

PENINGKATAN SIFAT MEKANIS PROPELER PERAHU MOTOR DENGAN  
*AGING TREATMENT*

**TUGAS AKHIR**

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Riau*



Disusun Oleh :

BUDI HARDIANTO

15.331.0767

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

PEKANBARU

2019

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**TUGAS AKHIR**

**PENINGKATAN SIFAT MEKANIS PROPELER PERAHU MOTOR  
DENGAN AGING TREATMENT**

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

**Disusun Oleh :**

**BUDI HARDIANTO**

**15.331.0767**

**Diperiksa dan Disetujui Oleh :**

PEKANBARU



**Dr. Kurnia Hastuti, ST., MT**  
Dosen Pembimbing

Tanggal : \_\_\_\_\_

LEMBARAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

PENINGKATAN SIFAT MEKANIS PROPELER PERAHU MOTOR DENGAN  
*AGING TREATMENT*

Disusun Oleh :

BUDI HARDIANTO

Npm : 15.331.0767

Disetujui oleh :

PEKANBARU  
PEMBIMBING

Dr. Kurnia Hastuti, ST., MT

Disahkan Oleh :

DEKAN  
FAKULTAS TEKNIK

KETUA PROGRAM STUDI  
TEKNIK MESIN

Ir. H. Abd. Kudus Zaini, MT.,MS.,TR

Dody Yulianto, ST., MT

## PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

**Nama : BUDI HARDIANTO**  
**NPM : 15.331.0767**  
**Prodi : TEKNIK MESIN**

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa penelitian yang saya lakukan untuk Tugas Akhir dengan judul “Peningkatan Sifat Mekanis Propeler Perahu Motor Dengan *Aging Treatment*” yang diajukan guna melengkapi syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Islam Riau merupakan hasil penelitian dan karya ilmiah saya sendiri dengan bantuan dosen pembimbing dan bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari tugas akhir yang telah dipublikasikan atau yang pernah digunakan untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas Islam Riau (UIR) maupun Perguruan Tinggi atau Intansi manapun, kecuali pada bagian yang sumber informasinya telah dicantumkan sebagaimana mestinya.

Pekanbaru, 7 Desember 2019

BUDI HARDIANTO  
NPM : 15.331.0767

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

### DATA PERSONAL

Nama Lengkap : Budi Hardianto  
NPM : 15.331.0767  
Tempat, Tanggal Lahir : Ujung Bayu, 6 Oktober 1997  
Jenis Kelamin : Laki-laki  
Alamat Sekarang : Asrama Putra Universitas Islam Riau  
Agama : Islam  
Nomor HP : 0822 7718 6704  
E-mail : budihardianto0697@gmail.com



### PENDIDIKAN

Sekolah Dasar : SDN 097348 Ujung Bayu  
Sekolah Menengah Pertama : SMP Negeri 1 Ujung Padang  
Sekolah Menengah Atas : SMK Negeri 2 Kisaran  
Perguruan Tinggi : Universitas Islam Riau (S1 Teknik Mesin)

### TUGAS AKHIR

“PENINGKATAN SIFAT MEKANIS PROPELER PERAHU MOTOR  
DENGAN AGING TREATMENT”

Tanggal Seminar Proposal : Senin 15 Juli 2019  
Tanggal Seminar Hasil : Sabtu 23 November 2019  
Tanggal Sidang : Sabtu 7 Agustus 2019

Pekanbaru, 7 Desember 2019

**Budi Hardianto**

15.331.0767

Fakultas Teknik Universitas Islam Riau  
Program Studi Teknik Mesin  
Pekanbaru

Nomor Agenda :

Tanggal :

Paraf :

### TUGAS AKHIR

Nama : BUDI HARDIANTO

NPM : 15.331.0767

Judul Skripsi : “PENINGKATAN SIFAT MEKANIS PROPELER PERAHU  
MOTOR DENGAN AGING TREATMENT”

Dalam analisa ini meliputi :

1. Melakukan *solution treatment, quenching, aging* pada material propeler.
2. Melakukan pengujian komposisi, kekerasan, tarik dan pengamatan struktur mikro pada material.
3. Mendapatkan waktu aging yang sesuai untuk aplikasi propeler.

---

Diberikan tanggal :

Selesai Tanggal : 7 Desember 2019

Diketahui oleh :

Ketua Program Studi Teknik Mesin

Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing

Dody Yulianto, ST., MT

Dr. Kurnia Hastuti, ST., MT

# PENINGKATAN SIFAT MEKANIS PROPELER PERAHU MOTOR DENGAN AGING TREATMENT

**Budi Hardianto**

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Islam Riau  
Jl. Kaharuddin Nst, Simpang Tiga, Kota Pekanbaru, Riau 28284  
Email : [budihardianto0697@gmail.com](mailto:budihardianto0697@gmail.com)

## Abstrak

Propeler atau baling-baling perahu adalah alat untuk menghasilkan gaya dorong pada sebuah perahu. Nelayan banyak menggunakan propeler berbahan aluminium paduan dikarenakan mudah dicari di pasaran dan murah harganya. Namun pada umumnya propeler aluminium yang digunakan tidak berumur lama. Kerusakan yang paling sering terjadi yaitu patah pada daun propeler, hal ini disebabkan adanya benturan dengan benda keras. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanis propeler dengan proses perlakuan panas *aging*. Perlakuan panas yang dilakukan meliputi : *solutioning* yaitu menahan material pada suhu 540°C selama satu jam, kemudian *quenching* yaitu melakukan pendinginan cepat dengan mencelupkan material kedalam air pada suhu ruang, dan *aging* yaitu menahan material pada suhu *aging* 180°C selama 1,2,3 dan 4 jam. Pengujian yang dilakukan meliputi uji komposisi, uji kekerasan, uji tarik dan pengamatan struktur mikro. Hasil uji komposisi menunjukkan adanya unsur paduan dominan berupa Si, Cu dan Zn. Hasil dari uji kekerasan dan uji tarik menunjukkan bahwa nilai kekerasan dan kekuatan tarik tertinggi dicapai pada waktu *aging* 3 jam, dengan nilai berturut-turut 142,8 HV dan 173,70 MPa. Ketangguhan tertinggi dicapai pada waktu *aging* 2 jam dengan nilai  $4,162 \times 10^6 \text{ J/m}^3$ . Waktu *aging* melebihi 3 jam akan berpengaruh pada penurunan kekerasan dan kekuatan tarik material. Struktur mikro material dengan waktu *aging* 3 jam memiliki bentuk matrik Si yang lebih tertata dibandingkan dengan waktu *aging* 1, 2, dan 4 jam. Berdasarkan hasil penelitian, waktu *aging* 2 jam yang paling sesuai pada aplikasi patahnya propeler, karena pada waktu *aging* 2 jam memiliki ketangguhan tertinggi.

Kata kunci : Propeler, Aluminium, Silikon, *Aging*.

# IMPROVING THE PROPERTIES OF MECHANICAL PROPELLERS OF THE MACHINE BOAT WITH AGING TREATMENT

**Budi Hardianto**

Majoring in mechanical engineering, Islamic University Of Riau  
Jl. Kaharuddin Nst, Simpang Tiga, Kota Pekanbaru, Riau 28284

Email : [budihardianto0697@gmail.com](mailto:budihardianto0697@gmail.com)

## Abstract

Propeller or boat propeller is a tool to produce thrust on a boat. Many fishermen use propellers made from combination of aluminum because it is easy to find on the market and cheap in price. But in general, aluminum propellers used are not long-lived. The most common damage is broken on propeller leaves, this is caused by a collision with hard objects. This study aims to improve the mechanical properties of propellers with the aging heat treatment process. The heat treatment includes: solutioning, which is holding the material at 540°C for one hour, then quenching, which is conducting rapid cooling by dipping the material into water at room temperature, and aging which is holding the material at an aging temperature of 180°C for 1,2,3 and 4 hours. The tests include composition tests, hardness tests, tensile tests and microstructure observations. The composition test results indicate the presence of dominant alloying elements in the form of Si, Cu and Zn. The results of the hardness and tensile tests showed that the highest hardness and tensile strength values were achieved at an aging time of 3 hours, with values of 142.8 HV and 173.70 MPa, respectively. The highest toughness is achieved at 2 hours aging time with value  $4,162 \times 10^6 \text{ J/m}^3$ . Aging time exceeding 3 hours will affect the decrease in hardness and tensile strength of the material. The micro structure of the material with an aging time of 3 hours has the Si matrix form which is more organized than the aging time of 1, 2, and 4 hours. Based on the results of the study, the 2 hour aging time is most suitable for the application of broken propellers, because at the aging time 2 hours has the highest toughness.

Keywords: Propeller, Aluminum, Silicon, Aging.

## KATA PENGANTAR

# بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu'alaikum, Wr. Wb.

Puji syukur kehadiran Allah Subhanahu Waa Ta'ala karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Bersalawat kepada sang inspirator kehidupan yakni nabi Muhammad Safaullahua 'Alayihi Wasalam semoga kita mendapatkan syafaatnya di akhirat kelak.

أَلَمْ نَشْرَحْ لَكَ صَدْرَكَ ۙ وَوَضَعْنَا عَنكَ وِزْرَكَ ۙ  
الَّذِي أَتَقَضَّ ظَهْرَكَ ۙ وَرَفَعْنَا لَكَ ذِكْرَكَ ۙ  
فَإِذَا فَرَغْتَ فَانصَبْ ۙ وَإِلَىٰ رَبِّكَ فَارْغَبْ ۙ  
فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ۙ إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ۙ

1. Bukankah Kami telah melapangkan untukmu dadamu?
2. dan Kami telah menghilangkan daripadamu bebanmu,
3. yang memberatkan punggungmu?
4. Dan Kami tinggikan bagimu sebutan (nama)mu,
5. Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan,
6. sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.
7. Maka apabila kamu telah selesai (dari sesuatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain,
8. dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap.

Adapun tujuan penulisan skripsi ini adalah untuk memenuhi sebagian persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau. Selain itu penulisan skripsi ini juga bertujuan agar mahasiswa bisa berpikir secara logis dan ilmiah serta bisa menuangkan pemikirannya secara sistematis dan terstruktur.

Penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah berpartisipasi dalam penelitian dan penulisan skripsi ini, khususnya kepada :

1. Kedua orang tua penulis, Mama Suryana dan Papa Sarto yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan baik secara moril maupun finansial. Serta adik rahayu, fatika dan seluruh keluarga terima kasih atas doa dan dukungan serta motivasinya yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan kripsi ini.
2. Teman seperjuangan Lembaga Dakwah Kampus UKMI AL – KAHFI, FSI TEKNIK dan Pengurus serta santri Ma'had Al – Munawwaroh UIR yang selalu rela memberi ide, saran, atau masukan dan motivasinya sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi ini, semoga kita bisa menyebarkan dakwah islam lebih baik lagi dan semoga cita – cita kita menjadi penghafal Al – Qur'an segera tercapai.
3. Bapak Ir. H. Abdul Kudus Zaini, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.
4. Bapak Dody Yulianto S.T, M.T. selaku Ketua Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.
5. Bapak Dr. Dedikarni, S.T., M.Sc. selaku Sekretaris Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.
6. Ibu Dr. Kurnia Hastuti S.T, M.T. selaku Dosen Pembimbing dalam penyelesaian skripsi ini.
7. Mas Efendi ST dan Novry Harryadi ST. Selaku laboran Teknik Mesin Universitas Islam Riau yang telah banyak memberikan masukan dan arahan dalam pembuatan tugas akhir ini.
8. Seluruh rekan-rekan mahasiswa Teknik Mesin khususnya angkatan 2015 yang selalu membantu dan memberi semangat kepada penulis.

Semoga segala bantuan yang telah diberikan kepada penulis dapat memberikan manfaat bagi penulis khususnya dan pembaca pada umumnya. Dan juga penulis berharap semoga pengorbanan dan keikhlasan mendapat balasan pahala yang berlipat ganda hendaknya (aamiin). Penulis menyadari bahwa dalam

skripsi ini masih banyak terdapat kesalahan. Adanya saran dan kritik demi kesempurnaan skripsi ini akan penulis terima dengan senang hati dan penulis ucapkan terima kasih.

**Wassalamu'alaikum, Wr. Wb.**



Pekanbaru, 7 Desember 2019

**Budi Hardianto**

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	ii
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN</b> .....	iv
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP</b> .....	v
<b>AGENDA</b> .....	vi
<b>ABSTRAK</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	viii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xviii
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	xix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Sistematika Penulisan .....	3

<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Klasifikasi Aluminium .....	5
2.1.1 Aluminium Murni .....	6
2.1.2 Aluminium Cor.....	6
2.2 Propeler Aluminium Cor.....	13
2.3 Diagram Fasa .....	16
2.4 Perlakuan Panas .....	18
2.5 Sifat Mekanis .....	29
2.5.1 Uji Kekerasan .....	29
2.5.2 Uji Tarik .....	31
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	36
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	36
3.2 Diagram Alir .....	37
3.3 Alat dan Bahan .....	38
3.4 Pembuatan Bentuk Spesimen .....	39
3.5 Uji Komposisi Kimia .....	40
3.6 Heat Treatment .....	41
3.6.1 Furnace .....	42
3.6.2 Oven .....	42
3.6.3 Tang Penjepit .....	43
3.6.4 Media Pendingin .....	43
3.7 Prosedur Perlakuan Panas .....	44
3.8 Uji Kekerasan .....	44
3.9 Uji Tarik .....	46
3.10 Pengamatan Struktur Mikro .....	47
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN</b> .....	50
4.1 Hasil Peneitian .....	50
4.2 Komposisi Material .....	50
4.3 Kekerasan Material .....	52

4.4 Kekuatan Tarik .....	53
4.4.1 Nilai kekuatan tarik .....	54
4.4.2 Keuletan .....	55
4.4.3 Ketangguhan .....	56
4.5 Pengamatan Struktur Mikro .....	61
4.6 Pembahasan .....	63
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	<b>66</b>
5.1 Kesimpulan .....	66
5.2 Saran .....	67
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>68</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>70</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Propeler aluminium tiga daun .....	13
Gambar 2.2 Propeler mengalami patah pada salah satu daunnya .....	14
Gambar 2.3 Posisi pengambilan spesimen.....	15
Gambar 2.4 Diagram Fasa Al-Si .....	16
Gambar 2.5 Proses <i>solution treatment</i> dilanjutkan dengan <i>quenching</i> .....	20
Gambar 2.6 Skema proses perlakuan panas .....	23
Gambar 2.7 Pengaruh temperatur penuaan dengan kekerasan.....	25
Gambar 2.8 Urutan-urutan perubahan fasa dalam <i>artificial aging</i> .....	27
Gambar 2.9 Skema diagram fasa presipitat.....	27
Gambar 2.10 Struktur atom penguatan dengan <i>precipitation</i> .....	27
Gambar 2.11 Indentor Uji Vickers.....	30
Gambar 2.12 Alat uji tarik .....	31
Gambar 2.13 Gambaran singkat uji tarik dan datanya.....	32
Gambar 2.14 Profil data hasil uji tarik.....	33
Gambar 2.15 <i>Modulus of toughness</i> .....	34
Gambar 3.1 Spesimen uji komposisi .....	39
Gambar 3.2 Spesimen uji kekerasan .....	39
Gambar 3.3 Spesimen uji tarik .....	39
Gambar 3.4 Mesin OES .....	40

Gambar 3.5 Skema diagram proses <i>aging treatment</i> .....	41
Gambar 3.6 Dapur pemanas .....	42
Gambar 3.7 Oven .....	42
Gambar 3.8 Tang penjepit.....	43
Gambar 3.9 Air pendingin.....	43
Gambar 3.10 Alat uji kekerasan.....	45
Gambar 3.11 Gambar umum mesin uji tarik.....	46
Gambar 3.12 Mikroskop Struktur Micro OLYMPUS.....	47
Gambar 3.13 Mesin Poles .....	48
Gambar 4.1 Hasil Uji kekerasan .....	53
Gambar 4.2 Hasil Uji Tarik .....	54
Gambar 4.3 Nilai keuletan material propeler.....	55
Gambar 4.4 Tanpa perlakuan panas .....	56
Gambar 4.5 Aging 1 jam.....	57
Gambar 4.6 Aging 2 jam.....	58
Gambar 4.7 Aging 3 jam.....	58
Gambar 4.8 Aging 4 jam.....	59
Gambar 4.9 Nilai ketangguhan material propeler .....	60
Gambar 4.10 Material tanpa perlakuan panas.....	61
Gambar 4.11 Waktu aging 1 jam .....	61
Gambar 4.12 Waktu aging 2 jam .....	62

Gambar 4.13 Waktu aging 3 jam .....62

Gambar 4.14 Waktu aging 4 jam .....63



Dokumen ini adalah Arsip Miik :  
**Perpustakaan Universitas Islam Riau**

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kelarutan beberapa unsur paduan di dalam aluminium.....	9
Tabel 2.2 Sistem Penandaan IADS ( <i>International Alloy Designation System</i> ) untuk paduan aluminium.....	10
Tabel 2.3 Penandaan Temper Paduan Aluminium.....	11
Tabel 2.4 Sifat-Sifat Umum Paduan Aluminium.....	12
Tabel 2.5 Data kekerasan bagian propeler.....	15
Tabel 4.1 Komposisi Kimia Material Propeler.....	50
Tabel 4.2 Perbandingan unsur propeler & aluminium paduan 355.0.....	51
Tabel 4.3 Nilai Uji Kekerasan.....	52
Tabel 4.4 Hasil uji tarik.....	54
Tabel 4.5 Ketangguhan material propeler.....	60

## DAFTAR NOTASI

SIMBOL	ARTI	SATUAN
VHN	Vickers Hardness Number	HV
P	Beban yang diberikan	Kg
V	Tegangan	V
d	Panjang diagonal rata-rata	mm
$\theta$	Sudut antara permukaan intan yang berhadapan	$^{\circ}$
$\sigma$	Tegangan	N/mm <sup>2</sup>
A <sub>0</sub>	Luas penampang mula	mm <sup>2</sup>
e	Regangan	%
L <sub>1</sub>	Panjang setelah pengujian	mm
L <sub>0</sub>	Panjang awal	mm
E	Modulus Elastisitas	N/mm <sup>2</sup>

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Perahu merupakan sebuah transportasi air yang mempunyai ukuran lebih kecil dibandingkan kapal yang dirancang untuk mengapung di atas air. Perahu sering ditemukan di daerah objek wisata pantai, laut dan banyak juga ditemukan di sungai. Perahu berfungsi sebagai alat transportasi untuk manusia berpindah dari suatu tempat ke tempat lain lewat sarana air, dan perahu juga dapat digunakan untuk bekerja. Oleh para nelayan biasanya perahu sering digunakan untuk menangkap ikan di laut maupun di sungai. Perahu memiliki beberapa jenis yaitu perahu dayung, perahu layar dan perahu motor. Salah satu perahu yang sering digunakan nelayan adalah perahu motor (Irma.,2015).

Sistem kerja perahu motor adalah motor menggerakkan propeler dengan transmisi kopling dan poros propeler. Propeler berputar menghasilkan gaya dorong. Gaya dorong yang disebabkan oleh putaran propeler dikembalikan lagi ke badan kopling melalui poros propeler dan thrust bearing. Oleh sebab itu badan kopling/motor akan terdorong karena badan kopling/motor terikat kuat dengan perahu melalui *engine bed*, maka perahunya akan bergerak. Dalam hal ini propeler berperan penting dalam sistem kerja perahu motor (Revol.,2013).

Propeler atau baling-baling perahu merupakan alat untuk memberikan gaya dorong pada sebuah perahu. Propeler diputar dengan poros yang digerakkan oleh motor. Bahan yang digunakan untuk propeler ada dua macam yaitu propeler berbahan aluminium dan kuningan. Rata-rata nelayan banyak menggunakan propeler berbahan aluminium paduan dikarenakan mudah dicari dipasaran dan harganya yang terjangkau dibandingkan propeler berbahan kuningan. Namun propeler berbahan aluminium sering mengalami kerusakan, salah satu kerusakan yang sering terjadi pada propeler aluminium paduan yaitu patah pada daun

propeler. Patah tersebut diakibatkan karena benturan daun propeler dengan benda keras yang ada di perairan dangkal seperti kayu dan batu.

Maka dari itu diperlukan upaya untuk meningkatkan sifat mekanis propeler aluminium paduan. Ada beberapa cara meningkatkan sifat mekanis propeler aluminium paduan yaitu dengan penambahan unsur paduan dan melakukan perlakuan panas (*aging*) pada aluminium paduan. Salah satu cara yang akan dilakukan dalam penelitian ini yaitu meningkatkan sifat mekanis paduan aluminium dengan proses *aging*.

Proses *aging* yang akan dilakukan adalah dengan *solutioning* yaitu menahan material pada kondisi temperatur sedikit di bawah temperatur *eutectic*, dengan tujuan melarutkan precipitat yang ada sehingga berbentuk *solid solution* yang homogen dalam bentuk fase  $\alpha$ . Langkah berikutnya adalah *quenching* adalah melakukan pendinginan cepat dengan mencelupkan material kedalam cairan pendingin berupa oli atau air. Langkah ini bertujuan membentuk *super saturated solid solution*. Langkah terakhir adalah *aging* yaitu menahan material pada suhu *aging* konstan dalam jangka waktu tertentu. Langkah ini bertujuan untuk mencapai terbentuknya precipitat baru dengan ukuran dan sebaran yang lebih homogen. Terbentuknya precipitat baru ini akan berpengaruh pada peningkatan sifat mekanis propeler seperti kekerasan dan ketangguhan (Suyanto dkk.,2018).

