

# **PENGARUH TEMPERATUR AGING TERHADAP PADUAN ALUMINIUM SERI 6069 TERHADAP NILAI KEKERASAN DAN KEKUATAN *IMPACT***

Oleh

Wisnaningsih dan M. Yunus

Dosen Tetap pada Program Studi Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Sang Bumi Ruwa Jurai (Lampung – Indonesia)

## **Abstrak**

Alumunium adalah logam yang memiliki kekuatan relatif rendah dan lunak. Alumunium juga dikenal memiliki ketahanan korosi yang cukup tinggi terhadap udara, air, oli, beberapa larutan kimia dan sebagai konduktor listrik yang cukup baik. Pada umumnya Alumunium dicampur dengan unsur logam lain sehingga membentuk Alumunium paduan diantaranya adalah tembaga, silikon, magnesium. Dengan penambahan unsure tersebut, Alumunium dapat memiliki kekuatan 83-310 Mpa, dan melalui proses perlakuan panas peningkatan kekuatan pada alumunium paduan dapat mencapai lebih dari 700 Mpa.

Proses perlakuan panas tersebut dikenal dengan proses pengerasan presipitasi, dimana salah satu langkahnya adalah proses *Aging*. Proses pengerasan presipitasi ini menyangkut laku-pelarutan, diawali dengan proses pemanasan awal dilanjutkan dengan pencelupan atau pendinginan secara cepat, sering disebut *quenching* sehingga terjadi larutan padat lewat jenuh. Setelah pencelupan, paduan dipanaskan kembali (*aging*) sampai temperatur tertentu dimana presipitasi mulai terbentuk setelah selang waktu tertentu. Atom lewat jenuh cenderung berhimpun dalam bidang-bidang kristal tertentu.

Pengerasan dislokasi melalui batas yang terdistorsi. Ini sangat sulit, akibatnya logam bertambah keras dan tahan terhadap tegangan deformasi. Dari hasil pengujian terhadap alumunium paduan seri 6069 dengan parameter temperatur, peningkatan kekerasan maksimum terdapat pada temperatur 185 °C dengan kekerasan 58 HRE. Untuk peningkatan minimum terdapat pada temperatur 165 °C dengan kekerasan 47,6 HRE, dimana kekerasan alumunium dasar sebesar 28 HRE. Sedangkan untuk kekuatan impact, peningkatan maksimum terdapat pada temperatur 175 °C dengan kekuatan impact sebesar 97 joule dan peningkatan minimum terdapat pada temperatur 185 °C dengan kekuatan impact sebesar 78,67 joule. Dimana kekuatan impact alumunium dasar 66 joule.

---

**Kata kunci:** pengaruh temperatur aging, kekerasan, kekuatan, impact alumunium

## ***EFFECT OF AGING TEMPERATURE ON ALUMINUM ALLOY 6069 SERIES ON VALUE OF VIOLENCE STRENGTH AND IMPACT***

By

Wisnaningsih and M. Yunus

Permanent Lecturers of Mechanical Engineering Study Program

Engineering Faculty of Sang Bumi Ruwa Jurai University (Lampung - Indonesia)

## **Abstact**

*Aluminum is a metal that has a relatively low strength and soft. Aluminum is also known to have a sufficiently high corrosion resistance to air, water, oil, some chemical solution and as a fairly good electric conductors. In general, aluminum mixed with other metals to form aluminum alloys include copper, silicon, magnesium. Digitally addition of these elements,*

*aluminum can have the strength of 83-310 Mpa, and through a process of heat treatment on the aluminum alloy increased strength can reach more than 700 Mpa.*

*The heat treatment process known as precipitation hardening process, in which one of the steps is the process of Aging. The precipitation hardening process involves behavior-dissolution, beginning with the initial heating process followed by immersion or rapid cooling, often called quenching resulting in a supersaturated solid solution. After dyeing, the alloy is heated again (aging) up to a certain temperature where precipitation begins to form after a certain time interval. Atom superheated tends to gather in certain areas of the crystal.*

*Hardening dislocations through the boundary distorted. It's very difficult, resulting in increased metal hard and resistant to deformation voltage. From the test results of 6069 series aluminum alloys with temperature parameters, increase the maximum hardness are at a temperature of 185 °C with 58HRE violence. For there is a minimum increase in temperature of 165 °C with 47,6HRE violence, where violence by 28 HRE aluminum base. As for the impact strength, the maximum increase in temperatures are 175 °C with an impact strength of 97 joules and there is a minimum increase in temperature of 185 °C the impact strength of 78.67 joules. Where the impact strength of the aluminum base 66 joules.*

---

*Keywords: effect of temperature aging, violence, strength, impact aluminum.*

## **I PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Berdasarkan penelitian sebelumnya pada Alumunium, didapatkan temperatur untuk pemanasan awal sebesar 550 °C dan penahanan selama 30 menit, *quenching* dengan menggunakan air, dan *aging* pada temperatur 175 °C selama 10 jam (Murayama, 2002). Logam Alumunium memiliki titik cair sekitar 660 °C sehingga memungkinkan untuk dilakukan proses pengerasan presipitasi melalui temperatur *Aging* dan dalam proses ini akan diketahui berapa besar paduan Alumunium seri 6069 mendapatkan nilai kekerasan dan kekuatan impak yang semakin baik

jika dibandingkan dengan *base material* (bahan dasar).

