

**PENGARUH ARTIFICIAL AGING VARIASI HOLDING TIME
60 MENIT, 90 MENIT DAN 120 MENIT TERHADAP
STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN PADA ALUMINIUM
PADUAN (Al-Cu)**



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

Oleh :

Akid Abdul Azis

D200150125

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

HALAMAN PERSETUJUAN

**PENGARUH ARTIFICIAL AGING VARIASI HOLDING TIME
60 MENIT, 90 MENIT DAN 120 MENIT TERHADAP
STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN PADA ALUMINIUM
PADUAN (Al-Cu)**

PUBLIKASI ILMIAH

Oleh :

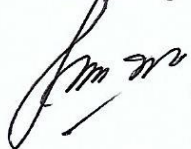
Akid Abdul Azis

D200150125

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen

Pembimbing



Ir.Pramuko Ilmu Purboputro,.M.T

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH ARTIFICIAL AGING VARIASI HOLDING TIME
60 MENIT, 90 MENIT DAN 120 MENIT TERHADAP
STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN PADA ALUMINIUM
PADUAN (Al-Cu)**

Oleh :

Akid Abdul Azis

D200150125

Telah dipertahankan didepan Dosen Penguji
Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Rabu, 18 Desember 2019
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji :

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

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

Dekan,



Ir. Sutrisno, 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, 8 Januari 2020

Penulis



Akid Abdul Azis

D200150125

PENGARUH ARTIFICIAL AGING VARIASI HOLDING TIME 60 MENIT, 90 MENIT DAN 120 MENIT TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN PADA ALUMINIUM PADUAN (Al-Cu)

ABSTRAK

Paduan aluminium membutuhkan beberapa proses untuk meningkatkan kekuatan material sebelum dipergunakan. Salah satu cara yang dapat ditempuh untuk meningkatkan kekuatan suatu paduan logam, yaitu melalui proses perlakuan panas (heat treatment). Hasil pengujian kekerasan pada Aluminium paduan Al-Cu kondisi setelah melalui proses quenching mengalami penurunan dari rawmaterial atau material yang belum melalui proses pemanasan yang memiliki kekerasan rata-rata sebesar 77,7 HRB menjadi 50,08 HRB. Namun setelah melewati proses artificialaging, kekerasan meningkat dari kondisi after quench dengan rata-rata 50,08 HRB menjadi 60,68 HRB untuk kekerasan setelah di aging. Dari hasil pengujian kekerasan After Aging didapatkan hasilmaterial dengan holding time 60 menit memiliki kekerasan 57,67 HRB, material dengan holding time 90 menit memiliki kekerasan 66,2 HRB, material dengan holding time 120 menit memiliki kekerasan 58,17 HRB. Ini menunjukkan bahwa proses menggunakan holding time 90 menit merupakan yang paling optimal.

Kata kunci : “age hardening, aging, quenching, struktur mikro Al-Cu”

ABSTRACT

The aluminum alloy requires several processes to increase the strength of the material before it is used. One way that can be taken to increase the strength of a metal alloy is through the heat treatment process. The results of hardness testing on Al-Cu Aluminum alloy conditions after quenching has decreased from raw materials or materials that have not been through a heating process that has an average hardness of 77.7 HRB to 50.08 HRB. However, after going through the artificial aging process, the violence increased from the after quench condition with an average of 50.08 HRB to 60.68 HRB for violence after aging. From the results of After Aging hardness test, the result of material with 60 minutes holding time has 57.67 HRB hardness, material with 90 minutes holding time has 66.2 HRB hardness, material with 120 minutes holding time has 58.17 HRB hardness. This shows that the process of using a 90 minute holding time is the most optimal.

Keywords: "age hardening, aging, quenching, Al-Cu microstructure"

1. PENDAHULUAN

Semakin berkembangnya teknologi industri pada era saat ini akan selalu diikuti dengan permintaan produk-produk dengan kualitas yang semakin baik

pula. Berbagai cara ditempuh untuk menciptakan produk yang lebih baik dari sebelumnya, salah satunya dengan memodifikasi sifat material dari berbagai material yang banyak digunakan di berbagai aspek kehidupan manusia.

Produk dengan bahan aluminium merupakan salah satu yang paling banyak dipakai dalam dunia industri dan kehidupan sehari-hari. Aluminium banyak dipakai karena memiliki sifat ringan dan kuat. Selain itu meningkatnya penggunaan aluminium dikarenakan memiliki kelebihan dibandingkan logam lain diantaranya tahan korosi serta penghantar listrik yang baik. Namun, aluminium juga memiliki kelemahan yaitu pada sifat mekaniknya yang kurang baik. Agar dapat meningkat sifat mekaniknya, aluminium dipadukan dengan Cu, Si, Mg, Zn, Mn, Ni dan unsur lain,

Paduan aluminium tersebut membutuhkan beberapa proses untuk meningkatkan kekuatan material sebelum dipergunakan. Salah satu cara yang dapat ditempuh untuk meningkatkan kekuatan suatu paduan logam, yaitu melalui proses perlakuan panas (heat treatment).