Penelitian yang telah dilakukan Suyanto dkk., (2018) telah meneliti tentang pengaruh waktu *aging* terhadap sifat mekanis paduan aluminium cor A356 sebagai bahan propeler perahu, Zulfia dkk., (2010) meneliti tentang pengaruh temperatur *aging* pada paduan aluminium AA 333. Berbagai penelitian telah dilakukan namun belum terlihat penelitian yang menyeluruh terhadap sifat mekanis propeler. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui komposisi dan meningkatkan sifat mekanis propeler aluminium paduan. Berdasarkan latar belakang yang dibahas diatas maka penulis mengambil judul “Peningkatan Sifat Mekanis Propeler Perahu Motor Dengan *Aging Treatment*”

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah yang ditentukan adalah :

1. Bagaimana meningkatkan kekerasan dan ketangguhan (sifat mekanis) propeler aluminium.
2. Bagaimana metode kerja proses aging.
3. Pada waktu *aging* berapakah diperoleh sifat mekanis terbaik untuk aplikasi propeler.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Disetiap penelitian pasti ada tujuan yang ingin dicapai, oleh karena itu tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan propeler yang berfungsi secara baik dengan ketahanan bagus.
2. Untuk mendapatkan waktu *aging* yang sesuai agar dapat meningkatkan kekerasan dan ketangguhan propeler aluminium cor.

## 1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini tidak menyimpang dari permasalahan yang diteliti, maka peneliti membatasi permasalahannya. Dimana batasannya meliputi :

1. *Aging* yang dilakukan pada waktu bervariasi yaitu 1, 2, 3, dan 4 jam.
2. Sifat mekanis yang diamati yaitu kekerasan, kekuatan tarik dan ketangguhan material.

## 1.5 Sistematika Penulisan

Agar susunan skripsi ini dapat dipahami, maka penulis menyusun bagian-bagian tersebut antara lain :

## BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian dan sistematika penulisan.

## BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang penguraian dasar teori yang dipakai dalam pembahasan yang berhubungan langsung dengan pemecahan masalah.

## BAB III : METODOLOGI PENULISAN

Bab ini berisi tentang diagram alir penelitian waktu dan tempat penelitian, langkah-langkah penelitian dan teknik analisa data.

## BAB IV : ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini mengemukakan tentang hasil penelitian dan pembahasan hasil penelitian.

## BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini akan didapatkan kesimpulan dan saran dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Klasifikasi Aluminium

Aluminium adalah suatu unsur logam yang paling banyak di muka bumi, yaitu hampir 8% berat dari kerak bumi berisi aluminium. Sir Humphrey Davi menemukan aluminium pada tahun 1809 yaitu sebagai suatu unsur, dan kemudian H.C. Oersted pada tahun 1955 pertama kali mereduksi aluminium sebagai suatu logam. Bahan utama untuk pembuatan aluminium yang terdapat didalam batu-batu dalam kerak bumi adalah bijih bauksit. Aluminium masih berbentuk silikat didalam bebatuan tersebut dan komponen lainnya yang lebih kompleks, Dibutuhkan penelitian lebih dari 60 tahun disebabkan karena komponen aluminium yang begitu kompleks agar dapat menemukan cara yang ekonomis untuk membuat bijih bauksit menjadi aluminium (Surdia. T & Saito,S., 1995).

Aluminium dapat terbagi atas dua kelompok, yaitu aluminium murni dan aluminium paduan. Aluminium adalah bahan campuran yang mempunyai sifat-sifat logam, terdiri dari dua atau lebih unsur-unsur, dan sebagai unsur utama campuran adalah logam. Proses manufakturnya pun tidak terlalu sulit. Aluminium mempunyai titik lebur  $\pm 660^{\circ}\text{C}$  (Dewa, 2017).

Aluminium (Al) adalah suatu logam ringan yang memiliki sifat tahan terhadap korosi dan dapat menghantarkan listrik dengan baik. Aluminium sering digunakan untuk peralatan rumah tangga, material pada pesawat terbang, otomotif, kapal laut, konstruksi dan lain-lain. Aluminium murni kekuatan mekaniknya sangat rendah, maka untuk mendapatkan kekuatan mekanik yang tinggi, biasanya aluminium dipadukan dengan beberapa unsur seperti Cu, Si, Mg, Zn, Mn, Ni, dan unsur lainnya (Surdia, 1991).

### 2.1.1 Aluminium Murni

Berat jenis aluminium murni yaitu  $2,7 \text{ gram/cm}^3$ , kurang lebih sepertiga dibandingkan berat jenis baja ( $7,83 \text{ gram/cm}^3$ ) dan tembaga ( $8,93 \text{ gram/cm}^3$ ). Aluminium juga mempunyai sifat tahan korosi yang baik pada berbagai macam lingkungan termasuk udara, air (air garam), petrokimia dan lingkungan kimia lainnya. Konduktivitas thermal aluminium yaitu antara 50-60% dari tembaga, itu artinya aluminium bersifat nonmagnetic dan tidak beracun (Surdia., 1995).

99% aluminium murni tanpa tambahan logam paduan apapun akan sangat lunak untuk penggunaan yang luas, maka dari itu aluminium sering dipadukan dengan logam lain. Aluminium murni mempunyai beberapa kekurangan seperti memiliki sifat mampu cor dan mekanik kurang baik, sehingga jarang dipergunakan untuk kebutuhan teknik yang memerlukan ketelitian dan persyaratan kekuatan bahan yang tinggi.

Aluminium murni adalah logam yang tahan lama, ringan, dan dapat ditempa dengan penampilan luar bervariasi antara keperakan hingga abu-abu, tergantung kekasaran permukaannya. Kekuatan tarik aluminium murni adalah 90 MPa, sedangkan aluminium paduan memiliki kekuatan tarik berkisar hingga 600 MPa. Aluminium murni mudah ditebuk, diperlakukan dengan mesin, dicor, ditarik (*drawing*), dan diekstrusi. Resistansi terhadap korosi terjadi akibat fenomena pasivasi, yaitu terbentuknya lapisan aluminium oksida ketika aluminium terpapar dengan udara bebas. Lapisan aluminium oksida ini mencegah terjadinya oksidasi lebih jauh.

### 2.1.2 Aluminium Cor

Aluminium tuang saat ini menjadi salah satu jenis paduan yang sering dan banyak dipakai pada industri pengecoran. Pada umumnya aluminium diadaptasikan untuk berbagai jenis metode pengecoran dan kemudian dapat dituang langsung kedalam cetakan logam yang sudah terpasang pada mesin otomatis dengan volume yang cukup besar.

Ada beberapa sifat dari aluminium tuang yang dapat mendukung proses pengecoran pada aluminium itu sendiri, yaitu :

1. Fluiditas yang sangat baik, sehingga dapat mengisi rongga-rongga cetakan yang kecil dan tipis.
2. Energi pemanasan dapat diminimalkan karena temperatur lebur dan tuang aluminium yang rendah dibandingkan dengan logam lain.
3. Cepatnya siklus penuangan, dikarenakan konduktifitas panas (perpindahan panas) dari aluminium cair ke cetakan relatif cepat sehingga produktifitas dapat meningkat.
4. Kelarutan gas hidrogen pada aluminium dapat di kontrol dengan proses yang sangat baik.

Selain sifat-sifat aluminium diatas, aluminium tuang juga mempunyai sifat yang kurang menguntungkan, antara lain :

1. Dalam kondisi cair, aluminium tuang mudah mengikat gas hidrogen. Sehingga dapat terjadi cacat porositas pada produk pengecoran.
2. Aluminium mudah tercampur dengan pengotor oksida karena berat jenis aluminium yang rendah. Misalnya  $Al_2O_3$  dengan berat jenis ( $2.1 \text{ gr/mm}^3$ ) dan hampir sama dengan berat jenis air yaitu ( $2.3 \text{ gr/mm}^3$ ).

Hal diatas dapat diatasi dengan beberapa cara, seperti *fluxing*, *degassing* dan pemilihan desain yang baik untuk proses penuangannya. Aluminium memiliki sifat mekanis yang cukup rendah dalam bentuk murni, maka dari itu selalu ditambahkan beberapa unsur paduan dalam proses pengecorannya (Dedi I., 2008).

Jenis-jenis unsur paduan dan pengaruh unsur paduan terhadap perbaikan sifat mekanis aluminium, diantaranya :

1. Silikon (Si)

Tanpa dipadukan dengan unsur lain, silikon memiliki ketahanan terhadap korosi. Jika dipadukan dengan aluminium, silikon akan memiliki kekuatan yang tinggi setelah diberikan perlakuan panas, namun silikon memiliki kualitas

pengerjaan mesin yang tidak baik, selain itu silikon juga memiliki ketahanan koefisien panas yang rendah.

2. Tembaga (Cu)

Jika unsur tembaga dipadukan dengan aluminium maka dapat meningkatkan kekerasannya, karena unsur tembaga dapat memperhalus struktur butir dan akan memiliki kualitas pengerjaan mesin yang baik, mampu tempa yang baik, keuletan yang baik serta mudah dibentuk.

3. Magnesium (Mg)

Ketahanan korosi akan baik, kualitas pengerjaan mesin juga akan baik serta mampu las yang baik dan kekuatannya cukup, jika aluminium dipadukan dengan magnesium.

4. Nikel (Ni)

Dengan dipadukan unsur nikel aluminium dapat digunakan pada temperatur tinggi, misalnya piston dan silinder head untuk motor.

5. Mangan (Mn)

Jika unsur mangan dipadukan dengan aluminium, maka akan sangat mudah dibentuk, tahan terhadap korosi, serta sifat dan mampu lasnya akan baik.

6. Seng (Zn)

Pada umumnya jika seng dan tembaga dipadukan pada aluminium dengan presentase yang kecil. Maka paduan ini akan meningkatkan sifat mekanik pada perlakuan panas, dan juga kemampuan mesin yang baik.

7. Ferro (Fe)

Tujuan penambahan ferro adalah untuk mengurangi penyusutan, tetapi jika penambahan ferro (Fe) terlalu besar akan mengakibatkan struktur perubahan butir yang kasar, tetapi hal ini dapat diperbaiki dengan memadukan Mg atau Cr.

8. Titanium (Ti)

Pemaduan titanium dengan aluminium bertujuan untuk mendapat struktur butir yang halus. Pada umumnya penambahan bersama-sama dengan Cr dengan presentase 0,1% dapat meningkatkan mampu mesin yang baik.

Unsur paduan yang ditambahkan ke dalam aluminium mempunyai kelarutan yang berbeda. Pada Tabel 2.1 dapat dilihat kelarutan beberapa unsur paduan yang berbeda di dalam aluminium:

**Tabel 2.1** Kelarutan beberapa unsur paduan di dalam aluminium

Unsur Paduan	Temperatur °C	Kelarutan Padat Maksimum pada Al,wt,%
Krom	660	0,77
Tembaga	550	5,67
Besi	655	0,052
Litium	600	4,0
Magnesium	450	14,9
Mangan	660	1,82
Nikel	640	0,05
Silikon	580	1,65
Titanium	665	1,0
Vanadium	665	0,6
Seng	380	82,8
Zirkonium	660	0,82

Sumber : Hartarto (2017)

Pada unsur-unsur paduan di atas, terdapat lima unsur yang menjadi dasar paduan aluminium komersial, yaitu magnesium, seng, tembaga, mangan dan silikon.

Secara umum aluminium dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu non *heat treatable* dan *heat treatable*. Pada paduan *non heat treatable* bisa diperkuat dengan pengerjaan dingin, dan perlakuan panas yang dapat dilakukan adalah *annealing* yaitu untuk memperlunak akibat dari proses pengerasan. Paduan ini terdiri dari beberapa unsur yaitu, Al-Mg dan Al-Mn. Sedangkan paduan *heat*

*treatable* yaitu paduan yang mengandung Cu, Zn dan Mg serta Si. Paduan *heat treatable* dapat diperkuat dengan perlakuan pengerasan penuaan, pengerasan presipitasi dan perlakuan panas lainnya (Surdia. T & Saito,S.,1995).

Secara garis besarnya sistem penamaan paduan aluminium dapat dibagi menjadi dua kelas yaitu kelas aluminium tempa (*wrought aluminium*) dan aluminium tuang (*cast aluminium*). Kedua kelas tersebut disusun berdasarkan standar *Aluminium Association (AA)*. Terkhusus pada jenis aluminium tuang, sistem penamaan aluminium berdasarkan unsur paduan utama yang digunakan. Sistem tata nama ini menggunakan sistem digit 4 angka. Sistem penamaan AA ini hanya berlaku diwilayah Amerika Utara saja, untuk negara-negara lain penamaan disesuaikan dengan standar yang berlaku pada negara tersebut.

Tabel 2.2 menunjukkan paduan aluminium yang diberi tanda dengan sistem penomoran. Unsur pepadu utama ditunjukkan pada nomor pertama, kemudian nomor selanjutnya menunjukkan komposisi spesifik paduan. Beberapa negara telah banyak mengadopsi sistem penomoran IADS ini (*International Alloy Designation System*).

**Tabel 2.2** Sistem Penandaan IADS (*International Alloy Designation System*) untuk paduan aluminium.

<b>Paduan Tempa :</b>		
1xxx	Al murni komersial (>99% Al)	Tidak bisa di aging
2xxx	Al-Cu dan Al-Cu-Li	Bisa di aging
3xxx	Al-Mn	Tidak bisa di aging
4xxx	Al-Si dan Al-Mg-Si	Bisa di aging jika mengandung Mg
5xxx	Al-Mg	Tidak bisa di aging
6xxx	Al-Mg-Si	Bisa di aging
7xxx	Al-Mg-Zn	Bisa di aging
8xxx	Al-Li, Sn, Zr, B, Fe atau Cr	Sebagian besar bisa di aging
<b>Paduan Cor :</b>		
1xx	Al murni komersial	Tidak bisa di aging
2xx	Al-Cu	Bisa di aging
3xx	Al-Si-Cu atau Al-Mg-Si	beberapa bisa di aging
4xx	Al-Si	Tidak bisa di aging
5xx	Al-Mg	Tidak bisa di aging
7xx	Al-Mg-Zn	Bisa di aging
8xx	Al-Sn	Bisa di aging

Sumber : Hartarto (2017)

Untuk derajat penguatan diberikan tanda temper T atau H, namun tergantung apakah paduan diberi perlakuan panas atau pengerasan regangan. Tabel 2.3 menunjukkan penandaan temper paduan aluminium. Tanda (O) menunjukkan apakah paduan dianil, (W) menandakan perlakuan larutan, dan (F) digunakan seperti kondisi pabrikasi. Angka setelah T atau H menandakan jumlah pengerasan tegangan dan jenis perlakuan panas atau aspek khusus lainnya pada pemrosesan paduan. Sedangkan sifat-sifat umum paduan aluminium ditunjukkan pada Tabel 2.4.

**Tabel 2.3** Penandaan Temper Paduan Aluminium

F	Sebagaimana pabrikasi (pengerjaan panas, tempa, cor, dsb).
O	Di Anil (pada kondisi paling lunak yang mungkin)
H	Pengerjaan dingin
H1x	— hanya pengerjaan dingin. (x merupakan jumlah pekerjaan dingin dan penguatan)
H12	- pengerjaan dingin yang membenkan kekuatan tarik ditengah-tengah antara temper O dan H14.
H14	- pengerjaan dingin yang membenkan kekuatan tarik ditengah-tengah antara temper O dan H18.
H16	- pengerjaan dingin yang membenkan kekuatan tarik ditengah-tengah antara temper H14 dan H18
H18	- pekerjaan dingin yang memberikan kira-kira 75% reduksi.
H19	- pengerjaan dingin yang membenkan kekuatan tarik minimal 15 MN.m-2 lebih besar dari yang diperoleh oleh temper H18.
H2x	- pengerjaan dingin dan sebagian dianil.
H3x	- pengerjaan dingin dan distabilkan pada temperatur rendah untuk mencegah pengerasan penuaan (aging) pada struktur.
W	perlakuan larutan

**Pengerasan penuaan**

- T1 – didinginkan dari suhu pabrikasi dan diaging secara alami
- T2 – didinginkan dari suhu pabrikasi, pengerjaan dingin dan diaging secara alami
- T3 – perlakuan larutan, pengerjaan dingin, dan diaging secara alami
- T4 – perlakuan larutan, dan diaging secara alami
- T5 – didinginkan dari suhu pabrikasi dan diaging secara artifisial.
- T6 – perlakuan larutan, dan diaging secara artifisial.
- T7 – perlakuan larutan dan distabilkan dengan over aging.
- T8 – Perlakuan larutan, pengerjaan dingin, dan diaging secara artifisial.
- T9 – perlakuan larutan, diaging secara artifisial, dan pengerjaan dingin.
- T10 – didinginkan dari suhu pabrikasi, pengerjaan dingin dan diaging secara artifisial.

Sumber : Hartarto (2017)

**Tabel 2.4** Sifat-Sifat Umum Paduan Aluminium.

Paduan		kekuatan Tarik (MN.m <sup>2</sup> )	Kekuatan Luluh (MN.m <sup>2</sup> )	% Elongasi	Aplikasi
<b>Paduan tempa nonheat-treatable</b>					
1100-O	>99% Al	90	35	40	komponen listrik, foil
1100-H18		165	150	10	proses makanan
3004-O	1,2% Mn-1,0%Mg	180	70	25	kaleng minuman,
3004-H18		285	250	9	penggunaan arsitek
4043-O	5,2%Si	145	70	22	Logam pengisi las
4043-H18		285	270	1	
5182-O	4,5%Mg	290	130	25	tutup kaleng minuman
5182-H19		420	395	4	komponen kapal
<b>Paduan tempa heat-treatable</b>					
2024-T4	4,4%Cu	470	325	20	roda truk
2090-T6	2,4%Li-2,7%Cu	550	517	6	kulit pesawat udara
4032-T6	12% Si-1%Mg	380	30	9	piston
6061-T6	1%Mg-0,6%Si	310	275	15	cano, gerbong kereta
7075-T6	5,6%Zn-2,5%Mg	570	505	11	rangka pesawat udara
<b>Paduan cor</b>					
201-T6	4,5%Cu	485	435	7	rumah transmisi
319-F	6%Si-3,5%Cu	185	125	2	pengecoran umum
356-T6	7%Si-0,3%Mg	230	165	3	fiting pesawat udara
380-F	8,5%Si-3,5%Cu	315	160	3	Rumah motor
390-F	17%Si-4,5%Cu	285	240	1	Mesin otomotif
443-F	5,2%Si(cor pasir)	130	55	8	Peralatan penanganan
	Mould permanen	160	60	10	makanan, fitting kapal

Sumber : Hartarto (2017)

Tabel 2.4 merupakan ciri-ciri sifat mekanis seperti kekuatan tarik, kekuatan luluh, elongasi, serta aplikasi dari paduan aluminium secara umum. Maka Memadukan aluminium dengan unsur lainnya merupakan salah satu cara untuk memperbaiki sifat aluminium tersebut.

## 2.2 Propeler Aluminium Cor

Salah satu komponen perahu yang paling umum digunakan dalam menggerakkan perahu adalah propeler. Propeler umumnya terbuat dari material perunggu atau kuningan tetapi banyak juga yang terbuat dari material aluminium, biasanya digunakan untuk penggerak beberapa kapal kecil dan perahu nelayan. Propeler merupakan salah satu komponen mesin yang memegang peranan penting dalam konstruksi transportasi laut. Propeler mempunyai fungsi yang sangat besar, karena kecepatan perahu ditentukan oleh kondisi propeler (Kondo Yan dkk, 2012).

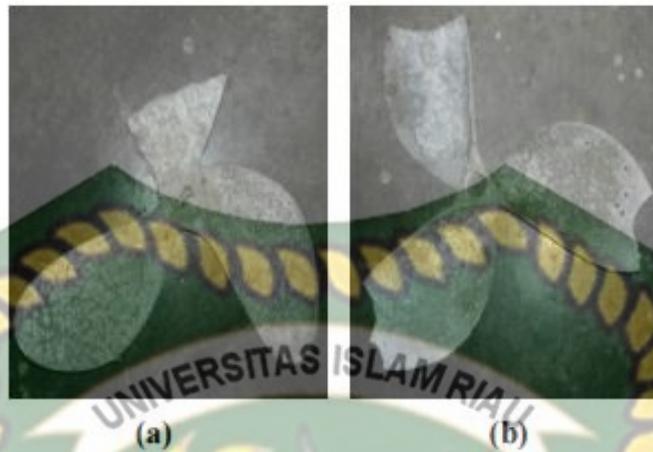


**Gambar 2.1** Propeler aluminium tiga daun

Sumber : Suyanto, Pramono, Wibowo (2018)

Karena digunakan di laut, ketika beroperasi propeler tentunya mendapatkan tekanan (beban) dari banyak arah ditambah lagi pengaruh suhu rendah di tengah laut yang menjadikan propeler getas sehingga cepat mengalami kerusakan (patah).

Patah pada daun propeler disebabkan oleh adanya benturan daun propeler dengan benda keras yang ada di perairan dangkal seperti bebatuan. Kondisi patah yang dialami propeler aluminium bisa dilihat pada Gambar 2.2.



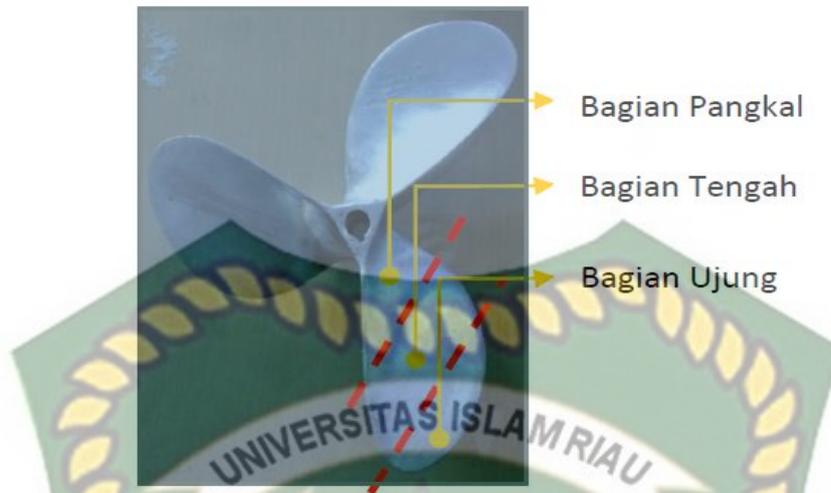
**Gambar 2.2** (a) Propeler mengalami patah pada salah satu daunnya, (b) mengalami patah pada tiap ujung daunnya dan lubang-lubang pada daunnya.

