

PERBANDINGAN *ARTIFICIAL AGING* DENGAN *NATURAL AGING* TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN PADA ALUMINIUM (Al-Cu)



**Disusun Sebagai Salah Satu Syarat Menyelesaikan Program Studi Strata 1
Pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik**

Oleh :

MUHAMMAD RIKY WIDYATMOKO
D200150107

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2019**

HALAMAN PERSETUJUAN

PERBANDINGAN *ARTIFICIAL AGING* DENGAN *NATURAL AGING* TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN PADA ALUMINIUM (Al-Cu)

PUBLIKASI ILMIAH

Oleh :

Muhammad Ricky Widyatmoko

D200150107

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen

Pembimbing



Ir.Pramuko Ilmu Purboputro,.M.T

HALAMAN PENGESAHAN

PERBANDINGAN *ARTIFICIAL AGING* DENGAN *NATURAL AGING* TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN PADA ALUMINIUM (Al-Cu)

Oleh :

Muhammad Riky Widyatmoko

D200150107

Telah dipertahankan didepan Dosen Penguji
Fakultas Teknik Jurusan teknik mesin
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Rabu, 20 November 2019
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji :

1. **Ir. Pramuko Ilmu Purboputro, M.T**
(Ketua Dewan Penguji)
2. **Dr. Joko Sedyono**
(Anggota I Dewan Penguji)
3. **Wijianto, S.T., M.Eng.Sc**
(Anggota II Dewan Penguji)

(.....)
(.....)
(.....)



Dekan,

Ir. Sri Sunarjono, M.T., Ph.D
NIK. 682

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam publikasi ilmiah ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya diatas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 20 November 2019

Penulis



Muhammad Riky W.

D200150107

**PERBANDINGAN ARTIFICIAL AGING DENGAN NATURAL AGING
TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN PADA
ALUMINIUM (Al-Cu)**

Abstrak

Aging merupakan salah satu metode untuk meningkatkan kekerasan atau kekuatan pada logam aluminium paduan (Al-Cu). Penelitian ini menggunakan Al- 5,4136% Cu dengan metode *artificial aging* pada temperatur 300°C, 350°C, 400°C dan di tahan dengan waktu yang ditentukan 1 jam, dan *Natural Aging* pada temperatur kamar dan ditahan selama 7 hari, 9 hari, 11 hari. penuaan (*aging*) pada temperatur 300°C dengan waktu tahan 1 jam diperoleh kekerasan rata – rata sebesar 49,1 HRB, kemudian pada temperatur 350°C dengan waktu tahan 1 jam diperoleh kekerasan rata – rata sebesar 35,9 HRB, Pada temperatur 400°C dengan waktu tahan 1 jam diperoleh kekerasan rata – rata sebesar 46,73 HRB. Pada metode *natural aging* dengan waktu tahan 7 hari di peroleh kekerasan rata – rata sebesar 71,46 HRB. Kemudian pada waktu tahan 9 hari di peroleh kekerasan rata – rata sebesar 70,46 HRB, Pada *natural aging* dengan waktu tahan 11 hari di peroleh kekerasan rata – rata sebesar 73,03 HRB. Dari hasil penelitian diatas menunjukan bahwa pada *artificial aging* variasi temperatur 300°C, 350°C, 400°C pada Al-Cu di peroleh kekerasan tertinggi rata – rata pada temperatur 300°C sebesar 49,1 HRB. Pada *natural aging* variasi waktu tahan 7 hari, 9 hari, 11 hari di peroleh kekerasan tertinggi rata – rata pada 11 hari penahanan sebesar 73,03 HRB.

Kata Kunci : solution heat treatment, artificial aging, natural aging

Abstract

Aging is one method to increase hardness or strength in aluminum alloys (Al-Cu). This study uses Al-5,4136% Cu with an artificial aging method at a temperature of 300°C, 350°C, 400°C and held for a specified time of 1 hour, and Natural Aging at room temperature and held for 7 days, 9 day, 11 days. aging (aging) at a temperature of 300°C with a holding time of 1 hour obtained an average hardness of 49.1 HRB, then at a temperature of 350°C with a holding time of 1 hour obtained an average hardness of 35.9 HRB, at a temperature of 400°C with a holding time of 1 hour obtained an average hardness of 46.73 HRB. In the natural aging method with a holding time of 7 days the average hardness is 71.46 HRB. Then in the holding time of 9 days the average hardness was 70.46 HRB, while in the natural aging with an holding time of 11 days the average hardness was 73.03 HRB. From the results of the above study showed that the artificial aging temperature variations of 300° C, 350° C, 400° C in Al-Cu obtained the highest hardness - an average of 300° C at 49.1 HRB. In natural aging, the variation of the holding time was 7 days, 9 days, 11 days and the highest violence was obtained on 11 days of detention of 73.03 HRB.

Keywords : solution heat treatment, artificial aging, natural aging

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring perkembangan zaman manusia dituntut untuk melakukan berbagai penelitian dalam bidang manufaktur, dirgantara, dan konstruksi yang membutuhkan material logam sebagai bahan dasar. Adanya berbagai jenis material yang digunakan oleh perindustrian dalam pembuatan sebuah produk, salah satu material yang banyak diaplikasikan dalam kehidupan sehari-hari adalah aluminium.

Pengaplikasian dari aluminium itu sendiri tidak hanya dalam kebutuhan rumah tangga akan tetapi hingga kepada kebutuhan otomotif maupun kebutuhan pesawat terbang yang selalu dituntut memiliki teknologi yang semakin canggih. Oleh karena itu dengan adanya penelitian yang dilakukan akan menghasilkan suatu produk – produk yang berkualitas tinggi.

Aluminium merupakan logam yang pemakaiannya sangat luas, disebabkan logam Aluminium memiliki sifat yang istimewa antara lain : ringan, kuat, tahan korosi, dan lain-lain. Aluminium dapat dipadu dengan unsur lain, sehingga diperoleh aluminium paduan yang memiliki sifat-sifat mekanik yang lebih baik, dan ada pula paduan aluminium yang dapat diperbaiki lagi sifat mekaniknya dengan proses perlakuan panas. Paduan Al-Cu dapat diberi perlakuan panas melalui pengerasan endap (*precipitation hardening*) dengan proses *Artificial Aging* (penuaan/pengerasan buatan) dan *Natural Aging* (proses pengerasan endap secara natural). Sifat mekanik paduan Al-Cu yang mengalami pengerasan endap dapat menyamai sifat mekanik dari baja lunak.(Humisar, 2017).

