

**PENGARUH VARIASI DIMENSI SCRAP TEMBAGA (Cu) TERHADAP  
KESETIMBANGAN UNSUR PADUAN DAN PERUBAHAN  
MIKROSTRUKTUR HASIL PENGECORAN Al-Cu**

**SKRIPSI  
KONSENTRASI TEKNIK MATERIAL**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

**FEBRIENNI BINARWATI WAHYUDI  
NIM. 0810620058 - 62**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2012**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**PENGARUH DIMENSI SCRAP TEMBAGA (Cu) TERHADAP  
KESETIMBANGAN UNSUR DAN PERUBAHAN  
MIKROSTRUKTUR HASIL PENGECORAN Al-Cu**

**SKRIPSI  
KONSENTRASI TEKNIK MATERIAL**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

**FEBRIENNI BINARWATI WAHYUDI**  
**NIM. 0810620058-62**

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Dr. Ir. Wahyono Suprpto, MT, Met.**  
**NIP. 19551117 198601 1 001**

**Femiana Gapsari M F, ST., MT.**  
**NIP. 19820704 200812 2 002**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGARUH DIMENSI SCRAP TEMBAGA (Cu) TERHADAP  
KESETIMBANGAN UNSUR DAN PERUBAHAN  
MIKROSTRUKTUR HASIL PENGECORAN Al-Cu**

**SKRIPSI  
KONSENTRASI TEKNIK MATERIAL**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh :

**FEBRIENNI BINARWATI WAHYUDI  
NIM. 0810620058-62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
Tanggal 14 Juni 2012

**Skripsi 1**

**Skripsi 2**

**Sugiarto, ST., MT.  
NIP. 19690417 199512 1 001**

**Ir. Hastono Wijaya, MT.  
NIP. 19601204 198601 1 002**

**Komprehensif**

**Ir. Handono Sasmito, M.Eng.Sc.  
NIP. 19480216 198003 1 001**

**Mengetahui**

**Ketua Jurusan Teknik Mesin**

**Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.  
NIP. 19720903 199702 1 001**

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena hanya dengan limpahan rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Pengaruh Variasi Dimensi *Scrap* Tembaga (Cu) terhadap Keseimbangan Unsur Paduan dan Perubahan Mikrostruktur Hasil Pengecoran Al-Cu".

Penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu menyelesaikan skripsi ini, terutama kepada :

1. Dr. Slamet Wahyudi, ST.,MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
2. Dr. Eng. Anindito Purnowidodo, ST.,M. Eng, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
3. Dr. Ir. Wahyono Suprpto, M. Met. selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Teknik Material dan Dosen Pembimbing I.
4. Femiana Gapsari, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing II.
5. Dr. Eng. Yudy Surya Irawan, ST.,M. Eng, selaku Dosen Wali dan Kepala Laboratorium Pengecoran Logam.
6. Kedua orang tua tercinta Bapak Wahyudi Budi Basuki, SE. dan Ibu Erni Meirawati yang selalu memberikan dukungan baik dalam materi dan moril serta doa, kesabaran dalam membesarkan ananda.
7. Seluruh Staf Pengajar dan Administrasi Jurusan Teknik Mesin.
8. Bapak Gatot dan teman-teman asisten Lab. Pengecoran Logam Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
9. Bapak Suhastomo dan asisten Lab. Pengujian Bahan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
10. Teman-teman Jurusan Teknik Mesin UB yang selalu mendukung, khususnya Teknik Mesin UB angkatan 2008.
11. Seluruh pihak terkait yang telah membantu dan tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca, masyarakat pada umumnya dan mahasiswa Teknik Mesin pada khususnya.

Malang, Januari 2012

Penulis



## DAFTAR ISI

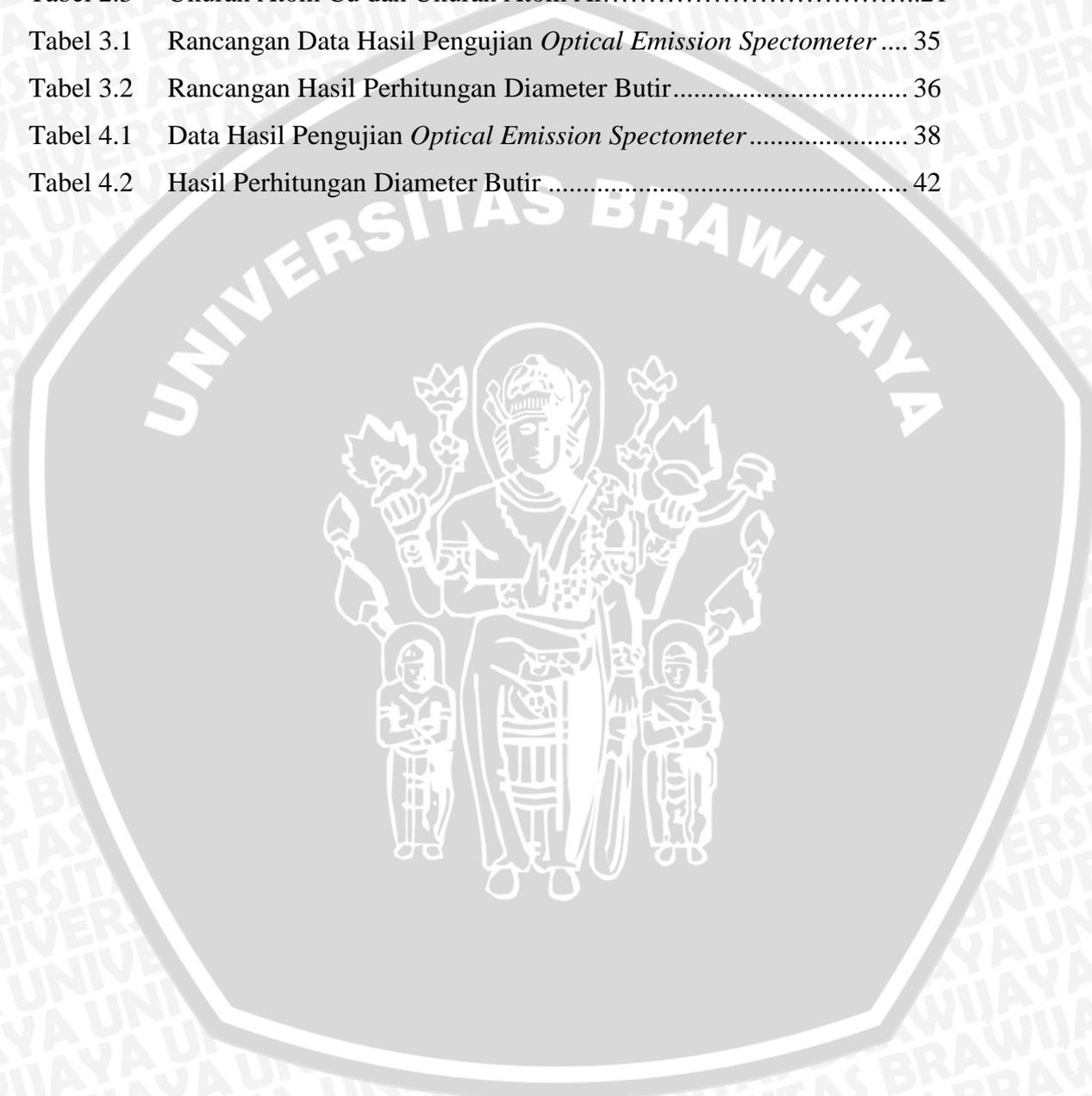
	Halaman
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	viii
<b>RINGKASAN</b> .....	ix
 <b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
 <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Penelitian Sebelumnya .....	4
2.2 Pengecoran Logam.....	5
2.2.1 Pengertian Pengecoran Logam.....	5
2.2.2 Klasifikasi Pengecoran Logam .....	5
2.2.3 Pembekuan Logam.....	9
2.3 Aluminium .....	12
2.3.1 Klasifikasi Paduan Aluminium .....	13
2.3.2 Pengaruh Unsur Paduan .....	15
2.3.3 Sifat-sifat Aluminium Paduan.....	17
2.3.4 Paduan Aluminium Tembaga (Al-Cu).....	18
2.4 Difusi.....	19
2.5 Kesetimbangan Unsur Paduan .....	24
2.6 Metode Plannimeter .....	25
2.7 Hipotesis.....	26
 <b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Metode Penelitian .....	27
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian .....	27
3.3 Variabel Penelitian.....	27

3.3.1	Variabel Bebas .....	27
3.3.2	Variabel Terikat .....	27
3.3.3	Variabel Terkontrol .....	28
3.4	Alat dan Bahan yang Digunakan .....	28
3.4.1	Alat yang Digunakan.....	28
3.4.2	Bahan yang Digunakan .....	32
3.5	Cara Pengoperasian Tungku <i>Reverberatory</i> .....	33
3.6	Prosedur Penelitian .....	34
3.6.1	Prosedur Percobaan.....	34
3.6.2	Prosedur pengambilan dan pengolahan data.....	35
3.7	Diagram Alir Penelitian .....	37
<b>BAB IV HASIL PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN</b>		
4.1	Data dan Perhitungan Hasil Pengujian .....	38
4.1.1	Data Hasil Pengujian Komposisi .....	38
4.1.2	Hasil Perhitungan Diameter Butiran .....	38
4.2	Pembahasan.....	43
4.2.1	Analisa Pengaruh Dimensi <i>Scrap</i> Tembaga Terhadap Prosentase Cu yang Terlarut.....	43
4.2.2	Analisa Pengaruh Dimensi <i>Scrap</i> Tembaga Terhadap Perubahan Diameter Butiran.....	44
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>		
5.1	Kesimpulan.....	45
5.2	Saran.....	45
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		
<b>LAMPIRAN</b>		
	Lampiran.....	47



## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Klasifikasi Paduan Aluminium Tempa.....	14
Tabel 2.2	Klasifikasi Paduan Aluminium Coran.....	15
Tabel 2.3	Ukuran Atom Cu dan Ukuran Atom Al.....	21
Tabel 3.1	Rancangan Data Hasil Pengujian <i>Optical Emission Spectrometer</i> ....	35
Tabel 3.2	Rancangan Hasil Perhitungan Diameter Butir.....	36
Tabel 4.1	Data Hasil Pengujian <i>Optical Emission Spectrometer</i> .....	38
Tabel 4.2	Hasil Perhitungan Diameter Butir .....	42



## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Tahapan Pengecoran Dengan Cetakan Pasir.....	6
Gambar 2.2	Tahapan Pengecoran Dengan Cetakan Permanen.....	7
Gambar 2.3	Bagian tebal yang Dapat Mengakibatkan Rongga Penyusutan.....	8
Gambar 2.4	Perubahan Desain Untuk Menghindari Pemakaian Inti.....	9
Gambar 2.5	Diagram Perbandingan Waktu dan Temperatur pada Proses Pendinginan.....	10
Gambar 2.6	Diagram keseimbangan untuk dua jenis logam yang terlarut penuh.....	10
Gambar 2.7	Proses Pembekuan Logam dari Logam Cair Hingga membeku.....	11
Gambar 2.8	Diagram Fasa Al – Cu.....	19
Gambar 2.9	Mekanisme Difusi Intertisi.....	22
Gambar 2.10	Mekanisme Difusi <i>Vacancy</i> .....	22
Gambar 2.11	Mekanisme Difusi pada Paduan.....	24
Gambar 2.12	Mekanisme <i>Self-diffusion</i> .....	24
Gambar 3.1	Tungku <i>Reverberatory</i> .....	28
Gambar 3.2	Cetakan Logam.....	29
Gambar 3.3	Kowi.....	29
Gambar 3.4	Timbangan Elektrik.....	30
Gambar 3.5	<i>Infrared Thermometer</i> .....	30
Gambar 3.6	Pengaduk Baja.....	31
Gambar 3.7	Penjepit Baja.....	31
Gambar 3.8	<i>Digital Micro Vickers Hardness Tester</i> .....	32
Gambar 3.9	<i>Ingot</i> Aluminium.....	32
Gambar 3.10	<i>Scrap</i> Tembaga.....	33
Gambar 3.11	Instalasi Tungku <i>Reverberatory</i> .....	34
Gambar 3.12	Diagram Alir Penelitian.....	37
Gambar 4.1	Foto Mikro Dimensi <i>Scrap</i> Cu 5mm.....	38
Gambar 4.2	Foto Mikro Dimensi <i>Scrap</i> Cu 7.5mm.....	39
Gambar 4.3	Foto Mikro Dimensi <i>Scrap</i> Cu 10mm.....	40
Gambar 4.4	Foto Mikro Dimensi <i>Scrap</i> Cu 12.5mm.....	40
Gambar 4.5	Foto Mikro Dimensi <i>Scrap</i> Cu 15mm.....	41

Gambar 4.6 Grafik Hubungan Dimensi *Scrap* Tembaga terhadap Prosentase Cu yang Terlarut ..... 43

Gambar 4.7 Grafik Hubungan Dimensi *Scrap* Tembaga terhadap Diameter Butiran..... 44



## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran A	Hasil Pengujian <i>Optical Emission Spectrometer</i> .....47



## RINGKASAN

**FEBRIENNI BINARWATI WAHYUDI**, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juni 2012, *Pengaruh variasi Dimensi Scrap Tembaga (Cu) terhadap kesetimbangan Unsur Paduan dan Perubahan Mikrostruktur Hasil Pengecoran Al-Cu*, Dosen Pembimbing: Wahyono Suprpto dan Femiana Gapsari.

Teknologi pengecoran merupakan salah satu metode yang masih sering digunakan dalam sektor industri pengolahan logam karena metode ini memiliki keunggulan dalam beberapa hal yaitu dapat dipakai untuk membuat benda yang rumit, konstruksi obyek yang digunakan dapat lebih sederhana, dapat diproduksi secara massal dan lain-lain. Selain itu metode pengecoran merupakan metode dalam membuat logam paduan. Dari berbagai jenis material, salah satu jenis logam *non-ferrous* yang banyak digunakan adalah aluminium (Al). Salah satu paduan yang sering digunakan pada aluminium untuk meningkatkan sifat mekanik adalah tembaga (Cu).

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi dimensi *scrap* tembaga (Cu) sebanyak 5% yang diberikan pada pengecoran Al-Cu terhadap kesetimbangan unsur paduan dan perubahan mikrostruktur. Dimensi *scrap* Cu yang digunakan yaitu 5mm, 7.5mm, 10mm, 12.5 mm, dan 15mm. Temperatur peleburan yang digunakan adalah 900° selama 4jam dengan menggunakan tungku *reverberatory*.

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa pada temperatur dan waktu peleburan yang sama, semakin besar variasi dimensi *scrap* yang diberikan maka semakin kecil nilai tembaga yang terlarut dalam aluminium pada keadaan setimbang. Kemudian nilai pelarutnya yaitu aluminium semakin meningkat. Hal ini dikarenakan semakin besar dimensi maka semakin sulit tembaga (Cu) untuk larut dalam aluminium. Selain itu, semakin besar variasi dimensi *scrap* yang diberikan maka semakin besar pula diameter butiran yang terbentuk. Hal ini disebabkan tembaga yang belum terlarut sempurna dalam aluminium mengalami pendinginan maka inti yang terbentuk akan menghasilkan struktur butiran yang lebih besar.

Kata kunci: pengecoran, paduan aluminium, kesetimbangan unsur paduan, perubahan diameter butiran.



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Saat ini sektor industri telah menjadi prioritas utama dalam pembangunan nasional, selain itu dengan semakin dekatnya era globalisasi menyebabkan adanya tuntutan untuk mengembangkan dan menerapkan ilmu pengetahuan dan teknologi. Teknologi pengecoran merupakan salah satu metode yang masih sering digunakan dalam sektor industri pengolahan logam. Proses Pengecoran adalah salah satu teknik pembuatan produk dimana logam dicairkan dalam tungku peleburan kemudian dituangkan ke dalam rongga cetakan yang serupa dengan bentuk asli dari produk cor dan akan membeku sesuai bentuk pola cetakan. Dalam proses produksi, metode pengecoran dapat berfungsi untuk memadukan logam paduan. Selain itu metode ini memiliki keunggulan dalam beberapa hal, yaitu dapat dipakai untuk membuat benda yang rumit, konstruksi obyek yang digunakan dapat lebih sederhana, dapat diproduksi secara massal dan lain-lain. (Heine, 1985:1). Dari berbagai jenis material, salah satu jenis logam *non-ferrous* yang banyak digunakan adalah aluminium (Al). Dalam keadaan murni aluminium memiliki sifat ringan, tahan korosi, mampu mesin, namun untuk meningkatkan sifat mekanik dari aluminium umumnya dicampur dengan logam lain sehingga membentuk logam paduan. (Djaprie, 1990:63).