Sumber : Suyanto, Syafaat (2018)

Kondisi ini terjadi pada propeler aluminium dengan pemakaian antara 1 sampai dengan 2 minggu pada kondisi nelayan melaut setiap hari. Jika dilihat sekilas pada bentuk perpatahan dan kondisi lingkungan pemakaian maka patah yang terjadi adalah patah getas akibat daun propeler bertumbukkan dengan benda keras. Pada Gambar (b) bisa dilihat bahwa terjadi patah pada ujung tiap daun propeler dan terdapat lubang-lubang pada daun propeler. Kondisi ini terjadi pada pemakaian propeler lebih dari 1 bulan pada kondisi nelayan melaut setiap hari.

Cacat patah yang terjadi diperkirakan karena benturan daun propeler dengan benda keras, sehingga propeler dengan bahan aluminium cor dengan sifat getas mengalami patah getas. Lubang-lubang yang terjadi pada daun propeler mengindikasikan terjadinya korosi kavitasi.

Suyanto dkk.,(2018) telah menguji kekerasan propeler aluminium cor dengan metode Brinell. Spesimen dibuat dari tiga buah propeler, dengan masing-masing propeler diambil bagian pangkal, tengah, serta ujung daunnya. Pembagian area daun propeler dapat dilihat pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Posisi pengambilan spesimen

Sumber : Suyanto, Syafaat (2018)

Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 2.5

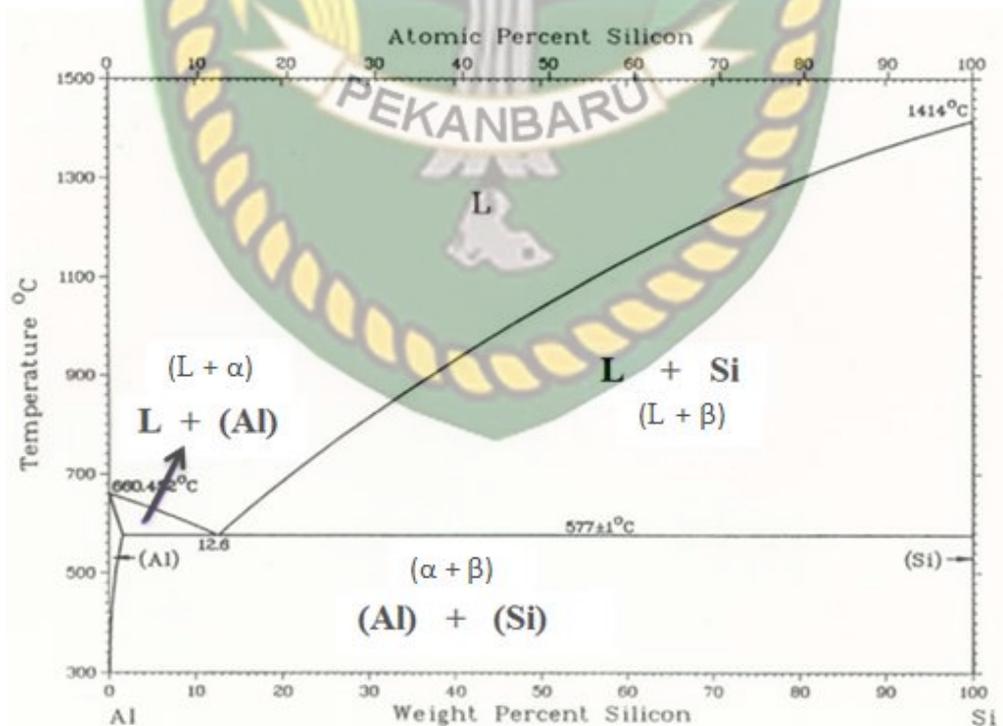
**Tabel 2.5** Data kekerasan bagian propeler

BLADE	POSISI	H (BHN)
BLADE 1	Pangkal	74,9
	Tengah	86,7
	Ujung	85,2
BLADE 2	Pangkal	75,1
	Tengah	94,6
	Ujung	92,3
BLADE 3	Pangkal	75,7
	Tengah	84,7
	Ujung	83,1
Rata-rata		83,6

Sumber : Suyanto, Syafaat (2018)

### 2.3 Diagram Fasa

Diagram fasa yaitu suatu grafik yang merupakan representasi dari fasa-fasa yang ada dalam suatu material pada variasi temperatur tertentu, komposisi dan tekanan. Diagram fasa merupakan dasar untuk pemahaman semua operasi-operasi setiap dilakukan perlakuan panas. Biasanya diagram fasa dibentuk pada saat keadaan keseimbangan atau kondisinya yaitu pendinginan yang sangat lambat. Fungsi diagram fasa adalah untuk mengetahui dan memprediksi beberapa aspek terhadap sifat material. Berbeda dengan struktur logam murni yang hanya dipengaruhi oleh suhu, sedangkan struktur paduan dapat dipengaruhi oleh suhu dan komposisi. Saat keadaan kesetimbangan, struktur paduan dapat digambarkan dalam suatu bentuk diagram yang disebut diagram fase (diagram kesetimbangan) dengan parameter suhu (T) versus komposisi (mol/fraksi mol). Fase dapat diartikan sebagai bagian dari bahan yang memiliki struktur atau komposisi yang berbeda-beda dari bagian yang lainnya. Contoh Diagram Fasa Al-Si dapat dilihat pada Gambar 2.4.



**Gambar 2.4** Grafik Diagram Fasa Al-Si

Sumber : Sidney, H.A (1974)

Gambar 2.4 memperlihatkan diagram fasa dari sistem Al-Si. Tampak fasa yang ada untuk semua paduan Al-Si pada rentang suhu 300°C - 1500°C gambar sebelah kiri, dan pada rentang 400°C – 1400°C gambar sebelah kanan untuk berbagai jenis variasi komposisi.

Diagram fase di atas,  $\alpha$  (struktur kristal fcc) dan  $\beta$  (struktur kristal bcc) dipakai untuk menunjukkan perbedaan dua fasa yang masing-masing digunakan untuk menunjukkan fasa Al dan Si. Pada diagram fasa di atas dapat dianalisa, yaitu jika suatu paduan senyawa yang terdiri dari kira-kira 98% Al dan 2% Si dipanaskan secara perlahan dari suhu ruang hingga 1500°C. Maka fasa yang akan terbentuk selama proses pemanasan berlangsung adalah :

Suhu ruang sampai 550°C	$\alpha + \beta$
550°C sampai 600°C	$\alpha$
600°C sampai 660°C	$\alpha + \text{Liquid}$
660°C sampai 1500°C	Cairan

Hanya pada fase liquid kristal tunggal dapat terbentuk. Maka dari analisa di atas, bisa disimpulkan bahwa kristal tunggal dapat terbentuk dengan mengkombinasikan Al sebesar 98% dan Si sebesar 2%. Selanjutnya dipanaskan pada rentang suhu kira-kira antara suhu kamar sampai 700°C, sampai terbentuk fasa liquid. Kemudian untuk memisahkan komponen kristal tunggal kemungkinan terbesar didapatkan kristal tunggal Al dengan perbandingan 98:2 bisa dilakukan dengan proses sintesis.

Polikristal adalah material yang memiliki banyak sekali kristal dengan batas butir (*grain boundary*) yang menyertainya, dan mempunyai orientasi yang acak. Pada analisa diagram fase di atas, bisa diketahui yaitu untuk membentuk polikristal dari campuran Al dan Si, bisa didapatkan dari paduan komposisi 98% Al dan 2% Si dengan suhu sintering pada rentang pemanasan kira-kira mulai dari suhu ruang hingga suhu 550°C. Maka dari itu pada kondisi ini akan diperoleh dua fase secara bersamaan yaitu fase  $\alpha$  dan  $\beta$ .

## 2.4 Perlakuan Panas

Perlakuan panas atau biasa disebut *Heat Treatment* memiliki tujuan yaitu untuk meningkatkan keuletan, menghilangkan tegangan internal (internal stress) dan dapat menghaluskan ukuran butir kristal serta meningkatkan kekerasan atau tegangan tarik logam. Ada beberapa faktor yang bisa mempengaruhi perlakuan panas diantaranya, suhu pemanasan, waktu yang diperlukan pada saat pemanasan, laju pendinginan serta lingkungan atmosfer.

Perlakuan panas merupakan kombinasi antara proses pemanasan dan pendinginan dari suatu logam atau paduannya dalam keadaan padat untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu. Untuk mendapatkan hal tersebut maka batas tempertur dan kecepatan pendinginan sangat menentukan. Menurut Rajan (1994) ada beberapa tujuan heat treatment yaitu :

- a. Dapat meningkatkan keuletan
- b. Dapat mengurangi internal stress
- c. Dapat menyempurnakan ukuran butir
- d. Menaikkan kekerasan dan kekuatan tarik serta dapat mencapai perubahan komposisi kimia dari permukaan logam.

Heat treatment memiliki beberapa keuntungan menurut Rajan (1994) yaitu :

- a. Dapat meningkatkan kemampuan mesin
- b. Dapat Merubah sifat magnetik
- c. Dapat Memodifikasi konduktivitas listrik
- d. Dan dapat meningkatkan ketangguhan serta dapat mengembangkan struktur rekristalisasi pada *cold-worked* metal.

Proses dalam melakukan heat treatment meliputi heating, holding, dan cooling. Adapun tujuan dari masing-masing proses yaitu :

1. Heating : proses pemanasan sampai temperatur tertentu dan dalam periode waktu. Tujuannya untuk memberikan kesempatan agar terjadinya perubahan struktur dari atom-atom dapat menyeluruh.
2. Holding : adalah proses penahanan pemanasan pada temperatur tertentu, dengan tujuan agar memberikan kesempatan terbentuknya struktur yang teratur dan seragam sebelum dilakukan proses pendinginan.
3. Cooling : adalah suatu proses pendinginan pada kecepatan tertentu, dengan tujuan mendapatkan struktur dan sifat fisik serta sifat mekanis yang diinginkan.

Perlakuan panas yang dilakukan pada aluminium paduan dengan memanaskan hingga terjadi fase tunggal lalu ditahan beberapa waktu dan dilanjutkan dengan pendinginan cepat sehingga tidak sempat berubah ke fase lain. Kalau aluminium tadi dibiarkan dengan jangka waktu tertentu maka terjadilah proses *aging* (penuaan).

Perubahan dapat terjadi berupa pengendapan (presipitasi) fase kedua yang dimulai dengan suatu proses nukleasi dan munculnya kluster atom yang akan menjadi awal dari percipitat. Precipitat tersebut dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatannya. Proses tersebut adalah proses *age hardening* atau biasa disebut *natural aging*. Jika sesudah diberikan pendinginan cepat, selanjutnya dipanaskan lagi sampai dibawah temperatur solvus (*solvus line*) lalu ditahan pada jangka waktu yang lama kemudian dilanjutkan dengan pendinginan lambat diudara disebut proses penuaan buatan (*artificial aging*).

Yang dimaksud *over aged* adalah jika temperatur *aging* terlalu tinggi dan waktu *aging* terlalu panjang, menyebabkan partikel yang terjadi terlalu besar (sudah mikroskopik) sehingga afek penguatannya dapat menurun dan bahkan dapat menghilang sama sekali.

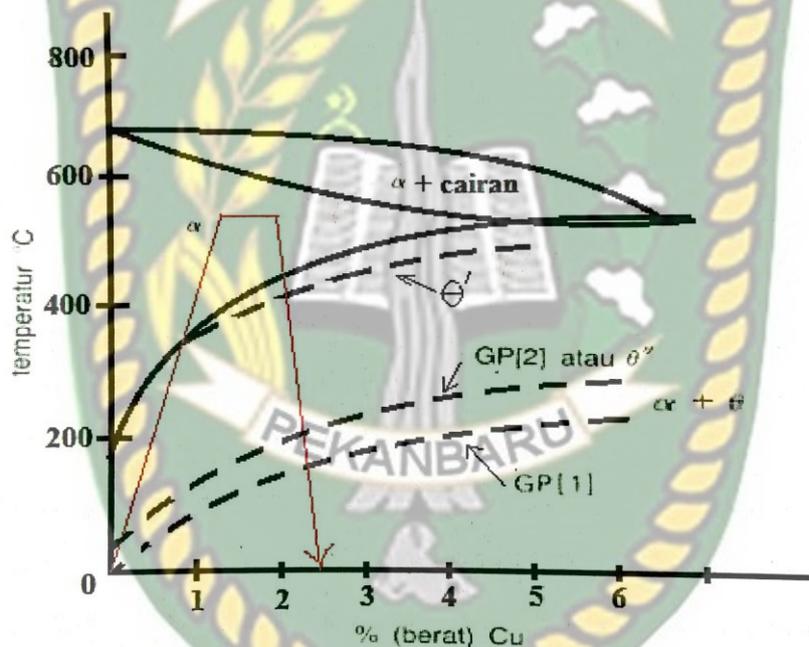
Proses *precipitation hardening* dapat dibagi menjadi beberapa tahap yaitu :

#### 1. *Solution treatment*

Adalah memanaskan paduan sampai diatas *solvus line*. Pemanasan yang bertujuan melarutkan satu unsur paduan atau lebih dalam matriks aluminium dan

membentuk satu fasa tanpa adanya peleburan. Proses ini menyebabkan pemisahan endapan paduan yang ada sebelumnya sehingga larut dan menghasilkan paduan yang homogen.

Berdasarkan Gambar 2.5 mekanisme proses *solution treatment* dilanjutkan dengan *quenching*, paduan berupa larutan homogen  $\alpha$  pada temperatur tinggi bila didinginkan akan berubah fasa menjadi fasa kedua  $\theta$ , kemudian fasa  $\theta$  tersebut juga akan mengendap dan terjadi pengerasan kisi.



**Gambar 2.5** Grafik proses *solution treatment* dilanjutkan dengan *quenching*

Sumber : Hartarto (2017)

## 2. Mendinginkan kembali dengan cepat (*quenching*)

*Quenching* adalah pencelupan cepat dilakukan untuk mencegah terjadinya pemisahan fasa kedua yang terjadi akibat dari proses *solution treatment*. Kecepatan pendinginan harus cukup cepat agar dapat mempertahankan atom yang larut dalam *solid solution* dan juga mempertahankan adanya *vacancies* (kekosongan atom) sebagai tempat difusi atom-atom membentuk kluster atom pada saat penuaan. Bila *quenching* tidak dilakukan dengan cepat, maka akan

terbentuk fasa lain intermetalik dan vacancies akan dapat terisi dengan atom lain sehingga proses difusi akan semakin sulit.

Setelah proses *quenching*, paduan akan bersifat *super saturated solid solution* (SSSS)  $\alpha$  dimana terdapat atom-atom yang tidak stabil sehingga dapat dimanfaatkan untuk proses penuaan. Pada umumnya, setelah proses *quenching*, kekerasan akan meningkat drastis, karena pergerakan atom-atom tersebut secara atomic.

Arief M., (2012) Ada beberapa media pendingin yang digunakan untuk mendinginkan material yang setelah dipanaskan, berikut ini merupakan media pendingin yang sering dipakai dalam proses perlakuan panas antara lain :

a. Air

Dengan menggunakan air maka akan dapat memberikan daya pendinginan yang cukup cepat. Air mempunyai karakteristik yang berbeda yang tidak dimiliki oleh senyawa kimia yang lainnya. Karakteristik tersebut yaitu sebagai berikut : (Dugan, 1972; Hutchinson, 1975; Miller, 1992). Antara suhu  $0^{\circ}\text{C}$  ( $32^{\circ}\text{F}$ ) –  $100^{\circ}\text{C}$ , air masih berwujud cair. Suhu dibawah  $0^{\circ}\text{C}$  adalah titik beku air (*freezing point*) dan suhu diatas  $100^{\circ}\text{C}$  adalah titik didih air (*boiling point*). Air tidak dapat menjadi panas atau dingin dalam seketika karena perubahan suhu air berlangsung lambat sehingga air memiliki sifat sebagai penyimpan panas yang sangat baik.

Air membutuhkan panas yang tinggi untuk proses penguapan. Penguapan (evaporasi) merupakan proses perubahan air menjadi uap air. Proses tersebut membutuhkan energi panas yang sangat tinggi yaitu lebih dari  $100^{\circ}\text{C}$ . Oleh sebab itu dalam penelitian ini akan menggunakan air untuk proses pendinginan (*quenching*) dengan tujuan dapat memberikan kekerasan yang maksimal pada aluminium.

b. Minyak

Minyak juga dapat digunakan sebagai fluida pendingin dalam perlakuan panas. Selain minyak yang khusus digunakan sebagai bahan pendingin pada proses perlakuan panas, dapat juga digunakan oli, minyak bakar atau solar.

Biasanya yang sering digunakan untuk media pendingin adalah oli karena dapat mendinginkan benda uji dengan lebih lambat dibandingkan dengan air sehingga struktur atom dapat tersusun dengan baik.

c. Udara

Pendinginan lambat dapat dilakukan dengan menggunakan udara sebagai media pendingin. Untuk itu udara yang disirkulasikan ke dalam ruangan pendingin harus dibuat dengan kecepatan yang rendah. Karena pendinginannya lambat, aluminium berkesempatan untuk membentuk kristal-kristal dan kemungkinan dapat mengikat unsur-unsur lain dari udara. Biasanya pendinginan menggunakan udara terbuka akan memberikan oksidasi oksigen terhadap proses pendinginan.

d. Garam

Garam biasanya dicampur dengan air digunakan untuk media pendingin, karena mempunyai sifat mendinginkan yang teratur dan cepat. Benda kerja yang didinginkan menggunakan cairan garam dapat mengakibatkan ikatan atom menjadi lebih keras, karena pada permukaan benda kerja tersebut akan meningkat zat arang. Kemampuan suatu jenis media pendingin dalam mendinginkan spesimen dapat berbeda-beda, perbedaan kemampuan media pendingin biasanya disebabkan oleh temperatur, kekentalan, kadar larutan serta bahan dasar media pendingin.

3. Aging

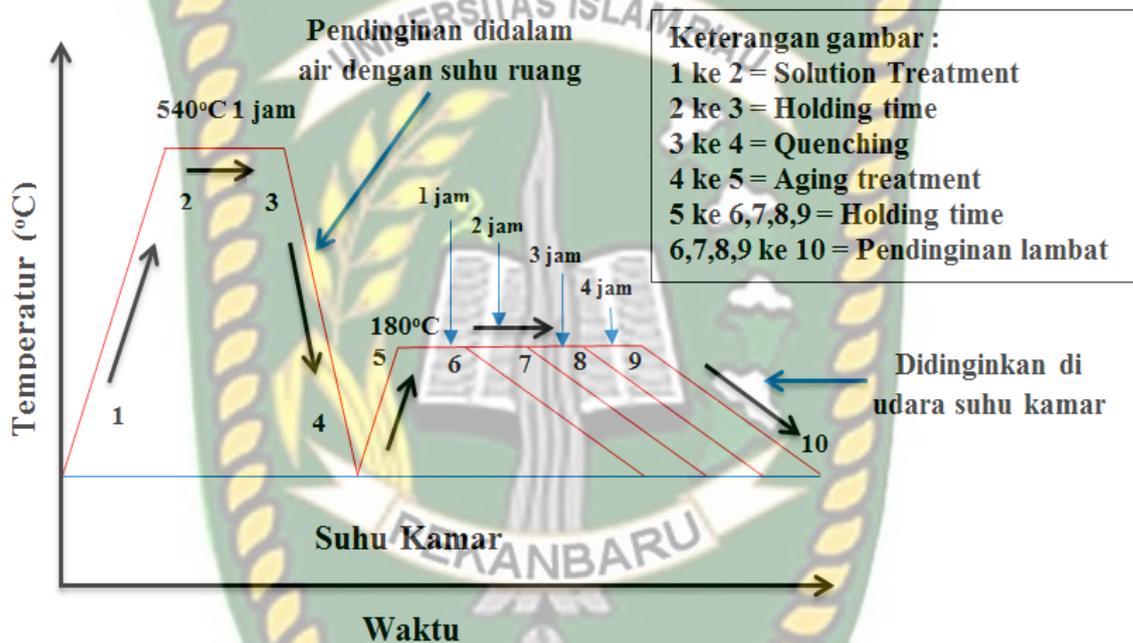
Aging adalah proses perlakuan panas yang dilakukan pada suatu bahan untuk meningkatkan sifat kekerasannya dengan cara mengkombinasikan antara pemanasan di atas suhu kamar dengan waktu pemanasan.

Aging dilakukan dengan menahannya pada suatu temperatur tertentu atau temperatur kamar (temperatur di bawah solvus line) untuk jangka waktu tertentu. Aging/penuaan dapat dibagi menjadi dua yaitu :

1. Penuaan yang dilakukan dengan membiarkan larutan padat jenuh pada temperatur kamar selama beberapa waktu, dinamakan natural aging yaitu penuaan yang terjadi secara alamiah.

2. Penuaan dengan memanaskan kembali larutan padat jenuh ke suatu temperatur di bawah garis solvus dan dibiarkan pada temperatur tersebut selama beberapa saat, dinamakan *artificial aging* (*aging* buatan atau *aging treatment*).