Peningkatan kekuatan pada paduan Alumunium dapat dilakukan melalui proses pengerjaan dingin dan melalui perlakuan panas yang dikenal dengan proses pengerasan presipitasi, dimana salah satu langkahnya adalah proses *Aging*.

Karena belum adanya temperatur yang optimum untuk peningkatan kekuatan sifat mekanik pada paduan Alumunium seri 6069, maka pada penelitian ini akan diujikan tiga parameter temperatur aging yaitu 165<sup>0</sup>C, 175<sup>0</sup>C, 185<sup>0</sup>C dengan waktu penahanan aging 2 jam.

## II LANDASAN TEORI

### 2.1 Bahan dan Alat Penelitian

#### Bahan Penelitian ;

1. Logam *Alumunium paduan* Seri 6069.

#### Alat Penelitian ;

1. Mesin *METACUT* (Potong).  
Mesin ini digunakan untuk memotong bahan
2. Mesin Sekrap.  
Mesin ini digunakan untuk pembentukan spesimen.

3. Tungku (*furnace*).

Alat yang digunakan untuk proses perlakuan panas.

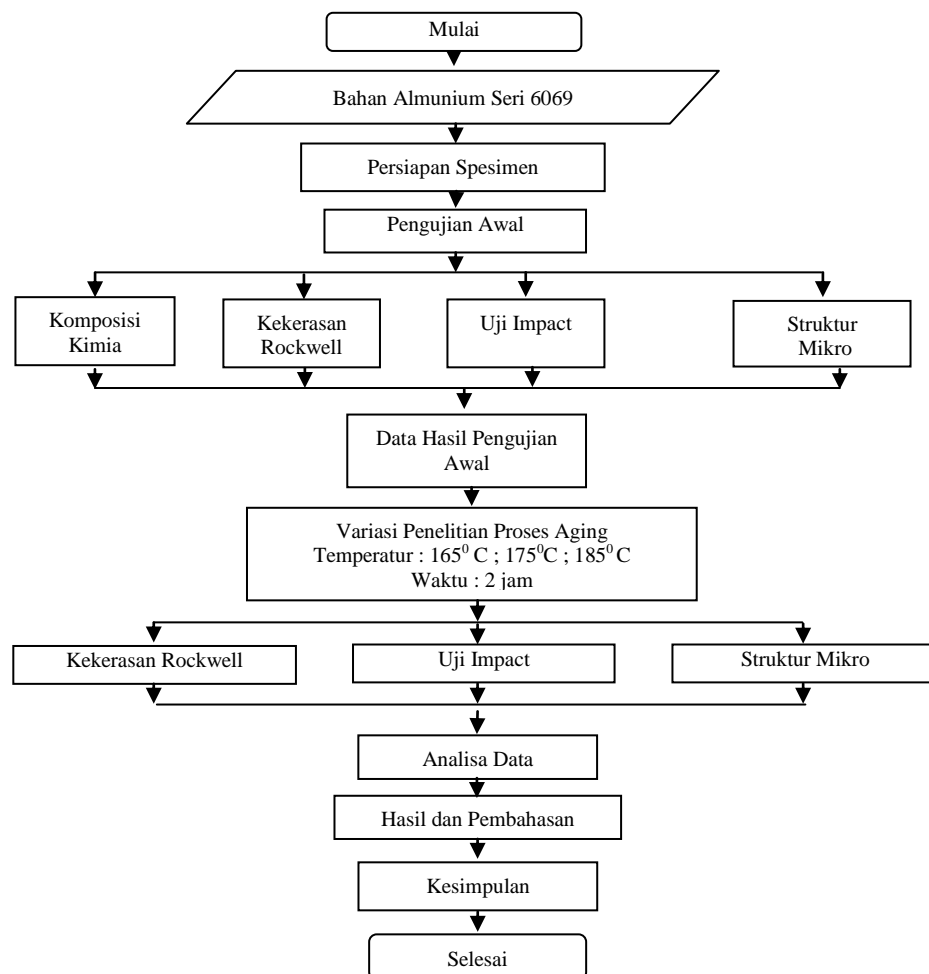
4. *Hardness test*.

Alat pengujian kekerasan untuk mengetahui kekerasan permukaan *Alumunium*.

5. *Impact Test*.

Alat pengujian untuk mengetahui kekuatan beban kejut pada *Alumunium*.

### 2.2 Diagram Alur Penelitian



**Gambar 1. Diagram Alir**

### III HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Hasil Pengujian Komposisi

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia yang terkandung didalam bahan sebelum dilakukan pengujian-pengujian yang lain. Nilai komposisi yang terdapat dalam bahan dapat dilihat dalam tabel 1.