Salah satu paduan yang sering digunakan pada aluminium untuk meningkatkan sifat mekanik adalah tembaga (Cu). Nama lain dari aluminium paduan ini adalah duralumin. Dimana material duralumin mempunyai beberapa kelebihan yang diantaranya, mempunyai ketahanan korosi yang baik, sifat ketangguhan patah dan ketahanan leleh yang sangat tinggi dan dapat diberi perlakuan panas. Sebagai produk cor, duralumin memiliki bentuk akhir yang mendekati bentuk aslinya sehingga dapat proses pengerjaan akhirnya dapat diminimalis. Dalam dunia industri, duralumin dapat diaplikasikan pada produk seperti roda gigi, industri pesawat terbang, dan industri elektronik.

Untuk mendapatkan sifat mekanik yang baik dapat dilakukan dengan berbagai cara misalnya dengan pelapisan, pengelasan, pengecoran dan lain sebagainya. Dalam hal ini peneliti akan memadukan aluminium untuk meningkatkan sifat mekaniknya dengan menggunakan metode pengecoran. Dimana cetakan yang dilakukan dengan menggunakan *permanent mold casting*. Peneliti menggunakan variasi dimensi *scrap*

tembaga sebanyak 5% pada pengecoran Al-Cu. Dengan penambahan ukuran dimensi *scrap* tembaga maka akan mempengaruhi nilai kelarutan tembaga dalam aluminium sehingga akan menghasilkan struktur butiran yang berbeda. Dalam karakterisasi suatu logam paduan, pengaruh ukuran butir merupakan bagian terpenting yang perlu mendapatkan perhatian karena parameter ukuran butir akan menentukan kekuatan mekanis logam paduan (Djaprie,1990). Semakin kecil dimensi paduan yang ditambahkan ke aluminium akan menghasilkan struktur mikro yang lebih halus, sehingga akan meningkatkan homogenitas paduan, hal ini dapat meningkatkan sifat mekanik paduan. Pada pengecoran logam aluminium paduan ternyata masih banyak yang belum diketahui tentang pengaruh penambahan dimensi yang berbeda pada paduan terhadap kesetimbangan unsur dan perubahan bentuk mikrostruktur paduan tersebut.

Berdasarkan uraian diatas maka diperlukan suatu penelitian dengan melakukan variasi dimensi *scrap* tembaga pada pengecoran Al-Cu dan dilakukan pengujian komposisi kimia dengan menggunakan *spectometry* sehingga dapat mengetahui unsur yang terkandung pada paduan tersebut. Kemudian dilakukan foto mikro untuk mengetahui diameter butiran yang dihasilkan. Diharapkan dengan penelitian ini dapat dihasilkan hasil paduan yang berkualitas baik.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah “Bagaimana pengaruh dimensi *scrap* tembaga (Cu) terhadap kesetimbangan unsur paduan dan perubahan mikro struktur hasil pengecoran aluminium?”

### **1.3 Batasan Masalah**

Dalam memfokuskan penelitian ini, maka pembahasan diarahkan pada pengaruh variasi dimensi *scrap* tembaga terhadap prosentase kelarutan tembaga (Cu) dalam aluminium (Al) dan perubahan diameter butiran yang dihasilkan.

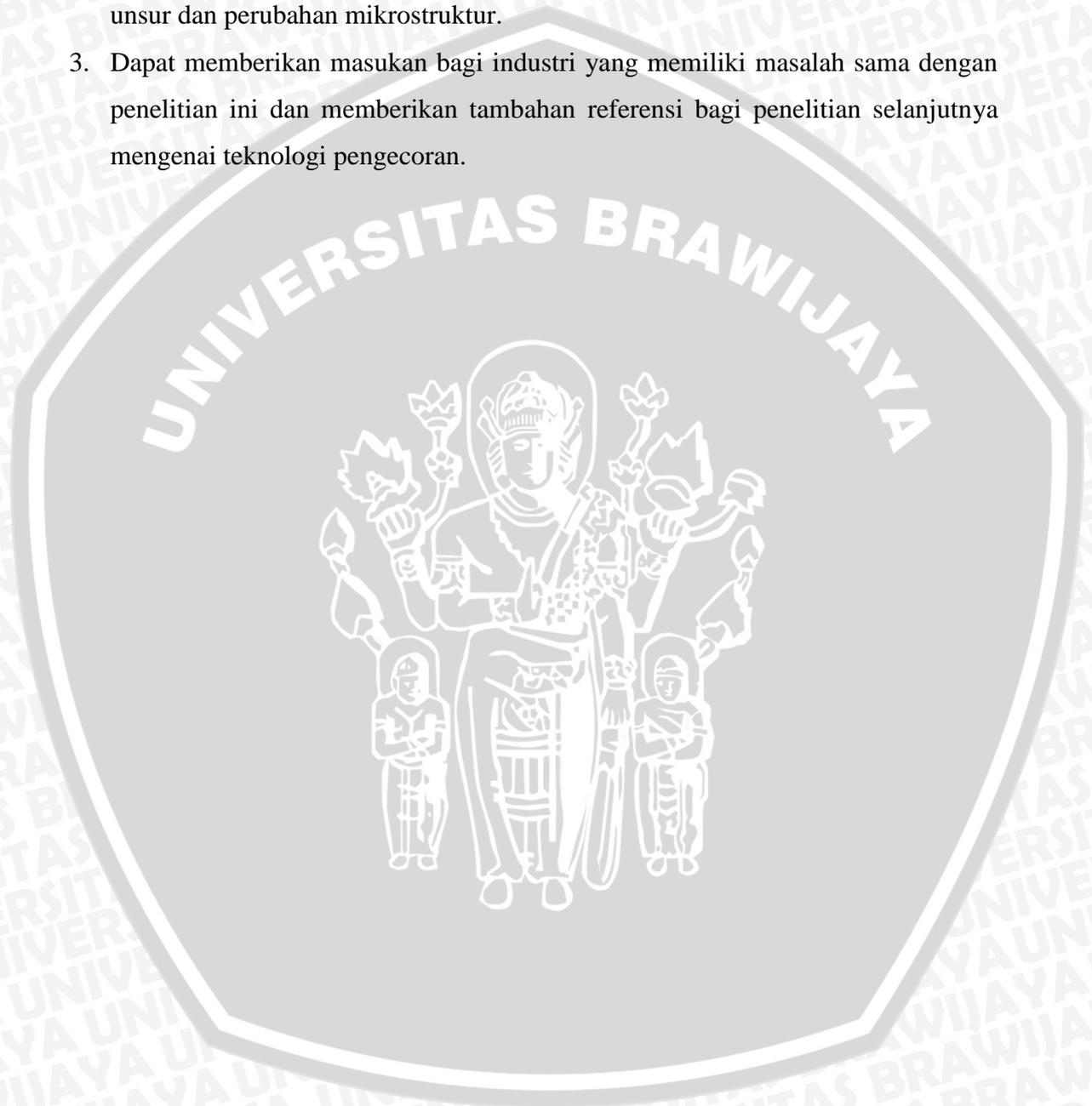
### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian dalam tugas akhir ini adalah untuk mengetahui pengaruh dimensi *scrap* tembaga (Cu) pada pengecoran logam paduan Al-Cu terhadap prosentase kelarutan tembaga (Cu) dalam aluminium (Al) dan perubahan diameter butiran.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Bagi peneliti dapat menerapkan teori yang telah didapatkan selama perkuliahan terutama dalam ilmu teknologi pengecoran logam.
2. Mengetahui pengaruh penambahan dimensi paduan terhadap kesetimbangan unsur dan perubahan mikrostruktur.
3. Dapat memberikan masukan bagi industri yang memiliki masalah sama dengan penelitian ini dan memberikan tambahan referensi bagi penelitian selanjutnya mengenai teknologi pengecoran.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Dari proses penelitian oleh Wahyono dkk (2010) menyatakan bahwa tembaga sebagai unsur paduan dalam duralumin berpengaruh pada kenaikan densitas massa hasil pengecoran. Secara eksplisit peningkatan kadar tembaga dalam paduan Al-Cu berpengaruh positif terhadap kenaikan densitas hasil pengecoran yang kenaikan persentase tembaga meningkatkan densitas massa dan porositas hasil pengecoran duralumin.

Soleh (2006), dengan judul Pengaruh Variasi Penambahan Tembaga dan Jenis Cetakan Pada Proses Pengecoran Terhadap Tingkat Kekerasan Paduan Aluminium Silikon. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa semakin besar tembaga yang diberikan maka kekerasannya semakin meningkat. Dimana kadar tembaga yang diberikan yaitu 2%, 5% dan 8%.

Ali (2010), dengan judul penelitiannya Analisa Struktur Mikro dan Fluiditas Paduan Aluminium Tembaga dengan Metode Pengecoran *Sand Casting*. Penelitian ini menggunakan komposisi tembaga sebesar 4wt%, 10wt% dan 33wt%. Hasil dari penelitian ini adalah semakin bertambahnya kandungan tembaga maka akan meningkatkan fluiditas paduan aluminium.

Atmaja (2011), dengan judul penelitiannya Analisis Sifat Mekanik Penambahan Unsur Cu Pada Coran Aluminium. Penelitian tersebut membandingkan kadar Cu pada hasil coran aluminium. Hasil dari penelitian tersebut menyatakan bahwa pemberian kadar Cu sebanyak 5% menghasilkan sifat mekanik hasil coran seperti kekerasan, kekuatan tarik dan kelelahan paling baik.

Masnur, Dedy (2005) dengan judul penelitian perubahan sifat fisis dan mekanis paduan aluminium 4% tembaga yang di-aging dengan variasi temperatur 160°C, 180°C, 200°C. Pada penelitian yang dilakukan diketahui bahwa paduan Al-Cu sebelum dilakukan perlakuan panas nilai kekerasan paduan diperoleh 42,5 kg/mm<sup>2</sup>. Dengan penambahan unsur tembaga pada aluminium dapat mengubah sifat mekanis dengan meningkatkan harga kekerasan, namun diikuti dengan penurunan ketangguhan yang berakibat bahan menjadi getas.

Masyrukan (2010), dengan judul analisis sifat fisis dan mekanis aluminium paduan daur ulang dengan menggunakan cetakan logam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa

dengan menggunakan cetakan logam dapat menghasilkan distribusi fasa yang lebih merata dibandingkan dengan menggunakan cetakan pasir sehingga dapat meningkatkan kekerasan dari hasil coran.

## 2.2 Pengecoran Logam

### 2.2.1 Pengertian Pengecoran Logam

Proses Pengecoran adalah salah satu teknik pembuatan produk dimana logam dicairkan dalam tungku peleburan kemudian di tuangkan kedalam rongga cetakan yang serupa dengan bentuk asli dari produk cor dan akan membeku sesuai bentuk pola cetakan. Dalam melakukan pengecoran logam terdapat beberapa urutan kegiatan yang harus dilakukan diantaranya adalah membuat cetakan, peleburan logam, penuangan logam, pembersihan hasil coran, dan pemeriksaan hasil coran.

Proses pengecoran logam merupakan salah satu dari metode pembentukan, yang mana metode pembentukan lainnya antara lain permesinan, penempaan, pengelasan, dan lain sebagainya. Proses pengecoran logam memiliki kelebihan dibandingkan dengan proses pembentukan yang lain. Kelebihannya antara lain:

1. Konstruksi dapat lebih sederhana.
2. Dapat digunakan untuk produksi misal.
3. Dengan proses ini kita dapat memperoleh sifat-sifat yang diinginkan.
4. Ukuran bervariasi, baik besar maupun kecil.
5. Untuk banyak logam.

### 2.2.2 Klasifikasi Pengecoran Logam

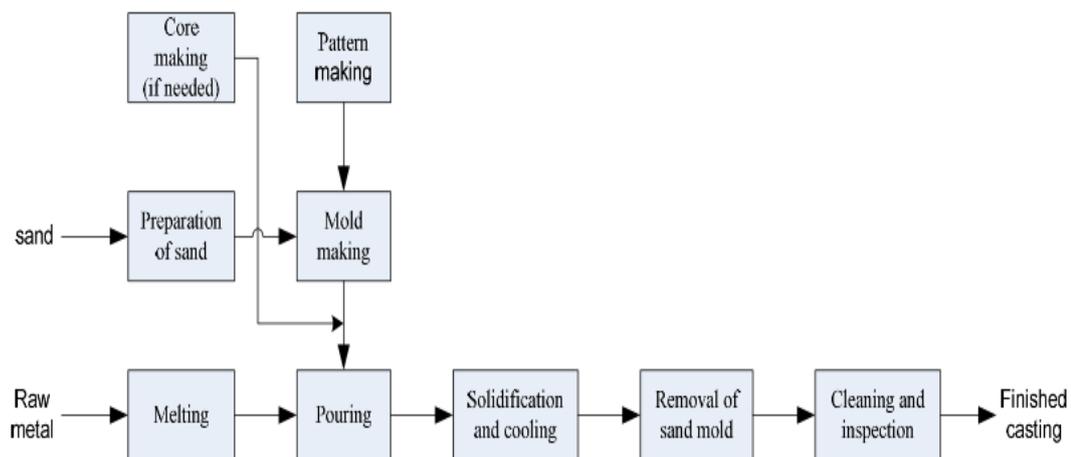
Klasifikasi pengecoran didasarkan pada bahan cetakan secara umum proses pengecoran dikelompokkan menjadi dua yaitu:

1. *Expandable mold casting*

*Expandable mold casting* adalah cetakan yang hanya bisa dipakai untuk sekali proses pengecoran. Pada proses pengecoran dengan cetakan sekali pakai, untuk mengeluarkan produk corannya cetakan harus dihancurkan. Jadi selalu dibutuhkan cetakan yang baru untuk setiap pengecoran baru, sehingga laju proses pengecoran akan memakan waktu yang relatif lama. Tetapi untuk beberapa bentuk geometri benda cor tersebut, cetakan pasir dapat menghasilkan coran dengan laju 400 suku cadang perjam atau lebih. Bahan cetakan umumnya adalah pasir, gips, keramik, dan material sejenis yang dicampur bahan pengikat. Salah satu macam

*expandable mold casting* adalah cetakan pasir yang tahapannya dapat dilihat pada gambar 2.1, dimana cetakan pasir merupakan cetakan yang paling banyak digunakan karena memiliki keunggulan sebagai berikut:

- Dapat mencetak logam dengan titik lebur yang tinggi, seperti baja, nikel dan titanium.
- Dapat mencetak benda cor dari ukuran kecil sampai dengan ukuran besar.
- Jumlah produksi dari satu sampai jutaan.



