



## PENGARUH VARIASI HOLDING TIME TERHADAP MIKROSTRUKTUR DAN SIFAT MEKANIK AA 6061-T6

Devi Eka Septiyani A<sup>1</sup>, Waluyo Bintoro<sup>2</sup>, Elfiah Fadhilah Zen<sup>2</sup>, Dibyo Setiawan<sup>2</sup>, Destri Muliastri<sup>2a</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Sarjana Terapan Teknik Perancangan dan Konstruksi Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung

<sup>2</sup>Program Studi Sarjana Terapan Proses Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung

Korespondensi:

<sup>a</sup> Program Studi Sarjana Terapan Proses Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung

alamat email :  
destri.muliastri@polban.ac.id

### ABSTRAK

Aluminium Alloy 6061 merupakan jenis Aluminium seri 6xxx yang memiliki sifat mekanik baik seperti ketahanan leleh, keuletan, ringan, mampu mesin, dan kemampuan bentuk yang tinggi. Akan tetapi, Aluminium Alloy memiliki kelemahan dari segi kekuatan yang lebih rendah jika dibandingkan dengan Aluminium seri 2xxx dan 7xxx. Sehingga dapat dioptimalkan, salah satunya melalui proses perlakuan panas T6. Proses ini dimulai dengan tahap *solution treatment* pada suhu 540°C selama 1 jam dan *quenching* menggunakan air. Selanjutnya, dilakukan *artificial aging* pada suhu 165°C dengan variasi waktu penahanan 1 jam, 3 jam, 5 jam, dan 7 jam. Penelitian ini bertujuan untuk mengamati perubahan kekuatan dan kekerasan Aluminium Alloy 6061 sebelum dan setelah *age hardening*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tarik dan kekerasan optimum tercapai pada waktu penahanan 5 jam, dengan kekuatan tarik 293,9 MPa dan kekerasan 109 HV. Namun, pada penahanan 7 jam, kekuatan tarik menurun menjadi 727,2 MPa dan kekerasan menjadi 70,2 HV. Pada kondisi tersebut material mengalami *overaging*.

**Kata kunci:** Aluminium Alloy 6061; *artificial aging*; *age hardening*

### ABSTRACT

Aluminum alloy 6061 is a type of 6xxx series aluminum which has good mechanical properties such as fatigue resistance, ductility, light weight, machinability and high formability. However, aluminum alloy has a weakness in terms of lower strength when compared to the 2xxx and 7xxx series aluminum. So that it can be optimized, one of which is through the T6 heat treatment process. This process begins with the solution treatment stage at 540°C for 1 hour and quenching using water. Furthermore, artificial aging was carried out at 165°C with variations in holding time of 1 hour, 3 hours, 5 hours, and 7 hours. This study aims to observe changes in the strength and hardness of alloy 6061 before and after age hardening. The results showed that the optimum tensile strength and hardness were achieved at a holding time of 5 hours, with a tensile stress of 293.9 MPa and a hardness of 109.0 HV. However, at 7 hours holding, the tensile strength decreased to 727.2 MPa and the hardness became 70.2 HV. This condition called overaging.

**Keywords:** Aluminium Alloy 6061; artificial aging; age hardening

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang pesat dan peningkatan proses produksi telah menyebabkan peningkatan kebutuhan akan logam, termasuk logam *non-ferrous* seperti Aluminium [1]. Aluminium merupakan material tahan korosi, keuletan tinggi, konduktivitas panas dan listrik yang baik. Sifat penting dari Aluminium adalah material yang ringan dengan densitas sebesar  $2.7 \text{ g/cm}^3$ . Aluminium termasuk salah satu logam yang mudah dilakukan proses pengerjaan manufaktur seperti proses pembentukan dan pengecoran. Aluminium alloy mempunyai sifat mampu cor yang baik seperti titik leleh yang rendah, derajat fluiditas yang tinggi pada tahap *molten stage* dan rendahnya penyusutan material pada saat tahap pendinginan (*solidification*) [2].

Penggunaan Aluminium dalam industri pesawat, otomotif dan konstruksi semakin luas karena karakteristik atau sifat yang dimilikinya. Khususnya Aluminium seri 6xxx telah banyak dikembangkan karena kekuatan medium, mampu bentuk, mampu las, dapat dilakukan proses pemanasan (*heat treatable*) ketahanan korosi, dan biaya yang relative murah dibandingkan paduan Aluminium lainnya [3], [4]. Salah satu penggunaannya pada velg mobil, Aluminium Alloy 6061 digunakan sebagai bahan utama karena memiliki kekuatan tinggi yang diperlukan untuk menahan gaya dan tegangan yang dihasilkan oleh berat kendaraan dan penumpangnya [5]. Namun demikian, Aluminium Alloy 6061 memiliki kekuatan tarik yang relatif lebih rendah jika dibandingkan dengan Aluminium seri 2xxx dan 7xxx, ASTM B221.

