



**PENGARUH TEMBAGA (Cu) DAN PERLAKUAN *HOMOGENIZING*  
TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO PADUAN  
ALUMINIUM 7075**

**SKRIPSI**

**Oleh:**

**Arief Rachman Hadi**

**141910101041**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2018**



**PENGARUH TEMBAGA (Cu) DAN PERLAKUAN *HOMOGENIZING*  
TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO PADUAN  
ALUMINIUM 7075**

**SKRIPSI**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada Fakultas Teknik Universitas Jember

**Oleh:**

**Arief Rachman Hadi**

**141910101041**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2018**

## PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, saya ucapkan puji syukur kehadirat Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang serta sholawat kepada Nabi Muhammad SAW. Skripsi ini saya persembahkan sebagai bentuk tanggung jawab, bakti, dan ungkapan yang tidak terduga kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya kepada hamba-Nya untuk kemudahan penyusunan skripsi ini.
2. Orang tua tercinta, Ibunda Titik Sudarwati dan Bapak Abdul Hadi yang telah mendoakan dan mencurahkan kasih sayang serta pengorbanan selama ini.
3. Kakakku Diana Frischa Magdalena yang saya sayangi.
4. Guru-guru saya sejak duduk di taman kanak-kanak hingga sekolah menengah atas, beserta bapak dan ibu dosen selama saya menempuh perkuliahan di Universitas Jember.
5. Teman-teman semasa sekolah dan teman-teman seperjuangan Mesin 2014 serta Kelompok Riset MaGNIFIED.
6. Almamater yang saya banggakan UNIVERSITAS JEMBER

**MOTTO**

Belajar dari kemarin, hidup untuk hari ini, berharap untuk hari besok.

Dan yang terpenting adalah jangan sampai berhenti bertanya.

(Albert Einstein)

Sesungguhnya Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya.

(Q.S. Al-Baqarah:286)

Selalu ada harapan bagi mereka yang sering berdoa.

Selalu ada jalan bagi mereka yang sering berusaha.

(Arief Rachman Hadi)

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Arief Rachman Hadi

Nim : 141910101041

Dengan ini saya menyatakan bahwa Skripsi dengan judul "Pengaruh Tembaga (Cu) dan Perlakuan *Homogenizing* Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Paduan Aluminium 7075" sebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada instansi manapun. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan tanggung jawab tanpa ada unsur pemaksaan serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 18 April 2018

Yang Menyatakan,

Arief Rachman Hadi

141910101041

**SKRIPSI**

**PENGARUH TEMBAGA (Cu) DAN PERLAKUAN *HOMOGENIZING*  
TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO PADUAN  
ALUMINIUM 7075**

Oleh:

**Arief Rachman Hadi**

**NIM. 141910101041**

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Ir. FX. Kristianta M.Eng

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Salahuddin Junus S.T.,M.T

**PENGESAHAN SKRIPSI**

Skripsi berjudul "Pengaruh Tembaga (Cu) dan Perlakuan *Homogenizing* Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Paduan Aluminium 7075" telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada :

Hari, tanggal : Rabu, 18 April 2018

Tempat : Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin

Tim Penguji,

Ketua,



Ir. FX. Kristianta M.Eng  
NIP. 19650120 200112 1 001

Sekretaris,



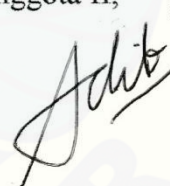
Dr. Salahudin Junus S.T., M.T.  
NIP. 19751006 200212 1 002

Anggota I,



Sumarji, S.T., M.T.  
NIP. 19680202 199702 1 001

Anggota II,



Ahmad Adib Rosyadi S.T., M.T.  
NIP. 19850117 201212 1 001

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M.

NIP. 19661215 199503 2 001



## RINGKASAN

**Pengaruh Tembaga (Cu) dan Perlakuan *Homogenizing* Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Paduan Aluminium 7075;** Arief Rachman Hadi, 141910101041; 58 Halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Pada saat ini perkembangan industri material sangat berkembang pesat sejalan dengan berkembangnya teknologi maupun kebutuhan manusia. Terobosan material baru sangat dibutuhkan di era modern saat ini, seiring dengan hal tersebut banyak peneliti maupun ilmuwan saling bersaing untuk mendapatkan material yang baik dan mampu memperpanjang masa pakai serta kinerja dari benda tersebut. Salah satu bahan yang paling banyak dipakai pada perusahaan saat ini adalah aluminium paduan. Dikarenakan aluminium yang memiliki sifat ringan dan kuat merupakan salah satu alasan berbagai penelitian mulai menambahkan unsur paduan lain guna mendapatkan sifat mekanis yang lebih baik pada aluminium.

Penelitian yang dilakukan ini dengan menambahkan unsur tembaga pada aluminium agar mampu menambah sifat mekanis pada paduan tersebut. Pada percobaan dilakukan penambahan unsur tembaga dengan kadar 1% hingga 4% dan setelah itu dilakukan proses perlakuan panas agar dapat membantu peningkatan dari sifat mekanis dari paduan. Perlakuan panas *homogenizing* berfungsi sebagai bermacam-macam tujuan, yang salah satunya adalah untuk menyeragamkan butiran, untuk memperhalus butiran, menaikkan kekerasan, menambah keuletan, meningkatkan machinability ataupun untuk tujuan lainnya. Selain perlakuan panas hal tersebut juga dapat dipengaruhi oleh laju pendinginan dan media pendingin. Oleh karena itu digunakan proses penambahan unsur paduan tembaga dan proses perlakuan panas yang tepat untuk mendapatkan sifat mekanik yang diinginkan sesuai dengan fungsi dari material tersebut.



## SUMMARY

**Effect Copper (Cu) And *Homogenizing* Treatment On The Mechanical Properties And Micro Structure Of Aluminium 7075 Alloys;** Arief Rachman Hadi, 141910101041; 58 Pages; Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering, University of Jember.

At this time the development of the material industry is growing rapidly in line with the development of technology and human needs. Breakthrough new material is needed in the modern era today, along with it many researchers and scientists competing to get a good material and able to extend the life and performance of these objects. One of the most widely used materials in the company today is aluminum alloy. Because aluminum with light and strong properties is one of the reasons the various studies began to add other alloying elements to obtain better mechanical properties in aluminum.

This study carried out by maintaining the copper element in aluminum to add to the mechanical properties of the alloy. In the experiment, the addition of copper element with the content of 1% to 4% and after that heat treatment process in order to assist the increase of the mechanical properties of the alloy. *Homogenizing* heat treatment serves as a variety of purposes, one of which is to uniform grains, to soften grain, to increase hardness, to increase ductility, to increase machinability or for other purposes. In addition to heat treatment it can also be affected by cooling rate and cooling medium. Therefore, the process of adding copper alloys and the appropriate heat treatment process to obtain the desired mechanical properties in accordance with the function of the material.

## PRAKATA

Puji syukur Alhamdulillah peneliti panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga terselesaikan Skripsi dengan judul ”Pengaruh Tembaga (Cu) dan Perlakuan *Homogenizing* Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Paduan Aluminium 7075”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan akademis dalam rangka menyelesaikan pendidikan program studi Strata Satu (S1) pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih ada kekurangan dan jauh dari kesempurnaan, baik karena keterbatasan ilmu yang dimiliki maupun kemampuan penulis, tetapi berkat pertolongan Allah SWT serta dorongan dari semua pihak, akhirnya penulisan skripsi ini mampu terselesaikan. Skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Hari Arbiantara Basuki S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
3. Hari Sutjahjono S.T.,M.T. selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
4. Ir. FX. Kristianta M.Eng selaku Dosen Pembimbing Utama dan Dr. Salahudin Junus S.T.,M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang penuh kesabaran memberi bimbingan, dorongan, meluangkan waktu, pikiran, perhatian dan saran kepada penulis selama penyusunan skripsi ini sehingga dapat terlaksana dengan baik.
5. Sumarji S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I dan Ahmad Adib Rosyadi S.T.,M.T. selaku Dosen Penguji II, terima kasih atas saran dan kritiknya.
6. Dr. Salahudin Junus S.T., M.T. selaku dosen pembimbing Kelompok Riset MaGNIFIED.

7. Seluruh Dosen Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember yang telah memberikan ilmu, bimbingan, pengorbanan, saran dan kritik kepada penulis
8. Kedua orang tua saya Abdul Hadi dan Titik Sudarwati, yang selalu menghibur, menyemangati, memotivasi dan mendoakan yang terbaik.
9. Kakak kandung saya Diana Frischa Magdalena yang selalu memberikan semangat untuk mengerjakan skripsi ini.
10. Windy Arenza Argeni yang menemani hingga saat ini, yang selalu menyemangati dan meyakinkan bahwa semua bisa dilewati.
11. Kelompok Riset MaGNIFIED Adit, Afini, Fuad, Firman, Purnama, Joko, Gozian, Ardi, Amri, Akib, yang telah membantu, memberi saran masukan dalam penyusunan skripsi dan memberi hiburan tersendiri di waktu luang.
12. Dulur-dulurku seperjuangan Teknik Mesin 2014 yang selalu menjunjung tinggi solidarity forever kepada penulis.
13. Sahabat-sahabatku Ramanda, Basori, Ikhwanul, Dafa, Ghani yang selalu mendengarkan keluh kesah dan memberikan motivasi serta kenangan yang tidak terlupakan.
14. Seluruh pihak yang telah banyak membantu memberikan bantuan dan dorongan semangat yang tidak dapat disebut satu persatu. Terimakasih sehingga Skripsi ini dapat terselesaikan.

Penulis menyadari bahwa Skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, akan tetapi penulis berharap semoga Skripsi ini bermanfaat dan memberikan pengetahuan tambahan bagi yang membacanya.

Jember, 18 April 2018

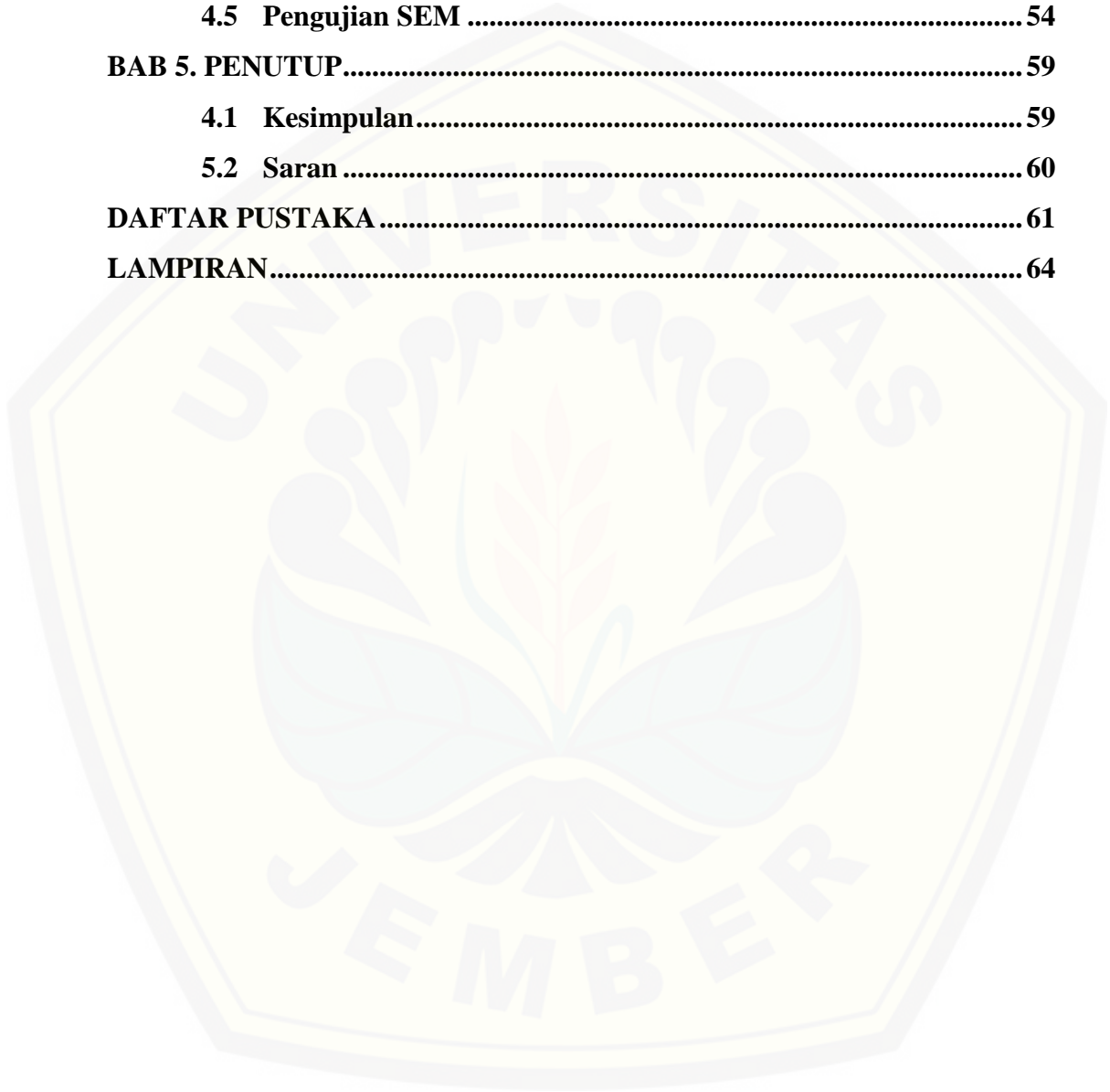
Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN HALAMAN PERSEMBAHAN .....	ii
HALAMAN MOTTO .....	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN.....	v
HALAMAN PENGESAHAN.....	vi
RINGKASAN .....	vii
<i>SUMMARY</i> .....	viii
PRAKATA .....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL .....	xvi
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian.....</b>	<b>3</b>
1.3.1 Tujuan .....	3
1.3.2 Manfaat .....	3
<b>1.4 Batasan Masalah .....</b>	<b>4</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Aluminium.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 Klasifikasi Aluminium.....</b>	<b>6</b>
2.2.1 Aluminium Murni .....	6
2.2.2 Paduan Aluminium .....	7
<b>2.3 Aluminium 7075.....</b>	<b>10</b>
<b>2.4 Unsur Paduan.....</b>	<b>11</b>
2.4.1 Tembaga.....	11
<b>2.5 Pengecoran .....</b>	<b>13</b>

2.5.1	Jenis-jenis Cetakan Pengecoran .....	14
2.5.2	Metode Pengecoran .....	15
2.5.3	Tungku Peleburan .....	16
<b>2.6</b>	<b>Tahapan Pengecoran .....</b>	<b>19</b>
2.6.1	Jenis-jenis Cetakan Pengecoran .....	19
2.6.2	<i>Degassing</i> .....	20
2.6.3	Penuangan .....	20
2.6.4	Pembongkaran .....	20
<b>2.7</b>	<b>Perlakuan Panas .....</b>	<b>21</b>
2.7.1	<i>Homogenizing</i> .....	21
2.7.2	<i>Quenching</i> .....	22
<b>2.8</b>	<b>Karakterisasi Material .....</b>	<b>22</b>
2.8.1	Pengujian Tarik .....	22
2.8.2	Pengujian Kekerasan .....	24
2.8.3	Pengamatan Struktur Mikro .....	28
2.8.4	SEM ( <i>Scanning Electron Microscopy</i> ) .....	31
<b>2.9</b>	<b>Aplikasi .....</b>	<b>32</b>
<b>2.10</b>	<b>Diagram <i>Fishbone</i> .....</b>	<b>33</b>
<b>2.11</b>	<b>Hipotesis .....</b>	<b>33</b>
<b>BAB 3.</b>	<b>METODE PENELITIAN .....</b>	<b>35</b>
<b>3.1</b>	<b>Tempat dan Waktu Penelitian .....</b>	<b>35</b>
<b>3.2</b>	<b>Alat dan Bahan .....</b>	<b>35</b>
3.2.1	Alat .....	35
3.2.2	Bahan .....	36
<b>3.3</b>	<b>Proses Pembuatan Sampel .....</b>	<b>36</b>
<b>3.4</b>	<b>Proses Pengujian Sampel .....</b>	<b>37</b>
3.4.1	Pengujian Tarik .....	37
3.4.2	Pengujian Kekerasan .....	38
3.4.3	Pengamatan Struktur Mikro .....	39
3.4.4	Pengujian SEM .....	39
<b>3.5</b>	<b>Diagram Alir Penelitian .....</b>	<b>41</b>