Gambar 2.1 Tahapan Pengecoran Dengan Cetakan Pasir

Sumber : Groover, 2010; 22

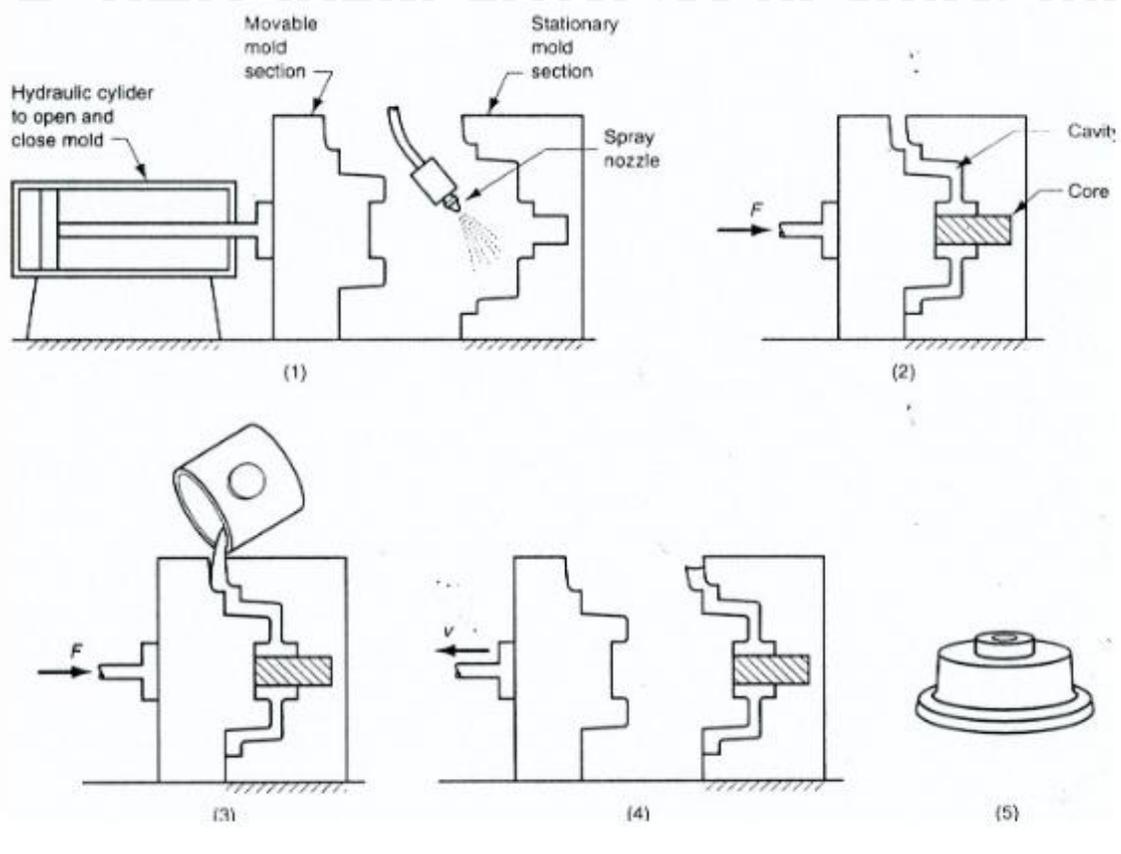
Beberapa indikator untuk menentukan kualitas cetakan pasir :

1. Kekuatan, kemampuan cetakan untuk mempertahankan bentuknya dan tahan terhadap pengikisan oleh aliran logam cair. Hal ini tergantung pada bentuk pasir, kualitas pengikat dan faktor-faktor yang lain.
2. Permeabilitas, kemampuan cetakan untuk membebaskan udara panas dan gas dari dalam cetakan selama operasi pengecoran melalui celah-celah pasir cetak.
3. Stabilitas termal, kemampuan pasir pada permukaan rongga cetak untuk menahan keretakan dan pembengkokan akibat sentuhan logam cair.

## 2. *Permanent mold casting*

*Permanent mold casting* adalah cetakan yang bisa dipakai berulang kali dan bahannya terbuat dari baja atau logam tahan panas. Dengan cetakan ini dihasilkan

permukaan produk cor yang halus. Berikut pada gambar 2.2 tahapan pengecoran dengan cetakan permanen.



Gambar 2.2 Tahapan Pengecoran Dengan Cetakan Permanen  
Sumber : Groover, 2010; 32

Keterangan gambar:

- (1) cetakan diberi pemanasan awal dan dilapisi (*coated*),
- (2) inti (bila digunakan) dipasang dan cetakan ditutup,
- (3) logam cair dituangkan ke dalam cetakan, dan
- (4) cetakan dibuka,
- (5) produk coran yang dihasilkan.

Perbedaan utama antara *sand casting* dan *permanent mold casting* terdapat pada logam cetakan prosesnya lambat dan biasanya pada *permanent mold* sifat mekanik lebih baik karena proses solidifikasi lebih cepat serta system salurannya tidak rumit. Keuntungan serta kerugian proses pengecoran dengan menggunakan *permanent mold casting* adalah sebagai berikut:

Keuntungan:

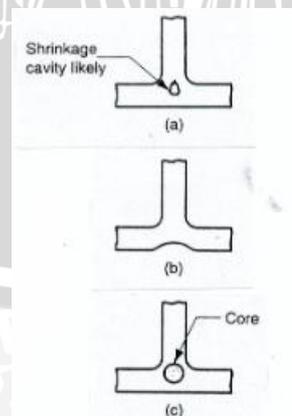
- Ketelitian ukuran sangat baik jika dibandingkan dengan pengecoran pasir, dapat membuat coran yang lebih ringan dan permukaan coran sangat halus.
- Struktur butir yang dihasilkan rapat sehingga diperoleh sifat mekanik dan sifat tahan tekanan yang baik.
- Mekanisasi dari proses adalah mudah dan produktifitas tinggi sehingga sesuai untuk produksi massal.

Kerugian:

- Cara permanent moldcasting ini tidak sesuai untuk jumlah produksi yang kecil disebabkan tingginya biaya cetakan logam.
- Tidak mudah untuk digunakan cetakan yang berbentuk rumit.
- Pembentukan cetakan logam sukar dan mahal sehingga diperlukan rencana pengecoran sebelum pengerjaan pembuatan cetakan logam.

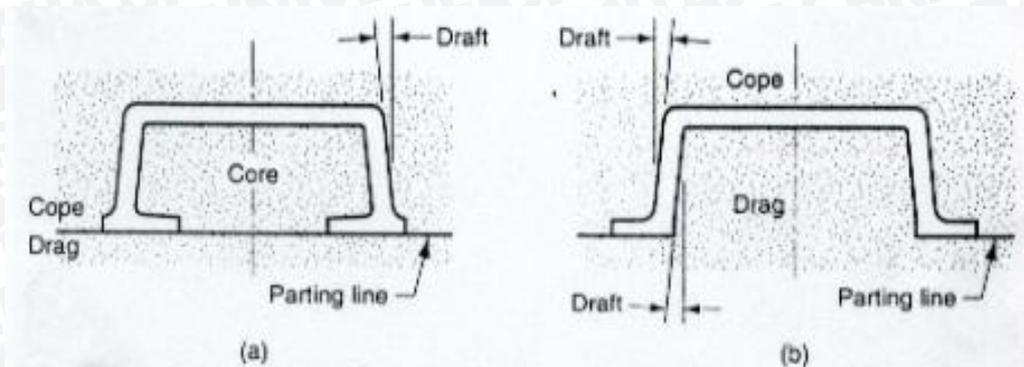
Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pembuatan produk coran seperti berikut:

1. Kesederhanaan geometri, untuk mempermudah proses percetakan.
2. Pojok/sudut, bagian-bagian yang bersudut tajam harus dihindari karena merupakan pemusatan tegangan yang dapat menimbulkan keretakan benda cor.
3. Ketebalan, setiap bagian sebaiknya memiliki ketebalan yang merata agar terhindar dari rongga penyusutan; Bagian yang tebal memerlukan waktu yang lebih lama untuk pembekuan dan pendinginannya, sehingga logam cair yang tersisa akan membentuk rongga (lihat gambar 2.3.a); Hal ini dapat diatasi dengan merubah desain (gambar 2.3.b) atau menggunakan inti (gambar 2.3.c)



Gambar 2.3 Bagian tebal yang Dapat Mengakibatkan Rongga Penyusutan  
Sumber : Groover, 2010; 48

4. Tirus (*draft*), untuk memudahkan mengeluarkan pola dari dalam
5. Penggunaan inti, perubahan kecil yang tidak terlalu penting dapat mengurangi penggunaan inti (gambar 2.4)

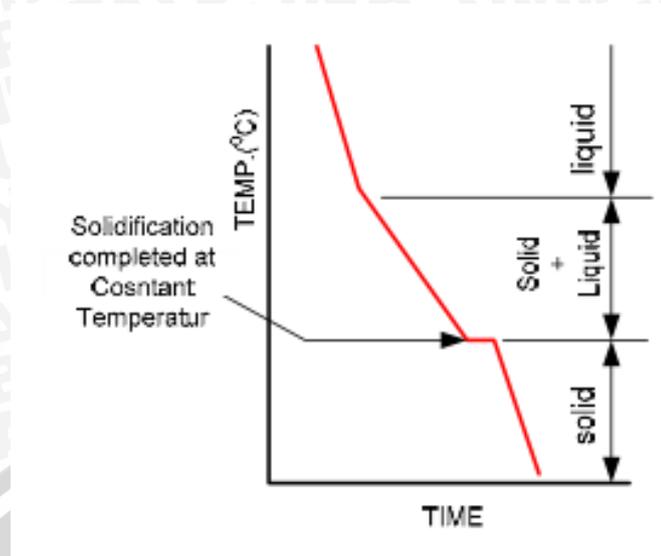


Gambar 2.4 Perubahan Desain Untuk Menghindari Pemakaian Inti  
Sumber : Groover, 2010; 49

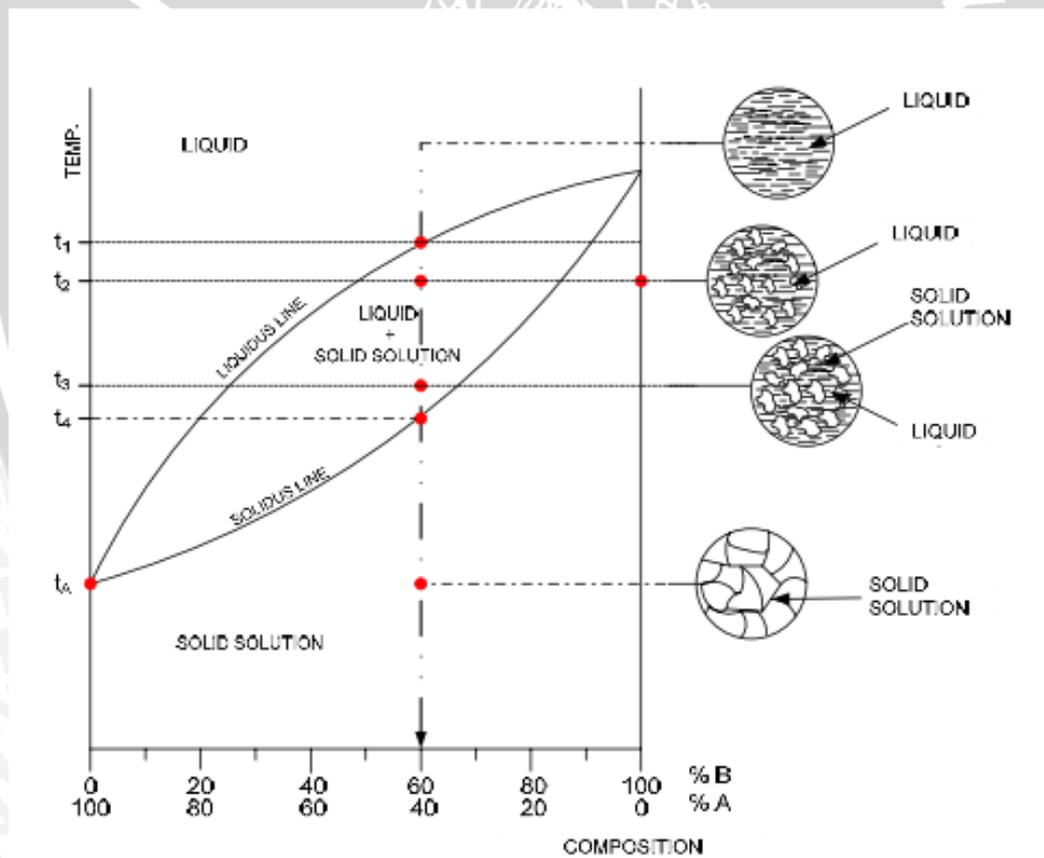
6. Toleransi dimensi dan penyelesaian permukaan, ketelitian dimensi dan penyelesaian permukaan tergantung pada jenis logam dan proses yang digunakan
7. Kelonggaran pemesinan, untuk beberapa jenis proses pengecoran, agar diperoleh dimensi yang lebih akurat perlu dilakukan pemesinan, sehingga desain cetakan harus memperhitungkan kelonggaran untuk proses pemesinan tersebut; Pada umumnya cetakan pasir memerlukan pemesinan

### 2.2.3 Pembekuan Logam

Pembekuan logam merupakan suatu proses penting dalam proses pengecoran dimana logam yang dicairkan dimasukkan dalam cetakan dan dibiarkan membeku menjadi produk akhir atau semi akhir. Gambar 2.5 memperlihatkan proses perubahan yang terjadi pada larutan padat logam paduan, dimana proses pendinginan mengakibatkan terjadinya proses perubahan larutan padat ke dalam bentuk padat pada temperatur tertentu. Sedangkan pada gambar 2.6 memperlihatkan proses pembentukan butiran yang terjadi pada saat proses pembekuan logam paduan.



Gambar 2.5 Diagram perbandingan waktu dan temperatur pada proses pendinginan  
 Sumber : Sudjana, 2008;122



Gambar 2.6 Diagram keseimbangan untuk dua jenis logam yang terlarut penuh  
 Sumber : Sudjana, 2008;126

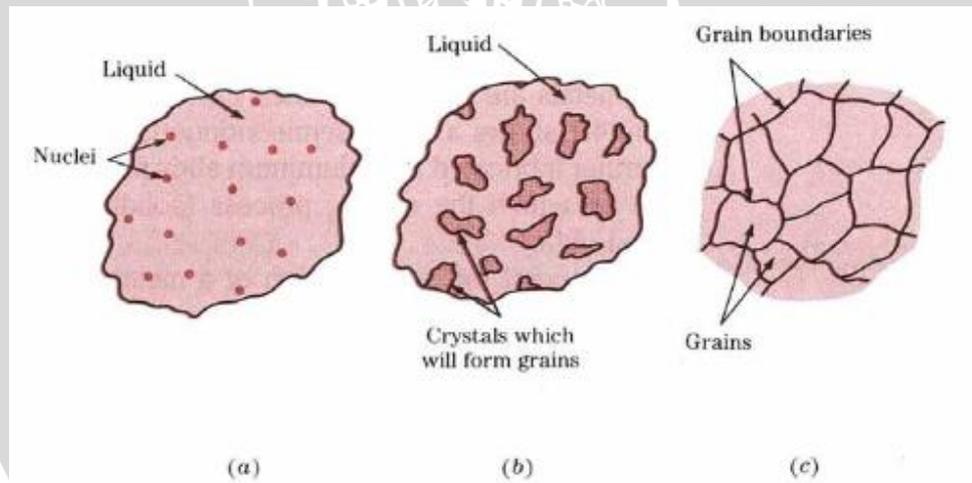
Secara umum pembekuan logam atau paduan dapat dibagi menjadi beberapa tahap yaitu:

1. Pembentukan inti

Pengintian adalah peristiwa dimana munculnya titik pada logam cair yang menjadi pusat pertumbuhan kristal padat. Inti dapat terbentuk dari beberapa kelompok atom pada daerah tertentu sehingga menyebabkan densitasnya melebihi densitas cair rata rata. Inti yang menjadi embrio kristal ini bersifat tidak kekal dan tidak stabil, tetapi beberapa yang mencapai ukuran kritis akan menjadi kekal dan stabil dan terjadi sedikit dibawah melting poin.

2. Pertumbuhan inti menjadi kristal dan pembentukan struktur sebuah butir

Pada gambar 2.7 menjelaskan setelah inti yang stabil terbentuk pada proses pembekuan maka inti tumbuh menjadi kristal atom yang berjajar beraturan dan memiliki arah yang berbeda-beda. Setelah pembekuan total terjadi, antar kristal saling bertemu membentuk batas butir (*grain boundaries*) dan butiran (*grain*).



Gambar 2.7 Proses pembekuan logam dari logam cair hingga membeku  
Sumber : Surdia, 2000:129

Bila logam inti yang terbentuk sedikit maka akan menghasilkan struktur butir yang kasar dan apabila logam inti yang terbentuk banyak maka struktur butirnya akan halus. Semakin halus struktur butirannya maka kekuatan dan homogenitas logamnya akan meningkat.

### 2.3 Aluminium

Aluminium berasal dari biji aluminium yang disebut bauksit. Untuk mendapatkan aluminium murni dilakukan proses pemurnian pada bauksit yang menghasilkan oksida aluminium atau alumina. Kemudian alumina ini dielektrosa sehingga berubah menjadi oksigen dan aluminium.

Aluminium ditemukan oleh Sir Humphrey Davy dalam tahun 1809 sebagai suatu unsur, dan pertama kali direduksi logam oleh H.C.Oersted tahun 1825, secara industri tahun 1886, Paul Heroult di Prancis dan C.M.Hall di Amerika Serikat secara terpisah telah memperoleh logam aluminium dari alumina dengan cara dari elektrolis dari garamnya yang terfusi. Sampai sekarang proses Heroult Hall masih dipakai untuk memproduksi aluminium. Penggunaan aluminium sebagai logam setiap tahunnya adalah pada urutan yang kedua setelah besi dan baja, yang tertinggi diantara logam non ferro. Aluminium merupakan logam ringan mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik dan sifat-sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam. Dengan ditambahnya paduan seperti Cu, Si, Mn, Mg, Zn, dan lainnya maka diperoleh kekuatan mekanik yang meningkat dan memberikan sifat-sifat baik lainnya seperti ketahanan korosi, kekerasan, ketahanan aus, dan sebagainya.

