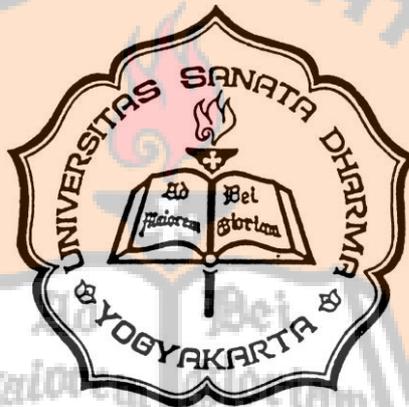


**PENGARUH AGING 140, 160, 180, DAN 200 DERAJAT  
CELCIUS SELAMA 5 JAM TERHADAP SIFAT MEKANIS  
ALUMINIUM PADUAN TEMBAGA 4,5%**

**SKRIPSI**

Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin S-1



Disusun oleh :

**DEWANGGA BAGASKORO**

**NIM : 145214106**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS SANATA DHARMA  
YOGYAKARTA**

**2018**

**THE EFFECT OF AGING 140, 160, 180, AND 200 CELSIUS  
DEGREE DURING 5 HOURS TOWARDS MECHANICAL  
PROPERTIES TO 4,5 PERCENTS OF ALLOYS ALUMINIUM  
AND COPPER**

**FINAL PROJECT**

As Partical Fulfillment of the Requirement

To Obtained The *Sarjana Teknik* degree In Mechanical Engineering



By

**DEWANGGA BAGASKORO**

**Student Number: 145214106**

**MECHANICAL ENGINEERING STUDY PROGRAM  
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING  
FACULTY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY  
SANATA DHARMA UNIVERSITY  
YOGYAKARTA**

**2018**

**PENGARUH AGING 140, 160, 180, DAN 200 DERAJAT  
CELCIUS SELAMA 5 JAM TERHADAP SIFAT MEKANIS  
ALUMINIUM PADUAN TEMBAGA 4,5%**



Disusun oleh:

**DEWANGGA BAGASKORO**

**NIM: 145214106**

Telah disetujui oleh:

Dosen Pembimbing Skripsi

Budi Setyahandana S.T, M.T

**PENGARUH AGING 140, 160, 180, DAN 200 DERAJAT  
CELCIUS SELAMA 5 JAM TERHADAP SIFAT MEKANIS  
ALUMINIUM PADUAN TEMBAGA 4,5%**

Dipersiapkan dan disusun oleh:

Dewangga Bagaskoro

NIM: 145214106

Telah Dipertahankan dihadapan Dewan Penguji Skripsi

Fakultas Sains dan Teknologi

Pada tanggal 04 Juli 2018

Susunan Dewan Penguji

1. Ketua : Wibowo Kusbandono, S.T., M.T.
2. Sekretaris : Achilleus Hermawan Astyanto, S.T., M.Eng.
3. Pembimbing : Budi Setyahandana, S.T., M.T.

Yogyakarta 11 Juli 2018

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Sanata Dharma

Dekan,



Sudi Mungkasi, S.Si., M.Math. Sc., Ph.D.

## PERNYATAAN KEASLIAN KARYA

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah digunakan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau di terbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 04 Juli 2018



Dewangga Bagaskoro



**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN  
AKADEMIS**

Yang bertanda tangan di bawah ini, saya mahasiswa Universitas Sanata Dharma :

Nama : Dewangga Bagaskoro

Nomor Mahasiswa : 145214106

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya memberikan kepada Perpustakaan Universitas Sanata Dharma karya ilmiah yang berjudul:

**PENGARUH AGING 140, 160, 180, DAN 200 DERAJAT  
CELCIUS SELAMA 5 JAM TERHADAP SIFAT MEKANIS  
ALUMINIUM PADUAN TEMBAGA 4,5%**

Beserta perangkat yang diperlukan. Dengan demikian saya memberikan kepada Perpustakaan Universitas Sanata Dharma hak untuk menyimpan, mengalihkan dalam bentuk media yang lain, mengelolanya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya maupun memberikan royalti kepada selama tetap menyantumkan nama saya sebagai penulis.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Yogyakarta, 04 Juli 2018



Dewangga Bagaskoro

## INTISARI

Meningkatnya penggunaan aluminium dari tahun-ketahun dikarenakan aluminium memiliki kelebihan dibandingkan dengan logam lainnya diantaranya titik cair yang rendah, dan tahan korosi. Salah satu cara untuk meningkatkan sifat mekanis pada aluminium adalah menggunakan perlakuan *aging*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu *aging* terhadap sifat mekanis aluminium yang dipadukan dengan 4,5% tembaga.

Proses pengujian dimulai dengan proses pengecoran, lalu spesimen dibentuk menggunakan standard ASTM A370. Metode *aging* yang dilakukan adalah *artificial aging* menggunakan suhu 140°C, 160°C 180°C dan 200°C selama 5 jam dengan pendinginan secara perlahan pada suhu ruangan. Pengujian sifat mekanis yang dilakukan meliputi pengujian tarik dan pengujian kekerasan *Brinell*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan *aging* pada aluminium paduan tembaga 4,5% menaikkan nilai kekerasan. Kekerasan tanpa *aging* memiliki nilai sebesar 46,79 BHN, sedangkan nilai kekerasan maksimum spesimen *aging* suhu 160°C sebesar 80,44 BHN. Pada pengujian uji tarik, suhu *aging* juga meningkatkan nilai kekuatan tariknya. Kekuatan tarik pada material Al-Cu tanpa perlakuan *aging* sebesar 113,42 MPa dan setelah diberi perlakuan *aging* kekuatan tarik maksimum terjadi pada suhu *aging* 180°C, sebesar 159,94 MPa.

Kata kunci: Al-Cu, *aging*, kekerasan, kekuatan tarik

## ABSTRACT

The increasing use of aluminium from year-over-year due to aluminium has advantages better than other metals such as low liquid point and corrosion resistance. One way to increase aluminium use aging method. The research to determine effect of aging toward mechanical properties to alloys aluminium and copper 4,5.

The testing process begins with the casting process then the specimen is formed according to ASTM A370 standarization. Aging method is artificial aging and variation temperature 140°C, 160°C 180°C dan 200°C during 5 hours with slow cooling at room temperature. This mechanical testing is about two kind of tests, hardness test and tensile test.

The result of this research shows that aging treatment a two 4,5% of blending aluminium and copper can increase the hardness value, hardness without aging have 46,79 BHN of value, maximum hardness value that occurred in 160°C temperature is 80,44 BHN. In tensile test, the aging temperature also increase the value of tensile strength. The tensile strength in Al-Cu material without aging treatment have its in the amount of 113,42 MPa, after that, the maximum tensile strength happened temperature aging at 180°C temperature in the amount of 159,94 MPa.

Keywords : Al-Cu Alloy, aging , hardness value, tensile strength

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik dan tepat pada waktunya.

Skripsi ini merupakan salah satu syarat wajib mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Sanata Dharma untuk memperoleh ijazah maupun gelar S1 Teknik Mesin. Berkat bimbingan, nasihat, dan doa yang diberikan oleh berbagai pihak, akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan maksimal. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan dan ketulusan hati, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Sudi Mungkasi, S.Si., M.Math. Sc., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
2. Ir. Petrus Kanisius Purwadi, M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma Yogyakarta
3. Budi Setyahandana, M.T., selaku dosen pembimbing skripsi yang tidak pernah bosan mendukung dan memberi bimbingan kepada penulis.
4. Ayahku Ir. Mudjiono dan Ibuku V. Nanik Suprihatiningsih, S.H. sebagai orang tua penulis yang selalu memberi semangat baik yang berupa materi dan doa bagi penulis.
5. Adikku Dewanti Maharani yang selalu mendukung penulis dalam mengerjakan skripsi.
6. Lucia Indah Paskarani yang selalu memberi dukungan, perhatian, semangat bagi penulis dalam mengerjakan skripsi dengan sabar.

7. Keluarga Tjipto Prawoto yang selalu memberi dukungan bagi penulis.
8. Komunitas Magis Yogyakarta, Romo John S.J dan Magis Angkatan 15 yang selalu memberi dukungan, dan doa.
9. Pengurus UKM Taekwondo USD periode 2014-2015 dan 2015-2016 yang memberi dukungan dan semangat kepada penulis.
10. Team Kepelatihan Taekwondo Sanata Dharma dan *Black Belt* group K.I.T.A terima kasih atas dukungannya.
11. Teman sekelompok skripsi SAHABAT ALUMINIUM Dhipa, Rio Pjh, Andika OM, Yudha, Agha, Niken, Derry Ahonk, Alfa Ruroh.
12. Teman-teman Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma Angkatan 2014 yang selalu memberikan semangat dan dukungan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini tidaklah sempurna, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun dari pembaca sangat diharapkan demi penyempurnaan skripsi ini di kemudian hari. Akhirnya, besar harapan penulis agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Yogyakarta, 04 Juli 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
TITLE PAGE .....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
INTISARI.....	vii
ABSTRACT .....	viii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
<b>BAB II DASAR TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Dasar Teori .....	5
2.2 Sifat Aluminium .....	7
2.3 Aluminium Murni.....	9
2.4 Paduan Aluminium .....	10
2.4.1 Klasifikasi Paduan Aluminium .....	10
2.4.2 Paduan Al Utama .....	11
2.4.3 Paduan Aluminium – Tembaga (Al-Cu).....	13
2.4.4 Paduan Aluminium – Mangan (Al-Mn).....	14
2.4.5 Paduan Aluminium – Silikon (Al-Si).....	15
2.5 Sifat Mekanik.....	17
2.5.1 Uji Tarik .....	17
2.5.2 Uji Kekerasan.....	19

2.5.2.1	Kekerasan Brinell.....	20
2.5.2.2	Pengujian Rockwell .....	21
2.5.2.3	Pengujian Vickers .....	23
2.6	Aging .....	24
2.7	Tinjauan Pustaka.....	24

### **BAB III METODE PENELITIAN**

3.1	Diagram Penelitian.....	27
3.2	Bahan Yang Digunakan .....	28
3.2.1	Bahan Penelitian.....	28
3.2.2	Alat Pengujian.....	29
3.2.3	Alat Pemesinan Dan Alat Ukur.....	30
3.2.4	Alat Pengecoran .....	32
3.2.5	Alat-Alat Lain Yang Digunakan .....	34
3.3	Proses Pengecoran.....	37
3.3.1	Persiapan Pengecoran.....	37
3.3.2	Proses Pengecoran.....	38
3.4	Pembuatan Spesimen .....	39
3.4.1	Spesimen Uji Tarik .....	39
3.4.2	Spesimen Uji Kekerasan .....	41
3.5	Proses Aging .....	41
3.6	Pengujian Spesimen .....	42
3.6.1	Pengujian Tarik.....	42
3.6.2	Pengujian Kekerasan.....	43

### **BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**

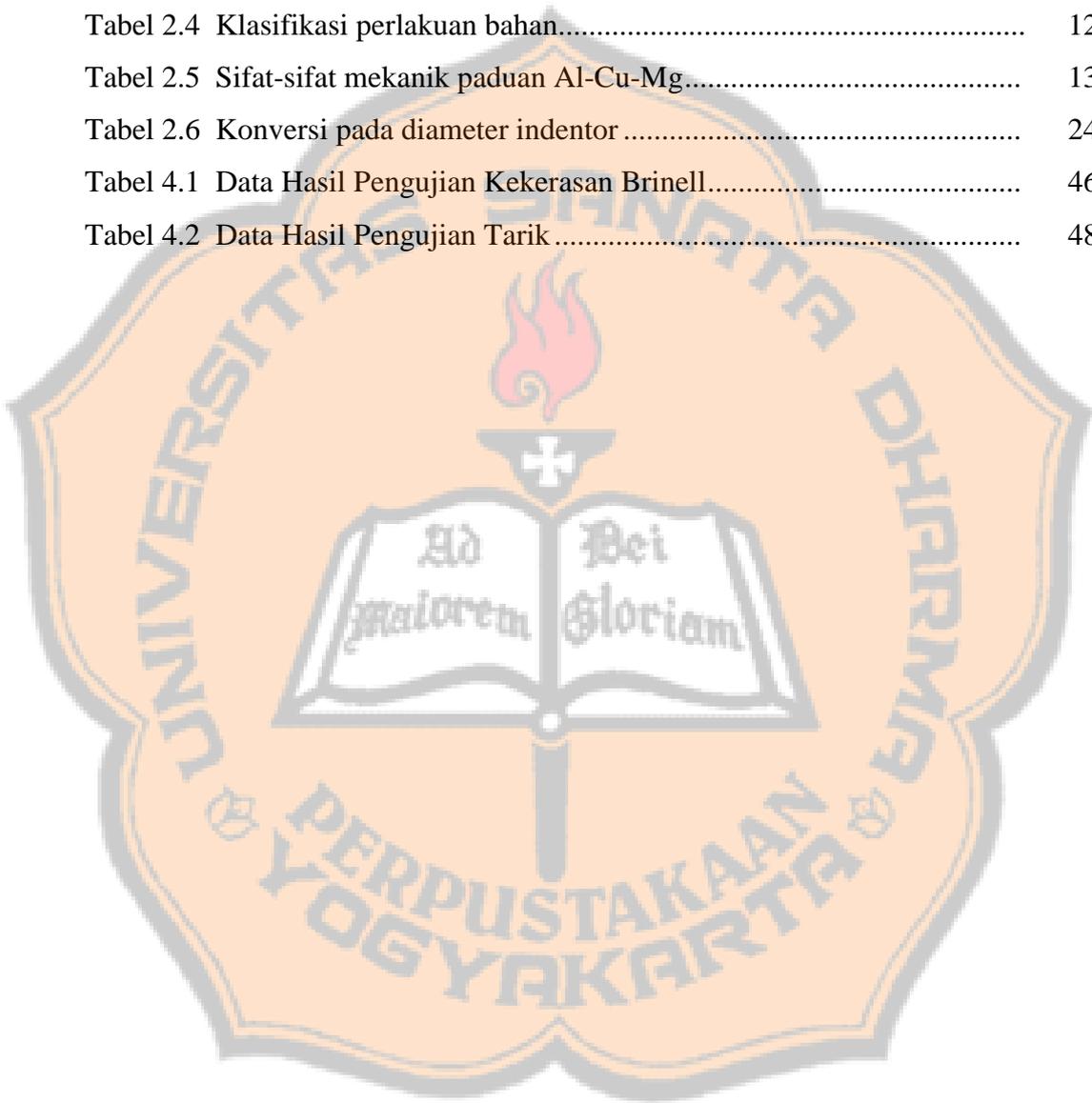
4.1	Hasil Penelitian .....	45
4.2	Data Hasil Pengujian Kekerasan Brinell .....	45
4.3	Data Hasil Pengujian Tarik .....	48