Berikut ini adalah contoh skema proses perlakuan panas kemudian dilanjutkan dengan *aging* terhadap paduan aluminium :



**Gambar 2.6** Grafik Skema proses perlakuan panas

Sumber : Hartarto (2017) telah diubah

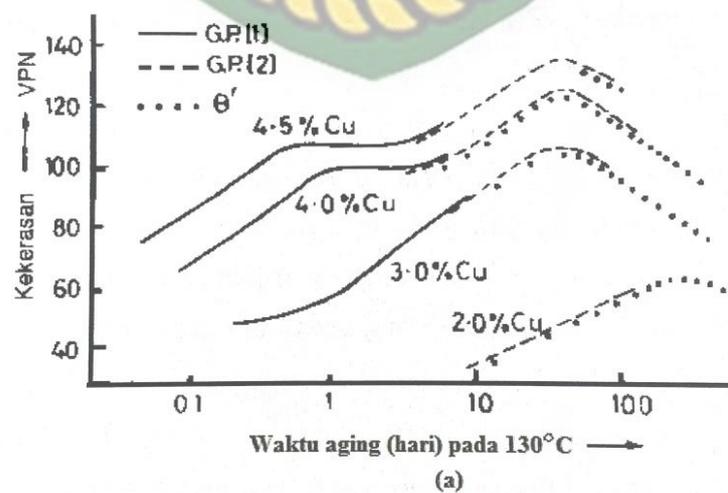
Proses perlakuan panas dan *aging* dilakukan melalui metode pengerasan dengan terbentuk endapan (*Precipitation hardening*) yang secara garis besar ada 3 langkah yaitu : panas pelarutan (*solution heat treatment*), pendinginan cepat (*quenching*) dan penuaan buatan (*artificial aging*) suhariyanto.,dkk (2015).

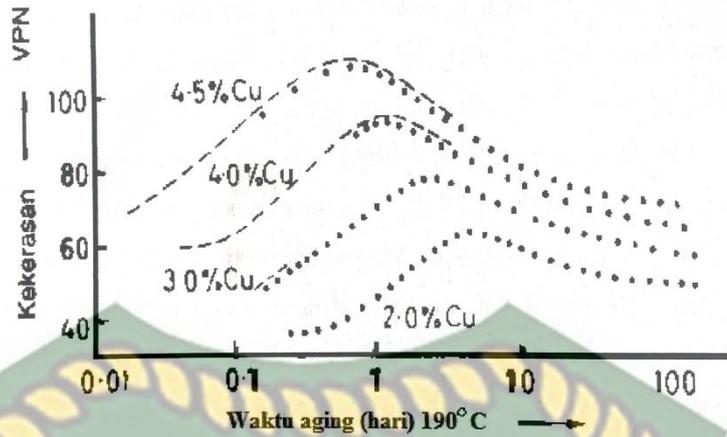
Pada proses *aging* terjadi proses presipitasi dari atom *solution* melalui nukleasi dan pertumbuhan butir dari atom solute menjadi *nuclei presipitat*. Pada beberapa material, proses *aging* untuk mencapai kekuatan dan kekerasan maksimum dapat terjadi dalam kurun waktu yang lama.

Proses pembentukan endapan hasil dari pergerakan atom-atom pada SSSS akibat *solution treatment* dan *quenching*. Untuk memicu pergerakan atom-atom, dilakukan pemanasan pada paduan. Pada penuaan ini, presipitat akan mengalami dua hal, yaitu pengintian (*nukleasi*) dan pertumbuhan presipitat. Presipitat ini terjadi melalui proses nukleasi dari kluster atom dalam kisi yang berubah menjadi inti presipitat. Laju atom bernukleasi sebanding dengan laju migrasi atom yang semakin meningkat jika temperatur penuaan meningkat. Ketika temperatur penuaan meningkat maka laju pengintian akan menurun dan pertumbuhan presipitat akan meningkat. Namun, jika temperatur penuaan menurun, maka laju pengintian akan semakin meningkat dan pertumbuhan presipitat menurun.

Pada waktu penuaan, perubahan sifat pada material yang telah dicelup lebih jelas, khususnya sifat mekanik mengalami perubahan yang cukup berarti pada sifat yang peka stuktur seperti kekerasan, keuletan dan tegangan luluh. Pada penuaan, jika temperatur yang digunakan makin tinggi dari batas optimal, maka kekerasan akan semakin menurun. Sebagai contoh, hal ini dapat dilihat dari perbandingan grafik Gambar 2.7 pengaruh temperatur penuaan dengan kekerasan, temperatur penuaan lebih rendah.

- Menghasilkan kekerasan lebih tinggi dari temperatur penuaan lebih tinggi
- Dimana penuaan dengan temperatur  $130^{\circ}\text{C}$  menghasilkan rata-rata kekerasan tiap komposisi yang lebih tinggi dari penuaan dengan temperature  $190^{\circ}\text{C}$ .





**Gambar 2.7** Grafik Pengaruh temperatur penuaan dengan kekerasan, temperatur penuaan lebih rendah (a) menghasilkan kekerasan lebih tinggi dari temperatur penuaan lebih tinggi (b)

Sumber : Hartarto (2017)

Jika temperatur penuaan tinggi, maka difusi atom akan meningkat, sehingga waktu untuk berpindah atom menjadi cepat. Energi bebas yang rendah dan energi aktivasi yang besar menyebabkan nukleasi sedikit hanya pada butir saja. Ketika dilanjutkan, panas yang tinggi akan memberikan kesempatan pada endapan untuk membentuk sebuah fasa yang butirnya besar sehingga energi permukaan dan regangan rendah, serta kekerasan rendah. Pada penuaan dengan temperatur rendah, nukleasi terbentuk dalam kristal atau butir, namun difusi yang lambat membutuhkan waktu yang lama untuk selesai sehingga lebih merata endapannya.

Dalam proses aging terdapat sebuah zona yang disebut dengan Zona Guinier-Preston (Zona GP) yaitu kondisi didalam paduan dimana terdapat agregasi atom padat atau pengelompokan atom padat. (Surdiadan Saito, 1992). Berikut dibawah ini beberapa zona presipitasi yang tumbuh saat diberi perlakuan panas *age hardening*.

A) Zona [GP 1]

Zona [GP 1] merupakan zona presipitasi yang terbentuk oleh temperatur penuaan atau aging yang rendah dan dibentuk oleh segregasi atom Cu dalam larutan padat lewat jenuh atau super saturated solid solution a. (Smith, 1995) Zona [GP 1] akan terjadi pada tahap mula atau awal dari proses artificial aging. Zona [GP1] akan terbentuk pada saat temperatur artificial aging dibawah 100°C atau

mulainya temperatur ruang sampai temperatur 100°C. Zona ini tidak dapat terbentuk jika temperatur artificial aging terlalu tinggi. Terbentuknya zona [GP 1] ini akan mulai dapat meningkatkan kekerasan aluminium paduan (smith, 1995).

Jika *artificial aging* ditentukan pada temperatur 100°C, maka tahap perubahan fasa hanya sampai terbentuknya zona [GP 1] saja. Pengerasan tahap pertama yaitu proses pengerasan dari larutan padat lewat jenuh sampai terbentuknya zona [GP 1].

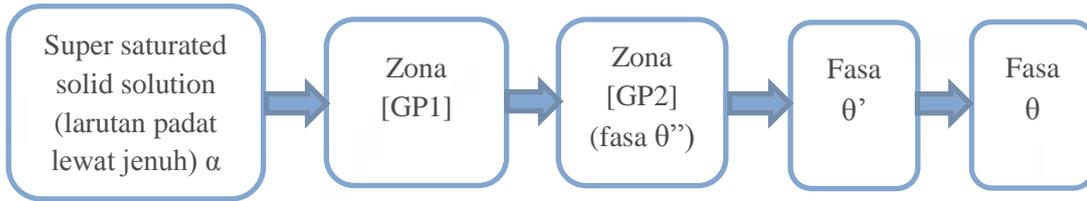
B) Zona [GP 2] atau Fasa  $\theta''$

Selanjutnya jika temperatur *artificial aging* melewati 100°C ke atas, maka akan mulai terbentuk fasa  $\theta''$  atau Zona [GP 2]. Pada saat temperatur 130°C akan muncul zona [GP2] dan jika waktu penahanan *artificial agingnya* tercukupi maka akan mendapatkan tingkat kekerasan yang optimal (Smith, 1995). Umumnya proses *artificial aging* akan berhenti ketika sudah terbentuknya zona [GP2] dan terbentuknya fasa yang halus (presipitasi  $\theta''$ ), karena sesudah melewati zona [GP2] maka paduan aluminium akan kembali menjadi lunak. Pengerasan tahap kedua adalah jika proses artificial aging berlangsung sampai terbentuknya fasa  $\theta''$  atau zona [GP2].

C) Fasa  $\theta'$

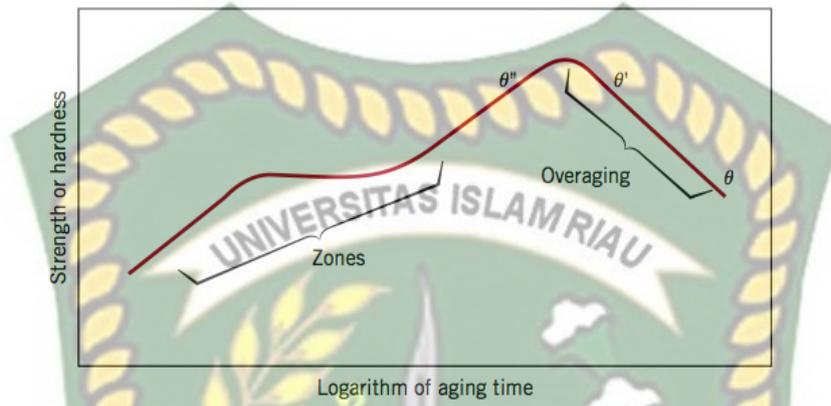
Jika paduan aluminium waktu penuaannya diperpanjang atau dinaikan, maka fasa  $\theta'$  berubah menjadi fasa  $\theta$ . Jika fasa  $\theta$  terbentuk, maka dapat menyebabkan paduan aluminium kembali menjadi lunak. Oleh sebab itu waktu penahanan dalam *artificial aging* adalah salah satu komponen yang dapat menentukan hasil dari proses *age hardening* secara keseluruhan. Waktu penahanan pada tahap *artificial aging* sangat dapat mempengaruhi perubahan struktur dan perubahan fasa paduan aluminium. Oleh karena itu pemilihan waktu penahan *artificial aging* harus dilakukan dengan sangat hati-hati.

Urutan dari perubahan fasa pada proses aging bisa dilihat pada Gambar 2.8 dan Gambar 2.9 Skema diagram fasa presipitat.



**Gambar 2.8** Urutan-urutan perubahan fasa dalam *artificial aging*

Sumber : Hartarto (2017)

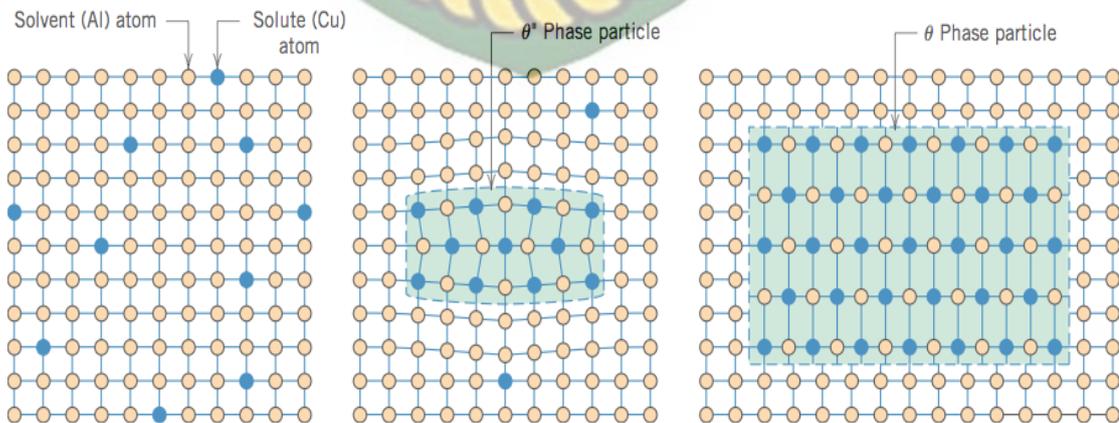


**Gambar 2.9** Grafik Skema diagram fasa presipitat

Sumber : Hartarto (2017)

Hubungan antara waktu aging dengan kekerasan paduan aluminium diawali oleh proses perubahan fasa yang terbentuk pada proses *precipitation hardening* dimana fasa berawal dari *super saturated solute solution*, setelah proses *quenching*. Selanjutnya paduan akan mengalami penuaan atau munculnya presipitat yang baru seiring bertambahnya waktu.

Gambar 2.10 memperlihatkan struktur atom dari mekanisme pengerasan dengan presipitation dengan contoh paduan Al-Cu.



**Gambar 2.10** Struktur atom pengerasan dengan *presipitation*

Sumber : Hartarto (2017)

Hubungan antara pergerakan dislokasi dan sifat mekanik dari aluminium merupakan mekanisme penguatan pada material aluminium. Kemampuan suatu material aluminium untuk diubah secara plastis tergantung pada kemampuan dislokasi agar dapat bergerak. Kekuatan mekanis dapat ditingkatkan dengan cara mengurangi pergerakan dislokasi, yang menyebabkan energi mekanik yang dibutuhkan untuk membuat deformasi plastis menjadi semakin besar. Sebaliknya jika pergerakan dislokasi tidak ada yang menahan, aluminium akan mudah untuk terdeformasi.

Salah satu cara yang efektif untuk menahan dislokasi agar penguatan yang dihasilkan dengan menghalangi pergerakan dislokasi disekitar batas butir yaitu penghalusan butir. Dengan mengecilnya ukuran dari butir tersebut dapat meningkatkan batas butir per unit volume serta mengurangi garis edar bebas dari slip yang berkelanjutan. Untuk Pergerakan seterusnya membutuhkan tegangan yang tinggi agar dapat membuka atau menghasilkan suatu dislokasi yang baru pada butir-butir selanjutnya.

Dengan ukuran partikel presipitat yang semakin halus akibat temperatur terjadinya presipitat yang diturunkan dan waktu penahanan yang ditingkatkan menghasilkan peningkatan kekerasan yang tinggi. Jika penuaan dibiarkan berlanjut pada temperatur tertentu, maka akan menyebabkan pengkasaran partikel (partikel yang kecil akan cenderung larut kembali dan yang besar akan dapat bertambah besar). Partikel yang kecil akan banyak jumlahnya dan akan terlarut halus secara bertahap digantikan oleh partikel yang lebih kasar dengan jarak dispersi yang cukup besar. Pada keadaan tersebut paduan akan bertambah lunak.

Kekuatan paduan dengan pengerasan presipitat terutama dikendalikan oleh fraksi volum, ukuran, dan juga jarak antar presipitat dalam matriks. Diperolehnya kekuatan yang tinggi jika partikel yang terbentuk berukuran sangat halus dan sangat keras serta fraksi volum yang tinggi. Pembentukan fasa keseimbangan diawali oleh pembentukan kluster atom-atom solute (GP Zones). Selama aging, GP zones atau partikel akan timbul sehingga menyebabkan kekuatan naik.

## 2.5 Sifat Mekanis

Sifat mekanis adalah ketahanan suatu material untuk mampu menahan pembebanan pada aluminium dalam suatu pengujian (Angga,2018). Untuk mengetahui sifat mekanis suatu material aluminium paduan adalah melalui pengujian kekerasan dan uji impak.

### 2.5.1 Uji Kekerasan

Didalam aplikasi manufaktur, material diberikan pengujian dengan dua pertimbangan yaitu untuk mengetahui karakteristik material apakah sesuai standar yang diinginkan serta memandang kualitas material untuk menentukan material tersebut mempunyai spesifikasi tertentu.

Uji kekerasan dengan metode indentasi (metode penekanan) adalah dengan cara mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya tekan yang diberikan oleh indenter dengan memperhatikan besar beban yang diberikan dan besar indentasi. Didunia teknik, umumnya pengujian kekerasan menggunakan 3 macam metode pengujian kekerasan yaitu Brinell, Rockwell dan Vickers. Didalam penelitian ini uji kekerasan yang akan digunakan adalah metode Vickers.

Metode vickers menggunakan indenter berbahan piramida intan yang berbentuk bujur sangkar dengan besar sudut  $136^\circ$  terhadap kedua sisi yang berhadapan. Besar sudut tersebut digunakan karena perkiraan rasio terideal indentasi diameter bola pada benda uji Brinell. Besar beban indenter bervariasi antara 1 kg sampai 120 kg yang disesuaikan dengan tingkat kekerasan material/spesimen. Prinsip dari uji kekerasan vickers adalah besar beban dibagi dengan luas daerah indentasi atau dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$VHN = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} = \frac{1,854P}{d^2} \dots\dots\dots (Pers 2.1)$$

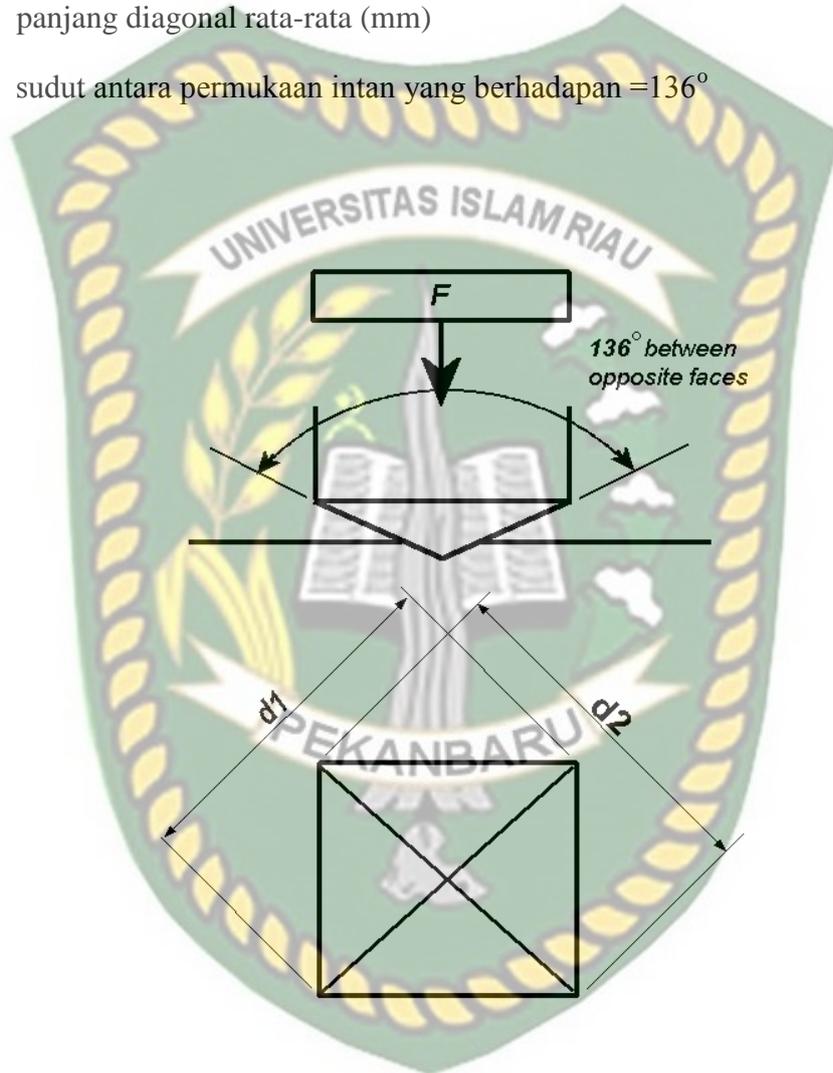
Keterangan :

VHN = Vickers Hardness Number

P = beban yang diberikan (kg)

d = panjang diagonal rata-rata (mm)

$\theta$  = sudut antara permukaan intan yang berhadapan =  $136^\circ$



**Gambar 2.11** Indentor Uji Vickers

Sumber : pengujian kekerasan blogspot.com

## 2.6.2 Uji Tarik

Uji tarik adalah pemberian gaya atau tegangan tarik pada material dengan maksud untuk mengetahui atau mendeteksi kekuatan dari suatu material. Tegangan tarik yang digunakan adalah tegangan aktual eksternal atau perpanjangan sumbu benda uji (Robert, dkk.,2011). Gambar 2.12 dibawah ini menunjukkan alat uji tarik.



**Gambar 2.12** Alat uji Tarik

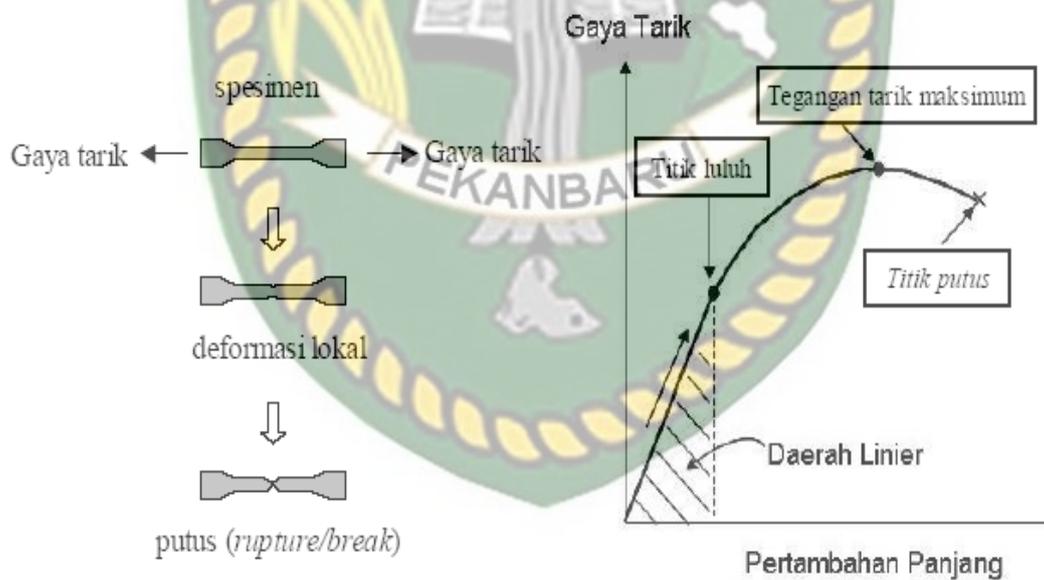
Sumber : politeknik kampar

Mesin uji tarik sering digunakan dalam kegiatan *engineering* untuk mengetahui sifat-sifat mekanik suatu material. Mesin uji tarik terdiri dari beberapa bagian pendukung utama, diantaranya : kerangka, mekanikme pencekam spesimen, sistem penarik, serta sistem pengukur.