Hal ini dibuktikan dengan digunakannya aluminium paduan sebagai bahan pembuatan peralatan rumah tangga sampai dengan komponen pesawat terbang. Ini menandakan aluminium paduan sangat kuat dan ringan. Berikut ini dijelaskan lebih rinci tentang sifat-sifat yang dipunyai oleh paduan aluminium paduan antara lain :

#### 1. Kekerasan

Aluminium murni dengan kandungan sebesar 99,99% mempunyai kekerasan 17 BHN. Dengan penambahan unsur paduan dan perlakuan panas dapat diperoleh paduan aluminium dengan komposisi unsurnya 4,5% Cu, 1,5% Mg, 0,5% Mn yang biasa disebut dengan paduan 2024 mempunyai kekerasan 120 BHN. Paduan aluminium seri 2024 adalah hasil modifikasi dari aluminium seri 2017, kekerasan dari paduan aluminium seri 2017 adalah 118 BHN. Unsur paduan utamanya hampir sama dengan paduan aluminium seri 2024, yang membedakan hanyalah komposisinya yaitu 3,5 - 5 % Cu; 0,4 - 0,7 % Mg; 0,5 % Mn.

#### 2. Kekuatan Tarik

Harga kekuatan tarik suatu material diperoleh dari perbandingan antara beban maksimum selama tes dengan luas penampang awal material yang diuji. Untuk aluminium dengan kemurnian 99,99% memiliki nilai kekuatan tarik 4,9 kg/mm<sup>2</sup>.

Dengan memadukan aluminium murni dengan unsur paduan (Cu, Si, Mg, Mn) ditambah dengan melakukan pengerjaan panas atau dingin maka kekuatan tariknya dapat ditingkatkan.

3. Mampu bentuk

kekuatan aluminium yang berkisar antara 83 – 310 Mpa dapat dilipatkan melalui pengerjaan dingin atau pengerjaan panas. Dengan menambahkan unsur Paduan, pengerjaan panas atau dingin dan perlakuan panas dapat diperoleh paduan dengan kekuatan melebihi 700 Mpa. Paduan aluminium dapat ditempa, diekstrusi, dilengkungkan, diregang dan sebagainya.

4. Berat jenis

Aluminium mempunyai berat jenis yang rendah, untuk aluminium dengan kemurnian 99,99% mempunyai berat jenis  $2,699 \text{ gr/cm}^3$  pada suhu  $20^{\circ}\text{C}$ . Berat jenis tersebut dapat berubah dengan adanya penambahan unsur-unsur pada paduan, contohnya unsur paduan magnesium dan tembaga apabila ditambahkan sebagai paduan aluminium akan turun berat jenisnya.

5. Konduktifitas termal

Aluminium merupakan salah satu logam non - *ferrous* yang diketahui mempunyai daya hantar panas dan listrik yang tinggi setelah tembaga dan perak. Aplikasi dari aluminium sangat luas, bahkan digunakan sebagai bahan rangka pesawat terbang, alat – alat rumah tangga, komponen – komponen permesinan (baut dan mur, piston, *cylinder head*, dan alat - alat penukar kalor atau *heat exchanger*. Konduktifitas panas aluminium sering dimanfaatkan sebagai bahan utama dari alat - alat memasak atau alat penukar kalor, dengan alasan aluminium memiliki berat jenis yang rendah, lebih murah dan ringan jika dibandingkan dengan bahan - bahan penghantar lainnya. Konduktivitas termal sangat penting peranannya jika digunakan sebagai alat - alat penukar kalor, karena material yang digunakan berfungsi memindahkan energi panas untuk meningkatkan temperatur pada fluida kerja yang lain. Maka dari itu dibutuhkan suatu material dengan konduktivitas termal yang baik dan memiliki ketahanan pada temperatur tinggi.

### 2.3.1 Klasifikasi Paduan Aluminium

Paduan Al diklasifikasikan dalam berbagai standar oleh negara didunia. saat ini klasifikasi yang terkenal adalah *standart aluminium association* di Amerika (AA) yang berdasar pada Alcoa (Aluminium Company of America).

Paduan aluminium berdasar pemuaduannya dibagi menjadi dua yaitu :

1. Paduan aluminium tempa (*Wrought alloy*)

Dibuat dengan jalan *rolling, forming* (paduan tempa), *drawing, forging*, dan *press working* . Berupa barang setengah jadi misalnya batang, plat, dll. Paduan ini dapat diklasifikasikan berdasarkan komposisi kimianya. Berikut tabel 2.1 menunjukkan klasifikasi paduan aluminium tempa berdasarkan *Standart AA*.

Tabel 2.1 Klasifikasi paduan aluminium tempa

Standart AA (seri xxxx)	Standart Alcoa Terdahulu	Keterangan
1xxx(1001)	1S	Al murni 99.5% atau lebih
2xxx(1100)	2S	Al murni 99.0% atau lebih
2xxx(2010-2029)	10S-29S	Copper (Cu)
3xxx(3003-3009)	3S-9S	Manganese (Mn)
4xxx(4030-4039)	30S-39S	Silicon (Si)
5xxx(5050-5086)	50S-86S	Magnesium (Mg)
6xxx(6061-6069)	61S-69S	Magnesium dan silicon (Mg <sub>2</sub> Si)
7xxx(7070-7079)	70S-79S	Zinc (Zn)

Sumber : Surdia. 2000 : 134

2. Paduan aluminium cor (*Casting- Aluminium Alloy*)

Dibuat berdasarkan pengecoran (paduan tuang) dapat diklasifikasikan menurut *Standart AA* seperti pada tabel 2.2. Paduan ini merupakan paduan yang kompleks dari Al dengan Cu, Ni, Fe, Si, dan unsur lainnya.

Tabel 2.2 Klasifikasi paduan aluminium coran

Unsur Utama paduan	Seri
Aluminium, 99% atau lebih	1xx.x
Tembaga	2xx.x
Silikon dengan Cu dan/atau Mg	3xx.x
Silikon	4xx.x
Magnesium	5xx.x
Magnesium dan Silikon	6xx.x
Seng	7xx.x
Elemen lain	8xx.x

Sumber : De Garmo, 1997 : 176

Paduan tempaan dinyatakan dengan satu atau dua angka “S”, sedangkan paduan coran dinyatakan dengan 3 angka. Standar AA menggunakan penandaan dengan 4 angka sebagai berikut:

- Angka pertama menyatakan sistem paduan dengan unsur yang ditambahkan yaitu:
  1. Al-murni, 2. Al-Cu, 3. Al-Mn, 4. Al-Si, 5. Al-Mg, 6. Al-Mg-Si, 7. Al-Zn.
 Sebagai contoh paduan Al-Cu dinyatakan dengan angka 2000.
- Angka kedua menyatakan kemurnian yang dimodifikasi dan Al murni.
- Angka ketiga dan keempat dimaksudkan untuk tanda Alcoa terdahulu kecuali S, contohnya yaitu 3S sebagai 3003 dan 63S sebagai 6063.

### 2.3.2 Pengaruh Unsur Paduan

Dibawah ini uraian singkat tentang macam unsur paduan dan pengaruhnya terhadap sifat aluminium:

#### 1. Silikon (Si)

Silikon adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Si dan berat atom 28,0855 g. Penambahan silikon pada aluminium akan meningkatkan sifat mampu tuang pada proses pengecoran, peningkatan kekuatan tarik dan kekerasan serta berperan dalam penurunan keuletan dari paduan aluminium.

#### 2. Silikon dan Magnesium (Mg<sub>2</sub>Si)

Magnesium adalah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki simbol Mg dan berat atom 24,31 g. Perpaduan silikon dan magnesium dengan aluminium akan membentuk magnesium silikat (Mg<sub>2</sub>Si). Kebanyakan paduan aluminium

mengandung Si, sehingga penambahan Mg sangat diperlukan untuk memperoleh efek pengerasan dari  $Mg_2Si$ . Tetapi paduan ini menjadi getas sehingga untuk mengurangi hal tersebut penambahan magnesium dibatasi dari 0,03 sampai 0,1 %.

### 3. Tembaga (Cu)

Tembaga adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Cu dan berat atom 63,546 g. Tembaga merupakan unsur paduan yang paling banyak meningkatkan kekuatan tarik dan kekerasan pada paduan aluminium, akan tetapi disisi lain paduan dengan tembaga juga yang paling banyak mengurangi ketahanan korosi. Selain itu penambahan tembaga yang berlebihan dapat mengurangi keuletan paduan aluminium.

### 4. Nikel (Ni)

Paduan aluminium dengan nikel akan menghasilkan suatu sistem pengerasan pengendapan. Penambahan Ni dan Mn secara bersama-sama sangat efektif untuk memperbaiki keuletan aluminium.

### 5. Chromium (Cr)

Penambahan chromium dapat memperbaiki ketahanan korosi, sifat mampu las, tahan panas dan tidak mudah teroksidasi. Namun demikian jumlah chromium terhadap aluminium yang berlebihan akan menurunkan sifat mampu bentuknya.

### 6. Seng (Zn)

Seng (atau zinc) adalah unsur kimia dengan simbol kimia Zn dan berat atom 65,40 g. Seng umumnya ditambahkan bersama-sama dengan unsur tembaga dalam prosentase kecil. Dengan penambahan ini akan meningkatkan sifat-sifat mekanik pada perlakuan panas, juga kemampuan mesin.

### 7. Ferro (Fe)

Ferrous adalah sebuah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki simbol Fe dan berat atom 55,842 g. Penambahan *ferro* dimaksud untuk mengurangi penyusutan, tapi penambahan *ferro* (Fe) yang besar akan menyebabkan struktur perubahan butir yang kasar, namun hal ini dapat diperbaiki dengan Mg atau Cr.

### 8. Titanium

Penambahan titanium pada aluminium dimaksud untuk mendapat struktur butir yang halus. Biasanya penambahan bersama-sama dengan Cr dalam prosentase 0,1%, titanium juga dapat meningkatkan mampu mesin.

### 2.3.3 Sifat-sifat Aluminium Paduan

Berikut sifat dari aluminium paduan:

- Jenis aluminium murni (seri 1xxx)  
Jenis ini mengandung Al 99,9%. Aluminium dalam seri ini memiliki sifat yang baik dan ketahanan karat, konduktivitas listrik, mampu las, dan mampu potong. Jenis aluminium ini kurang menguntungkan dari kekuatannya yang rendah.
- Jenis paduan Al-Cu (seri 2xxx)  
Jenis paduan Al-Cu adalah jenis yang dapat dilaku panas dengan melalui pengerasan endapan. Sifat mekanik paduan ini dapat menyamai sifat dari baja lunak tetapi daya tahan korosinya lebih rendah bila dibandingkan dengan jenis paduan lainnya. Paduan aluminium-tembaga juga menghasilkan sifat yang keras dan kuat, namun rapuh. Beberapa jenis roda gigi menggunakan paduan Al-Cu. Penggunaan paduan Cu untuk mendapatkan tingkat kekerasan yang cukup dan memperpanjang usia benda akibat *fatigue*.
- Jenis paduan Al-Mn (seri 3xxx)  
Jenis paduan ini adalah jenis yang tidak dapat dilaku panas sehingga peningkatan kekuatannya hanya dapat diusahakan melalui pengerjaan dingin dalam proses pembuatannya. Bila dibandingkan dengan jenis aluminium murni, paduan ini mempunyai sifat yang sama dalam hal daya tahan korosi, mampu potong, dan sifat mampu lasnya. Dalam hal kekuatan jenis paduan ini lebih unggul daripada jenis aluminium murni.
- Jenis paduan Al-Si (seri 4xxx)  
Paduan Al-Si termasuk jenis paduan larut dalam keadaan cair dan tidak larut dalam keadaan padat. Sehingga paduan ini tidak dapat dilaku panas seperti paduan lainnya (seperti Al-Cu, Al-Mg, ataupun Al-Zn), namun jenis paduan ini dalam keadaan cair mempunyai sifat mampu alir yang baik, dan mempunyai sifat penyusutan yang kecil.
- Jenis paduan Al-Mg (seri 5xxx)  
Jenis ini termasuk paduan yang tidak dapat dilaku-panas, tetapi mempunyai sifat yang baik dalam daya tahan korosi, terutama korosi oleh air laut dan sifat mampu lasnya yang baik. selain itu paduan ini memiliki *machinability* yang bagus dan tampilan yang menarik entah hanya sebagai produk cor, dipoles, atau di *anodizing*.

- Jenis paduan Al-Mg-Si (seri 6xxx)

Jenis ini termasuk paduan yang dapat dilaku-panas, dan mempunyai sifat mampu potong, daya tahan korosi yang baik *thermal expansion* yang rendah, serta sifat mampu lasnya baik.

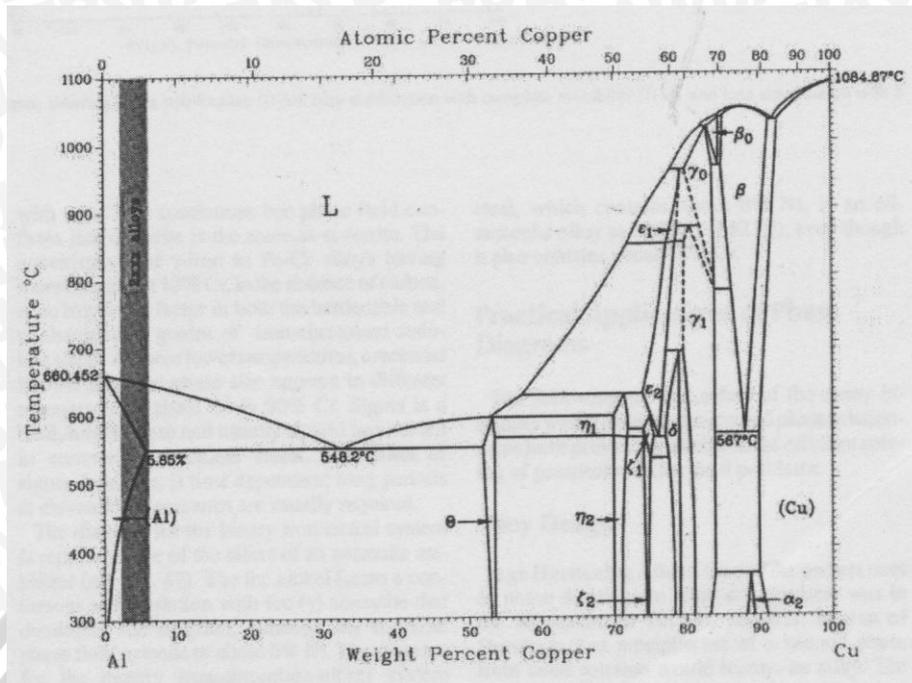
- Jenis paduan Al-Zn (seri 7xxx)

Jenis ini termasuk jenis paduan yang memiliki kekuatan tertinggi di antara paduan lainnya. Dapat dilaku-panas dan daya tahan korosinya lebih baik apabila ditambah dengan unsur paduan. Penggunaan paduan ini yang paling besar adalah untuk bahan kontruksi pesawat udara.

#### 2.3.4 Paduan Aluminium Tembaga (Al-Cu)

Paduan Al-Cu adalah suatu jenis paduan aluminium dengan bahan paduan utamanya adalah tembaga 2,5 – 5,0 % Cu; 0,4 - 0,7 % Mg; dan 0,5 % Mn. Paduan ini merupakan salah satu paduan yang dapat dilakukan perlakuan panas untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasannya. Paduan jenis ini yang terkenal adalah *duralumin* yaitu paduan aluminium dengan seri 2017. Untuk modifikasi paduan, biasanya ditambahkan Mg dan Mn dengan komposisi 4,5 % Cu; 1,5 % Mg; dan 0,5 % Mn sehingga didapatkan paduan dengan kekerasan yang tinggi dan sifat mampu bentuk yang rendah, paduan ini disebut dengan *duralumin super* (seri 2024). Penambahan *copper* dimaksudkan untuk memperbaiki sifat mampu mesin, meningkatkan kekerasan dan kekuatan.. Pelakuan panas pada paduan ini dilakukan pada prosentase paduan Cu kurang dari 5,6% Cu, karena merupakan prosentase maksimal terbentuknya fase tunggal dimana tembaga larut dalam aluminium sehingga dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasannya.