1.2 Tinjauan Pustaka

Radutoiu, dkk, (2012) melakukan penelitian tentang “Effect of the over-ageing treatment on the mechanical properties of AA2024 aluminum alloy” Sebelum melakukan perlakuan panas material mentah (*raw material*) kekerasannya sebesar 149 HV. Penelitian dengan variasi temperatur 150°C

dengan waktu tahan 36 hari, 175°C dengan waktu tahan 50 jam, dan 190°C dengan waktu tahan 24 jam. Hasil dari pengujian kekerasan material menurun seiring bertambahnya temperatur dengan angka 136 HV, 139 HV, dan 133 HV.

Majanasastra (2015) melakukan penelitian tentang “pengaruh variabel waktu (*aging heat treatment*) terhadap peningkatan kekerasan permukaan dan struktur mikrokepala piston sepeda motor honda vario”. Penelitian dilakukan dengan variasi temperatur aging 100°C, 155°C, 200°C dengan variasi waktu penahanan 2 jam, 4 jam dan 5 jam. Material yang digunakan adalah skrap velg racing yang dicor ulang dengan penambahan paduan aluminium AC4B minimal 40%. Proses perlakuan panas mendapatkan tingkat kekerasan terbesar pada temperatur aging 155°C dengan waktu penahanan 2 jam, 4 jam dan 5 jam. Jadi nilai kekerasannya meningkat setelah dilakukan perlakuan *artificial aging* memiliki kekerasan sebesar 74 HRB.

Astri Widya Caesarti (2016). melakukan penelitian tentang “pengaruh temperatur *aging* aluminium 2024 pada skin wing pesawat CN 235”. Dari penelitian menyatakan hasil dari *aging* dengan suhu 185°C dengan waktu tahan 10 jam. Kemudian material mengalami *natural aging* dengan temperatur kamar dalam waktu 96 jam. Hasil dari pengujian tersebut Al 2024 memiliki kekerasan yang diperoleh sebesar 109,2 BHN, serta tegangan tarik sebesar 41,98 kgf/mm² dan tegangan luluh sebesar 26,07 kgf/mm² setelah mengalami *natural aging* Al 2024 memiliki tegangan tarik sebesar 46,45 kgf/mm serta tegangan luluh sebesar 27,96 kgf/mm dan kekerasan menjadi 107,8 BHN serta memiliki keuletan yang tinggi.

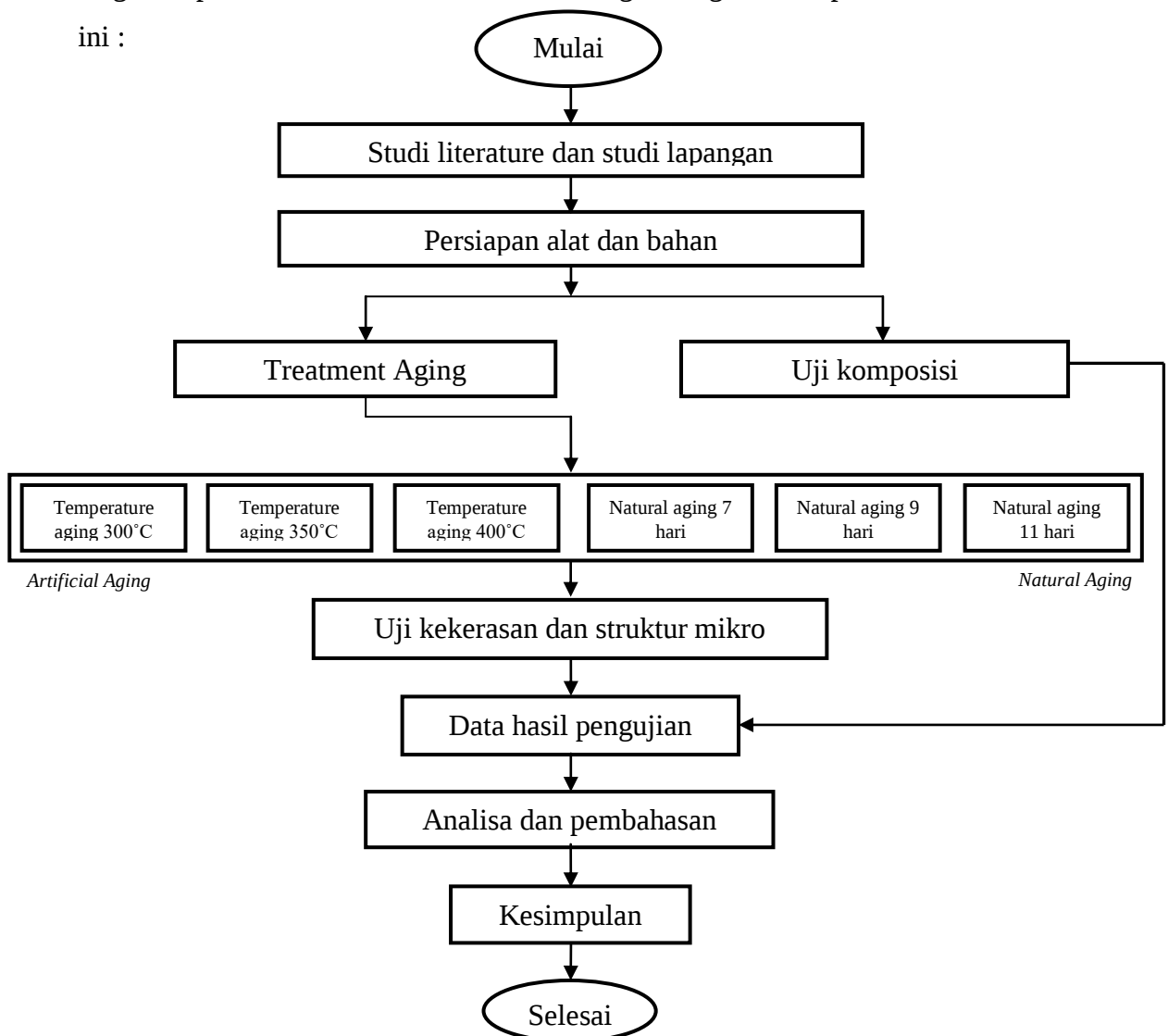
Nur Imam Subagyo (2017), melakukan penelitian tentang “analisis pengaruh *artificial aging* terhadap sifat mekanis pada aluminium seri 6061”. Dari penelitian menyatakan hasil perlakuan panas suhu 190°C dengan variasi *holding time* 1 jam menghasilkan kekerasan 53,8 HRB, variasi *holding time* 5 jam kekerasan yang dihasilkan sebesar 79,6 HRB, variasi *holding time* 11 jam kekerasan yang dihasilkan sebesar 50,4 HRB.