Tabel:1 Komposisi Kimia Alumunium Seri 6069

No	Kandungan Kimia	(%)
1	Si	1.0286
2	Mg	1.6366
3	Cr	0.6296
4	Mn	0.0514
5	V	0.2093
6	Cu	0.1235
7	Ti	0.0086
8	Al	96.1333
9	Sr	0.0127
10	Zn	0.1638
11	Fe	0.0026

Sumber : Data Primer

Tabel 2. Hasil Pengujian Kekerasan Base Metal

No	Bahan	Nilai Kekerasan Tiap Titik (HRE)					Nilai Rata-rata
		Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5	
1.	Base Metal	26	28	28	29	29	28

Dari tabel diatas menunjukkan nilai kekerasan pada titik 1 sebesar 26 HRE, pada titik 2 sebesar 28 HRE, pada titik 3 sebesar 28 HRE, pada titik 4 sebesar 28 HRE, dan pada titik 5

#### 3.2 Pengujian Kekerasan

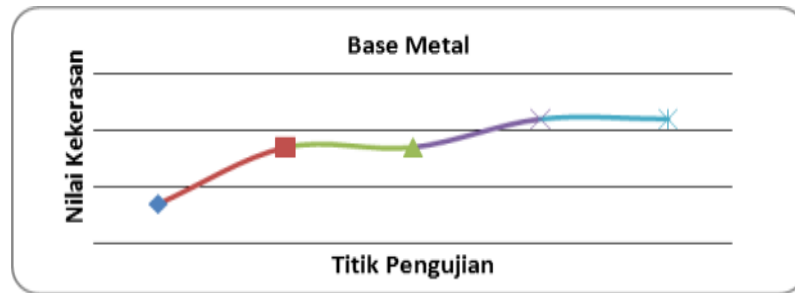
Pengujian kekerasan ini dilakukan dengan mengambil lima titik pada masing-masing spesimen. Nilai tersebut dirata-ratakan dan didapat nilai kekerasan rata-rata dari setiap spesimen.

##### 1. Nilai Kekerasan Pada Spesimen

##### Bahan Dasar

Pada bahan dasar hasil nilai kekerasan setiap titik dan nilai rata-ratanya dapat dilihat pada tabel 2 dibawah ini:

sebesar 29 HRE. Nilai tersebut dapat dibuat dalam grafik yang menggambarkan tingkat kekerasan bahan dasar dalam tiap titik.



**Gambar 2. Grafik Nilai Kekerasan Bahan Dasar**

## 2. Kekerasan Pada Spesimen

### Temperatur 165<sup>0</sup>

Pada spesimen temperatur 165<sup>0</sup>  
hasil nilai kekerasan setiap titik

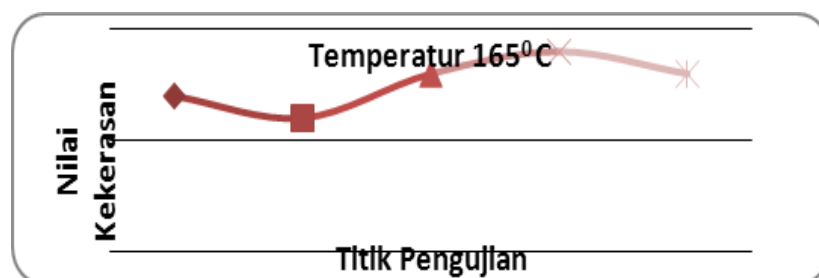
dan nilai rata-ratanya dapat dilihat  
pada tabel 3 dibawah ini :

**Tabel 3. Hasil Pengujian Kekerasan Temperatur 165<sup>0</sup>C**

No	Bahan	Nilai Kekerasan Tiap Titik (HRE)					Nilai Rata-rata
		Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5	
1	Temperatur 165 <sup>0</sup> C	47	46	48	49	48	47.6

Dari tabel diatas menunjukkan  
nilai kekerasan temperatur 165<sup>0</sup>  
pada titik 1 sebesar 47 HRE, pada  
titk 2 sebesar 46 HRE, pada titk 3  
sebesar 48 HRE, pada titk 4  
sebesar 49 HRE , dan pada titik 5

sebesar 48 HRE. Nilai tersebut  
dapat dibuat dalam grafik yang  
menggambarkan tingkat  
kekerasan bahan dasar dalam tiap  
titik.