<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan .....	51
5.2 Saran.....	52
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>53</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>54</b>



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat-sifat fisik aluminium .....	9
Tabel 2.2 Sifat-sifat mekanik aluminium.....	9
Tabel 2.3 Klasifikasi paduan aluminium tempaan.....	11
Tabel 2.4 Klasifikasi perlakuan bahan.....	12
Tabel 2.5 Sifat-sifat mekanik paduan Al-Cu-Mg.....	13
Tabel 2.6 Konversi pada diameter indenter .....	24
Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan Brinell.....	46
Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Tarik.....	48



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram fasa Al-Si .....	16
Gambar 2.2	Perbaikan sifat-sifat mekanik oleh modifikasi paduan Al-Si...	16
Gambar 2.3	Spesimen berbentuk silinder pada pengujian tarik.....	18
Gambar 2.4	Kurva tegangan-regangan serta proses pengujian tarik menggunakan spesimen silinder .....	19
Gambar 2.5	Pengujian Brinell .....	20
Gambar 2.6	Proses Pengujian Brinell.....	21
Gambar 2.7	Proses Pengujian Rockwell .....	22
Gambar 2.8	Pengujian Vickers.....	23
Gambar 3.1	Diagram Penelitian .....	27
Gambar 3.2	Aluminium.....	28
Gambar 3.3	Tembaga.....	28
Gambar 3.4	Mesin Uji Tarik .....	29
Gambar 3.5	Mesin Uji Brinell.....	30
Gambar 3.6	Mesin Bubut .....	30
Gambar 3.7	Mesin Gergaji .....	31
Gambar 3.8	Jangka Sorong .....	31
Gambar 3.9	Kompor Gas.....	32
Gambar 3.10	Cetakan .....	32
Gambar 3.11	Tabung Gas.....	33
Gambar 3.12	Kowi .....	33
Gambar 3.13	Tang Penjepit.....	34
Gambar 3.14	Timbangan Digital.....	35
Gambar 3.15	Gergaji Tangan .....	35
Gambar 3.16	Termometer Suhu .....	35
Gambar 3.17	Oven .....	36
Gambar 3.18	Bubuk Batu Kapur.....	36
Gambar 3.19	Mikroskop.....	37
Gambar 3.20	Standarisasi Spesimen Uji Tarik .....	40
Gambar 3.21	Dimensi Benda Uji Tarik.....	40

Gambar 4.1 Grafik Rata-Rata Kekerasan *Brinell* Pada Material Al-Cu dengan suhu *aging* selama 5 jam ..... 47

Gambar 4.2 Grafik Rata-Rata Kekuatan Tarik Pada Material Al-Cu dengan suhu *aging* selama 5 jam..... 49

Gambar 4.3 Grafik Rata-Rata Regangan Pada Material Al-Cu dengan suhu *aging* selama 5 jam ..... 49



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi yang semakin pesat khususnya dalam bidang industri menyebabkan kebutuhan akan bahan aluminium meningkat dari waktu ke waktu. Pemakaian aluminium dalam kehidupan sehari-hari cenderung semakin meningkat. Banyak sifat aluminium yang menguntungkan, seperti tahan karat, berat jenis yang rendah (ringan), titik lebur yang relatif lebih rendah jika dibandingkan dengan logam yang lain seperti besi dan baja, lebih mudah dilakukan perubahan bentuk (*good formability*), daya hantar listrik dan panas yang tinggi, kenampakan yang menarik, serta sifat-sifat lainnya. Perkembangan pemakaian aluminium tidak terbatas hanya pada negara-negara yang mempunyai teknologi dan tingkat pendapatan tinggi seperti negara-negara industri maju, tetapi perkembangan pemakaian aluminium juga terdapat pada negara-negara yang baru berkembang.

Sifat atau komposisi kebutuhan aluminium tidak sama disebabkan oleh perkembangan waktu, teknologi dan pendapatan masyarakatnya. Di Indonesia, ketersediaan bauksit sangat melimpah dan telah banyak perusahaan berlomba-lomba untuk mencari bauksit yang digunakan sebagai bahan dasar pembuatan aluminium. Kebutuhan akan bahan aluminium yang semakin meningkat menyebabkan manusia melakukan banyak penelitian untuk menghasilkan dan mengetahui sifat mekanis dari bahan-bahan industri.

Di zaman sekarang mereka melakukan banyak inovasi dengan cara menghasilkan dan mengetahui sifat mekanis, sifat fisis, dan perlakuan panas atau *heat treatment* yang dapat dilakukan melalui proses *aging* serta komposisi dari suatu bahan untuk mendapatkan sifat-sifat bahan yang mereka inginkan.

Berdasarkan hal tersebut, penulis melakukan penelitian mengenai pengaruh *aging* terhadap sifat mekanis pada aluminium paduan tembaga. Aluminium paduan tembaga sebesar 4,5% akan diaging terlebih dahulu sebelum melakukan pengujian mekanis. Pengujian mekanis yang digunakan yaitu pengujian tarik dan pengujian kekerasan. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk keperluan industri seperti bahan pesawat terbang, kapal laut dan konstruksi bangunan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Pada pembahasan ini, penulis akan meneliti sifat mekanis apabila aluminium dipadukan dengan tembaga, sehingga diperlukan suatu perumusan masalah agar penelitian ini dapat dilakukan secara terarah. Adapun perumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Adakah pengaruh variasi suhu aging pada penambahan paduan tembaga terhadap material aluminium pada pengujian tarik?
2. Adakah pengaruh variasi suhu aging pada penambahan paduan tembaga terhadap material aluminium pada pengujian kekerasan?

### 1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian tentang pengaruh terhadap sifat mekanis pada aluminium paduan tembaga adalah:

- a) Mengetahui kekerasan pada aluminium paduan tembaga 4,5% setelah melalui proses *aging* pada suhu 140, 160, 180, 200° C selama 5 jam.
- b) Mengetahui kekuatan tarik pada aluminium paduan tembaga 4,5% setelah melalui proses *aging* 140, 160, 180, 200° C selama 5 jam.

### 1.4 Batasan Masalah

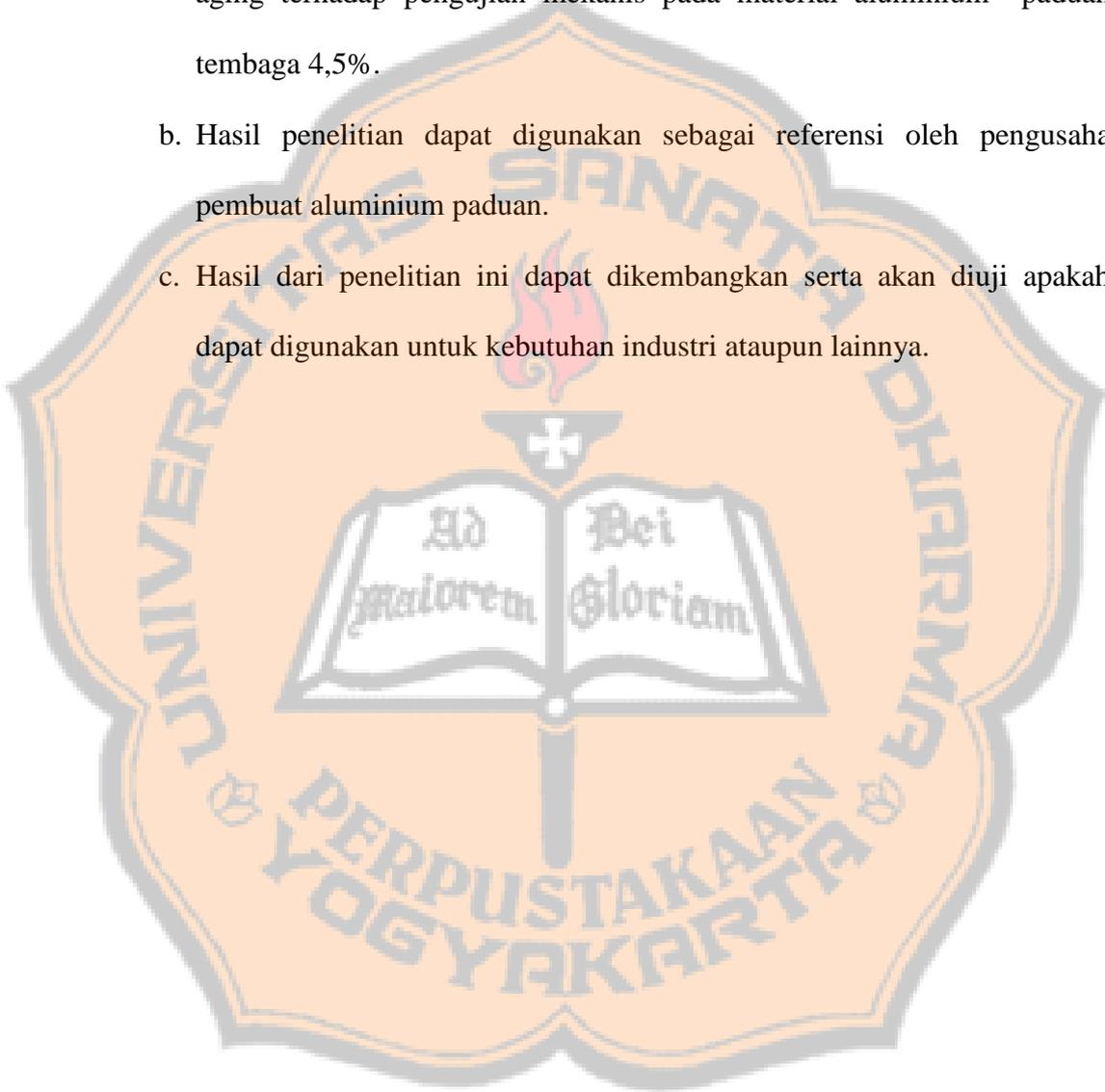
Agar penelitian ini tidak menyimpang dari penelitian, maka penulis memberikan batasan-batasan masalah sebagai berikut:

- a) Bahan utama yang digunakan adalah aluminium (Al) dan tembaga (Cu)
- b) Presentase paduan tembaga (Cu) adalah 4,5%
- c) Waktu *aging* yang digunakan adalah 5 jam
- d) Variasi suhu *aging* yang digunakan adalah 140°C, 160°C, 180°C, dan 200°C
- e) Pengujian mekanik yang dilakukan adalah uji tarik dan uji kekerasan

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

- a. Dapat menambah wawasan ilmu pengetahuan tentang pengaruh proses aging terhadap pengujian mekanis pada material aluminium paduan tembaga 4,5%.
- b. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai referensi oleh pengusaha pembuat aluminium paduan.
- c. Hasil dari penelitian ini dapat dikembangkan serta akan diuji apakah dapat digunakan untuk kebutuhan industri ataupun lainnya.



## BAB II

### DASAR TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 DASAR TEORI

Aluminium adalah logam yang berwarna putih keperakan yang lunak dan merupakan logam yang paling banyak terdapat di kerak bumi dan unsur ketiga terbanyak setelah oksigen dan silikon. Aluminium saat ini dijadikan sebagai alat rumah tangga, industri dan lainnya. Aluminium dapat dipadukan dengan bahan yang lain, seperti tembaga, zinc, silikon, mangan, magnesium dan lain-lain, yang digunakan untuk pembuatan velg mobil dan motor. Aluminium merupakan logam yang tahan korosi sehingga aluminium digunakan untuk beberapa macam seperti bahan pesawat yang memanfaatkan sifat ringan dan kuatnya menahan beban.

Alumunium merupakan logam *non ferro* yang bahan dasarnya adalah bauksit dan kreolit. Proses pembuatan aluminium melalui satu proses yang disebut proses bayer. Proses bayer adalah sebuah proses pemurnian bijih bauksit untuk memperoleh aluminium oksida atau alumina, melalui cara bayer diperoleh tanah tawas lalu tanah tawas direduksi menjadi aluminium melalui elektrolisa, yang merupakan sebuah peristiwa berlangsungnya reaksi kimia oleh arus listrik. Secara luas aluminium lebih ekonomis dibanding bahan baku teknik lainnya, sehingga penggunaan aluminium terus meningkat selama bertahun-tahun. Meningkatnya penggunaan aluminium pada masa kini disebabkan karena aluminium merupakan logam yang mempunyai titik cair yang rendah, berat yang ringan serta tahan terhadap karat atau korosi.