Penggunaan Aluminium Alloy di berbagai industri memiliki karakteristik kekuatan yang berbeda sehingga dibutuhkan sebuah proses untuk meningkatkan sifat mekanik dari Aluminium Alloy [6]. Kekuatan tarik Aluminium Alloy 6061 dapat dioptimalkan melalui proses perlakuan panas atau dengan menambahkan unsur padu. Pada Aluminium Alloy 6061 terdiri dari berbagai unsur paduan utama seperti magnesium (Mg), silikon (Si), besi (Fe), tembaga (Cu), mangan (Mn), seng (Zn), titanium (Ti), nikel (Ni), chromium (Cr), vanadium (V) dan unsur padu lainnya [7].

Proses perlakuan panas pada Aluminium dapat dilakukan dengan proses *age hardening* yaitu solution treatment, kemudian di quenching dan dilanjutkan dengan proses aging baik itu natural aging maupun artificial aging [3], [8]. Melalui proses *age hardening* ini maka akan terbentuk presipitat baru dengan ukuran dan sebaran yang homogen yang dapat meningkatkan sifat mekanik dari Aluminium Alloy [9]. Temperatur dan waktu penahanan (*holding time*) dalam proses *age hardening* dapat mempengaruhi tingkat kekerasan dan kekuatan material tersebut.

Penelitian yang dilakukan oleh Miftah Nasrullah (2018) menggunakan proses pemanasan T6 pada Aluminium Alloy 6061. Penelitian tersebut menggunakan suhu  $300^\circ\text{C}$  untuk proses solution treatment dengan waktu penahanan selama 1 jam. Sedangkan pada proses artificial aging menggunakan temperatur pemanasan sebesar  $150^\circ\text{C}$  dengan variasi holding time yang berbeda, yaitu 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, dan 5 jam. Hasil penelitian tersebut dapat diartikan bahwa semakin lama waktu penahanan pada proses aging, kekerasan Aluminium Alloy 6061 semakin menurun atau lunak [10].

Pada tahun yang sama, Imam dkk melakukan penelitian yang serupa yaitu melakukan pemanasan T6 pada Aluminium 6061. Pada penelitian ini suhu *solution treatment* yang digunakan yaitu  $450^\circ\text{C}$  selama 15 menit, kemudian diquenching dengan media pendingin berupa oli. Selanjutnya diberi perlakuan panas kembali pada suhu  $190^\circ\text{C}$  dengan variasi holding time 1 jam, 5 jam, dan 11 jam. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kekerasan pada material Aluminium 6061 dan mencapai puncaknya pada waktu penahanan 5 jam. Sedangkan ketika waktu penahanan diperpanjang menjadi 11 jam, nilai kekerasan kembali menurun [11].

Erik Kurniawan (2018), melakukan pemanasan terhadap Aluminium paduan 6061 dengan temperatur  $300^\circ\text{C}$  dan dilakukan penahanan selama 1 jam. Pada penelitian ini berfokus pada variasi temperatur dalam proses *age hardening* yaitu  $30^\circ\text{C}$ ,  $100^\circ\text{C}$ ,  $150^\circ\text{C}$ ,  $200^\circ\text{C}$  selama 1 jam. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa terjadi kenaikan kekerasan seiring peningkatan temperatur pada proses artificial aging. Kekerasan mencapai nilai tertinggi pada saat pemanasan dengan suhu  $150^\circ\text{C}$  dan kembali menurun ketika temperatur dinaikan menjadi  $175^\circ\text{C}$  dan  $200^\circ\text{C}$  [12].

Berdasarkan tiga penelitian tersebut diketahui bahwa proses *age hardening* dengan *artificial aging* pada Aluminium efektif dapat meningkatkan sifat mekanik dibandingkan sebelum proses *age hardening*. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Paksi, Cristian dkk (2021) melakukan perlakuan panas T6 pada material Aluminium 6063. Pada penelitian tersebut, Aluminium Alloy 6063 menjalani proses *solution*

*treatment* pada suhu 520°C dengan waktu penahanan selama 60 menit. Setelah itu, material didinginkan menggunakan air. Selanjutnya, dilakukan proses artificial aging pada suhu 155°C dan 175°C dengan waktu penahanan selama 8 jam. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa spesimen uji yang mengalami perlakuan panas menunjukkan peningkatan nilai kekuatan tarik dibandingkan dengan spesimen uji tanpa perlakuan panas [13].