I M Astika., (2019), melakukan penelitian tentang peningkatan kekerasan pada material Aluminium alloy Al-Cu yang telah melalui proses *artificial aging* dengan variasi waktu penahanan. Dalam penelitian ini didapatkan waktu optimal untuk mendapatkan kekerasan dengan nilai yang paling tinggi

Berdasarkan latar belakang diatas, maka penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

- 1) Bagaimana pengaruh *solution treatment* terhadap nilai kekerasan bahan Aluminium paduan jenis Al-Cu.
- 2) Bagaimana pengaruh variasi holding time terhadap kekerasan bahan Aluminium paduan jenis Al-Cu sebelum dan sesudah perlakuan *artificial aging*.
- 3) Bagaimana pengaruh variasi holding time terhadap struktur mikro yang terbentuk pada bahan Aluminium paduan jenis Al-Cu sebelum dan sesudah perlakuan *artificial aging*.

Tujuan yang ingin di dapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut

- 1) Mengetahui kekerasan material sesudah perlakuan *solution treatment*
- 2) Mengetahui kekerasan bahan Aluminium paduan jenis Al-Cu dengan variasi holding time 60 menit, 90 menit, 120 menit, sebelum dan sesudah perlakuan *artificial aging*
- 3) Mengetahui struktur mikro yang terbentuk pada bahan Aluminium paduan jenis Al-Cu dengan variasi holding time 60 menit, 90 menit, 120 menit, sebelum dan sesudah perlakuan *artificial aging*

Dalam pembahasan yang disajikan, peneliti perlu membatasi permasalahan agar pembahasan lebih terfokus mengingat kompleksnya permasalahan yang terjadi di dalam proses penelitian. Adapun batasan masalah tersebut meliputi :

- 1) Material yang digunakan adalah paduan Aluminium Tembaga (Al-Cu) dengan tipe 2024.
- 2) Mesin pemanas yang digunakan berupa *furnace* tipe *WiseTherm F-14*
- 3) Variasi waktu penahanan atau *holding time* yaitu 60 menit, 90 menit, dan 120 menit.
- 4) Suhu pada proses *solution treatment* adalah 500°C.
- 5) Suhu pada proses *artificial aging* adalah 150°C.
- 6) Media pendingin proses *solution treatment* adalah air
- 7) Waktu pendinginan proses *solution treatment* dianggap seragam
- 8) Pengujian kekerasan hasil coran menggunakan uji kekerasan Rockwell.

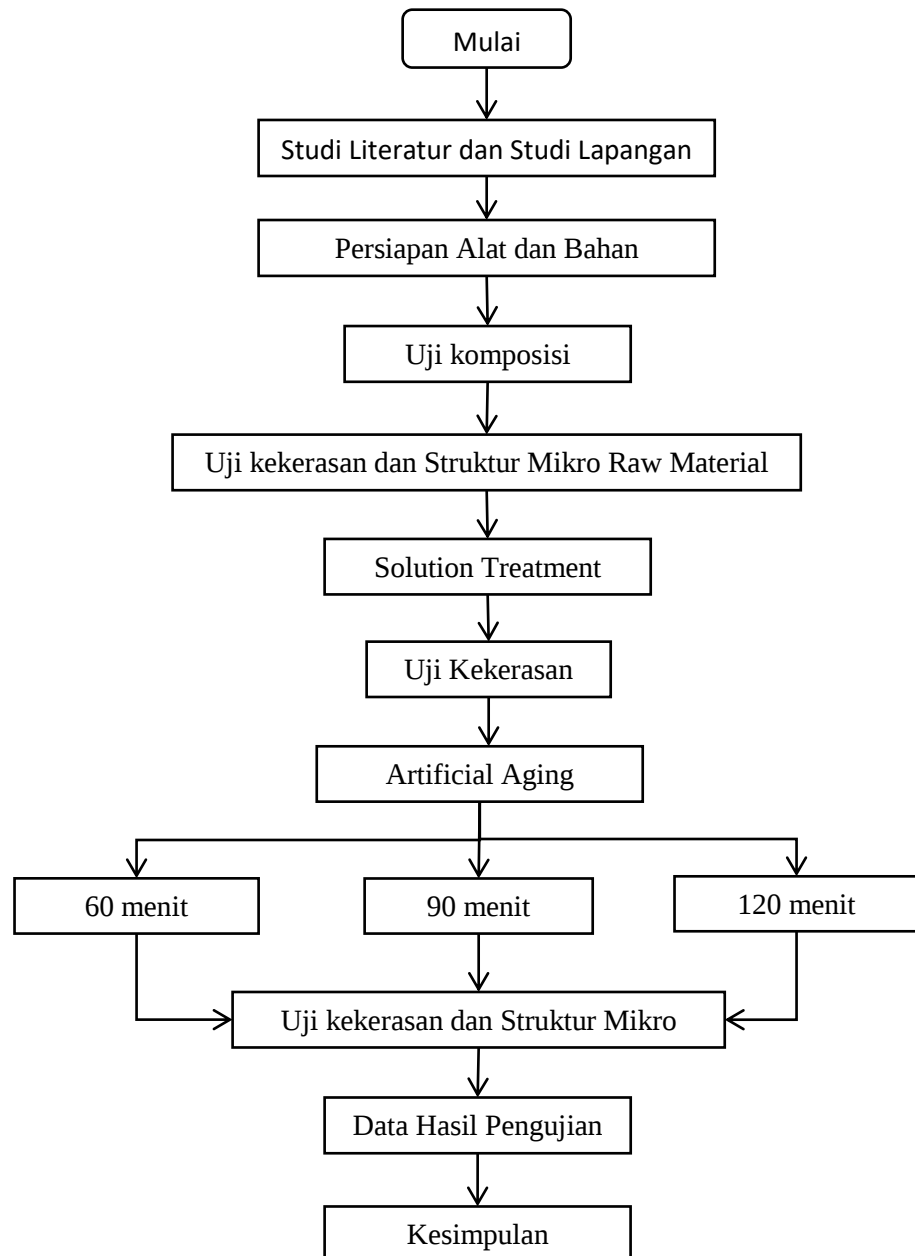
Adapun manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang positif baik untuk penulis sendiri, atau dunia pendidikan antara lain :

