



UNIVERSITAS INDONESIA

**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**

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

**TRI SUTRISNO  
0606075315**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL**

**DEPOK  
JULI 2010**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

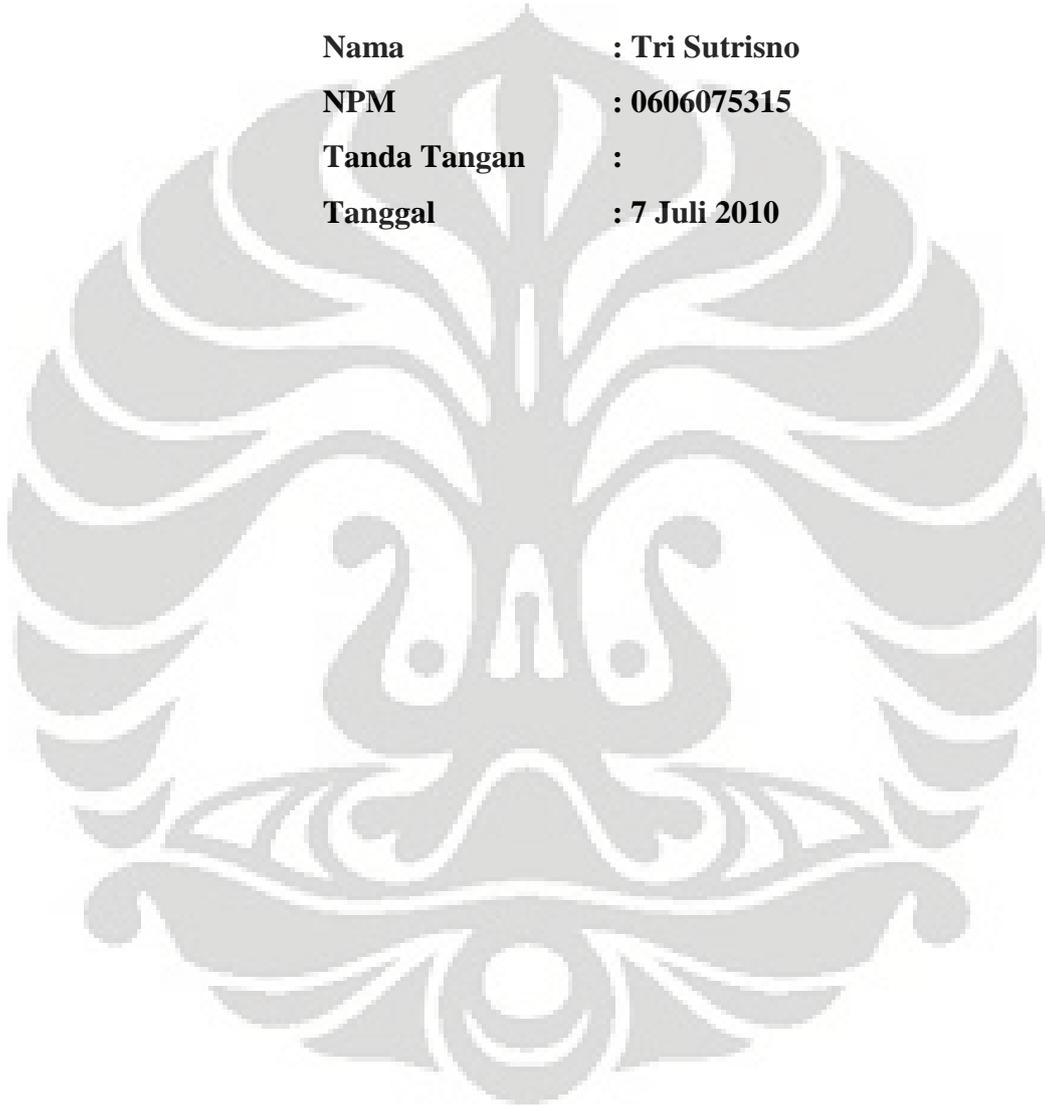
**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan  
semua sumber baik yang dikutip maupun  
dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : Tri Sutrisno**

**NPM : 0606075315**

**Tanda Tangan :**

**Tanggal : 7 Juli 2010**



## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Tri Sutrisno  
NPM : 0606075315  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul Skripsi : Pengaruh Tembaga dan Proses Canai Dingin Terhadap Kondisi Antarmuka Komposit Matriks Aluminium Berpenguat Kawat Tali Baja dengan Metode *Squeeze Casting* Untuk Aplikasi Material *Armor*

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr.Ing. Ir. Bambang Suharno. ( )  
Penguji 1 : Dwi Marta Nurjaya, S.T, M.T. ( )  
Penguji 2 : Ir. Dwi Rahmalina, M.T. ( )

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 7 Juli 2010

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena hanya atas rahmat dan karunia-Nyalah saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Metalurgi & Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Skripsi ini saya persembahkan kepada kedua orangtua, Djiman dan Siti Djuwaidah serta keluarga saya atas do'a, kasih sayang serta dukungannya terhadap saya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Selain itu, saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada.

1. Prof.Dr.Ing.Ir. Bambang Suharno, selaku dosen pembimbing dan Kepala Departemen Metalurgi dan Material yang membimbing dan arahan dalam penyusunan skripsi ini.
2. Ibu Dwi Rahmalina selaku pembimbing yang telah bekerja sama membantu dalam menyelesaikan penelitian ini.
3. Orang Tua serta keluarga penulis yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral.
4. Teman-teman satu tim penelitian ini Indra Kusuma, Rachmat Ferdian dan Ricky Pradipta yang telah bekerja keras bersama saling membantu.
5. Seluruh teman di Teknik Metalurgi dan Material 2006, selalu memberikan semangat Tangguh , Peduli, Solid.
6. Seluruh Karyawan Departemen Metalurgi dan Material.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu

Depok, Juli 2010

Penulis

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

---

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

Nama : Tri Sutrisno  
NPM : 0606075315  
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 Tembaga dan Proses Canai Dingin Terhadap Kondisi  
Antarmuka Komposit Matriks Aluminium Berpenguat Kawat  
Tali Baja dengan Metode *Squeeze Casting* Untuk Aplikasi  
Material Armor**

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

Dibuat di : Depok  
Pada Tanggal : 7 Juli 2010

Yang menyatakan

(Tri Sutrisno)  
**ABSTRAK**

Nama : Tri Sutrisno  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul : Pengaruh Tembaga dan Proses Canai Dingin Terhadap Kondisi Antarmuka Komposit Matriks Aluminium Berpenguat Kawat Tali Baja dengan Metode *Squeeze Casting* Untuk Aplikasi Material *Armor*

Aluminium dapat dijadikan sebagai matriks pada suatu komposit sehingga sifat mekanisnya meningkat. Komposit aluminium matriks berpenguat kawat tali baja karbon tinggi diharapkan dapat meningkatkan kekuatan komposit untuk aplikasi armor. Penambahan Cu dan proses canai dingin diharapkan dapat meningkatkan kekerasan material dan diharapkan mempengaruhi sifat antarmukanya.

Penelitian ini membuat material komposit matriks Aluminium (Al-7Si) dengan penguat kawat tali baja dengan metode *Squeeze casting*. Cetakan yang digunakan didalamnya disusun kawat berdiameter 1 mm dengan jarak antar kawat 2-3 mm dalam arah yang sama dan dilakukan preheating hingga 350 °C. Matriks aluminium dalam bentuk Al-7Si dilebur dan dilakukan variasi penambahan 1,92%; 2,14%; and 3,75% Cu. Kemudian dituang ke dalam cetakan pada temperatur 850 °C dan dilanjutkan proses *squeeze* dengan pemberian tekanan sebesar 10 barr. Setiap sampel dengan variasi komposisi dibagi menjadi dua, salah satu bagian dilakukan proses canai dingin dengan reduksi sebesar 10 %. Semua sampel dilakukan pengamatan pada daerah antarmuka dengan menggunakan mikroskop optik dan dilakukan pengujian kekerasan untuk melihat pengaruh penambahan Cu dan proses canai dingin terhadap sifat antarmuka dan kekerasannya. Juga mengamati pengaruh jarak antar kawat terhadap sifat antarmuka.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sifat antarmuka komposit menjadi buruk seiring penambahan unsur Cu ke dalam matriks paduan aluminium. berdasarkan pengamatan fotomikro, dimana keberadaan void disekeliling kawat bertambah seiring penambahan Cu. Pengaruh dari proses canai dingin terhadap kekerasan, menaikkan kekerasan dibanding dengan sampel tanpa dilakukan proses canai. Pengaruh proses canai dingin memperkecil daerah void dan porositas terhadap sifat antarmuka. Jarak antar kawat yang masih memungkinkan terjadinya void didapat sebesar 0,5 mm.

Kata kunci:

*Squeeze casting*, canai dingin, antarmuka, paduan Cu, komposit matriks aluminium penguat kawat tali baja karbon tinggi, *armor* material

## ABSTRACT

Nama : Tri Sutrisno  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul : The Effect of Copper and cold roll process to the interface of composites aluminium matrix reinforced steel wires by Squeeze casting method for armor application.

Aluminium that used as matrix of composites, has improve its mechanical properties. Aluminium matrix composites with reinforced high carbon steel wires so the composites will have strength properties for armor application. The addition of Cu and cold roll process can effect to increase hardness and also effect the interface condition of the composites.

In the experiment, fabrication composites aluminium matrix with reinforced steel wires by Squeeze casting. Mould used the 1 mm diameter high carbon steel wires and the distance between wires is 2-3 mm that arranged in unidirectional and dies is being preheat to 350 °C. Matrix Al-7Si is being melted and add with 1,92%; 2,14%; and 3,75% Cu before pouring at 850 °C. After the melting aluminium has been poured to the dies, give directly 10 barr pressure. Each specimens with the variation of Cu alloying is cut into two pieces, with one of the pieces is process by 10 % reduction cold roll. All specimens is observed using the optical microcope and tested with Rockwell hardness Tester to see the hardness oof specimens. Also, to observed the effect of distance between wires to the interface condition.

The result of this experiment shows that the interface of composite become poor as well as the increasing of percent Cu. It is based on the observation of the interface area photograph using by optical microscope, that the void presents which become the indication of bad interface condition, more voids for the increasing percent Cu. Cold roll process has increased the hardness of composite. Compare to the specimen without cold rolled, the specimen with cold rolled has average higher hardness. Also, The effect of cold roll seem less voids area and porosity. The distance between wires which could produce void that can be observed from this experiment is 0,5 mm.

Keywords:

Squeeze casting, rolling, interface, alloying Cu, aluminium matrix composites with reinforced high carbon steel wires, armor material.

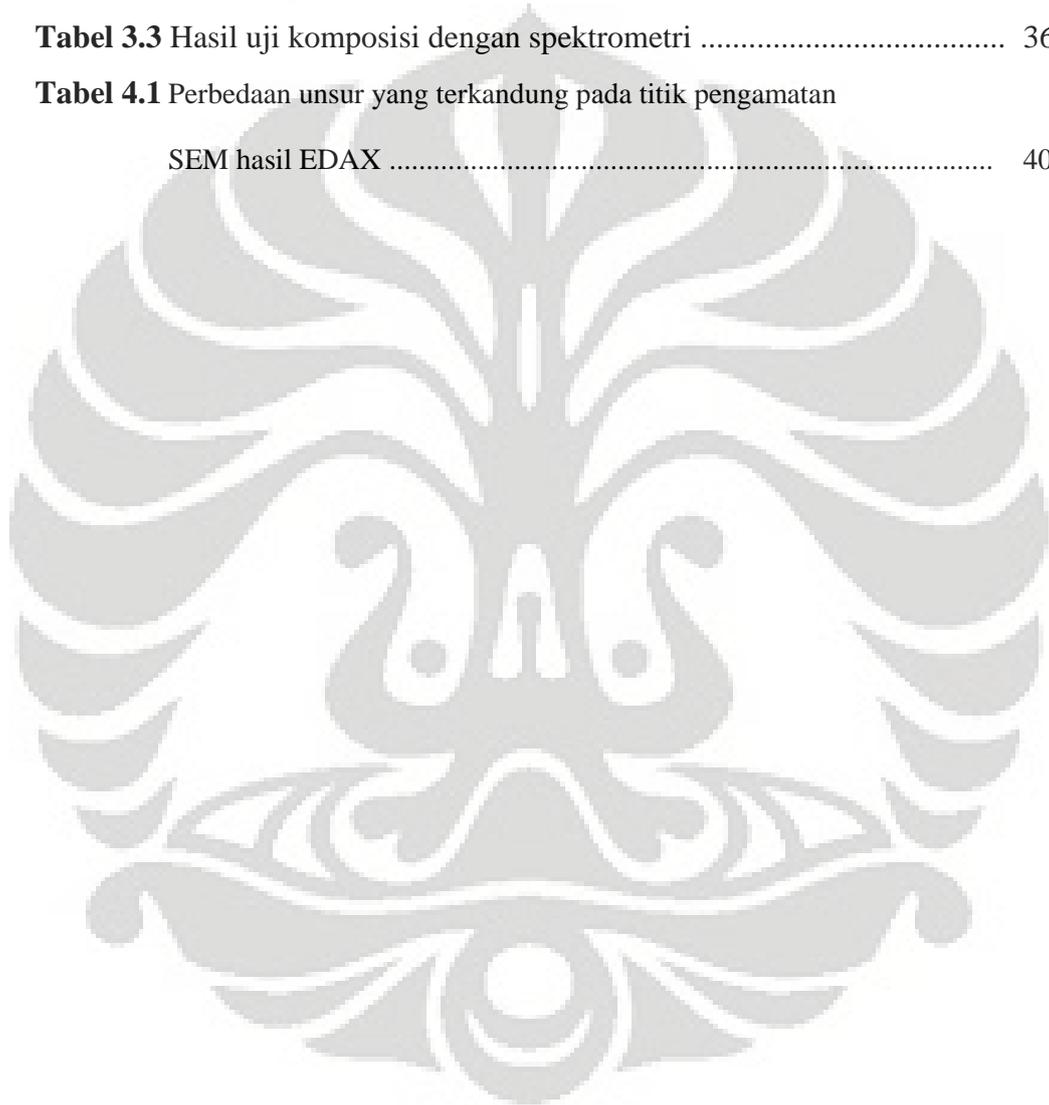
## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	v
ABSTRAK .....	vi
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
<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>	<b>5</b>
2.1 Aluminium .....	5
2.2 Paduan Aluminium .....	6
2.2.1 Karakteristik Paduan Aluminium Tuang.....	6
2.2.2 Tata Nama Paduan Aluminium Tuang .....	6
2.3 Paduan Aluminium Silikon .....	8
2.4 Al-7Si .....	11
2.4.1 Pengaruh Unsur dalam Paduan Aluminium Tuang .....	11
2.5 Pengaruh Struktur Mikro Terhadap Sifat Mekanis .....	11
2.5.1 Fase Intermetalik .....	12
2.6 Komposit .....	13
2.6.1 Komposit Matriks Logam .....	15
2.6.2 Komposit Paduan Aluminium Berpenguat Kawat baja karbon tinggi .....	16
2.6.3 Interface pada Komposit .....	17
2.6.4 Pengaruh Jarak Kawat terhadap Kondisi Antarmuka .....	20
2.7 <i>Squeeze casting</i> .....	20
2.7.1 Klasifikasi <i>Squeeze casting</i> .....	21

2.7.2 Parameter proses pengecoran <i>squeeze</i> .....	23
2.7.3 Kontrol kualitas pengecoran <i>Squeeze</i> .....	25
2.8 Canai .....	26
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>29</b>
3.1 Diagram alir penelitian .....	29
3.2 Peralatan dan Bahan .....	31
3.2.1 Peralatan .....	31
3.2.2 Bahan .....	31
3.3 Proses Pembuatan sampel .....	31
3.3.1 Data Pengecoran .....	32
3.3.2 Persiapan Cetakan .....	33
3.3.3 Prose Pengecoran .....	34
3.3.4 Proses preparasi sampel .....	35
3.4 Tahap pengujian .....	36
3.4.1 Pengujian kadar sampel .....	36
3.4.2 Pengamatan struktur mikro .....	36
3.4.3 Pengujian kekerasan .....	36
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>37</b>
4.1 Analisis Daerah Antarmuka dan Porositas dengan Variasi Komposisi Tembaga .....	37
4.2 Analisis Daerah Antarmuka dengan Variasi Jarak Antar Kawat .....	40
4.3 Analisis Kekerasan Makro Material Bulk dengan Variasi Perlakuan Canai Dingin .....	42
4.4 Analisis Daerah Antarmuka dengan Variasi Perlakuan Canai Dingin .....	45
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>48</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>50</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>52</b>

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Sifat-sifat fisik aluminium dalam keadaan murni.....	5
<b>Tabel 2.2</b> Klasifikasi aluminium paduan sesuai standar AA .....	7
<b>Tabel 3.1</b> Data Pengecoran .....	32
<b>Tabel 3.3</b> Hasil uji komposisi dengan spektrometri .....	36
<b>Tabel 4.1</b> Perbedaan unsur yang terkandung pada titik pengamatan SEM hasil EDAX .....	40