Anugerah Nuvrio Angga (2018), dalam penelitiannya tentang “pengaruh aging 200°C dengan waktu 1-9 jam terhadap sifat mekanik pada Al-Cu 4,5% remelting” dari penelitian menyatakan hasil dari perlakuan *aging* selama 9 jam nilai keuletannya menunjukkan rata-rata 0.010 J/mm². nilai kekerasan perlakuan *aging* dari hasil *remelting* terjadi pada *aging* 6 jam yaitu 97,93 BHN. Terjadi penurunan kekuatan tarik setelah perlakuan *aging* 9 jam yaitu 101,20 Mpa.

2. METODE

2.1 Diagram Alir Penelitian

Kegiatan penelitian ini dilakukan sesuai dengan diagram alir penelitian dibawah ini :



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui prosentase kandungan unsur – unsur yang ada dalam sebuah material. Pengujian ini menggunakan alat uji komposisi kimia (*spectrometer*).

Tabel 1. Hasil Uji Komposisi

Unsur	%
Al	91,99
Cu	5,4136
Mg	1,5742
Mn	0,5452
Zn	0,1636
Fe	0,1596
Si	0,1028
Ti	0,0182
Cr	0,0095
Ni	0,0069
Sn	0,0047
Pb	0,0024
Sb	0,0007
P	0,0000
Ca	0,0000

3.1.1 Pembahasan Komposisi Kimia

Berdasarkan hasil pengujian komposisi pada material aluminium tipe 2xxx maka di dapatkan unsur paduan Al-Cu dengan kandungan Cu sebesar 5,4136 % dan aluminium sebesar 91,99%.

Pada diagram fasa Al-Cu dibawah ini, diketahui bahwa batas material aluminium yang bisa diberi perlakuan panas memiliki kandungan Cu maksimal sebesar 5,65%, sehingga

material yang digunakan dalam pengujian ini termasuk (*heatreatable*) yang bisa diberi perlakuan panas.

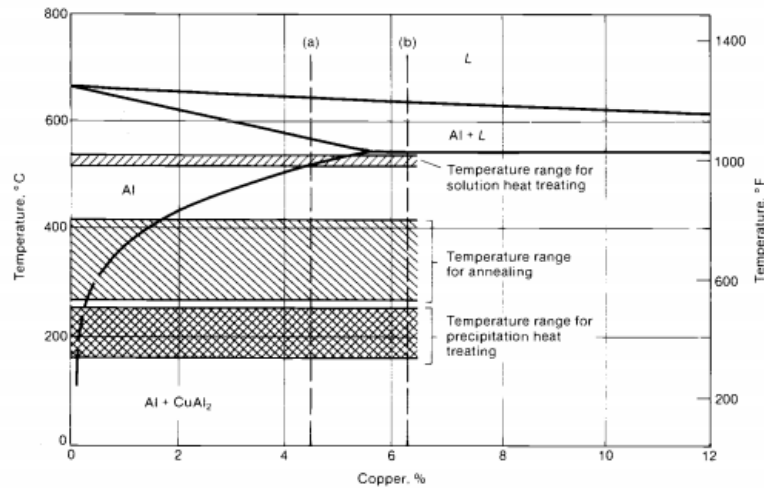


Fig 1 Portion of aluminum-copper binary phase diagram. Temperature ranges for annealing, precipitation heat treating, and solution heat treating are indicated. The range for solution treating is below the eutectic melting point of 548 °C (1018 °F) at 5.65 wt% Cu.

Gambar 2. Diagram Fasa Al-Cu

3.2 Pengujian Kekerasan

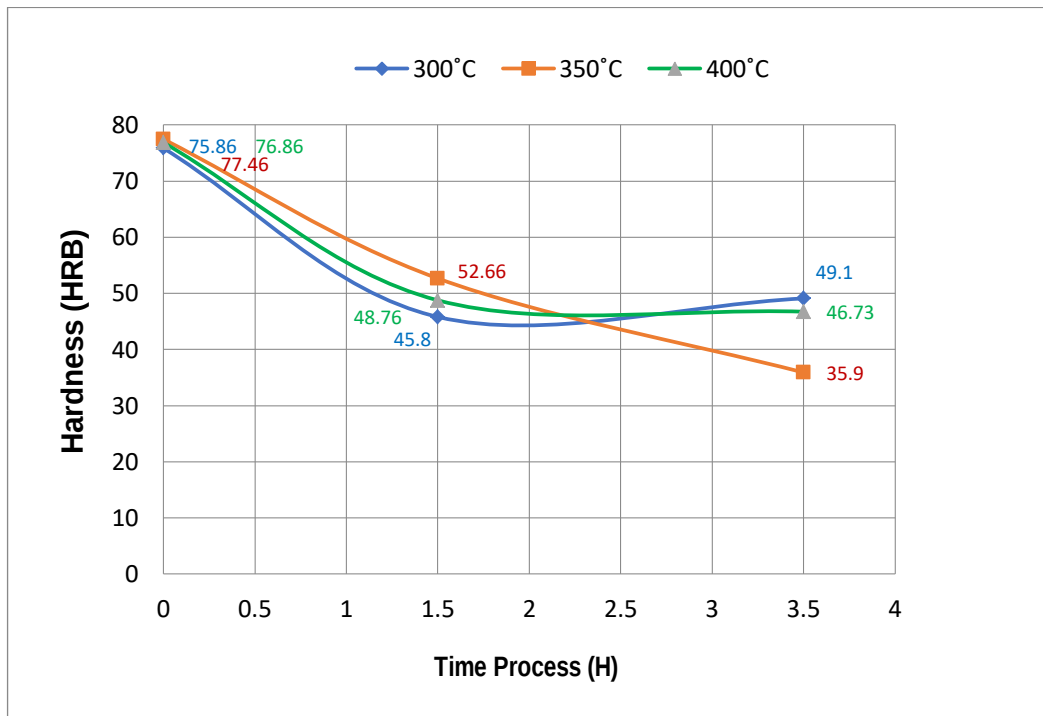
Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan pada material Al-Cu. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat uji kekerasan *Rockwell*.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kekerasan

