapisan yang lebih kaya akan Fe akan memiliki nilai kekerasan lebih tinggi<sup>[9]</sup>.

Bahan yang digunakan sebagai penguat pada penelitian ini adalah fiber. Komposit dengan penguat fiber umumnya digunakan jika komponen yang hendak dibuat lebih mementingkan kekuatan tarik yang baik. Kekuatan tarik ini akan berpusat pada fiber-fiber panjang.

Nilai kekuatan komposit dapat diprediksi dengan menggunakan hukum pencampuran (*rule of mixtures*)<sup>[9]</sup> pada persamaan:

$$E_c = E_f V_f + E_m V_m \quad (2.1)$$

di mana:

$E_c$  : kekuatan komposit

$E_f$  : kekuatan fiber

$V_f$  : volume fraksi fiber

$E_m$  : kekuatan matriks

$V_m$  : volume fraksi matriks ( $V_m = (1-V_f)$ )

Perhitungan *rule of mixtures* dapat digunakan untuk mengetahui pengaruh mikro mekanik pada komposit. Mikro mekanik sendiri dapat menunjukkan pengaruh fraksi volum terhadap peningkatan atau penurunan sampel komposit.

### 2.3.4 Pengaruh jarak kawat terhadap kondisi antarmuka

Penelitian mengenai pengaruh jarak kawat ini telah diteliti oleh Mohd. Noor Mazlee<sup>[6]</sup>, dengan material berupa komposit aluminium berpenguat kawat stainless steel. Dari penelitian tersebut dikatakan bahwa semakin dekat jarak kawat semakin buruk kondisi antarmuka. Karena aluminium tidak dapat membasahi kawat dengan sempurna sehingga terbentuk kekosongan (void).

## 2.4 Pengecoran (*Casting*)

Proses Pengecoran (*Casting*) adalah proses pembentukan logam dengan cara menggunakan cetakan berongga (*mould*) yang diisi oleh logam cair. Proses *casting* terdiri dari dua bagian, yaitu cetakan dan logam cair. Cetakan berfungsi memberikan bentuk/dimensi serta sifat permukaan, sedangkan logam cair memberikan sifat mekanis, tergantung komposisi logam. Proses *melting* adalah proses peleburan material (*ingot*) dengan cara memanaskannya hingga mencapai titik cair material yang dilebur, berjalan di dalam sebuah unit yang disebut *Melting Furnace*. Metal cair yang dihasilkan dituangkan ke dalam sebuah *ladle* untuk kemudian disuplai ke proses *casting* setelah terlebih dahulu melalui proses *molten metal treatment* seperti penyesuaian komposisi kimia dan *degassing*.

*Melting Furnace* merupakan suatu ruangan tertutup. Bagian luar terbuat dari konstruksi baja yang tebal dan *rigid*. Bagian dalam *furnace* dilapisi material tahan api (*refraktori*) yang terbuat dari bahan keramik *fiber* dan batu tahan api dengan ketebalan tertentu sehingga dapat menjaga kestabilan panas dan cairan dalam *furnace*.

Tipe *Melting Furnace* yang umum digunakan ada dua macam, tipe *batch melting* dan *continous melting*. Pada tipe *batch melting*, sejumlah material yang akan dilebur dimasukkan ke dalam sebuah *crucible* kemudian dipanaskan hingga mencair. Setelah

mencair, dituangkan ke dalam sebuah *ladle* untuk kemudian disuplai ke mesin *casting*. Setelah penuangan, *crucible* diisi kembali dengan sejumlah material yang akan dicairkan untuk penyuplaian selanjutnya. Bila proses pencairan dalam *crucible* belum sempurna, penyuplaian harus menunggu hingga semua logam mencair.

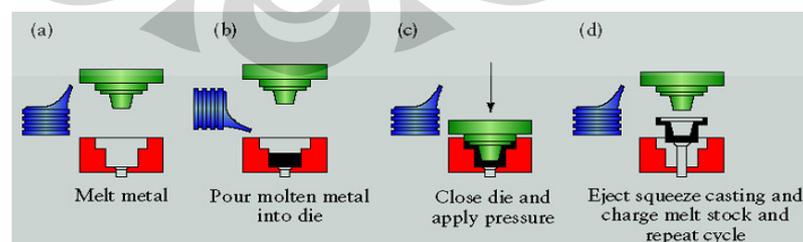
Untuk mereduksi hilangnya waktu akibat harus menunggu proses pencairan ini, maka dikembangkan sistem *continuous melting*. Pada tipe ini, selama proses pencairan dan penuangan, material dapat disuplai secara kontinu sesuai kebutuhan. Dengan cara ini *melting furnace* akan selalu terisi penuh dan dapat menyuplai metal cair (*molten*) kapan saja tanpa harus menunggu proses pencairan selanjutnya.

#### 2.4.1 Squeeze Casting

Proses *squeeze casting* atau sering juga disebut penempaan logam cair (*liquid metal forging*) merupakan suatu proses yang mengkombinasikan keuntungan-keuntungan proses *forging* dan *casting*. Proses pengecoran ini membuka peluang untuk memproduksi coran yang mampu menahan *stress* yang tinggi. Selain itu dimungkinkan untuk memproduksi coran yang dapat diperkuat dengan *fiber*. Pengecoran dengan *squeeze casting* dibagi menjadi dua kelompok berdasarkan mekanisme pengisian logam cair ke dalam die, yaitu: *direct squeeze casting* (DSC) dan *indirect squeeze casting* (ISC).

- *Direct Squeeze Casting* (DSC)

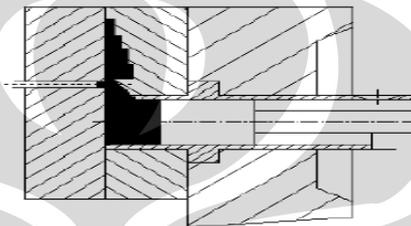
DSC merupakan istilah yang diberikan untuk proses pengecoran dimana logam cair didinginkan melalui pemberian tekanan secara langsung yang diharapkan mampu mencegah munculnya porositas gas dan penyusutan.



**Gambar 2.7** Proses *Direct Squeeze Casting*<sup>[12]</sup>

- *Indirect Squeeze Casting* (ISC)

Istilah *indirect* dipakai untuk menggambarkan injeksi logam ke dalam rongga cetakan dengan bantuan piston berdiameter kecil dimana mekanisme penekan ini dipertahankan sampai logam cair membeku. Keuntungan utama ISC adalah kemampuannya untuk menghasilkan produk cor dengan bentuk yang lebih kompleks dengan memberikan beberapa sistem pengeluaran inti (*core pull*).



Gambar 2. Mekanisme *Indirect Squeeze Casting* (Hu, 1998)

**Gambar 2.8** Mekanisme *Indirect Squeeze Casting*<sup>[13]</sup>

Faktor kunci dalam ISC adalah memberikan proses pengisian ke rongga cetak secara mulus tanpa mengakibatkan aliran turbulen.

Parameter pada proses *squeeze casting* antara lain<sup>[12]</sup> :

1. Volum cairan logam

Diperlukan kontrol yang akurat ketika logam cair dituangkan ke dalam rongga cetak (*die cavity*).

2. Temperatur tuang

Temperatur ini tergantung pada jenis paduan dan bentuk coran/komponen. Biasanya temperatur tuang diambil 6–55°C di atas temperatur *liquidus*.

3. Temperatur perkakas (biasanya 190-315 °C)

Biasanya temperatur *punch* diatur 15–30°C di bawah temperatur *die* terendah untuk memungkinkan adanya kelonggaran atau ventilasi yang memadai diantara keduanya. Kelonggaran yang berlebihan antara *punch* dan *die* mengakibatkan erosi pada permukaan keduanya.

#### 4. Waktu tunggu

Waktu Tunggu adalah lamanya waktu yang diukur dari saat pertama penuangan logam cair ke dalam rongga cetak hingga saat permukaan *punch* menyentuh dan mulai menekan permukaan logam cair.

#### 5. Batas tekanan (rentang 50-140MPa)

Rentang tekanan normal adalah 50–140 MPa, tergantung pada bentuk geometri komponen serta sifat mekanis yang dibutuhkan. Tetapi dimungkinkan tekanan minimum adalah 40 Mpa [Hu, 1998]. Tekanan yang sering digunakan 70 MPa.

#### 6. Durasi penekanan

Durasi penekanan dihitung dari saat *punch* di titik terendah sampai saat *punch* diangkat (penekanan dilepaskan). Produk cor dengan berat 9 kg, durasi penekanannya bervariasi antara 30–120 detik.

#### 7. Pelumasan Kecepatan Pengisian (*Filling Rate*)

Pengecoran *squeeze* membutuhkan pelumas pada permukaan *dies* untuk memudahkan proses pengeluaran produk cor dari cetaknya. Akan tetapi sistem pelumasan ini diusahakan jangan sampai menutupi lubang ventilasi yang ada pada *dies*.

Penggunaan metode ini pada pengecoran Aluminium dapat memberikan keuntungan-keuntungan sbb:

- a. Diperoleh kekerasan yang lebih tinggi
- b. Mampu menghilangkan porositas dari logam cair
- c. Menghasilkan ketahanan korosi lebih tinggi

## 2.5 Canai

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 :

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:

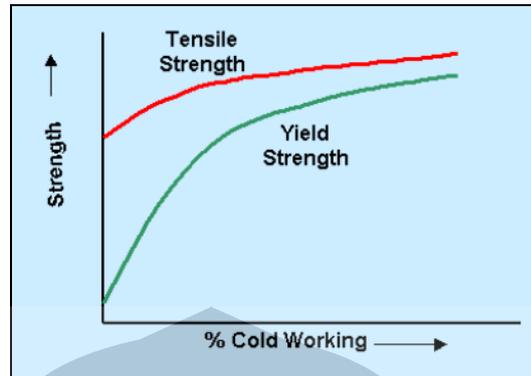
1. Diameter rol.
2. Hambatan deformasi logam yang tergantung pada struktur metalurgi, suhu, dan laju regangan.
3. Gesekan antara rol dengan benda kerja.
4. Adanya tegangan tarik ke depan atau ke belakang pada bidang lembaran

*Strain hardening* adalah suatu fenomena dimana material yang ulet menjadi lebih keras dan lebih kuat saat mengalami deformasi plastis. Terkadang fenomena ini juga disebut *work hardening*. Fenomena ini juga terjadi karena temperatur saat deformasi terjadi dingin sesuai dengan temperatur absolut dari *melting* suatu logam. Sebagian besar *strain hardening* terjadi pada temperatur ruang. Keadaan ini terkadang sesuai untuk menunjukkan kadar dari *plastic deformation* sebagai persentase *cold work*.<sup>[14]</sup>

$$\%CW = \frac{A_0 - A_d}{A_0} \times 100\% \quad (2.2)$$

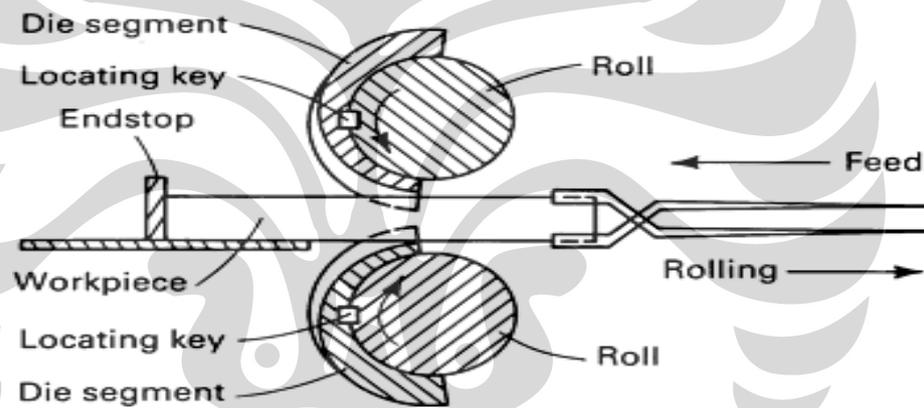
$A_0$  = luas daerah sampel sebelum deformasi

$A_d$  = luas daerah sampel setelah deformasi

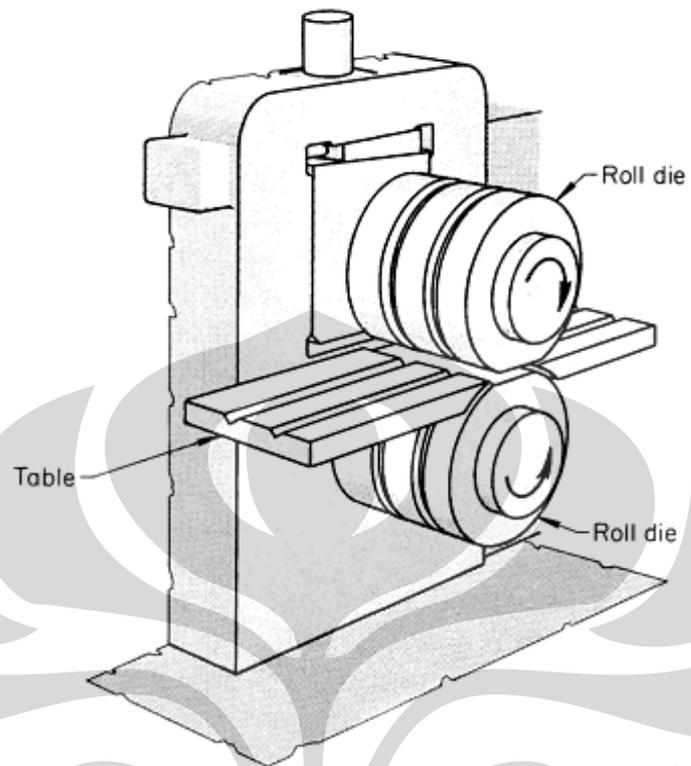


**Gambar 2.9** Pengaruh % CW terhadap sifat mekanis<sup>[15]</sup>

Penambahan efek canai dilakukan untuk meningkatkan kekerasan pada aluminium, sehingga akan didapatkan optimasi kekerasan yang akan digunakan sebagai material armor.