Diagram fasa dari dua komponen ditunjukkan oleh dua variabel yaitu prosentase unsur dan temperatur. Gambar 2.8 menunjukkan diagram fasa Al-Cu. Titik eutektik yang merupakan titik pada suhu terendah terjadinya pencairan dari paduan tanpa melewati fasa gabungan antara padat dan cair dan terletak pada 33,3%Cu dan temperatur 548°C. Pada paduan Al-4,5%Cu secara perlahan-lahan cairan akan membeku membentuk larutan  $\alpha$ , jika temperaturnya diturunkan. Dengan menurunnya temperatur maka akan semakin banyak unsur Cu yang larut dalam Al dan membentuk larutan padat  $\alpha$ , sampai semua unsur Cu akan larut dalam Al membentuk larutan fasa tunggal  $\alpha$ . Ketika temperatur semakin diturunkan, atom-atom Cu yang larut dalam matriks Al mulai berpresipitasi membentuk senyawa  $\alpha+Al_2Cu$ .



Gambar. 2.8 Diagram fasa Al – Cu  
Sumber : Heine,1985: 294

## 2.4 Difusi

Perlakuan panas melibatkan adanya aktivasi termal pada temperatur yang meningkat, maka teori difusi dapat menjelaskan fenomena perubahan mikrostruktur suatu logam yang sedang diproses dengan perlakuan panas. Difusi adalah peristiwa mengalirnya atau berpindahnya suatu zat dari bagian berkonsentrasi tinggi ke bagian berkonsentrasi rendah. Difusi terjadi apabila suhu pada suatu material naik maka akan menyebabkan atom-atomnya bergetar dengan energi yang lebih besar dan sejumlah kecil atom akan berpindah dalam kisi. Difusi dapat terjadi bila elemen yang berdifusi membentuk system larutan padat dalam matrik logam. Konsep dasar dari difusi dijelaskan sebagai berikut:

- Adanya migrasi atom-atom dalam material pada kondisi gas cair dan padat.
- Adanya gradien konsentrasi dalam bentuk termal dan potensial kimia.
- Terjadi secara distribusi dan intertisi.

Sesuai dengan *Fick's Law* pada kondisi *steady-state* dimana tidak adanya perubahan konsentrasi selama periode waktu tertentu maka fluks atau aliran atom merupakan perkalian antara koefisien difusi dengan konsentrasi gradient, sesuai dengan persamaan :

$$J = D \frac{dC}{dx} \quad (1)$$

Dimana :

$J$  = Fluks atau aliran atom ( atom / m<sup>2</sup> . s )

$D$  = Difusitas atau koefisien difusi (m<sup>2</sup>/s )

$dC/dx$  = Gradient konsentrasi ( atoms / m<sup>3</sup> . 1/m )

Jumlah atom yang berdifusi dalam satuan waktu melalui satu satuan luas penampang sepanjang satu satuan gradient konsentrasi disebut difusitas atau koefisien difusi. Sedangkan koefisien difusi bisa dihitung menggunakan persamaan *Arrhenius* :

$$D = D_0 \cdot \exp\left(\frac{-Q}{RT}\right) \quad (2)$$

Dimana :

$D$  = Koefisien difusi (m<sup>2</sup>/s)

$D_0$  = Koefisien difusi pada keadaan standar (m<sup>2</sup>/s)

$Q$  = Energi aktivasi: energi yang digunakan untuk memindahkan atom keposisi yang baru dalam kisi kristal (J/mol)

$R$  = Konstanta gas (8,314 J/(mol.°K) atau 1,987 kal/(mol °K))

$T$  = Temperatur absolut (°K)

Persamaan ini tidak dapat menjelaskan perubahan konsentrasi yang terjadi akibat pengaruh difusi, sehingga penggunaan hukum *Fick's I* hanya terbatas pada konsentrasi yang dianggap sama pada setiap posisi (*steady state*). Sehingga untuk menjelaskan perbedaan konsentrasi yang terjadi terhadap waktu (*non steady state*), *Fick's* mensubstitusikan hukum *Fick's I* yang dikenal dengan hukum *Fick's II* sebagai berikut:

$$\frac{\partial C_B}{\partial t} = D_B \frac{\partial^2 C_B}{\partial x^2} \quad (3)$$

Persamaan ini merupakan profil konsentrasi antara jumlah perubahan komposisi terhadap waktu, dimana  $\frac{\partial^2 C_B}{\partial x^2}$  diinterpretasikan dalam bentuk grafik sederhana berupa kurva konsentrasi dengan jarak tertentu. Aplikasi dari batas kondisi persamaan (3) dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$\frac{C_x - C_0}{C_s - C_0} = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) \quad (4)$$

Dimana :

$C_x$  = konsentrasi pada jarak  $x$

$C_s$  = konsentrasi permukaan yang diperoleh pada waktu tertentu

$C_0$  = konsentrasi pada  $t = 0$  (kondisi awal)

$\operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$  = *Gaussian error function* yang disimbolkan dengan  $z$

Jarak rata-rata difusi merupakan fungsi akar kuadratis terhadap waktu dengan persamaan

$$x = \sqrt{Dt} \quad (5)$$

Dimana:

$x$  = jarak difusi (mm)

$D$  = koefisien difusi ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$t$  = waktu proses difusi (s)

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kecepatan difusi, yaitu:

1. Atom yang berdifusi, dimana semakin kecil ukuran atom maka semakin cepat atom tersebut bergerak sehingga kecepatan difusi akan meningkat.
2. Suhu, semakin tinggi suhu maka atom akan mendapatkan energi untuk bergerak lebih cepat, sehingga semakin cepat atom bergerak maka kecepatan difusi akan semakin meningkat. Ukuran atom Cu relative sama besar dengan ukuran atom Al, sehingga dengan mudah diantara kedua atom tersebut untuk berdifusi secara substitusi. Tabel 2.3 memperlihatkan ukuran atom Cu dengan ukuran atom Al.

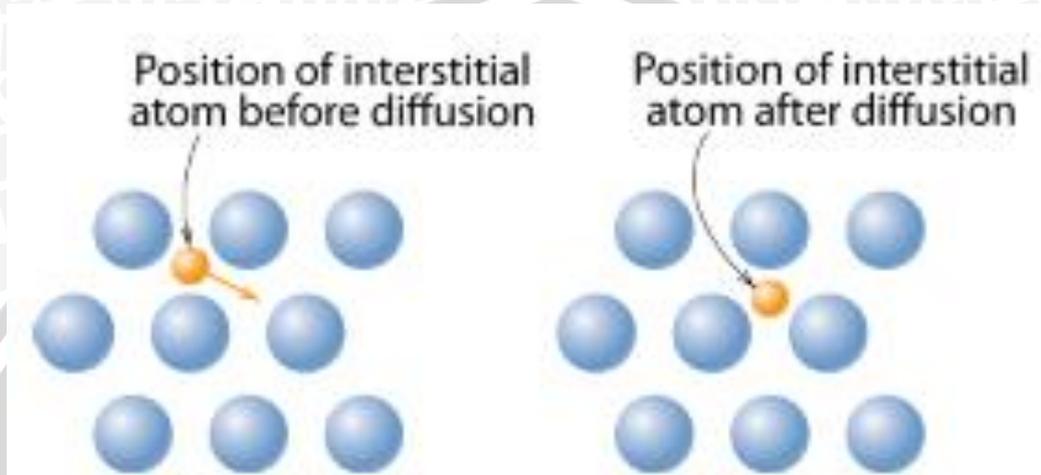
Tabel 2.3. Ukuran Atom Cu dan Ukuran Atom Al

Nama Atom	Radius atom ( $\text{\AA}$ )
Al	1,428
Cu	1,275

Sumber : Lawrence, 1960; 88

### 3. Terdapat cacat dalam bahan.

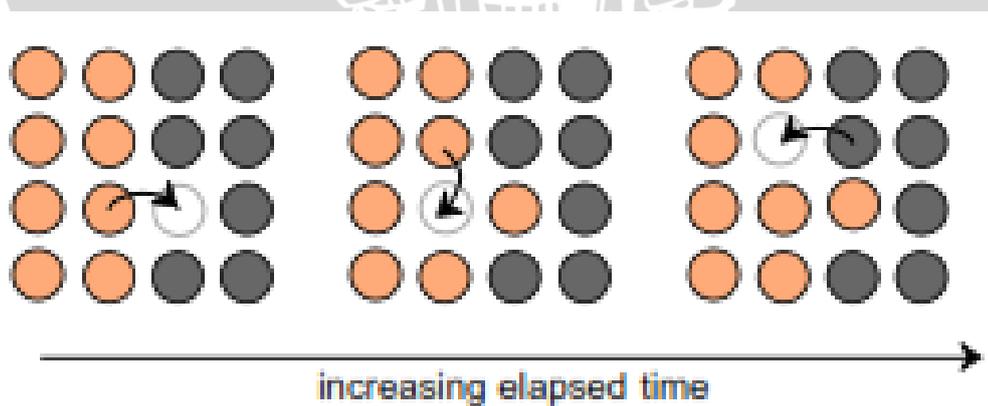
Mekanisme perpindahan atom dalam suatu logam dapat terjadi secara intertisi dan kekosongan (*Vacancy*). Perpindahan secara intertisi adalah perpindahan atom karena gerakan atom yang terjadi didalam rongga atom. Mekanisme difusi secara intertisi dapat dilihat pada gambar 2.9 dimana mekanisme ini terjadi biasanya pada atom yang memiliki ukuran yang tidak sama.



Gambar. 2.9 Mekanisme Difusi Intertisi

Sumber : Johnson, 2004: 8

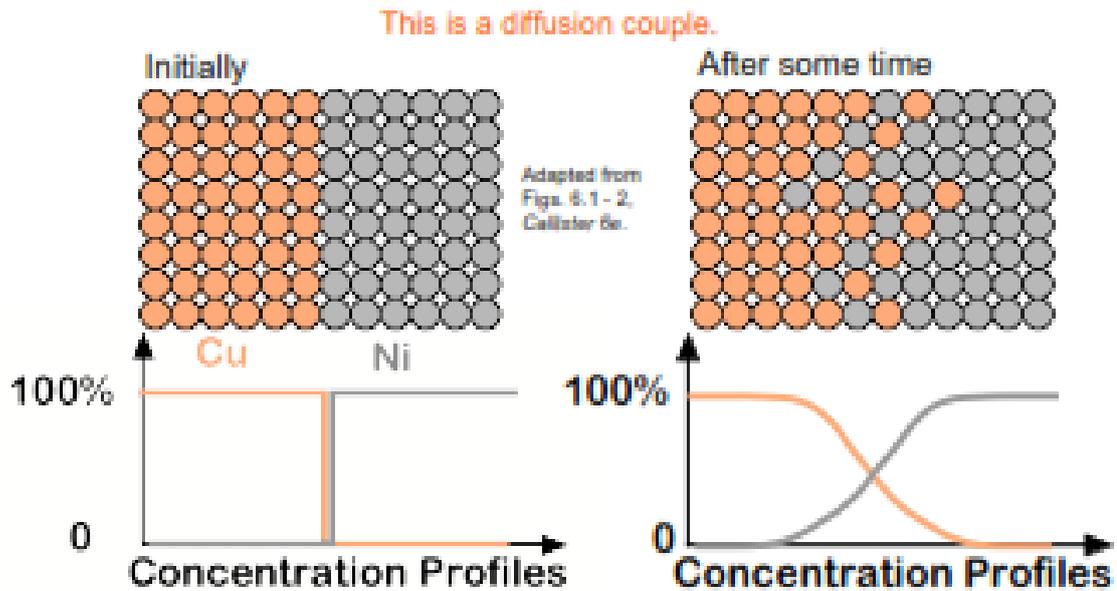
Sedangkan perpindahan secara kekosongan (*Vacancy*) terjadi apabila terdapat kekosongan tempat sehingga kekosongan ini akan diisi oleh atom lain. Hal ini dapat dilihat prosesnya yang terjadi pada gambar 2.10.



Gambar. 2.10 Mekanisme Difusi *Vacancy*

Sumber : Johnson, 2004: 6

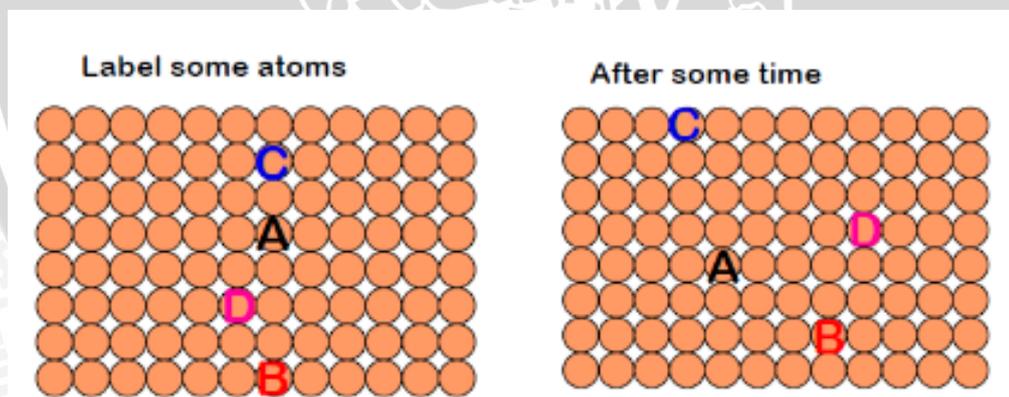
Contoh mekanisme perpindahan atom yang terjadi pada paduan ditunjukkan pada gambar 2.11, dimana perpindahan atom dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah maupun sebaliknya. Difusi ini disebut interdifusi yang merupakan salah satu dari teori adhesi. Dalam teori ini, adhesi dinyatakan pada jalinan antar-molekul pada antar-muka. Salah satu aplikasinya adalah penyatuan pada polimer dengan berat molekul yang tinggi. Konsep utamanya adalah adhesi meningkat melalui interdifusi dari *adherend* dan *adhesive*. Perbedaan utama adalah bahwa teori ini bias diaplikasikan pada tiga dimensi proses dibandingkan dua dimensi proses. Interdifusi dapat terjadi karena adanya pelarut dan jumlah difusi tergantung pada penyesuaian molekul, konstituen yang terlibat dan kemudahan pergerakan molekul. Daerah antar-muka yang terbentuk mempunyai ketebalan yang kuat, dan sifat mekanis, fisik, dan kimianya berbeda dari penguat dan matriknya, tetapi interdifusi tidak selalu menguntungkan karena bisa terbentuk senyawa yang tidak diinginkan, biasanya ketika lapisan oksida terbentuk pada fiber dan mengganggu pada tekanan dan tekanan tinggi saat proses fasa padat. Dalam paduan, atom cenderung untuk bermigrasi dari daerah yang berkonsentrasi tinggi ke daerah yang berkonsentrasi rendah. Paduan adalah kombinasi, dalam larutan atau senyawa, dua atau lebih elemen, dan paling tidak salah satunya adalah logam, dan hasilnya memiliki properti metalik. Paduan dengan dua komponen disebut paduan binari; 3 komponen disebut paduan ternari; 4 komponen disebut paduan kuaternari. Hasilnya adalah zat metalik dengan sifat berbeda dari komponennya. Paduan biasanya didesain untuk memiliki sifat yang lebih menguntungkan dibanding dengan komponennya. Misalnya, baja lebih kuat dari besi, salah satu elemen utamanya, dan kuningan lebih tahan lama dari tembaga, tapi lebih menarik dari seng.



Gambar. 2.11 Mekanisme Difusi pada Paduan

Sumber : Johnson, 2004: 3

Selain itu ada pula jenis difusi *Self-diffusion* dimana gerakan spontanitas atom dari suatu lokasi ke lokasi lain yang terjadi masih dalam kristal jenis sendiri. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.12 dimana dari gambar, dapat diambil informasi bahwa atom A, B, C, dan D sedang terjadi proses *self-diffusion*.



Gambar. 2.12 Mekanisme *Self-diffusion*

Sumber : Johnson, 2004: 4

## 2.5 Kesetimbangan Unsur Paduan

Pemilihan dan penentuan macam-macam unsur paduan yang akan digunakan sebagai unsur paduan dianalisis sesuai dengan kebutuhan sifat bahan yang diinginkan, dimana prose pencampurannya dilakukan dalam keadaan cair (*liquid*). Ketika paduan dalam keadaan *liquid* maka campuran homogen dua zat atau lebih yang saling

melarutkan dan masing-masing zat penyusunnya tidak dapat dibedakan lagi secara fisik. Untuk menyatakan hubungan kuantitatif antara zat terlarut dan pelarutnya maka dapat dilihat dari jumlah konstrasinya. Prosentase berat merupakan salah satu bentuk konsentrasi.