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Diagram fasa paduan aluminium silikon (Al-Si) .....	9
<b>Gambar 2.2</b>	Mikrostruktur Aluminium-Silikon; (a) komposisi hipoeutektik, 150 X; (b) komposisi eutektik, 400X; dan (c) komposisi hipereutektik, 150X .....	9
<b>Gambar 2.3</b>	Fasa Intermetalik pada paduan aluminium .....	13
<b>Gambar 2.4</b>	Pembagian komposit berdasarkan jenis penguat .....	14
<b>Gambar 2.5</b>	Klasifikasi MMC Berdasarkan Bentuk Penguat .....	15
<b>Gambar 2.6</b>	Skematis pemberian beban tarik dengan arah longitudinal pada material komposit matriks aluminium berpenguat kawat baja karbon tinggi .....	17
<b>Gambar 2.7</b>	<i>Mechanical Bonding</i> .....	18
<b>Gambar 2.8</b>	<i>Electrostatic Bonding</i> .....	18
<b>Gambar 2.9</b>	<i>Chemical Bonding</i> .....	18
<b>Gambar 2.10</b>	Gaya yang dihasilkan pada peristiwa <i>wetting</i> .....	19
<b>Gambar 2.11</b>	Gaya yang dihasilkan pada peristiwa <i>wetting</i> .....	20
<b>Gambar 2.12</b>	Pengaruh jarak kawat stainless steel terhadap kondisi antarmuka .....	20
<b>Gambar 2.13</b>	Mekanisme <i>direct squeeze casting</i> .....	21
<b>Gambar 2.14</b>	Mekanisme <i>Indirect Squeeze Casting</i> .....	23
<b>Gambar 2.15</b>	Mekanisme proses canai .....	27
<b>Gambar 3.1</b>	Flowchart Penelitian .....	30
<b>Gambar 3.2.</b>	Model part cetakan yang digunakan dengan plunger .....	33
<b>Gambar 3.3</b>	Susunan kawat dengan arah <i>unidirectional</i> dalam pelat komposit matriks aluminium .....	33
<b>Gambar 3.4</b>	Proses peleburan dengan dapur krusibel .....	34
<b>Gambar 3.5</b>	Sampel dari proses squeeze casting .....	34
<b>Gambar 3.6</b>	Sampel yang telah dikeluarkan dari cetakan .....	35
<b>Gambar 3.7</b>	Sampel dipotong menjadi ukuran 20 x 30 mm.....	35
<b>Gambar 3.8</b>	Mesin pengerolan (ONO ROLL <sup>TM</sup> ).....	35
<b>Gambar 4.1</b>	Fotomikro dari satu kawat pada komposisi (a) 1,92% Cu; (b) 2,14% Cu; (c) 3,75% Cu (perbesaran 50X).....	38
<b>Gambar 4.2</b>	Struktur mikro sampel dengan penambahan 1,92% Cu (a) perbesaran 50x, (b) 200x, (c) 500x, (d)1000x .....	39
<b>Gambar 4.3</b>	Struktur mikro sampel 1,92% Cu (SEM) .....	39
<b>Gambar 4.4</b>	Struktur mikro dari satu kawat (>1mm) dan kawat yang berdekatan (a) 1,92% Cu; (b) 2,14% Cu; (c) 3,75% Cu (perbesaran 50X) .....	41
<b>Gambar 4.5</b>	Nilai kekerasan Al-7Si dengan pengaruh penambahan %Cu tanpa kawat .....	42
<b>Gambar 4.6</b>	Nilai kekerasan sebelum dicanai .....	43
<b>Gambar 4.7</b>	Nilai kekerasan setelah dicanai .....	43
<b>Gambar 4.8</b>	Perbandingan kekerasan sebelum dan setelah canai dingin...	44
<b>Gambar 4.9</b>	Peningkatan Kekerasan Setelah Canai .....	44

<b>Gambar 4.10</b> Perbandingan void antarmuka sebelum (A) dan sesudah (B) canai dingin. (perbesaran 100x).....	45
<b>Gambar 4.11</b> Struktur mikro sampel Cu 3,75% yang telah di canai 10% CW .....	46
<b>Gambar 4.12</b> Struktur mikro sampel Cu 1,92% setelah di canai reduksi 10% CW .....	47



## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1.</b> Hasil pengujian komposisi Spektro.....	52
<b>Lampiran 2.</b> Hasil SEM .....	53
<b>Lampiran 3.</b> Foto Struktur mikro .....	58



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 LATAR BELAKANG PENELITIAN

Dalam perkembangannya, material armor harus mempunyai ketahanan impak balistik, mulai dari material logam seperti baja armor, paduan aluminium armor, dan titanium armor. Sedangkan untuk material selain logam seperti keramik, polimer dan komposit merupakan material yang telah banyak dikembangkan.

Penggunaan material Aluminium pada aplikasi *Armor* material (bidang persenjataan/pertahanan) saat ini minatnya tinggi. Hal ini dikarenakan Aluminium merupakan material yang ringan dan karakteristiknya dapat diubah sesuai keinginan, serta material tersebut didapat dengan harga yang ekonomis dibandingkan dengan material yang baru menggunakan teknologi modern<sup>[1]</sup>.

Beban balistik merupakan pembebanan pada material dengan laju regangan yang sangat tinggi. Karakteristik ini dapat dipenuhi oleh sifat ketangguhan yang baik dan kekerasan yang tinggi. Beban balistik diperlukan sebagai penahan energi kinetik dari proyektil pada aplikasi uji impak balistik sehingga proyektil tersebut dapat terperangkap dan tidak menembus. Ketahanan material logam terhadap beban balistik bergantung pada beberapa parameter<sup>[2]</sup>.

Parameter tersebut antara lain :

1. Parameter proyektil (ukuran, bentuk, masa jenis dan kekerasan),
2. Parameter impak (kecepatan dan sudut) dan
3. Parameter target (kekerasan/kekuatan, keuletan, struktur mikro dan ketebalan).

Selain kekerasan, performansi balistik dapat ditingkatkan dengan menambah ketebalan pelat. Namun pilihan untuk menambah ketebalan pelat mengakibatkan penambahan berat pelat yang digunakan. Pada aplikasinya penambahan berat tersebut berakibat pada ketidakekonomisan penggunaan pelat.

Untuk memperoleh ketahanan terhadap impak balistik dengan mempertimbangkan berat material, maka perlu dilakukan penelitian terhadap

material komposit matriks aluminium berpenguat kawat tali baja karbon tinggi. Hal ini diperlukan untuk tercapainya material yang ringan dari aluminiumnya dan mempunyai kekuatan serta ketahanan balistik dari *wire rope* atau kawat tali baja karbon tinggi.

*Interface* atau antarmuka antara matriks dan penguat dalam pembuatan komposit sangat mempengaruhi sifat akhir dari komposit yang terbentuk, baik sifat fisik maupun mekanik. Interface adalah suatu fasa atau media yang terdapat pada komposit yang berfungsi untuk mentransfer beban dari penguat-matriks-penguat. Sehingga dengan pengaruh interface antara kawat dengan matrik aluminium yang baik diharapkan dapat meningkatkan kekuatan dari komposit ini<sup>[3]</sup>.

Agar mendapatkan hasil yang maksimal terjadi penyatuan dan ikatan antarmuka antara kawat dengan base aluminium, diperlukan proses casting. Proses casting yang dipilih menggunakan *squeeze casting*. Diharapkan dengan metode casting ini dapat mencapai hasil yang diharapkan, yaitu penyatuan yang sempurna (*wetting*) antara kawat baja dan base aluminium<sup>[4]</sup>. Adapun penambahan tembaga (Cu) bertujuan menambah kekuatannya<sup>[5]</sup>.

## 1.2 TUJUAN PENELITIAN

1. Mempelajari pengaruh Cu terhadap struktur mikro antarmuka antara kawat baja dengan matriks aluminium pada material komposit matriks aluminium berpenguat kawat tali baja karbon tinggi.
2. Mengamati pengaruh Cu terhadap kekosongan yang terbentuk di sekitar antarmuka antara kawat baja dengan matriks aluminium pada material komposit matriks aluminium berpenguat kawat tali baja karbon tinggi.
3. Mengamati pengaruh Cu terhadap kekosongan yang terbentuk di sekitar antarmuka antara kawat baja dengan matriks aluminium pada material komposit matriks aluminium berpenguat kawat tali baja karbon tinggi setelah dilakukan pengerolan pengerjaan dingin dengan reduksi 10% CW.

4. Mengamati pengaruh Cu terhadap kekerasan pada material komposit matriks aluminium berpenguat kawat tali baja karbon tinggi setelah dilakukan pengerolan pengerjaan dingin dengan reduksi 10% CW.
5. Memberikan gambaran terhadap penelitian selanjutnya yang akan mengarah pada pengaplikasian komposit aluminium berpenguat kawat tali baja karbon tinggi di bidang material armor (impak balistik/material tahan peluru).

### 1.3 BATASAN PENELITIAN

1. Bahan baku penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut:
  - a. Material paduan aluminium silikon (AlSi7%), sebagai matriks.
  - b. Material kawat tali baja (*wire rope*) karbon tinggi berdiameter 1 mm sebagai penguat.
  - c. Material Cu sebagai unsur paduan tambahan pada matriks AlSi7%.
2. Proses pembuatan material komposit adalah sebagai berikut:
  - a. Kawat baja karbon tinggi disusun secara *unidirectional* dengan dua variasi jarak antar kawat, 2 mm dan 3 mm, masing-masing kawat disusun dengan 3 baris dan 3 kolom.
  - b. Pengecoran matriks aluminium dilakukan dengan pengecoran *squeeze* dengan besar tekanan yang diberikan sebesar 10 barr, pada saat fasa semisolid temperatur 590-610 °C. Peleburan dilakukan di dapur krusibel yang terdapat pada Laboratorium Metalurgi Proses, Departemen Metalurgi dan Material FTUI.
  - c. Variasi penambahan tembaga (Cu) sebesar 1,92%; 2,14% dan 3,75%.
3. Material komposit yang telah dibuat dilakukan proses canai dingin dengan mereduksi ketebalan 10% CW (*Cold Working*).
4. Pengujian yang dilakukan, yaitu:
  - a. Kekerasan
  - b. Komposisi dengan alat Spektrometri
  - c. Pengamatan struktur mikro dengan menggunakan mikroskop optik dan SEM.

## 1.4 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan ini disusun agar konsep dan kerangka alur pemikiran dalam penulisan skripsi dapat dipahami dengan mudah, sistematis dan praktis. Sistematika tersebut dapat diuraikan dalam bentuk bab-bab yang saling berkaitan satu sama lain. Bab-bab tersebut diantaranya sebagai berikut:

### **Bab I Pendahuluan**

Membahas tentang latar belakang penelitian, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian dan sistematika penulisan.

### **Bab II Landasan Teori**

Membahas tentang dasar teori penunjang tentang material aluminium serta pengaruh pemuadannya dengan silikon dan tembaga juga membahas tentang material komposit, pengertiannya dan sifat kemampubasahannya. Dibahas juga proses pembuatannya dengan metode pengecoran *squeeze* dan pengaruh proses canai.

### **Bab III Metodologi Penelitian**

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

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

Berisi tentang data yang didapat dari hasil pengujian yang telah dilakukan baik berupa angka, gambar maupun grafik dan membahas tentang analisa dari hasil pengujian tersebut serta membandingkannya dengan dasar teori.

### **Bab V Penutup**

Berisi tentang kesimpulan dan saran dari penelitian yang telah dilakukan.

## BAB II LANDASAN TEORI

### 2.1 ALUMINIUM

Aluminium sangat berperan penting dalam berbagai aplikasi karena memiliki sifat-sifat menarik yang beraneka ragam. Sifat-sifat tersebut membuat aluminium menjadi logam yang sangat sesuai dan ekonomis. Aluminium memiliki kelebihan-kelebihan diantara logam lainnya, diantaranya :

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 pengubahan bentuk.

Berikut ini beberapa sifat dan karakteristik aluminium murni.

**Tabel 2.1** Sifat-sifat fisik aluminium dalam keadaan murni. <sup>[6]</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 PADUAN ALUMINIUM TUANG

### 2.2.1 Karakteristik paduan Aluminium Tuang

Sifat mekanik, fisik, dan kimia dari paduan aluminium sangat tergantung dari komposisi dan mikrostruktur yang dimiliki. Penambahan sejumlah unsur paduan terhadap aluminium murni secara umum dapat meningkatkan sifat dan kegunaannya. Oleh karena itu, penggunaan satu atau bahkan lebih unsur paduan, adalah hal yang umum pada aplikasi dari aluminium<sup>[7]</sup>. Aluminium tuang paduan dibandingkan dengan kebanyakan logam lainnya memiliki temperatur yang relatif rendah (sekitar 650 °C). pada dasarnya, banyak unsur yang dapat dipadukan dengan aluminium, dengan kelarutan yang berbeda pula. Adapun sifat-sifat yang dimiliki aluminium sebagai aluminium tuang<sup>[8]</sup>, yaitu :

1. Fluiditas yang baik, sehingga mampu mengisi rongga-rongga cetakan yang tipis.
2. Temperatur lebur dan temperatur tuang yang relatif lebih rendah dibandingkan logam lain, dimana titik leburnya sekitar 650-750 °C.
3. Siklus penuangan yang cukup cepat, dikarenakan perpindahan panas dari aluminium cair ke cetakan relatif lebih cepat.
4. Kelarutan gas (dalam hal ini hidrogen) dapat dikendalikan dengan proses yang baik.
5. Cukup banyak jenis paduan aluminium tuang yang relatif bebas dari kecenderungan *hot shortness*.
6. Memiliki stabilitas kimia yang cukup baik.
7. Permukaan *as-cast* baik, berkilat, dan tanpa noda.
8. Ketahanan terhadap kondisi korosif yang baik hampir disetiap kondisi lingkungan, hal ini disebabkan karena hadirnya lapisan pasif film  $Al_2O_3$  pada permukaannya.

### 2.2.2 Tata Nama Paduan Aluminium Tuang

Sistim 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). Sistem pengklasifikasian

mencangkup cara pembuatan serta unsur utama yang menjadi penyusun logam paduan, yang digambarkan dengan 4 digit angka, seperti pada Tabel 2.2.

**Tabel 2. 2** Klasifikasi aluminium paduan sesuai standar AA<sup>[9]</sup>

Seri	Tipe paduan
1XX.X	Aluminium murni ( $\geq 99\%$ )
2XX.X	Aluminium-tembaga (Cu)
3XX.X	Aluminium-Si + Cu dan atau Mg
4XX.X	Aluminium-Silicon (Si)
5XX.X	Aluminium-Magnesium (Mg)
6XX.X	Tidak digunakan
7XX.X	Aluminium-Seng (Zn)
8XX.X	Aluminium-Timah (Sn)
9XX.X	Aluminium+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>[6]</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.

Pada sistem pengklasifikasian aluminium paduan, *ingot* versi XXX.1 dapat digunakan sebagai *secondary product* (dilebur kembali dari *scrap*), sedangkan *ingot* versi XXX.2 dibuat dari *primary* aluminium. Beberapa nama aluminium paduan juga ada yang diklasifikasikan menggunakan huruf. Setiap huruf yang diikuti oleh angka menjadi pembeda antara paduan dalam hal persentase pengotor atau elemen yang jumlahnya minor.

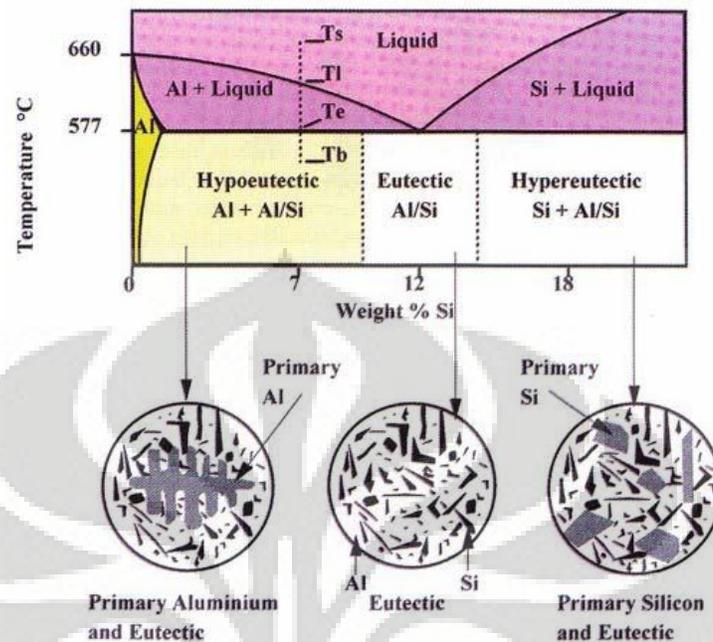
Berdasarkan *Aluminium Association Casting Temper Designation System* (Ref.1), aluminium diklasifikasikan berdasarkan proses perlakuan panas yang dilakukan terhadapnya<sup>[6]</sup>. Adapun sistem pengklasifikasian aluminium berdasarkan perlakuan panas, yaitu:

- 1) Orde F, *as – cast* (digunakan dalam proses pengecoran)
- 2) Orde O, *annealed*
- 3) T4, *solution treated and aged*
- 4) T5, *precipitation hardened*
- 5) T6, *solution heat treated, quenched, and precipitation hardened*
- 6) T7, *solution heat treated, quenched, and overaged*

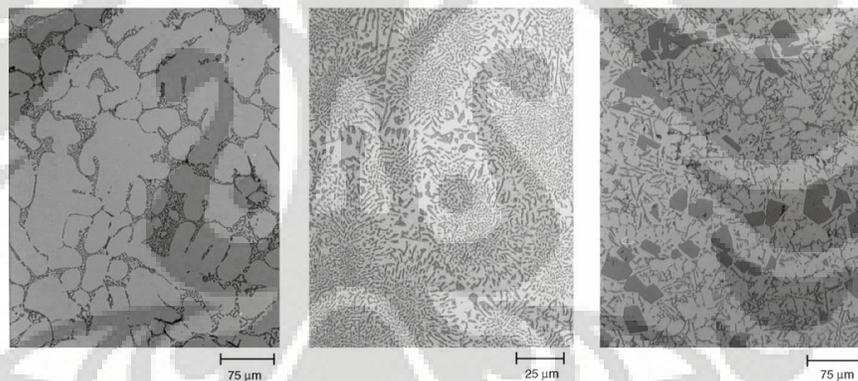
### 2.3 PADUAN ALUMINIUM SILIKON

Aluminium silikon merupakan paduan yang lebih banyak digunakan bila dibandingkan dengan jenis lain dari aluminium paduan. Pengaplikasian aluminium silikon pada saat ini tidak hanya terbatas pada proses manufaktur otomotif saja, tetapi telah berkembang pada industri perkakas, penerbangan, produk olahraga, hingga industri pertahanan. Hal ini disebabkan oleh sifat yang dihadirkan oleh aluminium silikon, baik selama proses pembuatan maupun produk yang dihasilkan nantinya.

Paduan aluminium silikon termasuk pada aluminium paduan berseri 3XX.X berdasarkan standar *Aluminium Association* (AA). Kombinasi antara aluminium dengan silikon pada suatu paduan memiliki beberapa keunggulan, diantaranya mempunyai kemampuan alir yang sangat baik, sifat mampu bentuk dan ketahanan korosi yang baik, serta memiliki koefisien ekspansi termal yang rendah<sup>[9]</sup>.



**Gambar 2. 1** Diagram fasa paduan aluminium silikon (Al-Si)<sup>[10]</sup>.



**Gambar 2.2** Mikrostruktur Aluminium-Silikon; (a) komposisi hipoeutektik, 150 X; (b) komposisi eutektik, 400X; dan (c) komposisi hipereutektik, 150X<sup>[7]</sup>

Berdasarkan kandungan silikon yang ada dalam paduannya, maka paduan aluminium silikon dibagi menjadi tiga daerah utama, hal ini dapat terlihat pada Gambar 2.1. Adapun pembagiannya, yaitu:

#### 1) 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.

### 2) 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.

### 3) 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 pemesinannya.

Bentuk struktur mikro dari ketiga bagian ini terlihat pada Gambar 2.2. Ketiga komposisi ini memiliki struktur utama berupa fasa  $\alpha$ -Al yang sangat kaya akan aluminium. Struktur ini akan tetap muncul meskipun pada kondisi hipereutektik, karena bentuk struktur ini akan selalu terpisah dari fasa padatnya, baik dalam kondisi hipoeutektik, eutektik dan hipereutektik. Selain fasa  $\alpha$ -Al, terdapat juga fasa yang merupakan partikel-partikel kristal silikon yang tidak terlarut dalam fasa  $\alpha$ -Al.