**Gambar 2.10** Mekanisme Proses Canai<sup>[16]</sup>

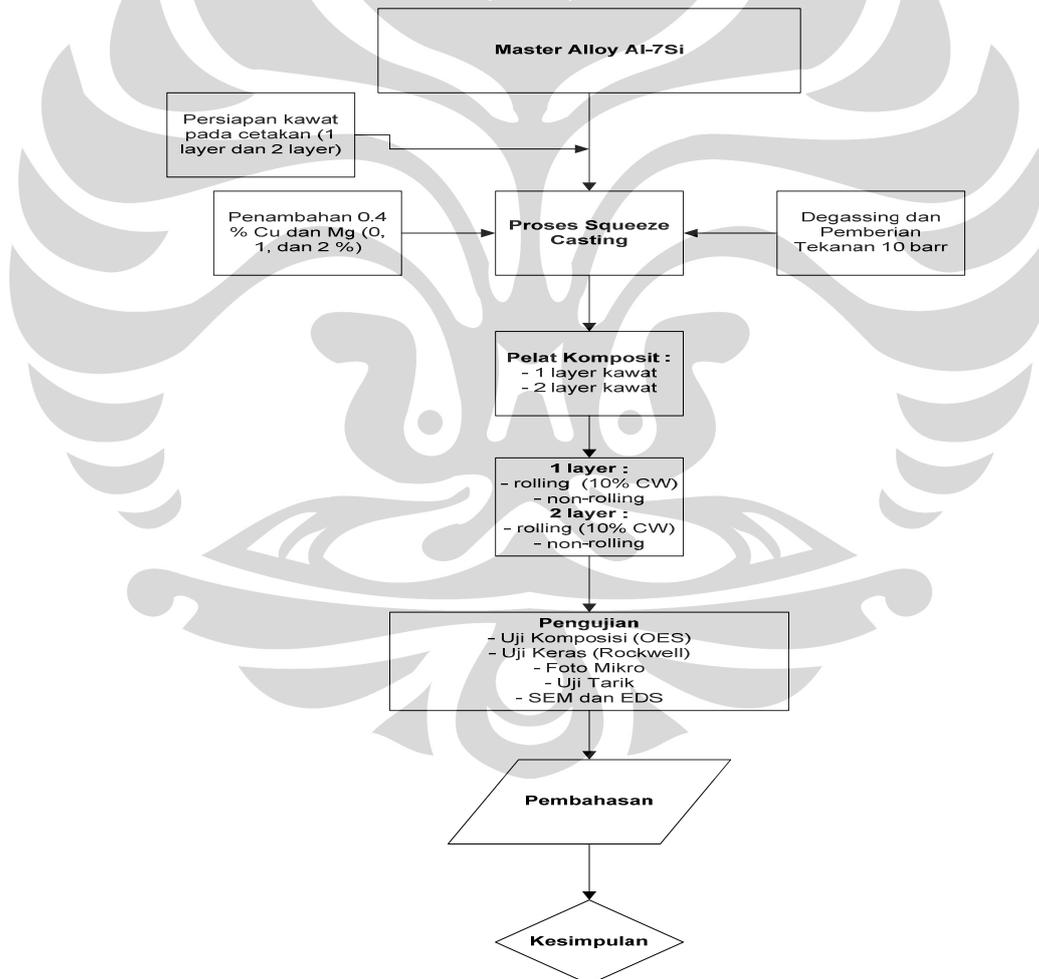


**Gambar 2.11** Mesin Canai<sup>[16]</sup>

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini, dibuat sampel plat aluminium komposit berpenguat *wire rope* baja karbon tinggi dengan paduan Mg 0,4% dan Cu 0%,1%,dan 2% dengan menggunakan metode pengecoran *squeeze casting*. Penelitian ini menggunakan variabel proses berupa fraksi volum kawat 1.4% dan 2.8%. Secara umum, penelitian yang dilakukan dapat dilihat dari diagram alir di bawah ini.



**Gambar 3.1** Flowchart Penelitian

### 3.2 Alat & Bahan

#### 3.2.1 Alat

Peralatan yang digunakan pada proses pengecoran :

1. Dapur Peleburan Krusibel dengan spesifikasi :
  - Kowi sebagai wadah meleburnya ingot
  - Ladle* untuk mengambil logam cair dari kowi
  - Crusible Furnace* sebagai tungku peleburan
  - Thermocouple* sebagai pengukur temperature proses
2. Cetakan logam sebagai tempat pencetakan sampel
3. Alat Pemotong untuk memotong sampel menjadi bagian-bagian yang telah ditentukan
4. Mesin *pneumatic pressure* sebagai pendorong/pemberi tekan pada proses squeeze
5. Mesin Uji Tarik shimatzu untuk pengujian tarik
6. Mesin Uji Keras untuk pengujian keras
7. *Scanning Electron Microscope* (LEO 420)
8. Mesin Poles
9. Mesin Amplas
10. Mesin Rolling (ONO ROLL) untuk proses canai dingin
11. Jangka sorong dengan ketelitian 0,01 mm
12. *clamp sling* untuk mengunci kawat dalam proses pelurusan kawat

#### 3.2.2 Bahan

1. Master Al- 7Si
2. Batangan Cu
3. Plat Mg
4. Kawat tali baja dengan diameter 1.03mm
5. Larutan coating
6. Minyak tanah
7. Briket batu bara
8. Kertas amplas dengan grit 80-1200

9. Kain beludru (kain poles)
10. Zat poles Alumina (serbuk TiO<sub>2</sub>)
11. Zat etsa (HF 5%)

### 3.3 Perhitungan *Mass Balance*

**Tabel 3.1** Data *Mass Balance*

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 :

$$0.4 \% \text{ Mg} : 0.4/100 \times 1400 \text{ gram} = 5.6 \text{ gram}$$

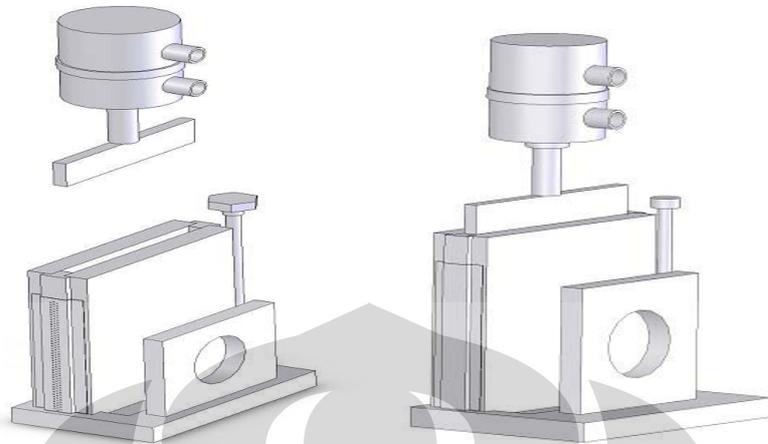
$$0 \% \text{ Cu}$$

$$1 \% \text{ Cu} : 1/100 \times 1400 \text{ gram} = 14 \text{ gram}$$

$$2 \% \text{ Cu} : 2/100 \times 1400 \text{ gram} = 28 \text{ gram}$$

### 3.4 Pembuatan Cetakan

1. Cetakan logam yang dibuat dengan bentuk seperti pada gambar 3.2 dimana terdapat *pneumatic pressure* di atasnya sebagai pemberi tekanan pada proses *squeeze casting*. Cetakan logam ini berukuran 17cm x 17cm x 1.5 cm.



**Gambar 3.2** Gambar cetakan logam

2. Pada kedua pegangan yang ada pada cetakan diberi lubang-lubang kecil berdiameter 1,5 mm dengan jarak 2 mm untuk masing-masing lubang. Lubang-lubang tersusun teratur dalam 3 baris dimana dalam satu baris terdapat 41 lubang yang berarti terdapat 123 lubang dalam 1 pegangan. Lubang-lubang ini berfungsi sebagai tempat dimasukkannya kawat-kawat tali baja yang berfungsi sebagai penguat pada produk jadi aluminium komposit.

### 3.5 Perangkaian kawat baja

**Tabel 3.2** Spesifikasi Tali Kawat Baja Usha Martin

Kadar Karbon	1,7%
Diameter <i>Rope</i>	16 mm
Jumlah <i>Strand</i>	6 buah
Jumlah <i>Wire</i> per <i>Strand</i>	19 buah
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

1. Kawat yang didapat dalam bentuk gulungan diuraikan dan dipotong dengan ukuran panjang masing-masing 1 meter untuk setiap potongannya.
2. Masing-masing gulungan kawat yang telah terpotong di uraikan kembali menjadi helai per helai kawat lalu setiap helai kawat dibersihkan dari pelumas yang melekat hingga bersih.
3. Pengamplasan halus pada setiap kawat untuk menghilangkan pengotor yang menempel.
4. Memasukkan satu per satu kawat yang telah diampelas ke dalam lubang-lubang pada pegangan cetakan logam. Dimana pada bagian atas hingga tengah plat pegangan lubang-lubang yang diisi kawat-kawat hanya lubang-lubang baris kedua yang keseluruhannya berjumlah 20 kawat. Sementara untuk bagian tengah hingga bawah pegangan hanya baris lubang pertama dan ketiga saja yang diisi kawat yang keseluruhannya berjumlah 42 kawat. Hal ini berkaitan dengan variabel fraksi volum yang digunakan sebesar 1.4% dan 2.8%. Penggunaan fraksi volum sebesar 1.4% dan 2.8% karena melihat dari proses pembuatan sampel aluminium komposit dan juga jarak minimal lubang kawat tali baja sebesar 1.5mm. Penentuan fraksi volum dapat dihitung dengan rumus. Perhitungan fraksi volum sebagai berikut :

$$\% \text{ Fraksi Volum} = \frac{\text{Volum Kawat} \times \text{Banyaknya Kawat}}{\text{Volum Pelat}} \times 100\% \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} \text{Volum pelat} &= p \times l \times t & (3.2) \\ &= 170 \times 15 \times 170/2 = 216750 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volum}_1 \text{ buah kawat} &= \pi \times \text{panjang kawat} \times (\text{jari-jari kawat})^2 & (3.3) \\ &= 3.14 \times 170 \times (0.515)^2 = 147.577 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\% \text{ Fraksi Volum 1 layer} = \frac{147.577 \times 20}{216750} \times 100\% = 1.4\%$$

$$\% \text{ Fraksi Volum 2 layer} = \frac{147.577 \times 42}{216750} \times 100\% = 2.8\%$$

5. Pegangan kawat dipasang kembali pada cetakan logam.
6. Mengencangkan dan meluruskan kawat dengan menggunakan *clamp sling* dan alat-alat pengunci.
7. Cetakan siap digunakan untuk proses penuangan logam cair setelah proses peleburan.



**Gambar 3.3** Cetakan yang telah terpasang kawat

### 3.6 Proses Casting

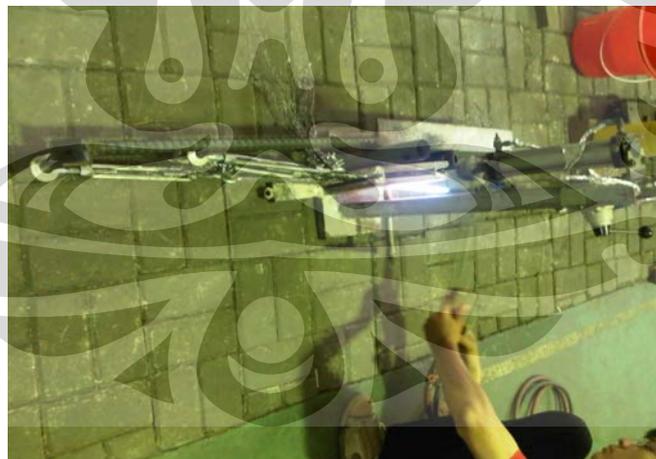
Metode yang digunakan dalam proses peleburan adalah metode *squeeze casting* dengan memberi penekanan sebesar 10 barr setelah proses penuangan logam cair ke dalam cetakan. Tahap-tahap proses *casting* adalah sebagai berikut :

1. Melapisi semua peralatan yang digunakan dalam proses pengecoran seperti kowi, *ladle*, garpu penjepit serta cetakan logam dengan larutan coating dengan tujuan agar peralatan-peralatan tersebut tahan terhadap panas pada temperatur tinggi ( $> 650^{\circ}\text{C}$ ).
2. Menyalakan briket batu bara sebagai sumber panas utama bagi peleburan ingot aluminium. Proses pembakaran ini memakan waktu sekitar 1 jam.



**Gambar 3.4** Proses peleburan dengan dapur krusibel

3. Meletakkan kowi dengan ingot aluminium seberat 1200 gram didalamnya, didiamkan hingga ingot melebur dengan terus memasukkan briket ke dalam *furnace* agar temperatur *furnace* tetap terjaga diatas temperatur lebur aluminium.
4. Memanaskan cetakan dengan menggunakan burner gas asetilena hingga dinding cetakan mencapai temperatur diatas 300°C.



**Gambar 3.5** Proses pemanasan cetakan

5. Mengukur temperatur aluminium cair yang telah melebur untuk mengetahui temperatur cair aluminium saat semua aluminium telah melebur

6. Memasukkan Mg dan Cu dalam bentuk plat kecil untuk dilebur dan dipadukan dengan aluminium cair.
7. Meniupkan gas argon selama 3-5 detik sebagai *degasser* guna menghilangkan pengotor pada paduan aluminium cair.
8. Proses penuangan paduan aluminium cair tersebut ke dalam cetakan logam yang telah tersusun kawat bersamaan pengukuran temperatur dengan menggunakan *thermocouple* untuk mengukur temperatur tuangnya.
9. Memberi penekanan kepada aluminium cair yang telah mengisi cetakan dengan *pneumatic pressure* sebesar 10 barr sebagai efek *squeeze*.



**Gambar 3.6** Gambar pelat komposit hasil *squeeze casting*

**Tabel 3.3** Data Pengecoran Aluminium Komposit

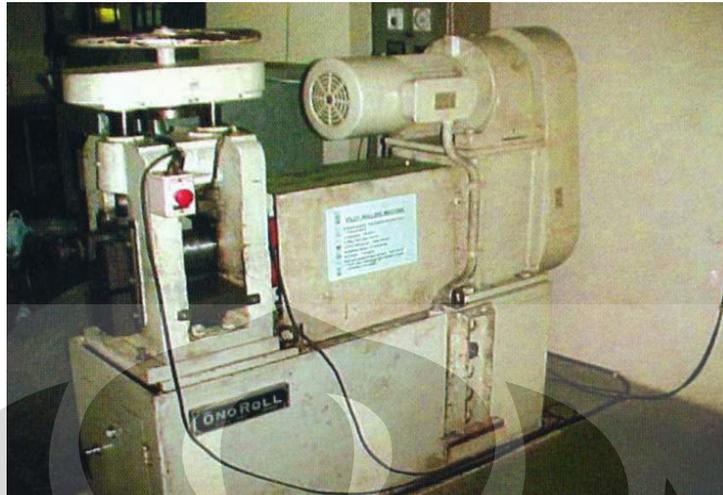
	<b>Al-7Si-0.63Mg- 0.051Cu</b>	<b>Al-7Si-0.53Mg- 0.31Cu</b>	<b>Al-7Si-0.79Mg- 2.16Cu</b>
<b>Material</b>	Al-7Si (1207.4 gr)	Al-7Si (1464 gr)	Al-7Si (1381.6 gr)
<b>Input</b>	Mg (10)	Mg (14.64 gr) Cu (10 gr)	Mg (13gr) Cu (28.6 gr)
<b>Waktu Tahan</b>	14 menit	20 menit	20 menit
<b>Temperatur Tuang</b>	830°C	678°C	768°C
<b>Temperatur Dies</b>	230°C	260°C	228°C
<b>Berat Plat</b>	1134.8 gr	1187.4 gr	1186 gr

### 3.7 Pemotongan Sampel

Plat sampel hasil pengecoran berukuran 17cm x 17 cm x 1.5cm dibagi menjadi dua sesuai dengan fraksi volum kawat 1.4% dan 2.8%. Pada masing-masing potongan dipotong lagi dengan ukuran 1 cm x 16cm. Ukuran ini berdasarkan pada ketentuan ukuran sampel pengujian tarik pada literatur.