**Gambar 3. Grafik Nilai Kekerasan Temperatur 165<sup>0</sup> C**

## 3. Nilai Kekerasan Pada Spesimen

### Temperatur 175<sup>0</sup> C

Pada spesimen temperatur 175<sup>0</sup> C  
hasil nilai kekerasan setiap titik

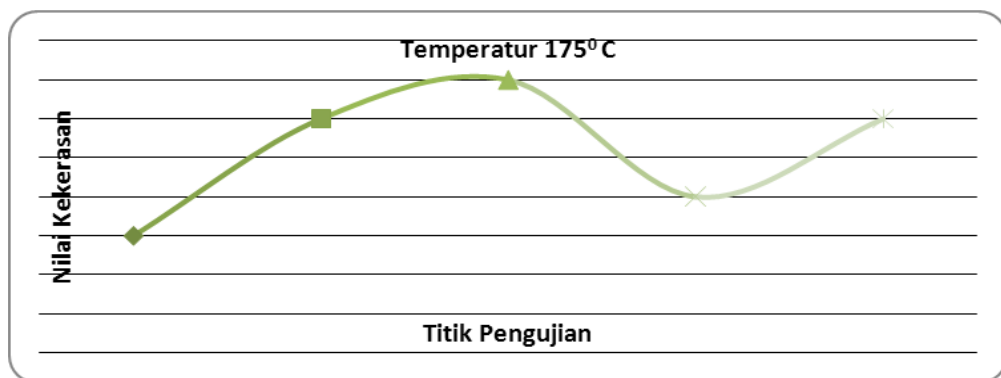
dan nilai rata-ratanya dapat dilihat  
pada tabel 4 dibawah ini :

**Tabel 4. Hasil Pengujian Kekerasan Temperatur 175<sup>0</sup> C**

No	Bahan	Nilai Kekerasan Tiap Titik (HRE)					Nilai Rata-rata
		Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5	
1	Temperatur 175 <sup>0</sup> C	54	57	58	55	57	56.2

Dari tabel diatas menunjukkan nilai kekerasan spesimen temperatur 175<sup>0</sup> C pada titik 1 sebesar 54 HRE, pada titik 2 sebesar 57 HRE, pada titik 3 sebesar 58 HRE, pada titik 4

sebesar 55 HRE , dan pada titik 5 sebesar 57 HRE. Nilai tersebut dapat dibuat dalam grafik yang menggambarkan tingkat kekerasan bahan dasar dalam tiap titik.



**Gambar 4. Grafik Nilai Kekerasan Temperatur 175<sup>0</sup> C**

#### 4. Nilai Kekerasan Pada Spesimen Temperatur 185<sup>0</sup> C

Pada spesimen temperatur 185<sup>0</sup> C hasil nilai kekerasan setiap titik

dan nilai rata-ratanya dapat dilihat pada tabel 5 dibawah ini :

**Tabel 5. Hasil Pengujian Kekerasan Temperatur 185<sup>0</sup> C**

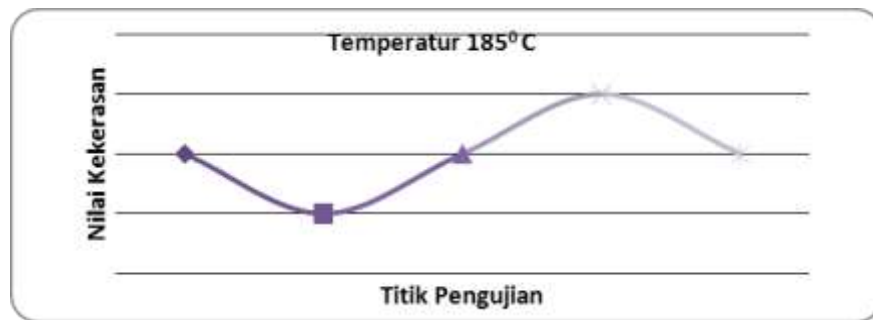
No	Bahan	Nilai Kekerasan Tiap Titik (HRE)					Nilai Rata-rata
		Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5	
1	Temperatur 185 <sup>0</sup> C	58	57	58	59	58	58

Dari tabel diatas menunjukkan nilai kekerasan spesimen temperatur 185<sup>0</sup> C pada titik 1 sebesar 58 HRE, pada titik 2

sebesar 57 HRE, pada titik 3 sebesar 58 HRE, pada titik 4 sebesar 59 HRE , dan pada titik 5 sebesar 58/ HRE. Nilai tersebut

dapat dibuat dalam grafik yang menggambarkan tingkat

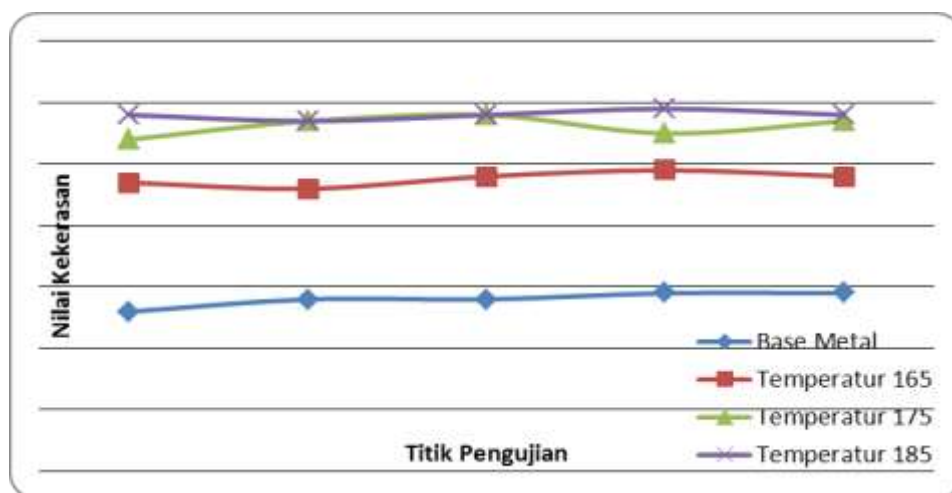
kekerasan bahan dasar dalam tiap titik.