## 2.4 AL-7SI

### 2.4.1 Pengaruh Unsur Dalam Paduan Aluminium Tuang

Penambahan unsur pada aluminium bertujuan untuk peningkatan sifat dari coran aluminium, baik selama proses pengecoran maupun terhadap produk akhir yang dihasilkan.

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

Silikon merupakan unsur paduan yang paling sering digunakan dalam pengecoran aluminium guna meningkatkan karakteristik logam coran. Silikon dalam paduan aluminium-silikon berdampak pada peningkatan mampu alir, meningkatkan ketahanan terhadap retak panas pada hasil coran, serta menurunkan *specific gravity* dan koefisien muai panas<sup>[6]</sup>. Pada Al 7Si kandungan silikon sekitar 7-10 %, keberadaan silikon ini menyebabkan terbentuknya fasa eutektik pada temperatur ruang.

#### **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>[6]</sup>.

## 2.5 PENGARUH STRUKTUR MIKRO TERHADAP SIFAT MEKANIS

Struktur mikro yang terbentuk pada aluminium paduan sangat memegang peranan dalam menentukan sifat-sifat dari material baik selama pemrosesan maupun hasil akhir yang dihasilkan. Struktur mikro dari paduan aluminium dipengaruhi oleh komposisi, kecepatan pembekuan, serta perlakuan panas. Komponen dari struktur mikro yang dapat mempengaruhi sifat mekanis pada aluminium tuang adalah fasa intermetalik; ukuran, bentuk, dan distribusi.<sup>[6]</sup>

### 2.5.1 Fasa Intermetalik

Fasa intermetalik merupakan fasa kedua yang mengendap pada struktur mikro paduan aluminium, fasa ini terbentuk akibat dari komposisi kimia yang melebihi batas kelarutannya. Keberadaan fasa intermetalik sangat dipengaruhi oleh komposisi dan mekanisme pembekuan yang terjadi. Dengan berpegang terhadap komposisi kimia yang akan hadir menyebabkan dalam prosesnya sangat bergantung kepada perhitungan stokiometri agar keberadaan fasa ini dapat terkontrol dengan baik.

Keberadaan fasa intermetalik akan berpengaruh kepada sifat mekanis dari paduan aluminium. Fasa intermetalik bersifat sangat getas yang akan mengurangi keuletan material sehingga berdampak terhadap penurunan kekuatan dari paduan aluminium silikon. 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>[7]</sup>. Pada reaksi solidifikasi paduan Al-Si hipoeutektik dan eutektik terjadi beberapa mekanisme pengendapan fasa, yaitu :

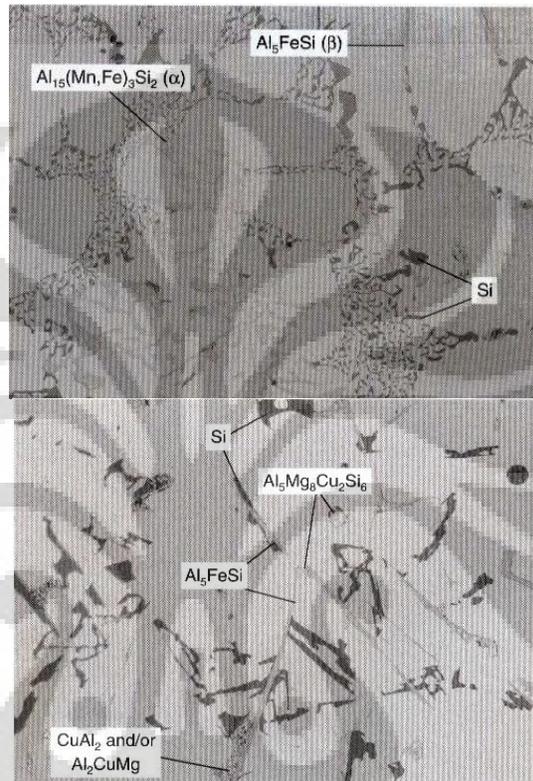
1. Pembentukan jaringan dendritik  $\alpha$ -aluminium.
2. Reaksi eutektik Al-Si.
3. Pengendapan fasa kedua eutektik seperti  $Mg_2Si$  dan  $Al_2Cu$ ,

Fasa yang paling sering muncul pada paduan Al-Si adalah fasa  $Al_5FeSi$  dan  $Al_{15}(Mn,Fe)_3Si_2$ . Keberadaan Fe dan Cu dalam paduan sangat mempengaruhi sifat mekanis dari paduan berdasarkan struktur mikro yang terbentuk. Dimana fasa yang terbentuk oleh unsur Fe berupa fasa  $Al_5FeSi$  yang bersifat getas, yang dapat menyebabkan penurunan keuletan serta unsur Cu yang akan membentuk  $Al_2Cu$ .

Pada tahapan akhir solidifikasi terjadi pengendapan fasa  $Mg_2Si$  dan  $Al_2Cu$ ,<sup>[6]</sup>. Dendrit  $\alpha$ -aluminium lebih mudah bertumbuh dibandingkan kristal silikon dan fasa intermetalik lainnya. Namun, diantara fasa intermetalik terdapat perbedaan kecepatan pertumbuhan, dimana fasa  $Al_{15}(Mn,Fe)_3Si_2$  lebih mudah bertumbuh dibandingkan fasa  $Al_5FeSi$  sehingga fasa ini lebih mendominasi pada saat pembekuan cepat.

Kecepatan pembekuan sangat mempengaruhi ukuran, bentuk, dan distribusi fasa intermetalik. Pembekuan yang lambat menghasilkan fasa intermetalik yang kasar

dan juga terjadi konsentrasi fasa kedua pada batas butir. Pembekuan yang cepat menghasilkan semakin banyak larutan padat dan partikel yang lebih halus terdispersi. Keberadaan fasa intermetalik dalam paduan aluminium dapat terlihat pada Gambar 2.3.

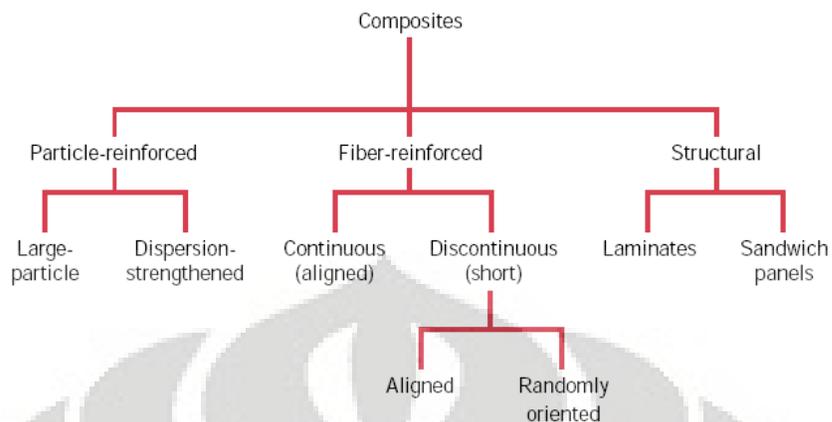


**Gambar 2.3** Fasa Intermetalik pada paduan aluminium<sup>[8]</sup>

## 2.6 KOMPOSIT

Material komposit adalah material yang terdiri dari dua atau lebih fasa yang berbeda baik secara fisika ataupun kimia dan memiliki karakteristik yang lebih unggul dari masing-masing komponen penyusunnya<sup>[11]</sup>.

Komposit tersusun dari dua fasa, satu disebut sebagai matriks, dimana matriks bersifat kontinyu dan mengelilingi fasa yang satunya, yang disebut penguat. 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. Berdasarkan jenis penguatnya, komposit dibagi menjadi 3 macam, yaitu komposit dengan penguat partikel, fiber, dan struktural,



**Gambar 2.4** Pembagian komposit berdasarkan jenis penguat <sup>[12]</sup>

Berdasarkan sifat penguatannya, maka komposit dibagi menjadi dua:

1. **Komposit isotropik**, merupakan komposit yang penguatnya memberikan penguatan yang sama untuk berbagai arah sehingga segala pengaruh tegangan atau regangan dari luar akan mempunyai nilai kekuatan yang sama baik arah transversal maupun longitudinal.
2. **Komposit anisotropik**, merupakan komposit yang penguatnya memberikan penguatan tidak sama terhadap arah yang berbeda, sehingga segala pengaruh tegangan atau regangan dari luar akan mempunyai nilai kekuatan yang tidak sama baik arah transversal maupun longitudinal.

Sedangkan menurut matriks penyusunnya, komposit dapat dibagi menjadi tiga bagian utama yaitu <sup>[13]</sup>:

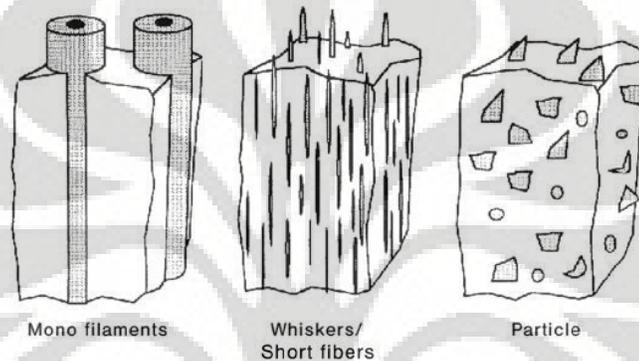
1. Komposit berbasis logam (*Metal Matrix Composite/MMC*)
2. Komposit berbasis polimer (*Polymer Matrix Composite/PMC*)
3. Komposit berbasis keramik (*Ceramic Matrix Composite/CMC*)

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>[14]</sup>.

### 2.6.1 Komposit Matriks Logam

Komposit dengan matriks logam atau metal disebut sebagai *metal-matrix composite* (MMC) atau komposit berbasis logam. Pada MMC, penguat dapat berbentuk partikel, *whiskers* atau serat pendek, dan *mono filaments*, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.5.



**Gambar 2.5** Klasifikasi MMC Berdasarkan Bentuk Penguat <sup>[15]</sup>

Material MMC memiliki beberapa keuntungan yang sangat penting untuk material struktural. Dibandingkan dengan logam monolitik, MMC memiliki sifat-sifat <sup>[15]</sup>:

1. Kombinasi kekuatan & modulus yg baik
2. Berat jenis cenderung lebih rendah
3. Rasio kekerasan dengan berat dan modulus dengan berat lebih baik dari logam.
4. Nilai koefisien muai termalnya lebih rendah dari logam
5. Mempunyai *internal damping* yg tinggi
6. Kekuatan fatik cukup baik
7. Konduktivitas panas dan listrik baik

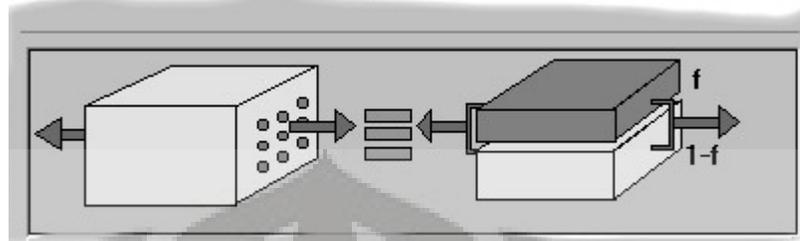
### 2.6.2 Komposit Paduan Aluminium Berpenguat Kawat Baja Karbon Tinggi

Tujuan digunakannya kawat baja karbon tinggi ini adalah untuk meningkatkan nilai kekuatan komposit aluminium, dan juga berperan sebagai penahan energi kinetik dari proyektil pada aplikasi uji impak balistik, dan diharapkan proyektil tersebut dapat terperangkap dan tidak tembus.

Penambahan tali kawat baja karbon tinggi sebagai penguat dalam matriks paduan AlSi ini juga dapat mengakibatkan pembentukan fasa intermetalik Fe-Al-Si. 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>[13]</sup>. Keberadaan fasa intermetalik ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang positif dalam peningkatan nilai kekerasan yang dimiliki material komposit ini.

Pada jenis ini, bahan yang digunakan sebagai penguat 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. Penguat dengan *continous-aligned-fiber* memiliki sifat anisotropik. Kekuatan dan kekakuannya akan lebih baik jika beban searah dengan fiber dibandingkan dengan arah tegak lurus fiber. Dimana ketika diberikan beban tarik dengan arah longitudinal (searah dengan arah penguat), karena matriks dan penguat saling berikatan maka baik matriks maupun penguat akan mengalami beban tarik dengan arah yang sama, dan karena penguat kawat baja karbon tinggi memiliki kekuatan yang lebih besar, kawat akan lebih banyak menerima beban dibanding dengan matriks aluminiumnya, sehingga kekuatan tarik meningkat atau lebih besar

dibandingkan material paduan aluminium yang tidak dilakukan pencampuran secara komposit dengan penguat kawat baja karbon tinggi.



**Gambar 2.6** Skematis pemberian beban tarik dengan arah longitudinal pada material komposit matriks aluminium berpenguat kawat baja karbon tinggi<sup>[16]</sup>

Nilai kekuatan komposit dapat diprediksi dengan menggunakan hukum pencampuran (*rule of mixtures*)<sup>[13]</sup> pada persamaan 2.1 :

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

di mana:

- $E_c$  : kekuatan komposit
- $E_f$  : kekuatan fiber
- $V_f$  : volume fraksi fiber
- $E_m$  : kekuatan matriks
- $V_m$  : volume fraksi matriks ( $V_m = (1 - V_f)$ )

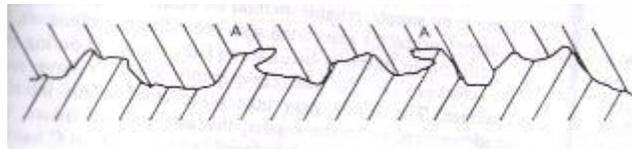
### 2.6.3 Interface Pada Komposit

*Interface* atau antarmuka antara matriks dan penguat dalam pembuatan komposit sangat mempengaruhi sifat akhir dari komposit yang terbentuk, baik sifat fisik maupun mekanik. *Interface* adalah suatu fasa atau media yang terdapat pada komposit yang berfungsi untuk mentransfer beban dari penguat-matriks-penguat. Beberapa jenis ikatan yang dapat terjadi pada *interfacial bonding*:

#### 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

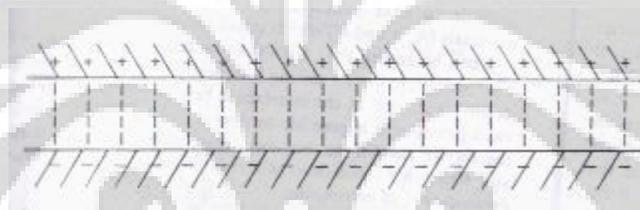
efektif jika beban yang diberikan paralel terhadap *interface*. Gambar di bawah ini merupakan mekanisme dari *mechanical bonding*.



**Gambar 2.7. Mechanical Bonding** <sup>[16]</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.

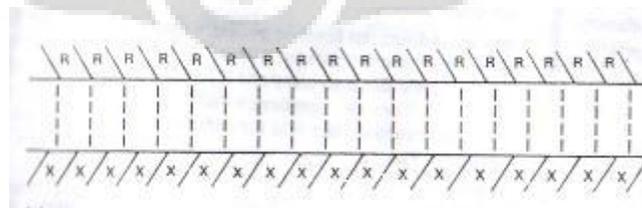


**Gambar 2.8. Electrostatic Bonding** <sup>[16]</sup>

Berdasarkan prinsip *electrical double layer* yang terbentuk dari penggabungan dua material akan menghasilkan gaya tarik-menarik yang memungkinkan material untuk beradhesi dengan baik.

c) *Chemical Bonding*

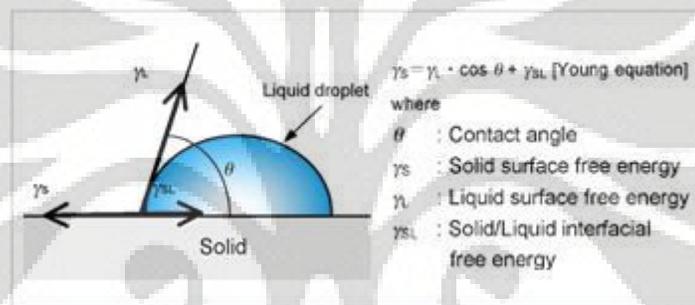
*Chemical bonding* dibentuk oleh grup-grup yang bersifat kimia pada permukaan penguat (X) dan matriks (R). Kekuatan ikatan ditentukan oleh jumlah ikatan kimiawi menurut luas dan tipe ikatan kimia itu sendiri. Ikatan kimia ini terbentuk karena adanya *wetting agent*.



**Gambar 2.9. Chemical Bonding** <sup>[16]</sup>

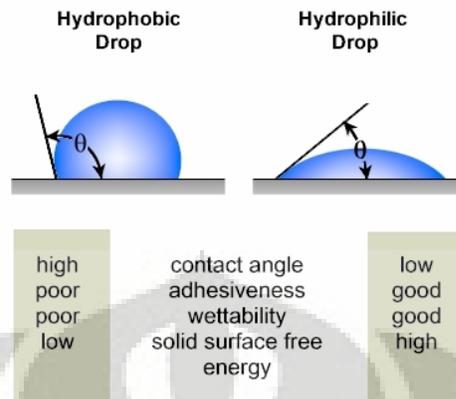
Pembasahan (*wettability*) dihasilkan dari interaksi antarmolekul ketika keduanya terbawa secara bersamaan, sehingga merupakan kontak antara fasa *liquid* dan permukaan fasa *solid*. Derajat pembasahan dijelaskan dengan sudut kontak (*contact angle*), yaitu sudut antarmuka fasa *liquid-vapor* bertemu 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 2.10.** Gaya yang dihasilkan pada peristiwa *wetting* <sup>[17]</sup>

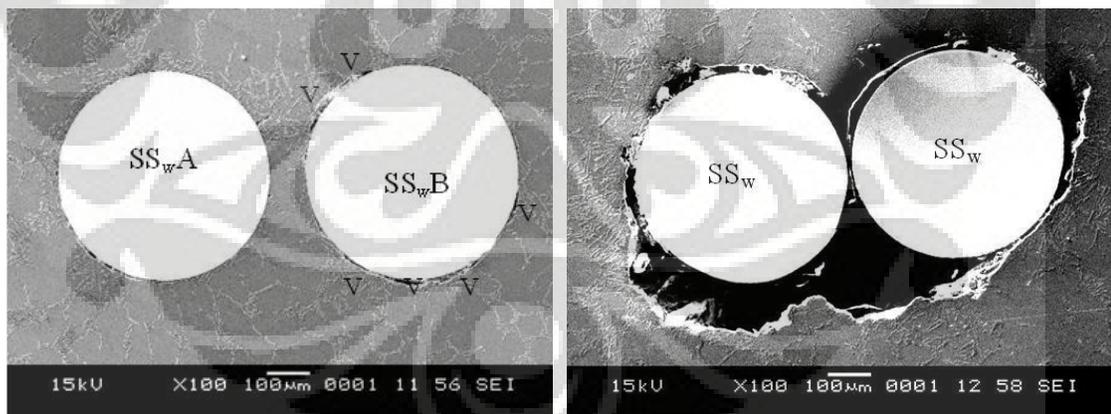
Dari rumus persamaan Young dan dari Gambar di atas, maka nilai sudut kontak ( $\theta$ )  $< 90^\circ$  akan menghasilkan nilai cosinus yang semakin besar (mendekati 1), sehingga nilai tegangan permukaan ( $\gamma$ ) *liquid-vapor* dijumlah dengan nilai tegangan permukaan ( $\gamma$ ) *solid-liquid* akan bernilai sama dengan tegangan *solid-vapour*. Hal ini berarti akan terjadi pembasahan antara permukaan fasa *liquid* dan permukaan fasa *solid* pada sudut kontak ( $\theta$ )  $< 90^\circ$ . Membasahi permukaan dapat diistilahkan dengan *hydrophilic* dan tidak membasahi permukaan dapat diistilahkan dengan *hydrophobic*, seperti diperlihatkan pada Gambar 2.9 di bawah ini.