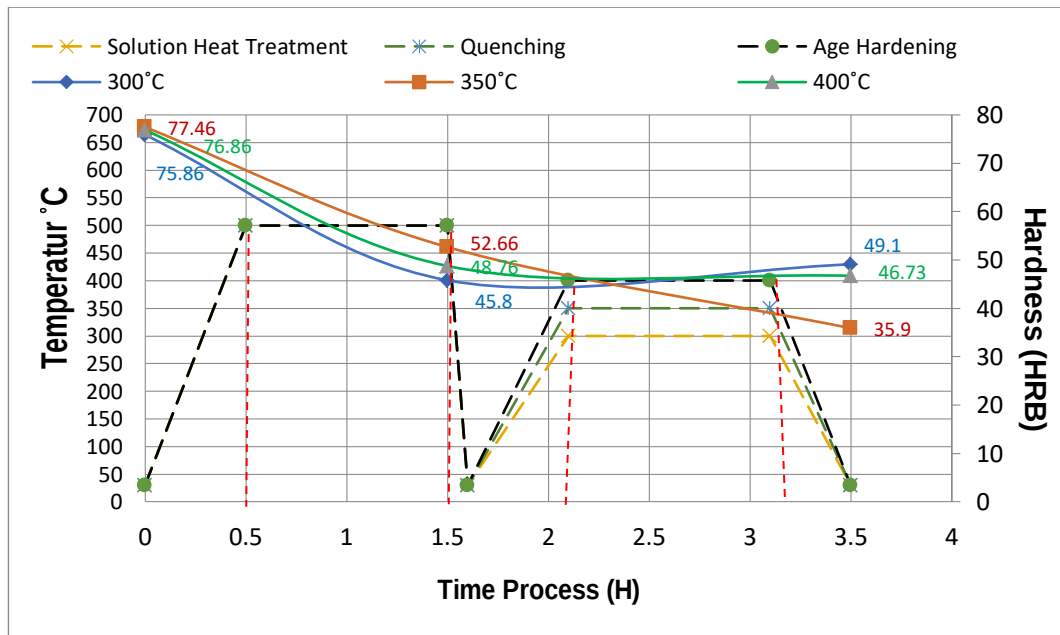
PROSES AGING	VARIASI	HR RAW	HR QUENCHING	HR AGING
<i>Artificial Aging</i>	300°C	75,2 HRB	37,4 HRB	55 HRB
		76,6 HRB	42,8 HRB	40,9 HRB
		75,8 HRB	57,2 HRB	51,4 HRB
	Rata – rata	75,86	45,8	49,1
	350°C	77,3 HRB	53,8 HRB	32,3 HRB
		77,5 HRB	56,5 HRB	37,5 HRB
		77,6 HRB	47,7 HRB	37,9 HRB
	Rata - rata	77,46	52,66	35,9
	400°C	76,2 HRB	53,9 HRB	52 HRB
		76,8 HRB	42,2 HRB	41,3 HRB

		77,6 HRB	50,2 HRB	46,9 HRB
	Rata – rata	76,86	48,76	46,73
	Rata-rata total	76,72	49,07	43,91
<i>Natural Aging</i>	7 Hari	77,8 HRB	52,3 HRB	68,6 HRB
		77,1 HRB	44,8 HRB	75,3 HRB
		77,7 HRB	38,9 HRB	70,5 HRB
	Rata - rata	77,53	45,33	71,46
	9 Hari	77,6 HRB	39,3 HRB	68,9 HRB
		77,3 HRB	48,3 HRB	71,2 HRB
		77,6 HRB	50,2 HRB	71,3 HRB
	Rata – rata	77,5	45,93	70,46
	11 Hari	77,5 HRB	44,6 HRB	70,6 HRB
		77,2 HRB	47 HRB	73,9 HRB
		77,9 HRB	55,3 HRB	74,6 HRB
	Rata – rata	77,53	48,96	73,03
	Rata – rata Total	77,52	46,74	71,65

Nilai hasil pengujian kekerasan *artificial aging* dapat dilihat pada grafik berikut :