Apabila dalam suatu reaksi, larutan yang memiliki jumlah prosentase berat larutannya sebelum dan sesudah reaksi sama yaitu 100%, maka reaksi dapat dikatakan dalam keadaan setimbang. Secara umum reaksi kesetimbangan dapat dinyatakan sebagai berikut:



Setelah larutan tercampur sepenuhnya dengan melalui proses peleburan dengan menggunakan suhu tinggi sesuai titik didih masing-masing logam yang dipadukan maka dapat dilakukan proses pendinginan. Dimana atom-atom yang tersusun akan menyebar dalam larutan cair dan ketika proses pendinginan terjadi, atom-atom akan menyusun diri membentuk butiran. Untuk mengetahui prosentase berat yang terkandung pada paduan maka dapat dilakukan pengujian unsure, salah satunya dengan menggunakan alat *Optical Emission Spectrometer*.

## 2.6 Metode Planimeter

Metode ini menggunakan umumnya memiliki luas 5000 mm<sup>2</sup>. Perbesaran dipilih sedemikian sehingga ada sedikitnya 50 butir yang berada di dalam luasan. Kemudian hitung jumlah total semua butir dalam lingkaran di tambah setengah dari jumlah butir yang berpotongan dengan lingkaran. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada rumus berikut:

$$N_A = f(n_1 + \frac{n_2}{2})$$

$$d = \sqrt{\frac{1}{N_A}} \quad (7)$$

dimana,

$$f = \frac{M^2}{A}$$

Keterangan:

d : Diameter butiran (μm)

f : bilangan Jeffries

n<sub>1</sub> : Jumlah butiran yang utuh

$n_2$  : jumlah butiran yang terpotong

M : Pembesaran

A : Luas penampang ( $\text{mm}^2$ )

### 2.7 Hipotesis

Semakin besar variasi dimensi *scrap* tembaga yang diberikan, maka semakin kecil nilai tembaga yang terlarut dalam aluminium pada keadaan setimbang. Selain itu semakin besar dimensi *scrap* yang diberikan akan menghasilkan diameter butiran yang besar pada laju pendinginan yang sama.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Metode Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan metode penelitian (*experimental research*), yaitu melakukan pengamatan langsung untuk mencari sebab-akibat dalam suatu proses melalui eksperimen sehingga dapat mengetahui pengaruh variasi dimensi *scrap* tembaga terhadap kesetimbangan unsure paduan dan perubahan mikrostruktur hasil dari pengecoran Al-Cu. Disamping itu juga dilakukan pengkajian terhadap dasar teori yang ada pada sumber literature berupa buku dan jurnal.

#### 3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan 12 Maret- 13April 2012. Tempat yang digunakan untuk penelitian yaitu:

- Laboratorium  $\alpha\beta\gamma$  Landungsari
- Laboratorium Pengujian Bahan, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya
- Laboratorium Uji, Departemen Teknik Metalurgi & Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

#### 3.3 Variabel Penelitian

Terdapat tiga variabel dalam penelitian ini, yaitu variabel bebas, variabel terikat, variabel terkontrol.

##### 3.3.1 Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi nilai dari variabel terikat, besarnya ditentukan oleh peneliti dan harganya divariasikan untuk mendapatkan hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat dari objek penelitian. Variabel bebas yang digunakan adalah dimensi *scrap* tembaga (Cu) yang awalnya berbentuk pipa panjang kemudian dipotong sesuai dengan variasi yang digunakan yaitu dengan panjang yaitu 5 mm; 7,5 mm; 10 mm; 12,5 mm dan 15 mm.

##### 3.3.2 Variabel terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang besarnya bergantung pada variabel bebas yang diberikan. Adapun variabel terikat dalam penelitian ini

adalah kesetimbangan unsur dan perubahan mikrostruktur hasil pengecoran *duralumin*.

### 3.3.3 Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya dijaga konstan selama penelitian, variabel yang dijaga konstan dalam penelitian ini adalah:

- Temperatur peleburan : 900°
- Waktu peleburan : 4 jam

## 3.4 Alat dan Bahan yang Digunakan

### 3.4.1 Alat yang Digunakan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperti yang dijelaskan di bawah ini.

Peralatan yang digunakan adalah:

1. Tungku *Reverberatory*

Gambar 3.1 menunjukkan tungku *Reverberatory* yang digunakan dalam penelitian ini untuk meleburkan Al-Cu dengan suhu mencapai 900°C menggunakan bahan bakar LPG.



Gambar 3.1 Tungku *Reverberatory*

2. Cetakan logam.

Gambar 3.2 merupakan *Permanent mold casting* yang bisa dipakai berulang kali dan bahannya terbuat dari baja atau logam tahan panas.



Gambar 3.2 Cetakan Logam

3. Kowi

Tempat untuk mencampurkan logam pada saat proses peleburan ditunjukkan pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Kowi

#### 4. Timbangan elektrik

Untuk menimbang bahan yang digunakan untuk proses peleburan. Digunakan timbangan elektrik yang ditunjukkan pada gambar 3.4 (a) dengan kapasitas 0-10000 gr dan pada penelitian ini digunakan untuk menimbang aluminium yang sudah dicampur dengan tembaga. Kemudian gambar 3.4(b) mempunyai kapasitas 0-300gr yang pada penelitian ini digunakan untuk menimbang *scrap* tembaga saja.



(a)



(b)

Gambar 3.4 (a) Timbangan elektrik kapasitas 0 - 10000gr.

(b) Timbangan elektrik kapasitas 0 - 300 gr.

#### 5. *Infrared thermometer*

Untuk mengetahui temperature pada saat peleburan dibutuhkan *Infrared thermometer* seperti pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 *Infrared Thermometer*

#### 6. Pengaduk baja

Dengan temperature yang sangat tinggi saat pengadukan dibutuhkan pengaduk baja seperti ditunjukkan pada gambar 3.6. Sedangkan untuk mengambil kowi pada tungku dibutuhkan penjepit baja yang ditunjukkan pada gambar 3.7.



Gambar 3.6 Pengaduk baja



Gambar 3.7 Penjepit baja

7. Sarung tangan

Untuk melindungi tangan pada saat peleburan.

8. *Optical Emission Spectrometer*

Alat ini digunakan untuk mengukur presentase berat unsure kimia yang terkandung dalam material padat (produk hasil coran aluminium) dengan cara membakar dan menganalisis nyala bahan yang terbakar. Spesifikasi alat ini : *electric system*; 100-120/220-240V, Power 1250 W.

9. *Digital Micro Vickers Hardness Tester*

Alat ini digunakan untuk foto mikro dapat dilihat pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 Digital Micro Vickers Hardness Tester

### 3.4.2 Bahan yang digunakan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini:

#### 1. *Ingot* Aluminium

Spesimen aluminium yang digunakan berbentuk *ingot* aluminium murni yang dapat dilihat pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 *Ingot* Aluminium

## 2. Scrap Tembaga

Tembaga yang digunakan awalnya berbentuk pipa panjang kemudian dipotong sesuai dengan variasi yang digunakan yaitu dengan panjang 5mm; 7.5mm; 10mm; 12.5mm dan 15mm seperti pada gambar 3.10.



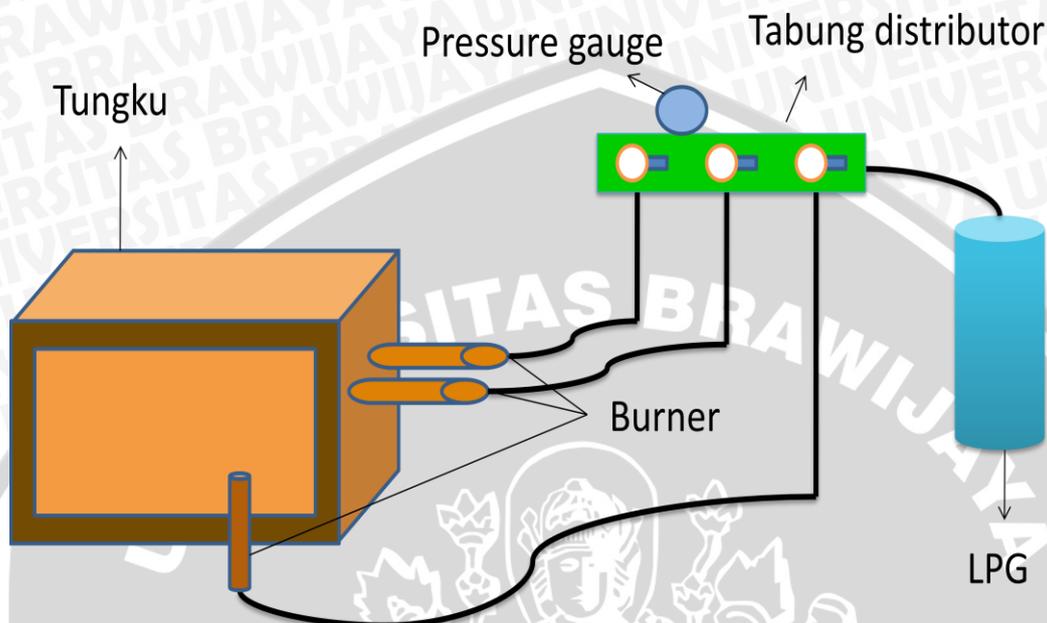
Gambar 3.10 *Scrap Tembaga*

### 3.5 Cara Pengoperasian Tungku *Reverberatory*

Tungku *reverberatory* digunakan untuk meleburkan aluminium dan tembaga. Cara pengoperasian tungku tersebut dapat dilihat pada instalasi gambar 3.11 yang pertama dengan memasang regulator pada tabung gas LPG kemudian regulator diputar sampai tekanan 0,7 atm yang ditunjukkan oleh *pressure gauge* yang terletak pada tabung distributor untuk diarahkan pada 3 buah *burner*. Setelah itu diberi nyala api dengan menggunakan pematik api pada ujung *burner* sehingga ketiga *burner* tersebut menyala kemudian *burner* dimasukkan dalam tungku supaya ruang dalam tungku mendapatkan panas yang merata.

Panas diberikan secara perlahan-lahan sebanyak 3-5 kali dengan cara memutar regulator setiap 10 menit untuk menambahkan tekanan. Panas diberikan secara perlahan – lahan untuk menghindari distorsi karena jika langsung diberi panas yang tinggi maka hanya permukaan tungku saja yang panas sehingga akan terjadi perubahan bentuk akibat pemuaihan. Selama pengoperasian tungku ini tabung gas LPG disiram dengan air panas agar gas di dalam LPG mengembang sehingga tekanannya akan meningkat.

Tungku ini menggunakan bahan bakar LPG karena sistim *burnernya* sangat sederhana dan hampir bebas perawatan. Selain itu, gas dialirkan melalui tabung distribusi sehingga cocok untuk wilayah yang berpopulasi tinggi atau padat industri.



Gambar 3.11 Instalasi Tungku *Reverberatory*

### 3.6 Prosedur Penelitian

#### 3.6.1 Prosedur Percobaan

Langkah-langkah yang harus dilakukan dalam percobaan adalah:

1. Persiapan percobaan yaitu menyiapkan tungku peleburan, menyiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan, kemudian memasang cetakan.
2. Meleburkan material sampai temperatur  $900^{\circ}\text{C}$  dalam tungku *reverberatory* dengan variasi dimensi *scrap* Cu yaitu 5mm; 7,5mm; 10mm; 12,5mm; 15mm.
3. Dilakukan pengadukan 3-5 kali agar paduan dapat tercampur penuh.
4. Kemudian dituangkan pada cetakan.
  - Penuangan pertama dilakukan dengan menuangkan logam cair kedalam cetakan dengan dimensi *scrap* Cu 5mm.
  - Penuangan kedua dilakukan dengan menuangkan logam cair kedalam cetakan dengan dimensi *scrap* Cu 7,5mm.
  - Penuangan ketiga dilakukan dengan menuangkan logam cair kedalam cetakan dengan dimensi *scrap* Cu 10mm.

- Penuangan keempat dilakukan dengan menuangkan logam cair kedalam cetakan dengan dimensi *scrap* Cu 12,5mm.
  - Penuangan kelima dilakukan dengan menuangkan logam cair kedalam cetakan dengan dimensi *scrap* Cu 15mm.
5. Keluarkan dan diamkan hasil coran dari cetakan sampai dingin kemudian dilakukan pengambilan data.

### 3.6.2 Prosedur pengambilan dan pengolahan data

Dari hasil pengecoran dilakukan dua macam pengujian yaitu:

- a. Pengujian untuk mengetahui nilai kandungan unsur
1. Mengambil spesimen hasil coran dengan dimensi *scrap* Cu 5mm.
  2. Melakukan proses pemotongan spesimen hingga mendapatkan permukaan yang rata.
  3. Kemudian dilakukan pengamplasan dengan menggunakan kertas gosok sampai didapatkan permukaan yang halus.
  4. Dilakukan pengujian dengan menggunakan mesin *Optical Emission Spectrometer*.
  5. Melakukan pengulangan langkah 1 sampai 4 pada spesimen hasil coran dengan dimensi *scrap* lainnya yaitu 7,5mm; 10mm; 12,5mm dan 15mm.
  6. Melakukan pengambilan data seperti tabel 3.1

Tabel 3.1 Rancangan Data Hasil Pengujian *Optical Emission Spectrometer*

Dimensi (mm)	Kandungan Unsur (%)						
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Al
5							
7,5							
10							
12,5							
15							

7. Melakukan analisa dan pembahasan dari data-data tersebut.
8. Kesimpulan.

- b. Pengujian untuk mengetahui diameter butiran
1. Mengambil spesimen hasil coran dengan dimensi *scrap* Cu 5mm.
  2. Melakukan proses pemotongan spesimen hingga mendapatkan permukaan yang rata.