Uji tarik dilakukan dengan cara penarikan dengan gaya tarik secara terus-menerus, sehingga material perpanjangannya terus-menerus meningkat dan teratur sampai putus, dengan tujuan menentukan nilai tarik. Untuk mengetahui kekuatan

tarik suatu material dalam pembebanan tarik, garis gaya harus berimpit dengan garis sumbu material sehingga pembebanan terjadi dan material tertarik secara lurus. Tetapi jika gaya tarik sudut berhimpit maka yang terjadi adalah gaya lentur.

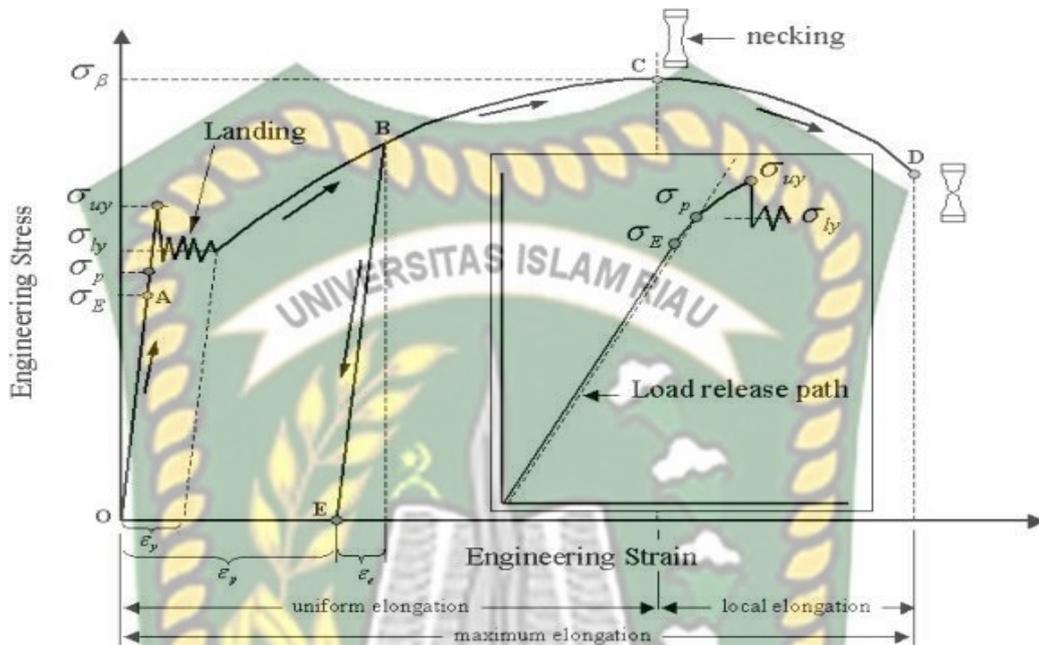
Hasil dari uji tarik dapat mencatat fenomena hubungan antara tegangan, regangan yang terjadi selama proses uji tarik dilakukan. Uji tarik banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan. Pada uji tarik, benda uji diberi beban gaya tarik sumbu yang bertambah secara kontiniu, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan mengenai perpanjangan yang dialami benda uji. Gambar 2.13 menunjukkan kurva hubungan antara gaya tarikan dengan perubahan panjang. Profil ini sangat diperlukan dalam desain yang memakai bahan tersebut.



**Gambar 2.13** Gambaran singkat uji tarik dan datanya

Sumber : <http://www.google.com>

Untuk keperluan kebanyakan analisa teknik, data yang didapatkan dari uji tarik dapat digeneralisasi seperti pada Gambar 2.14.



**Gambar 2.14** Grafik Profil data hasil uji tarik

Sumber : <http://www.google.com>

Beberapa istilah lain yang penting terkait interpretasi hasil uji tarik (polsri.,2011).

1. Kelenturan (ductility)

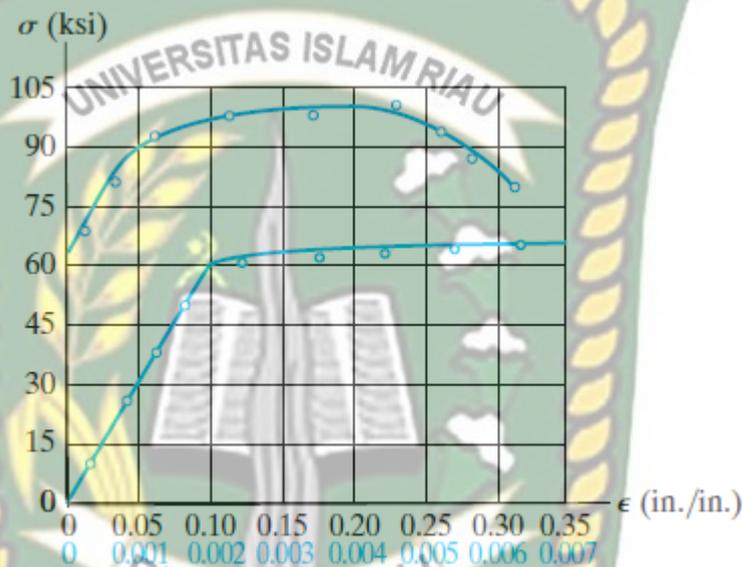
Merupakan sifat bahan mekanik yang menunjukkan derajat deformasi plastis yang terjadi sebelum suatu bahan putus atau gagal pada uji tarik. Bahan disebut lentur (ductile) bila regangan plastis yang terjadi sebelum putus lebih dari 5%, bila kurang dari itu suatu bahan disebut getas (brittle).

2. Derajat kelentingan

Derajat kelentingan didefinisikan sebagai kapasitas suatu bahan menyerap energy dalam fase perubahan elastis. Sering disebut dengan Kodulus Kelentingan (Modulus of Resilience), dengan satuan strain energi per unit volume (Joule/m<sup>3</sup> atau Pa). Dalam Gambar 3.13, modulus kelentingan ditunjukkan oleh luas daerah yang diarsir.

3. Modulus Ketangguhan (*Modulus of Toughness*)

Modulus ketangguhan adalah kapasitas suatu bahan menyerap energi dalam fase plastis sampai bahan tersebut putus. Modulus ketangguhan sama dengan luas daerah dibawah kurva tegangan-regangan hasil pengujian tarik. Satuan ketangguhan adalah energi per satuan volume (Callister, 2007). Grafik *modulus of toughness* dapat dilihat pada Gambar 2.15.



**Gambar 2.15** Grafik *Modulus of toughness*  
 (Sumber : Hibbeler 2005)

Salah satu cara untuk mendapatkan nilai ketangguhan adalah dengan cara menghitung jumlah kotak yang ada dibawah kurva tegangan-regangan hasil pengujian tarik.

4. Pengerasan Regang (strain hardening)

Sifat kebanyakan logam yang ditandai dengan naiknya nilai tegangan berbanding regangan setelah memasuki fase plastis.

5. Tegangan sejati, regangan sejati (true stress, train strain)

Dalam beberapa kasus defenisi tegangan dan regangan tidak dapat dipakai. Untuk itu dipakai defenisi tegangan dan regangan sejati, yaitu tegangan dan regangan berdasarkan luas penampang bahan secara real time.

Tegangan yang dipergunakan adalah tegangan maksimum dan dapat diperoleh dengan membagi beban (F) dengan luas penampang mula (Ao) dari benda uji.

$$\sigma = \frac{F}{A_o} \dots\dots\dots (Pers 2.2)$$

- Keterangan :
- $\sigma$  = Tegangan (N/mm<sup>2</sup>)
  - F = Gaya/Beban (N)
  - Ao = Luas penampang mula (mm<sup>2</sup>)

Regangan yang dipergunakan adalah regangan linier rata-rata yang diperoleh dengan membagi perubahan panjang ukur (  $\Delta L$  ) dengan panjang mula benda uji. Regangan dapat dihitung dengan rumus :

$$e = \frac{F}{A_o} = \frac{L_i - L_o}{L_o} \times 100\% \dots\dots\dots (Pers 2.3)$$

- Keterangan
- e = Regangan (%)
  - L<sub>i</sub> = Panjang setelah pengujian (mm)
  - L<sub>o</sub> = Panjang awal (mm)

Selain itu terdapat Modulus Elastsitas (E), merupakan ukuran kekakuan suatu material, makin besar modulus elastisitasnya, makin kecil regangan elastis yang dihasilkan akibat pembebanan. Modulus Elastisitas (E) dapat dihitung dengan rumus :

$$E = \frac{\sigma}{e} \dots\dots\dots (Pers 2.4)$$

- Keterangan
- E = Modulus Elastisitas N/mm<sup>2</sup>
  - $\sigma$  = Tegangan
  - e = Regangan

## BAB III

### METODE PENELITIAN

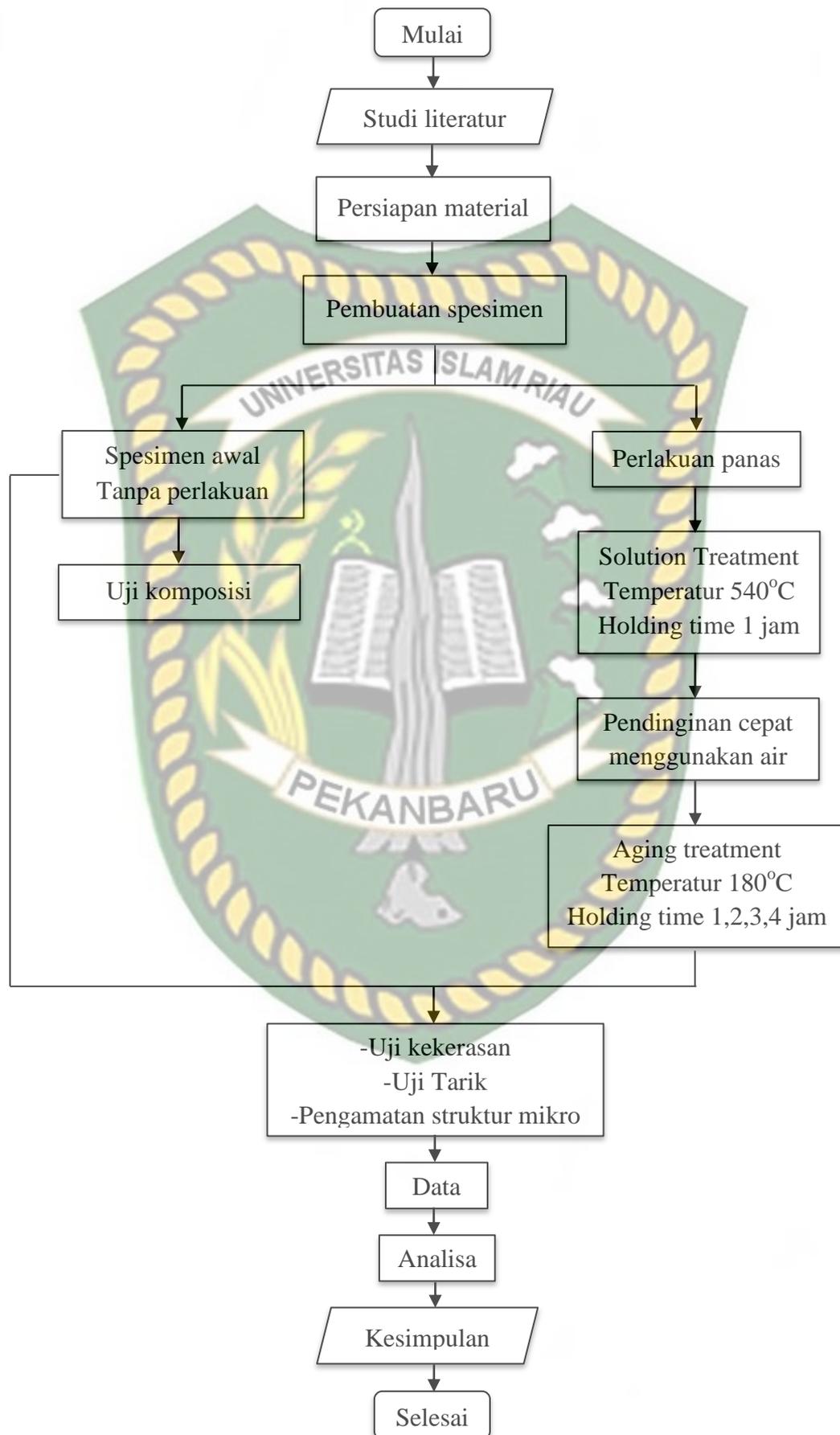
Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh waktu *aging* yang bervariasi terhadap sifat mekanis yaitu kekerasan dan kekuatan tarik serta ketangguhan suatu aluminium paduan. Pada percobaan ini digunakan bahan propeler aluminium paduan. Kemudian dipotong bagian daun untuk dijadikan sampel uji kekerasan 20 mm x 20 mm, dan uji komposisi berukuran persegi 25 mm x 25 mm. Lalu untuk uji tarik material propeler dipotong bagian daunnya sesuai dengan ukuran standart ASTM E-8.

Material yang sudah dipotong untuk pengujian kekerasan dan tarik tersebut kemudian diberikan perlakuan panas (*solution treatment*) menggunakan dapur pemanas (*muffle furnace*) dengan temperatur 540°C selama 1 jam. Pada proses ini tidak semua spesimen diberikan perlakuan panas karena salah satu material akan digunakan sebagai pembanding guna mengetahui perbedaan sifat mekanis dengan spesimen yang mengalami proses perlakuan panas. Setelah *solution treatment*, spesimen *diquenching* atau dilakukan pendinginan cepat dengan cara mencelupkan spesimen kedalam air dengan suhu kamar. Kemudian diberikan perlakuan panas *aging* pada temperatur 180°C dan variasi waktu 1,2,3, dan 4 jam.

#### 3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian

Pada penelitian dan pengujian ini, dilakukan di 5 tempat yaitu di Politeknik Manufaktur Negeri Bandung untuk uji komposisi. Politeknik Negeri Bandung untuk uji kekerasan, Laboratorium Teknik Mesin UIR untuk pembuatan sampel dan pengamatan struktur mikro. Laboratorium Politeknik Kampar untuk pengujian tarik dan Laboratorium Balai Pengkajian Teknologi Pertanian untuk proses perlakuan panas. Penelitian dilakukan selama lebih kurang 3 bulan dimulai dari awal bulan agustus hingga akhir bulan oktober 2019.

### 3.2 Diagram Alir



### 3.3 Alat dan Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini, yaitu sebagai berikut :

- Material propeler berbahan aluminium paduan berukuran 11 inchi
- Air
- Zat etsa Hydroflourid Acid (HF) kadar 55%
- Amplas ukuran 540, 1000, 1500, 2000
- Kain amplas
- Pasta poles *white diamond*
- *Hair dryer*

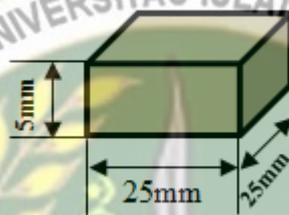
Adapun alat yang dipakai pada penelitian ini yaitu :

- Gerinda mesin
- Kirir
- Gergaji besi
- Jangka sorong
- Mesin amplas dan poles
- Dapur pemanas (*muffle furnace*)
- Tang penjepit benda uji
- Media pendingin
- Mesin uji kekerasan
- Mesin Uji kekerasan
- Mesin Uji tarik
- Mikroskop
- Kamera

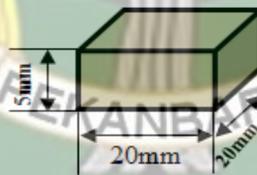
### 3.4 Pembuatan Bentuk Spesimen

Pembuatan bentuk spesimen untuk uji komposisi, kekerasan dan tarik dibentuk dengan cara memotong material propeler sesuai dengan ukuran yang dibutuhkan dan dikerjakan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Islam Riau.

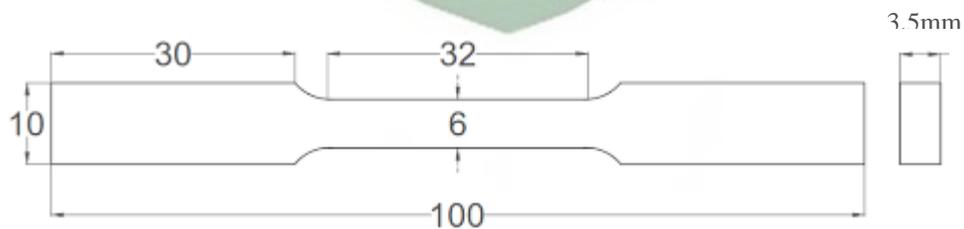
Dimensi atau ukuran material untuk uji komposisi, kekerasan dan tarik dapat dilihat pada Gambar 3.1, Gambar 3.2, Gambar 3.3 dibawah ini :



**Gambar 3.1** Spesimen uji komposisi



**Gambar 3.2** Spesimen uji kekerasan



**Gambar 3.3** Spesimen uji tarik menurut ASTM E8.

### 3.5 Uji Komposisi Kimia

Uji komposisi berfungsi untuk mengetahui besar dan banyaknya jumlah suatu kandungan unsur yang terdapat pada aluminium paduan, dengan uji komposisi yang dihasilkan akan dapat menentukan unsur-unsur yang terkandung dalam paduan aluminium suatu bahan propeler. Uji komposisi dilakukan di Politeknik Manufaktur Negeri Bandung. Pada Gambar 3.3 menunjukkan alat uji komposisi *Optical Emission Spectrometry (OES)*.



**Gambar 3.4** Mesin OES

Sumber : polman

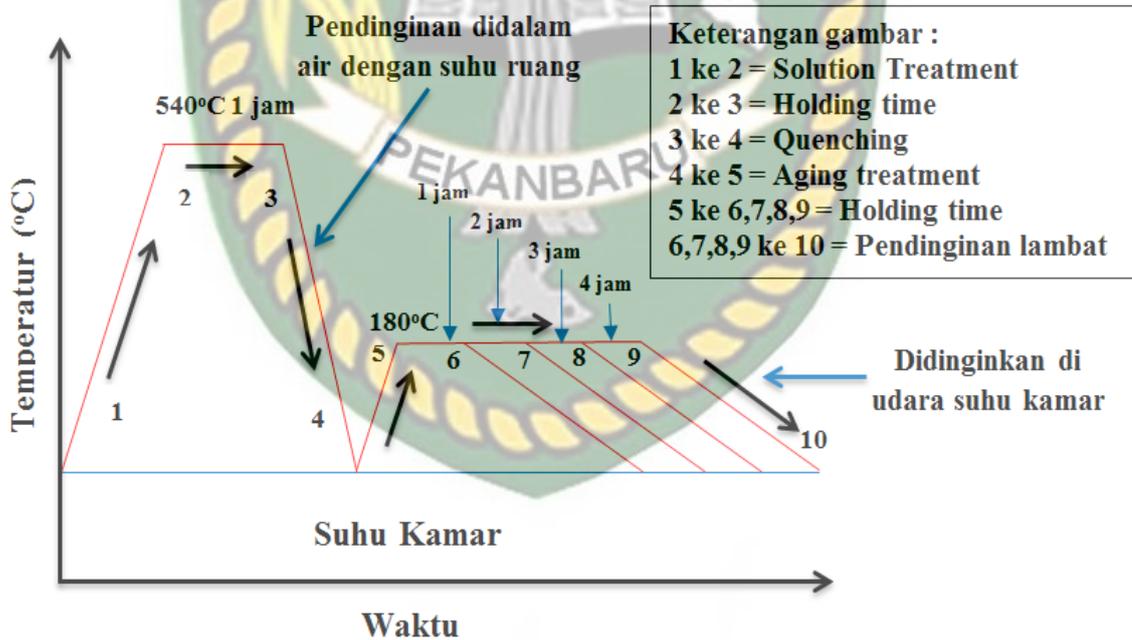
*Atomic (Optical) Emission Spectrometry (AES, OES)* merupakan alat yang berguna untuk menganalisis multi elemen dari berbagai macam material. OES menggunakan pengukuran radiasi elektromagnetik yang dipancarkan melalui atom. Analisis ini dapat memperoleh data kualitatif dan kuantitatif. Sebelum masuk ke mode analisa *Fe-base* mesin OES dikalibrasi terlebih dahulu. Setelah itu, spesimen yang sudah siap diletakkan pada tempat yang di sediakan kemudian spesimen di tembak sebanyak tiga kali. Kemudian komputer akan mencatat data secara otomatis untuk kemudian dianalisa.

Tahapan uji komposisi mengikuti prosedur berikut :

- Memotong spesimen dengan ukuran panjang 25mm dan lebar 25mm.
- Membersihkan spesimen dengan pengikiran.
- Mengampelas spesimen setelah proses pengikiran dan menambahkan zat poles untuk menghaluskan permukaan spesimen dari goresan-goresan kecil.
- Pengujian spesimen dengan alat uji komposisi yaitu OES (*Optical Emission Spectroscopy*) untuk mendapatkan komposisi kimia serta unsur-unsur yang terkandung dalam aluminium paduan.