Aluminium memiliki beberapa kelebihan yang banyak dibandingkan dengan logam yang lain, tetapi dalam aplikasi pada bidang teknik, aluminium masih memiliki kelemahan yaitu sifat mekanik yang kurang baik, seperti pada tingkat kekerasan, regangan dan batas cair, sehingga pada aluminium murni tidak bisa digunakan sebagai komponen pada mesin atau konstruksi bangunan. Akan tetapi jika aluminium sedikit diberi campuran dengan elemen lain, maka kekuatan dan kekerasannya akan meningkat dan memberi energi tambahan pada aluminium tersebut. Banyak paduan aluminium yang memiliki kekuatan yang sama bahkan lebih dari baja lunak, sehingga paduan paduan tersebut dapat digunakan untuk komponen-komponen yang dibebani.

Tembaga adalah logam lunak dan liat. Oleh karena itu, sifat-sifat yang dimiliki tembaga sangat berguna untuk proses pengerjaan perubahan bentuk dan digunakan untuk gelang paking yang memiliki ciri khas berupa warna merah hangat, sehingga mudah untuk diketahui. Tembaga merupakan logam yang paling penting di dunia dan diolah dalam keadaan murni, dalam bentuk campuran-campuran dan sebagai elemen tambahan untuk mengubah sifat dari logam-logam yang lain. Kekuatan tarik tembaga kira-kira  $200\text{N/mm}^2$ . Lebih dari logam yang lain, tembaga mempunyai kekuatan tarik yang lebih besar pada suhu yang rendah. Oleh karena itu, tembaga merupakan bahan yang baik untuk teknik pendinginan. Tembaga bersifat tahan korosi karena memiliki lapisan kuat karbonat tembaga (hijau tembaga). Tembaga mempunyai sifat lunak, liat, dan tahan korosi. Oleh karena itu, tembaga juga digunakan pada pipa saluran air. Tembaga mempunyai daya penghantar panas yang baik dan

sekaligus mempunyai refleksi panas yang besar sehingga tembaga dapat mengantar panas dengan sempurna. Berkat refleksi panas-panas yang besar tembaga dapat digunakan sebagai bahan isolasi. Tembaga mempunyai daya penghantar listrik yang baik, sehingga tembaga banyak dipergunakan sebagai bahan penghantar listrik.

## 2.2 SIFAT ALUMINIUM

Keunggulan aluminium dibandingkan dengan logam lain dapat dilihat dari sifat-sifat yang dimilikinya antara lain:

1. Sifat utamanya adalah jenis yang rendah, berat jenis aluminium yang hanya sepertiga dari berat jenis baja, berat jenis aluminium  $2700 \text{ kg/m}^3$  (berat jenis baja adalah  $7700 \text{ kg/m}^3$ ), kekuatan tarik 90-120 Mpa, tegangan luluh 34Mpa, kekerasan 23 BHN dan modulus elastis (E) sebesar  $70000 \text{ N/mm}^2$ .
2. Tahan terhadap korosi (*corrosion resistance*), untuk logam *non ferro* dijelaskan bahwa semakin besar kerapatannya maka semakin baik daya tahan korosinya, tetapi untuk aluminium ada pengecualian. Hal ini disebabkan oleh lapisan atau selaput tipis oksida transparan dan jenuh oksigen di seluruh permukaan, selaput ini mengendalikan laju korosi dan melindungi lapisan di bawahnya.
3. Sifat mekanis (*mechanical properties*), aluminium mempunyai kekuatan tarik, kekerasan dan *impact*/beban kejut yang sebanding dengan paduan bukan besi (*non ferro alloys*) lainnya, dan juga sebanding dengan beberapa jenis baja.

4. Penghantar panas dan listrik yang baik (*heat and electrical conductivity*), di samping daya tahan yang baik terhadap korosi, aluminium memiliki daya hantar listrik yang tinggi, daya hantar listrik aluminium murni sekitar 60% dari hantar tembaga.
5. Tidak mengandung racun, karena aluminium dapat digunakan sebagai bahan pembungkus atau kaleng makanan dan minuman, sehingga reaksi kimia antara makanan atau minuman dengan bahan aluminium tidak menghasilkan zat beracun yang membahayakan kesehatan terhadap manusia.
6. Sifat mampu bentuk (*formability*), aluminium dapat dibentuk dengan mudah, aluminium mempunyai sifat mudah untuk di tempa (*malleability*) yang memungkinkannya dibuat dalam bentuk plat atau lembaran tipis
7. Titik lebur rendah (*melting point*), titik lebur aluminium relatif rendah ( $660^{\circ}\text{C}$ ) sehingga sangat baik untuk proses penuangan dengan waktu peleburan relatif singkat dan biaya operasi lebih murah.
8. Selain sifat-sifat tersebut diatas, masih banyak sifat-sifat aluminium yang menguntungkan antara lain anti magnetik, nilai arsitektur dan dekoratif mudah untuk dilakukan proses pengerjaan akhir (*finishing*) dan lain sebagainya.

### 2.3 ALUMINIUM MURNI

Al didapat dalam keadaan cair dengan elektrolisa, umumnya mencapai kemurnian 99,85% berat. Dengan mengelektrolisa kembali dapat dicapai kemurnian 99,99% berat yaitu dengan empat angka sembilan.

**Tabel 2.1 Sifat-sifat fisik aluminium**

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)	
	99,996	>99,0
Masa Jenis (20° C)	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 pemuai (20-100°C)	$23,86 \times 10^{-6}$	$23,5 \times 10^{-6}$
Jenis Kristal, konstanta kisi	<i>fcc</i> , $\alpha=4,013$ kX	<i>fcc</i> , $\alpha=4,04$ kX

Catatan : fcc = face centered cubic ; kubus perpusat muka  
(Sumber : Surdia T, Saito S, :Pengetahuan Bahan Teknik,hal 134)

**Tabel 2.2 Sifat-sifat mekanik aluminium**

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

(Sumber : Surdia T, Saito S, :Pengetahuan Bahan Teknik,hal 134)

Sifat-sifat fisik dan sifat-sifat mekanik yang ditunjukkan dalam Tabel 2.1 dan Tabel 2.2, ketahanan korosi berubah menurut kemurnian, aluminium dengan kemurnian 99,0% atau di atasnya dapat dipergunakan di udara selama bertahun-tahun. Hantaran listrik aluminium kira-kira 65% dari hantaran listrik tembaga, tetapi massa jenisnya kira-kira sepertiganya sehingga memungkinkan untuk

perluasan penampangnya. Oleh karena itu dapat dipergunakan untuk kabel-kabel tenaga dan bisa untuk lembaran tipis (*foil*). Aluminium dengan kadar 99,0% dapat dipergunakan untuk reflektor yang memerlukan reflektifitas yang tinggi dan juga untuk kondensor elektrolitik dipergunakan aluminium dengan angka sembilan empat.

## 2.4 PADUAN ALUMINIUM

### 2.4.1 Klasifikasi paduan aluminium

Paduan aluminium diklasifikasikan dalam berbagai standar oleh berbagai negara di dunia. Saat ini klasifikasi yang sangat terkenal dan sempurna adalah standar *Aluminium Association* di Amerika (AA) yang didasarkan atas standar terdahulu dari Alcoa (*Aluminium of America*). Paduan tempaan dinyatakan dengan satu atau dua angka "S", sedangkan paduan coran dinyatakan dengan 3 angka. Standar paduan dengan unsur-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 pada tempat kedua menyatakan kemurnian dalam paduan yang dimodifikasi dan Al murni sedangkan angka ketiga dan keempat dimaksudkan untuk tanda *Alcoa* terdahulu kecuali S. Sebagai contoh, 3 S sebagai 3003 dan 63S sebagai 6063. Al dengan kemurnian 99,0% atau di atasnya dengan ketidakmurnian terbatas (2S) dinyatakan sebagai 1100. Tabel 2.3 menunjukkan hubungan tersebut.

Dalam paduan Al perubahan yang berarti dari material disebabkan oleh perlakuan panas telah dikenal, yang dinyatakan dalam Tabel 2.4, sebagai contoh untuk 7075-T6.

#### 2.4.2 Paduan Al Utama

**Tabel 2.3 Klasifikasi paduan aluminium tempaan**

Standar AA	Standar Alcoa terdahulu	Keterangan
1001	1S	Al murni 99,5% atau di atasnya
1100	2S	Al murni 99,0% atau di atasnya
2010-2029	10S-29S	Cu merupakan unsur paduan utama
3003-3009	3S-9S	Mn merupakan unsur paduan utama
4030-4039	30S-39S	Si merupakan unsur paduan utama
5050-5086	50S-69S	Mg merupakan unsur paduan utama
6061-6069	50S-69S	Mg <sub>2</sub> Si merupakan unsur paduan utama
7070-7079	70S-79S	Zn merupakan unsur paduan utama

(Sumber: Surdia T, Saito S, :Pengetahuan Bahan Teknik, hal 13)

**Tabel 2.4 Klasifikasi perlakuan bahan**

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 setelah pengerasan regangan
-H 3 <sub>n</sub>	Dianil untuk penyetabilan setelah pengerasan regangan $n=2$ (1/4 keras), 4 (1/2 keras), 6 (3/4 keras), 8 (keras), 9 (sangat keras)
-T	Perlakuan panas
-T2	Penganilan penuh (hanya untuk coran)
-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

(Sumber: Surdia T, Saito S, :Pengetahuan Bahan Teknik, hal 13)

Paduan Al-Cu sering diaplikasikan hanya berkisar sekitar 4-5% Cu, karena pada paduan ini mempunyai luas dari pembekuannya, penyusutan yang besar, risiko besar pada kegetasan panas dan mudah terjadi retakan pada coran. Adanya Si sangat berguna untuk mengurangi keadaan Ti dan penambahan Ti sangat efektif untuk memperhalus butir. Dengan perlakuan panas T6 pada coran dapat dibuat bahan yang mempunyai kekuatan tarik kira-kira  $25 \text{ kgf/mm}^2$ .

Sebagai paduan Al-Cu-Mg paduan yang mengandung 4% Cu dan 0,5% Mg dapat mengeras dengan sangat dalam beberapa hari oleh penuaan pada temperatur biasa setelah pelarutan. Paduan ini ditemukan oleh A. Wilm dalam usaha mengembangkan paduan Al yang kuat yang dinamakan duralumin. Selanjutnya sangat banyak studi telah dilakukan mengenai paduan ini, khususnya Nishimura menemukan dua senyawa terner berada dalam kesetimbangan dengan Al, yang dinamakan senyawa S dan T, dan ternyata bahwa senyawa S ( $\text{Al}_2\text{CuMg}$ ) mempunyai kemampuan penuaan pada temperatur biasa. Duralumin adalah paduan praktis yang sangat terkenal disebut paduan 2024, nama lainnya disebut duralumin super. Paduan yang mengandung Cu mempunyai ketahanan korosi yang jelek, jadi apabila ketahanan korosi yang khusus diperlukan permukaannya dilapisi dengan Al murni atau paduan Al yang tahan korosi yang disebut pelat alklad.

**Tabel 2.5 Sifat-sifat mekanik paduan Al-Cu-Mg**

Paduan	Keadaan	Kekuatan tarik (kgf/mm <sup>2</sup> )	Kekuatan Mulur (kgf/mm <sup>2</sup> )	Perpanjangan (%)	Kekuatan geser (kgf/mm <sup>2</sup> )	Kekerasan brinell	Batas Lelah (kgf/mm <sup>2</sup> )
17S (2017)	O	18,3	7,0	-	<b>12,7</b>	<b>45</b>	<b>7,7</b>
	T4	43,6	28,1	-	<b>26,7</b>	<b>105</b>	<b>12,7</b>
A17S (A2017)	T4	30,2	16,9	27	19,7	70	9,5
R317	Setelah dianil	42,9	24,6	22	-	100	-
24S (2024)	O	18,9	7,7	22	12,7	42	-
	T4	47,8	32,3	22	28,8	120	-
	T36	51,3	40,1	-	29,5	130	-
14S (2014)	O	19,0	9,8	18	12,7	45	-
	T4	39,4	28,0	25	23,9	100	-
	T4	49,0	42,0	13	29,5	135	-

(Sumber: Surdia T, Saito S, :Pengetahuan Bahan Teknik, hal 137)

Penggunaan aluminium pada umumnya terbatas pada aplikasi yang tidak terlalu mengutamakan faktor kekuatan seperti penghantar panas dan listrik, perlengkapan bidang kimia, lembaran (*plat*) dan sebagainya. Salah satu usaha untuk meningkatkan aluminium murni adalah dengan pengerasan regang atau dengan perlakuan panas (*heat treatment*). Tetapi cara ini tidak senantiasa memuaskan bila tujuan utama adalah untuk menaikkan kekuatan bahan.

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

Paduan aluminium-tembaga adalah paduan aluminium yang mengandung tembaga 4,5%, memiliki sifat-sifat mekanik dan mampu mesin yang baik sedangkan mampu coranya agak jelek. Paduan aluminium tembaga-silisium dibuat dengan menambah 4-5% silisium pada paduan aluminium tembaga untuk memperbaiki sifat mampu

cornya. Paduan ini dipakai untuk bagian-bagian motor, mobil, meteran, dan rangka utama dari katup.

Kelebihan:

1. Meningkatkan kekerasan bahan
2. Memperbaiki kekuatan tarik pada aluminium
3. Mempermudah proses pengerjaan dengan mesin

Kekurangan:

1. Menurunkan daya tahan terhadap korosi
2. Mengurangi keuletan bahan
3. Menurunkan kemampuan dibentuk dan di rol

#### **2.4.4 Paduan Aluminium-Mangan (Al-Mn)**

Mn adalah unsur yang memperkuat Al tanpa mengurangi ketahanan korosi, dan dipakai untuk membuat paduan yang tahan korosi. Dalam diagram fasa Al-Mn yang ada dalam keseimbangan dengan larutan padat Al adalah  $Al_6Mn$  (25,3%), sistem ortorombik  $a=6,498 \text{ \AA}$ ,  $b= 7,552 \text{ \AA}$   $c=8,870 \text{ \AA}$ , dan kedua fasa mempunyai titik eutektik pada  $658,5^\circ\text{C}$ , 1,95% Mn. Kelarutan padat maksimum pada temperatur eutektik adalah 1,82% dan pada  $500^\circ\text{C}$  0,36%, sedangkan pada temperatur biasa kelarutannya hampir 0.