**Gambar 2.11.** Gaya yang dihasilkan pada peristiwa *wetting* <sup>[18]</sup>

#### 2.6.4 Pengaruh jarak kawat terhadap kondisi antarmuka

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Mohd. Noor Mazlee<sup>[3]</sup>, mengenai komposit aluminium berpenguat kawat stainless steel, dikatakan bahwa antara kawat single mempunyai kondisi antarmuka lebih baik daripada kawat yang jarak yang berdekatan. Semakin dekat jarak kawat semakin buruk kondisi antarmuka. Karena aluminium tidak dapat membasahi kawat dengan sempurna sehingga terbentuk kekosongan (void).



**Gambar 2.12** Pengaruh jarak kawat stainless steel terhadap kondisi antarmuka[3]

### 2.7 SQUEEZE CASTING

Proses Pengecoran (*Casting*) Adalah proses pembentukan (deformasi) 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.

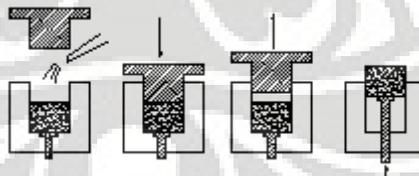
Pengecoran *squeeze*, yang juga dikenal dengan istilah penempaan logam cair, merupakan suatu istilah yang dipakai untuk menggambarkan suatu proses dimana logam cair didinginkan di dalam cetakan tertutup sambil diberi tekanan luar yang biasanya berasal dari tenaga hidrolik. Tekanan yang diberikan serta kontak langsung antara logam cair dengan dinding cetakan akan menyebabkan terjadi perpindahan panas secara cepat yang memungkinkan untuk menghasilkan produk cor dengan porositas rendah serta memiliki ukuran butir yang halus dengan sifat mekanik yang mendekati produk tempa umumnya.

### 2.7.1 Klasifikasi *Squeeze Casting*

Berdasarkan mekanisme pengisian logam cair ke dalam *die*, pengecoran *squeeze* dikategorikan menjadi 2 jenis, yaitu: *direct squeeze casting* dan *indirect squeeze casting*<sup>[19]</sup>.

#### 1. *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. Proses ini dikenal juga dengan sebutan *liquidmetal forging*, *squeeze forming*, *extrusion casting* dan *pressure crystallisation*.



**Gambar 2.13** Mekanisme *direct squeeze casting* <sup>[19]</sup>

Keuntungan utama proses DSC adalah sebagai berikut:

- 1) Mampu menghasilkan produk cor tanpa porositas gas dan penyusutan.
- 2) Tidak memerlukan *gating system*, sehingga tidak terjadi pembuangan material.

- 3) Tidak begitu mempertimbangkan *castability* karena pemberian tekanan dapat mengeliminir kebutuhan akan *high fluidity*, baik untuk coran secara umum maupun paduan kasar.
- 4) Mikro-struktur coran dapat dimanipulasi dengan mudah melalui suatu proses control yang baik, seperti temperatur penuangan dan besarnya tekanan. Untuk mendapatkan sifat coran yang optimum dapat juga ditambahkan bahan inti tertentu, tetapi hal ini biasanya tidak begitu penting.
- 5) Dikarenakan tidak adanya cacat pada proses *squeeze* yang baik, biaya perlakuan setelah coran selesai dan biaya untuk pengetesan *non destructive* dapat dihemat atau tidak diperlukan.
- 6) Sifat mekanik hasil coran dengan komposisi yang sama, bisa sebaik atau bahkan lebih baik dibandingkan produk coran dengan teknik yang lain melalui rekayasa perilaku isotropik. Untuk itu “*casting factor*” bahan tersebut harus dianggap satu kesatuan.
- 7) Pengecoran *Squeeze* merupakan salah satu teknik yang paling efektif dan efisien untuk menghasilkan komponen komposit/paduan ferrous maupun non ferrous dengan bentuk mendekati kesempurnaan. Toleransi ukuran yang dapat dicapai proses ini  $\pm 0,05$  mm.

## 2. *Indirect Squeeze Casting (ISC)*

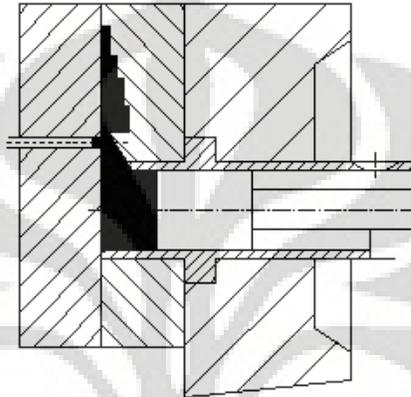
Istilah *indirect* dipakai untuk menggambarkan injeksi logam ke dalam rongga cetakan dengan bantuan piston berdiameter kecil dimana mekanisme penekan ini dipertahankan sampai logam cair membeku. Keuntungan utama ISC adalah kemampuannya untuk menghasilkan produk cor dengan bentuk yang lebih kompleks dengan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

Proses ini sebetulnya merupakan proses cangkakan antara *low pressure* dan *high pressure die casting*. Proses ISC ini tidak sebaik proses DSC. Secara khusus ada dua kelemahan ISC dibanding dengan DSC:

- 1) Penggunaan bahan baku tidak efisien karena adanya kebutuhan pembuatan *runner* dan *gating system*. Efisiensi pemakaian bahan hanya 28 % (Wakil,

1989). Sebagai contoh untuk menghasilkan piston dengan berat 0,62 kg diperlukan bahan cor seberat 2,2 kg.

- 2) *Wrought aerospace alloys* yang memiliki kekuatan yang tinggi, pada dasarnya sulit dikerjakan dengan ISC, kalau pun bisa hasil coran tidak bebas dari cacat.



**Gambar 2.14** Mekanisme *Indirect Squeeze Casting* <sup>[19]</sup>

### 2.7.2 Parameter Proses Pengecoran *Squeeze*

Untuk memperoleh produk cor yang memenuhi syarat-syarat ideal bagi suatu *sound – cast*, ada beberapa variabel yang perlu diperhatikan, yaitu :

1. Volume Cairan Logam (*Melt Volume*)

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

2. Temperatur Tuang (*Casting Temperature*)

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

3. Temperatur Perkakas (*Tooling Temperature*)

Temperatur normal adalah 190–315°C. Untuk produk cor yang mempunyai penampang relatif tebal, rentang temperatur ini dapat diturunkan. Biasanya temperatur *punch* diatur 15–30 °C di bawah temperatur *die* terendah untuk memungkinkan adanya kelonggaran atau ventilasi yang memadai di antara keduanya.

#### 4. Waktu Tunggu (*Time Delay*)

Waktu Tunggu adalah lamanya waktu yang diukur dari saat pertama penuangan logamcair ke dalam rongga cetak hingga saat permukaan *punch* menyentuh dan mulai menekan permukaan logam cair. Bentuk penampang yang kompleks memerlukan waktu yang cukup bagi logam cair mengisi keseluruhan rongga cetakan; untuk itu perlu adanya tenggang waktu yang cukup sebelum *punch* menyentuh dan menekan logam cair. Hal ini untuk menghindari terjadinya porositas akibat penyusutan (*shrink porosity*).

#### 5. Batas Tekanan (*Pressure Level*)

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 (*Pressure Duration*)

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. Akan tetapi biasanya durasi ini juga tergantung pada bentuk geometri coran yang diinginkan. Untuk material komposit pemberian tekanan setelah pembekuan (*solidification*) tidak memperbaiki sifat, tetapi hanya menambah waktu siklus saja.

#### 7. Pelumasan (*Lubrication*)

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*. Untuk paduan aluminium, magnesium, dan tembaga, permukaan *dies* biasanya disemprot dengan pelumas *colloidal graphite*. Sedangkan *ferrous casting*, permukaan *dies* biasanya dilapisi dengan sejenis bahan keramik untuk mencegah efek pengelasan antara produk cor dengan permukaan *dies*.

#### 8. Kecepatan Pengisian (*Filling Rate*).

Makin rendah kecepatan pengisian akan menyebabkan makin tingginya kemungkinan untuk mendapatkan aliran laminar. Akan tetapi kecepatan pengisian yang terlalu rendah dapat menyebabkan kehilangan panas (*heat loss*) yang besar dan berakibat pada terjadinya *premature solidification* serta *cold shuts*. Oleh karena itu perlu ditentukan kecepatan pengisian yang optimal, sehingga aliran pengisian menjadi laminar dan tidak terjadi turbulensi.

#### 2.7.3 Kontrol Kualitas Pengecoran *Squeeze*

Kontrol kualitas yang akurat terhadap variabel proses dapat mengurangi atau mencegah salah satu atau beberapa cacat cor yang mungkin terjadi. Adapun jenis cacat cor yang sering terjadi :

1. ***Oxide inclusions*** adalah cacat yang disebabkan kegagalan dalam menangani kebersihan logam cair, khususnya pada waktu logam cair dipindahkan ke dalam rongga cetakan. Untuk itu perlu menggunakan saringan pada saat penuangan. Selain itu perlu dijaga agar tidak terjadi aliran turbulen pada waktu pengisian rongga cetakan.
2. ***Porosity*** adalah cacat yang disebabkan kurangnya tekanan *squeeze* yang diberikan pada waktu operasi. Tekanan ideal sekitar 50 – 70 MPa merupakan *best practice* untuk memproduksi *sound casting*. Cacat ini dapat dieliminir dengan menaikkan tekanan *squeeze* dimana variabel proses yang lain telah mencapai titik optimum.
3. ***Centerline segregation*** adalah cacat cor yang terjadi pada pengecoran paduan aluminium tempa (*high-alloy wrought aluminum alloy*) dengan temperatur lebih rendah. Pembekuan terjadi dimulai pada dinding *dies*; dengan temperatur logam cair yang rendah, fasa *liquid* menjadi lebih terkonsentrasi dan terjebak di bagian pusat daerah ekstrusi atau daerah yang lebih padat dari coran. Cacat ini dapat dihindari dengan menaikkan temperatur *dies*,

meminimalkan atau mengurangi waktu penutupan *dies* atau mengganti paduan dengan alternative bahan lain yang setara.

4. **Blistering** merupakan cacat cor yang terjadi akibat adanya udara atau gas yang berasal dari logam cair yang terjebak di bagian bawah permukaan dikarenakan aliran turbulen pada saat pengisian rongga cetakan. Cacat ini terjadi dalam bentuk adanya pelepuhan (*blister*) pada permukaan coran pada waktu pelepasan tekanan atau proses perlakuan panas lanjut. Cacat ini dapat dihindari dengan menghilangkan gas yang terdapat pada logam cair atau dengan melakukan *pre-heating* terhadap peralatan tuang (*handling transfer equipment*), memperlambat kecepatan penutupan *dies*, memperbesar celah antara *dies* dan *punch* serta menurunkan temperatur tuang (*pouring temperature*).
5. **Sticking** merupakan cacat berupa adanya lapisan tipis pada kulit permukaan produk cor yang menempel pada permukaan cetakan (*die surface*). Hal ini disebabkan karena cepatnya proses penuangan tanpa diimbangi dengan sistem pendinginan dan pelumasan yang baik. Untuk menghindari *sticking* dapat dilakukan dengan mengurangi temperatur cetakan atau temperatur penuangan.

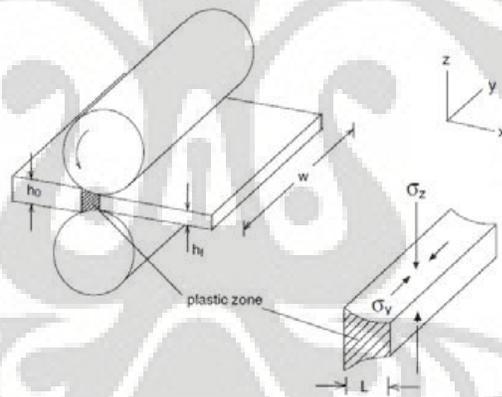
## 2.8 CANAI

Canai merupakan suatu proses deformasi pembentukan logam, dimana ketebalan dari benda kerja direduksi dengan menggunakan gaya tekan dari dua buah roll atau lebih. Logam yang digiling, diekstrusi atau ditarik pada suhu dibawah suhu rekristalisasi dikatakan telah mengalami pengerjaan dingin (*cold working*). Logam pada umumnya mengalami pengerjaan dingin pada suhu ruang, meskipun perlakuan tersebut menyebabkan kenaikan suhu. Perbedaan antara pengerjaan panas (*hot working*) dan pengerjaan dingin adalah pada pengerjaan panas, gaya deformasi yang diperlukan lebih rendah dan perubahan sifat mekanik dari material tidak signifikan, sedangkan pada pengerjaan dingin diperlukan gaya yang lebih besar, akan tetapi sifat mekanis logam menjadi meningkat dengan signifikan.

Akibat pengerjaan dingin, di dalam logam timbul tegangan yang cukup besar yang disebut dengan tegangan sisa. Tegangan ini tidak dikehendaki, oleh karena itu, untuk menghilangkannya, logam harus diberikan perlakuan pemanasan hingga temperatur rekristalisasi, sehingga menghilangkan pengaruh dari pengerjaan dingin.

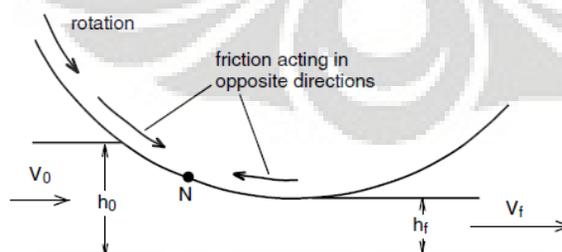
Secara umum, proses pengerjaan dingin berakibat :

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. Suhu rekristalisasi baja meningkat.
5. Penyelesaian permukaan yang lebih baik dapat diperoleh toleransi dimensi yang lebih ketat.



7.8. Schematic of the deformation zone in flat rolling.

7.8. Schematic of the deformation zone in flat rolling.



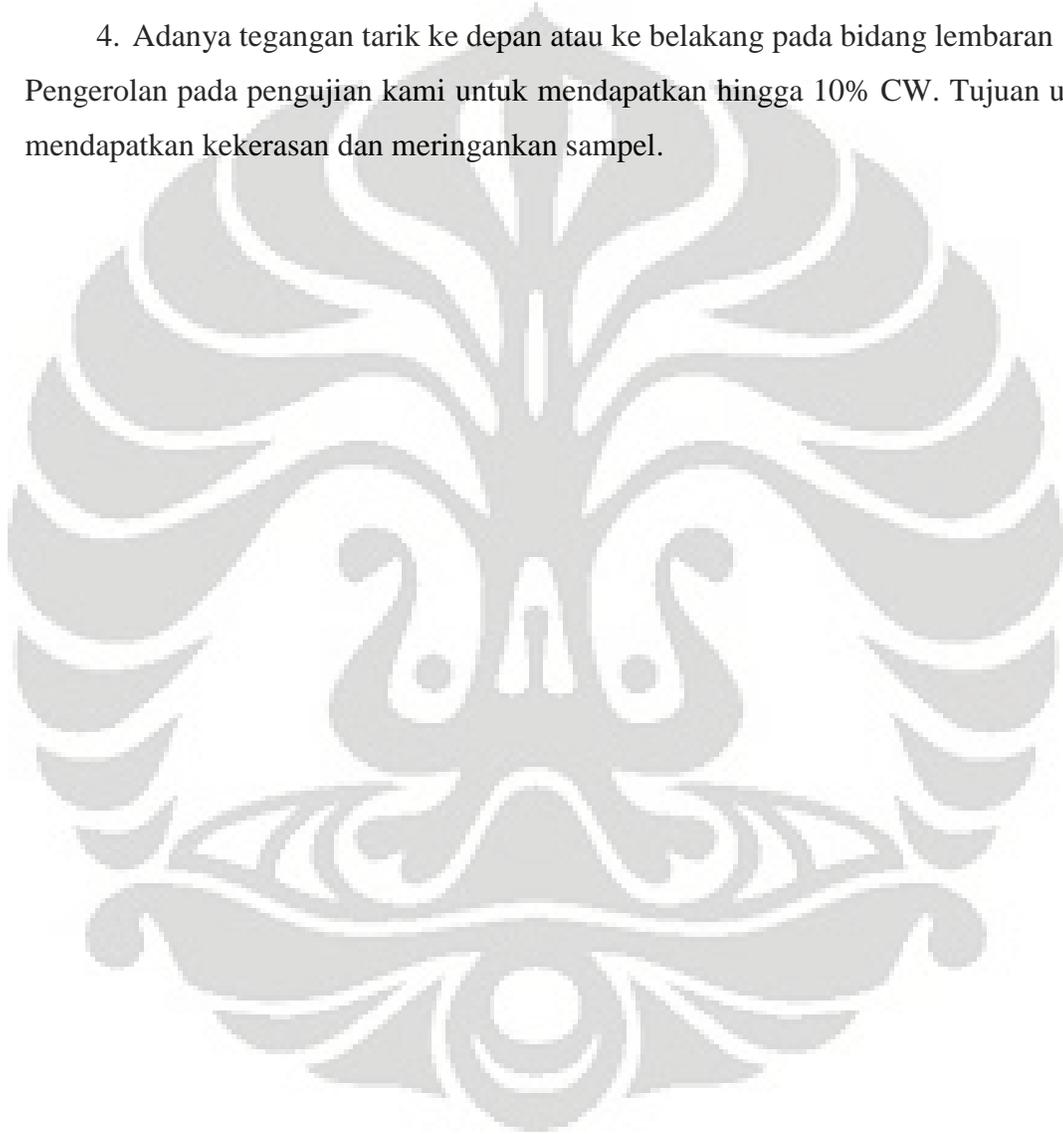
7.9. On the inlet side, the surface of the roll moves faster than the work piece and on the outlet side the work piece moves faster. This causes friction to act on the work piece toward the neutral point, N.