<b>BAB 4. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>42</b>
<b>4.2 Pengujian Kekerasan</b> .....	<b>42</b>
<b>4.3 Pengujian Tarik</b> .....	<b>46</b>
<b>4.4 Pengamatan Struktur Mikro</b> .....	<b>50</b>
<b>4.5 Pengujian SEM</b> .....	<b>54</b>
<b>BAB 5. PENUTUP</b> .....	<b>59</b>
<b>4.1 Kesimpulan</b> .....	<b>59</b>
<b>5.2 Saran</b> .....	<b>60</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>61</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>64</b>





**DAFTAR GAMBAR**

2.1	Struktur kristil FCC (Sumber: Vincensius, 1998) .....	5
2.2	Metode <i>Stir Casting</i> (Ulhas <i>et al</i> , 2017).....	15
2.3	Tipe tungku krusibel (1) lift out (2) stasioner (3) tilting pot (Groover, 2010).....	17
2.4	Tungku kupola (Groover, 2010).....	18
2.5	Tungku induksi (Groover, 2010) .....	19
2.6	Diagram fasa Al-Cu (Samuel, 2002) .....	22
2.7	Kurva tegangan regangan (Sumber: Suudi Flame, 2013).....	23
2.8	Pengujian Brinell (Sumber: Samuel, 2014).....	25
2.9	Indentor Uji Vickers (Sumber: Samuel, 2014).....	28
2.10	Pengaruh Etsa pada Permukaan Spesimen (Sumber: Herman, 2009) .....	30
2.11	Pantulan Sinar pada Pengamatan Metalografi (Sumber: Herman, 2009)..	30
2.12	Blok Diagram SEM (Sumber : Sujatno, 2015).....	32
2.13	Tingkat aluminium (Sumber : D. Raizenne and X. Wu, 2008).....	32
2.14	Diagram <i>Fishbone</i> .....	33
3.1	Dimensi standar ASTM B 557M sebagai sampel uji tarik (Sumber: ASTM B 557M).....	37
3.2	Prinsip kerja metode <i>Brinell Hardness</i> (Sumber: ASTM E 10).....	38
3.3	Alat pengujian SEM (a) <i>SEM Phenom™ G2 Pro</i> (b) <i>Stage</i> .....	40
3.4	Diagram Alir Penelitian.....	41
4.1	Nilai kekerasan sebelum dan sesudah dilakukan <i>homogenizing</i> .....	42
4.2	Diagram fasa Al-Cu.....	43
4.3	Kekerasan spesimen ketikan dilakukan <i>homogenizing</i> pada suhu 470 °C dengan variasi waktu penahanan (Haijun Wang <i>et al</i> , 2013).....	44
4.4	Fasa CuAl <sub>2</sub> pada posisi huruf B.....	45
4.5	Grafik pengujian tarik sebelum dan sesudah dilakukan <i>homogenizing</i> .....	47
4.6	Grafik nilai elongasi sebelum dan sesudah dilakukan <i>homogenizing</i> .....	49



4.7	Perbandingan hasil <i>Stress-Strain</i> sebelum dan sesudah dilakukan <i>homogenizing</i> pada paduan Al-Zn-Mg-Cu (S.Y Park dan W.J. Kim, 2016).....	50
4.8	Struktur Mikro 7075 .....	51
4.9	Struktur mikro paduan Al-7075+Cu (a) Cu 1% (b) Cu 2% (c) Cu 3% (d) Cu 4% (e) <i>Homogenizing</i> Cu 1% (f) <i>Homogenizing</i> Cu 2% (g) <i>Homogenizing</i> Cu 3% (h) <i>Homogenizing</i> Cu 4% .....	52
4.10	Struktur mikro Al-Zn-Mg-Cu (Wen kai <i>et al</i> , 2017).....	54
4.11	Pengamatan SEM pada paduan Al-7075 + 3%Cu <i>Homogenizing</i> dengan pembesaran (a) 250x (b) 1250x .....	55
4.12	Pengamatan SEM pada paduan Al-7075 + 4%Cu <i>Homogenizing</i> dengan pembesaran (a) 250x (b) 1250x .....	55
4.13	Pengamatan SEM (Yan Liu <i>et al</i> 2014).....	56
4.14	Pengamatan SEM (Da Xu <i>et al</i> , 2017) .....	57

**DAFTAR TABEL**

2.1	Sifat-sifat fisik aluminium (Sumber: Surdia dan Saito, 2000) .....	6
2.2	Sifat-sifat mekanik aluminium (Sumber: Surdia dan Saito, 2000).....	6
2.3	Klasifikasi paduan aluminium (Sumber: Surdia dan Saito, 2000) .....	8
2.4	Klasifikasi perlakuan panas (Sumber: Surdia dan Saito, 2000) .....	8
2.5	Composition (Sumber: <i>ASM Material Data Sheet, Aluminium 7075</i> ) .....	11
2.6	Koefisien pemuaian termal (Sumber: <i>ASM Metal Handbook vol.2, 2010</i> )	12
2.7	Sifat mekanik tembaga (Sumber: <i>ASM Metal Handbook vol.2, 2010</i> ) .....	13
2.8	Keuntungan dan kerugian <i>gravity casting</i> (Sumber: Tata surdia dan Chijiwa kenji, 1998) .....	16
2.9	Berat jenis, titik cair, dan koefisien kekentalan (Sudjana, 2008) .....	19
3.1	Toleransi ukuran hasil dari pengujian <i>Brinell Hardness</i> (Sumber: ASTM E 10) .....	38
4.1	Nilai kekerasan sebelum dan sesudah dilakukan <i>homogenizing</i> .....	42
4.2	Nilai pengujian tarik tanpa dilakukan <i>homogenizing</i> .....	46
4.3	Nilai pengujian tarik setelah dilakukan <i>homogenizing</i> .....	47
4.4	Nilai elongasi tanpa dilakukan <i>homogenizing</i> .....	48
4.5	Nilai elongasi setelah dilakukan <i>homogenizing</i> .....	49
4.6	Fasa yang terbentuk pada paduan Al-7075 + 3% dan 4% Cu .....	58
4.7	Fasa yang terbentuk (Yan Liu <i>et al</i> , 2014) .....	59
4.8	Fasa yang terbentuk (Da Xu <i>et al</i> , 2017).....	59

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada abad ke-20 ini, perkembangan industri material sangat berkembang pesat sejalan dengan berkembangnya teknologi maupun kebutuhan manusia. Terobosan material baru sangat dibutuhkan di era modern saat ini, seiring dengan hal tersebut banyak peneliti maupun ilmuwan saling bersaing untuk mendapatkan material yang baik dan mampu memperpanjang masa pakai serta kinerja dari benda tersebut. Salah satu bahan yang paling banyak dipakai pada perusahaan saat ini adalah aluminium paduan.

Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai sifat tahan terhadap korosi dan hantaran listrik yang baik (Surdian dan Saito, 2000). Aluminium merupakan unsur logam yang paling berlimpah nomer tiga yang ditemukan dikerak bumi, maka dari itu aluminium dan paduannya merupakan logam non ferrous yang cukup luas penggunaannya, mulai dari kebutuhan rumah tangga, otomotif sampai ke pesawat terbang. Produk-produk aluminium biasanya dihasilkan melalui proses pengecoran dan pemetukan (Surdia dan Saito, 2000).

Baru-baru ini, jumlah bahan komponen mobil dan perangkat elektronik diproduksi berbahan aluminium dengan metode *die casting* telah meningkat dan sekarang telah menyumbang sekitar 35% total bagian pada mobil (Sang *et al*, 2016). Pengecoran menggunakan cetakan permanen saat ini merupakan salah satu cara mempercepat proses produksi yang bersifat *continue*. Salah satunya yaitu pengecoran *stir casting* dan *gravity casting* yang merupakan pengecoran dimana dilakukan pengadukan logam cair dan setelah itu dituangkan kedalam saluran cetakan menggunakan gravitasi.

Pengecoran *stir casting* dengan menggunakan cetakan permanen akan menghasilkan benda kerja yang memiliki struktur mikro lebih halus dengan pori-pori yang lebih kecil sehingga mampu meningkatkan sifat mekaniknya (Surdia dan Chijiwa, 1996). Namun, struktur mikro yang dihasilkan oleh metode *stir casting* menunjukkan morfologi yang lebih kasar dibandingkan dengan metode

HDPC (*High Pressure Die casting*) (Shin *et al*, 2016), karena metode HDPC melibatkan proses laju pendinginan yang cepat dan penerapan tekanan statis tekanan pada sampel (Nahed *et al*, 1998).

Pada umumnya material memiliki keterbatasan untuk mencapai kombinasi yang sempurna, baik dari segi kekuatan, kekerasan, ketangguhan, dan kepadatan dengan penambahan unsur paduan dapat meningkatkan sifat mekanisnya. Surdia dan Saito (2000) menyatakan bahwa unsur-unsur paduan yang digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik aluminium tanpa dilakukan perlakuan panas yaitu magnesium (Mg), silikon (Si), dan mangan (Mn) tetapi unsur Mn memiliki kelarutan maksimal 1,82% pada suhu 500°C sedangkan dengan penambahan unsur tembaga (Cu) dan seng (Zn) dapat meningkatkan sifat mekanik melalui proses *heat treatment* pada paduan aluminium.

Untuk paduan aluminium seri 7075 (Al-Zn-Mg) merupakan paduan yang memiliki kekuatan yang paling tinggi diantara paduan seri aluminium lainnya, dengan komposisi Al-5,5%Zn-2,5%Mn-1,5%Cu-0,3%Cr-0,2%Mn (Surdia dan Saito, 2000) sehingga aluminium seri 7075 banyak digunakan untuk bahan konstruksi seperti pesawat terbang. Dalam karakteristik suatu logam paduan, ukuran butir merupakan hal yang sangat penting karena ukuran butir akan menentukan kekuatan mekanis logam paduan (Cholis *et al*, 2013). Paduan Al-Zn-Mg merupakan paduan yang sangat bagus dengan berat bahan yang ringan, sifat mekanis yang tinggi dan tahan korosi yang baik (Dellah *et al*, (2012). Kubaschewski *et al*, (1993) berpendapat bahwa paduan Al-Zn merupakan energi positif sedangkan paduan Al-Mg menjadi energi negatif ketika dilakukan pencampuran. Penambahan Mg dan Zn akan meningkatkan kekuatan, namun disisi lain akan menurunkan ketahanan korosi aluminium (Sofyan *et al*, 2008).

Setelah mempelajari dan mengamati peneliti-peneliti sebelumnya, penulis mencoba mengangkat penelitian mengenai pengaruh penambahan tembaga (Cu) terhadap sifat mekanis dan struktur mikro pada aluminium seri 7075 dengan proses pengecoran. Dengan adanya penelitian ini, diharapkan paduan hasil coran mempunyai sifat mekanik yang baik sehingga dapat meningkatkan daya guna

paduan aluminium dengan mengatur komposisi berat tembaga (Cu) sehingga sangat bermanfaat untuk pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini dilakukan analisa pengaruh penambahan tembaga (Cu) menggunakan fraksi berat pada aluminium 7075 dan perlakuan *homogenizing* terhadap sifat kekerasan, kekuatan tarik dan struktur mikro dengan proses pengecoran.

## 1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.3.1 Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh penambahan tembaga (Cu) dengan persentase 1%, 2%, 3%, 4% sebelum dan sesudah dilakukan *homogenizing* terhadap kekerasan aluminium 7075.
2. Mengetahui pengaruh penambahan tembaga (Cu) dengan persentase 1%, 2%, 3%, 4% sebelum dan sesudah dilakukan *homogenizing* terhadap kekuatan tarik aluminium 7075.
3. Mengetahui pengaruh penambahan tembaga (Cu) dengan persentase 1%, 2%, 3%, 4% sebelum dan sesudah dilakukan *homogenizing* terhadap struktur mikro aluminium 7075.

1.3.2 Manfaat dari penelitian ini adalah:

Hasil dari penelitian ini semoga dapat menjadi suatu landasan dalam pengembangan penelitian, pembelajaran atau penerapan media pembelajaran secara lebih lanjut. Selain itu juga menjadi sebuah acuan nilai dari hasil penelitian yang didapatkan untuk pengetahuan penelitian yang akan mendatang dalam bidang penelitian di Indonesia.

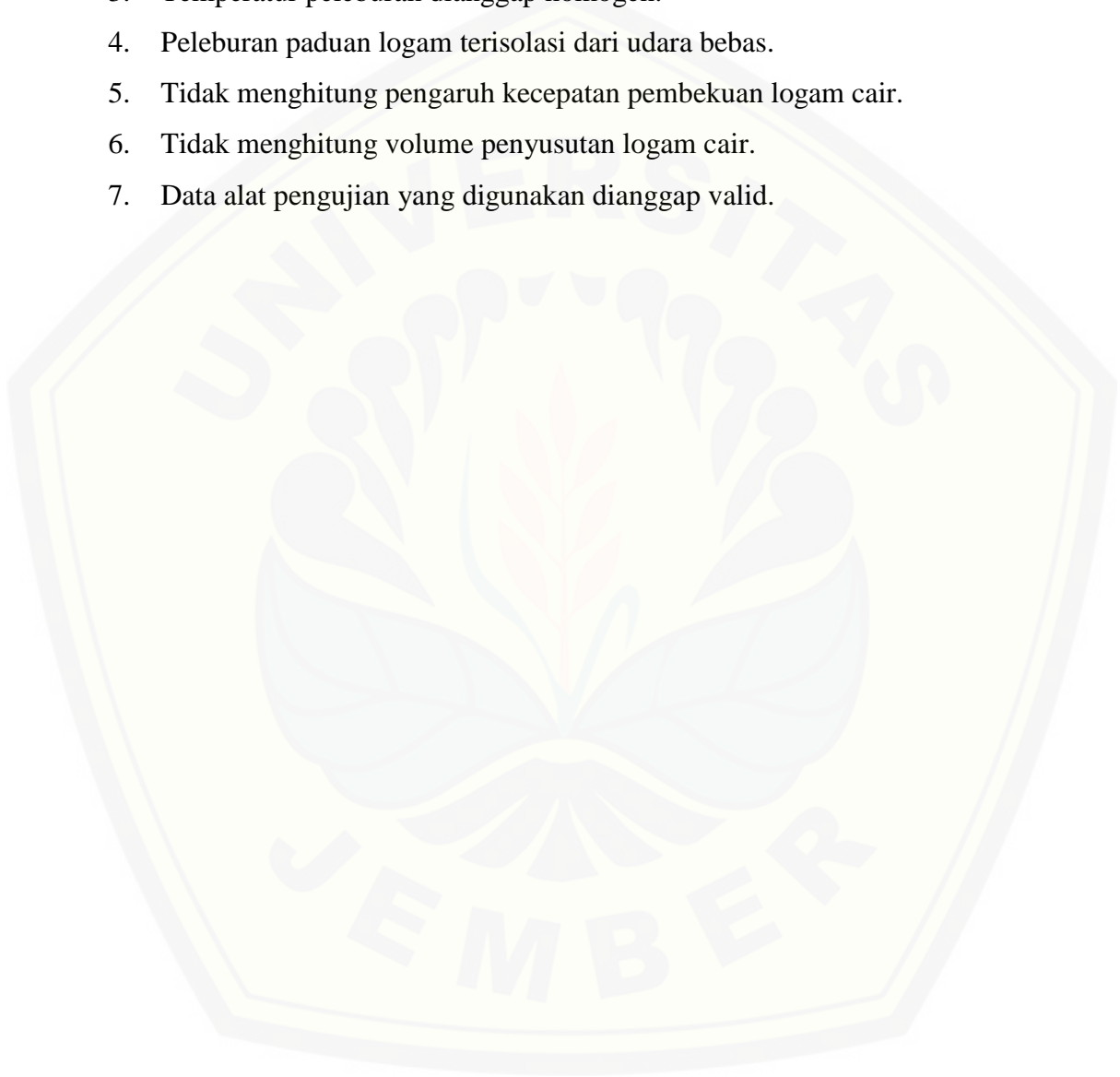
## 1.4 Batasan Masalah

Terdapat beberapa faktor yang tidak terkontrol sehingga dapat mempengaruhi pengambilan data dan analisis. Untuk itu perlu diberikan batasan



permasalahan dalam penelitian agar mempermudah menganalisa permasalahan diatas yaitu:

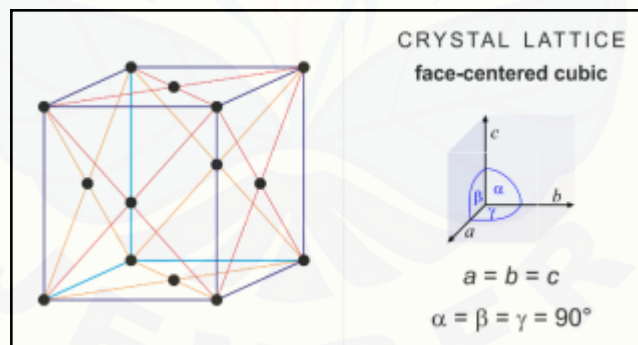
1. Pemaduan pada spesimen dianggap homogen.
2. Tidak ada reaksi antara logam paduan dengan cetakan.
3. Temperatur peleburan dianggap homogen.
4. Peleburan paduan logam terisolasi dari udara bebas.
5. Tidak menghitung pengaruh kecepatan pembekuan logam cair.
6. Tidak menghitung volume penyusutan logam cair.
7. Data alat pengujian yang digunakan dianggap valid.



## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Aluminium

Aluminium merupakan logam ringan yang memiliki kekuatan yang relatif rendah namun memiliki ketahanan korosi dan hantaran hantaran listrik yang baik. Lambang aluminium ialah Al dengan nomor atomnya 13 dan memiliki massa jenis  $2.7 \text{ gr/cm}^3$  dengan struktur kristal FCC (*Face Centered Cubic*) dengan bilangan koordinasi 12 dan 4 atom di unti selnya. Struktur kristal FCC dapat dilihat pada gambar 2.1. Aluminium bukan merupakan jenis logam berat dan tergolong unsur logam paling melimpah ketiga yang ditemukan di kerak bumi. Aluminium pertama kali ditemukan oleh Sir Humphrey Davy dalam tahun 1809 sebagai suatu unsur dan direduksi sebagai logam oleh H. C. Oersted pada tahun 1825. Setelah beberapa tahun kemudian tepatnya pada tahun 1886 Paul Heroult bersama C. M. Hall di Amerika Serikat secara terpisah memperoleh logam aluminium dari alumina dengan cara elektrolisa dari garam yang terdifusi (Surdia dan Saito, 2000).



Gambar 2.1 Struktur kristal FCC (Sumber: Vincensius, 1998)

Penggunaan aluminium di dunia permesinan dan industri pada saat ini untuk menunjang proses fabrikasi telah banyak diterapkan oleh berbagai perusahaan material. Aluminium digunakan dalam bidang yang luas, bukan hanya untuk peralatan rumah tangga tapi juga dipakai untuk keperluan material pesawat terbang, mobil, kapal laut dan konstruksi- konstruksi yang lain. Namun kekuatan dari aluminium murni tidak sebaik logam-logam lainnya, hal ini dapat diatasi



dengan memadukan aluminium dengan logam-logam lainnya seperti : Cu, Mg, Si, Zn dan sebagainya sehingga membentuk menjadi aluminium paduan.

## 2.2 Klasifikasi Aluminium

### 2.2.1 Aluminium Murni

Aluminium murni dapat diperoleh dengan mengekstraksi alumina dari bauksit melalui proses kimia, kemudian alumina tersebut larut dalam elektrolit cair ketika arus listrik mengalir melalui alumina. Sehingga mengakibatkan aluminium terkumpul pada katoda. Umumnya aluminium mencapai dengan kemurnian 99,85% dengan mengelektrolisa kembali dapat dicapai kemurnian sampai 99,99% (Surdia dan Saito, 2000). Pada tabel 2.1 menjelaskan tentang sifat fisik dari aluminium.

Tabel 2.1 Sifat-sifat fisik aluminium (Sumber: Surdia dan Saito, 2000)

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)	
	99,9996	>99,0
Massa jenis (20°)	2,6989	2,71
Titik cair	660,2	653-657
Panas jenis (cal/g.°C) (100°C)	0,2226	0,2297
Hantaran listrik	64,94	59 (dianil)
Tahanan listrik koefisien temperatur (/°C)	0,00429	0,0115
Koefisien pemuaian (20-100°C)	23,86 x 10 <sup>-6</sup>	23,5 x 10 <sup>-6</sup>
Jenis kristal, konstanta kisi	<i>fcc</i> , <i>a</i> = 4,013 kX	<i>fcc</i> , <i>a</i> = 4,04 kX

*Catatan: fcc: face centered cubic*

Tabel 2.2 Sifat-sifat mekanik aluminium (Sumber: Surdia dan Saito, 2000)

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)			
	99,996		>99,0	
	Dianil	75% Dirol dingin	Dianil	H18
Kekutan tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	4,9	11,6	9,3	16,9
Kekuatan mulur (0,2%) (kg/mm <sup>2</sup> )	1,3	11,0	3,5	14,8
Perpanjangan (%)	48,8	5,5	35	5
Kekerasan Brinell	17	27	23	44

Dari data data tabel 2.2 diatas, dapat ditarik kesimpulan bahwa aluminium merupakan konduktor listrik yang baik dan ketahanan korosi berubah menurut kemurnian aluminium, pada umumnya untuk kemurnian 99,0% atau diatasnya dapat dipergunakan di udara bebas dan tahan dalam kurung waktu bertahun-tahun. Keutamaan aluminium dalam bidang teknik yaitu sifatnya yang unik dan menarik seperti dapat ditempa menjadi lembaran, ditarik menjadi kawat dan diekstrusi menjadi batangan dengan bermacam-macam penampang namun memiliki sifat mekanis yang kurang baik seperti contohnya kekerasan sehingga perlu ditambahkan paduan untuk menyeimbangkan kebutuhan dari kekurangan sifat aluminium murni tersebut.

### 2.2.2 Paduan Aluminium

Aluminium banyak digunakan sebagai logam paduan dibandingkan sebagai logam murni dikarenakan sifatnya yang relatif lunak. Walaupun aluminium memiliki banyak kelebihan dibanding logam lainnya, tetapi di dalam aplikasi dibidang teknik aluminium masih memiliki kelemahan yaitu sifat mekanik aluminium kurang baik terutama pada kekerasan, batas cair, dan regangannya. Sehingga perlu ditambahkan unsur paduan untuk meningkatkan sifat mekanisnya (Kurnia *et al*, 2008). Unsur-unsur paduan yang digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik aluminium adalah tembaga, silikon, mangan, magnesium, zinc dan unsur-unsur lainnya (Surdia dan Saito, 2000).

Paduan aluminium dikelompokkan berdasarkan pada jenis unsur paduan dengan sistem 4 digit dimana digit pertama menunjukkan kelompok aluminium, digit kedua menunjukkan modifikasi dari paduan aslinya atau batas unsur pengotor dan 2 digit terakhir menunjukkan kemurnian aluminium. Dari tabel 2.3 menunjukkan bahwa hubungan kode standart dengan komposisi dari bahan tersebut. Saat ini klasifikasi aluminium mengacu pada standart dunia yaitu *Aluminium Association (AA)*.

Tabel 2.3 Klasifikasi paduan aluminium (Sumber: Surdia dan Saito, 2000)

Standart AA	Keterangan
1001	Al murni 99,5% atau di atasnya
1100	Al murni 99,0% atau di atasnya
2010-2029	Cu merupakan unsur paduan utama
3003-3009	Mn merupakan unsur paduan utama
4030-4039	Si merupakan unsur paduan utama
5050-5086	Mg merupakan unsur paduan utama
6061-6069	Mg <sub>2</sub> Si merupakan unsur paduan utama
7070-7079	Zn merupakan unsur paduan utama

Tabel 2.4 Klasifikasi perlakuan panas (Sumber: Surdia dan Saito, 2000)

Tanda	Perlakuan
-F	Setelah pembuatan
-O	Dianil penuh
-H	Pengerasan regangan
-H 1 <sub>n</sub>	Pengerasan regangan
-H 2 <sub>n</sub>	Sebagian dianil pengerasan regangan
-H 3 <sub>n</sub>	Dianil untuk penyetabilan setelah pengerasan regangan
-T	Perlakuan panas
-T2	Penganilan penuh (hanya untuk pengecoran)
-T3	Pengerasan regangan setelah perlakuan pelarutan
-T4	Penuaan alamiah penuh setelah perlakuan pelarutan
-T5	Penuaan tiruan (tanpa perlakuan pelarutan)
-T6	Penuaan tiruan setelah perlakuan pelarutan
-T7	Penyetabilan setelah perlakuan pelarutan
-T8	Perlakuan pelarutan, pengerasan regangan, penuaan tiruan
-T9	Perlakuan pelarutan, penuaan tiruan, pengerasan regangan
-T10	Pengerasan regangan setelah penuaan tiruan

Pada tabel 2.4 menjelaskan bahwa pada paduan Al perubahan yang berarti dari suatu material disebabkan oleh perlakuan panas (Bourane *et al*, 2013), sebagai contohnya seperti paduan 7075-T6. Dimana paduan aluminium tersebut dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis yaitu:

a. Paduan Al-Cu

Merupakan paduan aluminium yang memiliki seri 2xxx dan mengandung unsur tembaga sebesar 4 - 5%. Pada jenis paduan ini memiliki sifat-sifat mekanik dan mampu mesin yang baik sedangkan untuk kemampuan coranya masih tergolong kurang baik. Oleh sebab itu penambahan Si sangat berpengaruh pada paduan ini untuk memperbaiki keadaan tersebut dan penambahan Ti berguna untuk memperhalus butir. Paduan ini dipakai untuk bagian-bagian motor mobil, dan rangka utama dari katup (Surdia, 1991).

b. Paduan Al-Mn

Merupakan paduan aluminium yang memiliki seri 3xxx. Penambahan Mn berfungsi untuk memperkuat Al tanpa mengurangi sifat ketahanan korosi dan biasa dipakai sebagai pembuatan paduan tahan korosi. Sebagai contoh penambahan Mn sekitar 1.2% pada A3003 meningkatkan kekuatan 10% pada aluminium dan merupakan salah satu paduan yang tahan korosi tanpa dilakukan perlakuan panas. Paduan ini biasa digunakan untuk peralatan dapur seperti panci dan panel-panel elektronik.

c. Paduan Al-Si

Merupakan paduan aluminium yang memiliki seri 4xxx. Paduan Al-Si memiliki kecairan yang baik, permukaan yang bagus, tanpa kegetasan panas baik serta merupakan paduan yang sangat baik untuk coran. Untuk paduan Al-Si yang memerlukan perlakuan panas ditambahkan Mg, Cu, Ni untuk memberikan sifat kekerasan pada saat paduan mengalami pemanasan, dan biasanya paduan ini dipakai sebagai torak motor (piston).

d. Paduan Al-Mg

Merupakan paduan aluminium yang memiliki seri 5xxx dan mengandung unsur magnesium sebesar 4 - 16%. Dengan keberadaan magnesium sebesar 15,35% sangat berpengaruh terhadap aluminium karena dapat menurunkan titik lebur logam paduan yang cukup drastis dari 600° C hingga menjadi 450° C. Namun, hal tersebut tidak menjadikan paduan Al-Si dapat ditempa menggunakan suhu panas dengan mudah dikarenakan pada suhu diatas 60° C korosi mulai terjadi. Magnesium juga dapat menjadikan aluminium bekerja

dengan baik pada temperatur rendah, dimana kebanyakan logam lain akan mengalami failure pada temperatur tersebut. Karena jenis paduan ini memiliki sifat yang sangat kuat dan mudah untuk dilakukan pengelasan banyak digunakan untuk bahan tangki LNG.

e. Paduan Al-Mg-Si

Merupakan paduan aluminium yang memiliki seri 6xxx. Jika sedikit Mg ditambahkan kedalam Al, pengerasan penuaan sangat jarang terjadi tetapi apabila secara simultan mengandung Si maka dapat dikeraskan dengan penuaan panas setelah perlakuan pelarutan (Surdia dan Saito, 2000). Paduan ini memiliki sifat mampu tempa yang baik, keuletan yang baik serta sangat baik dilakukan pada proses pembentukan pada temperatur rendah dan dapat dilakukan perlakuan pemanasan. Paduan ini biasanya digunakan material konstruksi dan parts body truck.

f. Paduan Al-Zn

Merupakan paduan aluminium dengan seri 7xxx dengan mengandung unsur Zn sekitar 5.1 – 6.1 %. Paduan ini dapat dibuat menjadi sifat yang keras sekali apabila telah dilakukan proses perlakuan pelarutan, tetapi disisi lain memiliki sifat getas yang disebabkan oleh retakan korosi tegangan. Di Jepang Igarashi *et al*, (1940) telah melakukan studi mengembangkan paduan logam ini dengan penambahan kira-kira 3% Mn atau Cr dimana butir kristal dapat diperhalus dan mengubah bentuk resivitasi serta retakan.

Pada saat perang dunia kedua Amerika juga mengembangkan paduan yang hampir sama yang sekarang menjadi paduan yang dinamakan 7075. Pada paduan ini biasanya digunakan pada konstruksi pesawat terbang seperti pada bagian body karena paduan Al-Zn ini memiliki ketahanan aus yang baik.

### 2.3 Aluminium 7075

Paduan pada seri 7075 merupakan paduan yang banyak digunakan pada industri pengecoran maupun bahan konstruksi dikarenakan memiliki sifat kekuatan yang sangat baik namun disisi lain memiliki sifat getas yang disebabkan oleh retakan korosi tegangan (Da Xu *et al*, 2017)



Tetapi masalah tersebut telah bisa teratasi dengan melakukan proses perlakuan penuaan (*aging treatment*) pada aluminium 7075 sehingga dapat meningkatkan ketahanan pada rekatakan korosi tegangan (*ASM Metal Handbook*). Pada tabel 2.5 dibawah ini menjelaskan tentang komposisi dan karakterisasi material 7075 menurut buku *Aerospace Spesification Metals* (ASM).

Tabel 2.5 Composition (Sumber: *ASM Material Data Sheet, Aluminium 7075*)

Component	Wt. %
Al	87.1 – 91.4
Cr	0.18 – 0.28
Cu	1.2 – 2
Fe	Max 0.5
Mg	2.1 – 2.9
Mn	Max 0.3
Si	Max 0.4
Ti	Max 0.2
Zn	5.1 – 6.1
Other, each	Max 0.05
Other, total	Max 0.15

Pada *ASM Handbook* juga menjelaskan bahwa aluminium 7075 banyak digunakan pada aplikasi *aircraft fittings, gears and shafts, fuse parts, meter shafts and gears, missile parts, regulating valve parts, worm gears, keys, aircraft, aerospace and defense applications; bike frames, all terrain vehicle (ATV) sprockets*.

## 2.4 Unsur Paduan

### 2.4.1 Tembaga

Tembaga merupakan salah satu logam yang banyak digunakan sejak dahulu karena memiliki sifat mampu mesin yang baik, tahan korosi, konduktor listrik dan panas yang tinggi. Sejak tahun 1913 tembaga telah digunakan dalam skala industri digunakan sebagai kawat atau bahan untuk penukar panas dalam memanfaatkan arus listrik. Pada tahun tersebut pula IASC (*Intenational Annealed*

*Copper Standart*) menetapkan satuan hantaran listrik menjadi nilai rata-rata 100% (Surdia dan Saito, 2000).

Tembaga murni memiliki struktur kristal *face centered cubic* (FCC) seperti pada gambar 2.1. Tembaga murni memiliki warna kemerahan, memiliki titik lebur pada 1084°C, dan berat jenisnya adalah 8,9 gr.cm<sup>-3</sup>. Konduktivitas panas dan listrik dari tembaga 1,5 lebih besar jika dibandingkan dengan aluminium.