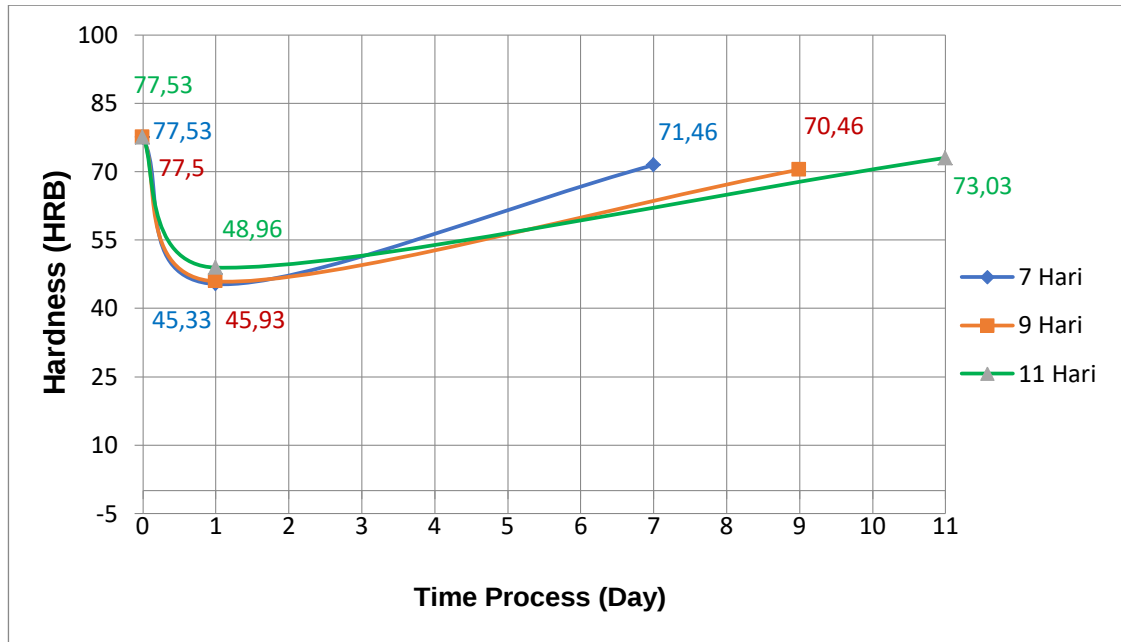


Gambar 3. Grafik Pengujian Kekerasan *Artificial Aging*

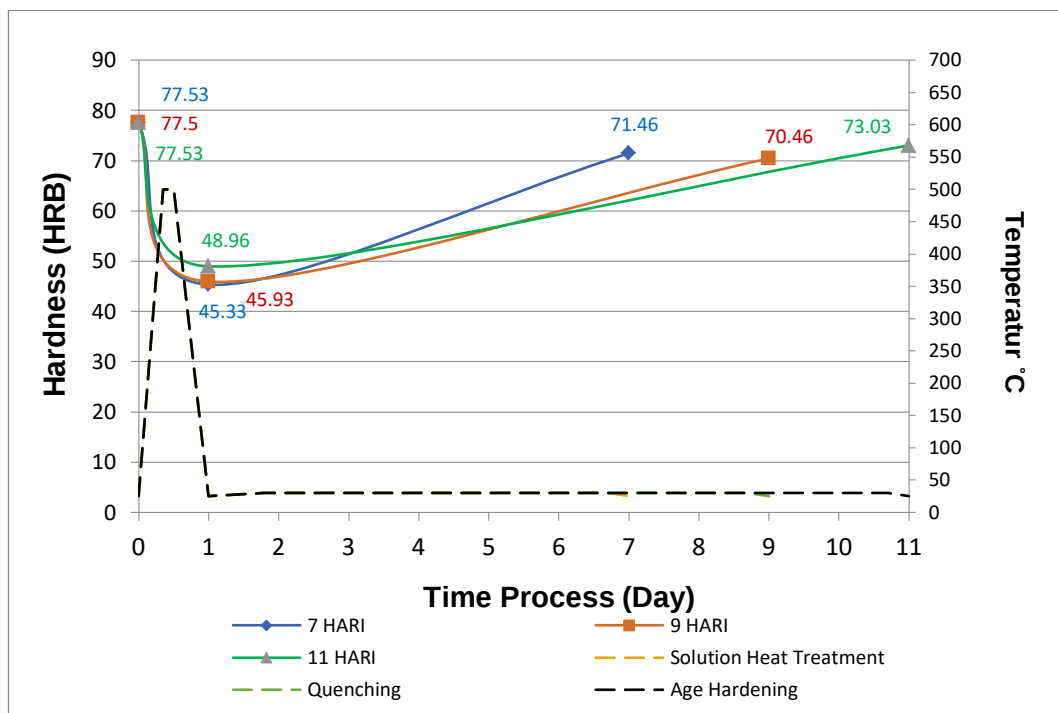


Gambar 4. Proses *Age Hardening* Metode *Artificial Aging*

Nilai hasil pengujian kekerasan *natural aging* dapat dilihat pada grafik berikut :



Gambar 5. Grafik Pengujian Kekerasan *Natural Aging*



Gambar 6. Proses *Age Hardening* Metode *Natural Aging*

3.2.1 Pembahasan Hasil Pengujian Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan pada variasi temperatur 300°C *raw material* memperoleh nilai kekerasan sebesar 75,86 HRB. Kemudian *raw material* Al-Cu yang diberi proses *Solution Heat Treatment* dan *quench* terjadi penurunan sebesar 65,6% dari 75,86 HRB menjadi 45,8 HRB. Namun setelah melalui proses *artificial aging* material mengalami kenaikan sebesar 7,2% dari 45,8 HRB menjadi 49,1 HRB.

Hasil pengujian kekerasan pada variasi temperatur 350°C *raw material* memperoleh nilai kekerasan sebesar 77,46 HRB. Kemudian setelah melalui proses *solution heat treatment* dan *quench* terjadi penurunan sebesar 47% dari 77,46 HRB menjadi 52,66 HRB. Namun setelah melalui proses *artificial aging* material mengalami penurunan sebesar 31,8% dari 52,66 HRB menjadi 35,9 HRB.

Hasil pengujian kekerasan pada variasi temperatur 400°C *raw material* memperoleh nilai kekerasan sebesar 76,86 HRB. Kemudian setelah melalui proses *solution heat treatment* dan *quench* terjadi penurunan sebesar 57,6% dari 76,86 HRB menjadi 48,76 HRB. Namun setelah melalui proses *artificial aging* material mengalami penurunan sebesar 4,2% dari 48,76 HRB menjadi 46,73 HRB.

Hasil pengujian kekerasan pada variasi waktu tahan 7 hari *raw material* memperoleh nilai kekerasan sebesar 77,53 HRB. Kemudian setelah melalui proses *solution heat treatment* dan *quench* terjadi penurunan sebesar 41,3% dari 77,53 HRB menjadi 45,33 HRB. Namun setelah melalui proses *natural aging* material mengalami peningkatan sebesar 57% dari 45,33 HRB menjadi 71,46 HRB.

Hasil pengujian kekerasan pada variasi waktu tahan 9 hari *raw material* memperoleh nilai kekerasan sebesar 77,5 HRB. Kemudian setelah melalui proses *solution heat treatment* dan *quench* terjadi penurunan sebesar 40,7% dari 77,5 HRB menjadi 45,93 HRB. Namun setelah melalui proses *natural aging* material mengalami peningkatan sebesar 53,4% dari 45,93 HRB menjadi 70,46 HRB.

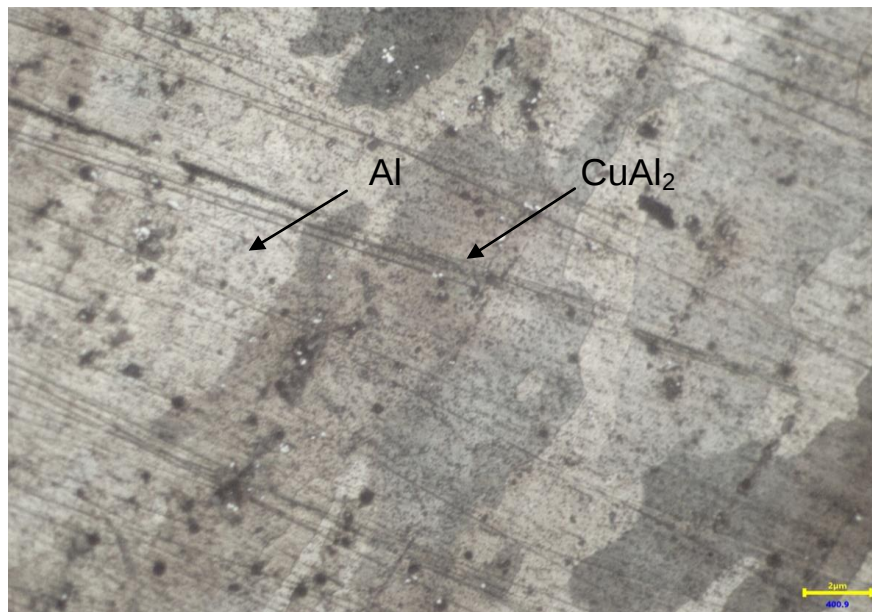
Hasil pengujian kekerasan pada variasi waktu tahan 11 hari *raw material* memperoleh nilai kekerasan sebesar 77,53 HRB. Kemudian setelah melalui proses *solution heat treatment* dan *quench* terjadi penurunan sebesar 36,9% dari 77,53 HRB menjadi 48,96 HRB. Namun setelah melalui proses *natural aging* material mengalami peningkatan sebesar 49,2% dari 48,96 HRB menjadi 73,03 HRB.

Setelah melalui proses *quench* kekerasan material mengalami penurunan hal ini disebabkan struktur butiran atom mengalami peregangan dan tidak sampai pada tahap presipitasi, maka Al-Cu berubah menjadi fasa padat lewat jenuh (*super saturated solid solution*). Pada proses *artificial aging* kekerasan juga mengalami penurunan hal ini disebabkan terbentuknya presipitat dengan struktur temperatur yang teratur, dimana pengerasan berjalan sangat lambat fasa yang terjadi adalah fasa θ' .