- a) Memberikan kontribusi dalam dunia pendidikan yang berkaitan dengan *age hardening*

- b) Menambah pemahaman tentang pengaruh variasi waktu terhadap hasil perlakuan *artificial aging*.
- c) Menambah pemahaman tentang suhu yang sesuai untuk proses artificial aging.
- d) Menambah pemahaman tentang perlakuan panas untuk material aluminium.

2. METODE

2.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1 Diagram alir penelitian

2.2 Alat dan Bahan

2.2.1 Alat

1. Mesin Amplas
2. Alat uji *Spectrometer*
3. Oven WiseTherm (*Furnace*)
4. Amplas
5. Gergaji
6. Kain
7. Penjepit spesimen
8. Alat uji kekerasan *Rockwell*
9. Alat uji Struktur Mikro.
10. *Infrared thermometer*

2.2.2 Bahan

1. Aluminium
2. Autosol
3. Resin katalis
4. Larutan etsa (NaOH)

2.3 Studi Pustaka dan Lapangan

Studi Pustaka dan Lapangan merupakan langkah-langkah proses penelitian. Tahap-tahap yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- 1) Pencarian data yang berhubungan dengan penelitian dari buku atau laporan yang sesuai.
- 2) Mencari material Al-Cu.
- 3) Melakukan uji komposisi kimia untuk dapat mengetahui kandungan dari material yang di dapat apakah sesuai atau tidak. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin dan Industri Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

- 4) Proses *Age hardening*, dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- 5) Pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- 6) Proses pengamplasan dan etsa material yang akan digunakan untuk uji struktur mikro dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- 7) Uji struktur mikro dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.

3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian

Pengujian Komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui prosentase kandungan unsur-unsur yang terkandung dalam material. pengujian ini menggunakan alat uji *spectrometer*.

Tabel hasil uji komposisi :