Dengan paduan Al-1,2%Mn dan Al-1,2%Mn-1,0%Mg dinamakan paduan 3003 dan 3004 yang digunakan sebagai tahan korosi tanpa perlakuan panas.

Kelebihan:

1. Meningkatkan kekuatan dan daya tahan pada temperatur tinggi
2. Meningkatkan daya tahan terhadap korosi
3. Mengurangi pengaruh buruk pada unsur besi

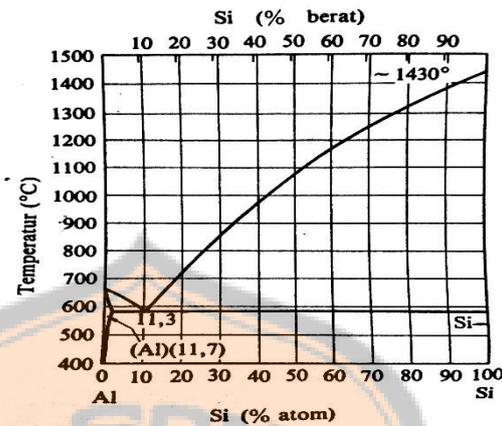
Kekurangan:

1. Menurunkan kemampuan penuangan
2. Meningkatkan kekerasan butiran partikel

#### 2.4.5 Paduan Al-Si

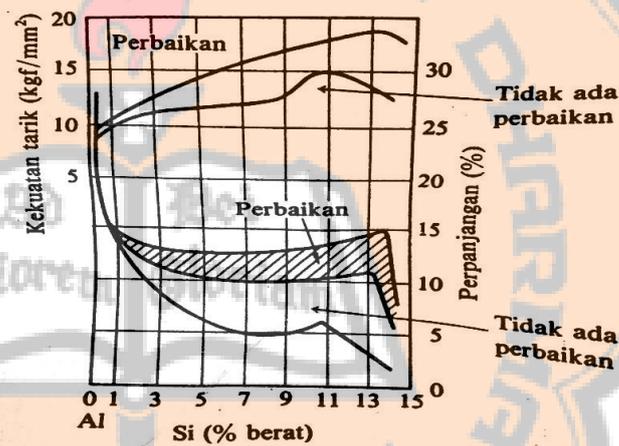
Gambar 2.1 menunjukkan diagram fasa dari sistem ini. Ini adalah tipe eutektik yang sederhana yang mempunyai titik eutektik pada  $577^{\circ}\text{C}$ , 11,7%Si, larutan padat terjadi pada sisi AL, karena batas kelarutan padat sangat kecil aka pengerasan penuaan sukar diharapkan.

Kalau paduan ini didinginkan pada cetakan logam, setelah cairan logam diberi natrium flourida kira-kira 0,05-1,1% kadar logam natrium, tampaknya temperatur eutektik meningkat kira-kira 15, dan komposisi eutektik bergeser ke daerah kaya Si kira-kira pada 14%. Hal ini biasa terjadi pada paduan hipereutektik seperti 11,7-14% Si, Si mengkristal sebagai kristal primer, tetapi karena perlakuan yang disebut di atas Al mengkristal sebagai kristal primer dan struktur eutektiknya menjadi sangat halus. Ini dinamakan struktur yang dimodifikasi. Sifat-sifat mekaniknya sangat diperbaiki yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Fenomena ini ditemukan oleh A. Pacz tahun 1921 dan paduan yang telah diadakan perlakuan tersebut dinamakan silumin.



Gambar 2.1 Diagram fasa Al-Si

(Sumber: Surdia T, Saito S, :Pengetahuan Bahan Teknik, hal 137)



Gambar 2.2 Perbaikan sifatmekanik oleh modifikasi paduan Al-Si  
(Sumber : Surdia T, Saito S, :Pengetahuan Bahan Teknik, hal 137)

Paduan Al-Si memiliki tingkat kecairan yang baik, memiliki permukaan bagus, tanpa kegetasan panas, dan sangat baik untuk paduan coran. Sebagai tambahan, paduan Al-Si mempunyai ketahanan korosi yang baik, sangat ringan, koefisien pemuaian yang kecil dan sebagai penghantar yang baik untuk listrik dan panas. Karena mempunyai kelebihan mencolok, paduan ini sangat banyak dipakai. Koefisien pemuaian termal dari Si sangat rendah sehingga paduannya juga mempunyai koefisien yang rendah apabila ditambah. Kandungan Si tidak memiliki butir primer yang

tidak efektif, namun dengan tambahan P oleh paduan Cu-P atau penambahan fosfor klorida (PCl<sub>5</sub>) untuk mencapai presentasi 0,001 %, dapat dipakai untuk penghalusan kristal primer sehingga paduan Al-Si banyak dipakai sebagai elektroda untuk pengelasan, yaitu mengandung 5% Si.

## 2.5 Sifat Mekanik

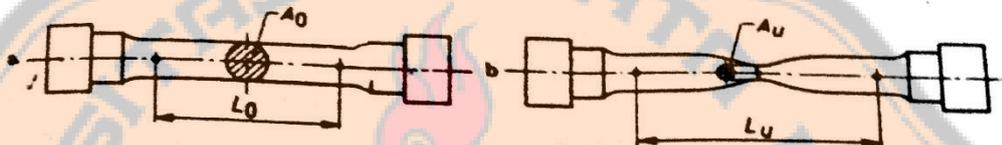
Pada saat ini, semua material apapun pasti memiliki cacat-cacat kisi yang akan mempengaruhi sifat-sifat yang berkaitan dengan struktur kristal tersebut. Dengan mengamati sifat mekanik pada logam, akan memiliki informasi sifat-sifat cacat kisi tersebut. Ada beberapa metode pengujian mekanik pada logam seperti uji tarik, uji kekerasan dan uji *impact*. Apapun tujuannya, pengujian mekanik berperan besar dalam metalurgi fisika dan pantas mendapat perhatian khusus.

### 2.5.1 Uji Tarik

Deformasi bahan disebabkan oleh beban tarik, beban tarik adalah dasar dari pengujian-pengujian dan studi mengenai kekuatan bahan, hal ini disebabkan karena pengujian ini sangat mudah dilakukan, dan menghasilkan tegangan *unifrom* pada penampang.

Pada uji tarik, ujung-ujung benda uji dijepit dengan kuat dan salah satu ujungnya dihubungkan dengan alat pengukur bahan, sedangkan ujung yang satu lagi dengan alat penarik. Regangan (elongasi) benda uji terlihat pada pergerakan relatifnya. Tegangan yang diperlukan untuk menghasilkan suatu regangan diukur dengan menggunakan metode

hidraulik, optik, atau elektromekanik. Untuk melaksanakan uji tarik, kita membutuhkan batang tarik. Benda uji tersebut sudah dilakukan perlakuan normalising, dibubut agar menjadi ukuran yang kita inginkan. Pada Gambar 2.3 benda tersebut dijepit di antara dua kepala pengikat lalu akan ditarik hingga putus.



Gambar 2.3 Spesimen berbentuk silinder pada pengujian tarik (Sumber : Beumer. B.J.M, : Ilmu Bahan Logam, hal 11)

Dalam pengujian tarik tersebut akan dicari regangan dan tegangan pada proses pengujian. Dengan tegangan kita artikan gaya tiap satuan-luas dengan menghitung tegangan dan regangan maka menggunakan rumus berikut:

1. Tegangan

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \text{ kg/mm}^2 \dots \dots \dots (2.1)$$

Dengan persamaan sebagai berikut:

P adalah beban maksimal (kg),  $A_0$  adalah luas penampang semula ( $\text{mm}^2$ ) dan  $\sigma$  adalah tegangan yang dihitung atau yang disebut tegangan nominal.

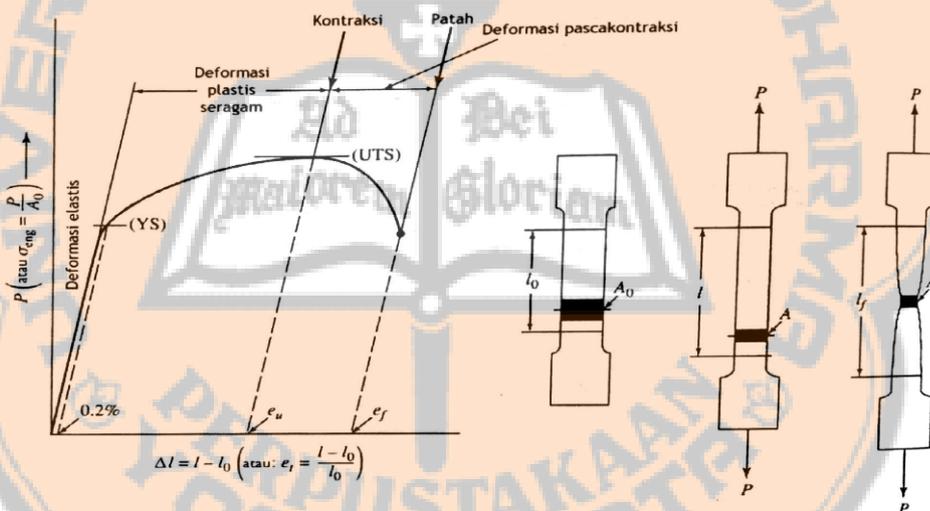
2. Regangan

$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\% \text{ atau } \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \dots \dots \dots (2.2)$$

Dengan persamaan sebagai berikut:

$\varepsilon$  adalah regangan,  $L$  panjang akhir (mm),  $L_0$  merupakan panjang awal (mm), dan  $\Delta L$  merupakan pertambahan panjang (mm).

Pada waktu percobaan tersebut hubungan antara regangan dan tegangan dapat digambarkan dalam diagram tegangan dan regangan. Dalam diagram tersebut sangat penting untuk mengetahui sifat material yang telah diuji. Pada Gambar 2.4 merupakan tegangan dan regangan pada benda uji.



Gambar 2.4 kurva tegangan–regangan serta proses pengujian tarik menggunakan spesimen silinder  
(Sumber: Rines, Proses Manufaktur, hal 58)

### 2.5.2 Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan merupakan sebuah pengujian untuk mengetahui ketahanan pada sebuah material. Ada tiga cara untuk mengetahui ketahanan yaitu, kekerasan *Brinell*, *Rockwell* dan *Vickers*.

### 2.5.2.1 Kekerasan Brinell

Uji kekerasan Brinell dilakukan dengan cara material diberi tekanan dengan memakai bola baja berdiameter 10 mm dan diberi beban 3000 kg. Untuk logam lunak, beban dikurangi hingga tinggal 500 kg, beban diterapkan selama waktu tertentu biasanya 30 detik dengan diameter indenter 2,5 mm. Gambar 2.5 merupakan hasil pengujian *Brinell*.



Gambar 2.5 Pengujian Brinell  
(Sumber : Breumer, L.J.M, Ilmu Bahan Logam, hal 25)

Untuk mengetahui angka kekerasan *Brinell* dapat menggunakan persamaan 2.3

$$BHN = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dengan P = beban yang diterapkan (kg)

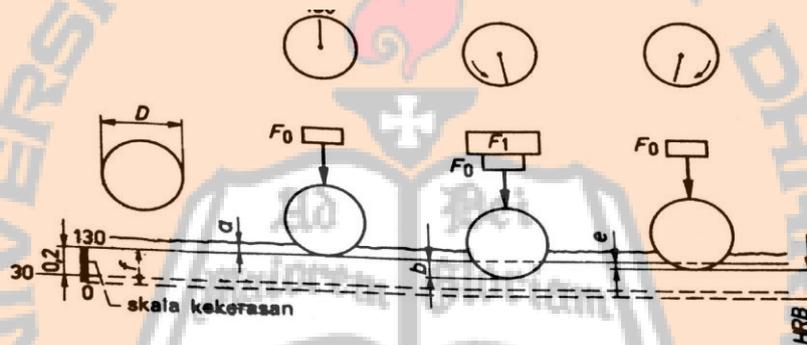
D = diameter bola (mm)

d = diameter lekukan (mm)

**Tabel 2.6 Konversi pada diameter indenter**

Diameter indenter D (mm)	Beban P (kg)		
	$30 D^2$	$10 D^2$	$5 D^2$
10	3000	1000	500
5	750	250	125
2,5	187,5	62,5	31,25

(Sumber: Buku Panduan Praktikum Ilmu Logam, USD Yogyakarta, hal 9)



Gambar 2.6 Proses pengujian Brinell

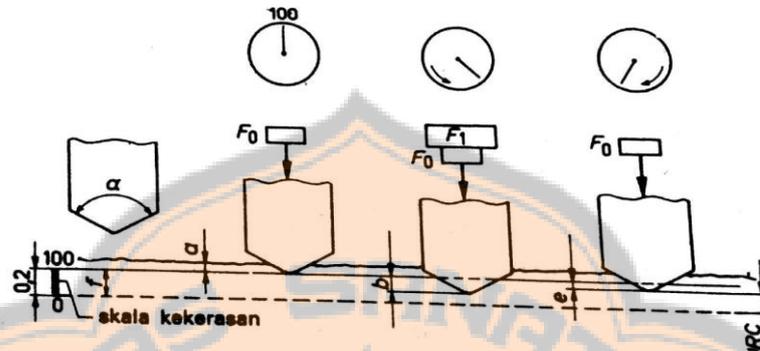
(Sumber: Beumer, L.J.M : Ilmu Bahan Logam, hal 27)

Adapun keuntungan yang dimiliki pengujian *Brinell* yaitu, bekas tekanan yang besar kekerasan rata-rata dari bahan yang tidak homogen dapat ditentukan, misalnya: besi tuang, sedangkan kerugian yang dimiliki pengujian *Brinell* adalah benda kerja tidak dapat digunakan kembali karena besarnya tekanan pada material.