**Gambar 5. Grafik Nilai Kekerasan Temperatur 185<sup>0</sup> C**

Berdasarkan nilai kekerasan setiap titik pada tiap spesimen diatas didapat nilai rata-rata dan dibuatkan grafik guna

menggambarkan perubahan nilai kekerasan paduan alumunium seri 6069 setelah mengalami Proses Aging.



**Gambar 6. Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan Material Uji**

Berikut ini table nilai kekerasan dari seluruh pengujian kekerasan yang disatukan untuk

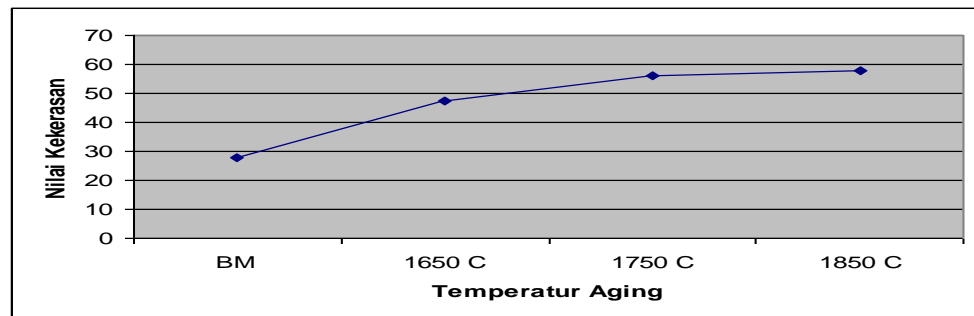
perbandingan nilai kekerasan akibat pengaruh temperatur Aging.

**Tabel 6. Hasil Pengujian Kekerasan Dengan Temperatur**

No	Bahan	Nilai Kekerasan Tiap Titik (HRE)					Nilai Rata-rata
		Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5	
1	Base Metal	26	28	28	29	29	28
2	Temperatur 165 <sup>0</sup> C	47	46	48	49	48	47.6
3	Temperatur 175 <sup>0</sup> C	54	57	58	55	57	56.2
4	Temperatur 185 <sup>0</sup> C	58	57	58	59	58	58

Berdasarkan tabel diatas, terdapat nilai rata-rata dan dibuatkan grafik guna menggambarkan

perubahan nilai kekerasan paduan alumunium seri 6069 setelah mengalami proses aging.



**Gambar 7. Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan pengaruh Temp Aging**

### 3.3 Analisa

Pengujian kekerasan ini dilakukan pada spesimen dasar dan spesimen dengan 3 parameter temperatur Aging yaitu 165 °C, 175 °C dan 185 °C. Berdasarkan grafik nilai rata-rata diatas dapat dilihat bahwa hasil nilai kekerasan dari spesimen yang mengalami proses aging lebih meningkat dibandingkan dengan nilai kekerasn bahan dasar (base metal), Sedangkan diantara temperatur aging nilai kekerasan yang tertinggi adalah temperatur 185 °C.

Hasil nilai rata-rata kekerasan untuk temperatur aging 165 °C sebesar 47,6 HRE, ini nilai terendah diantara temperatur aging 175 °C dengan nilai kekerasan rata-rata sebesar 56,2 HRE

dan dan temperatur aging 185 °C dengan nilai kekerasan rata-rata sebesar 58 HRE. Rendahnya nialai kekerasan pada temperatur 165 °C dipengaruhi pertumbuhan presipitat yang hanya sedikit pada temperatur tersebut sehingga pertumbuhan presipitat tidak seragam pada permukaan. Sedangkan pada temperatur 185 °C menghasilkan presipitat lebih banyak sehingga presipitat lebih seragam mengendap pada permukaan.

### 3.4 Hasil Pengujian Impact

Pengujian impact dilakukan pada bahan dasar dan bahan telah mengalami proses aging, kemudian dibentuk seperti pada subbab dimana tiap perlakuan diambil 3 spesimen pengujian untuk mendapatkan nilai



kekuatan impact yang lebih baik melalui nilai rata-rata dari ketiga spesimen pengujian tersebut.