Dalam penelitian ini, dilakukan proses perlakuan panas T6 pada material Aluminium Alloy 6061 sebagai tindak lanjut dari penelitian terdahulu. Pada Penelitian ini lebih difokuskan untuk mengetahui dan menganalisis perubahan struktur mikro sebelum dan sesudah dilakukan proses *age hardening* terhadap material Aluminium Alloy 6061, dimana akan mempengaruhi kekuatan, dan kekerasan material Aluminium Alloy 6061. Proses ini meliputi *solution treatment*, *quenching*, dan *artificial aging* dengan variasi waktu penahanan selama 1, 3, 5, dan 7 jam. Pemberian variasi waktu penahanan/*holding time* bertujuan untuk mengetahui terjadinya presipitasi sehingga dapat menentukan waktu penahanan optimum terhadap sifat mekanik dari material Aluminium Alloy 6061 sehingga dapat mengetahui terjadinya *overaging*. Pada proses *artificial aging efektif* meningkatkan kekerasan dan kekuatan pada material Aluminium Alloy 6061 dalam waktu yang cepat dibandingkan dengan *natural aging* [14].

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1 Material

Material yang digunakan pada penelitian ini yaitu Aluminium Alloy 6061 berbentuk as rod atau silinder pejal dengan diameter 10 mm dan 50,8 mm (khusus untuk pengujian komposisi kimia. Paduan Aluminium ini terdiri dari berbagai unsur paduan utama seperti magnesium (Mg), silikon (Si), besi (Fe), tembaga (Cu), mangan (Mn), seng (Zn), titanium (Ti), nikel (Ni), Aluminium (Al), dan unsur pepadu lainnya. Adapun komposisi unsur paduan Aluminium Alloy 6061 dari hasil uji spektrometri dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1. Komposisi Unsur Kimia AA-6061**

Unsur	Wt%
Silicon (Si)	0,5080
Ferron (Fe)	0,3478
Copper (Cu)	0,2596
Manganese (Mn)	0,0474
Magnesium (Mg)	0,8998
Zinc (Zn)	0,0697
Titanium (Ti)	0,0399
Cromium (Cr)	0,0701
Nickel (Ni)	0,0067
Plumbun (Pb)	0,0057
Tin (Sn)	0,0045
Natrium (Na)	0,0007
Antimony (Sb)	0,0059
Aluminium (Al)	97,7342

### 2.2 Spesimen Uji

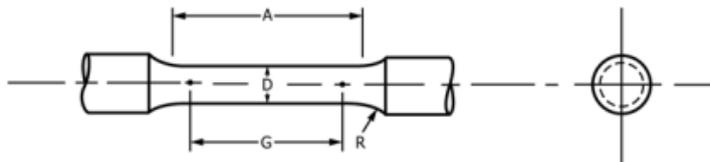
Material *as rod* Aluminium Alloy 6061 berdiameter 10 mm yang telah disiapkan, dilakukan proses pembuatan spesimen untuk pengujian mikrostruktur, uji keras dan uji tarik. Proses pembuatan spesimen untuk uji keras dan mikrostruktur adalah sama, yaitu diameter dan ketebalan spesimen sebesar 10 mm. Tahap berikutnya spesimen tersebut dilakukan proses *age hardening* T6 seperti yang dijelaskan pada sub-bab 2.3. Selanjutnya spesimen yang telah dipanaskan, dilakukan proseses pengamplasan, polishing, pengetsaan dengan larutan HF + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + Air dengan waktu penahanan selama 2 menit. Tahap terakhir yaitu pengambilan gambar mikrostruktur dan pengujian keras.

Pembuatan spesimen untuk uji tarik berdasarkan pada standar ASTM E8, dengan dimensi seperti yang ditampilkan pada Tabel 2. Bentuk spesimen uji tarik untuk benda berbentuk silinder (*round bar*), lebih jelas

dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini. Tahap berikutnya spesimen tersebut dilakukan proses age hardening T6 seperti yang dijelaskan pada sub-bab 2.3.

**Tabel 2. Standar Dimensi Spesimen Uji Tarik berdasarkan ASTM E8**

Parameter	Dimensi (mm)
G - Gauge length	$24 \pm 0.1$
D - Diameter	$6.0 \pm 0.1$
R - Radius of fillet, min	6
A - Length of reduced parallel section, min	30