### 2.5.2.2 Pengujian Rockwell

Pada pengujian Rockwell sebagai benda penekanan Menggunakan suatu peluru baja yang disepuh keras atau suatu kerucut intan (*Cone*) HRC

dengan ukuran yang ditetapkan, proses pengujian *Rockwell* tersaji pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Proses pengujian Rockwell  
(Sumber : Breumer, L.J.M : Ilmu Bahan Logam, hal 27)

Di bawah ini merupakan rumus yang digunakan untuk mencari kekerasan besarnya kekerasan material menggunakan pengujian *Rockwell*

$$H_R = E - e \dots \dots \dots (2.4)$$

Dengan  $e$  = jarak antara kondisi 1 dan kondisi 3 yang dibagi dengan 0.0002 mm.

$E$  = jarak antara indenter saat diberi *minor load* dan *zero reference* yang untuk tiap jenis indenter.

$H_R$  = Besarnya nilai kekerasan dengan metode *hardness*.

Keuntungan:

1. Dengan kerucut intan dapat diukur kekerasan baja yang disepuh keras.
2. Dengan bekas tekanan yang kecil benda kerja rusak lebih sedikit.

Kerugian:

1. Dengan bekas tekanan yang kecil maka kekerasan rata-rata tidak dapat ditentukan untuk bahan tidak homogen, misalnya: besi tuang.

2. Dengan pembesaran dalamnya bekas tekanan yang kecil terdapat kemungkinan kesalahan pengukuran yang besar.

### 2.5.2.3 Pengujian Vickers

Pada pengukuran Vickers suatu benda penekan intan berbentuk piramida lurus dengan bujur sangkar dan dengan sudut puncak  $136^\circ$ , ditekan ke dalam bahan dengan gaya  $F$  tertentu selama waktu tertentu. Setelah piramida diangkat diagonal  $d$  bekas tekanan tetap diukur (lihat gambar 2.8). Kekerasan Vickers dapat diperoleh dengan membagi gaya pada luas bekas tekanan berbentuk piramida.



Gambar 2.8 Pengujian Vickers

(Sumber: Breumer, L.J.M:Ilmu Bahan Logam, hal 29)

Rumus pada kekerasan vickers adalah:

$$HV = \frac{F}{A} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana  $HV =$  Kekerasan Vickers ,  $F =$  gaya (N), dan  $A =$  luas bekas (mm) tekanan berbentuk piramid.

Keuntungan pengujian Vickers:

1. Pengukuran kekerasan sangat teliti.
2. Dengan bekas tekanan yang kecil bahan percobaan merusak lebih sedikit.
3. Kekerasan benda yang sangat amat tipis dapat diukur dengan memilih gaya kecil.

Kerugian pengujian Vickers:

1. Dengan bekas tekanan yang kecil kekerasan rata-rata bahan yang tidak homogen tidak dapat ditentukan, misalnya : besi tuang

## 2.6 Aging

*Aging* yaitu proses pemanasan kembali logam menurut waktu pada suhu yang tidak terlalu tinggi untuk menghilangkan diskolasi akibat presipitasi partikel dengan deformasi partikel sehingga paduan mengalami penguatan.

Proses *aging* bertujuan untuk mengeraskan dan membentuk keseragaman struktur bahan. Bahan dipanaskan sampai pada temperatur hampir menyentuh titik ubah, kemudian dibiarkan dengan waktu tertentu. Kekerasan dan keseragaman stuktur dapat diperoleh tergantung pada lamanya proses pemanasan. Pendinginan dilakukan perlahan-lahan pada suhu kamar.

Proses aging mempunyai dua macam, adapun dua macam proses aging yaitu:

- a) *Natural* Aging, yaitu pada temperatur kamar (*Room Treatment*). dengan menggunakan suhu 15-25°C yang dengan menggunakan waktu selama 5 - 8 hari.
- b) *Artificial* Aging, yaitu aging pada temperatur antara 15% s/d 25% dari perbedaan temperatur kamar dan temperature *solution heat treatment*. Dengan menggunakan suhu 100-200°C yang dengan menggunakan waktu selama 1 – 24 Jam.

Ada dua metode utama untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasan pada paduan yaitu: pengerjaan dingin dan perlakuan panas. Proses perlakuan panas yang terpenting untuk paduan non logam adalah pengerasan *aging* atau pengerasan presipitasi. Dalam menerapkan perlakuan panas ini, diagram kesetimbangan harus menunjukkan daya larut pada parsial. Seperti itu, yang ada daya larut lebih besar pada temperatur lebih tinggi dibanding temperatur lebih rendah.

## 2.7 TINJAUAN PUSTAKA

Ipran,. (2006) meneliti tentang “Pengaruh Aging Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanis Paduan Aluminium”. Hasil dari penelitian penulis mengungkapkan bahwa pengujian tarik beda aging disertai pendinginan cepat (16,276 kg/mm<sup>2</sup>) memiliki kekuatan tarik lebih besar dari benda uji aging suhu 175°C (16,113kg/mm<sup>2</sup>) dan kekuatan tarik benda uji aging suhu 200°C yang disertai pendinginan cepat (17,777kg/mm<sup>2</sup>) memiliki

kekuatan tarik lebih besar dari benda uji aging suhu 200°C dan hasil pengujian *brinell* menunjukkan bahwa kekerasan pada benda uji aging suhu 175°C (79,33 BHN) memiliki nilai kekerasan lebih besar dari benda uji suhu 175°C yang disertai pendinginan cepat (72,83 BHN) dan pada benda uji aging suhu 200°C yang disertai pendinginan cepat (79,33 BHN) memiliki nilai kekerasan lebih besar dari benda uji aging suhu 175°C (72,83 BHN).

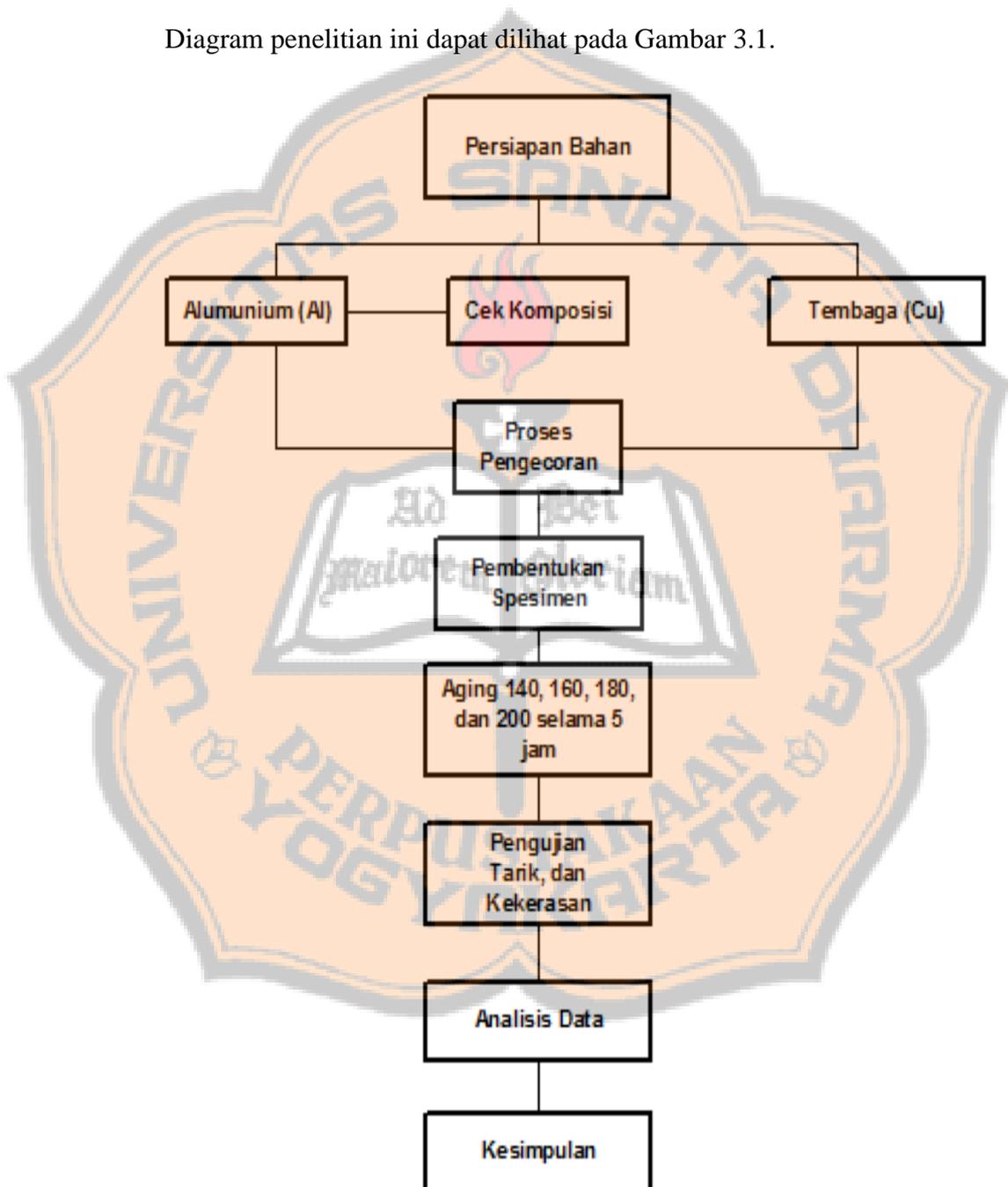
Eva., (2012) meneliti tentang “Analisis Sifat Fisis Dan Mekanis Aluminium Paduan AL-Si-Cu Dengan Menggunakan Cetakan Pasir”. Hasil dari penelitian penulismengungkapkan bahwa dari hasil pengujian tarik pada aluminium paduan dengan menggunakan cetakan pasir didapatkan tegangan tarik maksimal 93,8 N/mm<sup>2</sup>, serta regangan maksimal 1,65 (%). Dan dari hasil pengujian *Impact* diketahui energi rata-rata yang dihasilkan aluminium paduan menggunakan cetakan pasir yaitu sebesar 1,47 Joule, dengan harga *Impact* 0,018 Joule/mm<sup>2</sup>

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 DIAGRAM PENELITIAN

Diagram penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Penelitian

## 3.2 BAHAN DAN ALAT YANG DIGUNAKAN

### 3.2.1 Bahan Penelitian

Dalam proses pengujian ini, diperlukan bahan utama yang digunakan antara lain sebagai berikut:

#### 1) Aluminium

Bahan utama yang digunakan untuk penelitian ini adalah aluminium, yang diperoleh dari PT OGINDO Aluminium Jakarta. Aluminium batangan dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Aluminium

#### 2) Tembaga

Bahan paduan yang digunakan untuk penelitian ini adalah tembaga, yang diperoleh dari PT 3S Material Jakarta, yang berbentuk silinder dengan diameter 10 mm. Tembaga silinder dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Tembaga

### 3.2.2 ALAT PENGUJIAN

Alat pengujian yang digunakan adalah:

1. Mesin Uji Tarik *GOTECH KT-7010A2 TAIWAN,R.O.C*, yang digunakan untuk mengetahui kekuatan tarik dan regangan dari suatu bahan uji. Mesin uji ini dapat digunakan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma. Mesin uji tarik dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Mesin Uji Tarik

2. Mesin Uji Kekerasan Brinell MOD 100 MR, digunakan untuk pengujian terhadap ketahanan material terhadap deformasi plastis yang disebabkan oleh tekanan pada indenter. Mesin uji kekerasan ini dapat digunakan di Laboratorium Teknik Mesin

Universitas Sanata Dharma. Mesin Uji Kekerasan dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Mesin Uji Kekerasan Brinell

### 3.2.3 ALAT PEMESINAN DAN ALAT UKUR

Alat pemesinan yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah:

#### 1. Mesin Bubut

Digunakan untuk membuat benda uji tarik dan kekerasan dari hasil proses pengecoran. Mesin bubut dapat digunakan dilaboratorium logam Universitas Sanata Dharma. Mesin bubut ini dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Mesin Bubut

## 2. Mesin Gergaji

Mesin gergaji digunakan untuk memotong aluminium dan tembaga sebelum dilakukan pengecoran. Mesin gergaji juga digunakan untuk memotong hasil benda uji setelah proses pengecoran. Mesin gergaji ini dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Mesin Gergaji

## 3. Jangka Sorong

Jangka sorong digunakan untuk mengukur benda uji hasil dari pemesinan. Jangka sorong ini memiliki ketelitian 0,02 mm. jangka sorong dapat dilihat pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 Jangka Sorong

### 3.2.4 ALAT PENGECORAN

Alat pengecoran yang digunakan adalah:

#### 1. Kompor Gas

Digunakan sebagai tempat pembakaran dalam proses peleburan material. Kompor gas dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Kompor Gas

#### 2. Cetakan

Digunakan sebagai media untuk menampung hasil pengecoran. Cetakan ini terbuat dari besi dengan ukuran 22x12cm. Cetakan dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Cetakan

### 3. Tabung Gas

Digunakan untuk bahan bakar dalam proses pengecoran.