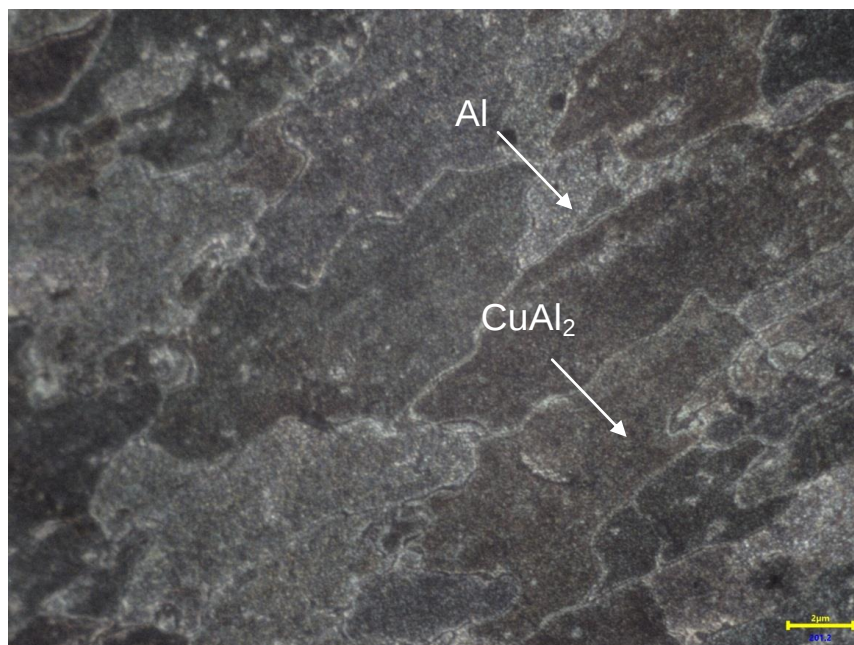
Perbandingan yang didapatkan bahwa hasil kekerasan *artificial aging* dengan *natural aging* mengalami peningkatan sebesar 63,2% dari 48,91 menjadi 71,65. Hal ini disebabkan oleh proses *natural aging* dilakukan pada temperatur rendah dan dalam waktu yang lama.

3.3 Pengujian Struktur Mikro

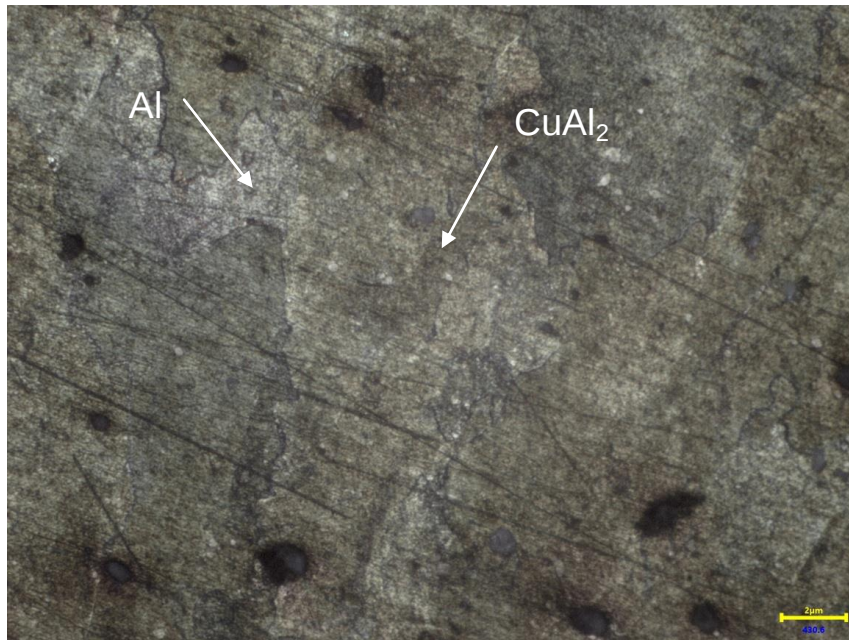
Pengujian struktur mikro dilakukan untuk melihat perubahan butiran – butiran pada struktur mikro yang terjadi sebelum dilakukan proses *aging* dan setelah proses *aging*. Pengamatan dilakukan untuk mengetahui bentuk, ukuran dan penyebaran butir atom. Proses ini dilakukan setelah proses etsa agar struktur mikro menjadi lebih jelas. Hasil pengujian struktur mikro spesimen *raw material*, *artificial aging* variasi temperatur 300°C, 350°C, 400°C dan *natural aging* variasi 7 hari, 9 hari, dan 11 hari dapat dilihat pada gambar sebagai berikut.



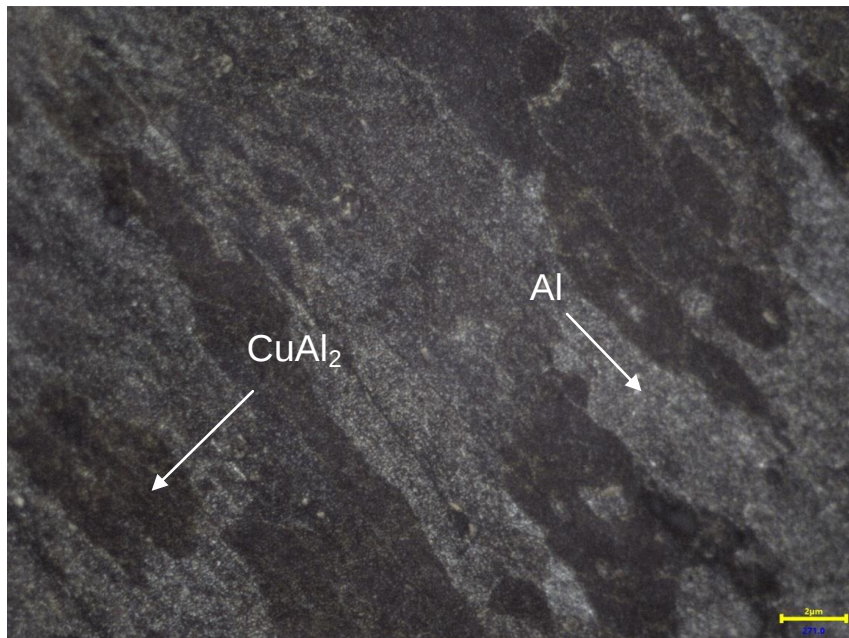
Gambar 7. Struktur Mikro Al-Cu Menggunakan Larutan NaOH Dan Aquades