Tembaga memiliki sifat-sifat sebagai berikut (Murphy, 1981) :

- a. Tembaga merupakan logam berwarna kuning kemerahan dan sifatnya keras
- b. Tembaga mudah ditempa dan bersifat mulur sehingga mudah untuk dibentuk menjadi pipa, lembaran tipis, dan kawat.
- c. Tembaga merupakan konduktor panas dan listrik yang baik, kedua setelah perak
- d. Tembaga relatif tidak reaktif sehingga tahan terhadap korosi
- e. Tembaga dapat didaur ulang

Sifat-sifat tembaga yang lain seperti sifat termal dan sifat mekanik tertulis pada ASM Metal Handbook vol.2 (2010) dijelaskan sebagai berikut. Koefisien pemuaian termal tembaga dan sifat mekanik tembaga dijelaskan pada tabel 2.6 dan tabel 2.7

a. Sifat Termal

Temperatur lebur : 1084° C

Temperatur didih : 2562° C

Tabel 2.6 Koefisien pemuaian termal (Sumber: *ASM MetalHandbook* vol.2, 2010)

Rentang Temperatur, oC	Koefisien Rata-Rata, $\mu\text{m}/\text{m.K}$
20 hingga 100	17,0
20 hingga 200	17,3
20 hingga 300	17,7

Nilai Konduktivitas termal tembaga : 391 W/m.K pada 20° C

Kapasitas kalor tembaga : 385 J/kg.K pada 20° C

b. Sifat Mekanik

Sifat mekanik tembaga ditunjukkan pada tabel 2.7 mengacu pada buku *ASM Metal Handbook* vol.2.



Tabel 2.7 Sifat mekanik tembaga (Sumber: *ASM Metal Handbook* vol.2, 2010)

Kemurnian %	Tensile Yield Strenght		Ultimate Tensile Strenght	
	Mpa	Ksi	Mpa	Ksi
99.99	365	53	455	66
99,95	345	50	795	53

Semakin berkembangnya teknologi kemurnian tembaga semakin meningkat hingga kini memiliki nilai konduktivitas listrik 103% dan hantaran panas pada 20° C telah diperbaiki dari 0,923 cal/(cm. derajat. detik) dalam tahun 1950-an sampai 0,941 cal/(cm. derajat. detik) dalam tahun 1970-an (Surdia dan Saito, 2000). Tembaga memiliki sifat tahan korosi yang baik di dalam air, tanah maupun dalam air laut, hal ini disebabkan karena adanya lapisan oksida yang melapisi permukaannya.

Pengaruh penambahan tembaga sebagai paduan aluminium sangat mempengaruhi pada sifat aluminium tersebut, yaitu dapat:

- 1) Meningkatkan kekerasan bahan
- 2) Memperbaiki kekuatan tarik
- 3) Mempermudah proses pengerjaan dengan mesin.

Dari penjelasan sifat penambahan tembaga diatas juga dibenarkan oleh beberapa peneliti seperti Yudi Surya (2013) penambahan unsur tembaga jika bertemu dengan Zn akan menambahkan kekuatan tarik dan Sang-soo *et al* (2016) juga berpendapat bahwa kekerasan semakin meningkat seiring bertambahnya unsur Cu dan Zn. Namun dari berbagai sifat diatas penambahan cu juga dapat menurunkan sifat keuletan atau elongasi dari paduan aluminium.

## 2.5 Pengecoran

Pengecoran merupakan merupakan salah teknologi proses manufaktur tertua dan sampai saat ini masih digunakan di dunia industri karena mampu membentuk bagian yang rumit dan sangat ekonomis. Maka dari itulah pengecoran saat ini sangat berperan penting dalam industri manufaktur. Prinsip dari pengecoran sangat sederhana seperti yang diungkapkan oleh Surdia (2000)

menyatakan bahwa pengecoran logam merupakan proses pembuatan produk yang diawali dengan mencairkan logam kedalam tungku peleburan kemudian dituangkan kedalam cetakan yang terlebih dahulu dibuat pola, hingga logam cair tersebut membeku dan kemudian dilepas dari cetakan.

Benda-benda yang dibentuk melalui proses pengecoran memiliki keunggulan yang tidak dimiliki oleh proses pembentukan benda kerja yang lain, seperti sifat-sifat dari material yang dapat didesain sesuai keinginan melalui rekayasa formula campuran logam dan desain bentuk benda kerja yang tidak ada batasnya. Keunggulan ini membuat pengecoran menjadi proses yang sangat penting dalam industri (Sudjana, 2008). Namun hasil dari pengecoran juga memiliki kekurangan yaitu terkadang harus membutuhkan *heat treatment* untuk memperbaiki sifat mekanisnya.

#### 2.5.1 Jenis-jenis Cetakan Pengecoran

Dalam dunia industri pengecoran logam dikenal beberapa jenis cetakan pengecoran logam yang biasa digunakan antara lain:

##### a. Pengecoran dengan Cetakan Pasir.

Pengecoran dengan menggunakan cetakan pasir biasanya disebut dengan *expendable mold* yang berarti cetakan sekali pakai. Dimana untuk mengeluarkan produk corannya cetakan harus dihancurkan terlebih dahulu dan biasanya cetakan ini terbuat dari pasir. Pasir yang dipakai sebagai bahan untuk cetakan adalah pasir alam atau pasir buatan yang mengandung tanah lempung. Cetakan dibuat dengan memadatkan pasir. Cetakan jenis ini mudah dibuat dan biaya pembuatannya juga tidak mahal dalam pembuatannya kadang-kadang diberikan pengikat khusus untuk memperkuat cetakan, misalnya semen, dan sebaiknya dalam menggunakan pengikat tersebut perlu mempertimbangkan bentuk, bahan dan jumlah produk, sehingga biaya pembuatan dapat ditekan (Tata Surdia dan Chijiwa Kenji, 1998).

##### b. Pengecoran dengan cetakan logam

Pengecoran dengan menggunakan cetakan logam atau biasa disebut dengan *permanent mold* sehingga cetakan dapat digunakan berulang-ulang. Pengecoran dalam cetakan logam dilaksanakan dengan menuangkan logam

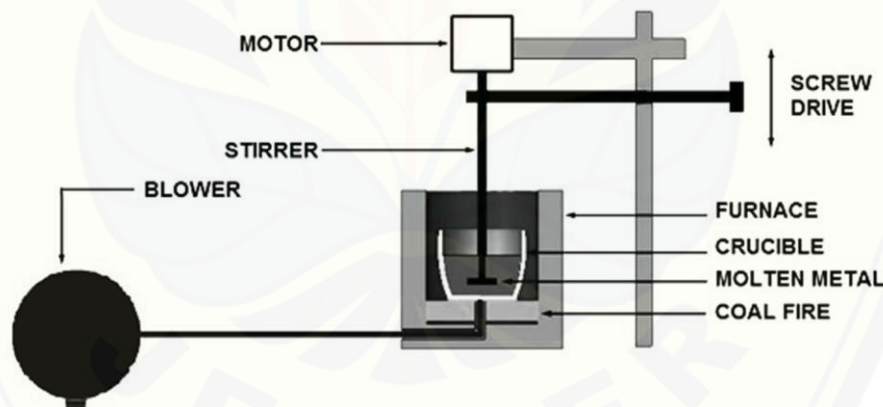
cair ke dalam cetakan logam seperti pada pengecoran pasir. Sebagai bahan cetakan terutama dipakai baja khusus, atau besi cor paduan. Sebagai bahan coran umumnya diambil paduan bukan besi yang mempunyai titik cair rendah seperti paduan aluminium, paduan magnesium atau paduan tembaga (Tata Surdia dan Chijiwa Kenji, 1998).

### 2.5.2 Metode Pengecoran

Metode-metode yang digunakan pada proses pengecoran pada umumnya berbagai macam antara lain:

#### a. *Stir Casting*

*Stir Casting* adalah metode pengecoran dengan melakukan pengadukan disaat telah dilakukan pencampuran unsur tambahan ketikan logam paduan telah mencair ilustrasi seperti yang ditampilkan pada gambar 2.2. Penggunaan metode *stir casting* dilakukan agar logam paduan dan unsur paduan dapat terdistribusi secara merata sehingga unsur paduan dapat bercampur secara homogen pada seluruh logam paduannya.



Gambar 2.2 Metode *Stir Casting* (Ulhas *et al*, 2017)

#### b. *Gravity Casting*

*Gravity casting* merupakan cetakan yang terbuat dari logam atau biasa disebut cetakan permanen. Metode dari *gravity casting* yaitu proses pengecoran yang dilakukan dengan cara menuangkan logam cair ke dalam cetakan dimana pada saat penuangannya menggunakan gaya gravitasi dan tidak diberikan tekanan.

Pengecoran menggunakan cetakan permanen dengan metode *gravity casting* akan menghasilkan benda kerja yang memiliki struktur mikro yang lebih halus dengan pori-pori kecil sehingga mampu untuk meningkatkan sifat mekaniknya (Deny dan Pras, 2016).

Tabel 2.8 Keuntungan dan kerugian *gravity casting*

(Sumber: Tata surdia dan Chijiwa kenji, 1998)

Keuntungan	Kerugian
Ketelitian ukuran sangat baik	Tidak sesuai untuk produksi kecil
Struktur yang dihasilkan lebih rapat	Sukar membentuk cetakan bentuk rumit
Proses mudah dan produktivitas tinggi	Pembentukan cetakan sulit dan mahal

c. *High Pressure Die Casting* (HPDC)

Merupakan proses pengecoran logam dengan cara logam cair diinjeksikan atau diberikan tekanan kedalam cetakan dengan tekanan tinggi sekitar 20Mps-80Mps hingga membeku dan tekanan konstan dipertahankan hingga pembentukan pembekuan logam berlangsung.

d. *Centrifugal Casting*

Merupakan proses pengecoran logam dengan cara cetakan logam diputar pada saat penuangan logam cair sehingga logam cair akan terlempar keluar dari posisi penuangan. Proses pengecoran dengan metode ini biasanya mendapatkan hasil benda kerja yang tipis dalam bentuk pipa dengan perbandingan antara ketebalan dan panjang dengan rasio yang besar biasa digunakan untuk aplikasi benda kerja bulat dan silinder.

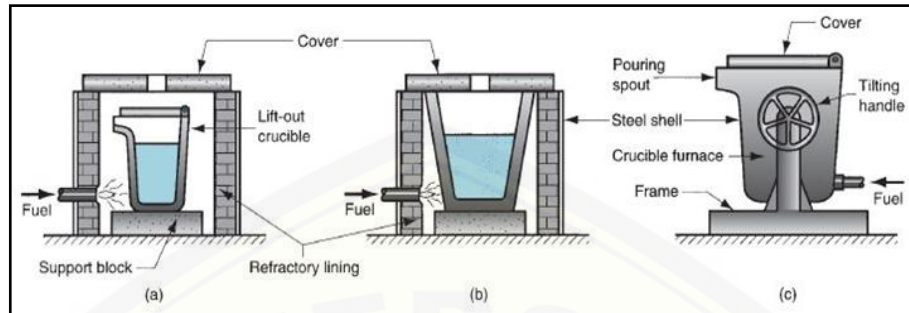
### 2.5.3 Tungku Peleburan

Dalam proses pengecoran tungku peleburan adalah alat utama sebagai pelarutan bahan coran agar menjadi logam cair. Dalam industri peleburan dan pengecoran logam banyak dikenal beberapa macam tungku pengecoran sesuai material yang akan dilebur, jenis energi dan kapasitasnya antara lain:

a. Dapur krusibel

Dapur krusibel merupakan tungku pengecoran dengan cara meleburkan logam tanpa berhubungan langsung dengan bahan pembakaran. Dapur krusibel biasa digunakan untuk peleburan logam non-besi seperti aluminium,

perunggu, kuningan, tembaga, dan seng dengan kapasitas dapur terbatas sekitar hanya beberapa puluh kilogram saja.



Gambar 2.3 Tipe tungku krusibel (1) lift out (2) stasioner (3) tilting pot  
(Groover, 2010)

1) Krusibel angkat (*lift out*)

Merupakan tipe tungku dimana krusibel ditempatkan didalam dapur dan dipanaskan hingga logam mencair dan menggunakan bahan bakar minyak, gas atau serbuk batu bara. Bila logam sudah mencair krusibel diangkat dari dapur menggunakan jepitan khusus dan sekaligus krusibel tersebut digunakan sebagai ladle penuangan logam cair.

2) Krusibel tetap (*stasioner*)

Pada tungku tipe ini berbeda dengan tungku angka, dimana krusibel tidak dapat dipindahkan, untuk penuangan logam cair dibantu dengan ladle kemudian dituangkan ke cetakan.

3) Krusibel tukik (*tilting pot*)

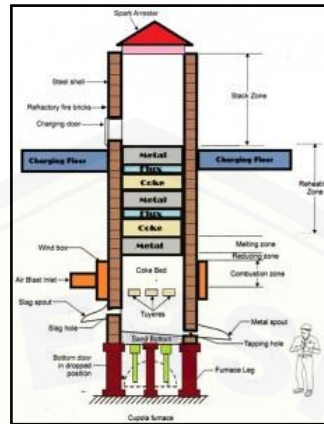
Merupakan krusibel yang tidak bisa dipindahkan sama seperti prinsip krusibel tetap, namun cara penuangan logam dilakukan dengan cara mendekatkan cetakan tepat dibawah sejajar dengan corong dapur tukik agar logam cair bisa dimasukkan kedalam cetakan ketika tungku ditukikkan.

b. Dapur kupola

Merupakan dapur pengecoran yang biasanya digunakan untuk meleburkan besi tuang. Dapur ini memiliki model silindris tegak dan terbuat dari baja pada bagian dalamnya dilapisi oleh bata tahan api. Untuk dapur tipe ini



menggunakan bahan bakar kokas (*coke*), batu kapur digunakan sebagai fluks dan besi bekas sebagai bahan bakunya.



Gambar 2.4 Tungku kupola (Groover, 2010)

c. Dapur pembakaran langsung

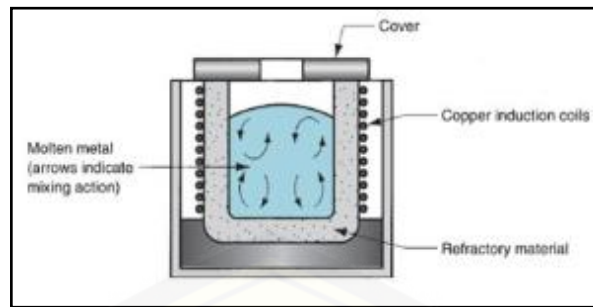
Merupakan dapur yang memiliki tungku kecil yang terbuka dimana logam ditempatkan didalam tungku tersebut dan dipanaskan dengan pembakaran yang berada disebelah tungku hingga melebur. Bahan bakar pada dapur ini menggunakan gas alam. Dapur jenis ini juga biasanya digunakan untuk meleburkan tembaga atau aluminium.

d. Dapur busur listrik

Merupakan dapur pengecoran yang menggunakan energi listrik sebagai energi panasnya agar dapat meleburkan logam. Biasanya menggunakan dua atau tiga elektrode sehingga membutuhkan konsumsi daya yang tinggi karena dirancang untuk kapasitas lebur tinggi antara 25-50 ton/jam dan biasanya digunakan untuk pengecoran baja.

e. Dapur induksi

Merupakan dapur yang menggunakan arus bolak-balik yang dialirkan kesuatu kumparan untuk menghasilkan medan magnet magnetik dalam logam dan dihasilkan arus induksi sehingga terjadi pemanasan dan peleburan logam yang sangat cepat. Dapur ini biasanya digunakan untuk peleburan baja, besi tuang, aluminium dll.



Gambar 2.5 Tungku induksi (Groover, 2010)

## 2.6 Tahapan Pengecoran

Secara garis besar pengecoran memiliki tahapan-tahapan yang harus dilakukan sebagai berikut:

### 2.6.1 Peleburan Logam

Peleburan logam berfungsi untuk mencairkan logam dengan cara melalui proses pemanasan. Seperti yang diungkapkan oleh Sudjana (2008) menyatakan “proses peleburan bahan tuangan dilakukan dengan pemanasan didalam dapur *copula* atau induksi frekuensi rendah”. Untuk melakukan peleburan logam memerlukan kalor yang tinggi hingga logam dapat mencapai pada titik cair logam tersebut. Untuk setiap logam memiliki titik cair yang berbeda-beda, jadi dalam melakukan peleburan logam kita harus mempertimbangkan titik cair, berat jenis, dan koefisien dari bahan yang akan digunakan, sebagai contoh dapat dilihat pada tabel 2.9

Tabel 2.9 Berat jenis, titik cair, dan koefisien kekentalan (Sudjana, 2008)

Bahan	Berat Jenis (g/mm <sup>2</sup> )	Titik Cair (0°C)	Koefisien Kekentalan (cm <sup>2</sup> /det)
Air	0,9982 (20) °C	0	0,010061
Air Raksa	13,56 (20) °C	38,9	0,00114
Timah Putih	5,52 (232) °C	232,0	0,00199
Timah Hitam	10,55 (440) °C	327,0	0,00156
Seng	6,27 (420) °C	420,0	0,00508
Aluminium	2,35 (760) °C	660,0	0,00508
Tembaga	7,84 (1200) °C	1083,0	0,00395
Besi	7,13 (1600) °C	1537,0	0,00560
Besi Tuang	6,9 (1300) °C	1170,0	0,00230



### 2.6.2 *Degassing*

Hidrogen merupakan satu-satunya gas yang dapat larut pada aluminium dan paduannya. Hal ini terjadi dikarenakan kelarutan hidrogen pada range temperatur tinggi. Gas hidrogen akan larut dalam aluminium cair dan membuat aluminium tersebut menjadi berubah atau kotor. Kelarutan gas hidrogen berubah-ubah sesuai dengan perubahan temperatur. Aluminium cair dengan kandungan gas hidrogen yang tinggi dan tidak larut pada aluminium cair akan membentuk porositas jika membeku (Denny, 2016).