### 3.8 Proses Canai Dingin

Tiga plat sampel berukuran 1cm x 17 cm dari masing-masing paduan komposisi dilakukan proses canai guna memperoleh efek canai dingin yang meningkatkan kekerasan. Proses canai yang dilakukan sebesar 10% dengan melewati masing-masing sampel pada mesin *roll* dengan pengurangan ketebalan 0.1 mm. Proses canai dilakukan hingga plat mengalami pengurangan ketebalan sebesar 10% atau bila terjadi keretakan pada permukaan sampel sebelum ketebalan sampel berkurang hingga 10% *Cold Work*.



**Gambar 3.7** Gambar mesin ONO ROLL™

**Tabel 3.4** Data Perubahan Ketebalan Hasil Proses Canai Dingin 10% *Cold Work*

		Ketebalan Sebelum Canai 10% (mm)	Ketebalan Setelah Canai 10% (mm)
Al7Si0.4Mg	1 layer	14.9	13.4
	2 layer	15	13.43
Al7Si0.4Mg1Cu	1 layer	15.1	14
	2 layer	14.7	13.58
Al7Si0.4Mg2Cu	1 layer	14.53	13.5
	2 layer	14.85	14.03

### 3.9 Tahap Pengujian

#### 3.9.1 Pengujian Komposisi

Pengujian komposisi berlaku untuk komposisi kimia dari bulk material. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia pelat aluminium komposit, apakah telah sesuai dengan perhitungan mass balance. Pengujian ini menggunakan *Optical Emission Spectroscopy* di Laboratorium Uji Kimia 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.

**Tabel 3.5** Data Hasil Uji Komposisi

	Mg 0.4 Cu 0	Mg 0.4 Cu 1	Mg 0.4 Cu 2
Al	92.37	92.91	91.21
Mg	0.63	0.53	0.79
Cu	0.051	0.31	2.16

### 3.9.2 Pengujian Tarik

Pengujian kadar tarik menggunakan standar ASTM D 3552 untuk sampel dengan penguat kawat dan ASTM E 8 untuk sampel tanpa kawat. Mesin yang digunakan adalah mesin uji tarik *Shimatzu* yang terdapat di Laboratorium Metalurgi Fisik Departemen Metalurgi dan Material.



**Gambar 3.8** Proses pengujian tarik dan sampel Al7Si hasil pengujian

### 3.9.3 Pengamatan Struktur Mikro dan Perpatahan

Pengamatan struktur mikro dilakukan di Laboratorium Metalografi dan HST Departemen Metalurgi dan Material. 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 secara makroskopis untuk mengetahui jenis perpatahan dari sampel uji tarik, digunakan mesin SEM yang ada di DTMM-FTUI.

### 3.9.4 Pengujian Kekerasan Material

Pengujian kekerasan dari pelat aluminium dilakukan dengan metode Rockwell. Mesin yang digunakan adalah Mesin *Rocky* yang terdapat pada Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 ANALISA KOMPOSISI KIMIA HASIL PENGECORAN**

Pada penelitian yang dilakukan, digunakan variabel penambahan komposisi magnesium (Mg) yang tetap yaitu 0.4% dengan variabel penambahan komposisi tembaga yang bervariasi yaitu 0%, 1% dan 2%. Penambahan magnesium sebesar 0.4% dikarenakan komposisi magnesium yang dapat memiliki sifat kekerasan dan kekuatan yang baik berada pada kadar komposisi 0.4%<sup>[7]</sup>. Sementara variasi penambahan komposisi tembaga sebesar 0%, 1% dan 2% dikarenakan untuk melihat perbandingan nilai kekerasan, sifat mekanis dan sifat antarmuka yang dimiliki oleh ketiga sampel penambahan komposisi tembaga tersebut. Pada penambahan komposisi tembaga (Cu), kadar yang memiliki sifat yang optimum berada pada komposisi 2% Cu<sup>[17]</sup>. **Tabel 4.1** menunjukkan hasil pengujian komposisi untuk masing-masing sampel aluminium komposit.

**Tabel 4.1** Data Komposisi sampel Aluminium Komposit hasil pengujian komposisi

	<b>Al7Si0.4Mg</b>	<b>Al7Si0.4Mg1Cu</b>	<b>Al7Si0.4Mg2Cu</b>
Al (%)	92.37	92.91	91.21
Si (%)	6.84	6.55	6.11
Mg (%)	0.63	0.53	0.79
Cu (%)	0.051	0.31	2.16
Mn (%)	0.016	0.016	0.014
Zn (%)	0.092	0.092	0.091
Ni (%)	0.00	0.00	0.00
Fe (%)	0.081	0.081	0.081
Pb (%)	0.044	0.047	0.049
Bi (%)	0.026	0.023	0.024
Cr (%)	0.0012	0.00	0.00
Ti (%)	0.011	0.011	0.011
Sn (%)	0.0044	0.0048	0.0066
V (%)	0.0019	0.0015	0.0020
Ca (%)	0.0010	0.0021	0.0011
Be (%)	0.0001	0.0001	0.0001

**Tabel 4.2** Target Perolehan Komposisi

	<b>Al7Si0.4Mg</b>	<b>Al7Si0.4Mg1Cu</b>	<b>Al7Si0.4Mg2Cu</b>
Al (%)	93	93	93
Si (%)	7	7	7
Mg (%)	0.4	0.4	0.4
Cu (%)	0	1	2

Pada tabel diatas, penelitian ini hanya berfokus pada empat unsur utama, yaitu aluminium (Al) dan silikon (Si) sebagai matriks, magnesium (Mg) sebagai paduan tetap, dan tembaga (Cu) sebagai variasi komposisi paduan.

Pada **tabel 4.1** dapat dilihat bahwa pada sampel komposit Al7Si dengan penambahan komposisi 0.4%Mg dan 0%Cu, hasil yang didapat berupa komposisi Al sebesar 92.37%, Mg sebesar 0.63%, dan Cu sebesar 0.051%. Pada tabel juga terlihat bahwa pada sampel komposit Al7Si dengan penambahan komposisi 0.4%Mg dan 1%Cu, hasil yang didapat berupa komposisi Al sebesar 92.91%, Mg sebesar 0.53% dan Cu sebesar 0.31%.

Dapat dilihat pula bahwa pada sampel komposit Al7Si dengan penambahan komposisi 0.4%Mg dan 2%Cu, hasil yang didapat berupa komposisi Al sebesar 91.21%, Mg sebesar 0.79% dan Cu sebesar 2.16%.

Data sampel komposisi diatas terjadi perbedaan antara hasil uji komposisi dengan penambahan komposisi yang diinginkan. Komposisi Mg dan Cu yang paling terlihat adanya perbedaan. Pada proses penambahan Mg dan Cu saat proses peleburan dilakukan dengan memasukkan jumlah volum Mg dan Cu yang melebihi hingga sebesar 2x lipat dari perhitungan volume Mg dan Cu yang ditambahkan. Hal ini dilakukan berdasarkan pada penelitian sebelumnya, dimana untuk memperoleh komposisi yang diinginkan, volume unsur yang ditambahkan harus minimal 2x lipat dari perhitungan volume unsur yang ditambahkan.<sup>[17]</sup> Hal ini juga dapat menjadi penyebab kurang akuratnya hasil penambahan komposisi Mg dan Cu. Untuk komposisi Cu terutama dapat dilihat pada sampel Al7Si dengan penambahan 0.4% Mg tanpa penambahan Cu terbaca persentase komposisi Cu pada sampel tersebut. Ketidakakuratan data hasil komposisi Cu dengan komposisi Cu yang harus ditambahkan dimungkinkan terjadi saat dilakukannya proses *degassing* pada proses peleburan *ingot* aluminium yang mana selang tiup pada degasser berbahan dasar Cu dan pada saat penggunaannya, selang tersebut tercelup sebagian ke dalam aluminium cair yang mengakibatkan larutnya sebagian Cu ke dalam aluminium cair. Hal ini membuat volum Cu yang ditambahkan semakin besar.

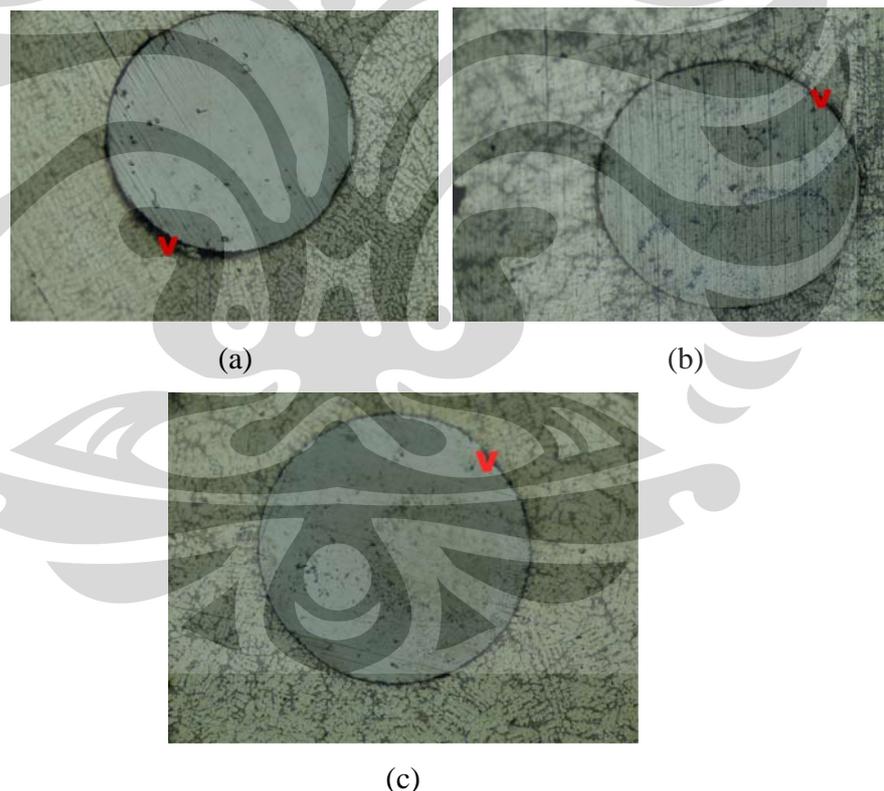
#### **4.1.1 ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN KOMPOSISI TEMBAGA (Cu) TERHADAP DAERAH ANTARLUKA**

Pada penelitian ini, aluminium komposit yang dibuat dengan pengecoran logam metode *squeeze casting* ditambahkan komposisi magnesium yang tetap

dan komposisi tembaga yang bervariasi. Variasi komposisi tembaga dilakukan untuk mengetahui peningkatan kekuatan dari aluminium komposit.

Kekuatan material yang dibutuhkan salah satunya bergantung pada jumlah *void* yang terbentuk pada daerah antarmuka. Kondisi daerah antarmuka yang baik adalah yang tidak terbentuk *void*. Daerah antarmuka yang dihasilkan baik bila dapat meningkatkan kemampuan pembasahan. Terbentuknya *void* menggambarkan buruknya daerah antarmuka yang disebabkan buruknya pembasahan saat proses pengecoran dan tidak menempelnya aluminium pada kawat baja karbon tinggi.

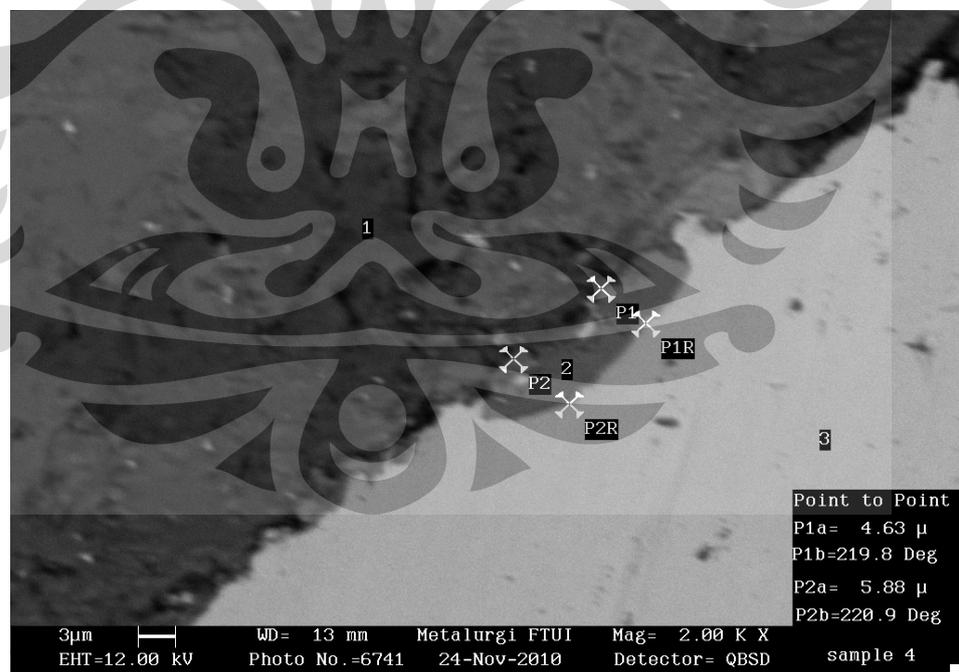
Pada **gambar 4.1** menampilkan hasil foto mikrostruktur sampel yang terbaik tanpa efek canai dingin 10% *Cold Work* dari variasi komposisi tembaga untuk dapat melihat *void* yang terbentuk pada daerah antar muka.



**Gambar 4.1** Fotomikro dari komposisi (a) 0.051%Cu; (b) 0.31%Cu; (c) 2.16%Cu (perbesaran 100x)

Pada **gambar 4.1** memperlihatkan bahwa semakin tinggi komposisi penambahan Cu, semakin kecil *void* (V) pada daerah antarmuka yang terbentuk. Pada komposisi penambahan 2.16%Cu, *void* yang terbentuk lebih sedikit dibandingkan dengan penambahan komposisi Cu yang lainnya. Dimana bila diurutkan, dari sampel dengan komposisi 0.051%Cu hingga 2.16%Cu terjadi pengurangan jumlah dan ukuran *void*. Hal ini membuktikan bahwa *castability* pada sampel komposisi penambahan 2.16%Cu merupakan yang terbaik dibandingkan dengan penambahan komposisi Cu yang lain. *Castability* yang menurun mengakibatkan *fluiditas* lelehan aluminium untuk mengisi rongga cetakan menurun, sehingga belum seluruhnya mengisi rongga cetakan lelehan aluminium telah membeku terlebih dahulu. Penurunan *castability* terjadi karena pengaruh penambahan komposisi Cu<sup>[17]</sup>. Sementara penambahan komposisi Mg berpengaruh dalam peningkatan *wetability* dari sampel aluminium komposit.