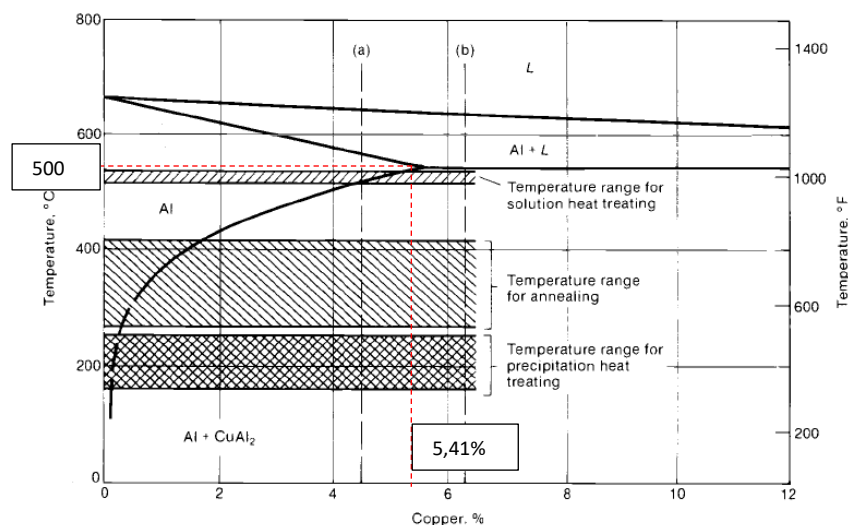
Tabel 1 Hasil Uji Komposisi Kimia

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	0,0069
Ni	0,0069

Sn	0,0047
Pb	0,0024
Sb	0,0007
Ca	0,0000
P	0,0000

3.1.1 Pembahasan Komposisi kimia

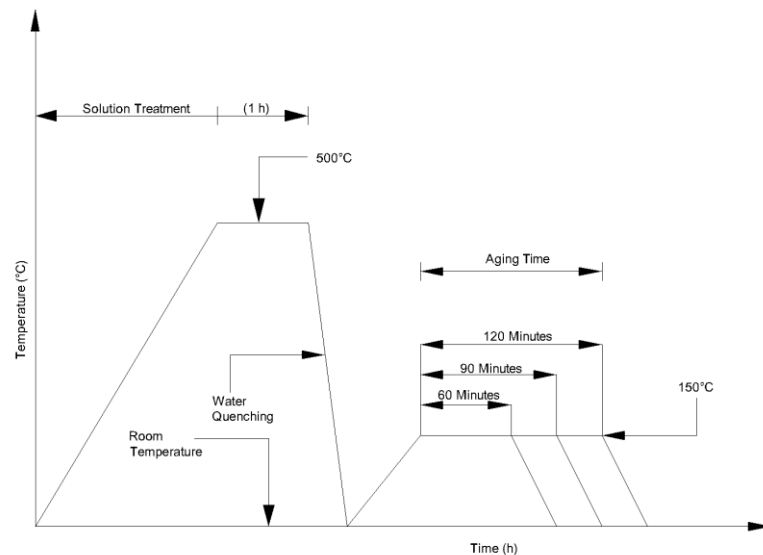
Berdasarkan hasil pengujian pada aluminium paduan tipe 2024, di dapat unsur paduan Al-Cu dengan kandungan aluminium sebesar 91,88% dan Cu sebesar 5,4136%.



Gambar 2 Diagram Fasa Al-Cu

Pada diagram fasa Al-Cu diketahui untuk Batasan material aluminium yang bisa diberi perlakuan panas harus memiliki kandungan Cu maksimal sejumlah 5,65 %, sehingga material yang digunakan dalam pengujian ini termasuk material yang bisa diberi perlakuan panas (*heatreatable*).

Dari hasil uji komposisi, dapat ditentukan pula suhu untuk proses *solution treatment*. Suhu untuk proses *solution treatment* sebesar 500°C sesuai dengan garis putus-putus pada gambar 2



Gambar 3 Diagram proses *age hardening*

3.2 Data Hasil Pengujian Kekerasan *Rockwell*

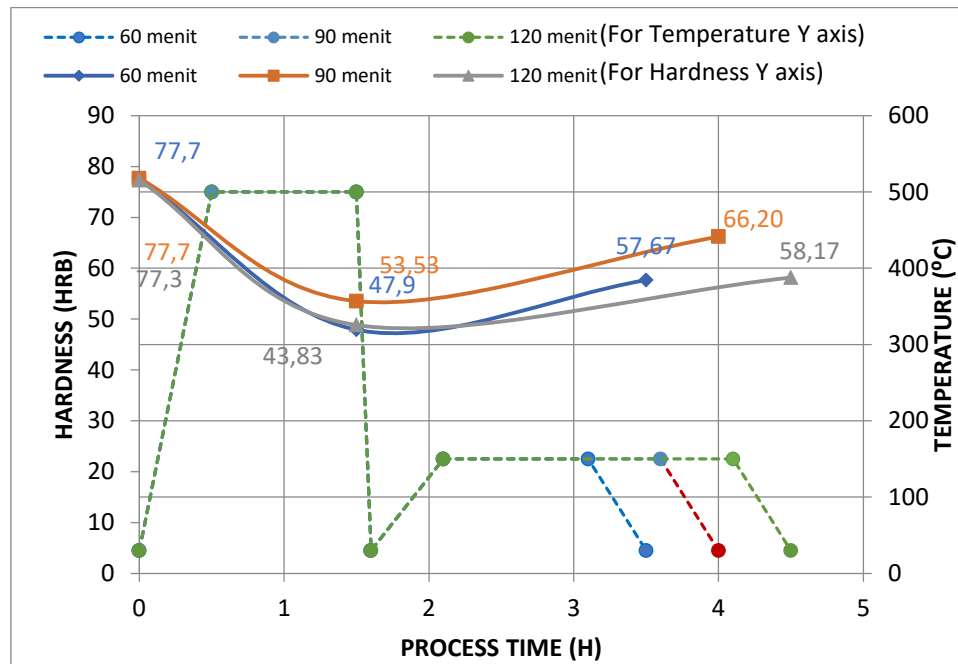
Pengujian kekerasan bertujuan untuk membandingkan nilai kekerasan dari paduan Al-Cu sebelum di proses *artificial*, sesudah di *quenching* dan sesudah proses *artificial aging* 60 menit, 90 menit, 120 menit. Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan metode uji kekerasan *Rockwell* dengan pembebanan 100 kgf.