**Gambar 1. Spesimen Uji Tarik berdasarkan ASTM E8**

### 2.3 Proses Perlakuan Panas (*Age Hardening*)

Proses perlakuan panas yang digunakan yaitu T6 yang dimulai dengan proses *solution treatment*, *quenching* dan *artificial aging* [15]. Pada proses *solution treatment* spesimen uji dimasukkan ke dalam tungku pemanas dengan suhu  $540^{\circ}\text{C}$  dengan waktu *holding time* 1 jam. Proses ini bertujuan agar mendapatkan larutan padat yang homogen seutuhnya yaitu pada fasa  $\alpha$  pada Aluminium Alloy 6061 tersebut. Selanjutnya, material Aluminium Alloy 6061 memasuki tahap *quenching* atau pendinginan cepat dengan menggunakan media air. Media air sangat tepat digunakan untuk logam lunak seperti Aluminium. *Quenching* bertujuan agar tetap dalam kondisi fasa  $\alpha$  dan atom-atom tidak berdifusi membentuk fasa lain yang tidak diinginkan. Tahap berikutnya adalah proses *artificial aging*. *Artificial aging* yaitu proses penuaan material dengan cara memanaskan kembali material setelah proses *quenching*. Spesimen uji tersebut dilakukan pemanasan kembali pada tungku pemanas dengan suhu  $165^{\circ}\text{C}$  dengan waktu *holding time* yang bervariasi yaitu 1 jam, 3 jam, 5 jam dan 7 jam. Setelahnya, material Aluminium tersebut dilakukan pendinginan dengan udara pada temperatur ruang.

### 2.4 Metode Analisis

Analisis sifat mekanik dari material Aluminium Alloy 6061 yang telah dilakukan proses *age hardening*, T6, yaitu dengan pengujian tarik, pengujian kekerasan, dan mikrostruktur. Pengujian tarik dan kekerasan dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik dari material AA-6061 yaitu kekuatan dan kekerasan sebelum dan setelah proses *age hardening*, T6. Sedangkan mikrostruktur bertujuan untuk mengetahui perubahan fasa yang terjadi setelah dilakukan proses *age hardening*, T6.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan dibahas secara mendetail hasil dari proses age hardening, T6, terhadap material AA 6061 dengan variasi holding time 1, 3, 5, dan 7 jam.

### 3.1 Pengaruh Variasi Holding Time Terhadap Sifat Mekanik AA 6061

Pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik maksimum, kekuatan luluh, resilen dan keuletan pada material AA 6061 sebelum dan setelah proses age hardening. Pada saat proses pengujian tarik, material aluminium akan mengalami pemanjangan, terjadi necking setelah melebihi tegangan maksimumnya

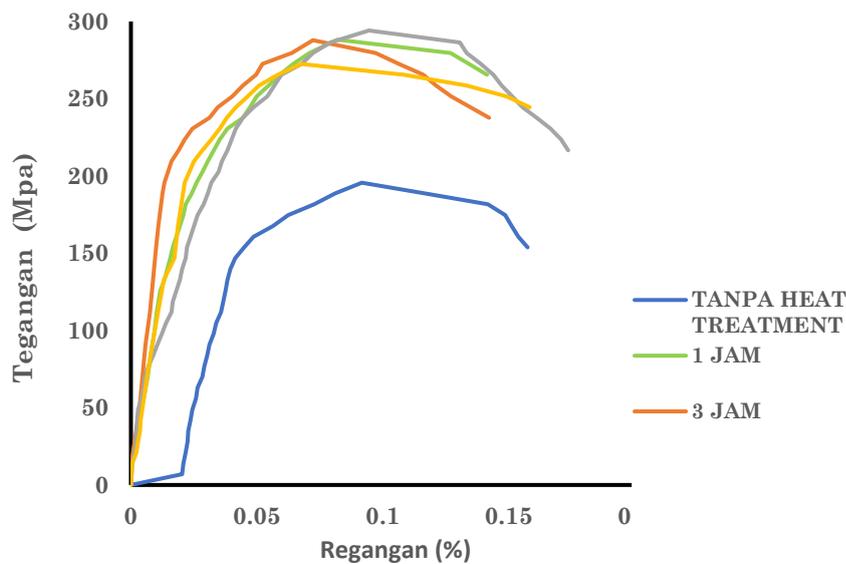
dan akhirnya patah, seperti yang terlihat pada Gambar 2. Hasil dari pengujian tarik dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 3 dibawah ini.



Gambar 2. Hasil pengujian Tarik pada specimen AA – 6061

Tabel 3. Data Hasil Uji Tarik Aluminium Alloy 6061

Spesimen Uji	Age	Holding Time (Jam)	Yield Strength (Mpa)	Ultimate Strength (Mpa)	Resilen	Keuletan (%)
Tanpa Hardening	Age		118.7	195.4	2.2	15.8
		1	157.0	287.9	1.4	14.1
Age Hardening	Age	3	209.4	287.6	1.7	14.2
		5	237.3	293.9	5.2	17.4
		7	172.7	272.2	1.5	15.8