**Gambar 2.15** Mekanisme proses canai <sup>[20]</sup>

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

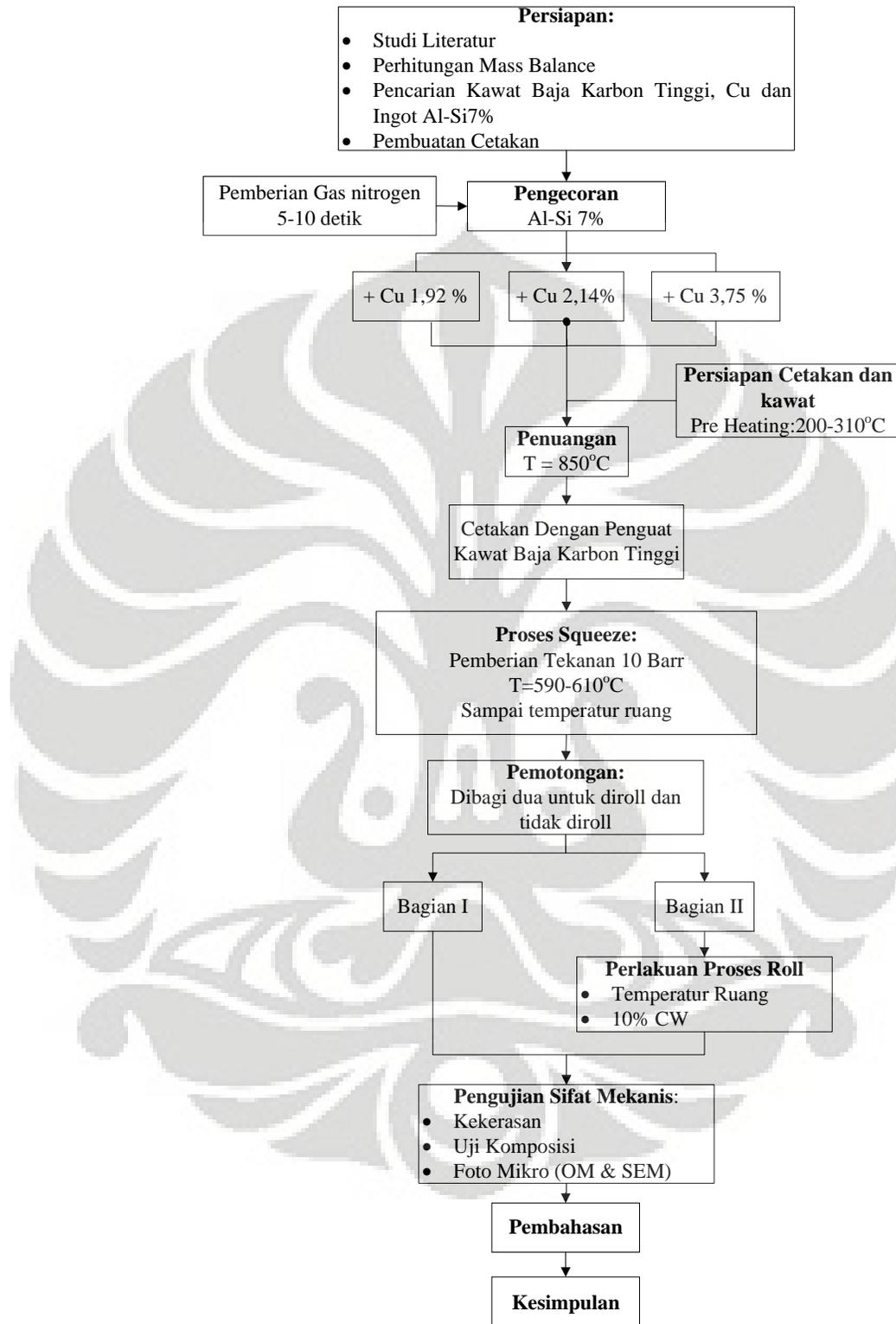
Pengerolan pada pengujian kami untuk mendapatkan hingga 10% CW. Tujuan untuk mendapatkan kekerasan dan meringankan sampel.



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN

Pengaruh penambahan unsur Cu sesuai perhitungan pada pembuatan material komposit matriks Aluminium (Al-7Si) berpenguat kawat tali baja karbon tinggi dengan metode *squeeze casting* yang kemudian dilakukan proses Canai dingin sebesar 10% CW terhadap sifat kemampubasahan dan nilai kekerasannya. Sehingga variabel pada penelitian ini pada penambahan Cu untuk mendapatkan sifat mekanik yang diharapkan untuk aplikasi armor dapat dihasilkan. Adapun langkah pembuatan dan pengujiannya dapat dilihat pada gambar diagram alir berikut (gambar 3.1). Cetakan menggunakan bahan baja karbon tinggi dengan lubang untuk memasukkan kawat baja yang susunannya divariasikan rapat dan longgar. Susunan yang rapat berjarak 2 mm dan yang longgar berjarak 3 mm antara kawat. Ini bertujuan agar mengetahui jarak yang ideal untuk aplikasi material komposit matriks aluminium berpenguat kawat baja karbon tinggi.



**Gambar 3.1.** Flowchart Penelitian

## 3.2 PERALATAN DAN BAHAN

### 3.2.1. Peralatan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dapur Peleburan Krusibel dengan spesifikasi :

Kowi

*Ladle*

Krusibel *Furnace*

Thermocouple

2. Cetakan logam (ukuran (170x150x15) mm)

3. Mesin *pneumatic pressure*

4. Mesin Canai

5. Mesin Uji Keras

6. Mikroskop Optik

7. *Scanning Electron Microscope*

8. Mesin Poles

9. Mesin Amplas

### 3.2.2. Bahan

1. *Master Alloy Al- 7Si*

2. Kawat Cu murni

3. *High carbon steel wire rope*

4. Degasser gas Nitrogen
5. Kertas amplas
6. Kain beludru (kain poles).
7. Zat poles Alumina.
8. Zat etsa

### 3.3. PROSES PEMBUATAN SAMPEL

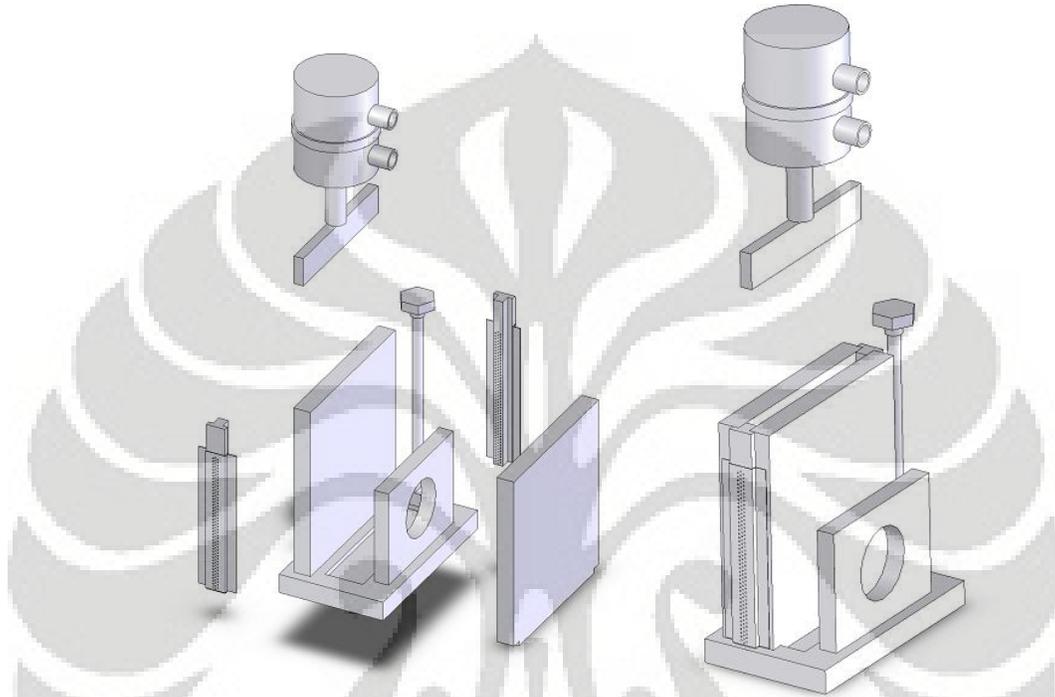
#### 3.3.1. Data Proses Pengecoran

**Tabel 3.1 Data Pengecoran**

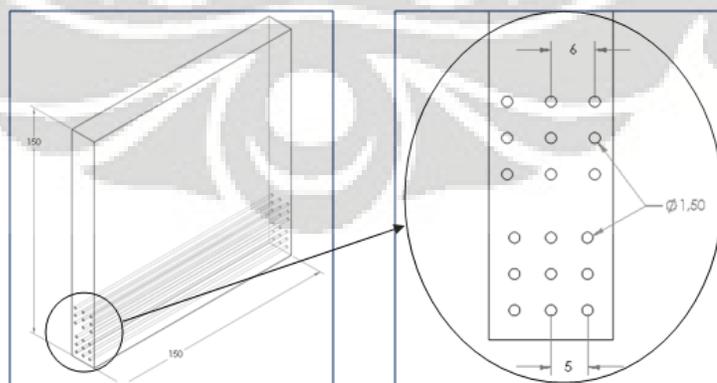
	<b>Al-7Si-1,92 Cu</b>	<b>Al-7Si-2,14 Cu</b>	<b>Al-7Si-3,75Cu</b>
<b>Material Input</b>	Al-7Si (1009 gr)	Al-7Si (1013,6gr)	Al-7Si (926,4 gr)
	Cu(20,8gr)	Cu(31,2gr)	Cu (38,8 gr)
<b>Temperatur Lebur</b>	813 °C	796 °C	688 °C
<b>Waktu tahan Lebur</b>	23 menit	20 menit	29 menit
<b>Temperatur Tuang</b>	920 °C	900 °C	850 °C
<b>Tekanan Squeeze</b>	10 barr	10 barr	10 barr
<b>Temperatur Cetakan</b>	200 °C	300 °C	310 °C
<b>Berat Pelat</b>	1002,2gr	1013,2 gr	939 gr

### 3.3.2 Persiapan Cetakan

Persiapan cetakan dimulai dengan pemasangan part-part cetakan yang tersedia seperti pada gambar 3.2 dan pemasangan kawat tali baja. Persiapan ini dilakukan saat persiapan peleburan dan dilakukan preheating hingga mencapai 200-310 °C.



**Gambar 3.2.** Model part cetakan yang digunakan dengan plunger  
Kawat penguat disusun ke dalam cetakan dalam arah unidirectional (satu arah) dengan dua variabel jarak, 2 dan 3 mm, dengan satu variabel jarak kawat disusun dengan tiga baris dan tiga kolom seperti pada Gambar 3.3 berikut ini.



**Gambar 3.3** Susunan kawat dengan arah *unidirectional* dalam pelat komposit matriks aluminium

### 3.3.3 Proses Pengecoran

Dalam proses pembuatan material komposit matriks aluminium berpenguat kawat tali baja karbon tinggi ini, digunakan master alloy paduan Al-7Si sebagai matriks, yang kemudian dilebur dan diberikan variasi penambahan Cu. Setelah itu, jika telah mencapai Temperatur antara 830-920 °C dituang ke dalam cetakan yang sebelumnya telah dipasangkan susunan kawat tali baja karbon tinggi dalam arah unidirectional (satu arah) dan terakhir pada saat masih dalam kondisi fasa semisolid (590-610°C) dilakukan proses *squeeze casting*, yakni dilakukan penekanan sebesar 9-10 Bar ke dalam cetakan tersebut sampai temperatur ruang.



**Gambar 3.4** Proses peleburan dengan dapur krusibel



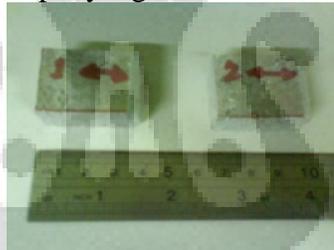
**Gambar 3.5** Sampel dari proses squeeze casting

### 3.3.4 Proses Preparasi Sampel

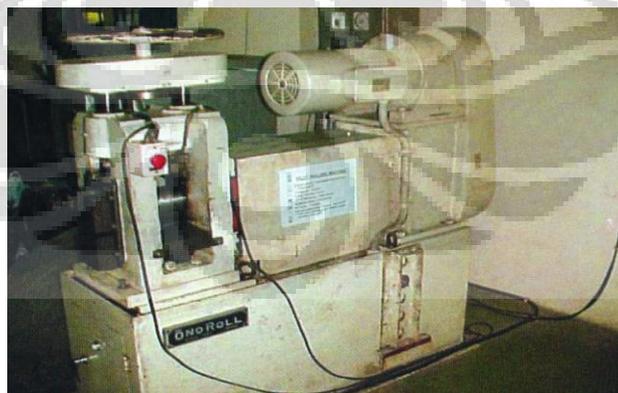
Sampel di canai dingin untuk meningkatkan kekuatan sampel. Sampel dipotong menjadi beberapa potongan, dengan ukuran sampel  $\pm 20 \times 30$  mm (lihat Gambar 3.7). Beberapa bagian dilakukan proses *cold roll* dengan besar reduksi sebesar 10% (Bagian II) dan bagian lainnya tidak (Bagian I). Mesin yang digunakan adalah Ono Roll yang terdapat di Lab. Teknik Perubahan Bentuk, Departemen Metalurgi dan Material.



**Gambar 3.6** Sampel yang telah dikeluarkan dari cetakan



**Gambar 3.7** Sampel dipotong menjadi ukuran 20 x 30 mm



**Gambar 3.8** Mesin pengerolan (ONO ROLL™)

### 3.4. TAHAP PENGUJIAN

#### 3.4.1. Pengujian Kadar Sampel

Untuk mengetahui kadar sampel, digunakan spektrometri yang ada di B2TKS-BPPT, Puspiptek, Serpong. Hal ini digunakan untuk mengetahui penambahan paduan tembaga yang dilakukan pada saat proses pengecoran telah sesuai dengan perhitungan.

Tabel 3.3 Hasil uji komposisi dengan spektrometri

Sampel	Komposisi (%)				
	Al	Si	Cu	Zn	Fe
1	91,79	6,58	1,92	0,087	< 0,081
2	92,22	6,00	2,14	0,089	< 0,081
3	90,19	6,40	3,75	0,085	< 0,081

\*Hasil lengkap terlampir

Dari hasil pengujian komposisi, komposisi penambahan Cu tidak sesuai dengan perhitungan awal. Namun komposisi tersebut terjadi peningkatan kadar Cu. Penambahan komposisi Cu dapat terlihat pengaruhnya dalam tujuan penelitian ini sehingga hasilnya dapat diterima.

#### 3.4.2. Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan di Laboratorium Metalografi dan HST di lantai 1 dan 4 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 dan SEM.

Etsa yang digunakan menggunakan HF 5 % selama 7 detik. Sampel yang sudah mencapai tahapan etsa digunakan untuk pengujian mikro struktur dengan *Optical Microscopy* dan *Scanning Electron Microscopy*.

#### 3.4.3. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan menggunakan metode Rockwell B dengan standar ASTM E-18. Mesin yang digunakan ada di Laboratorium CMPFA Departemen Metalurgi dan Material. Identor yang digunakan bola baja dengan diameter 1/16", beban yang diberikan 100 Kgf dan waktu penjejakan 5 detik.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

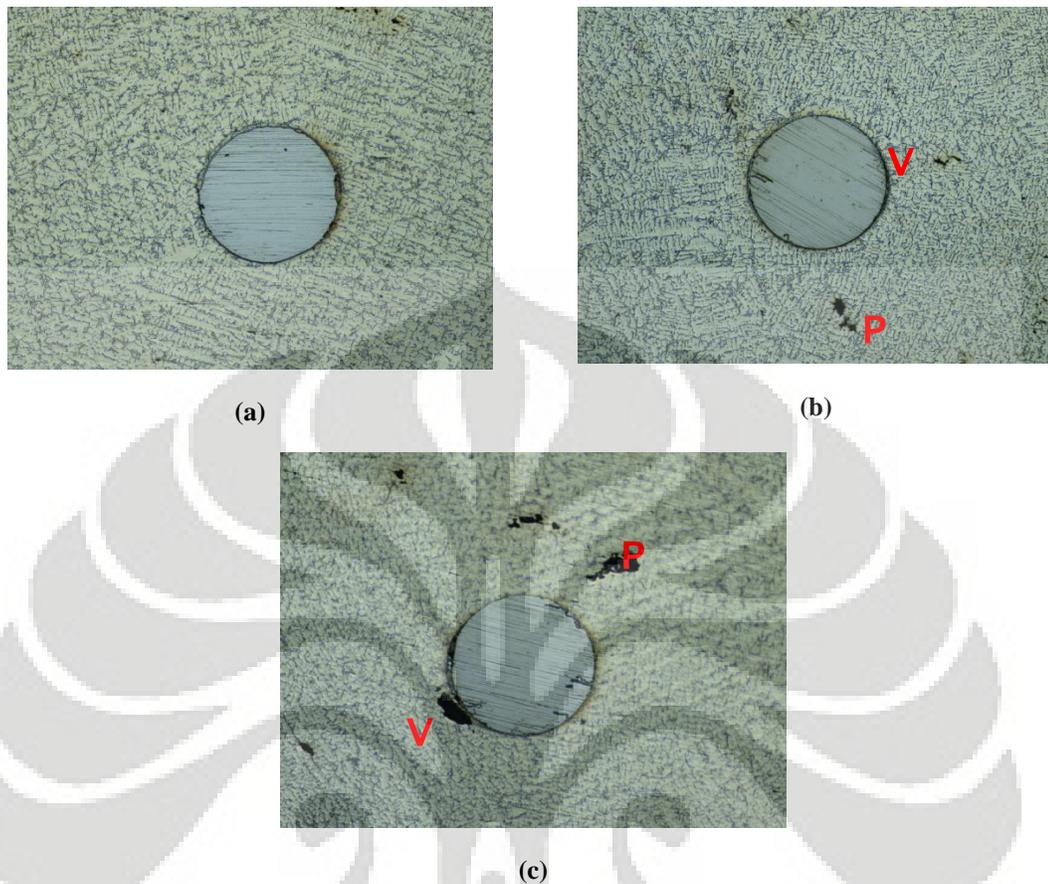
### 4.1 ANALISA DAERAH ANTARMUKA DAN POROSITAS DENGAN VARIASI KOMPOSISI TEMBAGA

Material komposit yang dibuat dalam penelitian ini melakukan penambahan Cu dalam matriks aluminium (Al-7Si) dengan penguat kawat baja karbon tinggi melalui proses *Squeeze casting*. Tujuan dari penambahan Cu untuk menambah kekuatan. Namun, untuk memperoleh kekuatan yang baik perlu dilihat dari mikrostrukturnya. Dalam hal ini, banyaknya void yang terbentuk pada kondisi antarmuka mempengaruhi kekuatan dari material ini.