### 3.6 Heat Treatment

Proses perlakuan panas yang dilakukan pada material dikerjakan di Laboratorium Balai Pengkajian Teknologi Pertanian.



**Gambar 3.5** Grafik skema diagram proses *aging treatment*

Pada proses perlakuan panas ini digunakan alat-alat sebagai berikut :

### 3.6.1. Furnace

Sebagai alat pemanas untuk proses *solution treatment* dengan temperatur 540°C. Sedangkan spesimen awal tidak diberikan perlakuan panas untuk melihat perbandingan dari kekerasan, kekuatan tarik dan ketangguhan spesimen yang diberi perlakuan panas dan yang tidak. Berikut ini merupakan gambar dari dapur pemanas (*furnace*) Thermolyne.



**Gambar 3.6** Dapur pemanas

Sumber : Laboratorium Balai Pengkajian Teknologi Pertanian

### 3.6.2 oven

Digunakan untuk proses *aging* setelah material melalui proses *solution treatment* dan *quenching*, proses aging yang akan dilakukan adalah menahan material pada temperatur 180°C selama 1, 2, 3 dan 4 jam. Berikut adalah gambar oven yang digunakan.



**Gambar 3.7** Oven

Sumber : Laboratorium Balai Pengkajian Teknologi Pertanian

### 3.6.3 Tang Penjepit

Alat ini digunakan untuk keperluan mengeluarkan spesimen dari dalam dapur pemanas dan dicelupkan kedalam air.



**Gambar 3.8** Tang penjepit  
Sumber : [www.google.com](http://www.google.com)

### 3.6.4 Media pendingin

Pada saat proses *solution treatment* selesai, spesimen diberikan perlakuan *quenching* yaitu pendinginan cepat yang menggunakan media air. Dan pada saat *aging treatment*, barulah spesimen didinginkan secara lambat di temperatur ruang. Dibawah ini merupakan gambar dari media air yang digunakan sebagai pendingin.



**Gambar 3.9** Air pendingin  
Sumber : [www.google.com](http://www.google.com)

### 3.7 Prosedur perlakuan panas

Proses pelaksanaan perlakuan panas mengikuti prosedur berikut :

- Siapkan benda uji sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan.
- Masukkan semua spesimen kedalam dapur pemanas (*furnace*) dengan temperatur *solution treatment* 540°C selama 1 jam.
- Lakukan pendinginan cepat yaitu dengan mencelupkan spesimen kedalam air yang tersedia.
- Setelah itu melakukan proses *aging treatment*
- Panaskan oven hingga temperatur *aging*.
- Apabila temperatur *aging* telah tercapai, masukkan semua spesimen. Kemudian ambil satu per satu spesimen apabila sudah mencapai waktu *aging* yang dibutuhkan sesuai temperatur *aging* nya.
- *Aging* pertama temperatur 180°C dengan waktu penangguhan 1 jam.
- *Aging* kedua temperatur 180°C dengan waktu penangguhan 2 jam.
- *Aging* ketiga temperatur 180°C dengan waktu penangguhan 3 jam.
- *Aging* keempat temperatur 180°C dengan waktu penangguhan 4 jam.
- Setelah pemanasan selesai, keluarkan spesimen dan dinginkan di temperatur ruang. Begitu seterusnya untuk setiap waktu *aging*.
- Setelah seluruh proses *aging* selesai, maka selanjutnya spesimen diberikan pengujian kekerasan dan pengujian tarik serta pengamatan struktur mikronya.

### 3.8 Uji Kekerasan

Alat pengujian kekerasan berfungsi untuk menguji kekerasan spesimen dan mengetahui perbedaan nilai kekerasan dari setiap spesimen yang diuji. Pada pengujian awal spesimen yang diuji adalah spesimen tanpa perlakuan panas kemudian pada pengujian selanjutnya spesimen yang diuji adalah spesimen yang sudah dilakukan pemanasan agar dapat mengetahui perbandingan nilai kekerasannya.

Didalam penelitian ini menggunakan metode *vickers*. *Vickers* diukur dengan cara menekan indenter ke permukaan spesimen dengan beban 0,147 N sampai dengan 9,896 N.

Berikut adalah alat uji kekerasan yang digunakan dalam penelitian ini :



**Gambar 3.10** Alat Uji Kekerasan

Sumber : Lab Material Politeknik Negeri Bandung

Pelaksanaan uji kekerasan mengikuti prosedur berikut :

- Spesimen yang sudah dipotong di mounthing terlebih dahulu untuk memperbesar dimensi kedudukannya.
- Spesimen yang akan diuji diampelas hingga permukaan rata dan halus serta bersih.
- Spesimen diletakkan diatas dudukan spesimen pada mesin uji
- Permukaan spesimen dibuat rata dan sejajar terhadap dudukan.
- Pengujian kekerasan dengan metode penekanan pada salah satu sisi spesimen.
- Titik penekanan pada satu spesimen berjumlah 3 titik, dimulai dari tengah hingga kesisi tepi spesimen.
- Waktu penekanan selama 30 detik dengan jarak yang berbeda.
- Lakukan hal yang sama pada spesimen berikutnya.

### 3.9 Uji Tarik

Untuk mengetahui kekuatan tarik, keuletan, kakakuan, serta ketangguhan material dalam penelitian ini dilakukan pengujian tarik. Spesimen yang digunakan untuk diuji tarik adalah dengan memotong daun propeler berukuran menurut standart ASTM E8/E8M-09 (*Standard Test Methods of Tension Testing Wrought and Cast Aluminium- and Magnesium-Alloy Products/Metric*). Uji tarik akan dikerjakan di Politeknik Kampar. Gambar 3.11 adalah gambaran umum mesin uji tarik.



**Gambar 3.11** Gambar umum mesin uji tarik.  
 Sumber : Politeknik Kampar

Berikut ini adalah langkah-langkah pengujian tarik :

- Menyiapkan spesimen sesuai dengan ukuran yang ditentukan.
- Memasang spesimen pada pencekam mesin uji tarik.
- Memeriksa mesin uji apakah dapat bekerja dengan baik.
- Lalukan pengujian dengan menarik spesimen hingga patah.
- Secara otomatis monitor mesin uji tarik mencatat data dan grafik.

### 3.10 Pengamatan Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro berfungsi untuk mengetahui struktur mikro dari setiap spesimen yang sudah melalui proses aging dan sifat dari spesimen yang berkaitan dengan struktur mikronya. Pengamatan struktur mikro dilakukan pada spesimen tanpa perlakuan panas dan spesimen aging 1, 2, 3 dan 4 jam. Pengamatan dilakukan di Lab Pengujian Bahan Universitas Islam Riau. Pada pengamatan ini digunakan lensa mikro dengan pembesaran dari 500x untuk mengambil gambar struktur mikronya. Kemudian spesimen diberi zat etsa menggunakan cairan 55% *Hydroflourid Acid* (HF) sesuai standard ASTM E3-01.

Pada pengamatan ini dibutuhkan kamera yang otomatis sudah tergambar pada monitor, kamera tersebut berfungsi untuk mengambil gambar spesimen yang telah ditempatkan pada alat uji. Alat uji struktur mikro yang digunakan seperti Gambar 3.12



**Gambar 3.12** Mikroskop Struktur Micro OLYMPUS

Sumber : Lab material teknik mesin UIR

Adapun tahapan yang harus dilakukan sebelum pengamatan struktur mikro adalah sebagai berikut :

## Pemolesan Spesimen

Adalah perlakuan yang diberikan pada spesimen untuk menghaluskan permukaan spesimen sebelum dilakukannya pengamatan struktur mikro. Pemolesan ini dilakukan hingga didapatkan hasil dari permukaan spesimen yang mengkilap tanpa adanya goresan-goresan yang halus sekalipun.



**Gambar 3.13** Mesin Poles

Sumber : Lab material teknik mesin UIR

Pada pemolesan ini, menggunakan beberapa bahan-bahan, yaitu :

### 1. Amplas

Amplas berfungsi untuk menghaluskan permukaan spesimen. Ampas yang digunakan dalam penelitian ini memiliki tingkat kekerasan yaitu dari 450, 1000, 1500 dan 2000.

### 2. Kain Poles

Kain poles yang digunakan berfungsi sebagai media dari pasta poles alumina sebagai finishing dari spesimen yang telah diampas agar didapatkan permukaan spesimen yang sangat halus dan mengkilap.

Proses pelaksanaan pemolesan adalah sebagai berikut :

- Material yang sudah disediakan harus dibersihkan dari segala kotoran yang menempel

- Pemotongan amplas mengikuti mal yang ada pada mesin poles.
- Pasang amplas yang sudah dipotong padaudukan mesin poles pada posisi pengamplasan.
- Hidupkan mesin poles, pompa air dan nyalakan mesin amplas dengan menekan tombol pada posisi ON.
- Amplas material yang ada hingga permukaannya halus dari ukuran kertas amplas 450, 1000, 1500 dan 2000.
- Setelah permukaan spesimen halus, matikan mesin amplas lalu letakkan pasta poles pada kain poles dan siram dengan sedikit air.
- Nyalakan mesin bagian poles dengan menekan posisi tombol ke ON.
- Beri pasta poles pada spesimen.
- Letakkan spesimen dan tahan diatas kain poles yang berputar hingga didapatkan hasil dari permukaan spesimen yang sangat halus dan mengkilap
- Lakukan pada spesimen lain yang sudah diampelas halus.

Proses pelaksanaan pengamatan struktur mikro adalah sebagai berikut :

- Teteskan zat etsa HF pada spesimen yang suda di poles.
- Spesimen yang sudah ditetes zat etsa, biarkan selama 15 detik, lalu dicuci dengan air bersih.
- Lakukan hal yang sama dengan spesimen lainnya dengan proses pengerjaan yang cepat agar tidak terjadi reaksi pada spesimen dengan udara bebas.
- Tempatkan spesimen pada wadah mikroskop apakah sudah terlihat jelas atau masih buram.
- Jika masih buram, putar pengatur lensa hingga didapatkan tampilan yang jelas
- Foto tampak spesimen pada lensa mikroskop dengan kamera pada pembesaran 50x.
- Lakukan hal yang sama dengan spesimen lainnya.

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN

#### 4.1 Hasil Penelitian

Hasil dari penelitian ini yaitu berupa angka dalam tabel, grafik serta gambar hasil dari pengujian komposisi, uji kekerasan, uji tarik serta pengamatan struktur mikro.

#### 4.2 Komposisi Material

Untuk mengetahui komposisinya, material propeler diuji menggunakan mesin spektrum komposisi kimia *Optical Emission Spectrometer (OES)* di Laboratorium pengujian material Politeknik Manufaktur Bandung. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Data Komposisi Kimia Material Propeler

No	Unsur	Nilai %
1	Al	91.1109
2	Si	4.84029
3	Cu	1.34844
4	Zn	1.16933
5	Fe	0.80919
6	Mg	0.40787
7	Mn	0.11756
8	Pb	0.05845
9	Ni	0.05489
10	Cr	0.02704
11	Ti	0.02451
12	Sn	0.02289
13	Sb	0.00849
14	Na	0.00021

Diperoleh sebanyak 14 unsur penyusun pada aluminium paduan propeler hasil dari pengujian komposisi. Jika dilihat komposisi material, maka unsur

dominan yang terdapat pada bahan propeler adalah Al 91.1109%, kemudian disusul Si sebesar 4.84029% dan Cu 1.34844% serta Zn 1.16933%. Berdasarkan persentase unsur penyusunnya, jenis aluminium paduan ini dikategorikan kedalam aluminium paduan *casting alloy* dengan nomor seri mendekati 3xx.x (Al, Si, Cu). Komposisi tersebut jika dibandingkan dengan komposisi aluminium paduan standar ASM, maka akan mempunyai kemiripan dengan aluminium paduan seri 355.0.

Aluminium paduan 355.0 mempunyai unsur utama Si 4,5% - 5,5%, Cu 1,0% - 1,5%, Fe 0,6%, Mg 0,40% - 0,60%, Mn 0,50%, Zn 0,35%, Cr 0,25%, Ti 0,25%. (ASM, 1992). Perbandingan antara kedua aluminium paduan diatas bisa dilihat pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Perbandingan unsur material propeler dan aluminium paduan 355.0 Standar ASM

Unsur	Si	Cu	Zn	Fe	Mg	Mn	Cr	Ti
Material Propeler	4.84	1.35	1.17	0.81	0.41	0.12	0.03	0.02
355.0 Standar ASM	4,5-5,5	1,0-1,5	0,35	0,6	0,40-0,60	0,50	0,25	0,25

Perbedaan yang mencolok antara dua aluminium paduan diatas adalah pada unsur Zn. Material 355.0 standar hanya mengandung Zn sekitar 0,35%, sedangkan hasil uji komposisi material propeler menunjukkan kandungan Zn yang ada sebesar 1,17%.

Aluminum paduan 355.0 banyak digunakan sebagai komponen otomotif seperti velg sepeda motor, kerena sifat mekanisnya yang baik. Keberadaan unsur seperti Silikon (Si), Tembaga (Cu), dan Magnesium (Mg) pada aluminium paduan akan dapat memperbaiki sifat mekanis dari material aluminium (Eva.,2012).

### 4.3 Kekerasan Material

Uji kekerasan dilakukan untuk mengetahui perubahan kekerasan material propeler hasil dari proses *aging treatment*. Uji kekerasan dikerjakan di Politeknik Negeri Bandung menggunakan mesin uji kekerasan dengan metode *Vickers (HV)*. Pengolahan data uji kekerasan yaitu dengan cara mencatat langsung hasil uji kekerasan yang ditampilkan oleh mesin kekerasan metode *Vickers* dari setiap pengujian yang mana data yang ditampilkan dari alat uji kekerasan adalah nilai kekerasan HV, atau dapat dikonversikan kedalam satuan lain. Sehingga dapat dianalisa sifat mekanis material propeler hasil dari *aging* dengan waktu yang bervariasi.

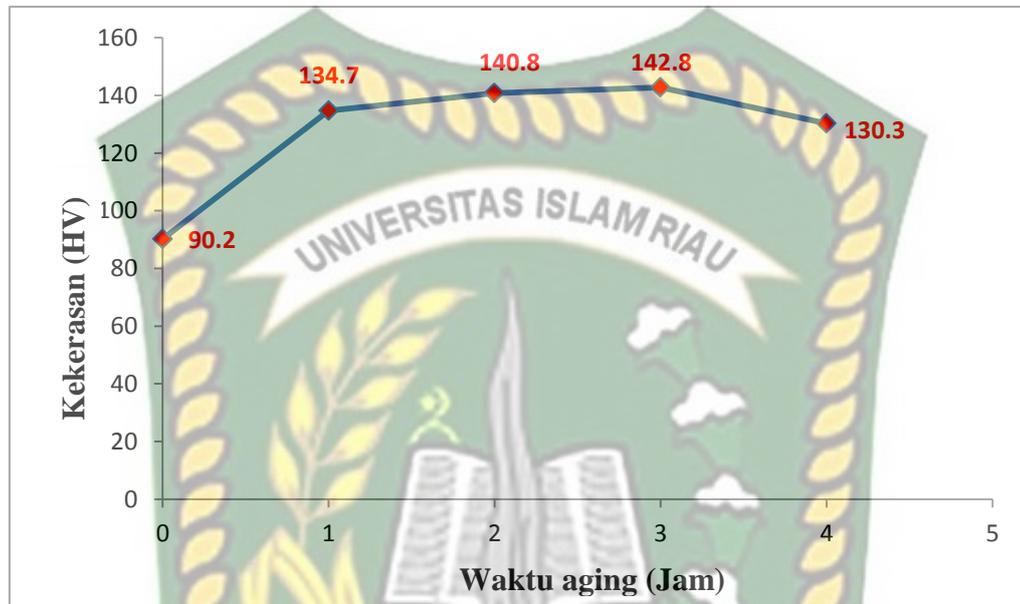
Spesimen yang diuji adalah material propeler berbahan aluminium paduan yang telah melalui proses aging, dengan waktu aging yang bervariasi yaitu tanpa perlakuan panas, 1, 2, 3 dan 4 jam. Nilai kekerasan material dapat dilihat dalam Tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Data Nilai Uji Kekerasan

Waktu Aging (Jam)	Kekerasan (HV)	Rata-Rata (HV)
Tanpa perlakuan panas	90,3	90,2
	90,0	
	90,2	
Aging 1 Jam	134,3	134,7
	133,8	
	136,0	
Aging 2 Jam	140,6	140,8
	141,2	
	140,7	
Aging 3 Jam	142,4	142,8
	144,7	
	141,2	
Aging 4 Jam	130,1	130,3
	132,1	
	128,8	

Setelah mengalami aging pada temperatur 180°C, kekerasan material meningkat dengan bertambahnya waktu hingga kekerasan maksimum diperoleh pada waktu aging 3 jam. Penambahan waktu aging menjadi 4 jam menyebabkan

kekerasan turun, namun nilainya masih lebih tinggi dibanding material tanpa aging. Grafik pengaruh waktu *aging* terhadap kekerasan material dapat dilihat pada Gambar 4.1



**Gambar 4.1** Grafik hasil uji kekerasan dan waktu aging

Dari grafik diatas dapat dilihat secara jelas peningkatan kekerasan material seiring bertambahnya waktu aging. Kekerasan maksimal dicapai pada waktu *aging* tiga jam yaitu 142,8 HV, namun kekerasan menurun ketika waktu aging lebih dari tiga jam hingga empat jam nilai kekerasan material menjadi 130,3 HV.

#### 4.4 Kekuatan Tarik

Sifat mekanis yang didapat dari pengujian tarik adalah kekuatan tarik, elastisitas material dan ketangguhan material. Sampel yang digunakan adalah material propeler yang sudah melewati proses perlakuan panas *aging* dengan waktu yang bervariasi.

Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Quality Control Politeknik Kampar menggunakan mesin uji tarik Hungta HT-8503 dengan standar pengujian ASTM E8. Pengolahan data uji tarik yaitu dengan cara mencatat langsung hasil uji

tarik yang ditampilkan oleh monitor mesin uji tarik. Hasil pengujian tarik dapat dilihat pada Tabel 4.4.

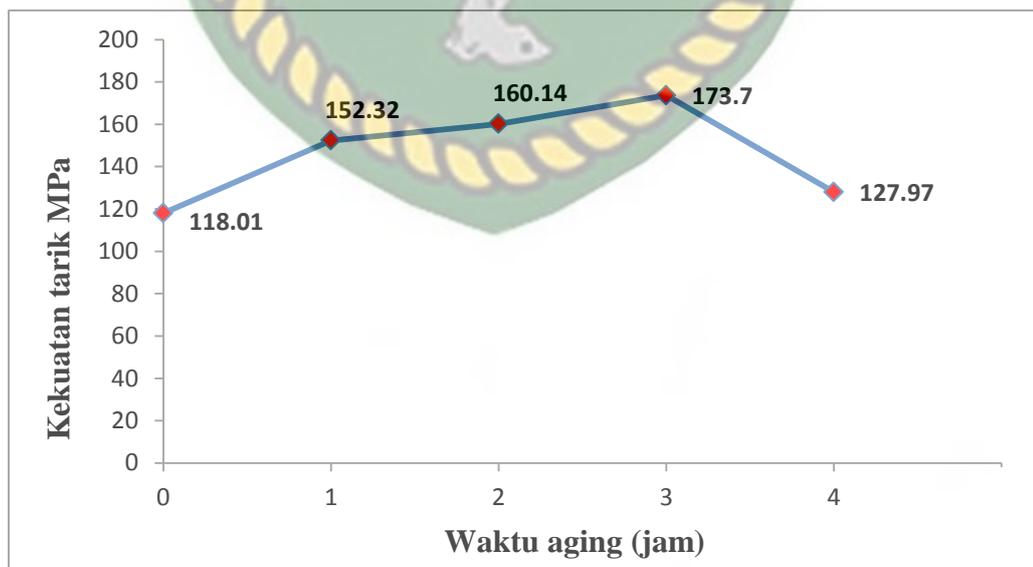
**Tabel 4.4** Data hasil uji tarik

Spesimen	Area (cm <sup>2</sup> )	Max.force (kgf)	0,2% Y.S (N/mm <sup>2</sup> )	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
No Aging	24,375	3037,6	89,83	118,01	2,1
Aging 1 Jam	25,460	3878,1	106,16	152,32	4,1
Aging 2 Jam	25,600	3910,5	141,84	160,14	4,2
Aging 3 Jam	25,740	4446,8	111,55	173,70	3,3
Aging 4 Jam	24,420	3119,4	87,20	127,97	2,7

Data yang didapat adalah Area, max force (gaya maksimum), 0,2% Y.S (tegangan luluh off-set pada 0,2%), tensile strength (kekuatan tarik) dan elongation (keuletan).

#### 4.4.1 Nilai kekuatan tarik

Kekuatan tarik (tensile strength) merupakan tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh material pada saat ditarik. Peningkatan kekuatan tarik pada material propeler hasil dari pengujian tarik dapat dilihat pada Gambar 4.2.