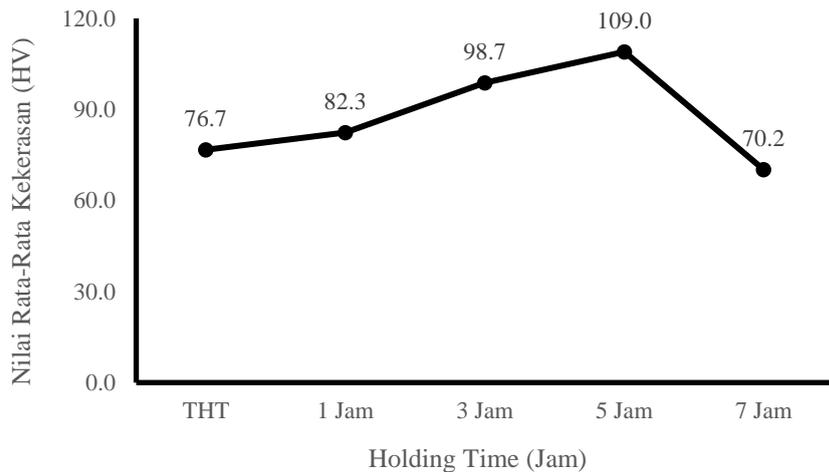
Gambar 3. Grafik Tegangan Tarik Terhadap Regangan pada AA-6061

Dari hasil pengujian tarik tersebut dapat dilihat bahwa kekuatan tarik dan *yield strength* material Aluminium 6061 tertinggi yaitu spesimen pada temperatur 165°C dengan waktu tahan (*holding time*) 5 jam sebesar 293.9 MPa dengan nilai *yield strength* sebesar 237.3 MPa. Selain itu, nilai keuletan dan resilen mencapai puncaknya pada spesimen dengan waktu penahanan (*holding time*) 5 jam. Hal ini menunjukkan bahwa keuletan dan energi yang diserap oleh material meningkat serta mencapai tingkat optimum. Tetapi ketika waktu penahanan diperpanjang menjadi 7 jam, nilai tegangan tarik maksimum kembali menurun yaitu sebesar 272. 2 MPa dan *yield stenght* sebesar 172.7 MPa.

Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan pada material AA 6061 sebelum dan setelah proses age hardening. Hasil dari pengujian kekerasan dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 4 dibawah ini.

**Tabel 4.** Nilai Kekerasan Pada Material AA-6061 Sebelum & Sesudah *Age Hardening*

Sampel Uji	Holding Time (Jam)	Nilai Kekerasan (HV)			Rata – Rata Nilai Kekerasan (HV)
		Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	
Tanpa Age Hardening	-	76.8	76.8	76.4	76.7
Dengan Age Hardening	1 Jam	79.3	84.1	83.6	82.3
	3 Jam	98.9	98.5	98.8	98.7
	5 Jam	109.1	109.4	108.5	109
	7 Jam	70.6	69.9	70	70.2

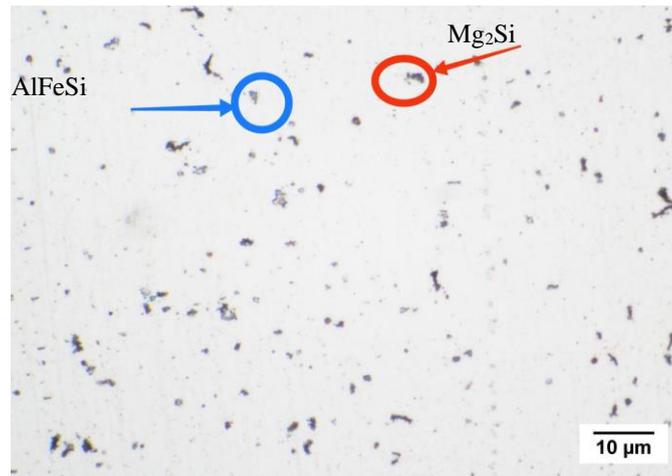


**Gambar 4.** Grafik nilai rata – rata hasil pengujian keras dengan metode *micro hardnessvickers*

Berdasarkan Tabel 4 dan grafik kekerasan Aluminium Alloy 6061 pada Gambar 4, nilai kekerasan material Aluminium Alloy 6061 meningkat seiring dengan penambahan *holding time*. Nilai kekerasan optimum terdapat pada sampel dengan variasi *holding time* selama 5 jam pada proses *artificial aging* yaitu 109.0 HV. Sedangkan ketika waktu penahanan ditingkatkan menjadi 7 jam, kekerasan pada material aluminium alloy 6061 kembali menurun menjadi 70.2 HV.

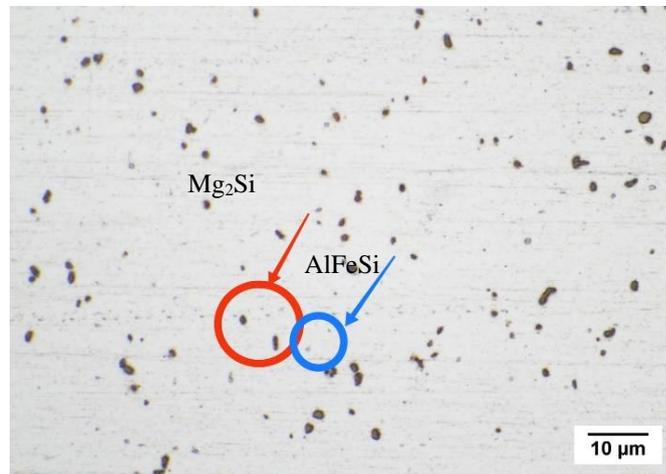
### 3.2 Pengaruh Variasi Holding Time Terhadap Mikrostruktur AA 6061

Uji metalografi bertujuan untuk mengetahui presipitat yang terbentuk, tingkat kehalusan, dan distribusi presipitat pada matriks Aluminium alloy 6061, khususnya presipitat Mg<sub>2</sub>Si. Struktur mikro aluminium alloy 6061 pada setiap spesimen uji dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.