Tabung gas dapat dilihat pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Tabung Gas

### 4. Kowi

Digunakan sebagai media pengecoran pada aluminium dan tembaga. Kowi yang digunakan memiliki diameter 10 cm, ketebalan 2,5 mm dan tinggi 17 cm. Kowi dapat dilihat pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Kowi

### 5. Tang Penjepit

Digunakan untuk menjepit kowi yang telah berisikan aluminium dan tembaga yang sudah dicor dan menuangkan hasil pengecoran ke dalam cetakan. Tang penjepit dapat dilihat pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Tang Penjepit

### 3.2.5 Alat-Alat Lain yang Digunakan.

Alat-alat yang digunakan dalam proses penelitian adalah sebagai berikut:

#### 1. Timbangan Digital

Alat ini digunakan untuk mengukur berat dari aluminium dan tembaga sebelum proses pengecoran dilakukan. Dalam penelitian ini digunakan dua jenis timbangan, yaitu timbangan digital dengan satuan kilogram digunakan untuk menimbang aluminium (a) dan timbangan digital dengan

satuan gram digunakan untuk menimbang tembaga (a). Gambar timbangan digital dapat dilihat pada Gambar 3.14.



(a)



(b)

Gambar 3.14 Timbangan Digital (a) satuan gram (b) satuan kilogram

## 2. Gergaji Tangan

Digunakan untuk memotong hasil pengecoran yang telah selesai secara manual. Gergaji tangan dapat dilihat pada Gambar 3.15.



Gambar 3.15 Gergaji Tangan

## 3. Termometer

Digunakan untuk mengukur suhu oven pada proses *aging* dilakukan. Termometer dapat dilihat pada Gambar 3.16.



Gambar 3.16 Termometer Suhu

#### 4. Oven

Digunakan pada saat proses *aging* dilakukan, setelah hasil pengecoran sudah dibentuk spesimen. Oven dapat dilihat pada Gambar 3.17.



Gambar 3.17 Oven

#### 5. Bubuk Batu Kapur

Digunakan untuk melapisi pinggiran pada cetakan sebelum hasil coran dituangkan ke cetakan. Bubuk batu kapur berguna untuk mencegah aluminium melekat dengan cetakan pada saat penuangan material. Bubuk batu kapur dapat dilihat pada Gambar 3.18.



Gambar 3.18 Bubuk Batu Kapur

## 6. Mikroskop

Digunakan untuk mengamati diameter injakan dari indenter uji kekerasan setelah benda uji dilakukan pengujian.

Mikroskop dapat dilihat pada Gambar 3.19.



Gambar 3.19 Mikroskop

### 3.3 PROSES PENGECORAN

Ada beberapa langkah dalam proses pengecoran yang hendak dilakukan. Proses pertama adalah mempersiapkan bahan yang akan dicor dan alat-alat yang akan digunakan dalam proses pengecoran. Selanjutnya pengecoran material. Tahap terakhir adalah pembuatan benda uji.

#### 3.3.1 Persiapan Pengecoran

Sebelum melakukan pengecoran, adapun persiapan yang harus dilakukan, seperti berikut:

- 1) Aluminium (Al) dan tembaga (Cu) disiapkan.
- 2) Cetakan yang digunakan untuk tempat penuangan coran disiapkan.

- 3) Serbuk batu kapur dicampur dengan air secukupnya, diaduk lalu dioleskan pada bagian sisi cetakan.
- 4) Aluminium ditimbang dan ditentukan beratnya sesuai dengan komposisi yang dibutuhkan, setelah itu aluminium dipotong agar mudah dimasukkan pada kowi.
- 5) Tembaga ditimbang dan ditentukan beratnya sesuai dengan komposisi yang dibutuhkan, setelah itu tembaga dipotong agar mudah tercampur dengan aluminium pada saat proses pengecoran nantinya.
- 6) Kompor, regulator dan tabung gas disiapkan. Regulator dipasang pada tabung gas.

### 3.3.2 Proses Pengecoran

Langkah-langkah pengecoran Al-Cu adalah sebagai berikut:

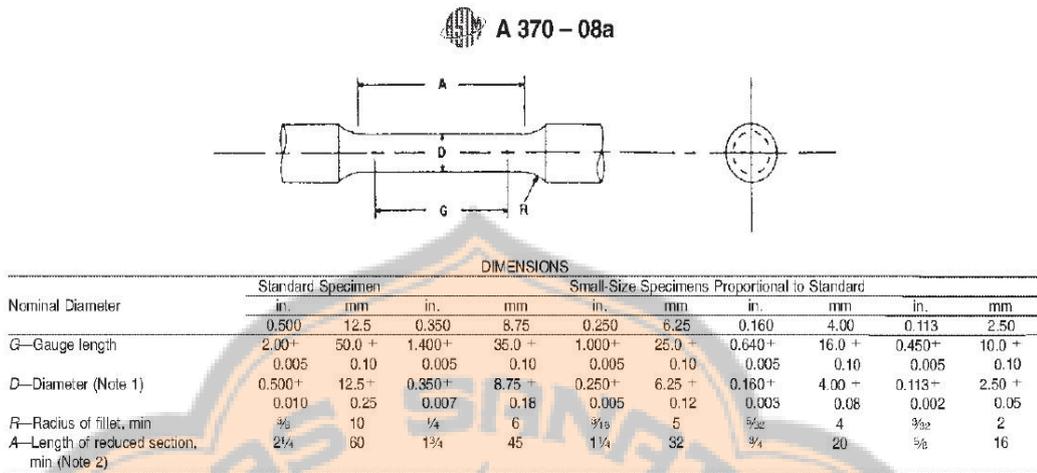
- 1) Aluminium dan tembaga terlebih dahulu disiapkan.
- 2) Aluminium dimasukkan pada kowi sebelum dicampurkan dengan tembaga.
- 3) Kompor gas yang sudah dipasang dengan regulator dinyalakan, kemudian kowi yang berisi aluminium diletakan diatas kompor gas.
- 4) Aluminium dilebur dan dipanaskan hingga mencair. Pada saat proses pengecoran dibutuhkan waktu sekitar 40 menit.

- 5) Tembaga yang sudah ditimbang sesuai dengan komposisinya dimasukkan kedalam kowi yang berisikan aluminium cair, setelah itu diaduk merata selama 10 menit.
- 6) Kompor dimatikan dan kowi langsung diangkat menggunakan tang penjepit dan langsung dituangkan kedalam cetakan yang sudah dilapisi serbuk batu kapur.
- 7) Proses penuangan berlangsung kurang lebih 10 detik.
- 8) Hasil dari penuangan didinginkan secara perlahan sesuai dengan suhu kamar.

### **3.4 Pembuatan Spesimen**

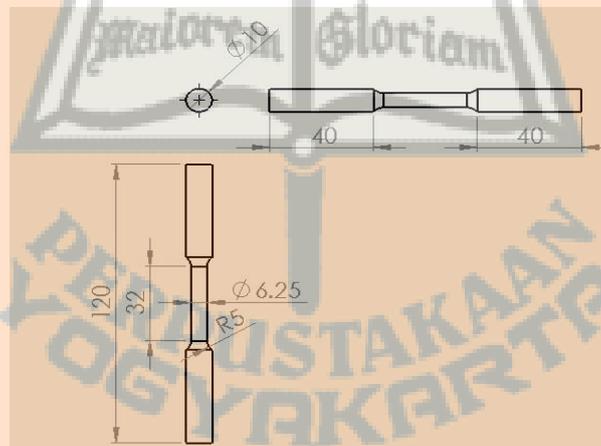
#### **3.4.1 Spesimen Uji Tarik**

Hasil dari pengecoran berupa kotak yang sesuai dengan cetakan yang digunakan. Hasil dari coran tersebut akan dipotong dengan ukuran 15 cm x 2 cm x 1,5 cm sebelum dilakukan proses *machining*. Setelah dipotong kemudian benda uji dilakukan proses *machining*. Benda uji tarik dibuat dengan menggunakan mesin bubut. Benda uji dibuat sesuai standard ASTM A370-08a seperti Gambar 3.20.



Gambar 3.20 Standarisasi Spesimen Uji Tarik  
(Sumber : ASTM A 370)

Gambar dibawah merupakan ukuran dari benda uji yang akan digunakan:



Gambar 3.21 Dimensi Benda Uji Tarik  
Keterangan ukuran:

Diameter luar benda uji adalah 10 mm, radius 5 mm, panjang keseluruhan benda uji 120 mm, *length of reduced section* 32 mm, diameter dalam benda uji 6,25 mm.

### 3.4.2 Spesimen Uji Kekerasan

Benda uji kekerasan digunakan lebih awal sebelum pengujian tarik dilakukan. Permukaan pada benda uji di amplas terlebih dahulu di bagian salah satu sisi yang nanti akan digunakan sebagai tempat penekanan indenter.

### 3.5 Proses Aging

Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam proses *aging*, yaitu:

- 1) Benda uji disiapkan terlebih dahulu.
- 2) Mesin oven yang akan digunakan disiapkan.
- 3) Mesin oven dinyalakan dan benda uji dimasukkan ke dalam oven.
- 4) Suhu pada oven diatur dengan suhu  $140^{\circ}\text{C}$  dan ditahan selama 5 jam kemudian benda uji dikeluarkan dari oven.
- 5) Suhu pada oven diatur dengan suhu  $160^{\circ}\text{C}$  dan ditahan selama 5 jam kemudian benda uji dikeluarkan dari oven.
- 6) Suhu pada oven diatur dengan suhu  $180^{\circ}\text{C}$  dan ditahan selama 5 jam kemudian benda uji dikeluarkan dari oven.
- 7) Suhu pada oven diatur dengan suhu  $200^{\circ}\text{C}$  dan ditahan selama 5 jam kemudian benda uji dikeluarkan dari oven.
- 8) Hasil dari proses *aging* kemudian diuji.

### 3.6 Pengujian Spesimen

#### 3.6.1 Pengujian Tarik

Pengujian tarik adalah salah satu pengujian dengan cara benda material ditarik untuk mengetahui seberapa besar kekuatan tarik yang dapat diterima oleh suatu bahan atau material. Pengujian ini dilakukan untuk memberikan titik aman dari penggunaan bahan tersebut untuk kebutuhan suatu produksi, sehingga pengujian ini akan diketahui beban maksimum dan tegangan maksimum pada benda uji.

Proses pengujian tarik sebagai berikut :

- 1) Benda uji dipasang pada penjepit atas dan bawah pada alat uji. Penjepit bawah dinaikan dan diturunkan dengan kecepatan lambat, sehingga pada penjepit benda uji dalam posisi yang tepat, diusahakan kedudukan pada benda uji betul-betul vertikal, kemudian pada penjepit dikencangkan.
- 2) Benda uji diberikan beban tarik dengan kecepatan 10 mm/detik, sehingga pada benda uji akan mengalami pertambahan panjang hingga benda uji tersebut patah atau putus. Perpatahan diharapkan terjadi pada bagian panjang ukur atau *gauge length* dari benda uji.
- 3) Data yang didapatkan kemudian dicatat selama proses pengujian tarik berlangsung (pertambahan beban (P) dan pertambahan panjang ( $\epsilon$ )) dengan *interval* yang ditentukan.

- 4) Hasil beban tarik maksimum dan kekuatan tarik pada benda uji yang telah putus dicatat.
- 5) Hasil pertambahan panjang yang tercantum pada mesin uji tarik dicatat setelah benda uji patah.

### 3.6.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan merupakan pengujian untuk mengetahui kekuatan suatu bahan. Pengujian ini dilakukan dengan cara memberikan beban pada material dengan menggunakan indentor dengan berbentuk bola baja, sehingga akan terbentuk pola injakan dari pengukuran diameter injakan, dan dapat ditentukan tingkat kekerasannya.

Proses pengujian kekerasan adalah sebagai berikut:

- 1) Benda uji dipersiapkan terlebih dahulu melalui proses pengamplasan, karena permukaan pada benda uji harus memiliki kerataan yang sama, bersih dan ketinggian yang sama.
- 2) Benda uji diletakan pada dudukan atau *anvil*, lalu *anvil* dinaikkan keatas dengan cara memutar roda pengatur *anvil*.
- 3) Benda uji diberikan beban sesuai pada petunjuk Tabel 2.6. Dalam pengujian ini digunakan beban 125 kg dan diameter bola indentornya 5 mm.
- 4) *Anvil* dinaikkan secara perlahan-lahan hingga benda uji menyentuh bola indentor, tetapi jarum pada mesin *Brinell* harus berada pada angka 0 kg.

- 5) Indentor ditekan ke bawah sesuai dengan beban yang ditentukan, tahan selama 30 detik kemudian beban dibebaskan ke angka 0 kg.
- 6) Setelah penekanan selesai pada benda uji, benda uji dipindahkan dari alat uji. Setelah itu dilakukan pengamatan dan pengukuran diameter bekas injakan dengan menggunakan mikroskop. Hasil tersebut untuk mencari harga kekerasan.
- 7) Pengujian dilakukan di daerah/titik di tempat yang ditentukan.



## BAB IV

### ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Penelitian

Pada pengujian ini, aluminium memiliki kadar komposisi sebesar 99.9%, sehingga pada paduan tembaga ditambahkan sebesar 4,5%. Dalam penelitian ini, ada dua pengujian yang dilakukan yaitu pengujian kekerasan dan pengujian tarik.

Data diperoleh setelah melakukan pengujian, selanjutnya dilakukan pengolahan data dan perhitungan. Hasil pengujian diperoleh ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik.