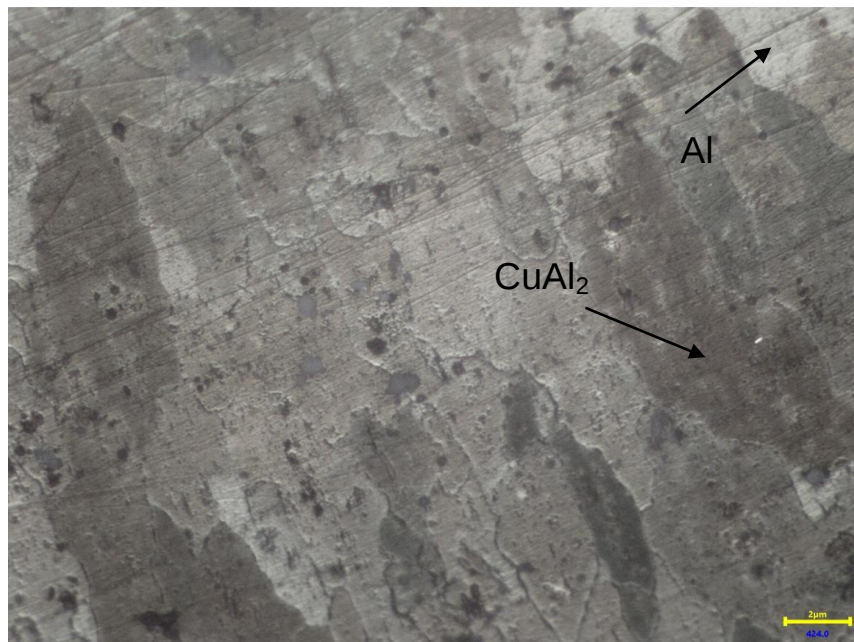
Gambar 8. Struktur Mikro Al-Cu Proses Aging Temperatur 300°C Menggunakan Larutan NaOH Dan Aquades



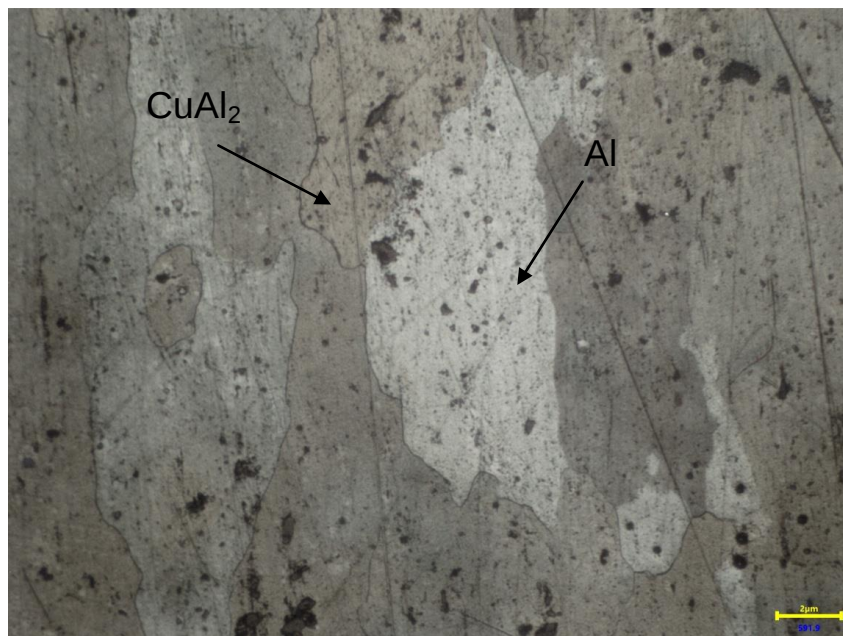
Gambar 9. Struktur Mikro Al-Cu Proses Aging Temperatur 350°C Menggunakan Larutan NaOH Dan Aquades



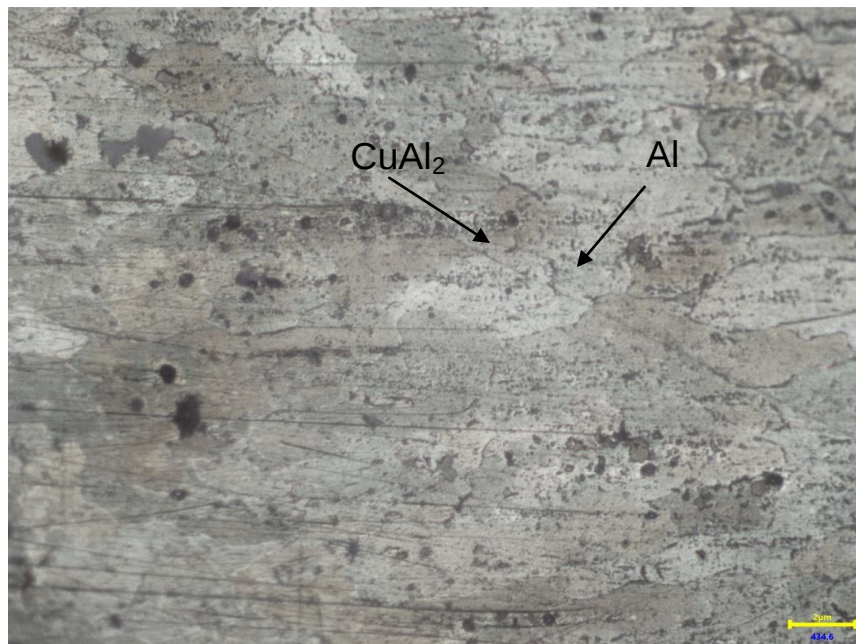
Gambar 10. Struktur Mikro Al-Cu Proses Aging Temperatur 400°C Menggunakan Larutan NaOH Dan Aquades



Gambar 11. Struktur Mikro Al-Cu Proses Aging 7 hari Menggunakan Larutan NaOH Dan Aquades



Gambar 12. Struktur Mikro Al-Cu Proses Aging 9 hari Menggunakan Larutan NaOH Dan Aquades



Gambar 13. Struktur Mikro Al-Cu Proses Aging 11 Hari
Menggunakan Larutan NaOH Dan Aquades

3.3.1 Pembahasan Hasil Struktur Mikro

Hasil pengamatan struktur mikro material Al-Cu pada **gambar 7** sebelum diberi perlakuan panas memiliki butiran-butiran kecil cenderung rapat dan jumlahnya banyak, serta memiliki batas butir Al-Cu cenderung rapat. Pengamatan struktur mikro setelah diberi perlakuan panas selama 1 jam dengan temperatur 300°C memiliki butiran-butiran kecil dan lebih renggang serta batas butir Al-Cu cenderung lebih rapat dan teratur, hal ini kekerasan variasi temperatur 300°C kekerasannya lebih rendah dari *raw material*. Pengamatan struktur mikro setelah diberi perlakuan panas selama 1 jam dengan temperatur 350°C memiliki butiran-butiran lebih besar dan lebih renggang serta batas butir Al-Cu cenderung lebih lebar, hal ini kekerasan variasi 350°C memiliki kekerasan yang paling rendah. Pengamatan struktur mikro setelah diberi perlakuan panas 1 jam dengan temperatur 400°C memiliki butiran-butiran sedikit lebih kecil dan cenderung lebih renggang serta batas butir Al-Cu cenderung lebih rapat dan lebih teratur, hal ini kekerasan variasi 400°C memiliki kekerasan lebih tinggi dari variasi 350°C.