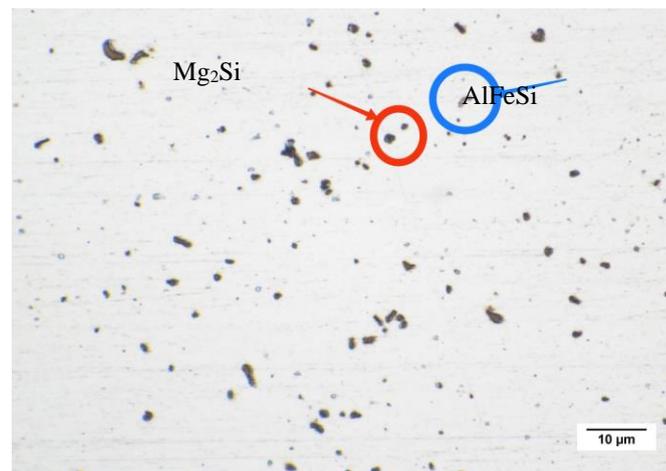


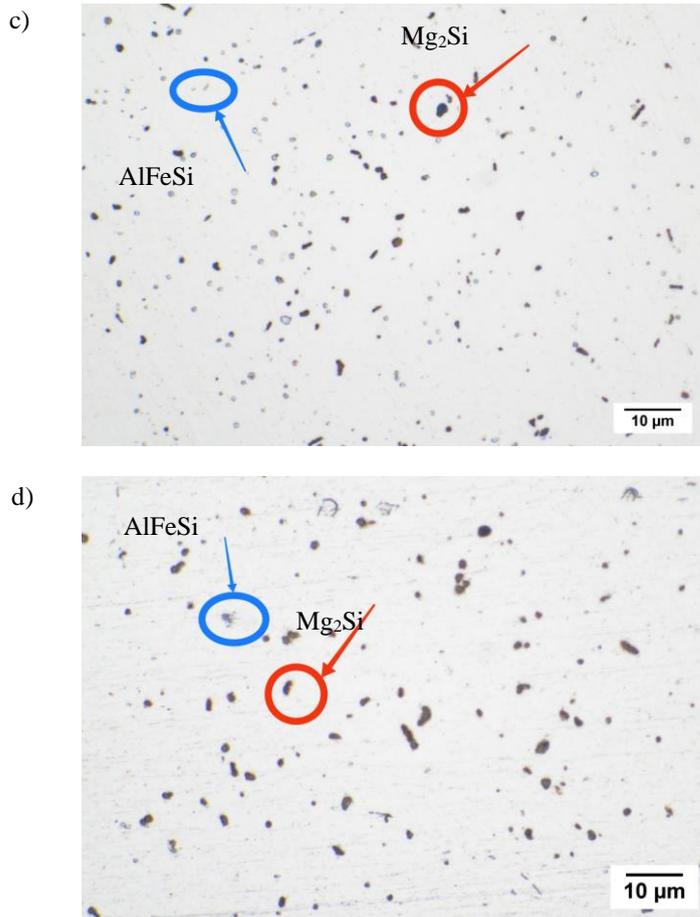
**Gambar 5.** Mikrostruktur AA 6061 tanpa *age hardening*

a)



b)





**Gambar 6.** Mikrostruktur AA 6061 dengan proses *age hardening* dengan variasi *holding time* (a) 1 jam (b) 3 jam (c) 5 jam (d) 7 jam