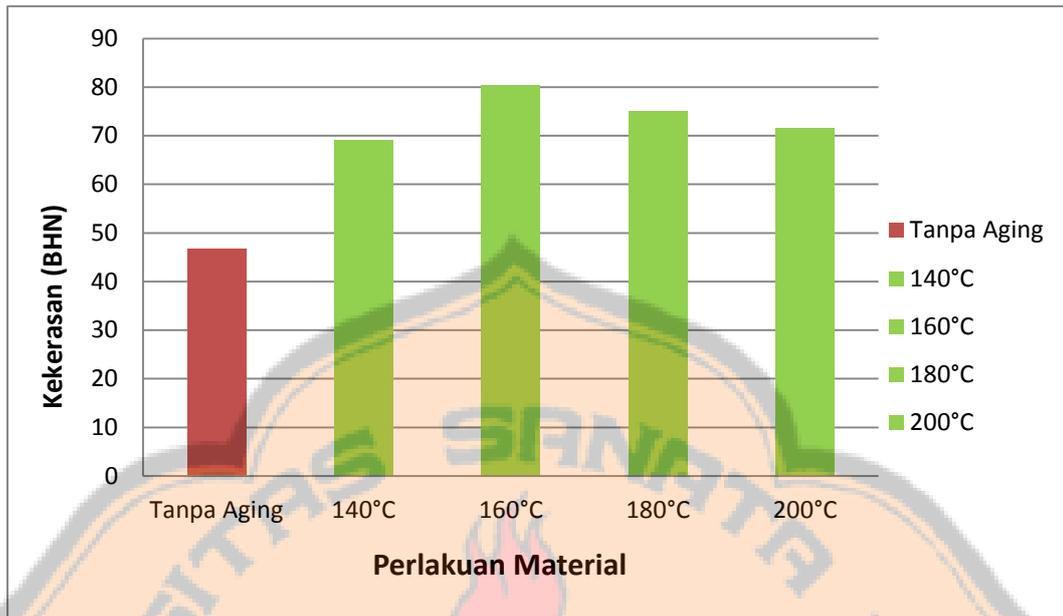
#### 4.2 Data Hasil Pengujian Kekerasan *Brinell*

Pengujian kekerasan bertujuan untuk membandingkan nilai kekerasan pada material Al-Cu sebelum proses *aging* dan setelah proses *aging* pada suhu 140°C, 160°C, 180°C, dan 200°C selama 5 jam. Pengujian ini menggunakan metode pengujian kekerasan *Brinell* dengan diberi beban 125 kg selama 30 detik. Hasil perhitungan diperoleh pada Tabel 4.1 dan dihitung menggunakan Persamaan 2.3.

Adapun data hasil pengujian kekerasan dan dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.1.

**Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan Brinell Material Al-Cu Dengan Perlakuan Aging Selama 5 Jam**

Perlakuan Material	D (mm)	P (kg)	D (mm)	Kekerasan Brinell (BHN)
Tanpa Aging	1,78	125	5	48,59
	1,85	125	5	44,85
	1,81	125	5	46,93
	Rata-Rata			<b>46,79</b>
140	1,5	125	5	69,11
	1,52	125	5	67,26
	1,48	125	5	71,03
	Rata-Rata			<b>69,13</b>
160	1,42	125	5	77,31
	1,43	125	5	79,58
	1,36	125	5	84,43
	Rata-Rata			<b>80,44</b>
180	1,46	125	5	73,04
	1,42	125	5	77,31
	1,44	125	5	75,13
	Rata-Rata			<b>75,16</b>
200	1,44	125	5	75,13
	1,50	125	5	69,11
	1,48	125	5	71,03
	Rata-Rata			<b>71,76</b>



Gambar 4.1 Grafik rata-rata kekerasan *Brinell* pada material Al-Cu dengan suhu aging selama 5 jam

Pada Gambar 4.1 menunjukkan perbandingan nilai rata-rata antara hasil pengujian kekerasan Al-Cu setelah diberi perlakuan aging selama 5 jam. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa perlakuan aging paduan Al-Cu mengalami peningkatan. Peningkatan terjadi pada suhu 140°C dan 160°C yaitu 69,13 BHN dan 80,44 BHN. Ketika suhu aging mencapai 180°C dan 200°C, kekerasannya mengalami penurunan sebesar 75,16 BHN dan 71,76 BHN.

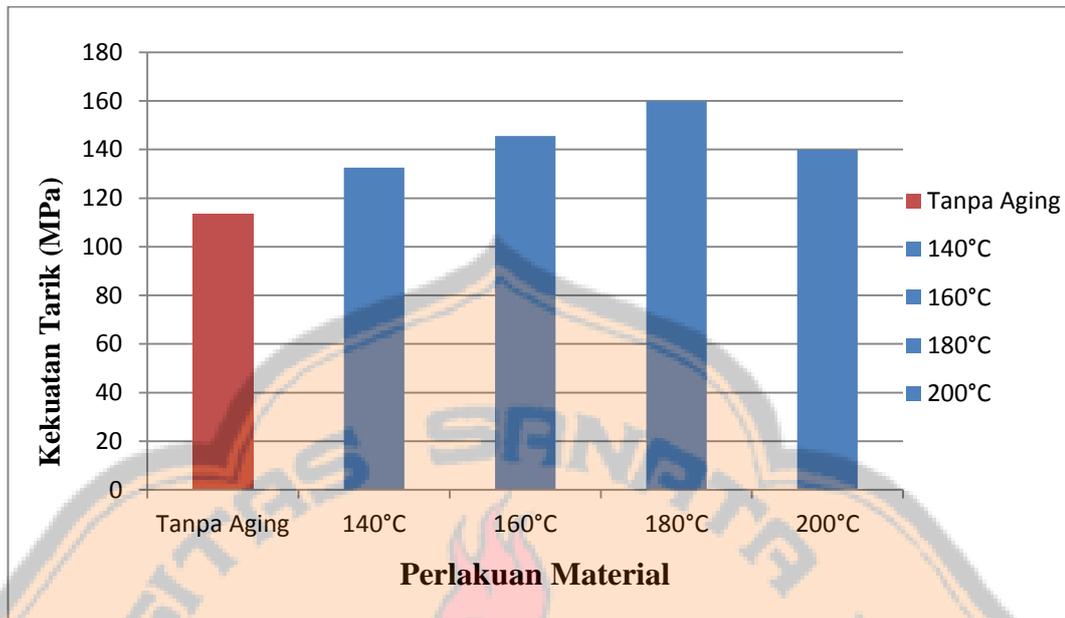
Dari analisis hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa perlakuan aging dengan suhu 140°C, 160°C, 180°C, dan 200°C selama 5 jam dapat meningkatkan kekerasan. Nilai kekerasan maksimum terjadi pada suhu 160°C, namun nilai kekerasan akan menurun bila melewati suhu 160°C. Dalam hal ini suhu sangat memberi pengaruh terhadap kekerasan Al-Cu.

### 4.3 Data Hasil Pengujian Tarik

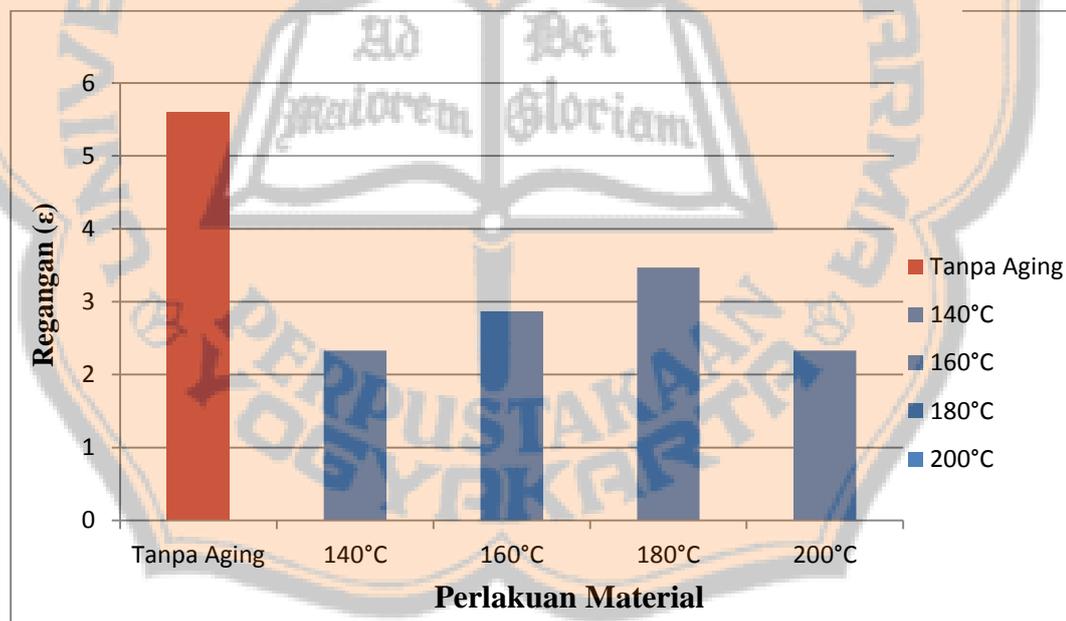
Pengujian kekuatan tarik bertujuan untuk mencari nilai kekuatan tarik dan regangan pada sebuah material yang diuji. Pengujian kekuatan tarik dilakukan pada spesimen aluminium yang sudah diberi perlakuan *aging* selama 5 jam pada suhu 140°C, 160°C, 180°C, dan 200°C. Hasil pengujian tarik dari paduan Al-Cu dengan perlakuan *aging* selama 5 jam pada suhu 140°C, 160°C, 180°C, dan 200°C dapat dilihat pada Tabel 4.2 serta Gambar 4.2 dan 4.3

**Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Tarik Al-Cu Dengan Perlakuan Aging Selama 5 Jam**

Perlakuan Material	D (mm)	Lo (mm)	Pmax (kg)	$\Delta L$ (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$ (%)	$\sigma$ (kg/mm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (MPa)
Tanpa Aging	6,04	25	334,60	1,40	28,65	5,60	11,68	114,56
	6,04	25	327,80	0,90	28,65	3,60	11,44	112,23
	6,04	25	331,40	1,90	28,65	7,60	11,57	113,46
<b>Rata-Rata</b>						<b>5,60</b>	<b>11,56</b>	<b>113,42</b>
140	6,04	25	366,50	0,50	28,65	2,00	12,79	125,48
	6,00	25	387,60	1,50	28,27	3,00	13,71	134,48
	6,04	25	401,60	0,50	28,65	2,00	14,02	137,50
<b>Rata-Rata</b>						<b>2,33</b>	<b>13,51</b>	<b>132,49</b>
160	6,04	25	389,40	0,55	28,65	2,20	13,59	132,32
	6,06	25	423,60	0,75	28,84	3,00	14,69	144,08
	6,02	25	462,30	0,85	28,46	3,40	16,24	159,33
<b>Rata-Rata</b>						<b>2,87</b>	<b>14,84</b>	<b>145,58</b>
180	6,06	25	445,30	0,50	28,84	2,00	15,44	151,46
	6,06	25	463,50	0,65	28,84	2,60	16,07	157,65
	6,04	25	498,60	1,45	28,65	5,80	17,40	170,71
<b>Rata-Rata</b>						<b>3,47</b>	<b>15,98</b>	<b>159,94</b>
200	6,04	25	378,90	0,65	28,65	2,60	13,22	129,73
	6,00	25	387,60	0,55	28,27	2,20	13,71	134,48
	6,02	25	451,70	0,55	28,46	2,20	15,87	155,68
<b>Rata-Rata</b>						<b>2,33</b>	<b>14,27</b>	<b>139,96</b>



Gambar 4.2 Grafik rata-rata kekuatan tarik pada material Al-Cu dengan perlakuan *aging* selama 5 jam



Gambar 4.3 Grafik rata-rata regangan pada material Al-Cu dengan perlakuan *aging* selama 5 jam

Dari persamaan yang digunakan yaitu pada Persamaan 2.1 dan 2.2, diperoleh data dari kekuatan tarik dan regangan yang dapat dilihat pada Tabel 4.2. Data tersebut menunjukkan nilai rata-rata dari kekuatan tarik dan

regangan pada material Al-Cu sebelum dan sesudah diberi perlakuan *aging* selama 5 jam pada suhu 140°C, 160°C, 180°C, dan 200°C. Kekuatan tarik mengalami hasil peningkatan dari hasil tanpa *aging* yaitu 113,42 MPa lalu setelah diberi perlakuan *aging* selama 5 jam pada suhu 140°C, 160°C, 180°C, dan 200°C mengalami peningkatan kekuatan tariknya. Pada suhu 140°C kekuatan tarik yang dihasilkan adalah 132,49 MPa, kemudian pada suhu 160°C kekuatan tarik yang dihasilkan adalah 145,58 MPa dan pada suhu 180°C kekuatan tarik yang dihasilkan adalah 159,94 MPa, namun pada suhu 200°C kekuatan tarik mengalami penurunan menjadi 139,96 MPa.

Pada Tabel 4.2 nilai regangan rata-rata pada material Al-Cu tanpa suhu *aging* memiliki nilai regangan yang tinggi yaitu 5,60%. Jika dibandingkan dengan material yang sudah diberi perlakuan *aging* pada suhu 140°C yang memiliki nilai regangan sebesar 2,33%, suhu 160°C memiliki nilai regangan sebesar 2,87%, suhu 180°C memiliki nilai regangan sebesar 3,47% dan pada suhu 200°C memiliki nilai regangan sebesar 2,33%.