Pada **gambar 4.2** ditunjukkan struktur mikro hasil pengujian *scanning electron microscope* (SEM).



**Gambar 4.2** Struktur Mikro Sampel Penambahan 0.4%Mg 0.31%Cu (SEM)

Pada **gambar 4.2** dapat dilihat suatu pola warna yang berbeda dari warna disekitarnya yang dimungkinkan daerah dengan pola warna yang berbeda itu adalah lapisan intermetalik. Daerah dengan angka 1 merupakan matriks (Al), daerah dengan angka 3 merupakan penguat (kawat baja), sementara daerah dengan angka 2 dimungkinkan merupakan lapisan intermetalik. Adanya lapisan intermetalik ini diperkuat dengan hasil pengujian *Energy Dispersive X-Ray Analysis* (EDX) yang mana ditembakkan sinar x pada nomor 1-3 pada data daerah SEM yang menghasilkan perbedaan unsur yang terkandung pada masing-masing lapisan.

**Tabel 4.3** Perbedaan unsur yang terkandung pada titik pengamatan SEM hasil EDAX

Nomor	Unsur yang Terkandung	Keterangan
1	Al; Si; C; O	Matriks Al
2	Al; Fe; Si; C; O	Bonding Layer
3	Fe; C; O	Kawat Tali Baja

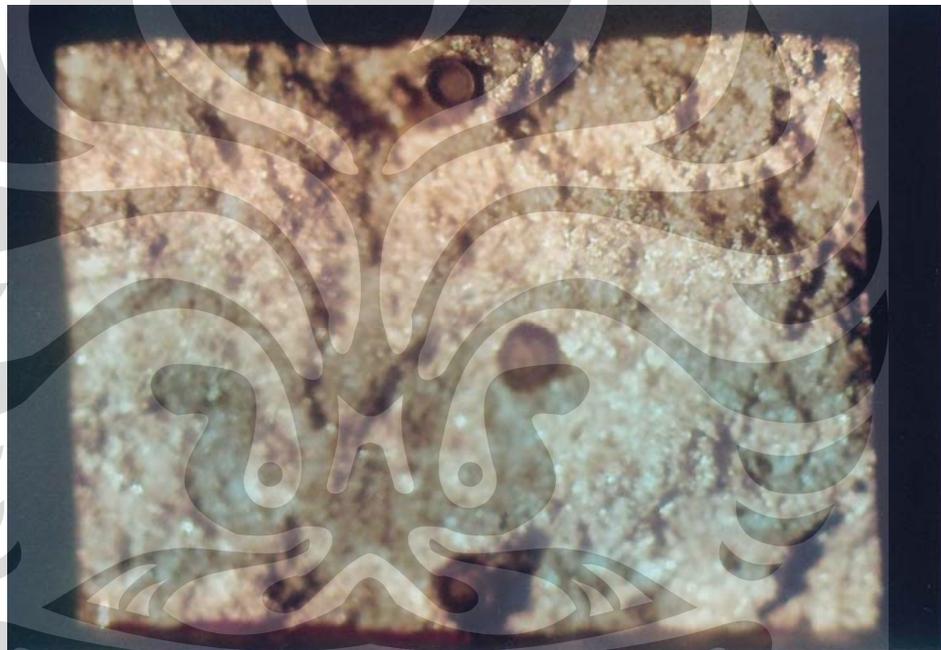
**Tabel 4.4** Data hasil Pengujian EDX

Nomor	Unsur yang Terkandung (%)				
	Al	Si	Fe	O	C
1	94.69	1.3	-	3.48	0.54
2	49.74	9.78	38.36	0.86	1.26
3	1.83	0.23	96.67	1.02	0.24

Pada pengamatan mikrostruktur dengan *scanning electron microscope* (SEM) dan *Energy Dispersive X-Ray Analysis* (EDX), daerah intermetalik hanya terlihat pada satu kawat tali baja pada sampel aluminium komposit Al7Si0.4Mg1Cu. Pada kawat tali baja lain pada sampel ini ataupun pada seluruh kawat tali baja sampel dengan penambahan Cu yang lain dimungkinkan juga terdapat daerah intermetalik yang ukurannya lebih kecil atau tipis sehingga tidak terlihat pada *scanning electron microscope* (SEM). Sebagian besar daerah

antarmuka yang ditembak merupakan daerah *void* atau daerah dengan komposisi oksida yang tinggi, sehingga tidak diambil foto penampakan di SEM dan hanya daerah antarmuka yang memiliki daerah intermetalik saja yang diambil foto penampakannya.

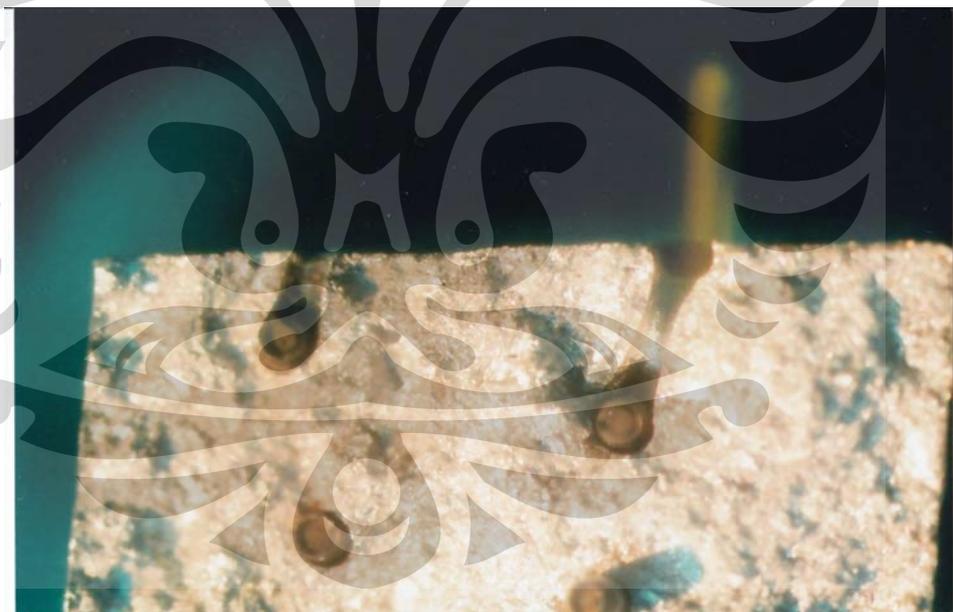
**Gambar 4.3, 4.4, dan 4.5** menunjukkan foto perpatahan secara makroskopik dari sampel aluminium komposit  $\text{Al}_7\text{Si}_0.4\text{Mg}_2.16\text{Cu}$  fraksi volum 1.4% dengan proses canai dingin 10% *Cold Work*, fraksi volum 2.8% dengan proses canai dingin 10% *Cold Work*, dan fraksi volum 2.8% tanpa proses canai dingin 10% *Cold Work* dari sampel hasil pengujian tarik.



**Gambar 4.3** Foto Struktur Makro perpatahan sampel  $\text{Al}_7\text{Si}_0.4\text{Mg}_2.16\text{Cu}$  fraksi volum 1.4% dengan proses canai dingin 10% *Cold Work* (perbesaran 6.3x)



**Gambar 4.4** Foto Struktur Makro perpatahan sampel  $\text{Al}_7\text{Si}_{0.4}\text{Mg}_{2.16}\text{Cu}$  fraksi volum 2.8% dengan proses canai dingin 10% *Cold Work* (perbesaran 6.3x)



**Gambar 4.5** Foto Struktur Makro perpatahan sampel  $\text{Al}_7\text{Si}_{0.4}\text{Mg}_{2.16}\text{Cu}$  fraksi volum 2.8% tanpa proses canai dingin 10% *Cold Work* (perbesaran 6.3x)

Foto makro hanya dilakukan pada sampel  $\text{Al}_7\text{Si}_{0.4}\text{Mg}_{2.16}\text{Cu}$  karena pada penambahan komposisi 2.16% Cu, aluminium komposit dengan penambahan Cu memperoleh sifat-sifat yang optimum.<sup>[17]</sup> Dari foto dapat dilihat bahwa

perpatahan yang terjadi merupakan perpatahan getas. Hal ini dapat terlihat dari warna permukaan perpatahan yang berwarna terang.

Sementara itu, pada **gambar 4.6** menunjukkan foto sampel uji hasil dari pengujian tarik.



**Gambar 4.6** Perpatahan yang terjadi pada sampel uji tarik setelah pengujian

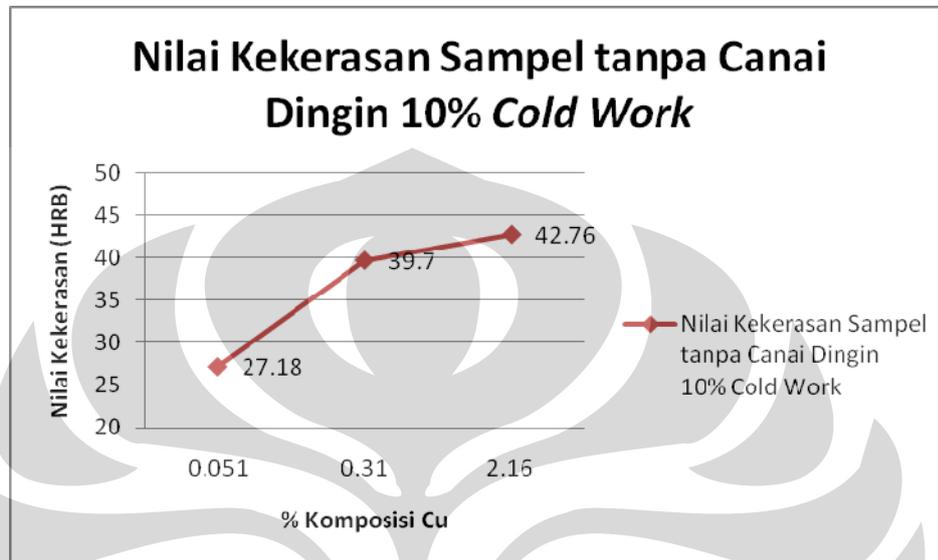
(terlihat bahwa saat perpatahan terjadi, kawat tidak langsung patah melainkan tertarik keluar terlebih dahulu dari matriks aluminium kemudian patah)

Selain itu dari perpatahan juga didapat bahwa kawat tali baja yang tersusun sebagai penguat tidak cukup kuat untuk menahan perpatahan yang terjadi. Matriks aluminium dan penguat kawat tali baja mengalami perpatahannya masing-masing bukan suatu kesatuan bentuk. Hal ini dapat dilihat bahwa di saat matriks aluminium mengalami perpatahan, beberapa kawat justru lepas tertarik dari posisinya. Hal ini diakibatkan oleh *void* pada daerah antarmuka yang cukup besar yang berarti daerah antarmuka tersebut keadaanya tidak bagus.

#### **4.1.2 ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN KOMPOSISI TEMBAGA (Cu) TERHADAP NILAI KEKERASAN**

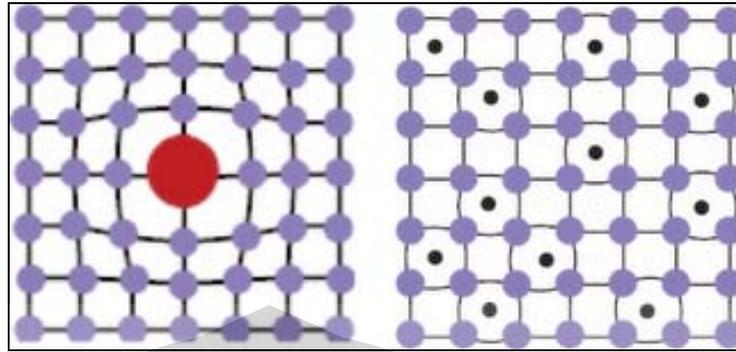
Dengan penambahan komposisi Mg yang cenderung tetap, maka yang harus kita ketahui adalah pengaruh penambahan komposisi Cu terhadap kekerasan material aluminium komposit. Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode *Rockwell* dengan diameter bola sebesar 0.0625 inci. Di bawah ini

disajikan beberapa grafik nilai kekerasan dimana sumbu x dari grafik merupakan komposisi tembaga yang didapat dari hasil uji komposisi sampel aluminium komposit, sementara sumbu y dari grafik merupakan nilai kekerasan.



**Gambar 4.7** Grafik Nilai Kekerasan tanpa Proses Canai Dingin 10% *Cold Work*

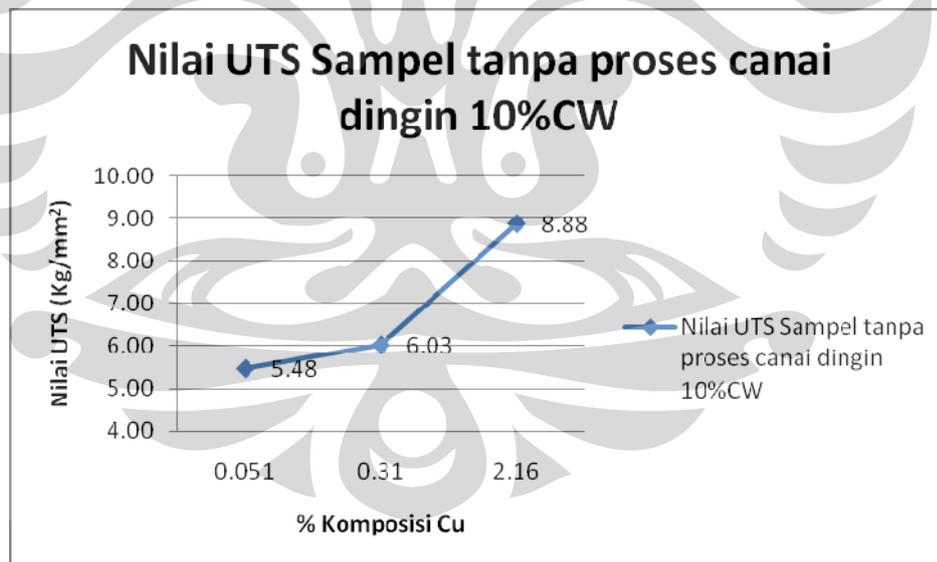
Dapat dilihat pada grafik diatas bahwa tanpa proses canai dingin 10% *Cold Work*, seiring dengan penambahan kadar Cu, maka kekerasan sampel juga semakin meningkat. Peningkatan yang terjadi tidak begitu tajam, dikarenakan komposisi tembaga yang diberikan tidak berselisih terlalu jauh. Hal ini sesuai dengan literatur dimana dengan peningkatan komposisi Cu, meningkat pula nilai kekerasan dari sampel aluminium komposit.<sup>[17]</sup> Kenaikan nilai kekerasan ini disebabkan karena adanya pergerakan dislokasi. Pergerakan dislokasi ini terjadi pada bidang slip dan arah slip terpadat dari struktur kristal atom. Pergerakan dislokasi yang terjadi di dalam suatu butir akan diteruskan hingga bertemu dengan hambatan seperti batas butir, *presipitat*, ataupun *interstisi*. Untuk membuat slip berikutnya pada bidang yang sama akan memerlukan gaya yang lebih besar. Oleh karena itu, logam akan bertambah kuat dan keras.<sup>[18]</sup>



**Gambar 4.8** Mekanisme *solid solution strengthening*<sup>(2)</sup>

#### 4.1.3 ANALISA PENGARUH KOMPOSISI KIMIA TERHADAP KEKUATAN TARIK

Standar pengujian tarik untuk sampel aluminium komposit ini menggunakan ASTM D 3552, dimana tidak menggunakan *gauge length* dan jarak pegangan pada mesin uji tarik adalah 3.5 cm dari ujung sampel. Dari pengujian ini didapat nilai UTS dan elongasi yang menggambarkan sifat mekanis terutama hasil perpatahan yang terjadi.