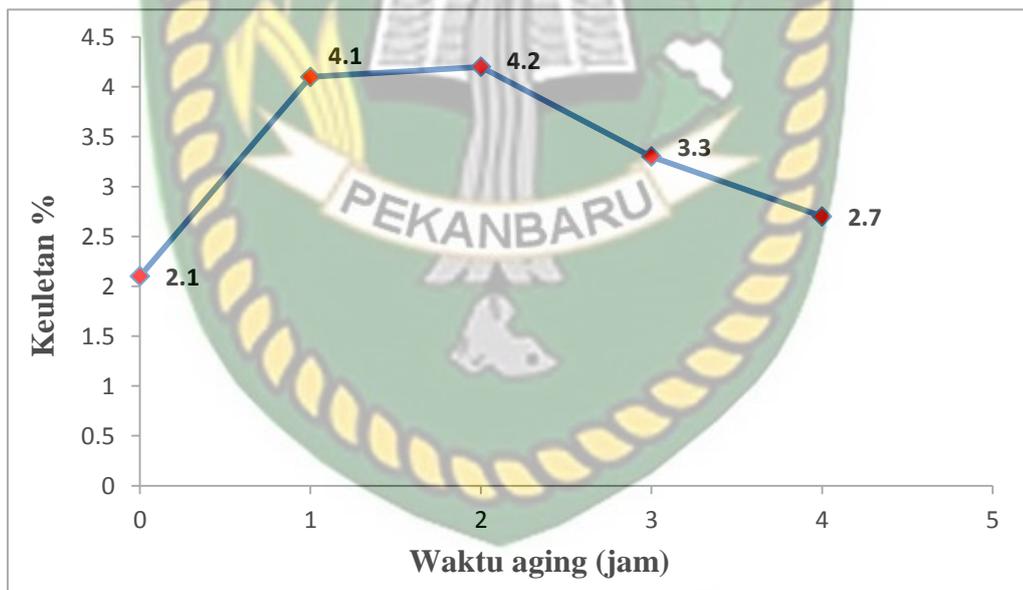


**Gambar 4.2** Grafik hasil uji tarik terhadap waktu aging

Dari Gambar 4.2 dapat dilihat kekuatan tarik terendah yaitu pada material tanpa perlakuan panas dengan nilai kekuatan tarik 118,01 MPa. Sedangkan untuk kakuatan tarik tertinggi yaitu pada aging 3 jam dengan kekuatan tarik 173,70 MPa. Kekuatan tarik terus meningkat seiring bertambahnya waktu aging hingga 3 jam. Namun setelah melebihi waktu aging 3 jam, kekuatan tarik menurun hingga 4 jam kekuatan tarik menjadi 127,97 MPa.

#### 4.4.2 Keuletan

Keuletan material dapat dilihat dengan dua sisi yaitu, dari persen elongasi dan persen reduksi area. Berdasarkan pengujian ini, keuletan material ditunjukkan dengan persen elongasi. Keuletan material propeler dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.3.



**Gambar 4.3** Grafik nilai keuletan terhadap waktu *aging*

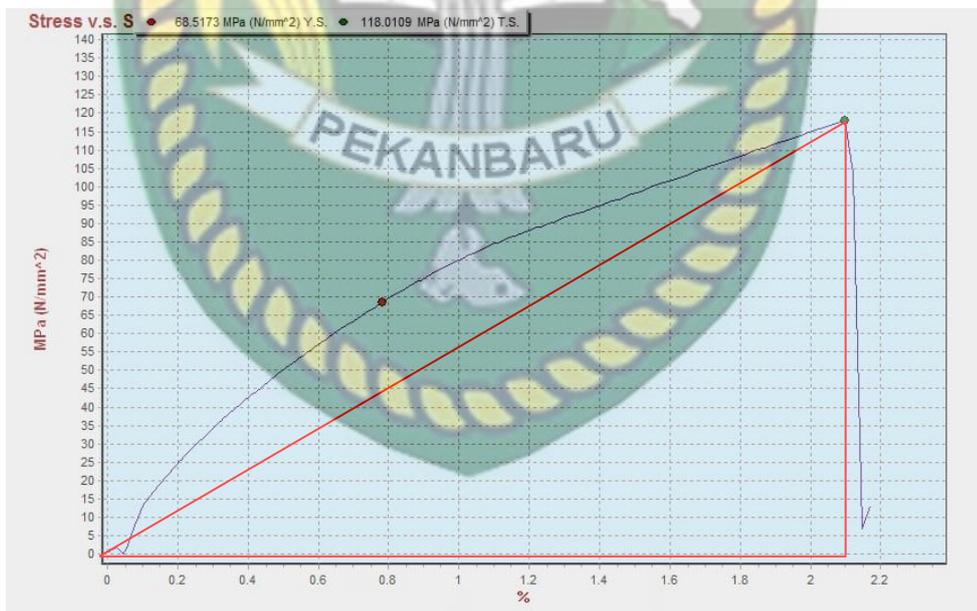
Dari Grafik 4.3 hasil uji tarik material yang memiliki keuletan yang paling tinggi adalah yang persen elongasinya paling tinggi. Dapat dilihat keuletan material propeler tanpa perlakuan panas adalah 2,1%. Setelah mengalami proses aging nilai keuletan terus meningkat hingga waktu aging 2 jam. Nilai keuletan

tertinggi yaitu 4,2% pada saat aging 2 jam. Keuletan makin menurun seiring dengan penambahan waktu lebih dari 2 jam.

#### 4.4.3 Ketangguhan

*Toughness* (ketangguhan) merupakan kapasitas material menyerap energi ketika fase plastis hingga material putus. Ketangguhan sama dengan luas daerah dibawah kurva.

Dalam penelitian ini, untuk menghitung luas daerah dibawah kurva adalah dengan mengasumsikan luas segitiga dan menghitung luas kotak-kotak diluar daerah segitiga, kemudian menjumlahkan luas segitiga dengan luas kotak-kotak diluar daerah segitiga. Hasil dari penjumlahan tersebut adalah nilai ketangguhan material propeler. Berikut ini merupakan grafik hasil dari pengujian tarik material tanpa perlakuan panas hingga waktu aging 4 jam.



**Gambar 4.4** Grafik kekuatan tarik terhadap elongasi tanpa perlakuan panas

Pada Gambar 4.4 menunjukkan spesimen tanpa perlakuan panas dengan nilai kekuatan tarik 118,01 MPa dan nilai keuletan 2,1%,. Dari grafik tersebut maka dapat ditentukan ketangguhan material dengan menghitung luas daerah dibawah kurva.

$$L\Delta = \frac{1}{2} \times \text{alas} \times \text{tinggi}$$

$$= \frac{1}{2} \times 0,021 \frac{m}{m} \times 118,01 \times 10^6 \frac{N}{m^2}$$

$$= 1,239 \times 10^6 \frac{J}{m^3}$$

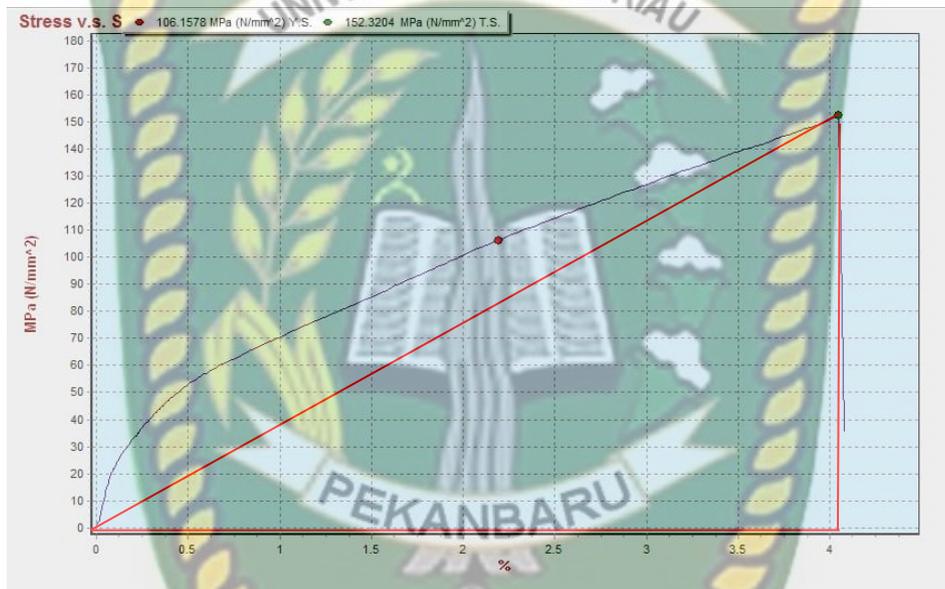
Jumlah kotak diluar segitiga : 32 kotak

$$L_{\text{persegi panjang}} = P \times L$$

$$= 32 \times 0,002 \frac{m}{m} \times 5 \times 10^6 \frac{N}{m^2}$$

$$= 0,32 \times 10^6 \frac{J}{m^3}$$

$$\text{Ketangguhan} = 1,239 \times 10^6 \frac{J}{m^3} + 0,32 \times 10^6 \frac{J}{m^3} = 1,559 \times 10^6 \frac{J}{m^3}$$



**Gambar 4.5** Grafik kekuatan tarik terhadap elongasi aging 1 jam

Pada Gambar 4.5 menunjukkan spesimen yang sudah melalui proses aging, dengan waktu aging 1 jam. nilai kekuatan tarik 152,3 MPa dan nilai keuletan 4,1%,.

$$L\Delta = \frac{1}{2} \times \text{alas} \times \text{tinggi}$$

$$= \frac{1}{2} \times 0,041 \frac{m}{m} \times 152,3 \times 10^6 \frac{N}{m^2}$$

$$= 3,122 \times 10^6 \frac{J}{m^3}$$

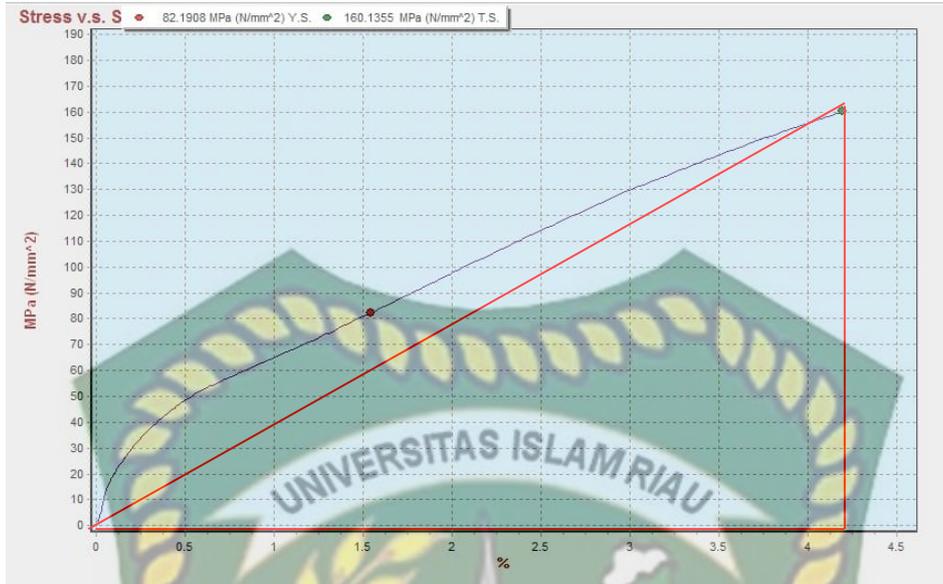
Jumlah kotak diluar segitiga : 17 kotak

$$L_{\text{persegi panjang}} = P \times L$$

$$= 17 \times 0,005 \frac{m}{m} \times 10 \times 10^6 \frac{N}{m^2}$$

$$= 0,85 \times 10^6 \frac{J}{m^3}$$

$$\text{Ketangguhan} = 3,122 \times 10^6 \frac{J}{m^3} + 0,85 \times 10^6 \frac{J}{m^3} = 3,972 \times 10^6 \frac{J}{m^3}$$



**Gambar 4.6** Grafik kekuatan tarik terhadap elongasi Aging 2

Pada Gambar 4.6 menunjukkan spesimen yang sudah melalui proses aging, dengan waktu aging 2 jam. Nilai kekuatan tarik 160,1 MPa dan nilai keuletan 4,2%,.

$$L\Delta = \frac{1}{2} \times \text{alas} \times \text{tinggi}$$

Jumlah kotak diluar segitiga : 16 kotak

$$= \frac{1}{2} \times 0,042 \frac{m}{m} \times 160,1 \times 10^6 \frac{N}{m^2}$$

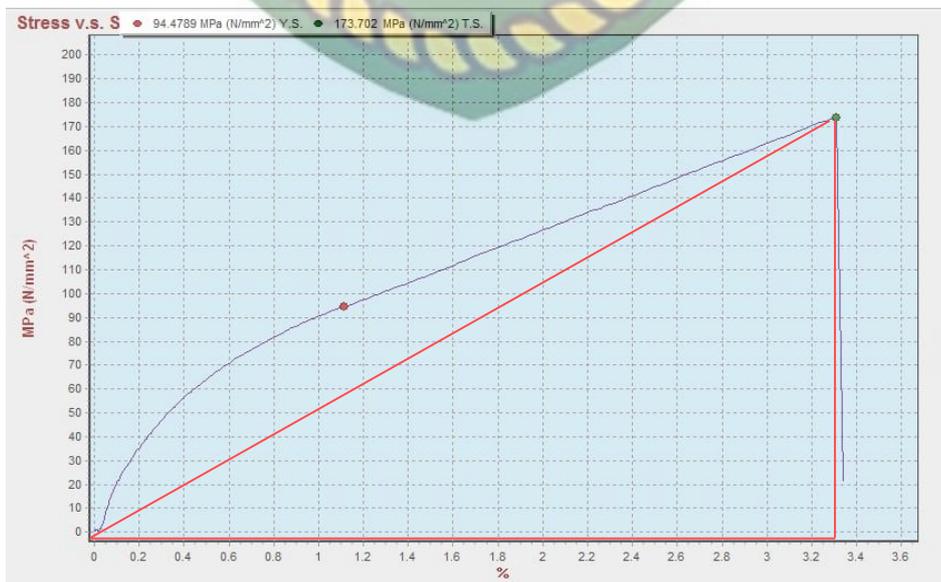
$$L_{\text{persegi panjang}} = P \times L$$

$$= 16 \times 0,005 \frac{m}{m} \times 10 \times 10^6 \frac{N}{m^2}$$

$$= 3,362 \times 10^6 \frac{J}{m^3}$$

$$= 0,8 \times 10^6 \frac{J}{m^3}$$

$$\text{Ketangguhan} = 3,362 \times 10^6 \frac{J}{m^3} + 0,8 \times 10^6 \frac{J}{m^3} = 4,162 \times 10^6 \frac{J}{m^3}$$



**Gambar 4.7** Grafik kekuatan tarik terhadap elongasi Aging 3

Pada Gambar 4.7 menunjukkan spesimen yang sudah melalui proses aging, dengan waktu aging 3 jam. Nilai kekuatan tarik 173,7 MPa dan nilai keuletan 3,3%,.

$$L\Delta = \frac{1}{2} \times \text{alas} \times \text{tinggi}$$

$$= \frac{1}{2} \times 0,033 \frac{m}{m} \times 173,7 \times 10^6 \frac{N}{m^2}$$

$$= 2,866 \times 10^6 \frac{J}{m^3}$$

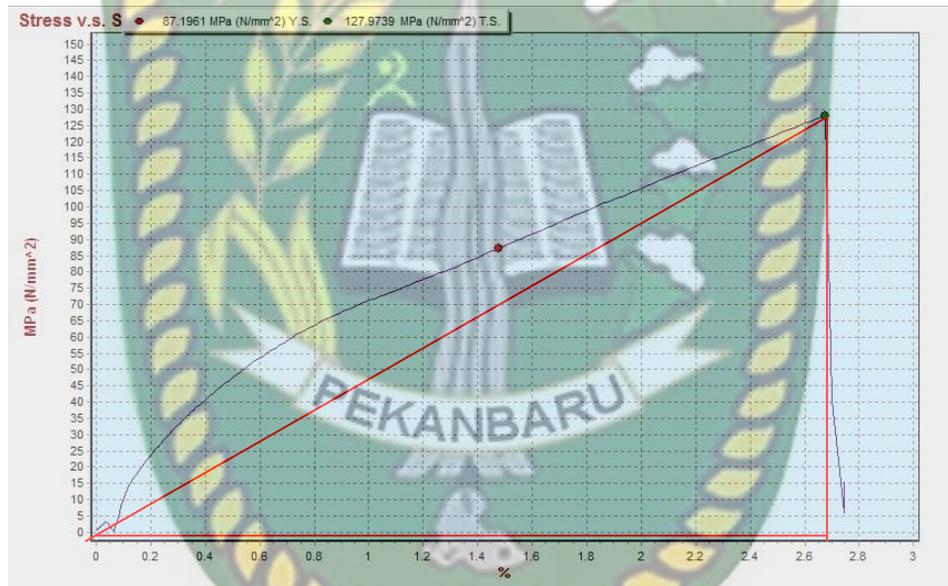
$$\text{Ketangguhan} = 2,866 \times 10^6 \frac{J}{m^3} + 0,76 \times 10^6 \frac{J}{m^3} = 3,626 \times 10^6 \frac{J}{m^3}$$

Jumlah kotak diluar segitiga : 38 kotak

$$L_{\text{persegi panjang}} = P \times L$$

$$= 38 \times 0,002 \frac{m}{m} \times 10 \times 10^6 \frac{N}{m^2}$$

$$= 0,76 \times 10^6 \frac{J}{m^3}$$



**Gambar 4.8** Grafik kekuatan tarik terhadap elongasi aging 4

Pada Gambar 4.8 menunjukkan spesimen yang sudah melalui proses aging, dengan waktu aging 4 jam. Nilai kekuatan tarik 127,9 MPa dan nilai keuletan 2,7%,.

$$L\Delta = \frac{1}{2} \times \text{alas} \times \text{tinggi}$$

$$= \frac{1}{2} \times 0,027 \frac{m}{m} \times 127,9 \times 10^6 \frac{N}{m^2}$$

$$= 1,727 \times 10^6 \frac{J}{m^3}$$

$$\text{Ketangguhan} = 1,727 \times 10^6 \frac{J}{m^3} + 0,4 \times 10^6 \frac{J}{m^3} = 2,127 \times 10^6 \frac{J}{m^3}$$

Jumlah kotak diluar segitiga : 40 kotak

$$L_{\text{persegi panjang}} = P \times L$$

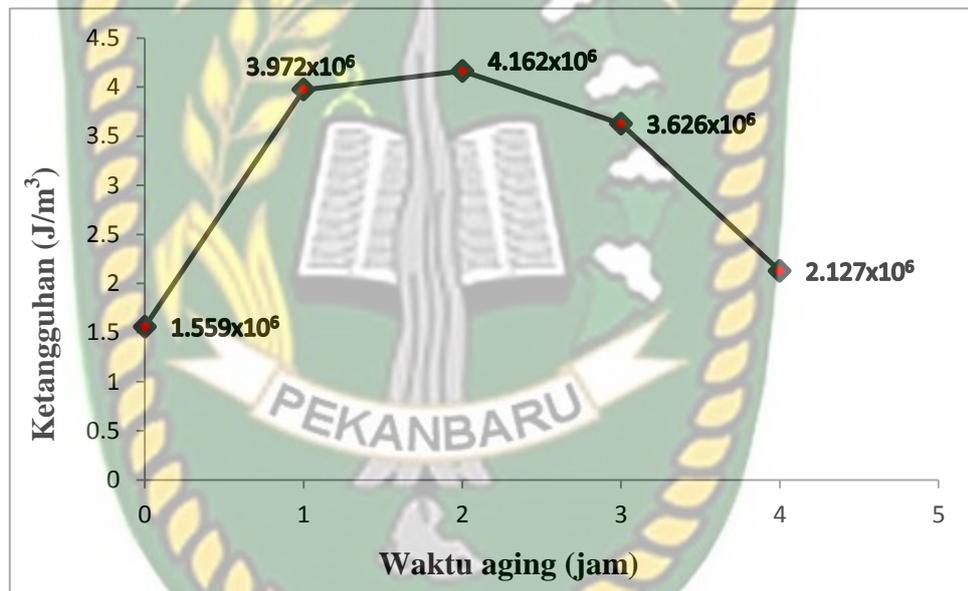
$$= 40 \times 0,002 \frac{m}{m} \times 5 \times 10^6 \frac{N}{m^2}$$

$$= 0,4 \times 10^6 \frac{J}{m^3}$$

Dari perhitungan diatas, maka diperoleh tabel hasil ketangguhan dan grafik dari material tanpa perlakuan panas hingga aging 4 jam sebagai berikut :

**Tabel 4.5** Data ketangguhan material propeler terhadap waktu aging

Waktu (jam)	Ketangguhan ( $J/m^3$ )
0	$1,559 \times 10^6$
1	$3,972 \times 10^6$
2	$4,162 \times 10^6$
3	$3,626 \times 10^6$
4	$2,127 \times 10^6$