Pencegahan terjadinya hidrogen berlebihan pada aluminium dapat dilakukan dengan menghindari sumber masuknya hidrogen, proses yang dilakukan untuk mengeluarkan gas hidrogen dari cairan aluminium menggunakan proses *degassing* dengan menginjeksi gas-gas inert seperti gas argon kedalam cairan aluminium (Suprpto, 2011). *Degassing* biasanya berlangsung selama 3 menit dan *granular fluks* berada dipermukaan dari cairan logam yang dilebur ( Ji *et al*, 2012). Jenis proses *degassing* bermacam-macam dalam penggunaannya antara lain menggunakan gas argon (Chen *et al*, 2014). Selain itu penambahan unsur paduan juga berpengaruh terhadap kelarutan gas hidrogen dalam aluminium. Unsur paduan tembaga dapat menurunkan kelarutan gas hidrogen karena menghambat terjadinya reaksi penguraian uap air.

### 2.6.3 Penuangan

Proses penuangan dilakukan setelah logam telah mencair dan siap dituangkan dalam cetakan. Seperti Sudjana (2008) juga menyatakan bahwa “proses penuangan merupakan pengisian rongga cetakan dengan bahan tuangan yang telah dilebur, berbagai cara penuangan dapat dilakukan sesuai dengan sistem pengecoran yang dilakukan, seperti penuangan pada cetakan pasir dilakukan dengan sistem penuangan menggunakan panci tuang (*ladle*).

### 2.6.4 Pembongkaran

Pembongkaran dilakukan setelah logam mengalami pembekuan yang cukup didalam cetakan. Seperti pada cetakan permanen pembongkaran dilakukan dengan membuka baut-baut pengunci dan kemudian melepaskan hasil coran yang menempel pada dinding cetakan tersebut.

## 2.7 Perlakuan Panas

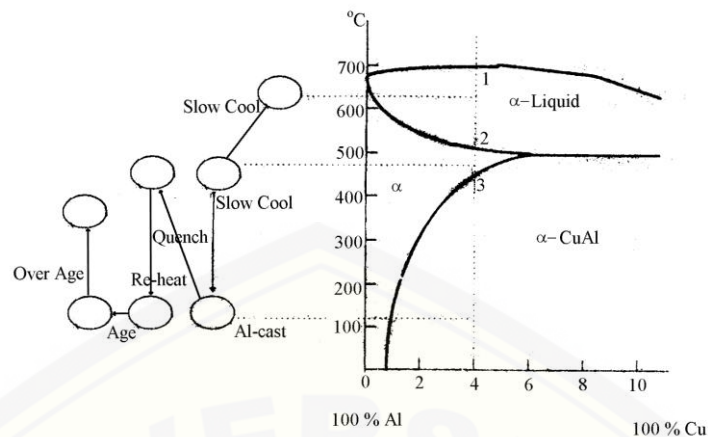
Perlakuan panas merupakan suatu proses kombinasi antara proses pemanasan atau pendinginan dari suatu logam atau paduannya untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu. Untuk mendapatkan hal ini maka kecepatan pendinginan dan batas temperatur sangat menentukan sehingga penentuan bahan logam yang tepat pada hakekatnya merupakan kesepakatan antara berbagai sifat, lingkungan dan cara penggunaan hingga sampai dimana sifat bahan logam tersebut dapat memenuhi persyaratan yang telah ditentukan. Sifat –sifat bahan logam perlu dikenal secara baik karena bahan logam tersebut dipakai pada berbagai kepentingan dan dalam keadaan sesuai dengan fungsinya. Tetapi terkadang sifat-sifat bahan logam ternyata kurang memenuhi persyaratan sesuai dengan fungsi dan kegunaannya.

Seperti yang di ungkapkan oleh Tata Surdia dan Kenji Chijiwa (1991) Perlakuan panas adalah proses untuk memperbaiki sifat dari logam dengan jalan memanaskan coran sampai temperatur yang cocok, kemudian dibiarkan beberapa waktu pada temperatur itu, kemudian didinginkan ke temperatur yang lebih rendah dengan kecepatan yang sesuai. Sehingga diperlukan suatu usaha untuk dapat meningkatkan atau memperbaiki sifat-sifat logam. Sifat-sifat logam tersebut dapat ditingkatkan dengan salah satunya adalah perlakuan panas.

### 2.7.1 *Homogenizing*

Paduan aluminium yang memperoleh dari hasil proses pengecoran cenderung memiliki mikrostruktur yang tidak seragam. Untuk itu perlu dilakukan suatu perlakuan untuk memperbaiki mikrostruktur paduan. Perlakuan yang umum dilakukan pada aluminium paduan 7075 + Cu pada hasil pengecoran adalah *homogenizing*.

*Homogenizing* merupakan suatu proses pemanasan pada temperatur tinggi daerah garis *solvus line* (nomor 3) yang dapat dilihat pada gambar 2.6 yang bertujuan untuk menghilangkan efek segregasi kimia, menyeragamkan partikel dan memperbaiki sifat mampu pengerjaan panas yang umum dilakukan pada ingot hasil pengecoran.



Gambar 2.6 Diagram fasa Al-Cu (Samuel, 2002)

### 2.7.2 Quenching

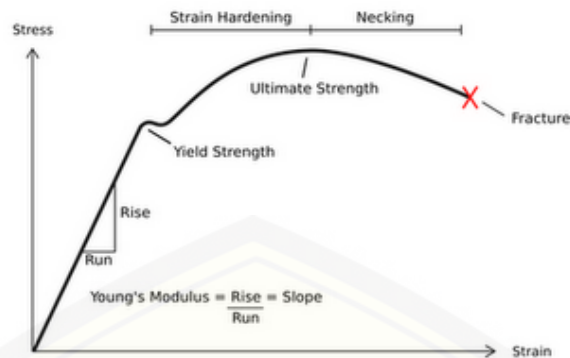
Proses ini dilakukan agar pada saat paduan telah homogen strukturnya dilakukan pendinginan secara cepat agar atom-atom yang berada didalamnya tidak sempat bergerak/berdifusi.

## 2.8 Karakterisasi Material

Karakterisasi material merupakan proses pengujian bahan atau logam yang berguna untuk mendapatkan dan mengetahui sifat dari logam dengan menggunakan alat uji. Proses pengujian bahan pada prinsipnya dibagi menjadi dua yaitu sifat fisik dan sifat mekanik. Walaupun pada perkembangan zaman saat ini masih ada sifat lain yang juga penting untuk mengetahui sifat dari logam tersebut seperti sifat kimia dan teknologi.

### 2.8.1 Pengujian Tarik

Pengujian tarik merupakan suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan material atau bahan dengan memberikan gaya statis yang diberikan secara lambat. Hasil yang didapat dari pengujian tarik ini sangat penting untuk rekayasa teknik dan desain produk karena menghasilkan data kekuatan material dan kurva. Pada gambar 2.7 kurva ini akan menunjukkan hubungan antara tegangan dengan regangan.



Gambar 2.7 Kurva tegangan regangan (Sumber: Suudi Flame, 2013)

Pengujian tarik ini dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis suatu material, khususnya logam diantara sifat-sifat mekanis yang dapat diketahui dari hasil pengujian tarik adalah sebagai berikut:

- Kekuatan tarik
- Kuat luluh dari material
- Keuletan dari material
- Modulus elastic dari material
- Kelentingan dari suatu material
- Ketangguhan.

Perubahan panjang dalam kurva disebut dengan regangan teknik yang dapat didefinisikan sebagai perubahan panjang yang terjadi akibat dari perubahan statis ( $\Delta L$ ) terhadap panjang mula-mula ( $L_0$ ). Hasil tegangan yang terjadi pada proses ini disebut dengan tegangan teknik, yang didefinisikan sebagai nilai pembebanan ( $F$ ) pada luas penampang awal ( $A_0$ ). Tegangan normal akibat gaya tarik dapat dihitung dengan persamaan:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

$\sigma$  : Tegangan tarik (Mpa)

$F$  : Gaya tarik (N)

$A_0$  : Luas penampang spesimen mula-mula ( $\text{mm}^2$ )

Regangan akibat dari beban teknik statis dapat dihitung dengan persamaan:

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

$\epsilon$  : Regangan akibat daya tarik

$\Delta L$  : Perubahan panjang spesiemen (mm<sub>2</sub>)

$L$  : Panjang spesiemen mula-mula (mm<sub>2</sub>)

Regangan akibat pengujian tarik yang terjadi mengakibatkan panjang akan bertambah sedangkan diameter pada spesiemen uji akan mengecil sehingga menyebabkan akan terjadinya deformasi plastis. Hubungan dari *strees* dan *strain* dapat dirumuskan pada persamaan dibawah ini:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana E merupakan modulus elastisitas yang menjelaskan perbandingan antara tegangan dan regangan.

### 2.8.2 Pengujian Kekerasan

Kekerasan merupakan sifat alami yang dimiliki suatu logam atau material. Salah satu proses yang mempengaruhi kekerasan suatu material yang diuji adalah proses *heat treatment*. Kekerasan memiliki arti yang berbeda sesuai dengan bidang pemakaiannya. Pada pengujian logam kekerasan didefinisikan sebagai ketahanan suatu logam terhadap indentasi (penekanan) sedangkan didalam mineralogi kekerasan merupakan ketahanan suatu mineral terhadap goresan dengan menggunakan standar kekerasan mohs.

Pemilihan logam yang akan digunakan untuk aplikasi ketahanan gesekan (*wear resistance*) harus mempertimbangkan sifat kekerasan logam tersebut. Hubungan kekerasan sebanding dengan kekuatan logam dimana kekerasan suatu logam akan meningkat maka kekuatan logam tersebut juga cenderung meningkat, namun nilai kekerasan ini berbanding terbalik dengan keuletan dari logam. Dengan demikian, bahan benda kerja yang baik dan berkualitas tidak hanya ditentukan oleh keras atau lunaknya bahan tersebut, tetapi sangat banyak ditentukan oleh ketepatan memilih bahan sesuai besarnya pembebanan yang

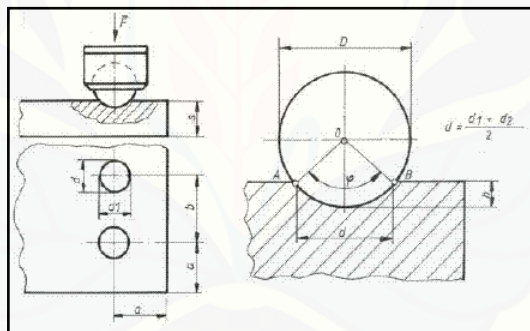


diberikan. Dengan pemilihan bahan yang tepat, akan diperoleh tingkat efisiensi yang tinggi dan dijamin kuat untuk menerima beban.

Pengujian kekerasan biasanya dilakukan dengan menekan indenter ke permukaan logam yang akan diukur kekerasannya. Indentor biasanya dapat berbentuk bola, piramid atau kerucut. Pengujian secara standart biasanya dengan menekan indenter secara berhati-hati secara tegak lurus  $90^\circ$ . Pengujian kekerasan memiliki beberapa macam yang diantaranya, yaitu:

a. Pengujian Brinell

Cara pengujian Brinell dilakukan dengan penekanan sebuah bola baja yang terbuat dari baja krom yang telah dikeraskan dengan diameter tertentu oleh suatu gaya tekan secara statis kedalam permukaan logam yang diuji tanpa sentakan seperti yang dilisutrasikan pada gambar 2.8. Permukaan logam yang diuji harus rata dan bersih. Diameter paling atas dari lekukan tersebut diukur secara teliti.



Gambar 2.8 Pengujian Brinell (Sumber: Samuel, 2014)

Rumus yang dipakai untuk menentukan kekerasan logam yang diuji:

$$\text{BHN} = \frac{2P}{\pi D [D - \sqrt{D^2 - d^2}]} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

P = beban yang diberikan (KP atau Kgf)

D = diameter indenter yang digunakan

d = diameter bekas lekukan

BHN merupakan sebuah besaran fisik yang kurang baik, karena tidak meliputi tekanan rata-rata pada seluruh permukaan indentitas.

1) Kelemahan Uji Brinell

Kelemahan dari pengujian brinell adalah uji brinell tidak dapat digunakan pada benda yang tipis dan kecil. Begitu juga dengan halnya tidak dapat digunakan pada material yang sangat lunak maupun sangat keras.

2) Keuntungan Uji Brinell

Adapun keuntungan dari pengujian brinell adalah pada pengujian ini tidak dipengaruhi oleh permukaan material yang kasar dan bekas penekanan yang cukup besar sehingga mudah diamati.

b. Pengujian Rockwell

Uji kekerasan rockwell memperhitungkan kedalaman indentitas dalam keadaan beban konstan sebagai penentu nilai kekerasan. Sebelum pengukuran, spesimen dibebani beban minor sebesar 10kg untuk mengurangi kecenderungan ridging dan sinking akibat beban indikator. Sesudah beban minor diberikan, spesimen langsung dikenakan beban mayor.

Kedalaman indentitas yang terkonveksi dalam skala langsung dapat diketahui nilainya dengan membaca dial gage pada alat. Dial tersebut terdiri dari 100 bagian yang masing-masing mempresentasikan presentasi sebesar 0,0002 mm. Dial disesuaikan sedemikian rupa sehingga nilai kekerasan yang tinggi berkorelasi dengan penetrasi. Kekerasan rockwell dibedakan menjadi beberapa jenis antara lain:

1) Rockwell A

Indentor berupa kerucut intan dengan pembebanan 60kg. Umumnya digunakan jenis logam yang sangat keras.

2) Rockwell B

Indentor berupa bola baja dengan diameter 1,6mm dan pembebanan 100kg. Umumnya digunakan jenis material yang lunak.

### 3) Rockwell C

Indentor berupa kerucut intan dengan pembebanan 150kg. Umumnya digunakan untuk logam-logam yang diperkeras dengan perlakuan panas.

Kelemahan dari metode Rockwell, yaitu:

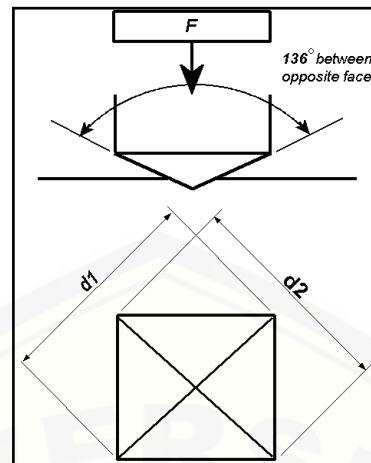
- 1) Tingkat ketelitian rendah
- 2) Tidak stabil apabila terkena guncangan
- 3) Penekanan bebannya tidak praktis

Keuntungan dari metode Rockwell, yaitu :

- 1) Dapat digunakan untuk bahan yang sangat keras
- 2) Dapat dipakai untuk batu gerinda sampai plastik
- 3) Cocok untuk semua material yang keras dan lunak

### c. Pengujian Vickers

Metode Vickers ini berdasarkan pada penekanan oleh suatu gaya tekan tertentu oleh sebuah indentor berupa pyramid diamond terbalik dengan sudut puncak  $136^\circ$  ke permukaan logam yang akan diuji kekerasannya seperti pada gambar 2.9, dimana permukaan logam yang diuji ini harus rata dan bersih. Angka kekerasan Vickers (VHN) didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan (Dieter, 1996:334). Pengujian Vickers dapat dilakukan tidak hanya pada benda yang lunak akan tetapi juga dapat dilakukan pada bahan yang keras. Bekas penekanan yang kecil pada pengujian Vickers mengakibatkan kerusakan bahan percobaan relatif sedikit. Pada benda kerja yang tipis atau lapisan permukaan yang tipis dapat diukur dengan gaya yang relatif kecil.