### 3.5 Kekuatan Impact Pada Bahan Dasar

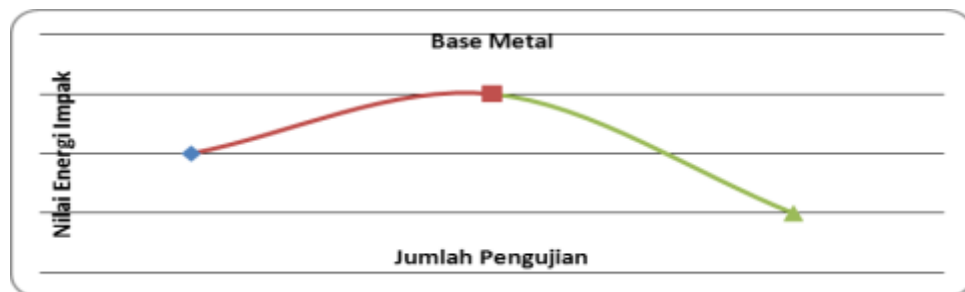
Kekuatan impact bahan dasar tiap spesimen dan nilai rata-ratanya ditunjukkan pada tabel 7 yang dapat dilihat dibawah ini :

**Tabel 7. Hasil Kekuatan Impact Bahan Dasar**

No	Bahan	Nilai Kekuatan Impact (Joule)			Nilai Rata-rata
		Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3	
1	Base Metal	66	67	65	66.00

Berdasarkan tabel diatas bahan dasar spesimen 1 memiliki energi impak sebesar 60 Joule untuk spesimen 2 kekuatan impact sebesar 67 Joule dan spesimen 3 kekuatan impactnya

sebesar 65 Joule. Hasil kekuatan impact yang didapat pada ketiga spesimen dasar tersebut dapat digambarkan dalam grafik dibawah ini :



**Gambar 8. Grafik Kekuatan Impact Bahan Dasar**

### 3.6 Kekuatan Impact Pada Temperatur 165 °C

Kekuatan impact Temperatur 165<sup>0</sup> C dan nilai rata-ratanya dari

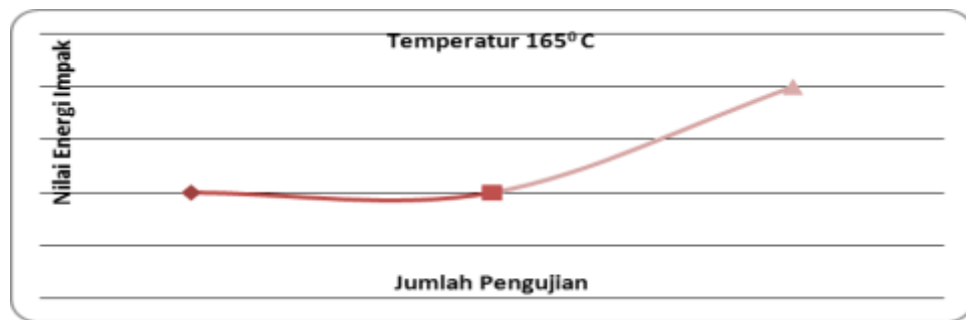
3 spesimen yang diujikan dapat dilihat pada tabel 8 dibawah ini :

**Tabel 8. Hasil Kekuatan Impact Temperatur 165 °C**

No	Bahan	Nilai Kekuatan Impact (Joule)			Nilai Rata-rata
		Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3	
1	Temperatur 165 <sup>0</sup> C	95	95	96	95.33

Berdasarkan tabel diatas Temperatur 165 °C spesimen 1 memiliki kekuatan impact sebesar 95 Joule untuk spesimen 2 kekuatan impact sebesar 65 Joule dan spesimen 3 kekuatan

impactnya sebesar 96 Joule. Hasil kekuatan impact yang didapat pada ketiga spesimen Temperatur 165 °C tersbut dapat digambarkan dalam grafik dibawah ini:



**Gambar 9. Grafik Kekuatan Impact Temperatur 165 °C**

### 3.7 Kekuatan Impact Pada Temperatur 175 °C

3 spesimen yang diujikan dapat dilihat pada tabel 9 dibawah ini:

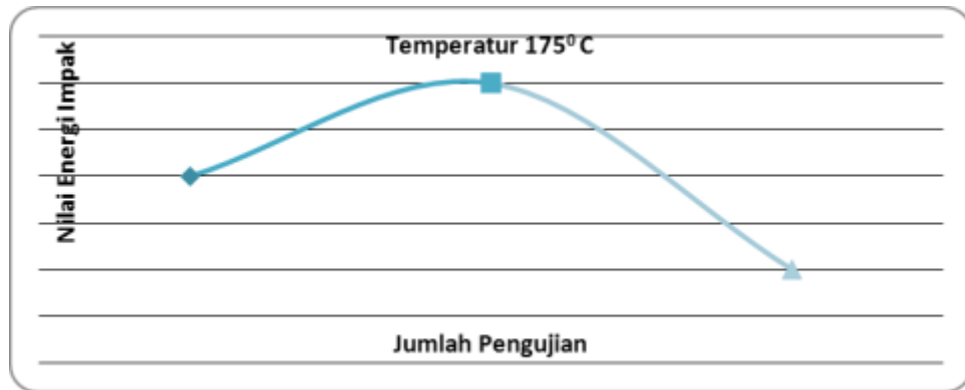
Kekuatan impact Temperatur 175<sup>0</sup> C dan nilai rata-ratanya dari

**Tabel 9. Hasil Kekuatan Impact Temperatur 175 °C**

No	Bahan	Nilai Kekuatan Impact (Joule)			Nilai Rata-rata
		Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3	
1	Temperatur 175 <sup>0</sup> C	97	98	96	97