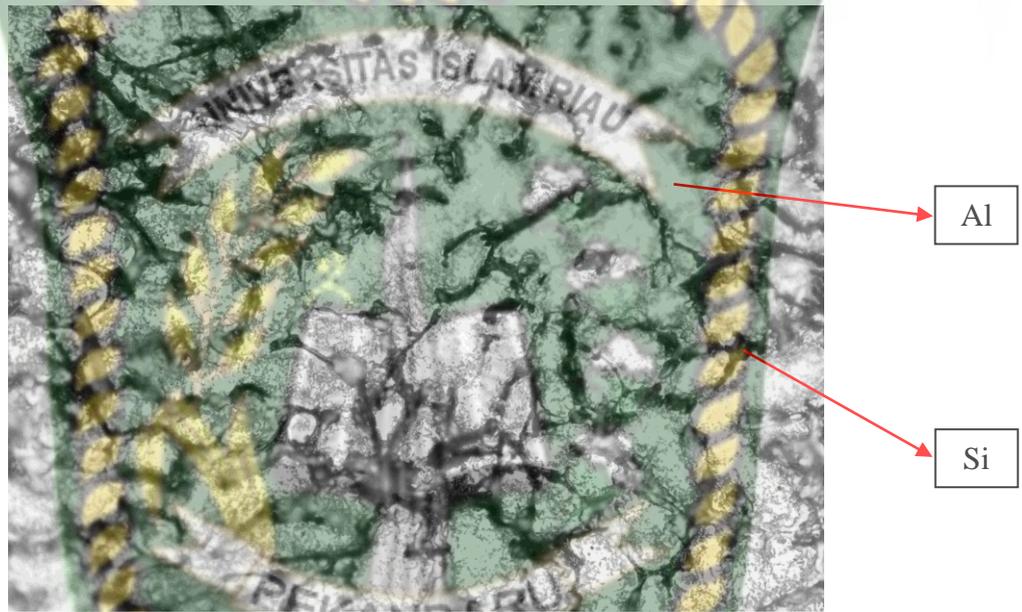


**Gambar 4.9** Grafik nilai ketangguhan material

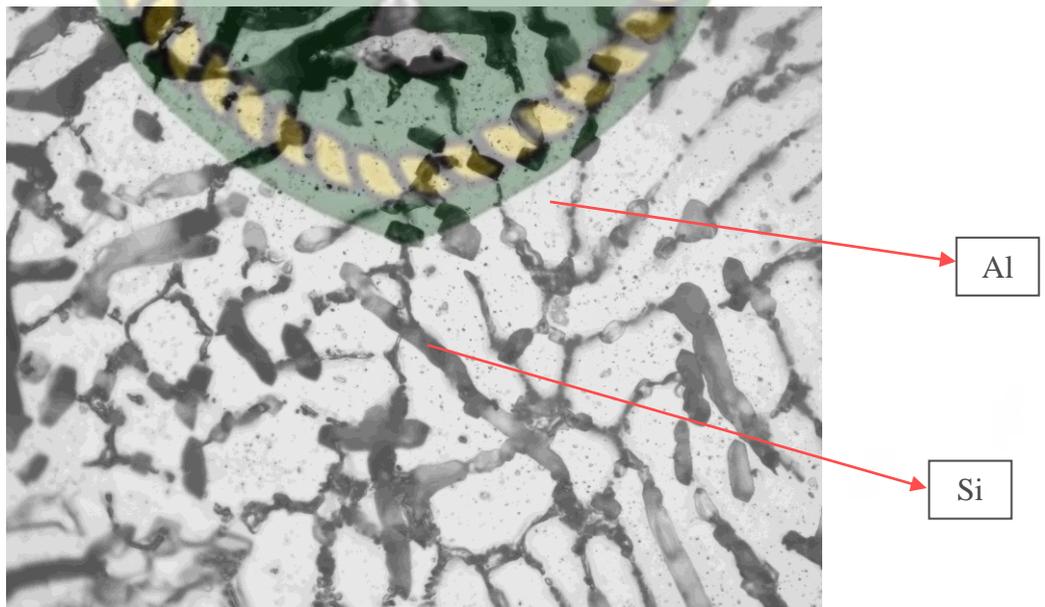
Nilai ketangguhan terendah adalah pada material tanpa perlakuan panas yaitu  $1,559 \times 10^6 J/m^3$ . Setelah melalui proses aging dengan waktu 1 jam, ketangguhan meningkat menjadi  $3,972 \times 10^6 J/m^3$ . Pada saat waktu aging 2 jam ketangguhan terus meningkat dengan nilai  $4,162 \times 10^6 J/m^3$ . Namun setelah melewati waktu 2 jam ketangguhan menurun hingga 3 jam menjadi  $3,626 \times 10^6 J/m^3$ . Kemudian diteruskan 4 jam ketangguhan semakin menurun menjadi  $2,127 \times 10^6 J/m^3$ . Oleh sebab itu ketangguhan maksimal diperoleh pada saat aging 2 jam.

#### 4.5 Pengamatan Struktur Mikro

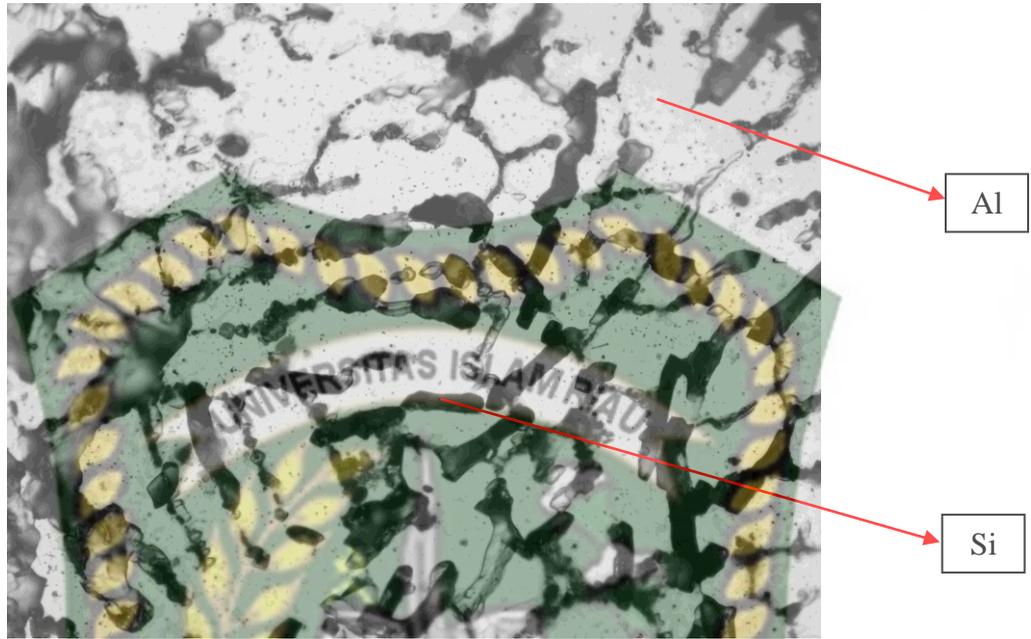
Proses pengamatan struktur mikro dilakukan dengan pembesaran 50x dan prosedur pengujian berdasarkan standard ASTM E3-01, berikut adalah gambar struktur mikro material propeler tanpa perlakuan panas dan material setelah proses aging dengan waktu yang bervariasi.



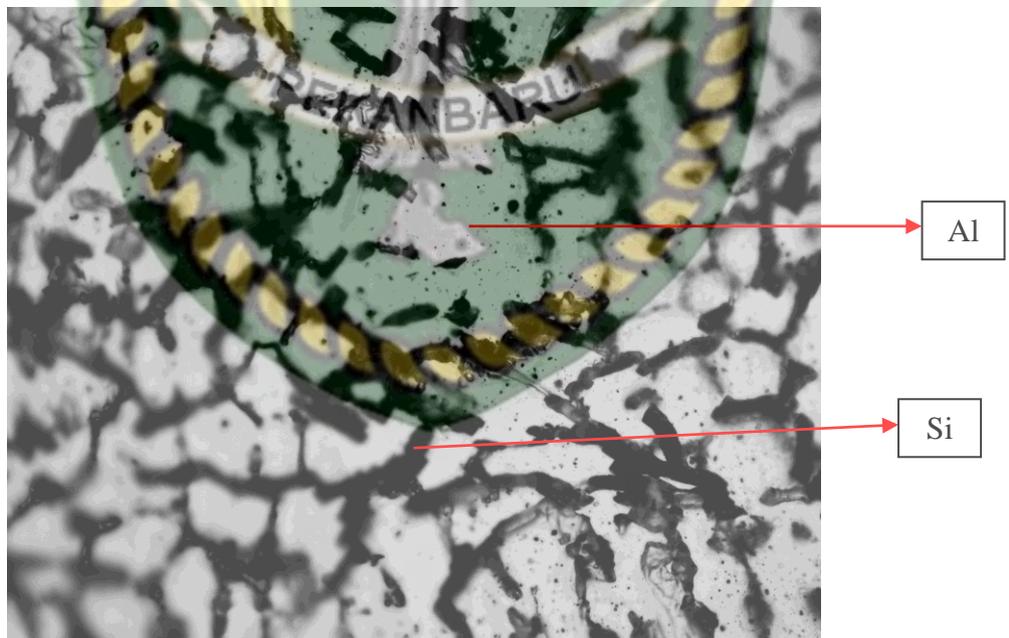
**Gambar 4.10** Material tanpa perlakuan panas



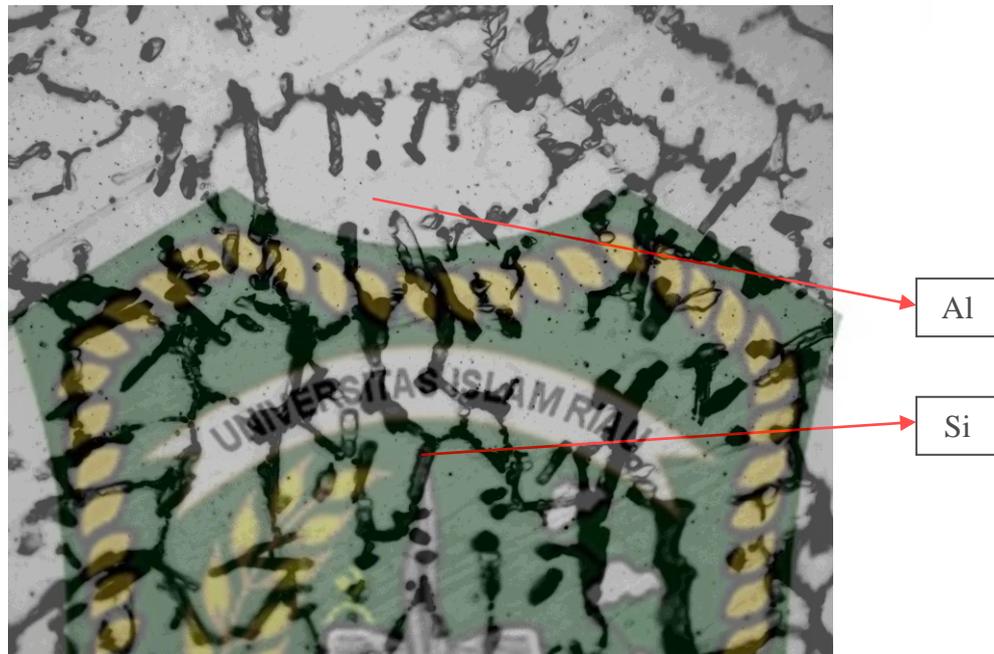
**Gambar 4.11** Waktu aging 1 jam



Gambar 4.12 Waktu aging 2 jam



Gambar 4.13 Waktu aging 3 jam



**Gambar 4.14** Waktu aging 4 jam

Berdasarkan pengamatan struktur mikro yang telah dilakukan, terdapat perbedaan antara struktur mikro material tanpa perlakuan panas hingga waktu aging 4 jam. Seiring bertambahnya waktu aging bentuk matrik Si menjadi tertata dan kelihatan lebih rapat, akan tetapi pada saat aging 4 jam bentuk struktur mikronya tidak lebih baik dengan waktu aging 3 jam.

#### **4.6 Pembahasan**

Proses aging menyebabkan kekerasan, kekuatan tarik, dan ketangguhan meningkat. Hal tersebut disebabkan karena perlakuan panas aging menyebabkan presepat bertambah halus dan jumlahnya juga bertambah banyak serta koheren terhadap matriknya, hal ini yang menyebabkan jarak antar partikel presepat semakin rapat. Presepat yang rapat inilah yang kemudian bertindak sebagai penghalang terjadinya dislokasi. Sehingga ketika terjadi deformasi maka akan sulit terjadi dislokasi. Dengan ukuran partikel presepat yang semakin halus dan banyak akibat penahan waktu aging menghasilkan peningkatan kekerasan, kekuatan tarik dan ketangguhan yang tinggi.

Jika waktu *aging* dibiarkan berlanjut pada temperatur tertentu, maka akan menyebabkan pengkasaran partikel, dalam artian partikel yang kecil akan cenderung larut kembali dan yang besar akan dapat bertambah besar. Ketika sampai kondisi ini presipitat akan menggabung dan menjadi inkoheren dengan matriknya. Pada keadaan tersebut material akan bertambah lunak. Inilah yang disebut dengan *over aging*. Sehingga pada pengujian ini, kekerasan dan kekuatan tarik dengan *aging* 3 jam didapat hasil yang paling optimum, namun ketangguhan optimum didapat pada waktu *aging* 2 jam. Sedangkan pada waktu *aging* 4 jam hasil kekerasan dan kekuatan tarik lebih rendah dibandingkan pada waktu *aging* 3 jam.

Proses meningkatkan kekuatan dengan *aging* dan penambahan unsur karbon itu berbeda. Jika meningkatkan kekuatan dengan penambahan unsur karbon maka kekerasan naik dan keuletan akan turun dikarenakan sifat karbon yang membuat paduan semakin getas. Namun berbeda halnya dengan proses *aging*, nilai kekerasan dan keuletan meningkat pada waktu 1 dan 2 jam disebabkan karena pada saat material aluminium paduan di *aging* proses yang terjadi adalah presipitat akan mengecil dan jumlahnya semakin banyak, dengan jumlah presipitat yang banyak tersebut maka akan dapat menghalangi dislokasi untuk bergerak dan pada kondisi itu terjadi tegangan, maka dalam keadaan tersebut kekerasan dan keuletan aluminium meningkat. Namun pada kondisi tertentu dimana presipitat dapat membesar, hal tersebut yang menyebabkan keuletan turun, itu yang terjadi pada waktu *aging* 3 jam dan 4 jam.

Jika dilihat dari struktur mikronya, proses *aging* menyebabkan perubahan bentuk struktur mikro pada material. Hal ini terlihat jelas pada material tanpa perlakuan panas dan waktu *aging* 1,2,3 dan 4 jam. Perubahan yang terjadi akibat proses perlakuan panas dimungkinkan karena pemanasan yang diberikan memberi peluang atom untuk bergerak dan menata letaknya, sehingga bentuk struktur atom setelah proses *aging* menjadi lebih tertata.

Penambahan waktu *aging* dapat memperbaiki susunan struktur mikronya. Hal ini terlihat pada gambar struktur mikro material tanpa perlakuan panas, waktu *aging* 1 jam, 2 jam dan 3 jam. Dimana pada waktu *aging* 3 jam diperoleh bentuk

struktur mikro Si-nya lebih tertata dan merata, dibandingkan pada material tanpa perlakuan panas dan waktu *aging* 1 dan 2 jam. Akan tetapi pada waktu *aging* 4 jam bentuk struktur mikronya tidak lebih baik dibandingkan pada waktu *aging* 3 jam.

Kondisi yang demikian itu dimungkinkan seiring penambahan waktu *aging* presipitat tumbuh dan bertambah banyak. Dan ketika temperatur *aging* sampai pada batas *peak aged* akan terbentuk presipitat metastabil. Hal tersebutlah yang menyebabkan struktur mikro dengan waktu *aging* 3 jam memiliki bentuk matrik Si yang lebih tertata. Hasil struktur mikro ini dapat memperkuat hasil pengujian kekerasan dan pengujian tarik, dimana seiring bertambahnya waktu *aging* kekerasan dan kekuatan tarik material propeler Al-Si menjadi meningkat.

Apabila dilihat dari aplikasi yang dibutuhkan adalah ketangguhan karena patahnya propeler yang paling sering terjadi itu disebabkan karena adanya benturan. Oleh karena itu waktu *aging* 2 jam yang paling sesuai, walaupun kekerasan dan kekuatan tariknya lebih rendah dari *aging* 3 jam tetapi nilai kekerasan dan kekuatan tarik *aging* 2 jam tidak jauh beda dengan *aging* 3 jam. Pada *aging* 3 jam nilai kekerasannya yaitu 142,8 HV dan kekuatan tariknya 173,7 MPa, sedangkan pada *aging* 2 jam nilai kekerasannya adalah 140,8 HV dan kekuatan tariknya 160,14 MPa.

Dan yang paling penting *aging* 2 jam lebih tinggi kekerasan dan kekuatan tariknya dibandingkan material sebelum *aging*. Material sebelum *aging* memiliki nilai kekerasan 90,2 HV dan kekuatan tariknya 118,01 MPa.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Material propeler mempunyai komposisi unsur dominan Al 91.1109%, Si 4.84029%, Cu 1.34844% dan Zn 1.16933%. Jika dilihat dari presentase unsur AL dan Si, jenis aluminium paduan ini dikategorikan kedalam aluminium paduan *casting alloy* dengan nomor seri mendekati 3xx.x (Al, Si, Cu). Komposisi tersebut jika dibandingkan dengan komposisi aluminium paduan standar ASM, maka akan mempunyai kemiripan dengan aluminium paduan seri 355.0.
2. Waktu aging dapat berpengaruh terhadap kekerasan, kekuatan tarik dan ketangguhan material propeler. Waktu aging 1,2 dan 3 jam menunjukkan kecenderungan menghasilkan nilai kekerasan dan kekuatan tarik meningkat, tetapi waktu aging lebih dari 3 jam dengan temperatur 180°C akan berpengaruh pada penurunan kekerasan dan kekuatan tarik material.
3. Nilai kekerasan dan kekuatan tarik tertinggi dicapai pada waktu aging 3 jam dengan nilai berturut-turut 142,8 HV dan 173,70 MPa, sedangkan ketangguhan tertinggi dicapai pada waktu aging 2 jam dengan nilai  $4,162 \times 10^6 \text{ J/m}^3$ .
4. Proses *artificial aging* menyebabkan perubahan bentuk struktur mikro material propeler paduan Al-Si baik pada aging 1, 2, 3 dan 4 jam. Pada waktu aging 3 jam diperoleh bentuk struktur mikro Si-nya lebih tertata dan merata, dibandingkan pada material tanpa perlakuan panas dan waktu aging 1 dan 2 jam. Hal tersebutlah yang membuat kekerasan dan kekuatan tarik material meningkat. Akan tetapi pada waktu aging 4 jam bentuk struktur mikronya tidak lebih baik dibandingkan pada waktu aging 3 jam.

5. Waktu aging 2 jam yang paling sesuai pada aplikasi patahnya propeler, karena pada waktu aging 2 jam memiliki ketangguhan tertinggi.

## 5.2 Saran

Peneliti menyadari bahwa masih banyak permasalahan tentang peningkatan sifat mekanis propeler dengan *aging treatment*, oleh karena itu penulis memberikan saran sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan berbagai variasi pengujian yang lain dapat diterapkan pada material propeler untuk memperoleh hasil yang sesuai dengan aplikasi patahnya propeler seperti menambahkan pengujian impak.
2. Penelitian selanjutnya hendaknya memvariasikan metode pendinginan setelah solution treatment, dengan air asin, oli dan air tawar.
3. Perlu adanya penelitian tentang korosi pada propeler berbahan aluminium, karena patahnya propeler salah satunya dapat disebabkan karena korosi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Eva, dkk. 2012. *Analisis Sifat Fisis Dan Mekanis Alumunium Paduan Al-Si-Cu Dengan Menggunakan Cetakan Pasir*. Surakarta.
- Dewa H. 2017. *Pengaruh aging treatment terhadap sifat mekanis paduan aluminium 6061* [skripsi]. Riau: Universitas Islam Riau.
- Raharjo, Solichan.2005. *Analisa Karakterisasi Pada Limbah Velg Dan Bokstransmisi Mobil*. Semarang.
- Dedi I. 2008. *Pengaruh unsur Mn pada paduan Al-12wt%Si terhadap sifat fisik dan mekanik lapisanintermetalik padafenomena DIE* [skripsi]. Jakarta: Universitas Indonesia
- Suyanto dkk. 2018. *Pengaruh waktu aging terhadap sifat mekanis paduan aluminium cor A356 sebagai bahan propeler kapal*. Momentum. 14(2):17-22
- Suyanto dkk. 2018. *Analisis sifat mekanis propeler perahu nelayan tradisional berbahan aluminium*. Momentum. 14(1):33-38
- Zulfia dkk. 2010. *Proses Penuaan (Aging) Pada Paduan Aluminium AA 333 Hasil Proses Sand Casting*. Jurnal Teknik Mesin. Vol.12.No.1:13-20
- Abdillah. 2012. *Pengaruh Waktu Penahanan Artificial Aging Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Coran Paduan Al-7%Si*. Gardan. Vol.1.No.12
- Salindeho dkk. *Pemodelan Pengujian Tarik Untuk Menganalisis Sifat Mekanik Material*. [Jurnal] Teknik Mesin Sam Ratulangi
- Mandala dkk. 2016. *Struktur Mikro dan Sifat Mekanis Aluminium (Al-Si) Pada Proses Pengecoran Menggunakan Cetakan Logam, Cetakan Pasir dan Cetakan Castable*. Poros. Vol.14.No.2:88-98
- Fuad. 2010. *Perlakuan Panas Paduan Al-Si Pada Prototipe Piston Berbasis Material Piston Bekas* [Tesis]. Semarang. Universitas Diponegoro

Ahmad A. 2012. *Pengaruh proses tempering dan proses pengerolan di bawah dan di atas temperatur rekristalisasi pada baja karbon sedang terhadap kekerasan dan ketangguhan serta struktur mikro untuk mata pisau pemanen sawit*. Jurnal e-Dinamis, II(2)

Arief M. 2012. *Pengaruh quenching dan tempering terhadap Kekerasan dan kekuatan tarik serta struktur mikro Baja karbon sedang untuk mata pisau pemanen sawit*. Jurnal e-Dinamis,II(2)

R.E. Smallman. 2003. *metalurgi fisik modern & rekayasa material*. Jakarta: Penerbit Erlangga

[Robert E. Reed-Hill](#). 1973. *Physical Metallurgy Principles*. PWS Engineering

R.C Hibbeler 2005. *Mechanics Of Materials. Eighth Edition*. Pearson

William D. Callister, Jr. *Materials Science And Engineering*. Seventh Edition. 2007. *Department Of Metallurgical Engineering The University Of Utah*