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa material yang diberi perlakuan *aging* dapat meningkatkan kekuatan tariknya pada suhu tertentu, tetapi jika melewati dari suhu tersebut akan mengalami penurunan pada kekuatan tariknya. Namun nilai regangan akan mengalami penurunan jika diberi perlakuan *aging* pada material Al-Cu.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 KESIMPULAN

Dari data-data yang didapat setelah proses pengujian yang telah dilakukan dapat dibuat hasil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada pengujian kekerasan *Brinell*, material Al-Cu 4,5% yang sudah diberi perlakuan *aging* selama 5 jam, nilai kekerasan maksimum yang dihasilkan terjadi pada suhu 160°C yaitu 80,44 BHN. Namun ketika suhu *aging* melewati suhu 160°C maka nilai kekerasannya akan menurun.
2. Pada pengujian uji tarik material Al-Cu 4,5% setelah diberi perlakuan *aging* selama 5 jam. Nilai kekuatan tarik maksimum yang dihasilkan terjadi pada suhu 180°C yaitu 159,94 MPa. Namun ketika suhu *aging* melewati suhu 180°C maka nilai kekuatan tariknya akan menurun.

## 5.2 SARAN

Dari hasil-hasil penelitian untuk ke depannya agar memperoleh hasil yang baik dengan ini penulis menyarankan :

1. Untuk material aluminium lebih baik dicek terlebih dahulu kandungan komposisinya agar pada saat pencampuran dengan paduan tambahan dapat dihitung dengan benar.
2. Aluminium lebih baik dipotong kecil-kecil agar pada saat dimasukan kedalam kowi dan saat dilebur, aluminium cepat mencair.
3. Aluminium terlebih dahulu dibersihkan dengan air agar kotoran yang menempel pada material bisa hilang sebelum dilakukan peleburan.
4. Kowi lebih baik diberi corong pada ujungnya, agar pada saat penuangannya aluminium tidak mudah tumpah.
5. Pada saat peleburan lebih baik dicek suhunya, agar mengetahui suhu ketika aluminium mencair dan suhu ketika aluminium dituang dalam cetakan.
6. Pada saat proses peleburan terak dan kotoran lebih baik dibersihkan hingga bersih, agar hasil cor-coran lebih baik.
7. Pada cetakan silinder diberi lubang angin pada cetakannya, agar angin dapat keluar ketika penuangan.
8. Selama proses *aging* selalu mengecek suhu pada oven, agar tidak terjadi *over heating*.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Anonim, 1987, *Annual book of ASTM Standart*, American Socceity For Testing Material, Piladelpia.PA.
- Arifin, Bustanul, 1991, *Metalurgi Fisik Modern*, Jakarta, Penerbit Gramedia.
- Angga, Anugerah 2017, *Tugas Akhir*, Teknik Mesin, USD, Yogyakarta.
- Beumer. B.J.M, 1994, *Ilmu Bahan Logam*, Jakarta, Penerbit Bahratara Niaga Media.
- Djaprie, Sriarti, 1986, *Metalurgi Mekanik*, Jakarta, Penerbit Erlangga.
- Eva, Aziz Nur 2012, *Tugas Akhir*, Teknik Mesin, USD, Yogyakarta.
- Ginting, Sakius, 2006, *Tugas Akhir*, Teknik Mesin, USD, Yogyakarta.
- Ipran, Fransiskus 2006, *Tugas Akhir*, Teknik Mesin, USD, Yogyakarta.
- Surdia, T dan Saito, S, 1995, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Jakarta, Penerbit Pradnya Paramita.
- Surdia, T dan Chijiwa, K, 2000, *Teknik Pengecoran Logam*, Jakarta, Penerbit Pradnya Paramita.
- Republik Indonesia, 1982, *Gambaran Dan Perkembangan Industri Alumunium Dunia*, Jakarta, Penerbit Departemen Perindustian.
- Rines, 2009, *Proses Manufaktur*, Yogyakarta, Penerbit Andi.

LAMPIRAN

Lampiran komposisi material aluminium

ALT / FO / QC / 13 / 03

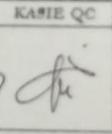
CUSTOMER : PT OGINDO PRAKARSATAMA

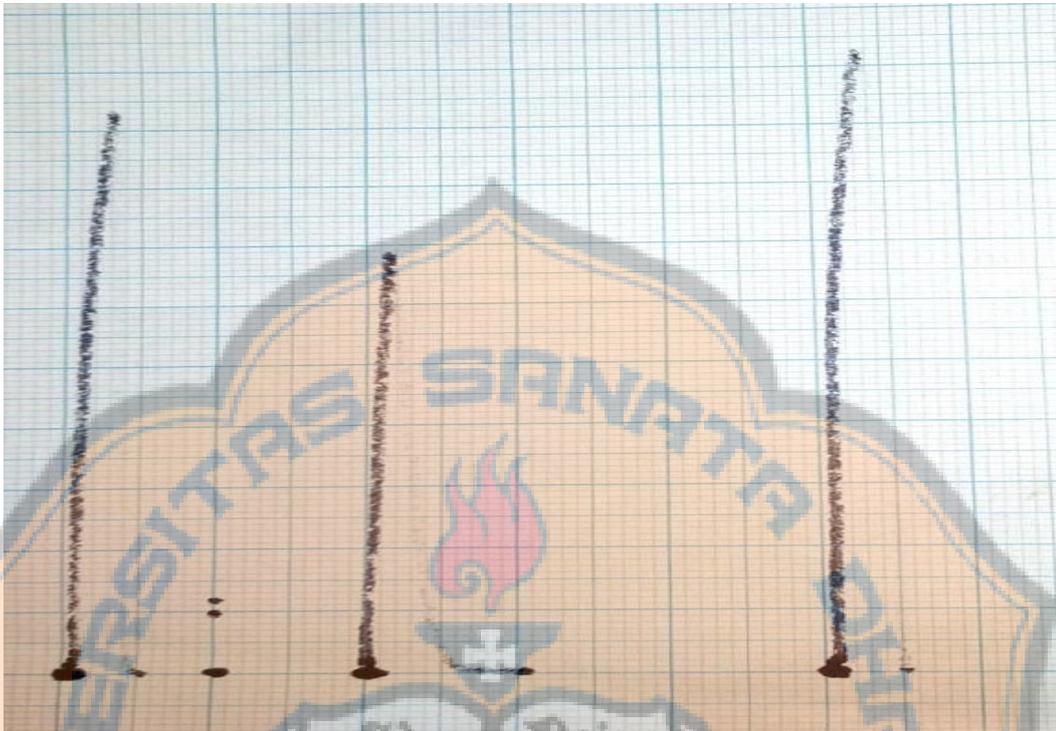
ASSAY CERTIFICATE  
ALUMINIUM ALLOY COMPOSITION  
OF INALCO 6061

Cu	Mg	Si	Fe	Mn	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti	Cr
0,00	0,00	0,03	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

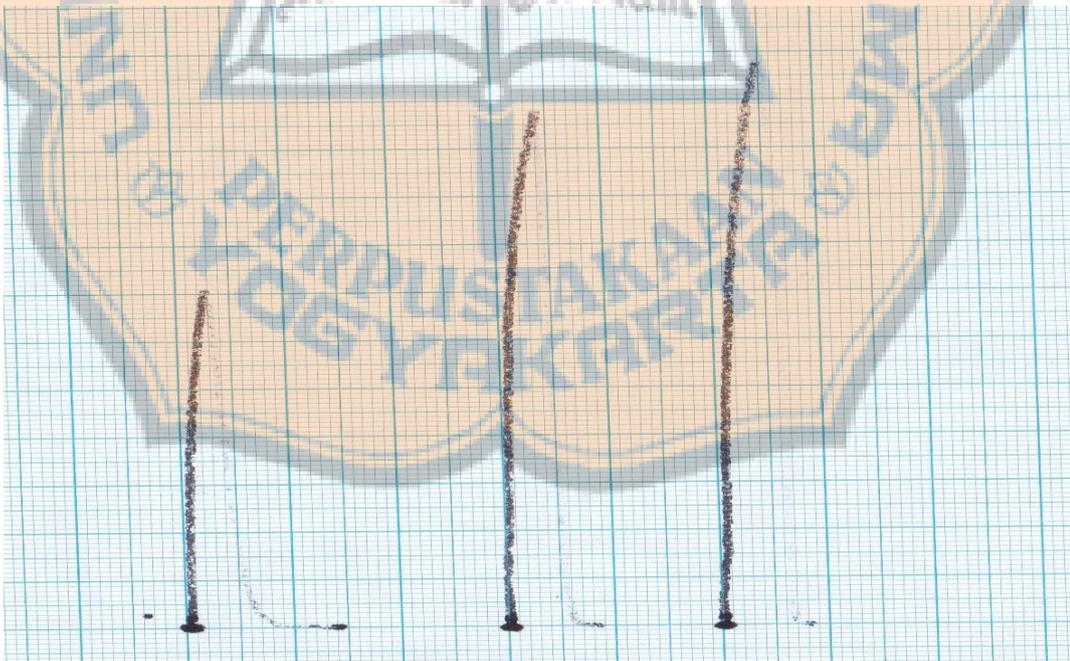
SPECTROMETER BY HILGER ANALYTICAL      DATE JULY 14, 2017

BUNDLES NO	BATCH NO	INGOT PCS	NETTO WEIGHT ( KG )	ANALYSIS RESULT IN %											
				Al	Cu	Mg	Si	Fe	Mn	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti	Cr
		14	315	99,91	0,00	0,00	0,03	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL		14	315												

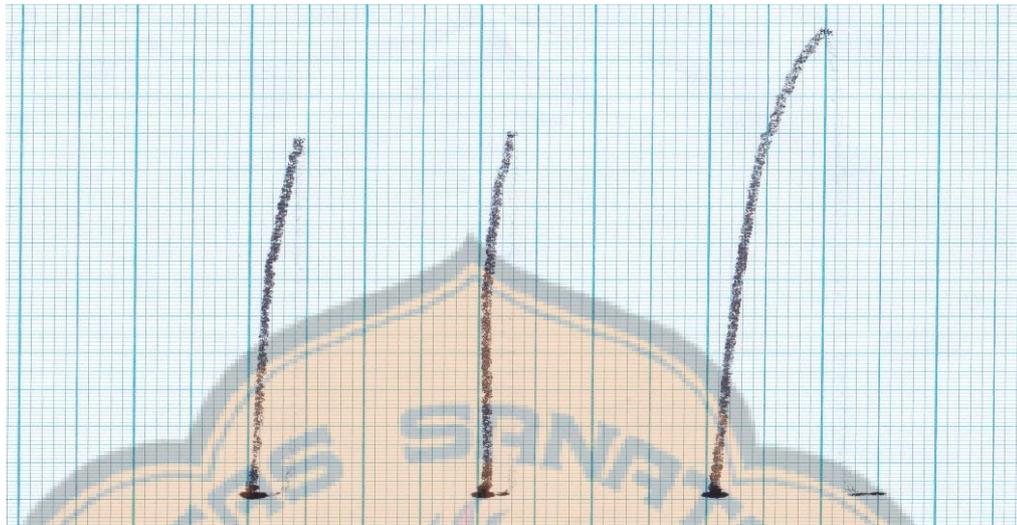
KABAG QC	KASIE QC
	
Toni Ch	Mujiyanto



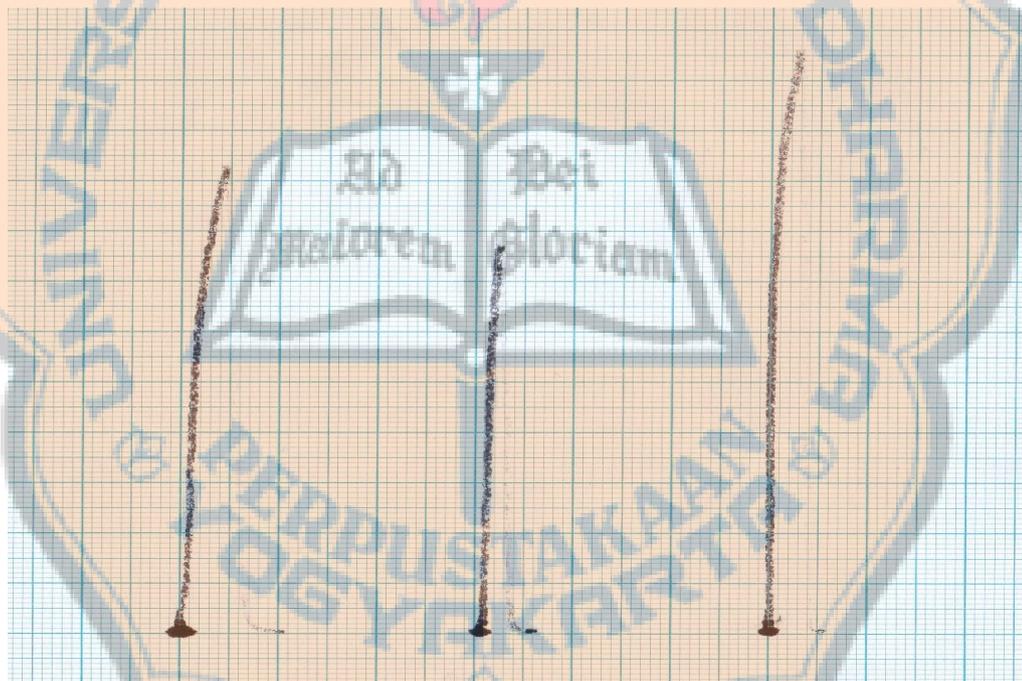
Lampiran hasil tegangan tarik spesimen Al-Cu 4,5% suhu 140°C selama 5 jam



Lampiran hasil tegangan tarik spesimen Al-Cu 4,5% suhu 160°C selama 5 jam



Lampiran hasil tegangan tarik spesimen Al-Cu 4,5% suhu 180°C selama 5 jam



Lampiran hasil tegangan tarik spesimen Al-Cu 4,5% suhu 200°C selama 5 jam