Gambar 5 dan 6 merupakan gambar mikrostruktur aluminium *alloy* 6061 dengan ukuran 10  $\mu\text{m}$  dan pembesaran 100 kali. Hasil pengujian metalografi tersebut menunjukkan bahwa pada matriks aluminium *alloy* 6061 terdapat presipitat  $\text{Mg}_2\text{Si}$  yang ditandai dengan warna hitam (lingkaran merah) dan  $\text{AlFeSi}$  yang ditandai dengan warna abu-abu (lingkaran biru) [16]. Berdasarkan gambar 6 dapat dijelaskan bahwa terbentuknya presipitat  $\text{Mg}_2\text{Si}$  semakin banyak dan terdistribusi merata diseluruh area setelah dilakukan proses *age hardening*. Pada spesimen tanpa proses *age hardening* ukuran luas area sebesar 1,28 sedangkan dengan variasi *holding time* 1 jam sebesar 1,73  $\mu\text{m}^2$ ; 3 jam sebesar 2,07  $\mu\text{m}^2$ ; 5 jam sebesar 1,13  $\mu\text{m}^2$ ; dan 7 jam sebesar 1,95  $\mu\text{m}^2$ . Hal lainnya dapat terlihat semakin gelap (hitam) warna dari presipitat  $\text{Mg}_2\text{Si}$  dibandingkan tanpa proses *age hardening*. Semakin lama waktu penahanan warna presipitat  $\text{Mg}_2\text{Si}$  semakin memudar menjadi abu gelap.

### 3.3 Diskusi

Pada proses *solution treatment* aluminium *alloy* dengan pendinginan secara cepat atau *quenching*, terjadi kondisi di mana semua atom  $\beta$  terlarut dalam matriks aluminium. Akibatnya, tingkat kekerasan dan kekuatan material aluminium menjadi lebih rendah dibandingkan dengan kondisi awalnya yang sering dikenal dengan larutan padat lewat jenuh (*Super Saturated Solid Solution  $\alpha$* ). Sehingga pada aluminium *alloy* perlu dilakukan treatment lanjutan untuk meningkatkan sifat mekanik pada aluminium *alloy* dengan proses penuaan/*aging* seperti *natural aging* dan *artificial aging*. Pada penelitian ini dilakukan proses *artificial aging* dengan temperature pemanasan sebesar 165°C selama 1, 3, 5, dan 7 jam. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, sifat mekanik seperti kekerasan, kekuatan tarik, dan kekuatan luluh pada material aluminium *alloy* 6061 mencapai nilai optimum pada spesimen uji yang memiliki waktu penahanan selama 5 jam.

Pada tahap pertama proses pemanasan yaitu Zona [GP1] yang terjadi setelah aluminium *alloy* berada dalam kondisi *Super Saturated Solid Solution*. Zona ini terbentuk pada rentang temperature ruangan hingga sekitar 100°C. Pada tahap ini, sifat mekanik aluminium *alloy* mengalami peningkatan. Setelah temperature meningkat diatas 100°C, maka akan terbentuk fasa  $\theta$  atau yang disebut juga zona [GP2] [17]. Pada kondisi ini, sifat mekanik pada aluminium *alloy* mencapai titik optimalnya. Pada penelitian ini terjadi pada variasi waktu penahanan selama 5 jam. Hal ini sejalan dengan hasil pengujian tarik yang ditunjukkan pada Tabel 3 dan Gambar 4 hasil dari pengujian kekerasan. Pada kondisi tersebut terjadi proses presipitasi yang lebih lanjut dari partikel – partikel presipitat halus  $Mg_2Si$ , semakin banyak, dan terdistribusi merata, sehingga nilai kekerasan dan kekuatannya meningkat. Pada waktu penahanan selama 5 jam ukuran presipitat yg terbentuk sebesar 1,13  $\mu m^2$ . Ukuran tersebut paling kecil dibandingkan variasi lainnya, namun distribusi presipitat diseluruh area lebih merata. Apabila suhu *artificial aging* tetap dan waktu penahanan diperpanjang, fasa yang terbentuk akan berubah menjadi fasa  $\theta'$ . Pada fasa  $\theta'$  ini, ukuran luas presipitat semakin membesar menjadi 1,95  $\mu m^2$ . Akibatnya, sifat mekanik pada material aluminium alloy 6061 kembali menurun setelah waktu penahanan selama 7 jam, karena terjadi *over aging*.