Berdasarkan tabel diatas Temperatur 175<sup>0</sup> C spesimen 1 memiliki kekuatan impact sebesar 97 Joule untuk spesimen 2 kekuatan impact sebesar 98 Joule dan spesimen 3 kekuatan

impactnya sebesar 96 Joule. Hasil kekuatan impact yang didapat pada ketiga spesimen Temperatur 175<sup>0</sup> C tersbut dapat digambarkan dalam grafik dibawah ini :



**Gambar 10. Grafik Kekuatan Impact Temperatur 175<sup>0</sup> C**

### 3.8. Kekuatan Impact Pada Temperatur 185<sup>0</sup> C

Kekuatan impact Temperatur 185<sup>0</sup> C dan nilai rata-ratanya dari

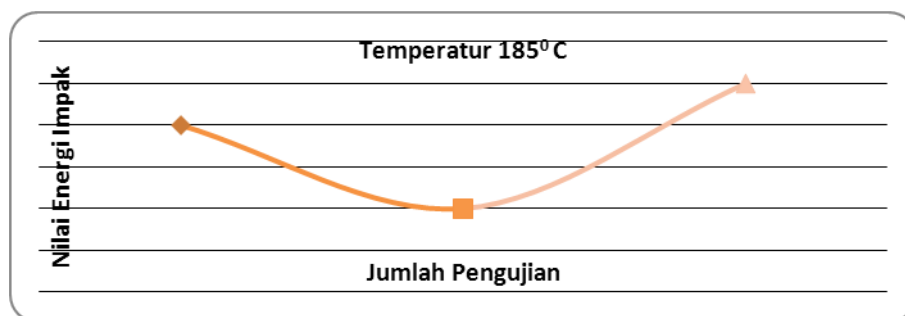
3 spesimen yang diujikan dapat dilihat pada tabel 10 dibawah ini :

**Tabel 10. Hasil Kekuatan Impact Temperatur 185<sup>0</sup> C**

No	Bahan	Nilai Kekuatan Impact (Joule)			Nilai Rata-rata
		Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3	
1	Temperatur 185 <sup>0</sup> C	79	77	80	78.67

Berdasarkan tabel diatas Temperatur 185<sup>0</sup> C spesimen 1 memiliki kekuatan impact sebesar 79 Joule untuk spesimen 2 kekuatan impact sebesar 77 Joule dan spesimen 3 kekuatan

impactnya sebesar 80 Joule. Hasil kekuatan impact yang didapat pada ketiga spesimen Temperatur 185<sup>0</sup> C tersebut dapat digambarkan dalam grafik dibawah ini:



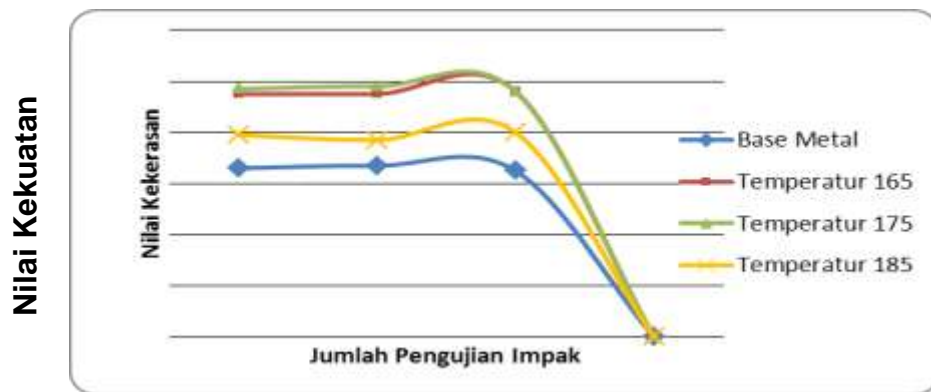
**Gambar 11. Grafik Kekuatan Impact Temperatur 185<sup>0</sup> C**

Berdasarkan hasil kekuatan impact setiap bahan dan nilai rata-rata yang dapat, dibuat table keseluruhan dan grafik guna menggambarkan perubahan

kekuatan impact dari pengaruh proses aging pada paduan alumunium seri 6069, yang dapat dilihat dibawah ini:

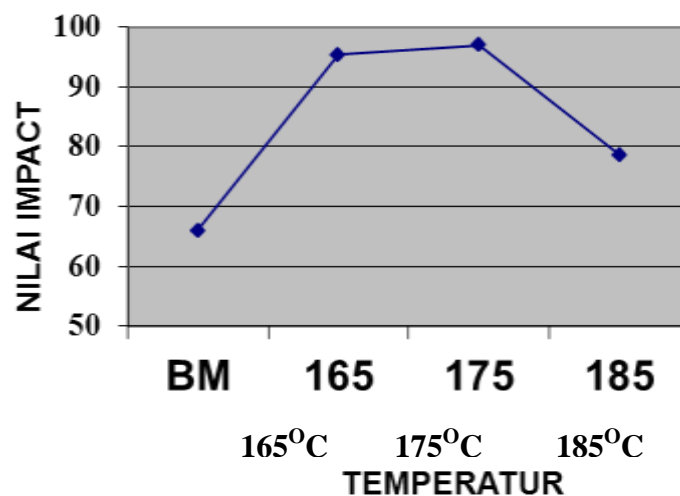
**Tabel 11. Hasil Pengujian Kekuatan Impact**