3. Kemudian dilakukan pengamplasan dengan menggunakan kertas gosok sampai didapatkan permukaan yang halus.
4. Kemudian dilakukan penggosokan dengan menggunakan kain flannel dan aerosol agar permukaan mengkilap.
5. Diberi cairan etsa untuk memperjelas gambar.
6. Dilakukan foto mikro dengan menggunakan *Digital Micro Vickers Hardness Tester*.
7. Melakukan pengulangan langkah 1 sampai 4 pada spesimen hasil coran dengan dimensi *scrap* lainnya yaitu 7,5mm; 10mm; 12,5mm dan 15mm.
8. Melakukan perhitungan data seperti tabel 3.2

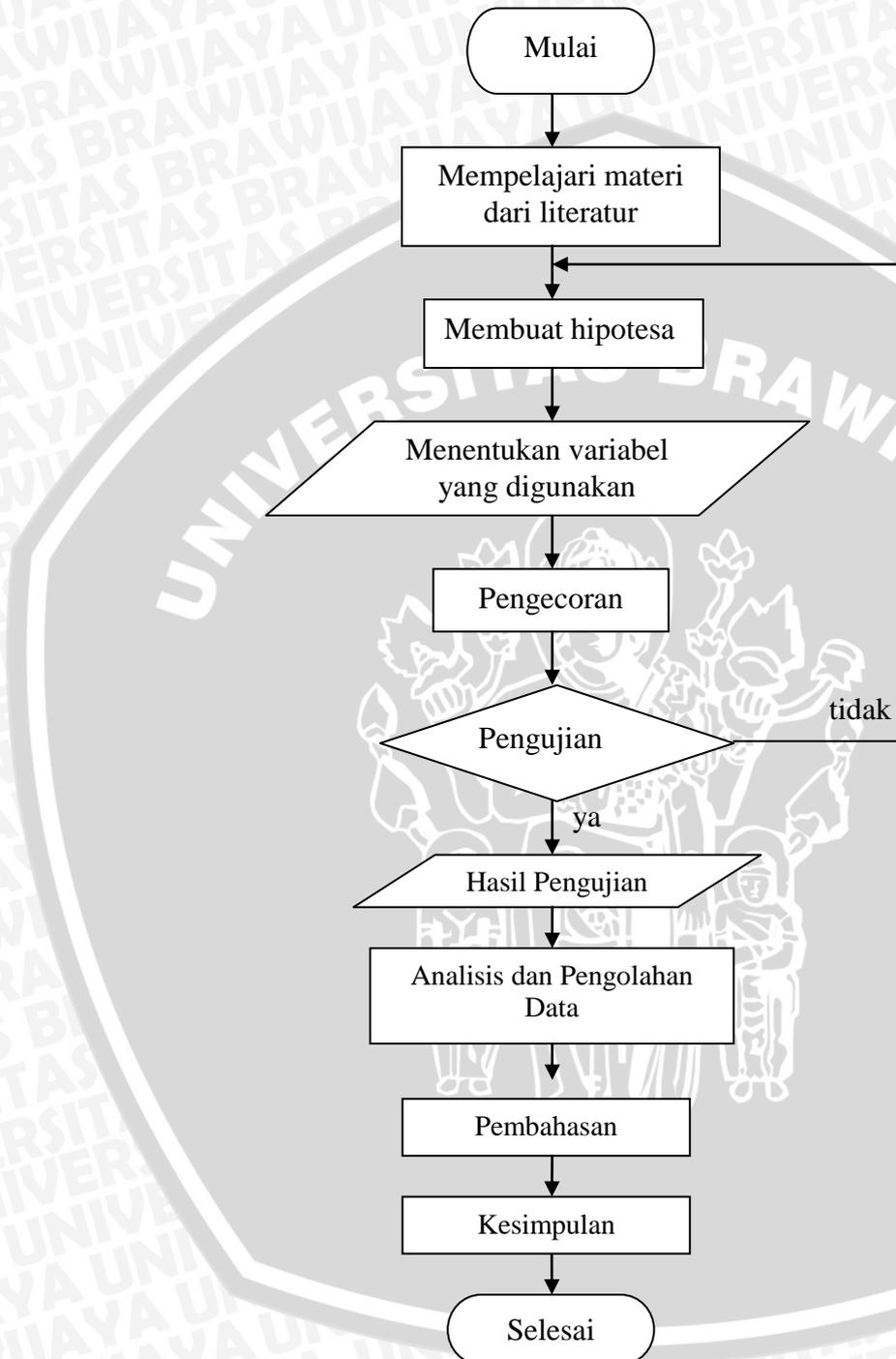
Tabel 3.2 Rancangan Hasil Perhitungan Diameter Butir

Dimensi	n <sub>1</sub>	n <sub>2</sub>	diameter
5			
7,5			
10			
12,5			
15			

9. Melakukan analisa bagaimana pengaruh dimensi *scrap* yang diberikan.
10. Kesimpulan.

### 3.7 Diagram Alir Penelitian

Berikut ini adalah rancangan diagram alir penelitian seperti yang ditunjukkan Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Diagram Alir Penelitian

## BAB IV

### HASIL PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Data dan Perhitungan Hasil Penelitian

##### 4.1.1 Data Hasil Pengujian Komposisi

Pengujian komposisi kimia diperoleh dengan menggunakan mesin uji *Optical Emission Spectrometer*. Tabel 4.1 Berikut menunjukkan hasil prosentase rata-rata kandungan Al dan Cu dengan minimal dua kali penembakan:

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian *Optical Emission Spectrometer*

Dimensi (mm)	Kandungan Unsur (%)						
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Al
5	0,434	0,436	5,79	0,036	0,205	0,103	Bal
7,5	0,408	0,443	5,55	0,062	0,214	0,103	Bal
10	0,446	0,459	5,46	0,034	0,235	0,09	Bal
12,5	0,416	0,429	5,45	0,038	0,24	0,107	Bal
15	0,405	0,442	5,29	0,043	0,159	0,108	Bal

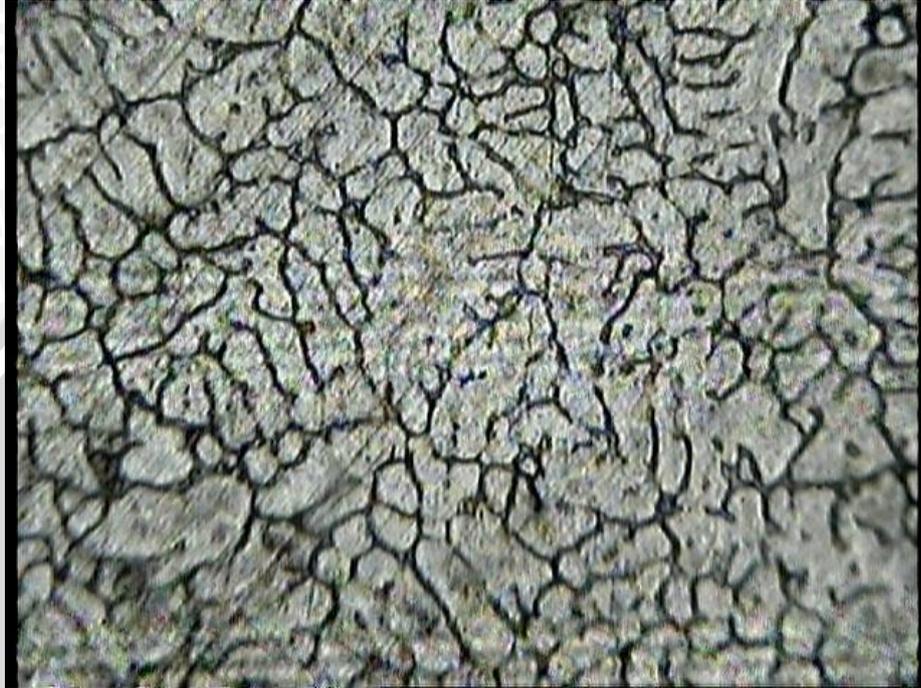
##### 4.1.2 Hasil Perhitungan Diameter Butiran

Perhitungan data dilakukan untuk mengetahui diameter butiran berdasarkan hasil foto mikro dengan menggunakan metode *planemetry (jeffries)*. Berikut hasil foto mikro dengan pembesaran 100X.



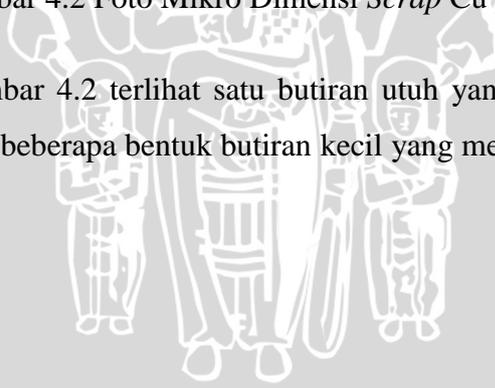
Gambar 4.1 Foto Mikro Dimensi *Scrap* Cu 5mm

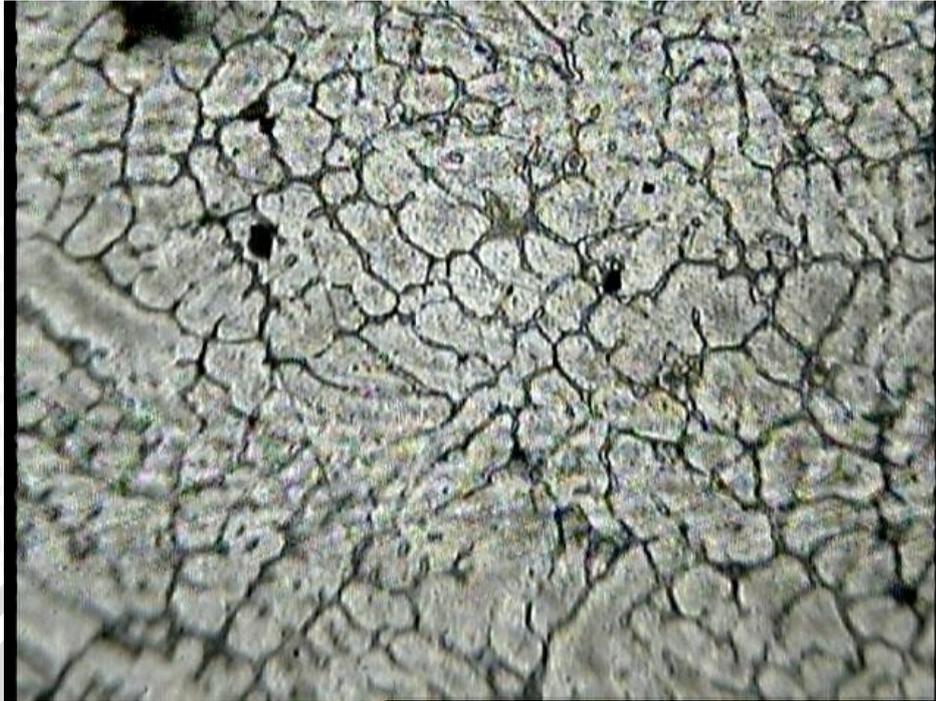
Pada gambar 4.1 terlihat hasil pengecoran dengan variasi dimensi 5mm menghasilkan butiran yang banyak dan lebih halus sehingga menghasilkan batas butir yang banyak dan lebih tegas, hal ini akan mengakibatkan kekuatan dari material akan semakin meningkat.



Gambar 4.2 Foto Mikro Dimensi Scrap Cu 7.5mm

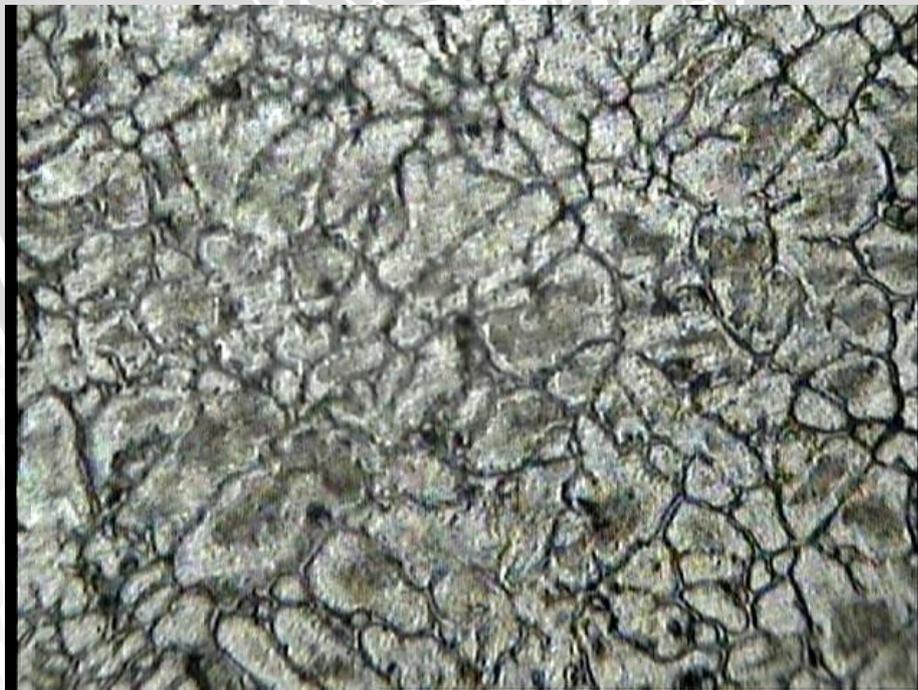
Kemudian pada gambar 4.2 terlihat satu butiran utuh yang terbentuk berukuran lebih besar dan terdiri dari beberapa bentuk butiran kecil yang memiliki batas butir yang samar.





Gambar 4.3 Foto Mikro Dimensi *Scrap* Cu 10mm

Satu butiran utuh yang terbentuk pada gambar 4.3 hasil dari pengecoran dengan variasi dimensi 10 mm terdiri dari beberapa butiran yang memiliki batas butir tidak tegas. Sehingga diameter yang dihasilkan pada satu butiran akan semakin besar.



Gambar 4.4 Foto Mikro Dimensi *Scrap* Cu 12.5mm

Butiran yang dihasilkan pada gambar 4.4 lebih rata akan tetapi ukurannya terlihat lebih besar dibandingkan dengan gambar 4.1. Hal ini akan mempengaruhi dari kekuatan material itu sendiri.



Gambar 4.5 Foto Mikro Dimensi *Scrap Cu* 15mm

Pada gambar 4.5 terlihat struktur butirannya yang terbentuk lebih halus dibandingkan gambar 4.1, akan tetapi apabila dilihat lebih jelas butiran yang kecil ini memiliki batas butir yang samar sehingga satu butiran utuh yang besar terdiri dari beberapa butiran kecil. Hal ini mengakibatkan diameter butiran yang dihasilkan akan semakin besar dibandingkan dengan gambar 4.1.

Berdasarkan hasil foto mikro gambar 4.1 sampai dengan gambar 4.5 maka dapat dilakukan perhitungan diameter butiran yang dihasilkan dengan metode *Jeffries* atau metode *Planimeter*. Berikut diperoleh data ukuran diameter butiran yang dihasilkan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Diameter Butir

Kode	Dimensi (mm)	n <sub>1</sub>	n <sub>2</sub>	Diameter butiran (µm)
a	5	80	21	137,88
b	7,5	53	17	165,62
c	10	53	14	169,28
d	12,5	40	22	175,98
e	15	44	17	177,41

- Luas penampang (A) : 19200 mm<sup>2</sup>
- Pembesaran (M) : 100X

Perhitungan dengan metode plannimeter data ke-1:

Mencari nilai bilangan *jeffries* (*f*),

$$f = \frac{100^2}{19200} = 0.5208$$

kemudian mencari nomor  $N_A$

$$N_A = 0.5208 \cdot 80 + \frac{42}{2} = 52.604$$

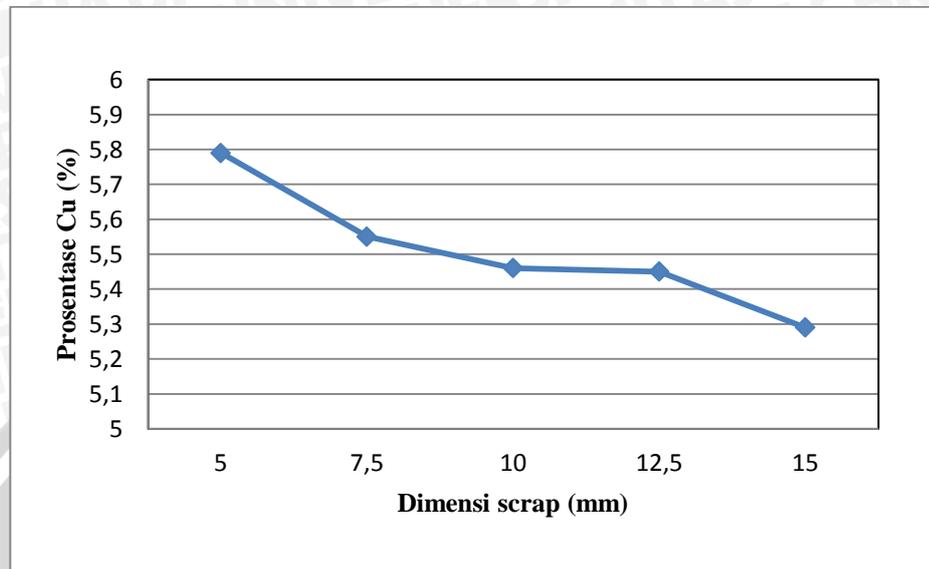
Setelah itu mencari diameter butiran *d*,

$$d = \frac{1}{52.604} = 0.13788 \text{ mm} = 137.88 \text{ µm}$$

Apabila dilihat hasil dari gambar 4.1 sampai dengan 4.5 dengan hasil perhitungan pada tabel 4.2 maka dapat disimpulkan bahwa semakin besar dimensi *scrap* yang diberikan akan mengashilkan dimeter butiran yang lebih besar. Meskipun terlihat gambar4.5 memiliki butiran yang lebih halus akan tetapi batas butirnya tidak terlihat jelas sehingga tidak dapat dikatakan satu butiran utuh. Jadi satu butiran utuh yang dihasilkan memiliki diameter yang lebih besar karena terdiri dari beberapa butiran yang kecil.