Seperti yang telah dijelaskan pada Bab 2, antarmuka (*interface*) pada matriks-penguat merupakan bagian yang sangat penting dalam komposit. Agar kondisi antarmuka yang dihasilkan baik yaitu dengan meningkatkan kemampuan pembahasan. Jika kondisi antarmuka kurang baik maka terbentuk void. Keberadaan void mengindikasikan buruknya sifat antarmuka dan tidak menempelnya aluminium pada kawat baja karbon tinggi.

Dalam hasil ini (**gambar 4.1**) pengambilan gambar diambil yang terbaik untuk mengamati daerah antarmuka dan porositas. Pengaruh penambahan Cu disini untuk mengamati perbedaan void antarmuka yang terbentuk. Sehingga nantinya dari hasil ini dapat diketahui pada komposisi Cu yang terbaik untuk kondisi antarmuka.

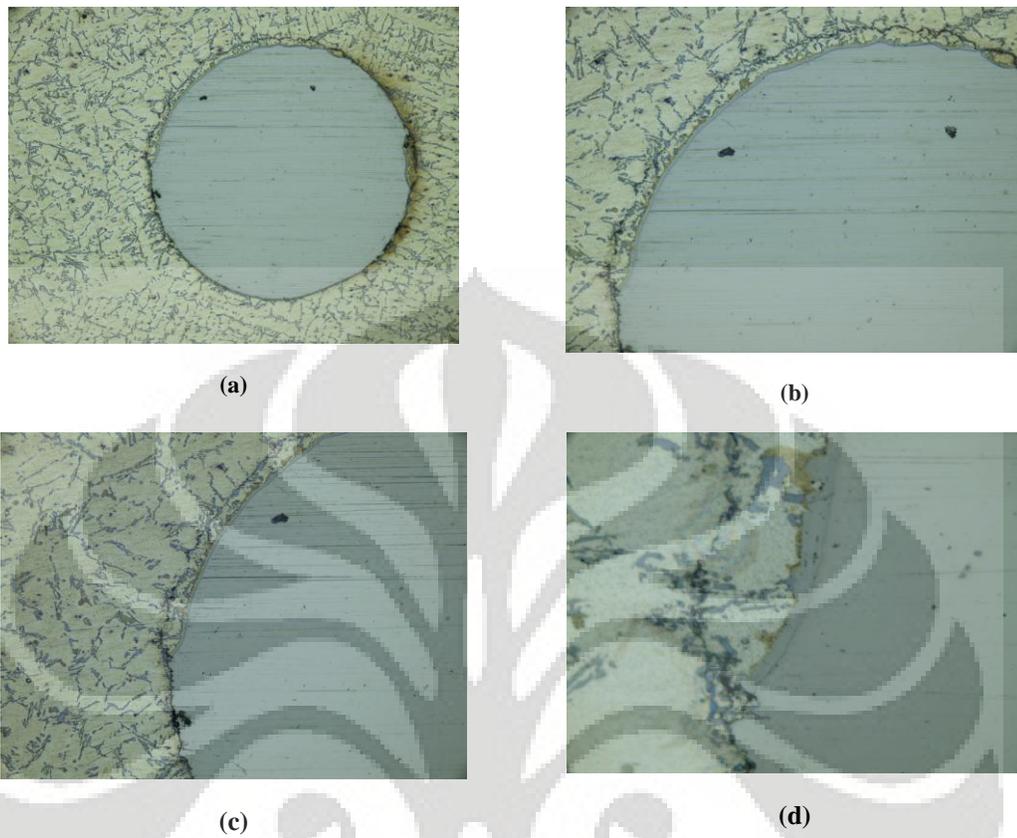
Dalam hal ini juga ditemukannya dugaan adanya ikatan intermetalik seperti yang terlihat pada **gambar 4.2**. Lapisan intermetalik ini sebenarnya tidak diinginkan terbentuk karena akan mempengaruhi sifat mekanis dari ikatan antarmuka suatu komposit.



**Gambar 4.1** Fotomikro dari satu kawat pada komposisi (a) 1,92% Cu; (b) 2,14% Cu; (c) 3,75% Cu (perbesaran 50X)

Dari **gambar 4.1** terlihat bahwa semakin tinggi kadar penambahan Cu maka semakin besar void antarmuka dan porositas pada matriks yang terbentuk<sup>[21]</sup>. Pada komposisi paduan 1,92% Cu, void antarmuka dan porositas pada matriks yang terbentuk lebih sedikit daripada paduan Cu yang lain. Hal ini dikarenakan peningkatan komposisi %Cu menurunkan *castability*. *Castability* turun mengakibatkan fluiditas lelehan aluminium untuk mengisi rongga cetakan menurun. Sehingga belum sampai sepenuhnya mengisi rongga dan menyatu telah membeku dahulu lelehan aluminium tersebut.

Pada pengamatan **gambar 4.2** diduga dari hasil fotomikro terlihat lapisan intermetalik. Lapisan intermetalik berbeda warna dengan matriks dan penguatnya. Perbesaran bertujuan meyakinkan lapisan intermetalik ini bukan *void* atau porositas. Hal ini diperkuat dengan hasil foto SEM pada **gambar 4.3** yang ditembak di beberapa titik berbeda.



**Gambar 4.2** Struktur mikro sampel dengan penambahan 1,92% Cu (a) perbesaran 50x, (b) 200x, (c) 500x, (d)1000x



**Gambar 4.3** Struktur mikro sampel 2% Cu (SEM)

Pada **gambar 4.3**, struktur mikro hasil dari pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM), terlihat terbentuk lapisan yang jelas berbeda warna antara aluminium matriks (no.1) dan kawat (no.4) yang ditunjukkan nomor 2 dan 3. Lapisan ini diduga sebagai lapisan intermetalik. Diperkuat dengan pengujian *Energy Dispersive X-Ray Analysis* (EDAX) yang ditembak sinar-X pada no.1-4 yang menghasilkan perbedaan unsur yang terkandung tiap lapisan. Namun, hasil ini perlu penelitian lebih lanjut.

**Tabel 4.1 Perbedaan unsur yang terkandung pada titik pengamatan SEM hasil EDAX**

Nomor	Unsur yang terkandung	Keterangan
1	Al; Si; O; Cu	Al matriks
2	Al; Cu; O; Fe ; Si	Broken layer
3	Al; Fe; Si; O	Bonding layer
4	Fe; C	Kawat baja

\*Hasil EDAX terlampir

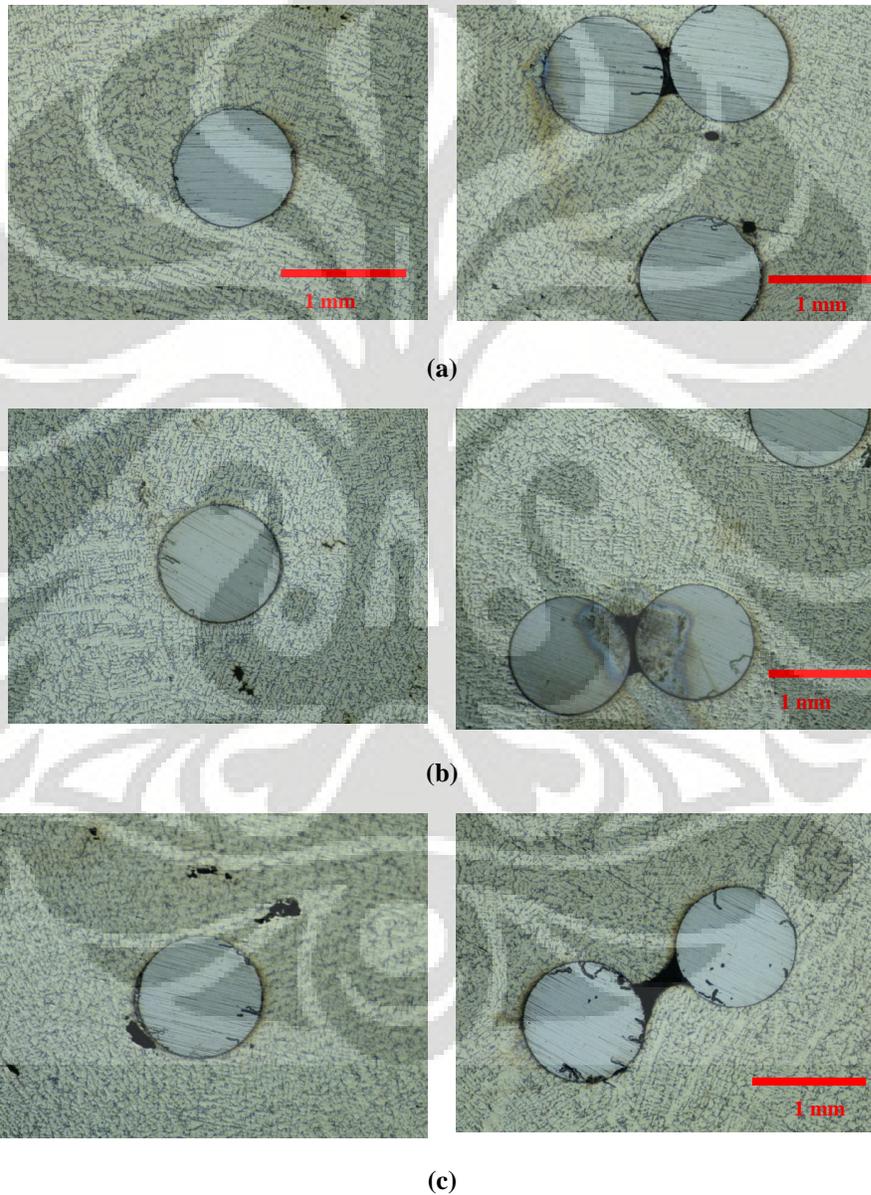
#### **4.2 ANALISIS DAERAH ANTARMUKA DENGAN VARIASI JARAK ANTAR KAWAT**

Jarak antar kawat baja pada penelitian ini berpengaruh terhadap terbentuknya kekosongan (*void*). Hal ini disebabkan sifat dari penambahan Cu yang menurunkan sifat *castability* dari pengecoran aluminium<sup>[22]</sup>, serta pembekuan (*solidification*) pada kawat yang sendiri atau jauh adalah lebih rendah daripada kawat yang berdekatan. Transfer energi panas dari lelehan aluminium ke kawat yang berdekatan lebih cepat karena luas kontak lebih besar. Tetapi untuk porositas tetap meningkat terhadap penambahan %Cu<sup>[21]</sup>.

Dari pengamatan gambar 4.4 jarak antar kawat yang baik di atas 1 mm. Karena tidak terbentuk void di daerah antarmuka. Kondisi ini masih bersifat baik karena aluminium mampu membasahi kawat dengan baik tanpa terjadi void.

Sebaliknya, jarak yang di bawah 1 mm, yang lebih besar terlihat void. sehingga kondisi antarmuka menjadi buruk karena aluminium tidak membasahi kawat dengan sempurna. kondisi antarmuka yang buruk dapat menyebabkan sifat mekanis komposit menjadi turun.

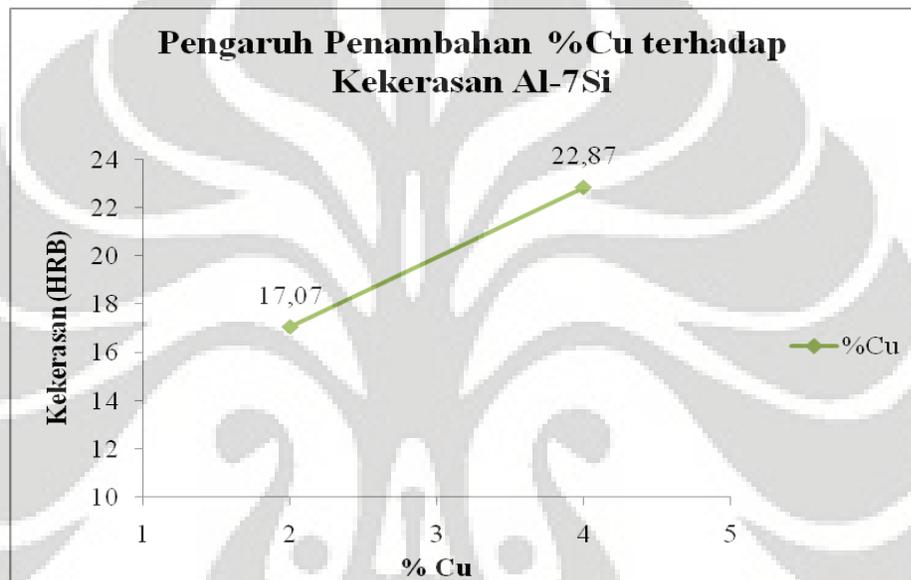
Untuk mengetahui jarak optimum antar kawat yang terdapat void. Membandingkan semua foto mikro dari variasi penambahan Cu engan kawat yang berdekatan. Terlihat pada gambar 4.4 (c) pada penambahan paduan Cu 3,75%, jarak antar kawatnya 0,5 mm. Jarak ini merupakan jarak awal terbentuknya void. Namun, jika jarak lebih dari 1mm kondisi antarmuka akan lebih baik, seperti yang terlihat pada gambar 4.4 (a).



**Gambar 4.4** Struktur mikro dari satu kawat ( $>1\text{mm}$ ) dan kawat yang berdekatan (a) 1,92% Cu; (b) 2,14% Cu; (c) 3,75% Cu (perbesaran 50X)

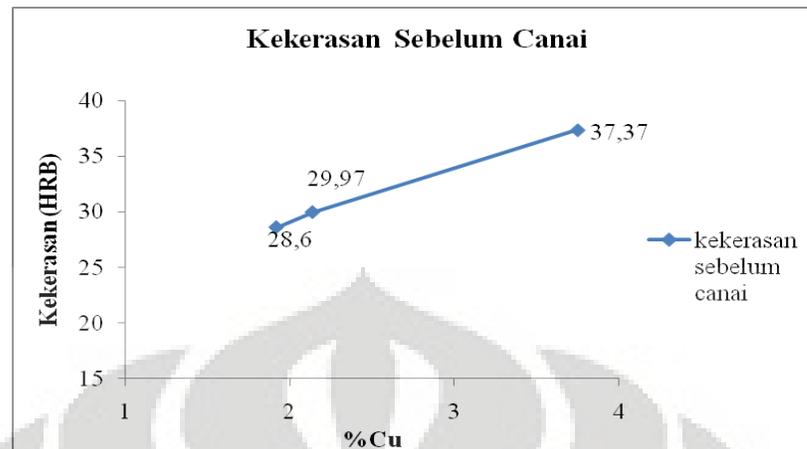
### 4.3 ANALISIS KEKERASAN MAKRO MATERIAL BULK DENGAN VARIASI PERLAKUAN CANAI DINGIN

Proses canai dingin dilakukan dalam penelitian ini bertujuan agar material komposit ini meningkat kekerasannya dan kekuatannya, sehingga dapat dipergunakan pada material armor. Canai dingin dilakukan dengan mereduksi ketebalan sampel mencapai 10% CW. Sebelum dilakukan canai dingin, kita harus tahu pengaruh penambahan %Cu terhadap kekerasannya pada material Al-7Si sebelum dipasang kawat tali baja.



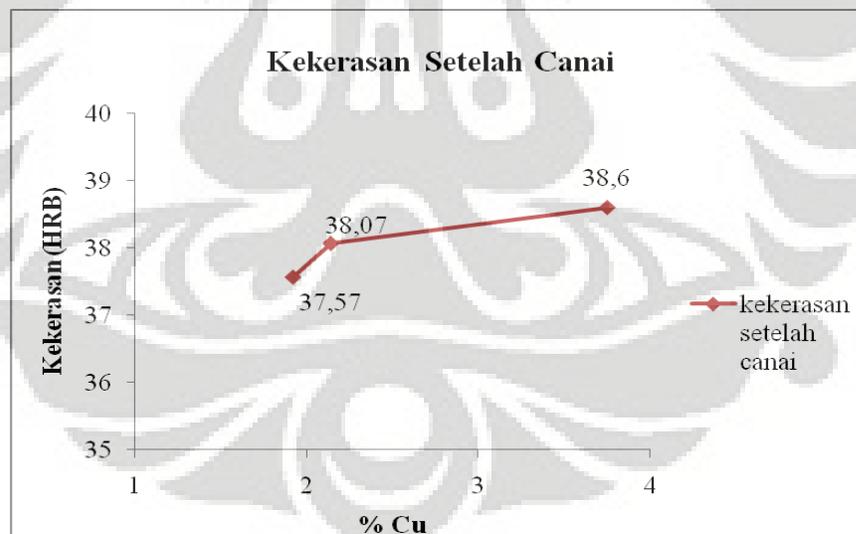
**Gambar 4.5** Nilai kekerasannya Al-7Si dengan pengaruh penambahan %Cu tanpa kawat

Kekerasannya yang di dapat dari gambar 4.5, grafik mengalami peningkatan. Ini sesuai dengan literatur yang menyatakan penambahan %Cu pada pengecoran aluminium meningkatkan kekerasannya. Peningkatan kekerasannya ini disebabkan mekanisme *solid solution strengthening*. *Solid solution strengthening* merupakan mekanisme penguatan logam dengan cara menghambat pergerakan dislokasi dengan adanya atom impurities Cu yang berada di antara atom host. Atom penyusup (*impurities*) Cu masuk ke dalam atom host baik sebagai substitusi ataupun sebagai interstisi *solid solution*. Atom impurity Cu yang memiliki jari-jari atom yang lebih besar dari jari-jari atom host masuk sebagai substitusi.