**Gambar 4.9** Grafik Nilai *Ultimate Tensile Strength* (UTS) terhadap penambahan komposisi Cu untuk sampel tanpa proses canai dingin 10% Cold Work

Pada **gambar 4.9**, ditunjukkan grafik yang didapat dari pengujian tarik berupa grafik nilai *ultimate tensile strength* (UTS). Kedua grafik diatas ingin

menunjukkan bagaimana pengaruh penambahan komposisi Cu 0.051%, 0.31% dan 2.16% terhadap nilai UTS dari sampel material uji. Dari nilai UTS dapat diketahui bagaimana kekuatan dari masing-masing sampel material uji tersebut.

Pada **gambar 4.9** terlihat bahwa dengan meningkatnya penambahan komposisi Cu, maka semakin tinggi pula nilai UTS yang terbentuk. Hal ini menunjukkan bahwa kekuatan dari sampel uji akan meningkat seiring dengan peningkatan penambahan komposisi Cu. Analisa ini sesuai dengan literatur<sup>[10]</sup>, karena terjadi peningkatan kekuatan dari ketiga sampel uji dengan kekuatan tertinggi pada sampel 2.16%Cu. Dengan demikian, sampel uji dengan penambahan 2.16% memiliki kekuatan material yang terbaik.

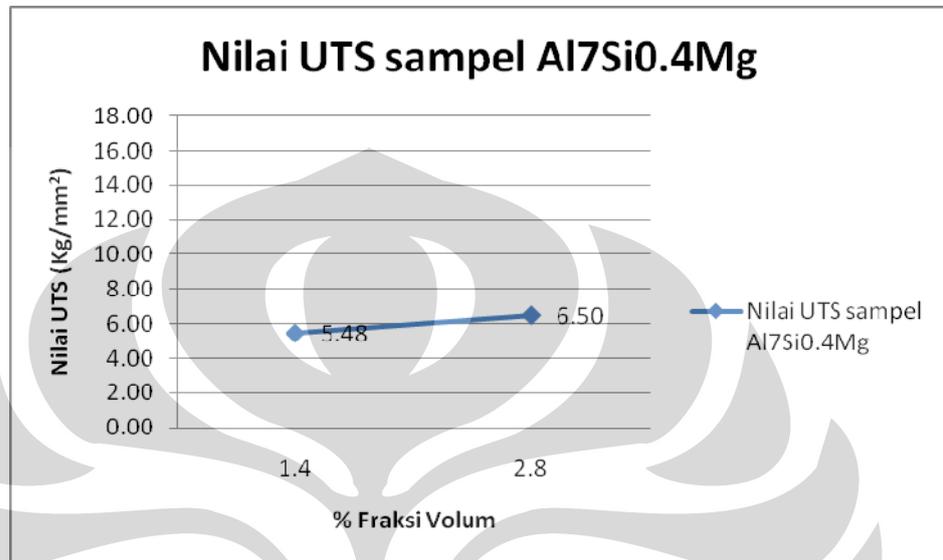
## **4.2 ANALISA PENGARUH FRAKSI VOLUM**

Pada bagian ini ingin menunjukkan pengaruh fraksi volum yang dalam hal ini menggunakan 2 variasi yaitu 1.4% dan 2.8%. Fraksi volum 1.4% ditunjukkan dengan pemasangan 20 kawat pada 20 lubang dari 123 lubang yang masing-masing berukuran 1.5mm yang ada pada cetakan logam yang tersusun pada bagian atas hingga tengah cetakan. Sementara fraksi volum 2.8% ditunjukkan dengan pemasangan 42 kawat pada 42 lubang dari 123 lubang yang masing-masing berukuran 1.5mm yang ada pada cetakan logam yang tersusun pada bagian bawah hingga tengah cetakan.

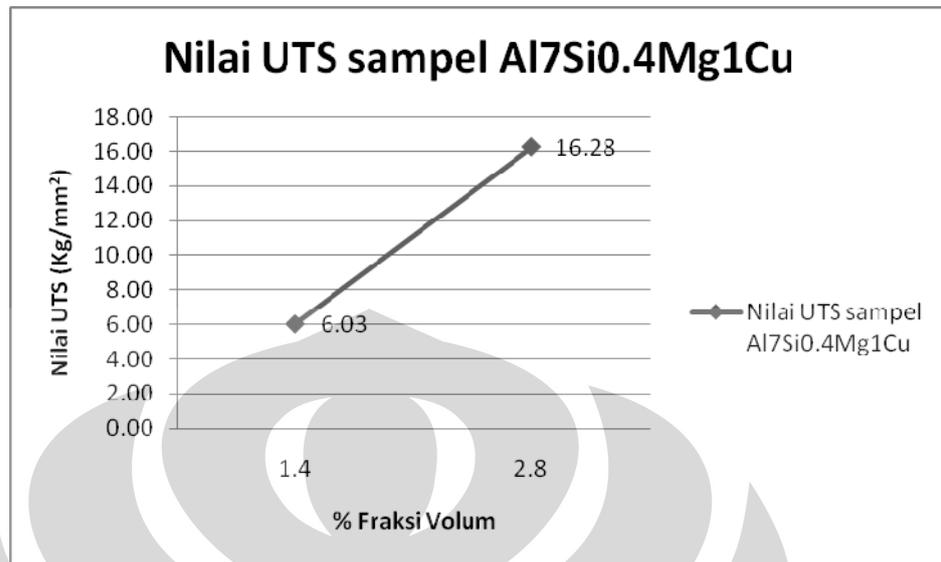
### **4.2.1 ANALISA PENGARUH VARIASI FRAKSI VOLUM TERHADAP KEKUATAN TARIK**

Pada penelitian ini selain melakukan variasi pada komposisi penambahan unsur tembaga (Cu), juga dilakukan variasi pada fraksi volum pada kawat tali baja sebagai penguat. Fraksi volum yang digunakan adalah 1.4% dan 2.8%. Sampel komposit dengan fraksi volum 1.4% memiliki penguat kawat tali baja berjumlah 20 buah yang dipasangkan pada 20 lubang bagian atas cetakan logam dan semuanya terpasang pada lubang *layer* kedua dari tiga *layer* yang dibuat. Sementara itu, sampel komposit dengan fraksi volum 2.8% memiliki penguat tali baja berjumlah total 42 buah yang terpasang pada 42 lubang bagian bawah

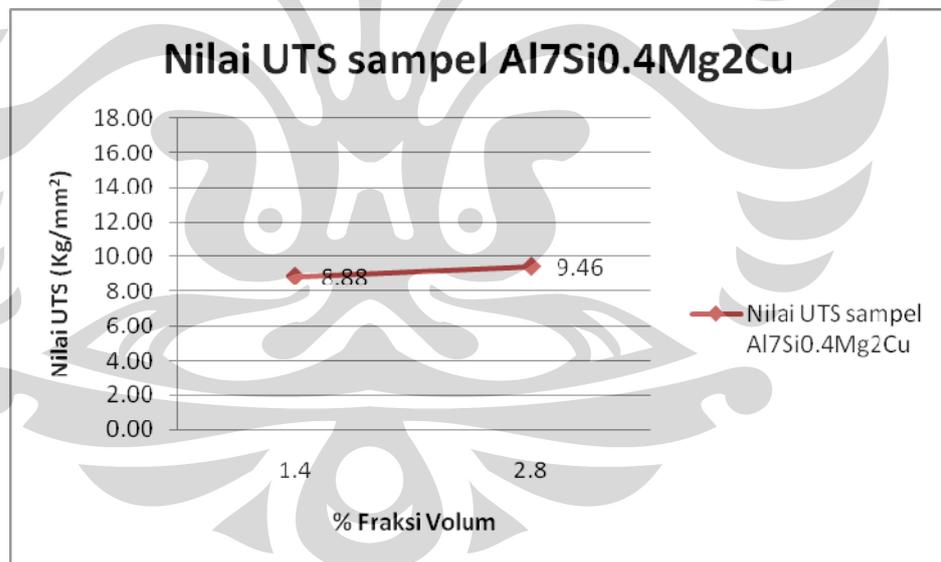
cetakan logam dan terpasang dengan jumlah 21 kawat pada pada 21 lubang *layer* pertama dan 21 kawat lainnya terpasang pada 21 lubang *layer* ketiga dari tiga *layer* yang dibuat.



**Gambar 4.10** Grafik Nilai *Ultimate Tensile Strength* (UTS) Al7Si0.4Mg0.051Cu tanpa proses canai dingin 10% *Cold Work* terhadap perbedaan fraksi volum penguat kawat tali baja



**Gambar 4.11** Grafik Nilai *Ultimate Tensile Strength* (UTS) Al7Si0.4Mg0.31Cu tanpa proses canai dingin 10% *Cold Work* terhadap perbedaan fraksi volum penguat kawat tali baja



**Gambar 4.12** Grafik Nilai *Ultimate Tensile Strength* (UTS) Al7Si0.4Mg2.16Cu tanpa proses canai dingin 10% *Cold Work* terhadap perbedaan fraksi volum penguat kawat tali baja

**Gambar 4.10, 4.11, 4.12** menunjukkan perbandingan nilai UTS pada ketiga sampel dengan melihat pengaruh perbedaan fraksi volum. Ketiga grafik

membuktikan bahwa semakin besar %fraksi volum, maka nilai UTS dari sampel juga semakin besar. Hal ini berarti dengan peningkatan fraksi volum, maka akan meningkatkan kekuatan dari material komposit. Material yang memiliki jumlah penguat yang dalam penelitian ini berupa kawat tali baja lebih banyak, maka kekuatan dari material tersebut lebih besar dari material dengan jumlah kawat yang lebih sedikit.

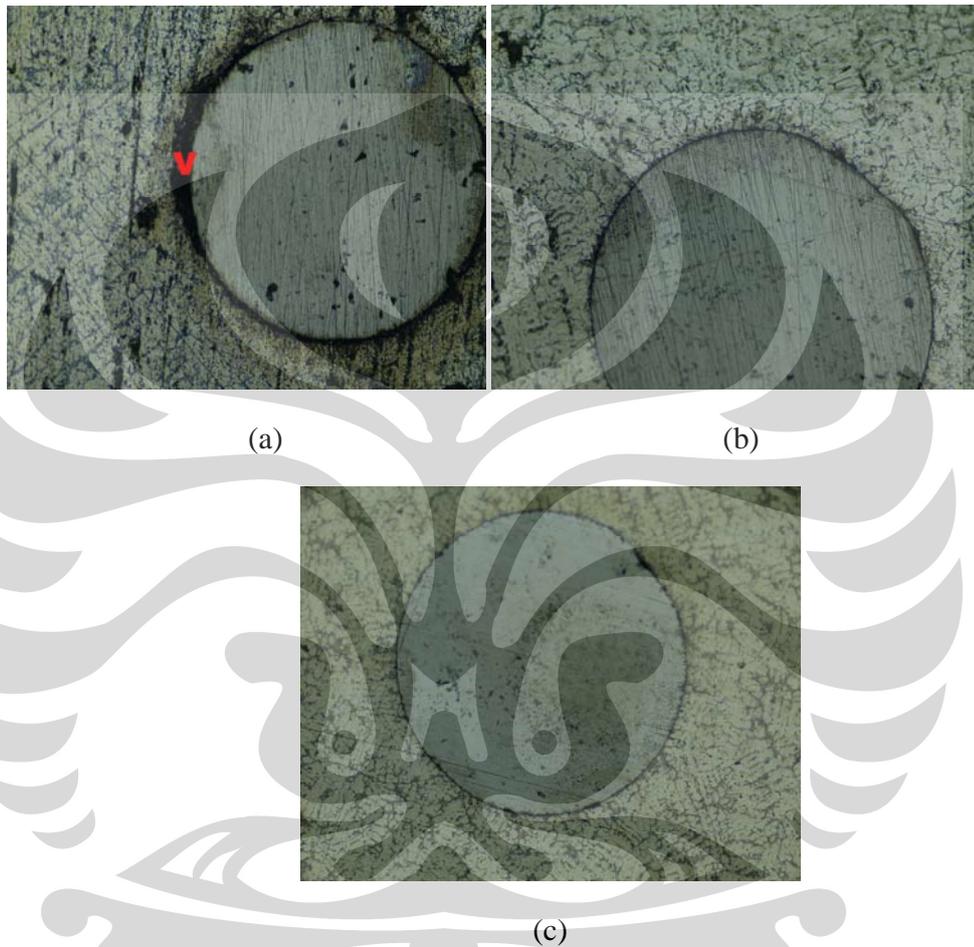
#### **4.3 ANALISA PENGARUH PROSES CANAI DINGIN 10% *COLD WORK***

Proses canai dingin yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan mengurangi ketebalan sampel hasil pengecoran sebesar 10% *Cold Work*. Proses canai dingin yang dilakukan akan mempengaruhi keadaan dari sampel. Canai dingin dilakukan dengan mengurangi ketebalan permukaan sampel sebesar 0.1mm secara bertahap hingga mencapai pengurangan ketebalan sebesar 10% dari ketebalan semula. Hal ini dilakukan karena bila dilakukan pengurangan ketebalan sampel langsung sebesar 10% akan terjadi retak pada permukaan sampel sesuai dengan pengujian yang telah dilakukan sebelumnya<sup>[12]</sup>. Pada penelitian ini akan melihat pengaruh proses canai dingin 10% *Cold Work* terhadap daerah antarmuka dan sifat mekanis dari aluminium komposit dan membandingkannya dengan sampel aluminium komposit yang tanpa perlakuan proses canai dingin 10% *Cold Work*.