Gambar 2.9 Indentor Uji Vickers (Sumber: Samuel, 2014)

Prinsip dari pengujian ini yaitu beban besar dibagi dengan luas daerah indentitas atau dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{VHN} = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{l^2} \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan:

P = Besar beban indikator (kg)

l = Luas daerah indentitas (mm)

#### 1) Kelemahan Uji Vickers

Pada uji vickers ini membutuhkan waktu yang cukup lama untuk menentukan nilai kekerasan sehingga jarang dipakai pada pengujian yang rutin.

#### 2) Keuntungan Uji Vickers

Keuntungan dari uji vickers adalah skala kekerasannya yang kontinyu untuk rentang yang luas, dari yang sangat lunak dengan nilai 5 maupun yang sangat keras dengan nilai 1500 karena indenter intan yang sangat keras. Selain pada uji vickers, beban tidak perlu diubah dan tidak bergantung pada besar beban indenter dan uji vickers ini dapat dilakukan dengan benda dengan ketebalan yang tipis sampai 0,006 inchi.

### 2.8.3 Pengamatan Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro merupakan pengujian mengenai struktur bahan dengan menggunakan mikroskop khusus metalografi dengan perbesaran tertentu.

Dengan pengujian struktur mikro kita dapat mengamati bentuk dan serta ukuran kristal logam, kerusakan logam akibat deformasi, proses perlakuan panas dan perbedaan komposisi. Untuk melakukan pengujian struktur mikro, maka diperlukan proses metalografi. Proses metalografi bertujuan untuk melihat struktur mikro suatu bahan ada beberapa tahap yang harus dilakukan.

Langkah-langkah pada proses metalografi secara garis besar adalah sebagai berikut:

a. Pemotongan (*Sectioning*)

Proses pemotongan merupakan pemindahan material dari sampel yang besar menjadi spesimen dengan spesimen ukuran kecil.

b. Pembungkaihan (*Mounting*)

Pembungkaihan dilakukan pada bentuk spesimen yang ukurannya kecil atau tidak beraturan berguna untuk memudahkan dalam memegang spesimen pada proses pengamplasan dan pemolesan. Biasanya dilakukan dengan penambahan resin pada spesimen.

c. Penggrindaan, Pengamplasan, Pemolesan

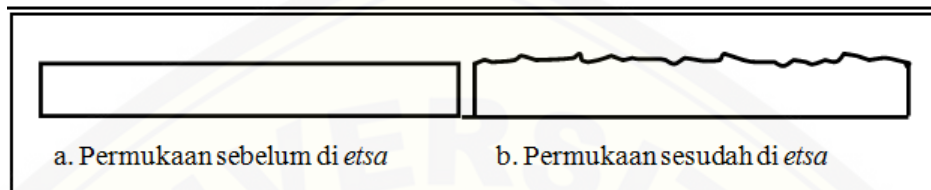
Tahap penggrindaan, pengamplasan dan pemolesan ini bertujuan untuk membentuk permukaan spesimen agar benar-benar rata. Pengamplasan dilakukan dengan cara menggosok spesimen pada mesin hand grinding yang diberi kertas gosok dengan ukuran grid yang paling kasar sampai yang paling halus. Sedangkan pemolesan sendiri dilakukan dengan menggosokkan spesimen diatas mesin polishing machine yang dilengkapi dengan kain wool yang diberi serbuk alumina dengan kehalusan 1-0,05 mikron. Panambahan serbuk alumina ini bertujuan untuk lebih menghaluskan permukaan specimen sehingga akan lebih mudah melakukan metalografi.

d. Pengetsaan (*Etching*)

Proses etsa ini pada dasarnya adalah proses korosi atau mengkorosikan permukaan spesimen yang telah rata karena proses grinding dan polishing menjadi tidak rata lagi. Ketidakrataan permukaan spesimen ini dikarenakan mikrostruktur yang berbeda akan dilarutkan dengan kecepatan yang berbeda, sehingga meninggalkan bekas permukaan dengan orientasi sudut yang



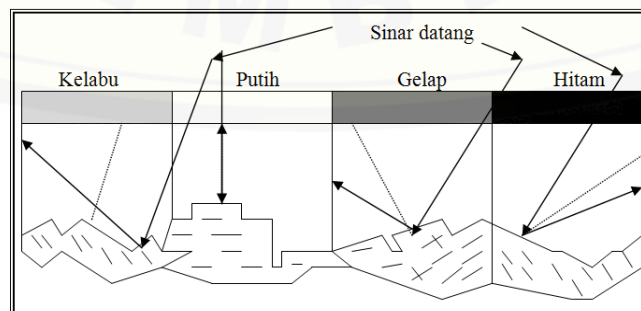
berbeda pula. Pada pelaksanaannya, proses etsa ini dilakukan dengan cara mencelupkan spesimen pada cairan etsa dimana tiap jenis logam mempunyai cairan etsa (*etching reagent*) sendiri-sendiri. Perhatikan Gambar 2.10 yang menunjukkan pengaruh efek proses etsa permukaan specimen yang telah mengalami proses pengamplasan dan pemolesan.



Gambar 2.10 Pengaruh Etsa pada Permukaan Spesimen

(Sumber: Herman, 2009)

Setelah permukaan spesimen di etsa, maka specimen tersebut siap untuk diamati di bawah mikroskop dan pengambilan foto metalografi. Pengamatan metalografi pada dasarnya adalah melihat perbedaan intensitas sinar pantul permukaan logam yang dimasukkan ke dalam mikroskop sehingga terjadi gambar yang berbeda (gelap, agak terang, terang). Dengan demikian apabila seberkas sinar di kenakan pada permukaan specimen maka sinar tersebut akan dipantulkan sesuai dengan orientasi sudut permukaan bidang yang terkena sinar. Semakin tidak rata permukaan, maka semakin sedikit intensitas sinar yang terpantul ke dalam mikroskop. Akibatnya, warna yang tampak pada mikroskop adalah warna hitam. Sedangkan permukaan yang sedikit terkorosi akan tampak berwarna terang (putih) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.11 berikut:



Gambar 2.11 Pantulan Sinar pada Pengamatan Metalografi

(Sumber: Herman, 2009)

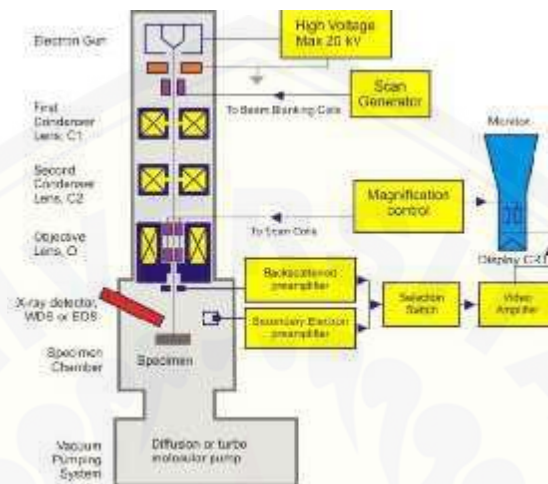
#### 2.8.4 SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

Teknik karakterisasi konvensional yang berbasis pada panjang gelombang 650nm keatas, seperti mikroskop optik pada analisis metalografi tidak memiliki resolusi yang cukup untuk mendapatkan informasi ilmiah yang diharapkan. Oleh karena itu diperlukan metode identifikasi dan karakterisasi lain yang dapat memberikan resolusi yang lebih tinggi sehingga dapat memberikan bantuan “penglihatan” bagi para peneliti untuk dapat mengamati apa yang terjadi di dalam dan sekitar interface antara bahan dengan lapisan oksida secara detil atau bahkan secara In-Situ. Untuk keperluan tersebut, Scanning Electron Microscopy (SEM) dipahami sebagai teknik yang sesuai yang diterima dan diakui oleh komunitas peneliti material dunia, ini ditandai dengan diberikannya penghargaan Nobel terhadap para penemunya, Ernst Ruska dan Max Knoll (Sujatno, 2015).

Identifikasi struktur mikro aluminium paduan 7075 + Cu dengan menggunakan SEM tidaklah sekedar pengambilan gambar dan fotografi, tetapi harus dilakukan dengan teknik dan metode operasi yang benar mengingat proses pembentukan image pada alat ini merupakan proses fisika yang merupakan interaksi korpuskular antara elektron sumber dengan atom pada bahan. Meskipun sinyal data yang dihasilkan cukup kuat dibanding mikroskop optik atau XRD, tetapi karena seringkali obyek pengamatan yang terbilang kecil dan mengandung komponen non konduktif, seperti lapisan pasivasi oksida pada permukaan, SEM dapat memberikan kontras yang relatif rendah terlebih pada perbesaran tinggi. Oleh karena itu SEM harus dioperasikan dengan pengaturan parameter elektron seperti high voltage, spot size, bias dan beam current juga parameter optik seperti kontras, fokus dan astigmatismus yang tepat sehingga diperoleh hasil gambar yang optimal secara ilmiah dan tidak memberikan interpretasi ganda. Selain itu, proses pengambilan gambar dan analisis kimia dengan SEM sangatlah dipengaruhi oleh jenis spesimen berikut cara penanganannya serta teknik preparasinya disamping kemampuan operasional dari operatornya (Sujatno, 2015).

Yang kedua adalah sumber elektron, biasanya berupa filamen dari bahan kawat tungsten atau berupa jarum dari paduan Lantanum Hexaboride LaB<sub>6</sub> atau Cerium Hexaboride CeB<sub>6</sub>, yang dapat menyediakan berkas elektron yang teoretis

memiliki energi tunggal (monokromatik), Ketiga adalah imaging detector, yang berfungsi mengubah sinyal elektron menjadi gambar/image. Sesuai dengan jenis elektronnya, terdapat dua jenis detektor dalam SEM ini, yaitu detektor SE dan detektor BSE (Sujatno, 2015).



Gambar 2.12 Blok Diagram SEM (Sumber : Sujatno, 2015)

## 2.9 Aplikasi

Aluminium 7075 merupakan paduan yang berkomposisi dari Al-Zn-Mg-Cu yang banyak digunakan pada struktur bahan industri, pesawat terbang, otomotif, *fitting*, dan kebutuhan rumah tangga serta alat medis karena sifatnya yang ringan dan memiliki kekuatan tertinggi diantara paduan aluminium lain. Maka pada aluminium jenis ini banyak diaplikasi dalam berbagai kebutuhan masa mendatang.

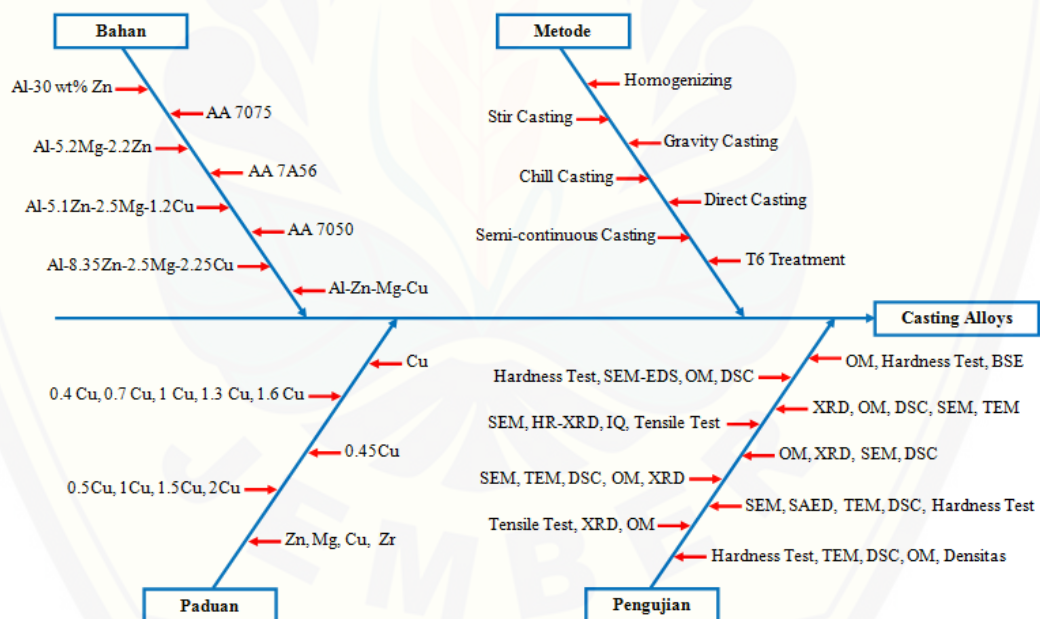


Gambar 2.13 Tongkat aluminium (Sumber : D. Raizenne and X. Wu, 2008)

Penambahan Cu pada aluminium 7075 dilakukan guna untuk menambah kekuatan pada paduan tersebut sehingga mampu untuk diaplikasikan sebagai tongkat seperti yang ditampilkan pada gambar 2.13 untuk manusia disabilitas seperti tuna daksa atau cacat fisik. Dikarenakan aluminium yang memiliki sifat ringan dan kekuatan yang cukup tinggi setelah dilakukan penambahan Cu dan perlakuan *homogenizing* sangat cocok untuk menahan beban yang diberikan dari manusia yang memakai dan ringan dalam penggunaannya.

## 2.10 Diagram Fishbone

*Fishbone* merupakan diagram perkembangan penelitian yang saat ini telah dilakukan pada paduan aluminium dengan penambahan unsur kandungan tembaga (Cu) menggunakan beberapa metode dan unsur persentase kadar tembaga yang berbeda yang dapat dilihat pada gambar 2.14 dibawah ini:



Gambar 2.14 Diagram *fishbone*

## 2.11 Hipotesis

Penambahan unsur tembaga (Cu) pada aluminium 7075 akan meningkatkan sifat kekerasan, meningkatkan kekuatan tarik baik sebelum dan sesudah dilakukan

perlakuan *homogenizing* sehingga memperbaiki sifat mekanis dari aluminium paduan tersebut.





### BAB 3. METODE PENELITIAN

#### 1.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini meliputi dua kegiatan utama yaitu: pembuatan dan pengujian paduan Aluminium 7075 dengan variasi penambahan Cu. Pembuatan spesimen dan pengamatan mikro dilakukan di Laboratorium Teknologi Terapan Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Jember. Pengujian Kekerasan dan Pengujian Tarik dilakukan di Laboratorium Uji Bahan Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Jember.

#### 1.2 Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini terdapat beberapa bahan dan alat serta alat K3 yang digunakan selama proses penelitian. Beberapa peralatan yang digunakan terdapat pada sub dibawah ini:

##### 1.2.1 Alat

- a. Peralatan yang digunakan untuk pembuatan paduan Aluminium 7075 + Cu
  - 1) Tungku peleburan
  - 2) Gergaji besi
  - 3) Timbangan digital
  - 4) Gas argon
  - 5) Cetakan permanen
  - 6) *Torch* pemanas
  - 7) *Thermogun*
  - 8) Alat pengaduk (*stir*)
  - 9) Perlengkapan K3
  - 10) Mesin poles/amplas
  - 11) Mesin bubut
- b. Peralatan yang digunakan untuk pengujian paduan Aluminium 7075 + Cu :
  - 1) Alat uji kekerasan *Hardness Tester THI20B*
  - 2) Alat uji tarik *Com Servo JIM 20KN*

- 3) Alat uji mikrostruktur *Microscopi Olympus BX41M*
- 4) *Scanning Electron Microscope (SEM) Phenom™ G2 Pro*

### 1.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada proses pembuatan paduan Aluminium 7075 + Cu

- a. Aluminium 7075 (Al-Zn)
- b. Cu C10100 99.9%
- c. Gas Argon
- d. Larutan *etsa*
- e. Resin dan amplas

### 1.3 Proses Pembuatan Sampel

Dalam proses pembuatan paduan aluminium 7075+Cu dilakukan penimbangan bahan aluminium 7075 dan Cu sesuai dengan variabel bebas sebesar 1%, 2%, 3%, 4% yang kemudian dilakukan proses pengecoran dengan metode *gravity casting*.