Adapun data hasil pengujian kekerasan dapat dilihat pada tabel 2 pengujian kekerasan *artificial aging* dan *natural aging*.

Tabel 2 Data hasil pengujian kekerasan *Rockwell* dengan proses *artificial aging* dengan holding time 60 menit, 90 menit, 120 menit

NO	VARIASI WAKTU	MAT	HR RAW	HR AFTER QUENCH	HR AFTER AGING
1.	60 Menit	1.	77,9	47,2	51,6
		2.	77,5	42,6	58,6
		3.	77,8	53,9	62,8
	Rata-rata		77,7	47,9	57,67
2.	90 Menit	4.	77,5	55,2	66,4
		5.	77,4	52,3	65,4
		6.	78,2	53,1	66,8
	Rata-rata		77,7	53,53	66,2
3.	120 Menit	7.	77,8	40,2	49,3
		8.	77,4	45,4	62,7
		9.	76,7	45,9	62,5
	Rata-rata		77,3	48,83	58,17

Diagram Pengujian Kekerasan *Artificial Aging* dengan holding time 60 menit, 90 menit, 120 menit



Gambar 4 Grafik Hasil Uji Kekerasan Rockwell dan Skema Proses

3.2.1 Pembahasan hasil pengujian kekerasan

Hasil pengujian kekerasan Dari hasil pengujian kekerasan pada *raw material* dan setelah diberi proses *Solution Heat Treatment* dan *quench*, nilai kekerasan mengalami penurunan sebesar 35,42%. Hal ini disebabkan fasa Al-Cu berubah menjadi fasa jenuh dan butir atomnya mengalami perenggangan sehingga nilai kekerasan menurun.

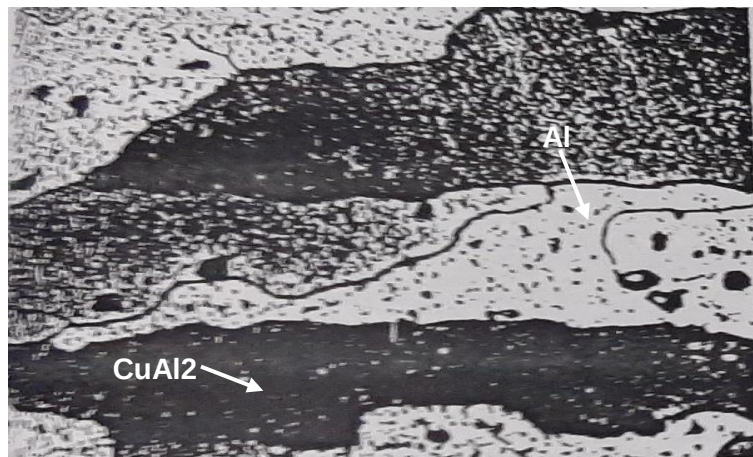
Setelah proses perlakuan panas *aging* dengan metode *artificial aging* nilai kekerasan meningkat pada variasi temperatur 150°C selama 60 menit, rata-rata kekerasan yang sebelumnya 47,9HRB meningkat 17% menjadi 57,67 HRB.

Pada proses *artificial aging* dengan *holding time* selama 90 menit, rata-rata kekerasan yang sebelumnya sebesar 53,53HRB meningkat 19% menjadi 66,2 HRB. Pada proses *artificial aging* dengan *holding time* selama 120 menit, rata-rata kekerasan yang sebelumnya 48,83HRB meningkat 16% menjadi 58,17 HRB. Nilai kekerasan tertinggi di dapat pada proses *artificial aging* dengan waktu 90 menit.

Nilai kekerasan setelah proses *artificial aging* lebih tinggi dibandingkan setelah *quenching*, hal ini dikarenakan butiran pada material mulai merapat menunjukkan bahwa telah terjadi proses pengerasan pada presipitat material yang mengakibatkan peningkatan pada kekerasan material. Namun hasil proses *artificial aging* nilainya lebih rendah dibandingkan dengan raw material atau material sebelum melalui proses aging, terjadi akibat suhu yang digunakan terlalu tinggi untuk sebuah material Al-Cu, pada tahap ini presipitat dan matriks dalam keadaan seimbang, sehingga menyebabkan partikel yang terbentuk semakin besar yang berakibat pada penurunan kekerasan pada material. Fenomena ini umumnya disebut *over aged*.