#### 4. KESIMPULAN

Sifat mekanik pada material *aluminium alloy* 6061 dengan proses *age hardening* mengalami peningkatan yang cukup signifikan. Nilai kekuatan Tarik tanpa proses *age hardening* sebesar 195,4 MPa dan dengan proses *age hardening* waktu penahanan selama 1, 3, 5, dan 7 jam secara berturut-turut sebesar 287.9, 287.6, 293.9 dan 272.2 MPa. Sedangkan nilai kekerasan tanpa *age hardening* sebesar 76.7 HV dan dengan proses *age hardening* waktu penahanan selama 1, 3, 5, dan 7 jam secara berturut-turut sebesar 82.3, 98.7, 109, dan 70.2 HV. Nilai-nilai tersebut mencapai puncaknya ketika terbentuknya Zona [GP2] dengan waktu penahanan selama 5 jam pada tahap *artificial aging*. Hal ini menunjukkan bahwa proses *age hardening* yang telah dilakukan dapat meningkatkan sifat mekanik material aluminium *alloy* 6061 khususnya kekerasan dan kekuatannya. Tetapi ketika waktu penahanan diperpanjang hingga 7 jam, sifat mekanik menurun. Hal ini menunjukkan bahwa material telah memasuki tahap *overaging*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. I. Tsamroh and M. Riza Fauzy, "Peningkatan Sifat Mekanik Al6061 Melalui Heat Treatment Natural-Artificial Aging," *G-Tech J. Teknol. Terap.*, vol. 6, no. 1, pp. 8–13, 2022, doi: 10.33379/gtech.v6i1.1217.
- [2] Krishna Pal Singh Chauhan, "Influence of Heat Treatment on the Mechanical Properties of Aluminium Alloys (6xxx Series): A Literature Review," *Int. J. Eng. Res.*, vol. V6, no. 03, pp. 386–389, 2017, doi: 10.17577/ijertv6is030301.
- [3] H. Demir and S. Gündüz, "The effects of aging on machinability of 6061 aluminium alloy," *Mater. Des.*, vol. 30, no. 5, pp. 1480–1483, 2009, doi: 10.1016/j.matdes.2008.08.007.
- [4] N. Y. Mahmood, A. A. Zainulabdeen, J. H. Mohammed, and H. A. Oun, "Evaluation of AA6061-T6 behavior subjected to Cyclic Solution Treatment," *Al-Nahrain J. Eng. Sci.*, vol. 23, no. 4, pp. 383–387, 2020, doi: 10.29194/njes.23040383.
- [5] M. Z. R. Mubarak, C. Anwar, and Y. Heryadi, "ANALISIS KEKUATAN VELG CASTING WHEEL Mubarak.pdf," *J. Teknol.*, pp. 1–13, 2021.
- [6] J. Sidik, "Pengaruh Variasi Temperatur Perlakuan Panas Aging Terhadap Sifat Mekanik Aluminium Aa 6061," *TR a K Si*, vol. 19, no. 1, p. 1, 2019, doi: 10.26714/traksi.19.1.2019.1-8.
- [7] R. Q. Gao, K. Stiller, V. Hansen, A. Oskarsson, and F. Danoix, "Influence of aging conditions on the microstructure and tensile strength of aluminium alloy 6063," *Mater. Sci. Forum*, vol. 396–402, no. 2, pp. 1211–1216, 2002, doi: 10.4028/www.scientific.net/msf.396-402.1211.
- [8] I. P. Wardani *et al.*, "Pengaruh Natural Aging Sebelum Proses Artificial aging Terhadap Sifat Mekanik Aluminium 6061," *Semin. Nas. Sains dan Teknol. Terap. VIII 2020*, pp. 109–114, 2022.
- [9] S. Suyanto, "Pengaruh Natural Aging Terhadap Sifat Mekanis Aluminium Paduan a356 Sebagai Bahan Propeler," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 14, no. 3, p. 97, 2019, doi: 10.32497/jrm.v14i3.1638.
- [10] M. N. Wicaksono, "Analisa Variasi Holding Time pada Aluminium 6061 Terhadap Uji Impak ,

- Struktur Mikro , dan Uji Kekerasan,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2018.
- [11] N. I. Subagyo, “Analisis Pengaruh Artificial Aging Terhadap Sifat Mekanis Pada Aluminium Seri 6061,” *Tek. Mesin Univ. Lampung*, vol. 6061, 2017.
- [12] E. K. Widyantoro, “Pengaruh Variasi Temperatur Aging pada Aluminium 6061 Terhadap Uji Impak, Kekerasan, dan Struktur Mikro,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2018.
- [13] J. G. A. Paksi, I. A. C. P. Putra, and R. Indriansyah, “Perancangan Struktur Road Bike Frame Menggunakan Aluminium 6063 Melalui Proses Optimalisasi Perlakuan Panas,” *J. Tek. Mesin ITI*, vol. 5, no. 2, p. 49, 2021, doi: 10.31543/jtm.v5i2.575.
- [14] M. A. Sattar, M. Najeeb, S. H. Mahdi, and N. Q. Fadil, “The effect of heat treatment on the degree of crystallinity and grain size for (N6, PS) polymers,” *J. Xi'an Univ. Archit. Technol.*, vol. 12, no. 3, pp. 4319–4325, 2020, [Online]. Available: <http://www.xajzkjdx.cn/gallery/388-mar2020.pdf>.
- [15] S. A. Aldiansyah, “Pengaruh Kuat Arus, Logam Pengisi, dan Artificial Aging terhadap Sifat Mekanik Hasil Pengelasan TIG Paduan Aluminium 6061,” Fakultas Teknik Universitas Pasundan, 2022.
- [16] C. A. I. Handbook, “ASM Metals Handbook, Volume 09 Metallography and Microstructures Handbook,” in *ASM International*, vol. 9, 2004, p. 2733.
- [17] W. D. Callister and D. G. Rethwisch, *Materials science and engineering*, vol. 9, no. 5. 2014.