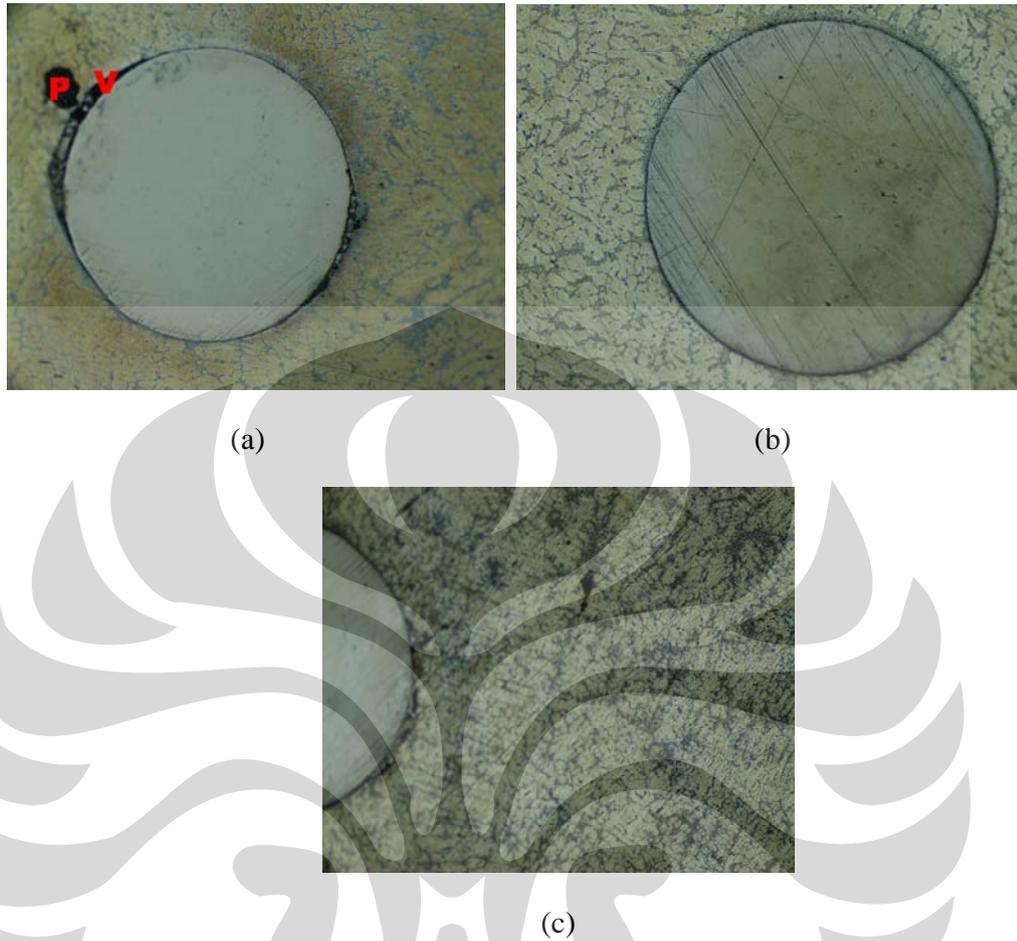
##### **4.3.1 ANALISA PENGARUH PROSES CANAI DINGIN 10% *COLD WORK* TERHADAP DAERAH ANTARMUKA**

Pada penelitian ini dilakukan proses canai dingin dengan mereduksi ketebalan sampel uji hingga 10%. Perlakuan pengaruh canai dingin dapat mengurangi besar dan jumlah *void* yang terjadi pada daerah antarmuka, hal ini dikarenakan dengan berkurangnya ketebalan dari aluminium komposit, maka *void* yang terbentuk pun dapat terisi dengan semakin menempelnya aluminium pada kawat baja karbon tinggi. Namun dengan pengaruh canai dingin 10% *Cold Work* pula, *void* yang terbentuk dapat menjadi awal terjadinya retak pada material.<sup>[12]</sup>

Pada **gambar 4.13** dan **4.14** menunjukkan hasil fotomikro masing-masing sampel yang dapat membandingkan kondisi daerah antarmuka pada sampel tanpa proses canai dingin 10% *Cold Work* dan dengan proses canai dingin 10% *Cold Work*.



**Gambar 4.13** Fotomikro sampel tanpa proses canai dingin 10% *Cold Work* untuk komposisi (a) 0.051%Cu; (b) 0.31%Cu; (c) 2.16%Cu



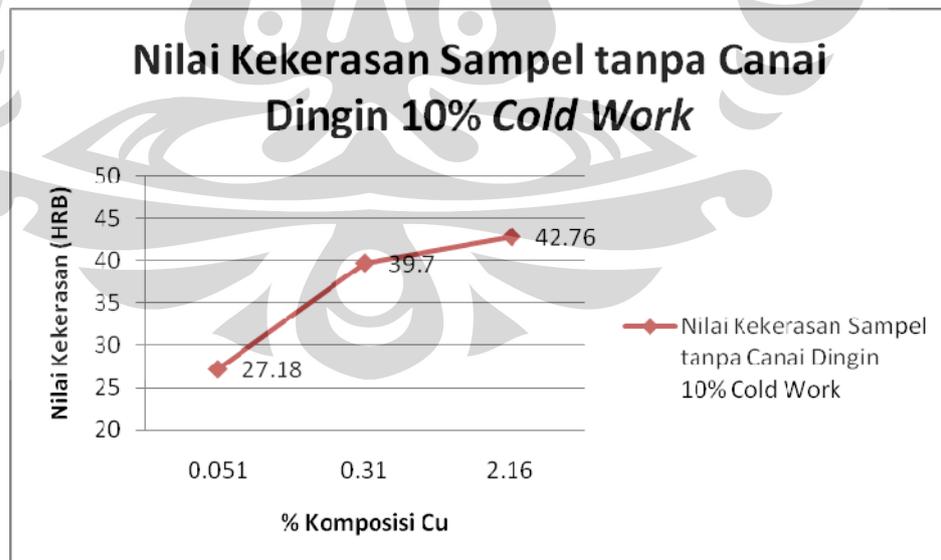
**Gambar 4.14** Fotomikro sampel dengan proses canai dingin 10% *Cold Work* untuk komposisi (a) 0.051%Cu;(b) 0.31%Cu; (c) 2.16%Cu

Pada **gambar 4.13** menunjukkan hasil foto mikro sampel tanpa proses canai dingin 10% *Cold Work*, terlihat pada daerah antar muka terdapat *void* yang cukup besar dan terlihat dengan jelas. Hal ini membuktikan bahwa proses pengecoran sampel kurang baik karena timbulnya *void* yang cukup besar pada daerah antarmuka. *Void* terjadi karena *castability* yang kurang baik yang mana aluminium cair mengalami pembekuan yang cepat tanpa dapat mengisi seluruh rongga yang dekat dengan penguat kawat baja. Selain itu pemasangan kawat tali baja yang tidak sampai lurus pada cetakan logam dapat menciptakan suatu sudut yang kecil pada lubang kawat yang tidak terisi oleh kawat. Hal ini dimungkinkan dapat menimbulkan *void* pada daerah antarmuka.

Sementara pada **gambar 4.14** menunjukkan hasil foto mikro sampel dengan proses canai dingin 10% *Cold Work*. Bila dibandingkan dengan **gambar 4.13** yang tanpa proses canai dingin 10% *Cold Work*, hasil foto mikro pada **gambar 4.14** menunjukkan besar dan jumlah *void* yang lebih kecil ukurannya dan lebih sedikit jumlahnya. Hal ini membuktikan bahwa dengan proses canai dingin yang mengurangi ketebalan sampel hingga 10% *Cold Work*, *void* yang timbul setelah proses pengecoran dapat dikurangi besar dan jumlahnya seiring dengan pengurangan ketebalan sampel. Matriks aluminium akan lebih rapat ke arah penguat kawat baja sehingga meminimalkan *void* yang terjadi.

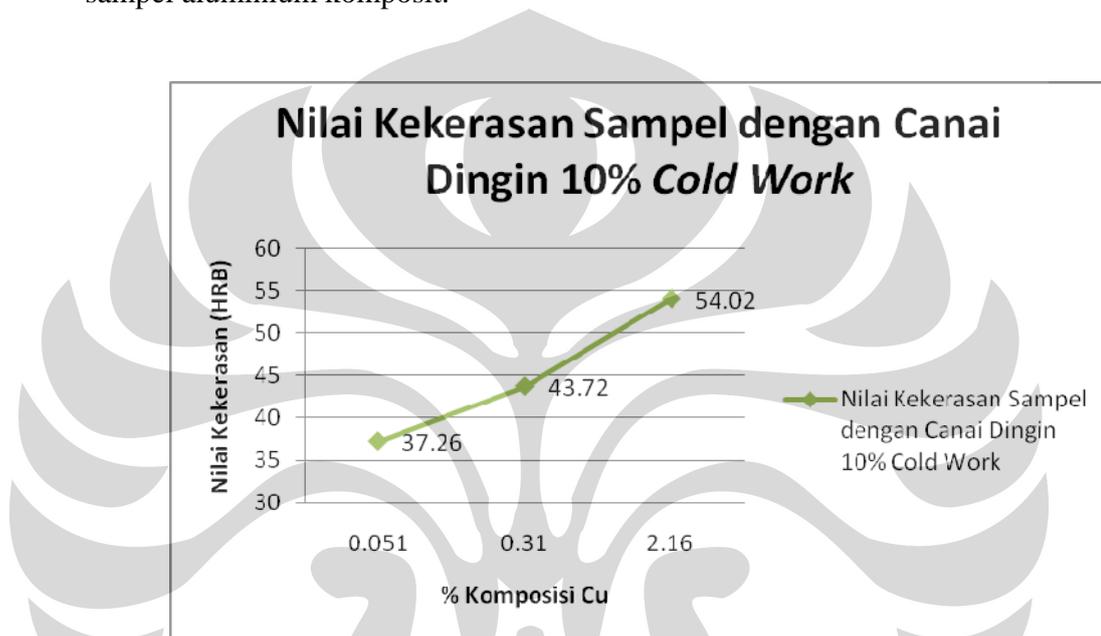
#### 4.3.2 ANALISA PENGARUH PROSES CANAI DINGIN 10% *COLD WORK* TERHADAP SIFAT MEKANIS KEKERASAN SAMPEL

Secara literatur, kekerasan sampel material akan meningkat dengan adanya perlakuan proses canai dingin. Peningkatan terjadi karena pengurangan ketebalan sampel yang akan membuat berkurangnya poros maupun *void* pada material. Dengan berkurangnya *void* ataupun poros yang terbentuk, maka sifat mekanis dari sampel akan meningkat, salah satunya nilai kekerasannya.



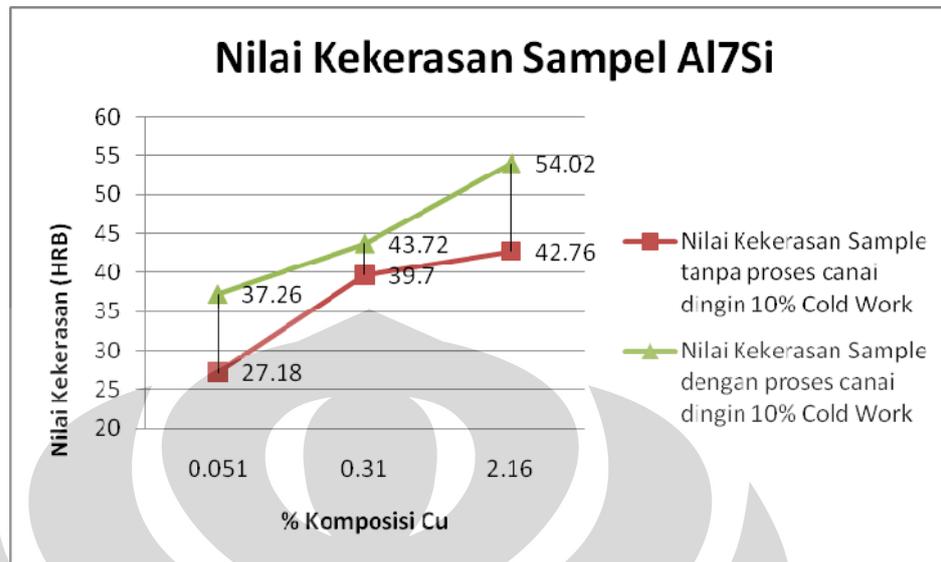
**Gambar 4.15** Nilai Kekerasan tanpa Proses Canai Dingin 10% *Cold Work*

Dapat dilihat pada grafik diatas bahwa tanpa proses canai 10% *Cold Work*, seiring dengan penambahan kadar Cu, maka kekerasan sampel juga semakin meningkat. Peningkatan yang terjadi tidak begitu tajam, dikarenakan komposisi tembaga yang diberikan tidak berselisih terlalu jauh. Hal ini sesuai dengan literatur dimana peningkatan komposisi Cu, meningkat pula nilai kekerasan dari sampel aluminium komposit.<sup>[12]</sup>



**Gambar 4.16** Nilai Kekerasan dengan Proses Canai Dingin 10% *Cold Work*

Sementara pada grafik dengan perlakuan proses canai dingin 10% *Cold Work* diatas, ditunjukkan bahwa dengan perlakuan proses canai, peningkatan komposisi Cu yang ditambahkan juga dapat meningkatkan kekerasan sampel aluminium komposit. Ketiga sampel diberikan efek canai dingin dengan mereduksi ketebalan sampel sebesar 10%. Grafik ini membuktikan bahwa proses canai dingin 10% *Cold Work* dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan material aluminium komposit<sup>[12]</sup>.