Langkah-langkah untuk proses pembuatan sampel paduan aluminium 7075+Cu sebagai berikut:

- a. Menimbang massa Aluminium 7075.
- b. Menimbang massa Cu sesuai dengan variasi yang ditentukan.
- c. Lakukan *coating* pada kowi dan *crucible* dengan mortar.
- d. Menyalakan tungku peleburan dengan dipanaskan terlebih dahulu agar kandungan air hilang dan kemudian disetting sesuai kebutuhan suhu 700° C untuk proses peleburan.
- e. Ketika Aluminium 7075 telah melebur dilakukan penambahan Cu.
- f. Setelah penambahan Cu dilakukan *melting* dengan penahanan suhu selama 30 menit.
- g. Masukkan blander hingga dasar krusibel dengan mengalirkan gas argon selama 30-45 detik kemudian angkat blander dari tungku pengecoran.
- h. Aduk leburan menggunakan *stir* dengan kecepatan 450 rpm selama 30 detik kemudian angkat *stir*.

- i. Setelah itu buang slag pada leburan.
- j. Panaskan cetakan permanen sampai suhu  $200^{\circ}\text{C}$  dengan *torch* pemanas.
- k. Sebelum penuangan sembur bagian atas leburan dengan gas argon dan tuangkan logam paduan kedalam cetakan.
- l. Buka cetakan ketika logam sudah membeku.
- m. Kemudian sampel dilakukan proses homogeneizing didalam *furnace* dengan suhu  $480^{\circ}\text{C}$  selama 24 jam.
- n. Setelah itu keluarkan sampel dari *furnace* kemudian dilakukan proses perlakuan panas *quenching*.
- o. Sampel siap diuji.

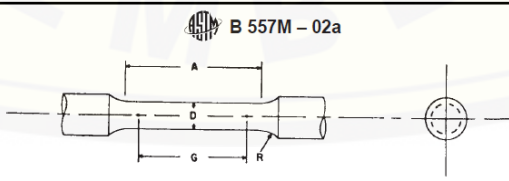
#### 1.4 Proses Pengujian Sampel

Ada 4 cara yang dilakukan dalam pengujian paduan aluminium 7075+Cu pada penelitian ini, yaitu:

##### 1.4.1 Pengujian Tarik

Pada proses pengujian tarik paduan aluminium 7075+Cu ini menggunakan standart ASTM B 557M dan memiliki tahapan-tahapan pengujian antara lain, yaitu:

- a. Preparasi sampel sesuai standart ASTM B 557M seperti pada gambar 3.1.
- b. Pasang sampel pada alat uji untuk dilakukan pengujian tarik.
- c. Lakukan pengujian tarik dan mengamati pengecilan diameter pada sampel uji tarik dengan menggunakan jangka sorong.
- d. Dan mencatat hasil yang keluar pada mesin uji tarik sampai sampel putus.



Nominal Diameter	Dimensions, mm			
	Standard Specimen	Small-Size Specimens Proportional to Standard		
	12.5	9	6	4
G—Gage length	62.50 ± 0.10	45.00 ± 0.09	30.00 ± 0.06	20.00 ± 0.04
D—Diameter (Note 1)	12.50 ± 0.25	9.00 ± 0.10	6.00 ± 0.10	4.00 ± 0.05
R—Radius of fillet, min	9	8	6	4
A—Length of reduced section, min (Note 2)	75	54	36	24

Gambar 3.1 Dimensi standar ASTM B 557M sebagai sampel uji tarik

(Sumber: ASTM B 557M)

### 1.4.2 Pengujian Kekerasan

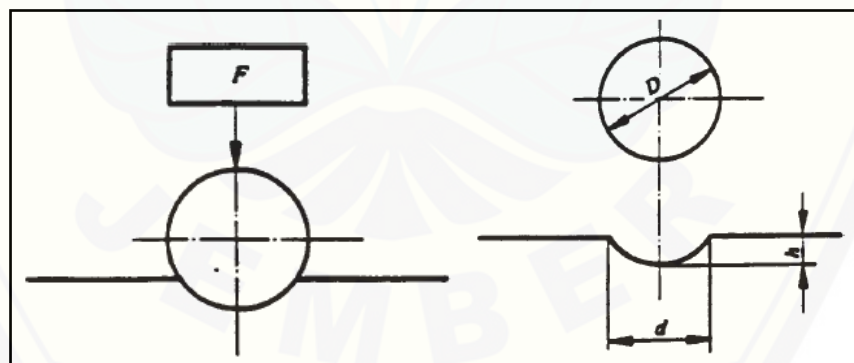
Pada proses pengujian kekerasan paduan aluminium 7075+Cu ini menggunakan standart ASTM E 10 serta menggunakan alat *Hardness Tester THI20B* dengan metode pengujian *Brinell Hardness* dan memiliki tahapan-tahapan pengujian antara lain, yaitu:

- Persiapkan sampel dengan mengacu pada standart ASTM E 10.
- Setting alat pengujian pada nilai *Brinell Hardness* dan disesuaikan dengan material yang akan diuji.
- Setelah itu lakukan pengujian dengan meletakkan alat pada spesimen agar indenter dapat bersentuhan pada spesimen.
- Catat angka kekerasan yang muncul pada alat *Hardness Tester THI20B*.

Tabel 3.1 Toleransi ukuran hasil dari pengujian *Brinell Hardness*

(Sumber: ASTM E 10)

Ball Diameter, mm	Tolerance, mm
10	$\pm 0.005$
5	$\pm 0.004$
2.5	$\pm 0.003$
2	$\pm 0.003$
1	$\pm 0.003$



Gambar 3.2 Prinsip kerja metode *Brinell Hardness* (Sumber: ASTM E 10)

Pada pengujian *Brinell Hardness* memiliki toleransi ukuran bola pengujian yang dijelaskan pada tabel 3.1 dan gambar 3.2 menjelaskan tentang ilustrasi pengujian pada metode *Brinell Hardness*.

#### 1.4.3 Pengamatan Struktur Mikro

Pada proses pengamatan struktur mikro paduan aluminium 7075+Cu ini menggunakan standart ASTM E 407 - 07 serta menggunakan alat *Microscope Olympus BX41M* dan memiliki tahapan-tahapan pengujian antara lain, yaitu:

1. Preparasi sampel dengan memberi cetakan resin pada sampel agar mudah dalam pemegangannya.
2. Mengamplas permukaan sampel menggunakan mesin amplas dengan kakasaran 500 Cw, 1000 Cw, 1500 Cw, 2000 Cw.
3. Gosok permukaan sampel menggunakan autosol sampai mengkilap.
4. Buat campuran *etsa* dengan masukan campuran NaOH dan H<sub>2</sub>O ke dalam gelas beaker dengan berat 10 gram NaOH dan 90 ml H<sub>2</sub>O.
5. Aduk campuran NaOH dan H<sub>2</sub>O menggunakan pengaduk sampai tercampur rata.
6. Etsa sampel dengan meneteskan satu tetes campuran NaOH dan H<sub>2</sub>O ke permukaan sampel selama 20 detik.
7. Komputer yang sudah terinstal aplikasi mikroskop optik hubungkan dengan mikroskop optik.
8. Letakan sampel di tempat sampel uji mikroskop optik dengan benar yaitu di bawah cahaya mikroskop optik.
9. Atur perbesaran mikroskop sampai struktur mikro terlihat dengan jelas di komputer (perbesaran 200X dan 500X).
10. Simpan hasil uji struktur mikro di dalam komputer.

#### 1.4.4 Pengujian SEM

Pada proses pengamatan dengan SEM pada paduan aluminium 7075+Cu ini menggunakan alat *SEM Phenom™ G2 Pro* dan memiliki tahapan-tahapan pengujian antara lain, yaitu:

1. Siapkan Alat pengujian *SEM Phenom™ G2 Pro* seperti yang ditampilkan pada gambar 3.3 (a)
2. Etsa sampel dengan mencelupkan sampel kedalam campuran NaOH dan H<sub>2</sub>O ke permukaan sampel selama 20 detik.



3. Setelah itu keringkan sampel dengan menggunakan *heat gun*.
4. Taruh sampel yang sudah siap diuji pada *stage* seperti gambar 3.3 (b).
5. Masukkan *stage* kedalam alat *SEM Phenom™ G2 Pro*.
6. Kemudian sampel siap di uji dengan pembesaran yang diinginkan dan gambar ditampilkan pada layar monitor.



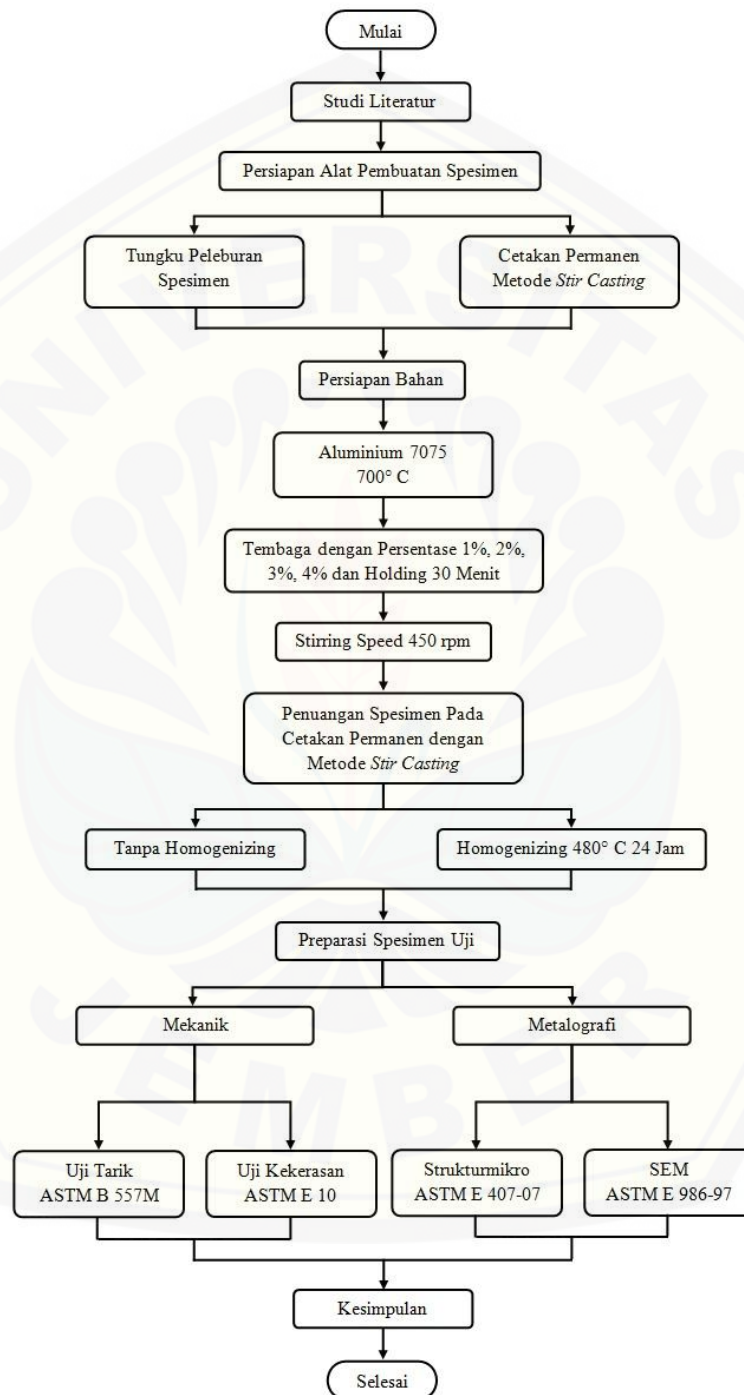
(a)

(b)

Gambar 3.3 Alat pengujian SEM (a) *SEM Phenom™ G2 Pro* (b) *Stage*

### 1.5 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini memiliki langkah-langkah yang telah dilakukan oleh peneliti yang disajikan pada gambar 3.4 dibawah ini.



Gambar 3.4 Diagram Alir Penelitian

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

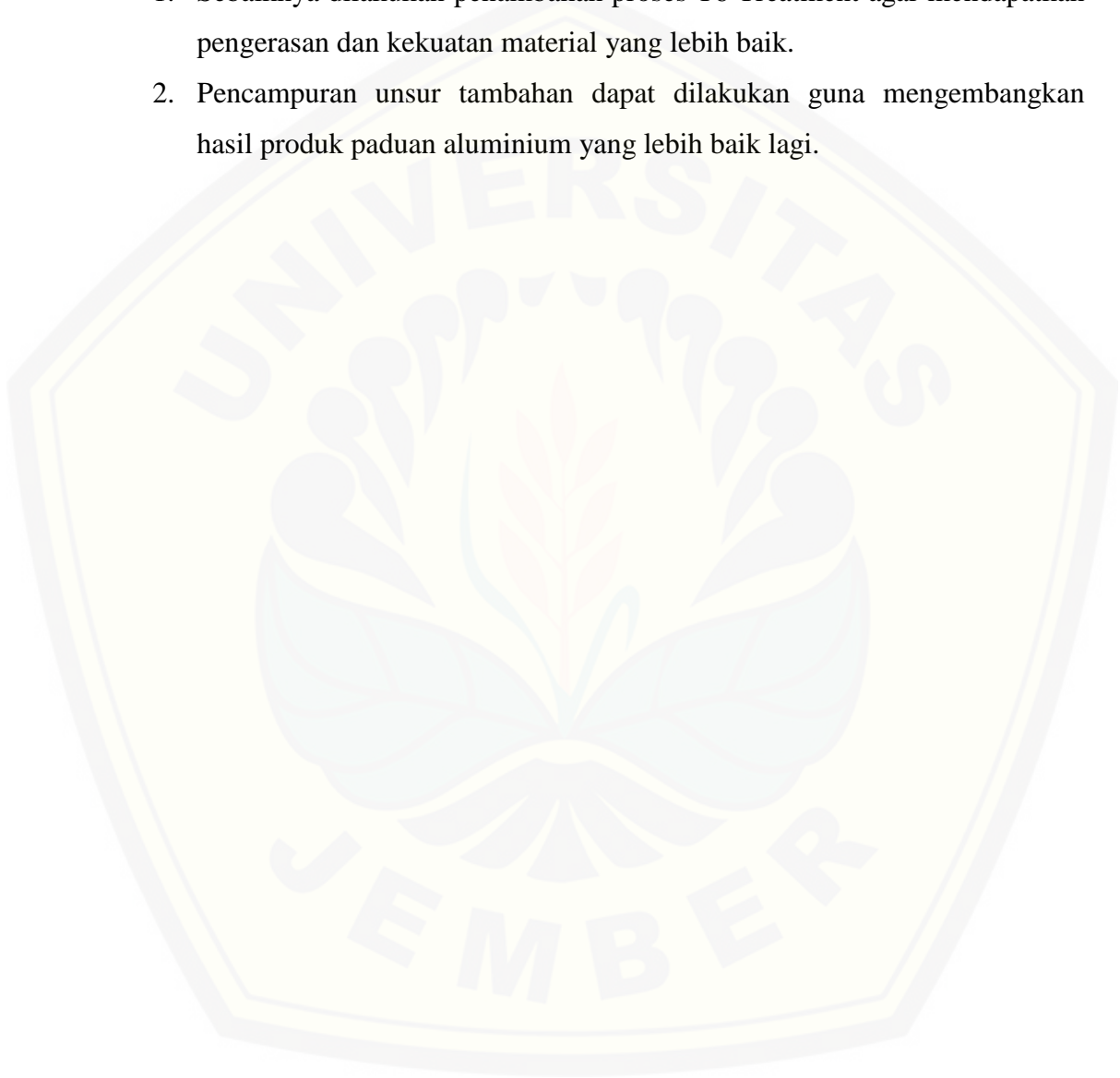
Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan unsur tembaga (Cu) dan perlakuan *homogenizing* pada paduan aluminium 7075 mempengaruhi nilai kekerasan paduan aluminium 7075 dikarenakan penyebab dari semakin banya terbentuknya fasa  $\text{CuAl}_2$  yang berpresipitat didalam kristal  $\alpha$ , sehingga menyebabkan terjadinya tegangan pada daerah lattis kristal  $\alpha$ . Karena prescipitat tersebut merata didalam lattis kristal  $\alpha$  maka dapat dikatakan seluruh lattis menjadi tegang mengakibatkan kekuatan dan kekerasan meningkat dan didapat nilai kekerasan tertinggi pada penambahan unsur tembaga (Cu) 3% dengan nilai sebesar 75 HB dan setelah dilakukan *homogenizing* dengan nilai 78 HB.
2. Penambahan unsur tembaga (Cu) dan perlakuan *homogenizing* pada paduan aluminium 7075 mempengaruhi nilai kekuatan tarik paduan aluminium 7075, didapat nilai kekuatan tarik tertinggi pada penambahan unsur tembaga (Cu) 3% dengan nilai sebesar 150,28 MPa dan setelah dilakukan *homogenizing* dengan nilai 156,29 MPa.
3. Dari hasil pengamatan struktur mikro pada paduan aluminium 7075 seiring dengan penambahan unsur tembaga (Cu) didapatkan perubahan struktur mikro yang semakin mengecil akibat pecahnya butiran dari penambahan unsur tembaga (Cu) tersebut dan efek dari perlakuan *homogenizing* yang menyebabkan butiran menjadi semakin pecah dari bentuk kolumnar menjadi kecil.
4. Dari hasil pengamatan SEM pada paduan aluminium 7075 seiirng dengan penambahan unsur tembaga (Cu) dan perlakuan *homogenizing* telah terjadi pembentukan fasa kedua seperti  $\text{CuAl}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{CuMg}$ ,  $\text{AlZnMgCu}$  dan lain-lain seiring bertambahnya unsur tembaga (Cu).