Hasil pengamatan struktur mikro pada material Al-Cu pada **gambar 11** setelah diberi perlakuan panas dengan temperatur kamar selama 7 hari penahanan, memiliki butiran-butiran kecil dan banyak serta batas butir Al-Cu cenderung lebih rapat dan teratur, hal ini kekerasan variasi waktu penahanan 7 hari memiliki kekerasan lebih tinggi dari variasi temperatur (*artificial aging*). Pengamatan struktur mikro setelah diberi perlakuan panas dengan temperatur kamar selama 9 hari penahanan memiliki butiran-butiran lebih besar dan lebih renggang serta batas butir Al-Cu cenderung lebih besar dan lebih renggang, hal ini kekerasan dengan waktu penahanan 9 hari memiliki kekerasan lebih rendah dari variasi waktu penahanan 7 hari. Pengamatan struktur mikro setelah diberi perlakuan panas dengan temperatur kamar selama 11 hari penahanan memiliki butiran-butiran kecil dan jumlahnya lebih banyak serta batas butir Al-Cu lebih rapat dan teratur, hal ini kekerasan dengan waktu penahanan 11 hari memiliki kekerasan yang paling tinggi dari variasi 7 hari, 9 hari serta variasi temperatur *artificial*.

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian dan menganalisa maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai kekerasan aluminium Al-Cu setelah melalui proses *quenching* kekerasannya menurun sebesar 36% dari *raw material* memiliki kekerasan 76,72 HRB, menjadi 49,07 HRB. Hal ini disebabkan struktur butiran atom mengalami peregangan dan tidak sampai pada tahap presipitasi, maka Al-Cu berubah menjadi fasa padat lewat jenuh (*super saturated solid solution*). Namun setelah melalui *proses artificial aging*, nilai kekerasan juga mengalami penurunan sebesar 10,5% dari 49,07 HRB menjadi 43,91 HRB. Hal ini disebabkan oleh disebabkan terbentuknya presipitat dengan struktur temperatur yang teratur, dimana pengerasan berjalan sangat lambat fasa yang terjadi adalah fasa θ' .

2. Perbandingan hasil kekerasan metode *artificial aging* dengan *natural aging*. Kekerasan mengalami peningkatan sebesar 63,2% dari 43,91 HRB menjadi 71,65 HRB. Hal ini disebabkan oleh proses *natural aging* dilakukan pada temperatur rendah dan dalam waktu yang lama.
3. Hasil foto mikro pada metode *artificial aging* bentuk butiran-butiran sedikit lebih besar serta lebih renggang dan batas butir Al-Cu cenderung sedikit lebih rapat. Kemudian pada metode *natural aging* bentuk butiran-butiran kecil jumlahnya lebih banyak dan lebih rapat serta batas butir Al-Cu cenderung lebih rapat dan teratur. Hal ini kekerasan *natural aging* memiliki kekerasan yang lebih tinggi dari metode *artificial aging*.

4.2 Saran

1. Ketika proses pengamplasan material sebaiknya menggunakan mesin amplas yang bisa diatur kecepatan RPM nya supaya kehalusan permukaan bisa optimal.
2. Pada proses *solution heat treatment* dan *aging* sebaiknya menggunakan oven/furnace yang temperaturnya bisa konstan dan tidak *fluktuatif*, karena akan sangat mempengaruhi perubahan struktur mikro dan kekerasan material.

DAFTAR PUSTAKA

Angga, Anugerah Nuvrio (2018), *Pengaruh Aging 200°C Dengan Waktu 1-9 Jam Terhadap Sifat Mekanik Pada Al-Cu 4,5% Remelting*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Sanata Dharma.

Arianata (2017), *Proses Pengamatan Struktur Mikro*.

ASM Handbook Vol 4. *Heat Treating Aluminium Alloy*

ASM Handbook Volume 4, *Heat Treating Aluminium Alloys*

ASTM E18-15, *Standard Test Method For Rockwell Hardness Of Metallic Materials*.

- Avner, Sidney, H. (1974) *Jenis – Jenis Paduan Aluminium*.
- Budenski, K: Michael (1999), *Elemen Paduan Pada Aluminium Yang Memberikan Efek Baik Maupun Efek Buruk*.
- Budi Lesmana (2008), Fakultas Teknik Universitas Indonesia
- Caesarti, Astri Widya (2016), *Pengaruh Temperatur Aging Aluminium 2024 Pada Skin Wing Pesawat CN 235*. Jurusan D3 Teknik Mesin SV Universitas Gadjah Mada.
- Elwin L. Rooy (1997) *Pengaruh Positif unsur tembaga (Cu) dalam paduan aluminium*.
- Fuad (2010) *Artificial Aging*
- Humisar (2017) *Sifat Mekanik Paduan Al-Cu Yang Mengalami Pengerasan Endap Dapat Menyamai Sifat Mekanik Dari Baja Lunak*.
- Majanasastra (2015) *Pengaruh Variabel Waktu Aging Terhadap Peningkatan Kekerasan Permukaan Dan Struktur Mikro Kepala Piston Sepeda Motor Honda Vario*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam 45 Bekasi.
- Material Handbook 8th edition, Vol 7
- Radutoiu,dkk.(2012). *Effect of the over-ageing treatment on the mechanical properties of AA2024 aluminium alloy*. Revista de chimie (Chemistry magazine). Prancis.
- Rendy Saputra (2012) *Paduan Pada Aluminium Adalah Cu, Mn, Si, Mg, Dan Zn*.
- Subagyo, Nur imam (2017), *Analisis Pengaruh Artificial Aging Terhadap Sifat Mekanis Pada Aluminium Seri 6061*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.
- Surdia. T., Saito, S.(1990) : *Pengetahuan Bahan Teknik*
- William K. Dalton: *Diagram Fasa Perubahan Mikrostruktur*

Yudy Surya Irawan : Material Teknik, *Karakteristik Tembaga*.