No	Bahan	Nilai Kekuatan Impact (Joule)			Nilai Rata-rata
		Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3	
1	Base Metal	66	67	65	66.00
2	Temperatur 165 <sup>0</sup> C	95	95	96	95.33
3	Temperatur 175 <sup>0</sup> C	97	98	96	97
4	Temperatur 185 <sup>0</sup> C	79	77	80	78.67



**Jumlah Pengujian Impact**

Gambar 12 . Grafik Perbandingan Nilai Kekuatan Impact Material Uji



Gambar 13. Grafik Perbandingan Nilai Kekuatan Impact Pengaruh temp Aging

### 3.9 Analisa Kekuatan Impact

Dari grafik bias dilihat bahwa energi impact mengalami peningkatan akibat pengaruh proses aging dimana kekuatan impact base metal sebesar 65 Joule sedang untuk spesimen yang mengalami proses aging lebih besar diatas kekuatan impact base metal, temperatur  $165^{\circ}\text{C}$  memiliki kekuatan impact sebesar 95.33 Joule, untuk temperature  $175^{\circ}\text{C}$  kekuatan impact spesimen 97 Joule dan temperatur  $185^{\circ}\text{C}$  sebesar 78.67 Joule.

Pada parameter temperatur aging kekuatan impact yang terbesar terdapat pada temperatur  $175^{\circ}\text{C}$  sedangkan kekuatan impact yang terendah terdapat pada temperatur  $185^{\circ}\text{C}$ . Hal ini dikarenakan peningkatan sifat getas pada material akibat pengaruh temperatur  $185^{\circ}\text{C}$  sehingga kekuatan impact menurun dibandingkan dengan material yang mengalami pengaruh temperature  $165^{\circ}\text{C}$  dan temperature  $175^{\circ}\text{C}$ .

### 3.10 Hasil Pengujian Struktur Mikro

Pengambilan gambar struktur mikro ini dilakukan dengan pembesaran 160X, bertujuan untuk melihat terbentuknya presipitat pada setiap parameter yang diuji, sehingga nantinya dapat dilihat parameter mana yang mencapai nilai optimum. pada kondisi awal presipitat yang terdapat sangatlah sedikit akan tetapi sejalan dengan peningkatan temperatur presipitat akan semakin banyak terbentuk. Peningkatan presipitat tidak secara terus menerus akan tetapi ketika temperatur optimal didapat maka jumlah distribusi presipitat akan menurun. Inilah yang mendasari bahwa proses presipitat tidak selalu mencapai nilai optimum ketika temperatur terbesar.

Hasil dari pengujian ini belum memperlihatkan presipitat yang akan diamati. Hal ini disebabkan keterbatasan alat untuk menunjukkan presipitat yang terjadi Struktur mikro yang didapat hanya memperlihatkan bentuk dan batasan struktur mikro pada paduan aluminium.

## IV KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan pada aluminium paduan

seri 6069, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Proses aging dapat meningkatkan nilai kekerasan pada alumunium paduan seri 6069, dimana peningkatan maksimum terdapat pada material yang mengalami proses aging dengan temperatur  $185^0$  C.
2. Proses aging juga meningkatkan nilai kekuatan impact pada alumunium paduan seri 6069, dimana peningkatan maksimum kekuatan impact terdapat pada material yang mengalami proses aging dengan temperatur  $175^0$  C
3. Temperature  $175^0$  C merupakan temperatur optimum untuk meningkatkan nilai kekuatan impact, bila melebihi temperature tersebut akan mengalami penurunan kekuatan impact, seperti yang terdapat pada temperature  $185^0$  C.

## DAFTAR PUSTAKA

- Annual Book. JIS (*Japan International Standar*).ASM HANDBOOK, Propertias and selection: Nonferrous Alloys and Special Purpose Material. Volume 2.
- Gere dan Timoshenko, 1984, "*Mekanika Bahan*". Edisi Keempat. Erlangga. Jakarta
- Malahayati Universitas,1998. *Pedoman Penulisan Karya Ilmiah*,Universitas Malahayati, Bandar Lampung
- Mat Web. 2005. "*Material Properti data*". <http://www.MatWeb.com>
- Muryana, M dan Hono, K. 2002. "*The Effect Of Aging On The Clustering And Precipitation Process In Al-Mg-Si Alloys*". Japan.
- Timings, R.L. 1998. "*Enggeniring Material Technology*". Edisi Kedua. Longman. England
- Van Vlack, Lawrence H. 1992. "*Ilmu dan Teknologi Bahan*". Edisi Kelima. Erlangga. Jakarta
- W, Borth.G.L.J. Van Vliet. 1984. "*Bahan-bahan I*". Erlangga. Jakarta