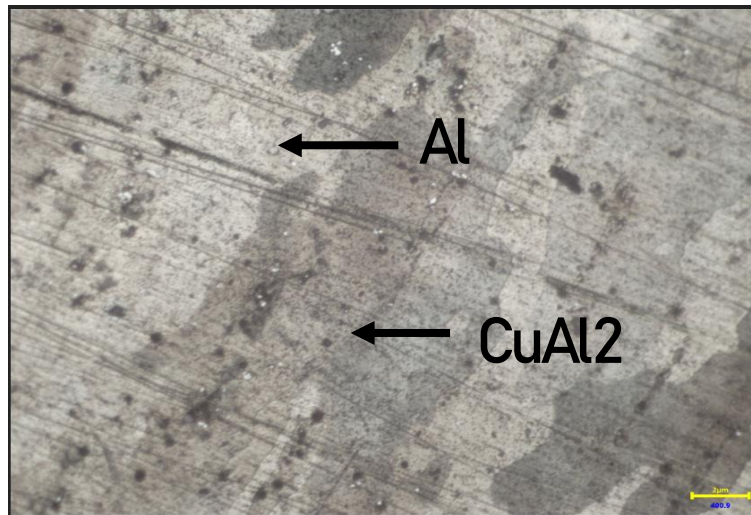
3.3 Hasil Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro bertujuan untuk mengamati bentuk, ukuran, dan penyebaran butiran pada spesimen sebelum dan setelah melalui age hardening

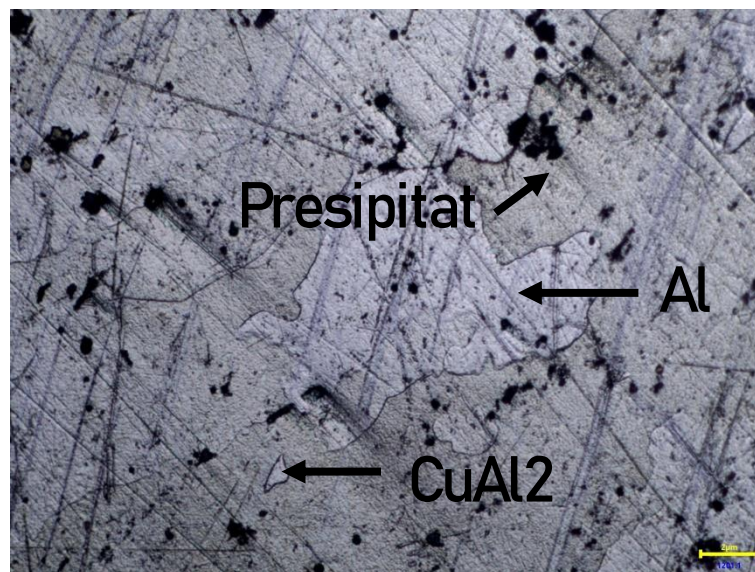


Gambar 5 Struktur Mikro Paduan Al-Cu
(*Material Handbook 8th edition, Vol.7*)

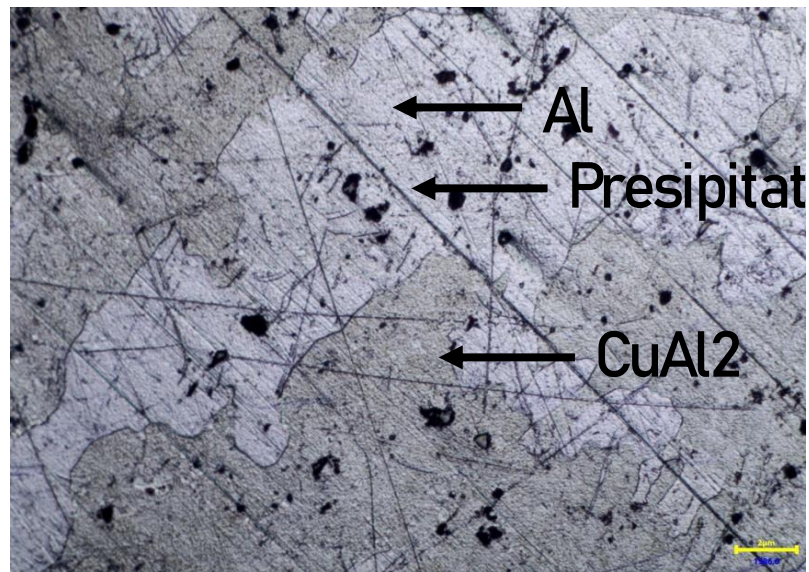
Hasil pengujian struktur mikro *raw material*, material setelah *aging* dengan waktu 60 menit, 90 menit, 120 menit dapat dilihat pada gambar berikut.