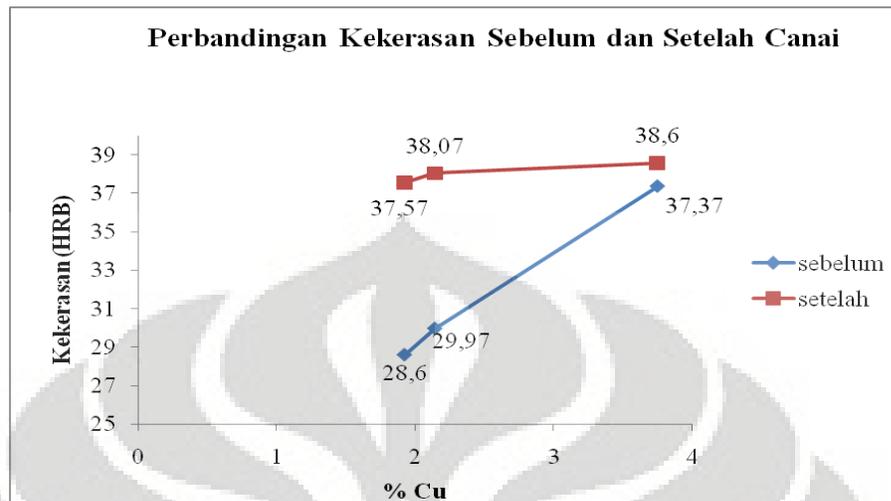
**Gambar 4.6** Nilai kekerasan sebelum dicanai

Nilai kekerasan yang didapat pada material komposit matriks aluminium (Al-7Si) dengan penguat kawat baja karbon tinggi sebelum dicanai meningkat sejalan penambahan paduan %Cu (**gambar 4.6**). Hal ini sesuai dengan literatur, dikarenakan penambahan paduan %Cu meningkatkan kekuatan. Nilai kekerasan setelah dicanai (**gambar 4.7**) juga tetap terjadi peningkatan. Proses canai membuktikan dapat meningkatkan kekerasan pada material ini .

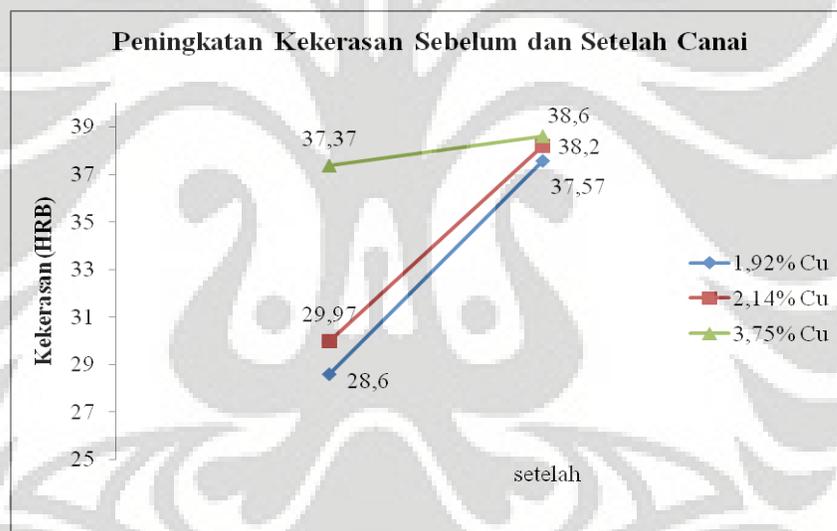


**Gambar 4.7** Nilai kekerasan setelah dicanai

Berdasarkan perbandingan sebelum dan setelah diproses canai 10% CW gambar 4.8 terjadi peningkatan setelah dicanai. Hal ini sesuai dengan literatur yang mengatakan proses canai meningkatkan kekerasan<sup>[20]</sup>.



**Gambar 4.8** Perbandingan kekerasan sebelum dan setelah canai dingin

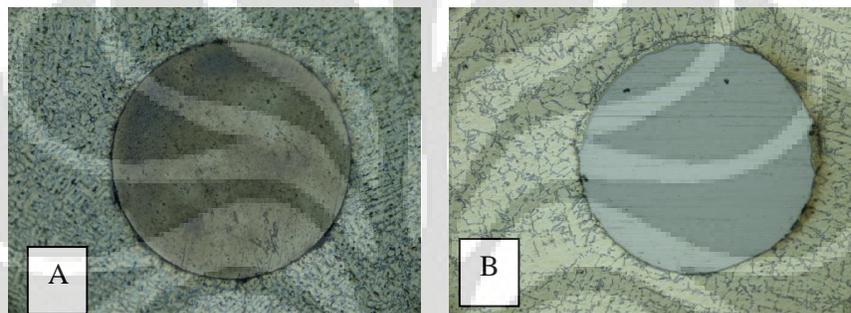


**Gambar 4.9** Peningkatan Kekerasan Setelah Canai

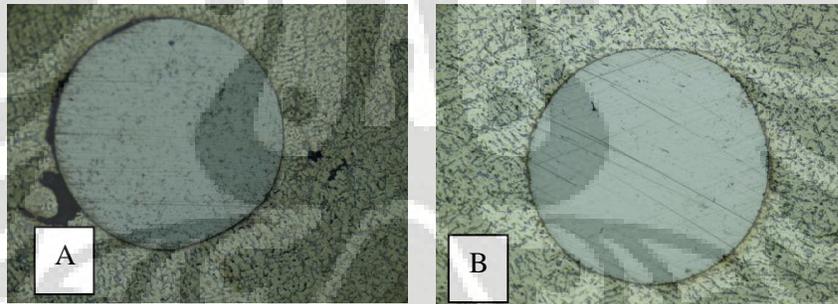
Berdasarkan **gambar 4.9** nilai kekerasan sebelum dan setelah dicanai 10% CW pada semua komposisi penambahan %Cu mengalami peningkatan. Pada komposisi Cu 1,92% mengalami peningkatan yang paling tinggi 31,35%. Untuk peningkatan Cu 2,14% dan 3,75% masing-masing mengalami peningkatan 27,47% dan 3,29%. Hal ini memberikan kesimpulan bahwa proses canai dingin dapat meningkatkan kekerasan pada material dalam penelitian ini. Canai dingin dapat memperkecil daerah porositas pada matriks dan void antarmuka.

#### 4.4 ANALISIS DAERAH ANTARMUKA DENGAN VARIASI PERLAKUAN CANAI DINGIN

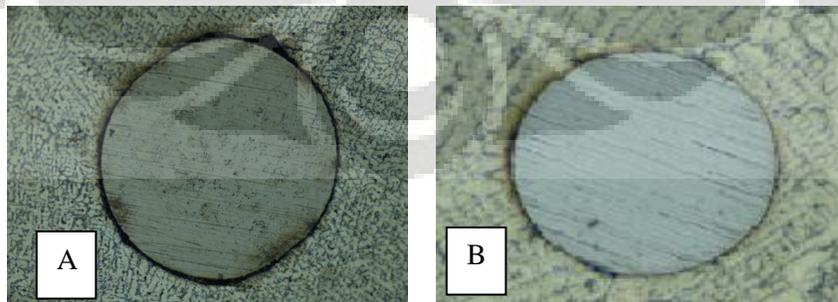
Proses canai dingin hingga mencapai reduksi 10 % CW (*Cold Working*) bertujuan untuk meningkatkan kekerasan dan kekuatan material komposit ini. Tetapi disamping meningkatkan kekerasan dan kekuatannya, perlu diperhatikan void yang terbentuk sebelum di *canai*. Untuk itu perlu diamati perbandingan struktur mikro dari sampel sebelum dan sesudah di *canai*. Namun karena sampel sebelum dan sesudah dicanai berbeda. Hal ini masih perlu kajian lebih lanjut.



1,92% Cu



2,14% Cu



3,75% Cu

**Gambar 4.10** Perbandingan void antarmuka sebelum (A) dan sesudah (B) canai dingin.  
(perbesaran 100x)

Proses canai menyebabkan memperkecil daerah void antarmuka dan porositas. Berdasarkan pengamatan gambar 4.10, penambahan komposisi paduan Cu menyebabkan terbentuknya void antarmuka dan porositas matriks tetapi sesudah proses canai dingin daerah void antarmuka semakin kecil. Namun, pada sampel komposisi 3,75% Cu yang lain ditemukan retak pada sampel yang telah mengalami canai dingin. Void antarmuka yang terbentuk, butirnya tidak dapat berdeformasi lebih ketika diberi beban canai dingin, sehingga sebelumnya terdapat *hot tears* akan dapat awal timbulnya retak.



**Gambar 4.11** Struktur mikro sampel Cu 4% yang telah di canai 10% CW

Berdasarkan pengamatan struktur mikro pada **gambar 4.11**, terlihat void berkurang. Tetapi void ini berdampak timbulnya retakan (*crack*) yang diberi tanda **I**. Hal ini disebabkan tegangan yang cukup besar yang diberikan dalam proses *canai* pengerjaan dingin (*Cold Working*) mengakibatkan terjadinya tegangan sisa dan struktur butir mengalami distorsi atau perpecahan. Hasil dari SEM (**gambar 4.12**) juga memperlihatkan adanya retak (*crack*) (**I**). Sehingga jika reduksi %CW diperbesar menyebabkan retak akan terus menjalar hingga terjadi patah.

Hal ini diakibatkan karena terjadi *Hot Tears*. Mekanisme ini karena pembekuan yang cepat saat penuangan. Pembekuan yang cepat terjadi penyusutan (*shrinkage*), sehingga belum sempat lelehan aluminium membasahi permukaan kawat seluruhnya.



**Gambar 4.12** Struktur mikro sampel Cu 1,92% setelah di canai reduksi 10%CW

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1 KESIMPULAN**

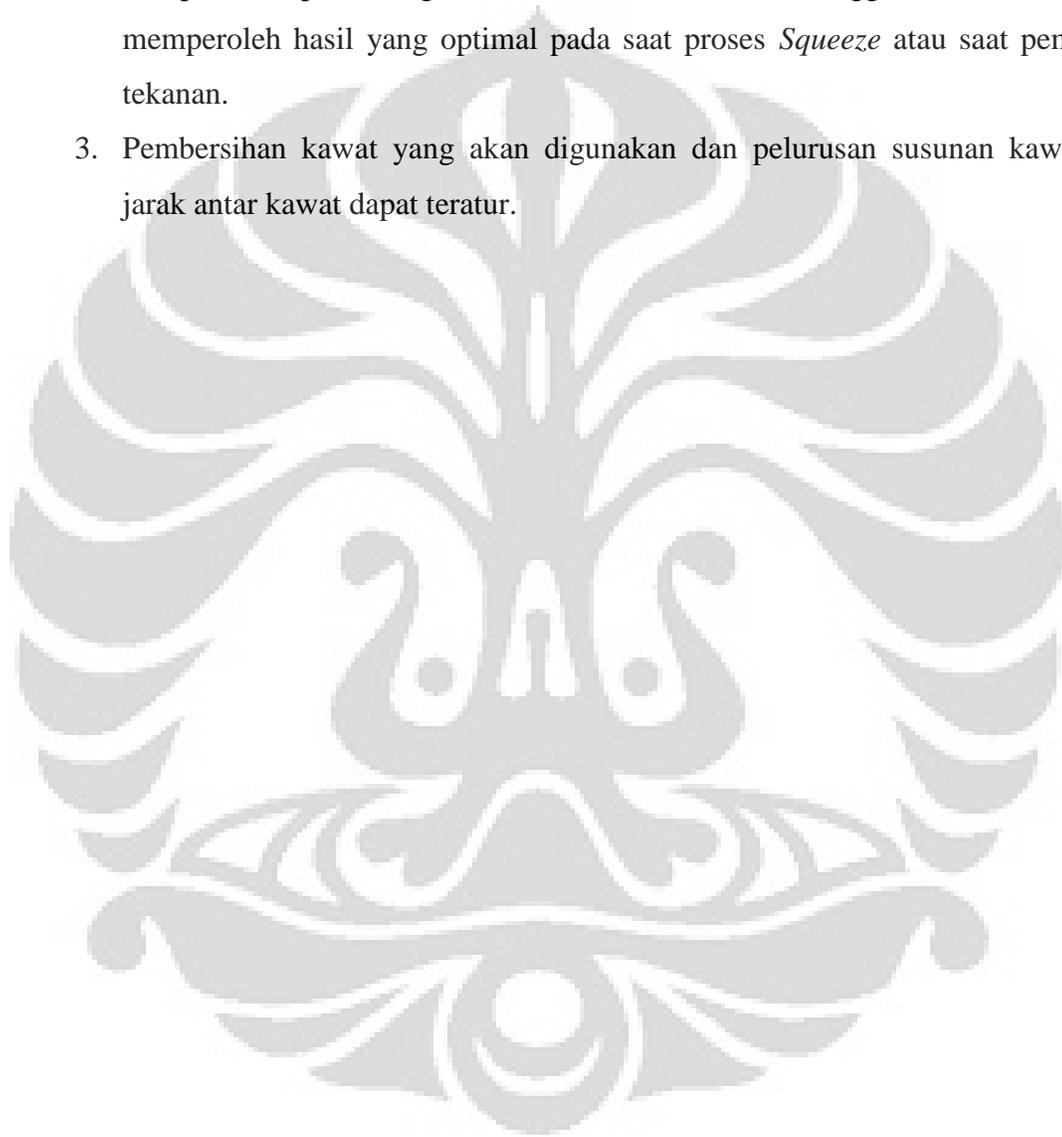
Berdasarkan hasil penelitian ini, ada beberapa hal yang dapat disimpulkan di antaranya sebagai berikut:

1. Penambahan paduan Cu meningkatkan terbentuknya kekosongan (*void*) pada kondisi antarmuka antara matriks aluminium dengan permukaan kawat, serta meningkatkan pembentukan porositas. Perbandingan paduan Cu terhadap kondisi antarmuka yang baik dan minimnya void antarmuka dan porositas matriks yang terbentuk, terdapat pada komposisi 1,92% Cu.
2. Jarak antar kawat mempengaruhi terhadap void yang terbentuk, semakin dekat akan menyebabkan timbul void. Jarak antar kawat lebih dari 1 mm tidak menyebabkan terbentuk kekosongan (*void*), sedangkan jarak kawat 0,5 mm void dapat terbentuk.
3. Nilai kekerasan sebelum dan sesudah dicanai mengalami peningkatan sebanding pertambahan paduan Cu. Kekerasan yang tertinggi sebelum dicanai 37,37 HRB dan setelah dicanai 38,6 HRB terdapat pada komposisi Cu 1,92%. Perbandingan sebelum dan sesudah dicanai mengalami peningkatan kekerasan pada setiap komposisi paduan Cu. Pada penelitian ini, peningkatan kekerasan tertinggi pada komposisi 1,92% Cu sebesar 36,05%. Untuk 2,14% Cu dan 3,75% Cu mengalami peningkatan kekerasan masing-masing 26,27% dan 0,14%.
4. Proses canai dengan pengerjaan dingin 10% CW terhadap material komposit matriks aluminium (Al-7Si) dengan penguat kawat baja karbon tinggi mempengaruhi struktur kekosongan antarmuka yang mengakibatkan memperkecil daerah void antarmuka dan porositas matriks.

## 5.2 SARAN

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian ini adalah :

1. Penggunaan dapur yang dapat mengontrol suplai panas dan menjaga kestabilan temperatur.
2. Temperatur preheating untuk cetakan lebih ditinggikan karena untuk memperoleh hasil yang optimal pada saat proses *Squeeze* atau saat pemberian tekanan.
3. Pembersihan kawat yang akan digunakan dan pelurusan susunan kawat agar jarak antar kawat dapat teratur.



## DAFTAR PUSTAKA

1. \_\_\_\_\_, *About Armor and Ballistic Materials*, <http://materials.globalspec.com>,
2. 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.
3. 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
4. Bhagat, R.B. *High Pressure Squeeze Casting of Stainless Steel Wire Reinforced Aluminium Matrix Composites*. Indian Institute of Technology, India; 1988
5. Anne Lisse Dons; *On The Effect of Additions of Cu and Mg on The Ductility of AlSi Foundry Alloys Cast with a Cooling Rate of Approximately 3 K/s*; Elsevier;2005
6. American Foundrymen's Society Inc. *Aluminium casting Technology*, (Illinois,1993)
7. ASM International. *ASM Handbook Volume 15 : Casting* (ohio : American Society for Metals,1978)
8. Hatch, John E. *Aluminum Properties and Physical Metallurgy*. American Society for Metals : Metal Parks, Ohio. 1995.
9. Kaufmann, Gilbert J.; Rooy, Elwin L. *Aluminium Alloy Casting : Properties, Process, and Applications*. Ohio : ASM International ( The Materials Information Society). 2005.
10. *Metallurgy Aluminum*. (1998). *Modification of Aluminium Silicon Foundry Alloys*. (n.d). London and Scandinavian Metallurgical.
11. Chawla, K.K., *Composite Materials: Science & Engineering, 2nd edition*, Springer-Verlag, New York, 1999

12. Callister, William D., *Materials Science and Engineering An Introduction*, New York: John Wiley and Sons, 2003
13. Zulfia, Anne. Materi Kuliah Komposit.2008
14. ASM Handbook Volume 21, Composites. USA: ASM Internasional.1990
15. Clyne, T.W., 2001. Metal Matrix Composite: Matrices and Processing. Elsevier Science to be published in “Encyclopedia of Materials: Science and Technology” §3.7 – “Composites: MMC, CMC, PMC”, A Mortensen (ed), Elsevier, 2001
16. material.eng.usm.my/stafhome/mariatti/EBB324/**Komposit**%20Iphase.ppt
17. <http://www.face-kyowa.com/en/learning/learning1.html>
18. <http://www.ramehart.com/goniometers/images/ca1.jpg>
19. Tjitro, Soejono; Pengecoran *Squeeze*; Dosen Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra
20. Saptono, Dr. Rahmat; Diktat Praktikum Teknik Pengubahan Bentuk; Departemen Metalurgi dan Material Universitas Indonesia, 2009
21. Ca'ceres, C.H.; The Effect of Cu Content on The Level of Microporosity in Al-Si-Cu-Mg Casting Alloys; University of Queensland, Brisbane, Australia; 1998
22. Bambang Suharno, Lecture kuliah Teknik Pembentukan Logam “Paduan Aluminium Silikon” 2009.
23. Bichler, L., Elsayed, Influence of Mold and Pouring Temperatures on Hot Tearing Susceptibility of AZ91D Magnesium Alloy. *International Journal of Metalcasting*, Vol. 2(1), pp.43-54.(2008).