## 4.2 Pembahasan

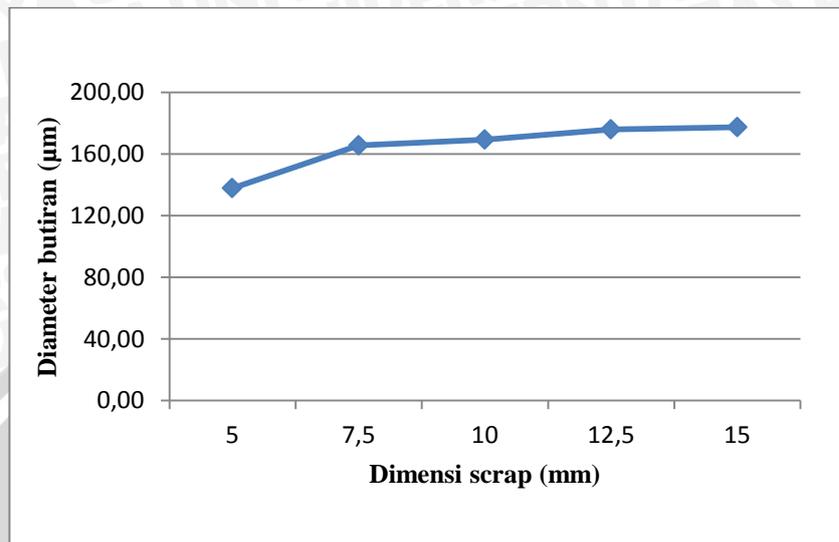
### 4.2.1 Analisa pengaruh dimensi *scrap* tembaga terhadap prosentase Cu yang terlarut



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Dimensi *Scrap* Tembaga terhadap Prosentase Cu yang Terlarut

Beberapa unsur yang terkandung pada material dapat dilihat pada tabel 4.1. Pada penelitian ini lebih melihat hubungan antara unsur tembaga (Cu) yang terlarut didalam pelarutnya yaitu aluminium (Al). Hal ini terlihat pada gambar 4.6 pada grafik terlihat dimana semakin besar dimensi *scrap* tembaga (Cu) yang diberikan maka semakin kecil nilai kelarutan tembaga pada aluminium dalam keadaan setimbang. Hal ini dikarenakan semakin besar dimensi *scrap* tembaga, maka tembaga akan lebih sukar untuk larut dalam aluminium dibandingkan dengan dimensi yang lebih kecil dengan temperatur dan waktu yang sama pada saat peleburan. Sehingga tembaga yang terdifusi akan semakin sedikit dalam keadaan setimbang dan hal ini akan menyebabkan kekuatan mekaniknya semakin menurun.

#### 4.2.2 Analisa pengaruh dimensi *scrap* tembaga terhadap perubahan diameter butiran



Gambar 4.7 Grafik Hubungan Dimensi *Scrap* Tembaga terhadap Diameter Butiran

Pada hasil foto mikro gambar 4.1 sampai dengan gambar 4.5 didapatkan diameter rata-rata butiran yang terbentuk pada setiap spesimen. Untuk mengetahuinya dapat dilakukan perhitungan dengan metode planimeter (*Jeffries Method*). Setelah dilakukan perhitungan maka didapatkan diameter rata-rata butiran pada tabel 4.2. Dilihat dari hasil foto dan dilakukan kemudian dilakukan perhitungan maka dapat dilihat pengaruh penambahan variasi dimensi *scrap* tembaga yang diberikan. Berikut dapat dilihat lebih jelas pada gambar 4.7. Pada grafik terlihat bahwa semakin besar dimensi *scrap* tembaga yang digunakan, maka semakin besar pula diameter butiran yang terbentuk. Hal ini dikarenakan dengan temperatur dan waktu peleburan yang sama, maka tembaga yang terlarut semakin sedikit sehingga dengan proses pendinginan yang sama pula membentuk butiran yang memiliki diameter semakin besar. Dengan diameter yang lebih besar maka akan mengakibatkan kekuatannya semakin menurun.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa pada temperatur dan waktu peleburan yang sama, semakin besar variasi dimensi *scrap* yang diberikan maka semakin kecil nilai tembaga yang terlarut dalam aluminium pada keadaan setimbang. Sehingga nilai pelarutnya (aluminium) semakin meningkat. Hal ini dikarenakan semakin besar dimensi maka semakin sulit tembaga (Cu) untuk larut dalam aluminium.

Selain itu, semakin besar variasi dimensi *scrap* yang diberikan maka semakin besar pula diameter butiran yang terbentuk. Hal ini disebabkan tembaga yang belum terlarut sempurna dalam aluminium mengalami pedinginan maka inti yang terbentuk akan menghasilkan struktur butiran yang lebih besar.

#### 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, peneliti menyarankan untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan:

1. Variasi dimensi *scrap* perlu divariasikan lebih beragam ukuran agar dapat mengetahui pengaruhnya.
2. Pengamplasan dilakukan lebih hati-hati agar tidak menimbulkan banyak gesekan karena logam aluminium sangat ringan sehingga dapat menghasilkan foto mikro yang lebih jelas.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ali. 2010. *Analisa Struktur Mikro dan Fluiditas Paduan Aluminium Tembaga dengan Metode Pengecoran Sand Casting*. Semarang.
- ASTM Standards , Section 3. Vol 3.01, *Metal Mechanical Testing: Elevated and Low Temperature Tests, Metallography, E112,ASTM*, Easton MD, USA, 1999.
- Atmaja. 2011. *Analisis Sifat Mekanik Penambahan Unsur Cu Pada Coran Aluminium*. Sumatra Utara.
- De Garmo, E. P. 1997. *Material and Processes In Manufacturing*. John Wiley and Sons, Inc.
- Djaprie, Sriati. 1990. *Teknologi Mekanik*, Jakarta
- Heine, R. W. 1985. *Principles of Metal Casting*. New Delhi
- Johnson D. 2004. *Introduction of Engineering Material*. New Jersey.
- Masnur, Dedy. 2005. *Perubahan Sifat Fisis dan Mekanis Paduan Aluminium 4% Tembaga yang Di-aging*. Semarang.
- Masyrukan. 2010. *Analisis Sifat Fisis dan Mekanis Aluminium Paduan Daur Ulang Dengan Menggunakan Cetakan Logam*. Sumatra Utara.
- Mikell P. Groover. 2010. *Fundamental Modern of Manufacturing*. Florida.
- Smith, William Fortune. 2004. *Principles of Material Science and Engineering*. Florida
- Soleh. 2006. *Pengaruh Variasi Penambahan Tembaga dan Jenid Cetakan Pada Proses Pengecoran Terhadap Tingkat Kekerasan Paduan Aluminium Silikon*. Malang
- Sudjana, Hardi. 2008. *Teknologi Pengecoran Logam I*. Semarang
- Surya I, Yudy, Dr. Eng. ST, M. Eng., *Materi Perkuliahan Proses Manufaktur II 2011*. Malang
- Suprpto, Wahyono, Dr. Ir. MT, Met., *Materi Perkuliahan Logam Paduan 2012*. Malang
- Surdia, T. 2000. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta
- Wahyono Suprpto, Bambang Suharno, Johny Wahyuadi Sudarsono, Dedi Priadi, 2010, *Uji Penentuan Kuantitas Porositas Casting Product Duralumin Dengan Rule Of Mixture Dan Proses Hot Isostatic Pressing, Prosiding at SENAMM IV, 14-15 july 2010, University of Sultan Ageng Tirtayasa*.

LAMPIRAN



FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS INDONESIA  
**LABORATORIUM UJI**  
**DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL**

KAMPUS DARU UT - DEPOK 16124 - INDONESIA  
 Telp: 021 – 7863510, 78649045 Fax: 021 – 7888111 E-mail: lum@metal4.ub.ac.id

**LAPORAN PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA**  
**COMPOSITION TEST REPORT**

Page 1 of 3

No Laporan Report No	0436	Bahan Material	Aluminium
Pemilik Jasa Customer	Febrieni Biarwati W	Identitas Bahan Material factory	Code : A
Alamat Address	Universitas Brawijaya	Tanggal Terima Receiving Date	13 April 2012
No Kontrak Contract No.	0436/PT.02/FT04/P/2012	Standar Standard	ASTM A751
Tanggal Uji Date of Test	18 April 2012	Mesin Uji Testing machine	Optical Emission Spectrometer <sup>1</sup>

Kode Sampel Sample Code	Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (%)	Mg (%)	Zn (%)
A	0.005	0.442	5.29	0.043	0.159	0.108
	Cr (%)	Ni (%)	Ti (%)	Pb (%)	Sn (%)	Al (%)
	0.007	<0.005**	0.011	<0.002**	<0.010**	Bal.

<sup>1</sup> (OEM)  
 \* ketidaktepatan berangkar dengan tingkat kepercayaan 95% dengan dasar cakupan K=2  
 \*\* (%) menunjukkan nilai terdeteksi di bawah kemampuan daya deteksi uji

Depok, 19 April 2012  
 Manajer Teknis  
 Laboratorium Uji  
 Departemen Teknik Metalurgi Dan Material

(Ahmad Ashari, ST)

PT-25/ LU-DTMM Rev 2

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sampel yang diuji di Laboratorium Uji-DTMM, tidak bisa serta pengujian elsewhere  
 ini atau salinan dari paduan bahan dengan cara dari Laboratorium Uji-DTMM





FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS INDONESIA  
**LABORATORIUM UJI**  
**DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL**

KAMPUS BARU UI - DEPOK 16424 - INDONESIA  
 Telp: 021 – 7963910, 78840045 Fax: 021 – 78880111 E-mail: luj@metallab.ui

**LAPORAN PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA**  
**COMPOSITION TEST REPORT**

Page 2 of 5

No Laporan	0436	Bahan	Aluminium
Referensi No		Material	
Pemakai Jasa	Febrianti Binarwati W	Identitas Bahan	Code: B
Caricosa		Material Identity	
Akadem	Universitas Brawijaya	Tanggal Terima	13 April 2012
Alamat		Receiving Date	
No Kontrak	0436/PT.02/FTH4/P/2012	Standar	ASTM A751
Contract No.		Standard	
Tanggal Uji	18 April 2012	Metode Uji	Optical Emission Spectrometer*
Date of Test		Testing method	

Kode Sampel Sample Code	Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (%)	Mg (%)	Zn (%)
B	0.498	0.443	3.55	0.167	0.214	0.105
	Cr (%)	Ni (%)	Ti (%)	Pb (%)	Su (%)	Al (%)
	0.005	<0.005**	0.009	<0.002**	<0.010**	Bal

\* Analisis logam dengan digikat bobotnya 3% dengan faktor cakupan 10-2  
 \*\* (%) menunjukkan nilai berada di bawah kemampuan analisis alat uji

Depok, 19 April 2012  
 Manajer Teknik  
 Laboratorium Uji  
 Departemen Teknik Metalurgi Dan Material

(Ahmad Ashari, ST)

FB-25 LU-DTMM Rev 7

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sampel yang diuji di Laboratorium Uji-DTMM, publikasi serta penggunaan di luar  
 ini atau sebagai data pendukung dari penelitian harus dengan izin dari Laboratorium Uji-DTMM





FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS INDONESIA  
**LABORATORIUM UJI**  
**DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL**

KAMPUS BARU UI – DEPOK 16124 – INDONESIA  
 Telp: 021 – 7803510, 78046045 Fax: 021 – 78881111 E-mail: lum@metalui.ac.id

**LAPORAN PENGEJIAN KOMPOSISI KIMIA**  
**COMPOSITION TEST REPORT**  
 Page 1 of 5

No Laporan	0436	Isian	Ahmadlum
Report No		Materi	
Pemakai Jasa	Felicitas Binawati W	Identitas Bahan	Code : C
Customer		Materi Identif	
Alamat	Universitas Brawijaya	Tanggal Terima	13 April 2012
Address		Receiving Date	
No Kontrak	0426/PT.02/FT04/P/2012	Standar	ASTM A751
Contract No		Standard	
Tanggal Uji	18 April 2012	Mesin Uji	Optical Emission Spectrometer*
Date of Test		Testing machine	

Kode Sampel	Ni (%)	Fe (%)	Ca (%)	Mn (%)	Mg (%)	Zn (%)
C	0.434	0.436	5.79	0.036	0.205	0.001
	Cr (%)	Ni (%)	Ti (%)	Pb (%)	Su (%)	Al (%)
	0.005	<0.005**	0.010	0.002	<0.010**	Nil.

catatan  
 \* Analisis kimia homogen dengan tingkat kepercayaan 99% dengan faktor cakupan k=2  
 \*\*  $\leq 1$  menunjukkan nilai berada di bawah precision level dan tidak terdeteksi

Depok, 19 April 2012  
 Manajer Teknis  
 Laboratorium Uji  
 Departemen Teknik Metalurgi Dan Material

(Ahmad Ashari, ST)

FE-25/ LII-ITMM Rev 2

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sampel yang diproses di Laboratorium Uji-ITMM, apabila terjadi perubahan data atau ada kecurigaan dari pekerjaan harus dengan izin dari Laboratorium Uji-ITMM





FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS INDONESIA  
**LABORATORIUM UJI**  
**DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL**

KAMPUS BARU UT - DEPOK 16424 - INDONESIA  
 Telp: 021 - 7803510, 78049045 Fax: 021 - 78881111 E-mail: ltm@metallab.ui.ac.id

**LAPORAN PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA**  
**COMPOSITION TEST REPORT**

Page 4 of 3

No Laporan	0436	Bahan	Aluminium
Report No		Materi	
Pemakai Jasa	Febrianti Binawati W	Identitas Bahan	Code : D
Customer		Material Identity	
Alamat	Universitas Brawijaya	Tanggal Terima	13 April 2012
Address		Receiving Date	
No Kontrol	D436/PT.02/PT04/P/2012	Standar	ASTM A781
Contract No		Standar	
Tanggal Uji	18 April 2012	Metode Uji	Optical Emission Spectrometer*
Date of Test		Tertinggal	excludes

Kode Sampel Sample Code	Si (%)	Fe (%)	Co (%)	Mn (%)	Mg (%)	Zn (%)
D	0.416	0.429	5.45	0.03E	0.240	0.107
	Cr (%)	Ni (%)	Ti (%)	Pb (%)	Sn (%)	Al (%)
	0.007	<0.025**	0.010	<0.002**	<0.010**	Bal

catatan:  
 \* ketidakpastian besarnya dengan tingkat kepercayaan 95% dengan dasar cakupan K=2  
 \*\* (\*) termasuk dalam nilai tersebut adalah ketidakpastian bawaan dari alat uji

Depok, 19 April 2012  
 Manajer Teknis  
 Laboratorium Uji  
 Departemen Teknik Metalurgi Dan Material

(Ahmad Ashari, ST)

PF-25/ LU-DTMM Rev 2

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sampel yang diuji di Laboratorium Uji DTMM; publikasi serta penggunaan di luar ini tanpa seijin dari penerbit hanya dengan izin dari Laboratorium Uji-DTMM





FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS INDONESIA  
**LABORATORIUM UJI**  
**DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL**

KAMPUS BARU UT – DEPOK 16126 – INDONESIA  
 Telp: 021 – 7865555, 78649048 Fax: 021 – 78688111 E-mail: lum@metallab.ui.ac.id

**LAPORAN PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA**  
**COMPOSITION TEST REPORT**

Page 2 of 5

No Laporan <i>Report No.</i>	0436	Bahan <i>Material</i>	Aluminium
Pemakai Jasa <i>Customer</i>	Fabertoni Hinarwati W	Identitas Bahan <i>Material Identity</i>	Code : K
Alamat <i>Address</i>	Universitas Brawijaya	Tanggal Terima <i>Receiving Date</i>	13 April 2012
No Kontrak <i>Contract No.</i>	0436/PT.03/FT04/P/2012	Standar <i>Standard</i>	ASTM A751
Tanggal Uji <i>Date of Test</i>	18 April 2012	Metode Uji <i>Testing method</i>	Optical Emission Spectrometer*

Kode Sampel <i>Sample Code</i>	Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (%)	Mg (%)	Zn (%)
K	0.146	0.459	5.46	0.034	0.215	0.080
	Cr (%)	Ni (%)	Ti (%)	Pb (%)	Sn (%)	Al (%)
	0.006	<0.005**	0.005	0.003	<0.010**	Bal.

catatan :  
 \* hasil analisis beraturan dengan tingkat kepercayaan 95% dengan faktor cakupan K=2  
 \*\* (\*) menunjukkan nilai berada di bawah spesifikasi atau di bawahnya

Depok, 19 April 2012  
 Manajer Teknis  
 Laboratorium Uji  
 Departemen Teknik Metalurgi Dan Material

(Ahmad Ashari, ST)

FF-25/ LU-DTMM Rev 2

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sampel yang diuji di Laboratorium Uji-DTMM, publikasi atau penggunaan di lain-lain atau sebagai data pendukung harus dengan izin dari Laboratorium Uji-DTMM.

BRAWIJAYA