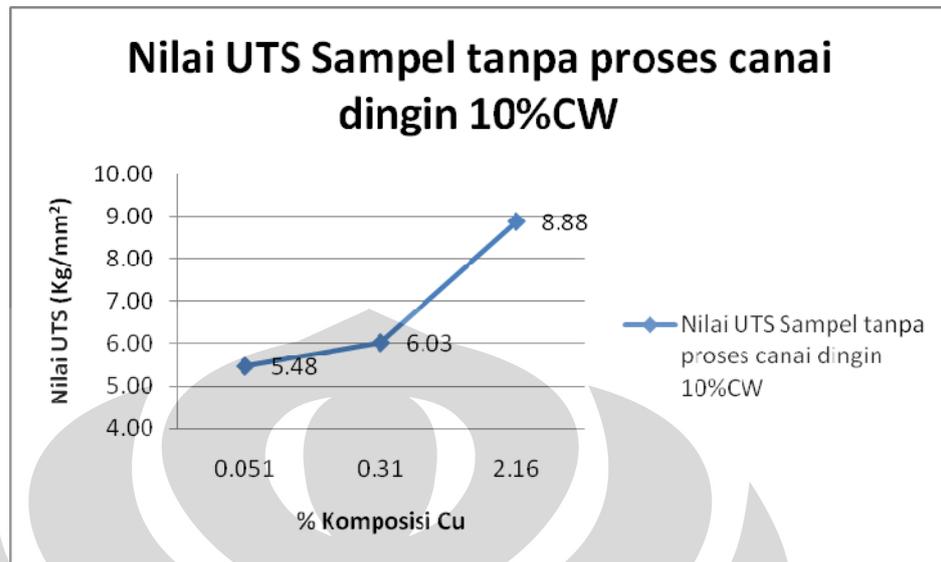


**Gambar 4.17** Perbandingan Nilai Kekerasan tanpa dan dengan Proses Canai Dingin 10% *Cold Work*

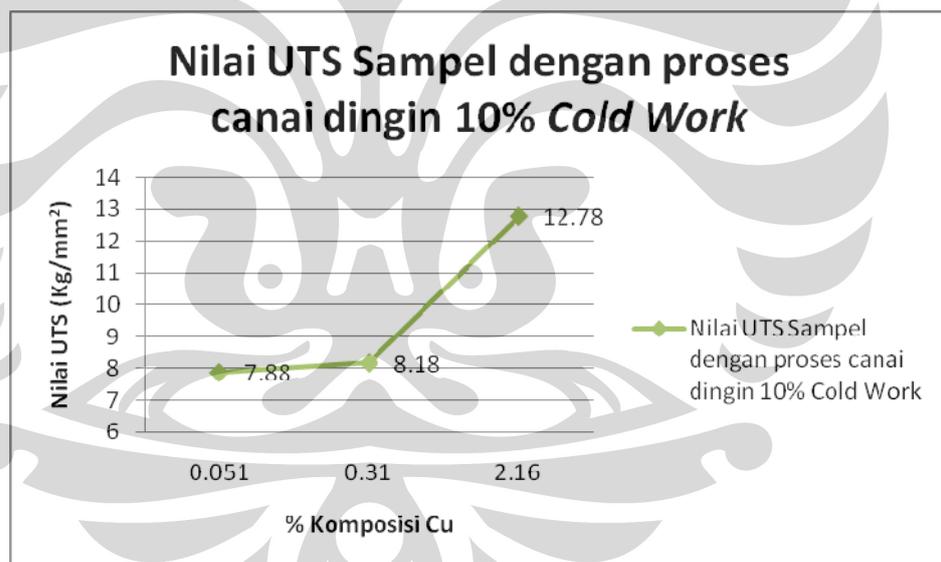
Grafik diatas merupakan perbandingan antara sampel tanpa proses canai dingin 10% *Cold Work* dan sampel dengan proses canai dingin 10% *Cold Work*. Dari gabungan grafik diatas dapat dilihat adanya peningkatan kekerasan pada sampel tanpa proses canai dingin 10% *Cold Work* dan dengan proses canai dingin 10% *Cold Work* untuk semua penambahan komposisi Cu. Hal ini membuktikan bahwa dengan adanya perlakuan proses canai dingin 10% *Cold Work* pada sampel, maka nilai kekerasan dari sampel tersebut akan meningkat<sup>[17]</sup>.

#### **4.3.3 ANALISA PENGARUH PROSES CANAI DINGIN 10% COLD WORK TERHADAP SIFAT MEKANIS KEKUATAN TARIK SAMPEL**

Selain nilai kekerasan, proses canai dingin juga dapat berpengaruh pada kekuatan sampel. Sifat mekanis ini dapat dilihat dari hasil pengujian tarik dengan membandingkan nilai UTS sampel tanpa dan dengan proses canai dingin 10% *Cold Work*.



**Gambar 4.18** Nilai UTS Sampel tanpa proses canai dingin 10% *Cold Work* dengan fraksi volum 1.4%

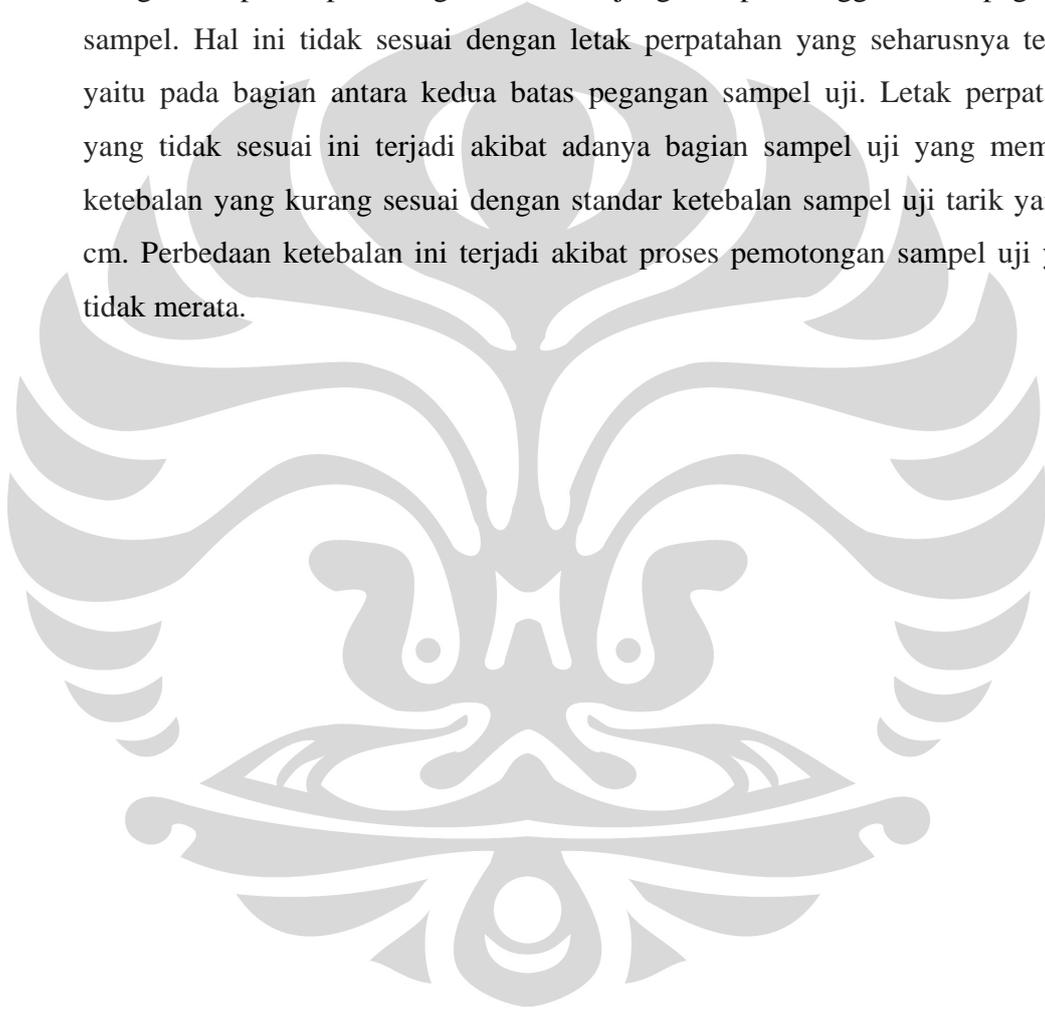


**Gambar 4.19** Nilai UTS Sampel dengan proses canai dingin 10% *Cold Work* dengan fraksi volum 1.4%

**Gambar 4.18** dan **4.19** memperlihatkan bahwa nilai UTS sampel akan meningkat dengan adanya proses canai dingin 10% *Cold Work*. Pada sampel penambahan 0.051%Cu terjadi kenaikan sebesar 2.4 kg/mm<sup>3</sup>, sampel penambahan 0.31%Cu mengalami peningkatan sebesar 2.15 kg/mm<sup>3</sup> dan sampel

penambahan 2.16%Cu mengalami kenaikan sebesar 3.9 kg/mm<sup>3</sup>. Hal ini membuktikan bahwa proses canai dingin 10% *Cold Work* dapat meningkatkan kekuatan dari material aluminium komposit.

Dalam pengujian tarik terjadi beberapa ketidakakuratan data hasil pengujian. Ketidakakuratan data ini, dimungkinkan terjadi karena saat pengujian mengalami patah pada bagian antara ujung sampel hingga batas pegangan sampel. Hal ini tidak sesuai dengan letak perpatahan yang seharusnya terjadi yaitu pada bagian antara kedua batas pegangan sampel uji. Letak perpatahan yang tidak sesuai ini terjadi akibat adanya bagian sampel uji yang memiliki ketebalan yang kurang sesuai dengan standar ketebalan sampel uji tarik yaitu 1 cm. Perbedaan ketebalan ini terjadi akibat proses pemotongan sampel uji yang tidak merata.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dengan penambahan komposisi Mg yang tetap, penambahan komposisi Cu sebesar 0.051%, 0.31% dan 2.16% secara berurutan pada material aluminium komposit Al7Si akan mengurangi terbentuknya rongga kosong (*void*) pada daerah antarmuka
2. Dengan penambahan komposisi Mg yang tetap, penambahan komposisi Cu sebesar 0.051%, 0.31% dan 2.16% secara berurutan pada material aluminium komposit Al7Si pula dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan dari aluminium komposit.
3. Semakin meningkat fraksi volum, maka kekerasan dan kekuatan sampel aluminium komposit akan meningkat.
4. Proses *squeeze casting* dapat mengurangi terjadinya porositas, pada penelitian ini tidak terlihat secara signifikan pengaruh tersebut
5. Dari hasil pengujian tarik dihasilkan bahwa matriks aluminium dan penguat kawat tali baja mengalami perpatahan masing-masing (bukan dalam satu kesatuan material komposit)
6. Proses canai dingin dengan pengurangan ketebalan aluminium komposit sebesar 10% *Cold Work* meningkatkan kekuatan dan kekerasan dari aluminium komposit.
7. Ukuran *void* yang terbentuk di daerah antarmuka pada sampel dengan proses canai dingin 10% *Cold Work* lebih berkurang dari sampel tanpa proses canai dingin 10% *Cold Work*.

## 5.2 SARAN

1. Proses pembersihan kawat harus lebih optimal lalu pelurusan susunan kawat yang digunakan agar dapat lebih teratur untuk jarak antar kawatnya.
2. Penggunaan dapur yang dapat mengontrol suplai panas dan menjaga kestabilan temperatur.
3. Penelitian lanjutan mengenai aluminium komposit dengan metode *squeeze casting* dengan memberikan penambahan komposisi yang lain untuk melihat sifat mekanis dari aluminium komposit.



## DAFTAR PUSTAKA

- 1) Bandanadjaja , Beny , Arif Basuki dan Mardjono Siswosuwarno; “Perilaku Balistik Baja Komersial SCR 440 dengan Kekerasan Berlapis (Dual Hardness) dalam Simulasi dan Eksperimen”; Kelompok Keahlian Ilmu & Material Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara – Institut Teknologi Bandung; Prosiding Seminar Nasional Teknoin, Bandung; 2008.
- 2) C.H Caceres, M.B. Djurdjevic, T.J. Stockwell, J.H. Sokolowski, “*The Effect of Cu Content On The Level Of Microporosity In Al-Si-Cu-Mg Casting Alloys.* 1998.
- 3) American Foundrymen’s Society Inc. Aluminium casting Technology, (Illinois,1993)
- 4) Hatch, John E. Aluminum Properties and Physical Metallurgy. American Society for Metals : Metal Parks, Ohio. 1995.
- 5) Kaufmann, Gilbert J.; Rooy, Elwin L. Aluminium Alloy Casting : Properties, Process, and Applications. Ohio : ASM International ( The Materials Information Society). 2005.
- 6) 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) – American Journal of Applied Sciences 5 (6): 721-725, 2008 ISSN 1546-9239 Science Publication; 2008
- 7) Kusuma, Indra. Pengaruh Magnesium dan Proses Canai Dingin Terhadap Kondisi Antarmuka Komposit – Matriks Aluminium – Berpenguat Kawat Baja Yang Dibuat Dengan Metode *Squeeze Casting* Untuk Aplikasi Armor. Skripsi, Program Sarjana Teknik UI, Depok 2010
- 8) ASM International. ASM Handbook Volume 15 : Casting (ohio : American Society for Metals,1978)
- 9) Zulfia, Anne. Materi Kuliah Komposit.2008

- 10) ASM Handbook Volume 21, Composites. USA: ASM Internasional.1990
- 11) Matthews, F.L dan R.D Rawlijns, Composite Material: Engineering & Science. Chapman & Hall, Lodon: 1994
- 12) Tjitro,Soejono; Pengecoran *Squeeze*; Dosen Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra
- 13) 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
- 14) Callister D. William, Jr. *Materials Science and Engineering An Introduction - 6th Edition* – John Wiley & Sons, Inc. Singapore. 2003
- 15) <http://info.lu.farmingdale.edu/depts/met/met205/coldwork.html> akses 28 April 2010.
- 16) ASM Handbook Volume 14, Composites. USA: ASM Internasional.1990
- 17) Sutrisno, Tri. Pengaruh Tembaga dan Proses Canai Dingin Terhadap Kondisi Antarmuka Komposit Matriks Aluminium Berpenguat Kawat Tali Baja Dengan Metode *Squeeze Casting* Untuk Aplikasi Material Armor. Skripsi, Program Sarjana Teknik UI, Depok 2010
- 18) Rahmalina,Dwi, Indra Kusuma, Bambang Suharno, Bondan T. Sofyan, Eddy S. Siradj. “*Pengaruh Penambahan Unsur Mg Pada Daerah Antarmuka Komposit Matriks Aluminium Berpenguat Kawat Tali Baja Untuk Aplikasi Material Armor Melalui Proses Squeeze Casting*”. Departemen Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia, Kampus UI Depok, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri Universitas Jayabaya. Seminar Nasional Metalurgi dan Material IV. 2010

## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Hasil Pengujian Komposisi Spektro

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	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	0.011	0.00057
Sn	0.0059	0.00481
V	0.0013	0.00028
Ca	0.0016	0.00082
Be	0.0001	0.00000