## 5.2 Saran

Saran yang dapat saya ajukan agar percobaan berikutnya dapat menjadi lebih baik dan agar dapat menyempurnakan percobaan yang telah dilakukan dalam penelitian ini, yaitu :

1. Sebaiknya dilakukan penambahan proses T6 Treatment agar mendapatkan pengerasan dan kekuatan material yang lebih baik.
2. Pencampuran unsur tambahan dapat dilakukan guna mengembangkan hasil produk paduan aluminium yang lebih baik lagi.



## DAFTAR PUSTAKA

- A Heinz, Haszler, C Keidel, S Moldenhauer, R Benedictus, W.S Miller. 2000. Recent development in aluminium alloys for aerospace applications. *Materials Science and Engineering* 280: 102-107.
- A. F. Abd El-RehimM. A. Mahmoud. 2013. Transient and steady state creep of age-hardenable Al-5 wt% Mg alloy during superimposed torsional oscillations. *Journal of Materials Science* 48: 2659-2669.
- A.F. Abd El-Rehim, M.S Sakr, M.M. El-Sayed, dan M. Abd El-Hafez. 2014. Effect of Cu addition on the microstructure and mechanical properties of Al-30 wt% Zn Alloy. *Journal of Alloys and Compounds* 607: 157-162.
- Abdan Syakuura, Bondan T. Sofyan, dan Simon P. Ringer. 2010. Sifat mekanis dan pengerasan presipitasi paduan Al-Zn-Mg dengan variasi kandungan Cu selama Ageing pada temperatur 120°C. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Indonesia*: 220-229.
- ASM Handbook. 1998. *ASM Handbook Volume 15 Casting*. Fourth Printing. United States of America: ASM International, Inc.
- ASM Handbook. 1998. *ASM Handbook Volume 2 Properties and Selection: Nonferrous-Purpose Material*. Second Printing. United States of America: ASM International, Inc.
- ASTM 557M-02a 2003. *Standart Test Methods of Tension Wrought and Cast Aluminium and Magnesium-Alloy Products*. United States of America: ASTM International, Inc.
- ASTM E 10-01. 2001. *Standart Testing Method for Brinell Hardness of Metallic Material*. United States of America: ASTM International, Inc.
- ASTM E 407-07. 2007. *Standart Practice for Microetching Metal and Alloy*. United States of America: ASTM International, Inc.
- Da Xu, Zhihui Li, Xiwu Li *et al.* 2017. Phase transformasi and microstructure evolution of an ultrahigh strenght Al-Zn-Mg-Cu alloy during homogenization. *Materials Characterization*.



- Fu Guang, Gang ZHAO, Feng JIANG, Ni TIAN, dan Rui-feng LI. 2015. Effect of homogenization treatment on microstructure and mechanical properties of DC cast 7X50 aluminium alloy. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 25: 1027-1034.
- Groover, M.P. 2010. *Fundamentals of Modern Manufacturing (Materials Processes and Systems)*. Fourth Edition. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- H. Chen, X. Xin, D.Y. Dong, Y.P. Ren, S.M. Hao. 2004. *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)* 17: 269.
- Hadjadj, L. and R. Amira. 2009. The effect of Cu addition on the precipitation and redissolution in Al-Zn-Mg alloy by the differential dilatometry. *Journal of Alloys and Compounds* 484: 891-895.
- Haijun Wang, Ju Xu, Yonglin Kang, Mengou Tang, dan Zhifeng Zhang. 2013. Study on inhomogeneous characteristics and optimize homogenization treatment parameter for large size DC ingots of Al-Zn-Mg-Cu alloys. *Journal of Alloys and Compounds* 585: 19-24.
- Laurentius Baskoro, Rochman Rochiem, dan Dian Mughni. 2017. Pengaruh penambahan unsur tembaga (Cu) terhadap sifat mekanik dan sifat kelistrikan pada pengecoran aluminium (Al). *Skripsi Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya*.
- M. Dellah, M. Bournane, Kh.A. Ragab, Y. Sadaoui, dan A.F. Sirenko. 2013. Early decomposition of supersaturated solid solutions of Al-Zn-Mg alloys. *Material and Design* 50: 606-612.
- M.J. Styles, T.J. Bastow, M.A. Gibson, C.R. Hutchinson. 2014. Substitution of Cu and/or Al in h phase (MgZn<sub>2</sub>) and the implications for precipitation in AlZnMg(Cu) alloys. *Intermetallics* 49: 40-51.
- M.S. Salleh dan M.Z. Omar. 2015. Influence of Cu content on microstructure and mechanical properties of thixoformed Al-Si-Cu-Mg Alloys. *Transaction of Nonferrous Metals Society of China* 25: 3523-3538.
- Outmani, Imane, dan Laurance. Effect of Si, Cu and processing parameter on Al-Si-Cu HDPC casting. 2017. *Journal of Material Processing Technology*.

- R. E. Smallman dan R. J. Bishop. 1999. Edisi Keenam: Metalurgy Fisik Modern & Rekayasa Material. Butterworth-Heinemann
- ROBINSON J D. 2003. Influence of retrogression and reaging on fracture toughness of 7010 aluminium alloy. *Materials Science and Technology* 19: 1697-1704.
- Robson J D. 2004. Microstructural evolution in aluminium alloy 7050 during processing. *Materials Science and Engineering A* 382: 112-121.
- S.Y. Park dan W.J. Kim. 2016. Difference in the Hot Compressive Behavior and Processing Maps between the A-cast and Homogenized Al-Zn-Mg-Cu (7075) Alloys. *Journal of Material Science & Technology*.
- Sang-soo Shin, Kyung-Mook Lim, dan Ik-Min Park. 2016. Effect of high Zn content on the microstructure and mechanical properties of Al-Zn-Cu Gravity cast alloys. *Materials Science & Engineering*.
- Tata Surdia dan Kenji Chijiwa. 1986. Edisi Kelima: Teknik Pengecoran Logam. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Tata Surdia dan Shinroko Saito. 1984. Edisi Keempat: Pengetahuan Bahan Teknik Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Yan Liu, Daming Jiang, Wenlong Xie, Jie Hu, Boran Ma. 2014. Solidification phases and their evolution during homogenization of a DC cast Al-8.35Zn-2.5Mg-2.25Cu alloy. *Materials Characterization* 93: 173-183.
- Yang Zheng, Wenlong Xiao, Sujing Ge, Weitao Zhao, Shuji Hanada, dan Chaoli. 2015. Effect of Cu content and Cu/Mg ratio on the microstructure and mechanical properties of Al-Si-Cu-Mg alloys. *Journal of Alloys and Compounds* 649: 291-296.
- Yasin Alemdağ, Temel Savaşkan. 2009. Mechanical and tribological properties of Al-40Zn-Cu alloys. *Tribology International* 42: 176-18.

LAMPIRAN



Proses penimbangan tembaga



Proses penimbangan aluminium



Spesimen hasil pengecoran



Proses pemotongan spesimen

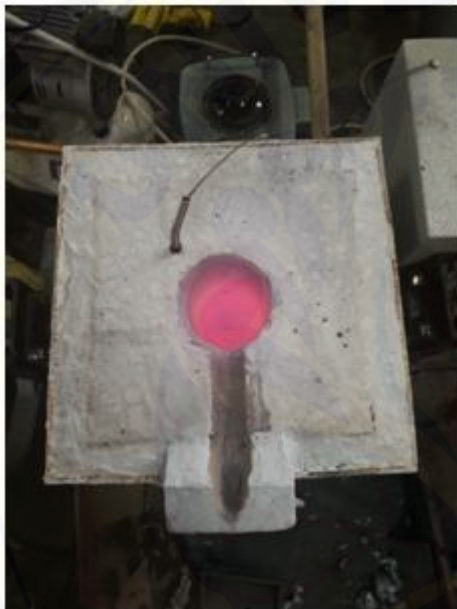




Dinding dapur peleburan



Proses pengeleman dinding yang berlubang



Spesimen yang telah melebur



Regulator voltage



Proses pemasangan krusible



Proses pemasangan dapur pada rangka



Pemasangan coil pada dinding dapur pengecoran



Pemasangan krusible didalam dapur peleburan



Proses pembubutan spesimen



Rangka dapur pengecoran



Spesimen pengujian



Proses *homogenizing*





Proses queching



Mounting spesimen uji kekerasan dan mikro



MCCB dan Kontaktor



Torch pemanas



Proses penaruhan spesimen pada krusible



Spesimen setelah dituangkan pada cetakan



Mortar



Cetakan setelah dicoating dengan mortar



Proses pemanasan cetakan



Proses degassing



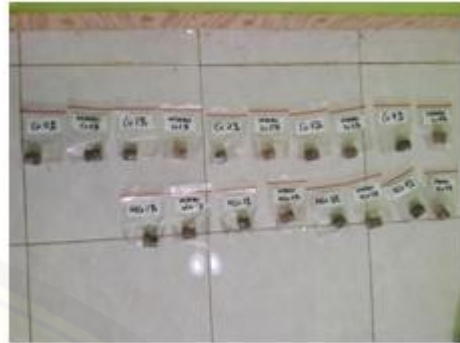
Proses pemasangan gasbul pada dasar rangka



Dapur pengecoran



Alat pengujian kekerasan



Spesimen uji kekerasan dan mikro setelah dimounting

共 1 页第 1 页 Page 1 of 1  
编号 No.: 442100214092015

**品质/重量证书**  
**CERTIFICATE OF QUALITY/WEIGHT**

发货人 Consignor			标记及号码 Mark & No.
收货人 Consignee	*****		N/M
品名 Description of Goods	ALUMINIUM 7075		
按检数量/重量 Quantity/Weight Declared	**24BAGS ***24048KGS		
包装种类及数量 Number and Type of packages	IN JUMBO BAGS OF 1MT NET EACH/ **24BAGS		
运输工具 Means of Conveyance	BY VESSEL		

检验结果:  
RESULTS OF INSPECTION:

UPON REQUEST, OUR INSPECTORS ATTENDED AT THE CONSIGNOR'S WAREHOUSE ON 19 DEC 2014, RANDOMLY OPENED 6 BAGS FROM THE ABOVE MENTIONED GOODS, THEN REPRESENTATIVE SAMPLES WERE DRAWN WITH REFERENCE TO GB/T2881-2008 AND INSPECTED ACCORDING TO SN/T1650-2005 WITH RESULTS AS FOLLOWS:

QUALITY:

Al	: 88.6%
Cr	: 0.28%
Cu	: 2%
Mg	: 2.1%
Zn	: 5.9%
Other, each	: 1.12%

WEIGHT:

PACKING: IN JUMBO BAGS OF 1MT NET EACH  
TOTAL NET WEIGHT: 24-MT.  
QUANTITY: 24-BAGS.

CONCLUSION: THE ABOVE-MENTIONED GOODS COMPLY WITH THE REQUIREMENTS STIPULATED IN SALES CONTRACT NO.2014HJSC-A1217

\*\*\*\*\*

印章  
Official Stamp

签发地点 Place of Issue: GUANGZHOU, CHINA    签发日期 Date of Issue: DEC 26, 2014

授权签字人 Authorized Officer: LI JIN XIN    签名 Signature:

我们已尽我们知识和能力之所能, 不能担保此证书在检验或试验或其他方面能符合任何法律所规定的产品责任。All inspections are carried out conscientiously to the best of our knowledge and ability. This certificate does not in any respect discharge the seller and other related parties from his contractual and legal obligations especially when product quality is concerned.

[c1-1(2000.1.1)]

AA1754098

Sertifikat Aluminium 7075



Data Hasil Pengujian Tarik

Tanpa Homogenizing									
Variasi Spesimen	spesimen ke	Diameter (mm)	Luas Area (mm <sup>2</sup> )	Max Force (kg)	Max Force (N)	UTS (N/mm <sup>2</sup> )	Rata-Rata UTS (N/mm <sup>2</sup> )	Elongasi (%)	Rata-Rata Elongasi (%)
Cu 0%	1	6,02	28,45	389,47	3816,81	134,16	128,64	3,52	3,336667
	2	5,94	27,70	361,13	3539,07	127,78		3,37	
	3	5,9	27,33	345,7	3387,86	123,98		3,12	
Cu 1%	1	6	28,26	415,52	4072,10	144,09	141,26	4,06	3,773333
	2	6,03	28,54	361,76	3545,25	124,21		3,08	
	3	6	28,26	448,35	4393,83	155,48		4,18	
Cu 2%	1	6,08	29,02	347,14	3401,97	117,23	149,60	3,73	3,69
	2	6,02	28,45	510,31	5001,04	175,79		3,41	
	3	5,96	27,88	443,22	4343,56	155,77		3,93	
Cu 3%	1	6,1	29,21	488,93	4791,51	164,04	150,28	4,19	4,03
	2	6	28,26	396,57	3886,39	137,52		3,69	
	3	6,09	29,11	443,48	4346,10	149,28		4,21	
Cu 4%	1	5,98	28,07	429,53	4209,39	149,95	145,75	4,13	3,96
	2	6,04	28,64	402,72	3946,66	137,81		3,81	
	3	5,92	27,51	419,63	4112,37	149,48		3,94	

Homogenizing									
Variasi Spesimen	spesimen ke	Diameter (mm)	Luas Area (mm <sup>2</sup> )	Max Force (kg)	Max Force (N)	UTS (N/mm <sup>2</sup> )	Rata-Rata UTS (N/mm <sup>2</sup> )	Elongasi (%)	Rata-Rata Elongasi (%)
Cu 0%	1	6,08	29,02	361,77	3545,35	122,17	134,25	3,68	3,496667
	2	6	28,26	393,53	3856,59	136,47		3,32	
	3	6,01	28,35	416,93	4085,91	144,10		3,49	
Cu 1%	1	6	28,26	394,95	3870,51	136,96	149,78	4,29	4,216667
	2	5,97	27,98	436,51	4277,80	152,90		3,98	
	3	6,07	28,92	470,72	4613,06	159,49		4,38	
Cu 2%	1	6,09	29,11	403,26	3951,95	135,74	154,08	4,21	4,496667
	2	5,97	27,98	444,74	4358,45	155,78		4,76	
	3	6,04	28,64	498,87	4888,93	170,71		4,52	
Cu 3%	1	6,05	28,73	437,41	4286,62	149,19	156,29	4,83	4,643333
	2	5,94	27,70	471,89	4624,52	166,96		4,67	
	3	6,04	28,64	446,28	4373,54	152,72		4,43	
Cu 4%	1	5,92	27,51	446,35	4374,23	159,00	154,34	4,59	4,346667
	2	6,07	28,92	412,61	4043,58	139,80		4,08	
	3	6	28,26	473,52	4640,50	164,21		4,37	

UJI KEKERASAN									
Tanpa Homogenizing					Homogenizing				
0%	1%	2%	3%	4%	0%	1%	2%	3%	4%
61	74	73	86	87	78	75	80	101	76
54	61	68	85	81	59	72	76	87	75
52	59	63	80	73	55	70	72	87	72
50	58	49	79	71	49	68	71	83	71
48	57	78	79	68	47	65	71	83	70
45	51	76	79	67	44	63	69	76	87
43	49	75	78	60	43	54	68	73	66
41	46	43	71	60	42	53	67	66	82
39	43	68	58	59	37	48	65	63	81
37	37	65	55	48	28	48	64	61	64