**LAMPIRAN 1**  
**DATA UJI KOMPOSISI SPEKTRO**

AVERAGE:Cu 2		
29.6.2010 14:34:20		
Al	91.79	0.67187
Si	4.58	0.60781
Mg	< 0.0090	0.00011
Cu	1.92	0.04559
Mn	0.018	0.00019
Zn	0.087	0.00162
Ni	< 0.00	0.00717
Fe	< 0.081	0.00546
Pb	0.051	0.00266
Bi	0.017	0.01013
Cr	0.0022	0.00057
Ti	< 0.011	0.00015
Sn	< 0.00	0.00102
V	0.0007	0.00058
Ca	0.0021	0.00027
Be	0.0001	0.00000

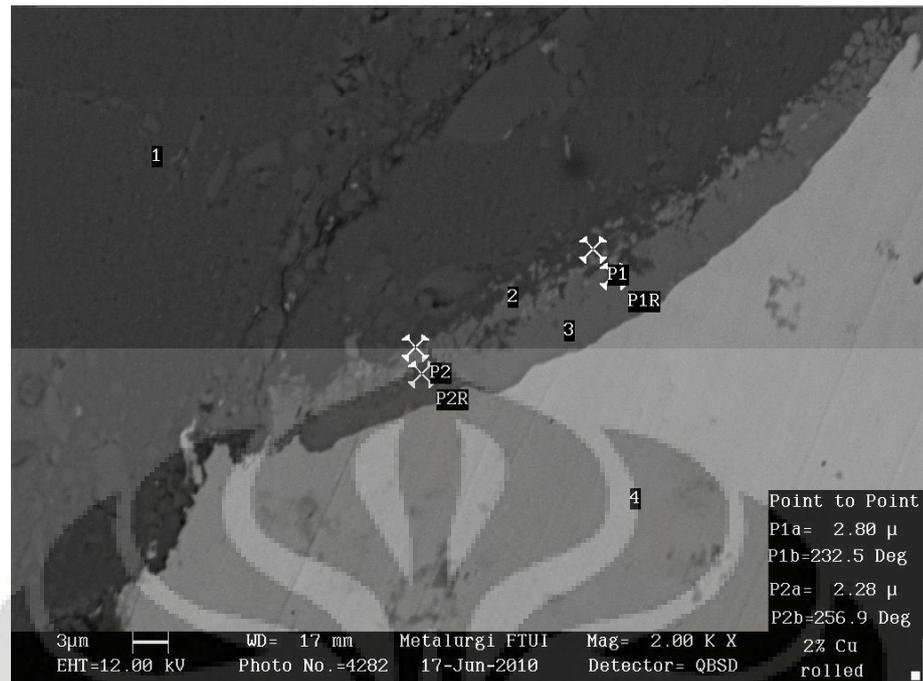
  

AVERAGE:Cu 3		
29.6.2010 14:37:55		
Al	92.22	0.06103
Si	6.00	0.02554
Mg	< 0.0090	0.00006
Cu	2.14	0.02766
Mn	0.018	0.00004
Zn	0.089	0.00071
Ni	< 0.00	0.00956
Fe	< 0.081	0.00432
Pb	0.054	0.00049
Bi	0.019	0.00008
Cr	0.0018	0.00098
Ti	< 0.011	0.00049
Sn	< 0.00	0.00205
V	< 0.00	0.00094
Ca	0.0011	0.00027
Be	0.0001	0.00000

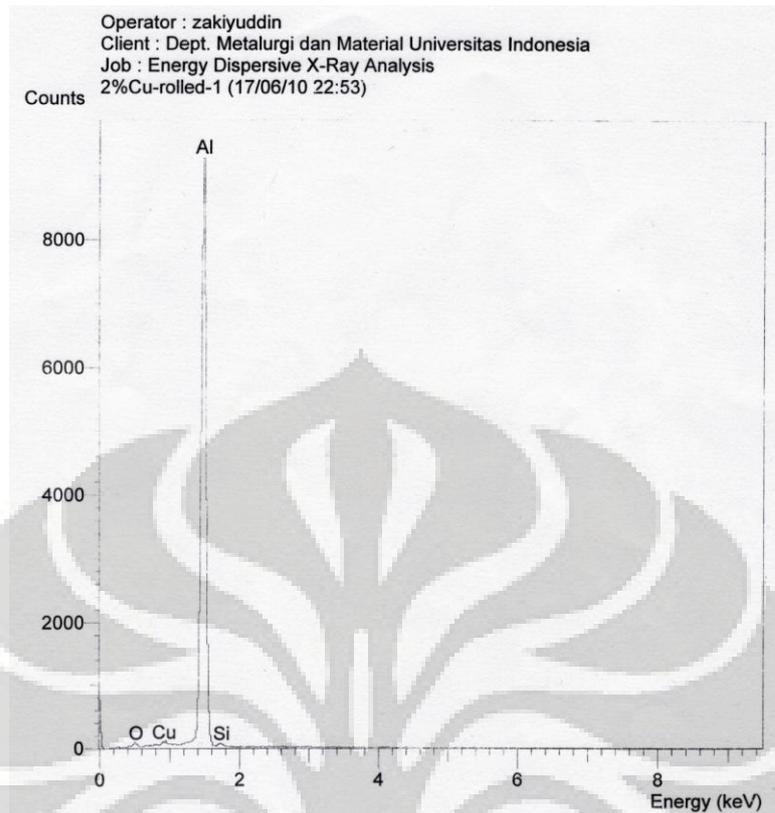
  

AVERAGE:Cu 4		
29.6.2010 14:39:49		
Al	90.19	0.22353
Si	6.40	0.14477
Mg	< 0.0090	0.00007
Cu	3.75	0.07843
Mn	0.018	0.00014
Zn	0.085	0.00080
Ni	< 0.00	0.00484
Fe	< 0.081	0.00819
Pb	0.051	0.00399
Bi	0.012	0.00519
Cr	0.0014	0.00159
Ti	< 0.011	0.00092
Sn	< 0.00	0.00008
V	0.0010	0.00043
Ca	0.0008	0.00022
Be	0.0001	0.00000

**LAMPIRAN 2**  
**HASIL PENGUJIAN SEM**  
**(Lapisan Intermetalik)**



**Hasil EDAX Titik 1**



### Hasil EDAX Titik 1 (Persentasi komposisi)

SEMQuant results. Listed at 22:55:26 on 17/06/10  
 Operator: zakiyuddin  
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia  
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 Spectrum label: 2%Cu-rolled-1

System resolution = 60 eV

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

1 peak possibly omitted: -0.02 keV

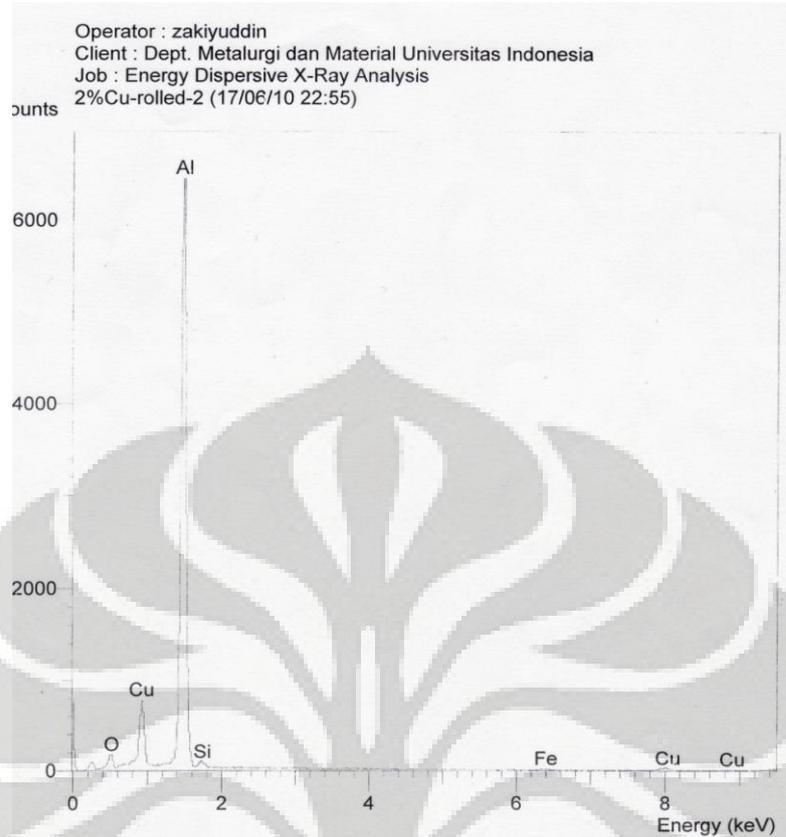
Standards :

O K AL2O3 17/11/09  
 Al K AL2O3 17/11/09  
 Si K Low Carbon Steel 13/09/06  
 Cu K Copper 22/03/06

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
O K	ED	1.67	2.80
Al K	ED	95.38	94.95
Si K	ED	1.86	1.78
Cu K	ED	1.09*	0.46*
Total		100.00	100.00

\* = <2 Sigma

### Hasil EDAX Titik 2



### Hasil EDAX Titik 2 (Persentasi komposisi)

SEMQuant results. Listed at 22:57:22 on 17/06/10  
 Operator: zakiyuddin  
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia  
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 Spectrum label: 2%Cu-rolled-2

System resolution = 60 eV

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

1 peak possibly omitted: -0.02 keV

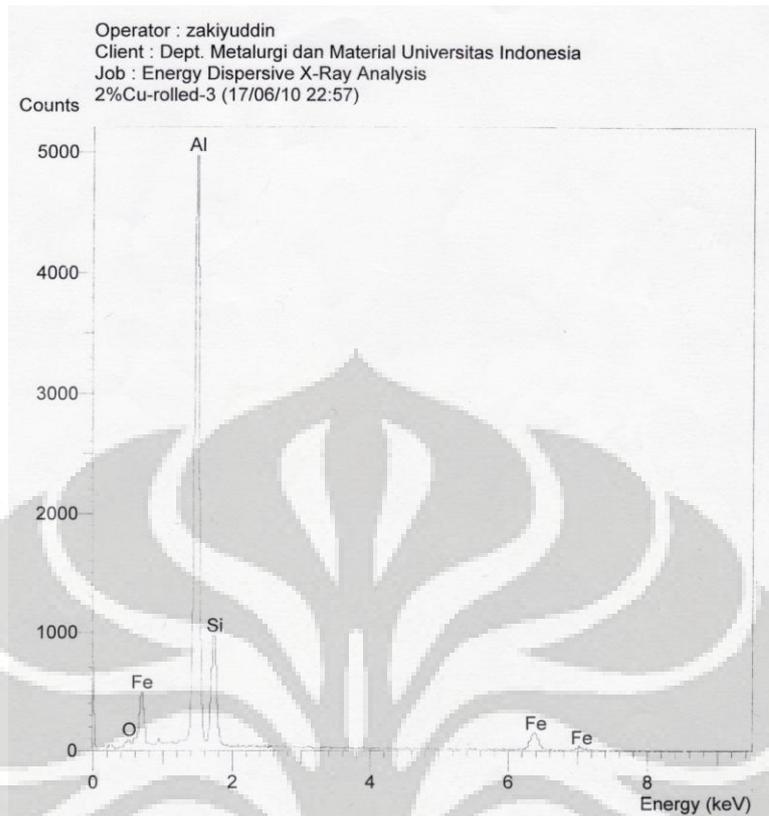
Standards :

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  
 Cu K Copper 22/03/06

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
O K	ED	2.98	5.91
Al K	ED	66.53	78.05
Si K	ED	1.21	1.37
Fe K	ED	1.40	0.79
Cu K	ED	27.88	13.89
Total		100.00	100.00

\* = <2 Sigma

### Hasil EDAX Titik 3



### Hasil EDAX Titik 3 (Persentasi komposisi)

SEMQuant results. Listed at 22:58:48 on 17/06/10  
 Operator: zakiyuddin  
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia  
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 Spectrum label: 2%Cu-rolled-3

System resolution = 60 eV

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

1 peak possibly omitted: -0.02 keV

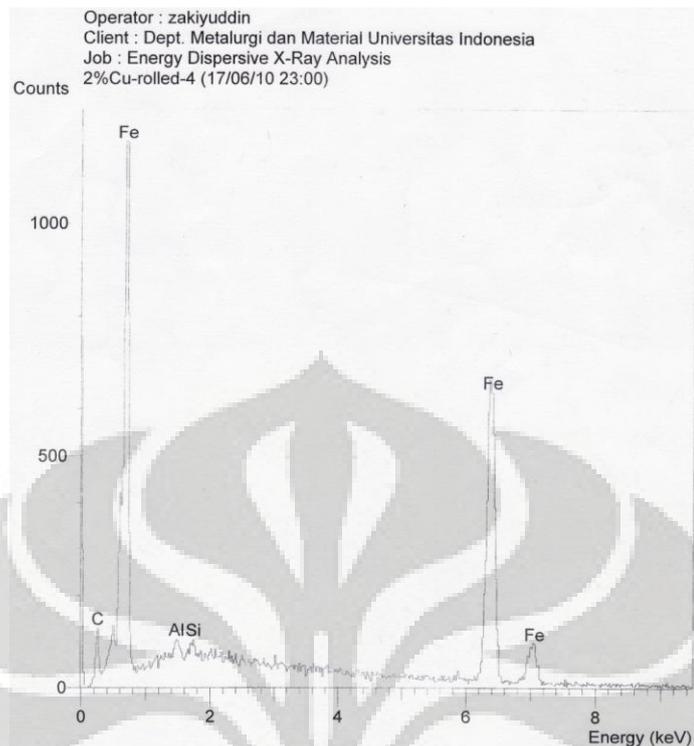
Standards :

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. Type	Element %	Atomic %
O K	ED	2.26	4.42
Al K	ED	57.77	66.85
Si K	ED	11.55	12.84
Fe K	ED	28.42	15.89
Total		100.00	100.00

\* = <2 Sigma

### Hasil EDAX Titik 4



### Hasil EDAX Titik 4 (Persentasi komposisi)

SEMQuant results. Listed at 23:02:26 on 17/06/10  
 Operator: zakiyuddin  
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia  
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 Spectrum label: 2%Cu-rolled-4

System resolution = 60 eV

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

1 peak possibly omitted: -0.02 keV

Standards :

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

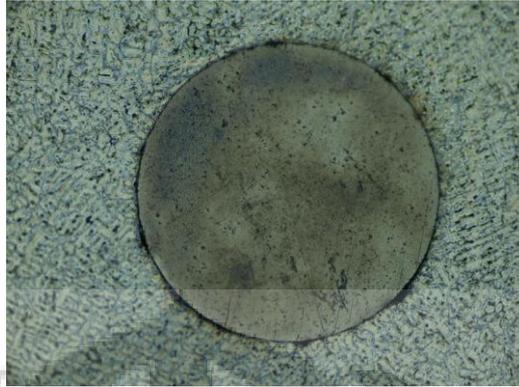
Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	0.36	1.64
Al K	ED	0.51	1.03
Si K	ED	0.26	0.50
Fe K	ED	98.88	96.83
Total		100.00	100.00

\* = <2 Sigma

### LAMPIRAN 3

### FOTO STRUKTUR MIKRO

**1. Al-7Si-1,92Cu Sebelum di Canai\**

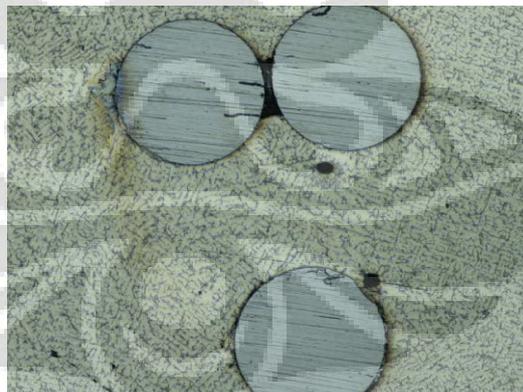


Perbesaran 50x

**2. Al-7Si-1,92Cu Setelah di Canai**

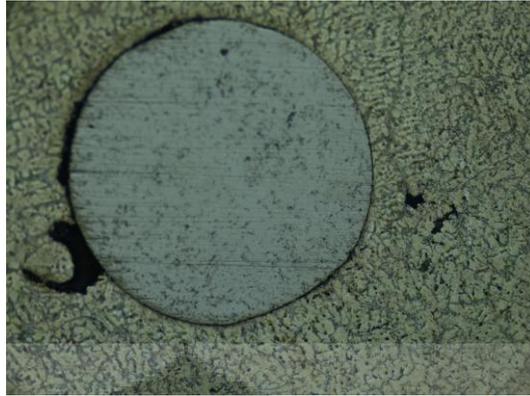


Perbesaran 10x



Perbesaran 10x

**3. Al-7Si-2,14 Cu Sebelum di Canai**



Perbesaran 50x

#### 4. Al-7Si-2,14 Cu Setelah di Canai

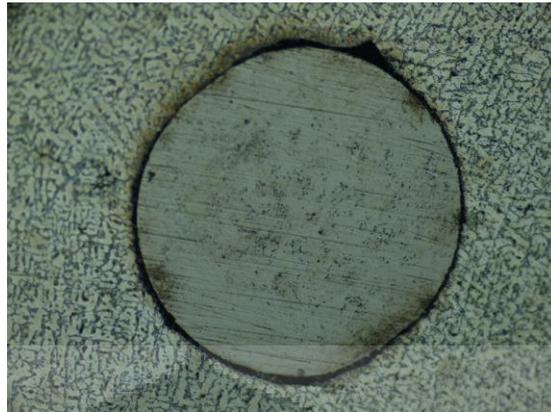


Perbesaran 10x



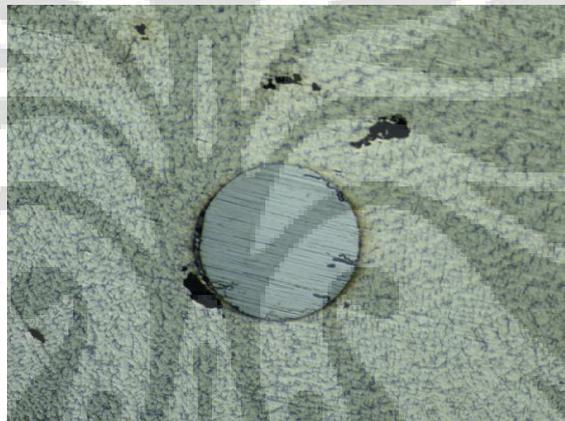
Perbesaran 10x

#### 5. Al-7Si-3,75 Cu Sebelum di Canai

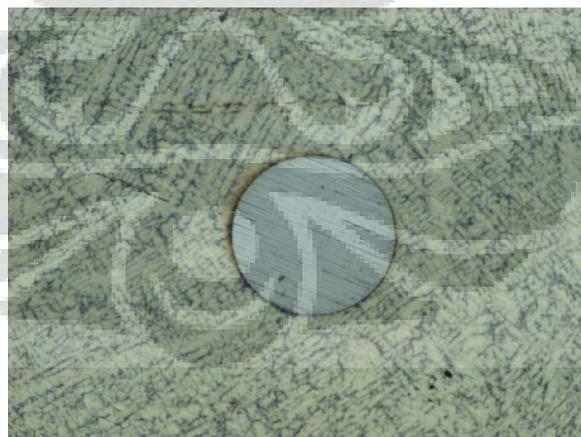


Perbesaran 50x

#### 6. Al-7Si-3,75 Cu Setelah di Canai



Perbesaran 10x



perbesaran 10x



Perbesaran 10x



Perbesaran 10x