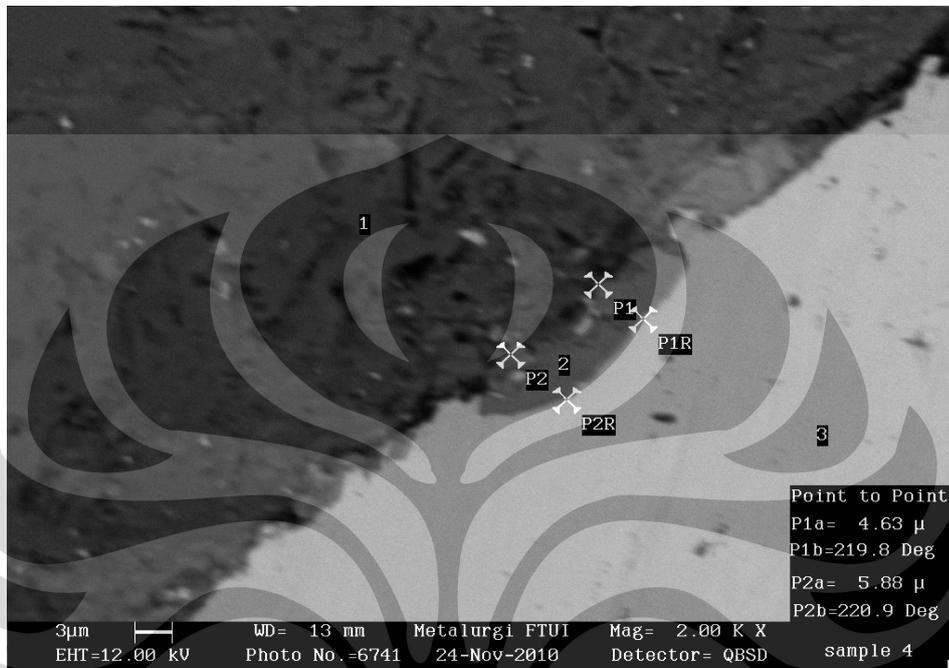
AVERAGE:MgO Cu2  
12.10.2010 10:42:31

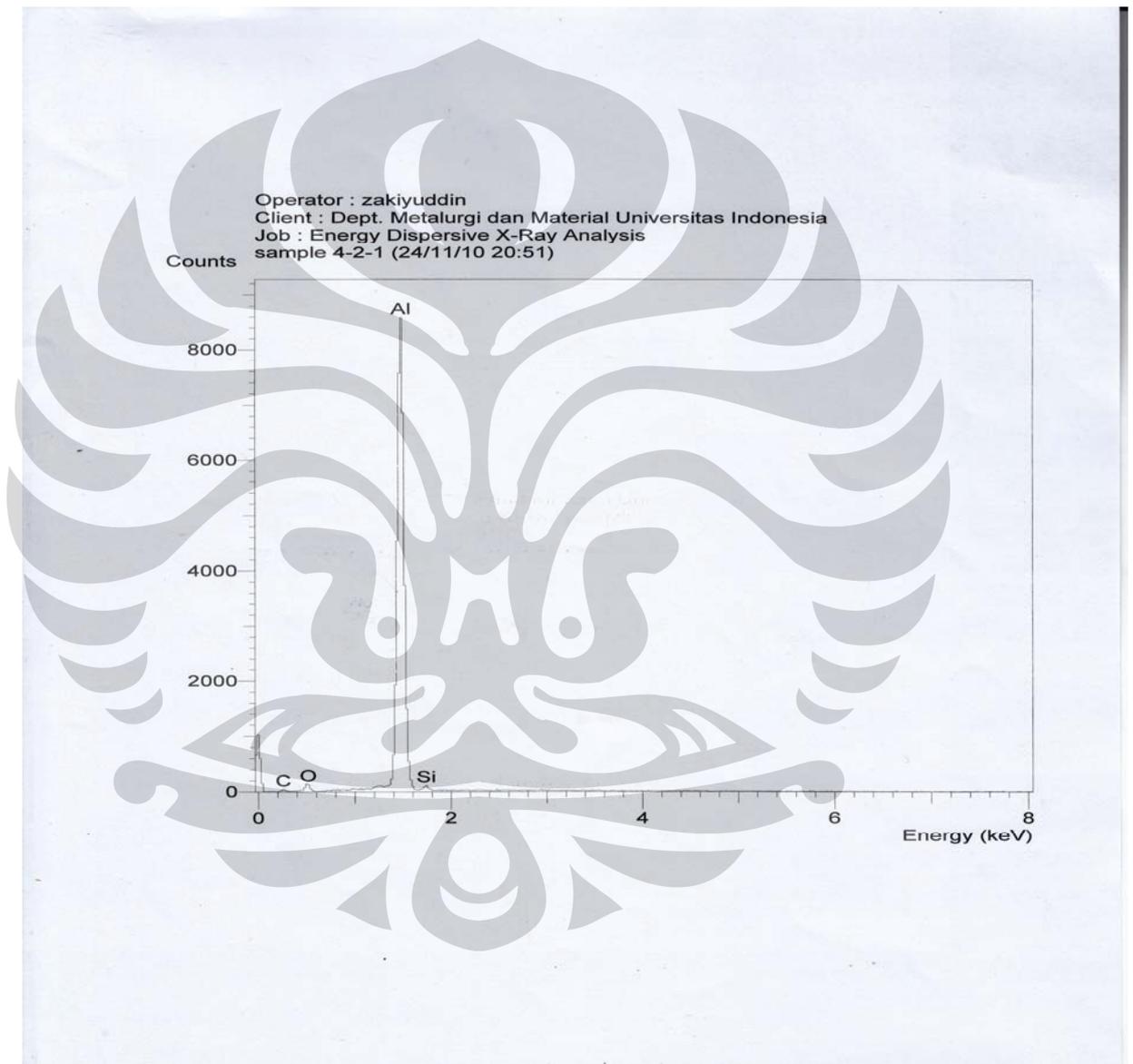
Al	90.82	0.17220
Si	6.65	0.10348
Mg	0.0090	0.00001
Cu	2.84	0.03761
Mn	0.022	0.00025
Zn	0.089	0.00048
Ni	0.00	0.00409
Fe	0.081	0.03038
Pb	0.059	0.00388
Bi	0.013	0.00085
Cr	0.0002	0.00012
Ti	0.011	0.00111
Sn	0.0039	0.00074
V	0.0014	0.00061
Ca	0.0009	0.00025
Be	0.0001	0.00000

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	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	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. Struktur Mikro Sampel Penambahan 0.4%Mg 0.31%Cu  
(SEM)**



**Lampiran 3. Hasil EDAX titik 1**

SEMQuant results. Listed at 21:01:04 on 24/11/10  
Operator: zakiyuddin  
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia  
Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis  
Spectrum label: sample 4-2-1

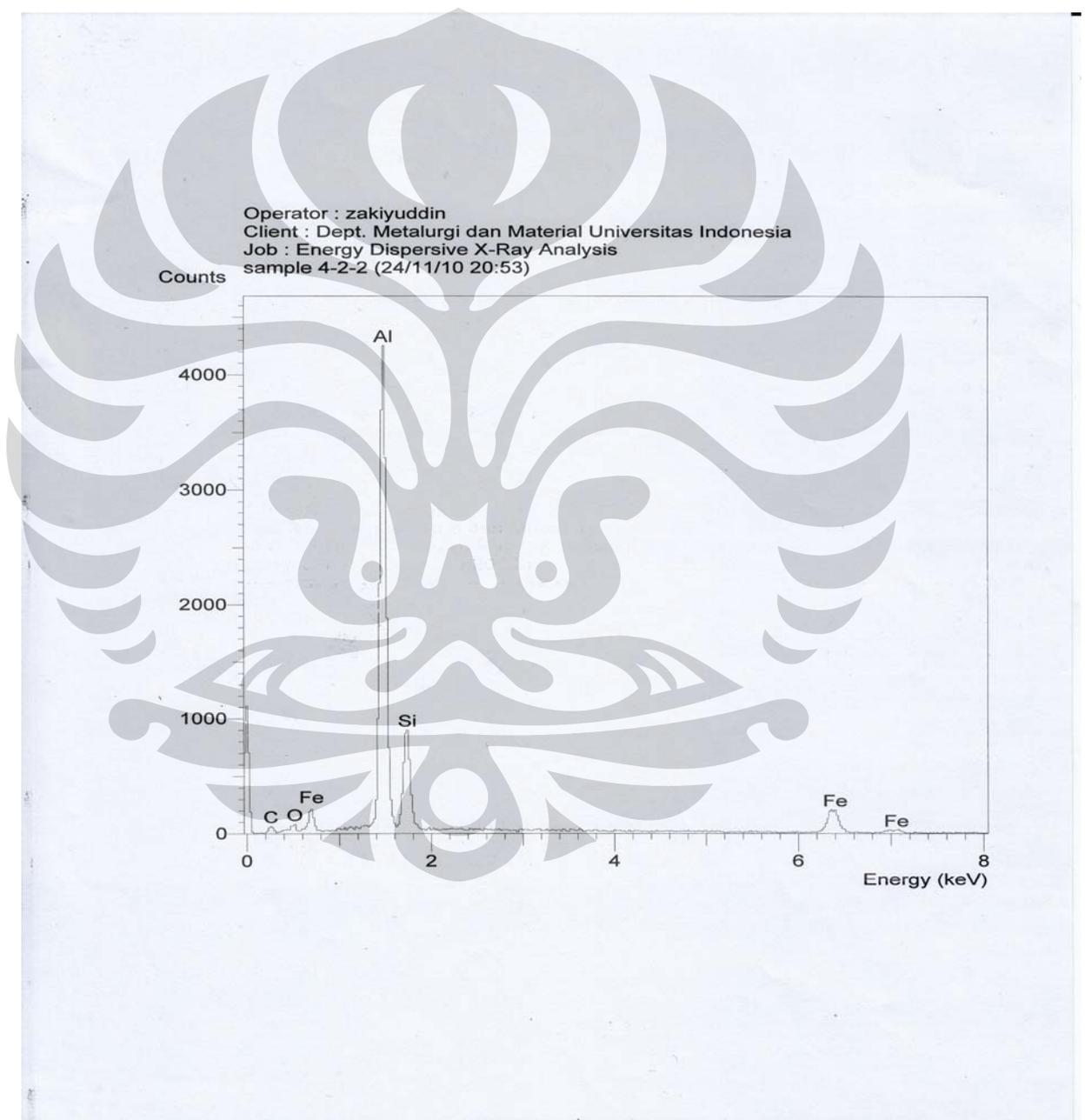
System resolution = 59 eV

Quantitative method: ZAF ( 3 iterations).  
Analysed all elements and normalised results.

Standards :  
C K Carbon Low 13/09/06  
O K AL203 17/11/09  
Al K AL203 17/11/09  
Si K Low Carbon Steel 13/09/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	0.54	1.18
O K	ED	3.48	5.69
Al K	ED	94.69	91.92
Si K	ED	1.30	1.21
Total		100.00	100.00

\* = <2 Sigma

**Lampiran 4. Hasil EDAX titik 2**

Universitas Indonesia

SEMQuant results. Listed at 21:01:22 on 24/11/10  
Operator: zakiyuddin  
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia  
Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis  
Spectrum label: sample 4-2-2

System resolution = 60 eV

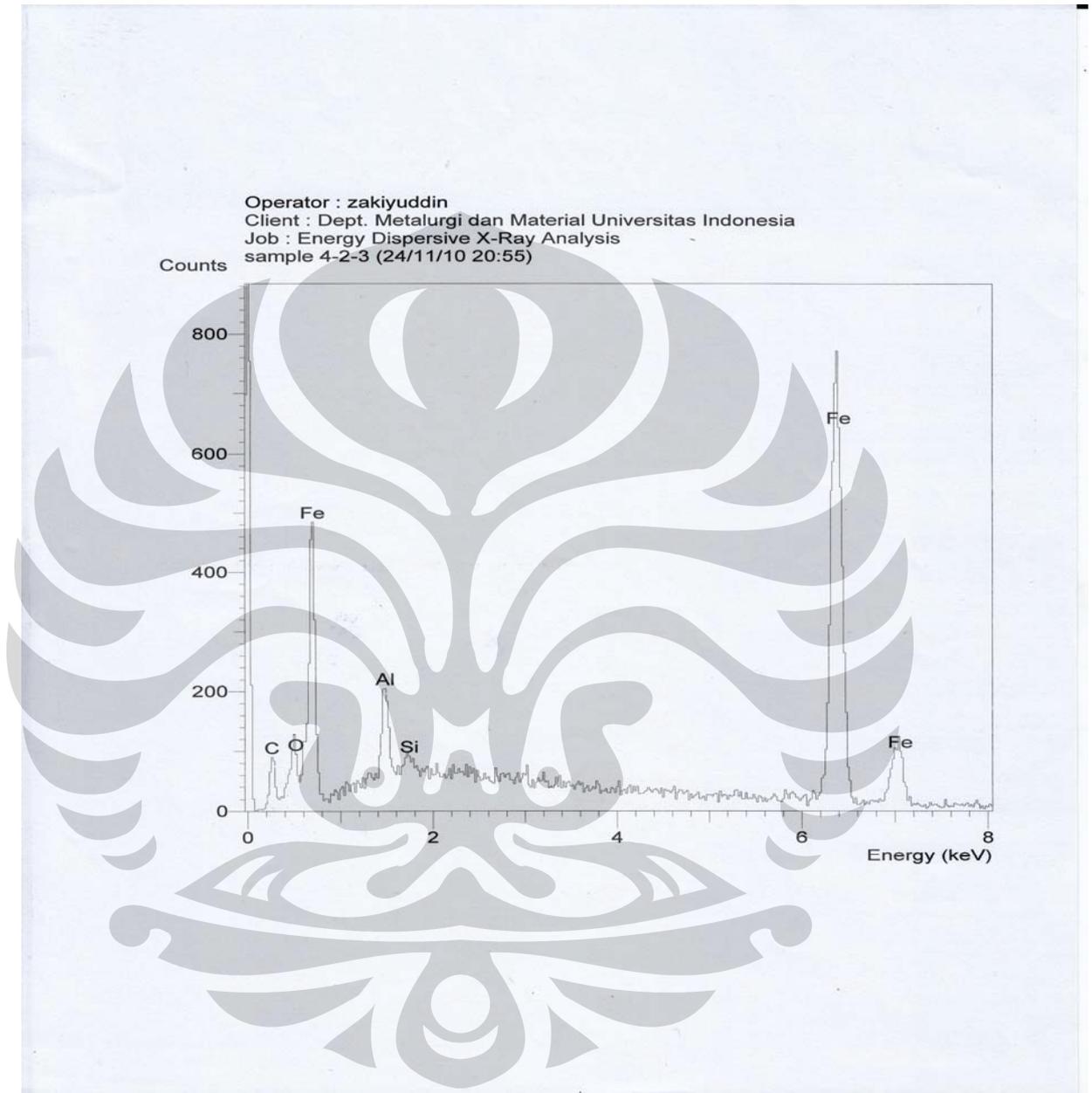
Quantitative method: ZAF ( 3 iterations).  
Analysed all elements and normalised results.

Standards :

C K	Carbon Low	13/09/06
O K	AL203	17/11/09
Al K	AL203	17/11/09
Si K	Low Carbon Steel	13/09/06
Fe K	FeS2	22/03/06

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	1.26	3.46
O K	ED	0.86	1.77
Al K	ED	49.74	60.69
Si K	ED	9.78	11.46
Fe K	ED	38.36	22.61
Total		100.00	100.00

\* = <2 Sigma

**Lampiran 5. Hasil EDAX titik 3**

SEMQuant results. Listed at 21:01:33 on 24/11/10  
Operator: zakiyuddin  
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia  
Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis  
Spectrum label: sample 4-2-3

System resolution = 60 eV

Quantitative method: ZAF ( 2 iterations).  
Analysed all elements and normalised results.

Standards :

C K Carbon Low 13/09/06  
O K AL2O3 17/11/09  
Al K AL2O3 17/11/09  
Si K Low Carbon Steel 13/09/06  
Fe K FeS2 22/03/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	0.24	1.08
O K	ED	1.02	3.39
Al K	ED	1.83	3.59
Si K	ED	0.23	0.43
Fe K	ED	96.67	91.51
Total		100.00	100.00

\* = <2 Sigma