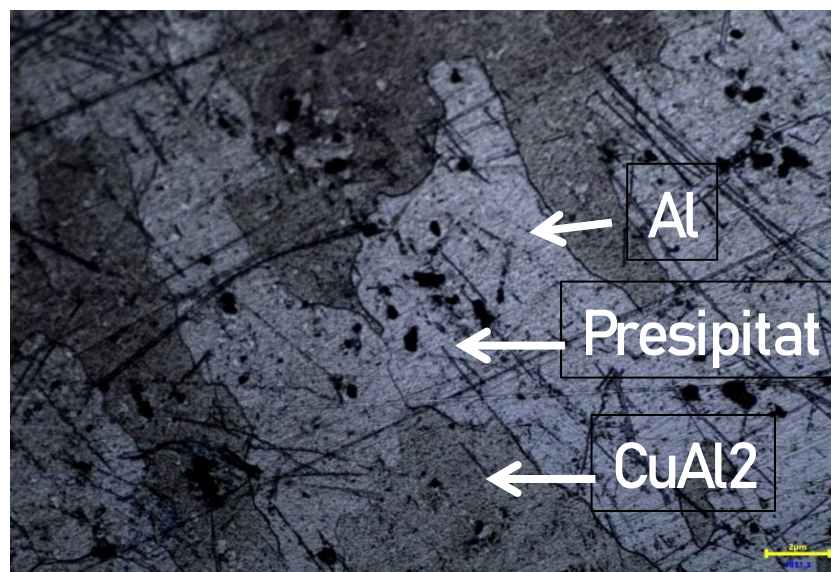
Gambar 6 Struktur mikro *raw material* perbesaran 100x



Gambar 7 Struktur mikro material setelah *aging* selama 60 menit perbesaran 100x



Gambar 8 Struktur mikro material setelah *aging* selama 90 menit perbesaran 100x



Gambar 9 Struktur mikro material setelah *aging* selama 120 menit perbesaran 100x

3.3.1 Pembahasan hasil pengujian struktur mikro

Dari hasil pengujian struktur mikro, dapat terlihat bahwa *raw material* atau material yang belum mengalami proses perlakuan panas memiliki butiran yang tersebar merata dengan jumlah yang banyak dan memiliki ukuran butiran yang kecil. Sedangkan pengamatan hasil struktur mikro pada material setelah mengalami proses *aging* dengan *holding time* 60 menit, jarak presipitat cenderung berdekatan dan memiliki ukuran yang besar. Hal ini mengakibatkan material dengan variasi *holding time* 60 menit memiliki kekerasan yang paling rendah diantara material dengan variasi lain. Pada material dengan variasi *holding time* 90 menit memiliki ukuran presipitat yang kecil dan saling berjauhan. Ini mengakibatkan material dengan variasi ini memiliki nilai kekerasan paling tinggi diantara lainnya. Sedangkan material dengan variasi *holding time* 120 terlihat memiliki presipitat berukuran kecil namun dengan jumlah yang banyak dan jaraknya berdekatan dibandingkan material dengan variasi *holding time* 90 menit. Ini yang mengakibatkan material dengan variasi *holding time* 120 memiliki kekerasan dibawah variasi *holding time* 90 menit namun memiliki kekerasan diatas variasi *holding time* 60 menit.

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, analisis data dan hasil pembahasan tentang pengaruh proses *artificial aging* dengan variasi *holding time* 60 menit, 90 menit, dan 120 menit terhadap material Al-Cu, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Dari hasil pengujian kekerasan pada *raw material* dan etelah diberi proses *Solution Heat Treatment* dan *quench*, nilai kekerasan mengalami penurunan sebesar 35,42%

- 2) Dari hasil pengujian kekerasan *After Aging* didapatkan hasil material dengan *holding time* 60 menit nilai kekerasan meningkat 17% menjadi 57,67 HRB. Material dengan *holding time* 90 menit nilai kekerasan meningkat 19% menjadi 66,2 HRB. Material dengan *holding time* 120 menit nilai kekerasannya meningkat 16% menjadi 58,17 HRB. Ini menunjukkan bahwa proses menggunakan *holding time* 90 menit merupakan yang paling optimal.
- 3) Dari hasil uji kekerasan menunjukkan bahwa nilai kekerasannya menurun. Hal itu terjadi diakibatkan karena suhu yang digunakan untuk material Al-Cu terlalu besar, sehingga terbentuk endapan fasa θ yang stabil, pada tahap ini presipitat dan matriks dalam keadaan seimbang, sehingga menyebabkan partikel yang terbentuk semakin besar yang berakibat pada penurunan kekerasan pada material, atau dapat juga disebut material mengalami *over aged*.
- 4) Hasil pengujian struktur mikro, dapat terlihat bahwa *raw material* atau material yang belum mengalami proses perlakuan panas memiliki butiran yang tersebar merata dengan jumlah yang banyak dan memiliki ukuran butiran yang kecil. Sedangkan pengamatan hasil struktur mikro pada material setelah mengalami proses *aging* dengan *holding time* 60 menit, jarak presipitat cenderung berdekatan dan memiliki ukuran yang besar. Hal ini mengakibatkan material dengan variasi *holding time* 60 menit memiliki kekerasan yang paling rendah diantara material dengan variasi lain. Pada material dengan variasi *holding time* 90 menit memiliki ukuran presipitat yang kecil dan saling berjauhan. Ini mengakibatkan material dengan variasi ini memiliki nilai kekerasan paling tinggi diantara lainnya. Sedangkan material dengan variasi *holding time* 120 menit terlihat memiliki presipitat berukuran kecil namun dengan jumlah yang banyak dan jaraknya berdekatan dibandingkan material dengan variasi *holding time* 90 menit. Ini yang mengakibatkan material dengan variasi *holding time* 120 memiliki

kekerasan dibawah variasi *holding time* 90 menit namun memiliki kekerasan diatas variasi *holding time* 60 menit.

4.2 Saran

Dalam penelitian ini, penulis memiliki beberapa saran dan masukan yang mungkin dapat digunakan agar dapat mengembangkan penelitian selanjutnya :

- 1) Ketika proses *heat treatment* dianjurkan untuk selalu memantau suhu. Karena jika suhu melonjak terlalu tinggi akan timbul gelembung pada material Al-Cu yang mengakibatkan permukaan Al-Cu tidak rata dan teroksidasi. Sehingga material menjadi sangat lunak yang berakibat tidak dapat terbaca ketika melakukan pengujian kekerasan.
- 2) Dalam melakukan etsa, untuk material Al-Cu cukup menggunakan larutan NaOH dengan konsentrasi yang tidak terlalu pekat, dan waktu penahanan dalam proses pencelupan harus selalu diperhatikan. Karena apabila terlalu pekat larutan, permukaan material akan rusak. Dalam pencelupan bila terlalu cepat diangkat struktur mikro tidak terlihat, dan bila terlalu lama permukaan material akan rusak, maka dari itu diperlukan pengawasan hingga terjadi sedikit perubahan warna pada permukaan material.
- 3) Hendaknya berhati-hati dan menggunakan alat pengaman diri, baik ketika melakukan proses *heat treatment* maupun proses etsa pada material.

DAFTAR PUSTAKA

- Anugerah Nuvrio Angga (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.
- Astika, I M. 2019. *Harness Improvements Of Aluminium Alloy 2024 T3 After Artificial Aging Treatment*. Universitas Udayana. Bali.
- ASM Handbook, Vol.2. 1991. *Heat Treating*. ASM International: The Materials Information Company.
- ASTM International, Designation: E18-15. *Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials*. ASTM International.
- Dedy Setyawan. 2018. *Pengaruh Aging 180°C Dengan Waktu 1-9 Jam Pada Al-Cu Remelting*. Universitas Sanata Dharma. Yogyakarta.
- D.A.P Reis dkk. 2012. *Effect of Artificial Aging on the Mechanical Properties of an Aerospace Aluminium Alloy 2024*. Trans Tech Publications, Switzerland.
- Imam Subagyo. 2017 *Analisis Pengaruh Artificial Aging Terhadap Sifat Mekanis Pada Aluminium Seri 6061*. Universitas Negeri Lampung. Lampung
- Koswara, Asep Lukman. 2007. *Pengerasan Al-2024 Melalui Proses Keras Endap Secara Natural*. Balai Besar Bahan dan Barang Teknik. Bandung.
- Metals Handbook, Vol.7. *Atlas of Microstructures of Industrial Alloys*. ASM Handbook Committee.

Pranata, Muhammad Didi Endah, Alfirano, Jajat Mujiar. ***Analisis Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Pada Paduan AL 2014 Hasil Proses Aging Dengan Variasi Temperatur dan Waktu Tahan***. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Banten.

Radutoiu,dkk.2012. ***Effect of the over-ageing treatment on the mechanical properties of AA2024 aluminium alloy***. Revista de chimie (Chemistry magazine). Prancis

Tata Surdia dan Prof. Dr. Shinroku Saito. 1999. ***Pengetahuan Bahan Teknik***. PT. Pradnya Paramita. Jakarta.