

Pengaruh Variasi Temperatur *Artificial Aging* 150°C, 170°C dan 190°C Terhadap Sifat Kekerasan dan Struktur Mikro Al-2024

Okta Rianda¹⁾, Zulhanif¹⁾ dan Harnowo, S.¹⁾

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Lampung

Jl. Prof. Dr. Soemantri Brojonegoro No. 1 Gedung H FT Lt. 2 Bandar Lampung

Telp.: (0721)3555519, Fax. (0721)704947

E-mail: oktarnda@gmail.com

Abstract

The use of aluminum in the automotive industry has increased since 1980 and continues to increase in line with the increase in the number of motorized vehicles in Indonesia. Automotive components derived from aluminum alloys are required to have good strength. To have good strength, aluminum is usually combined with elements such as: Cu, Si, Mg, Zn, Mn, Ni, and so on. Aluminum-Copper Alloy (Al-Cu) is widely used in automotive components such as engine components that work at high temperatures, for example in the piston and cylinder head of the combustion motor. The mechanical properties of Al-Cu are needed and fulfilled in automotive components, therefore it is necessary to increase the mechanical properties of the Aluminum-Copper (Al-Cu) alloy. This research will be carried out using aluminum alloy Al-Cu with 2024 series which will receive heat treatment at a temperature of 450°C with quenching cooling method and then receive artificial aging treatment with temperature variations of 150°C, 170°C and 190°C. This research was conducted to determine the comparison of hardness and microstructure of aluminum before and before receiving artificial aging treatment. In this study, the results of the chemical composition test were obtained with the percentage of Al of 90.6% and the percentage of Cu being 5, 90%. The highest hardness value is found in Al-Cu material with artificial aging process with a temperature variation of 1900 C, the hardness value is 74.4 (HRB) which has an increase of 24% from the hardness value of the material without heat treatment. The results of the microstructure test showed that the Al-Cu material after the artificial aging process at a temperature of 190°C had more black grains and the Al-Cu grain boundaries tended to be more dense and regular. This can be interpreted that in materials that are treated with artificial aging there are precipitates or the formation of a second phase which causes the material to be harder and have better mechanical properties.

Keywords: *Alluminium Alloy, Artificial Aging, Hardness, Micro Structure*

Abstrak

Penggunaan aluminium dalam industri otomotif meningkat sejak tahun 1980 dan terus meningkat sejalan dengan peningkatan jumlah kendaraan bermotor di Indonesia. Komponen otomotif yang berasal dari paduan aluminium dituntut memiliki kekuatan yang baik. Untuk memiliki kekuatan yang baik, aluminium biasanya dikombinasikan dengan unsur-unsur seperti: Cu, Si, Mg, Zn, Mn, Ni, dan sebagainya. Aluminium-Copper Alloy (Al-Cu) banyak digunakan pada komponen otomotif seperti komponen mesin yang bekerja pada temperatur tinggi, misalnya pada piston dan kepala silinder motor bakar. Sifat mekanik Al-Cu sangat dibutuhkan dan terpenuhi pada komponen otomotif, oleh karena itu perlu dilakukan peningkatan sifat mekanik paduan Aluminium-Tembaga (Al-Cu). Penelitian ini akan dilakukan dengan menggunakan paduan aluminium Al-Cu seri 2024 yang akan mendapat perlakuan panas pada suhu 450°C dengan metode pendinginan quenching kemudian menerima perlakuan aging buatan dengan variasi suhu 150°C, 170°C dan 190°C. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan kekerasan dan struktur mikro aluminium sebelum dan sebelum diberi perlakuan penuaan buatan. Pada penelitian ini diperoleh hasil uji komposisi kimia dengan persentase Al sebesar 90,6% dan persentase Cu sebesar 5,90%. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada material Al-Cu dengan proses artificial aging dengan variasi temperatur 1900 C nilai kekerasannya sebesar 74,4 (HRB) yang mengalami peningkatan sebesar 24% dari nilai kekerasan material tanpa perlakuan panas. Hasil uji struktur mikro menunjukkan bahwa material Al-Cu setelah proses artificial aging pada suhu 1900C memiliki butir lebih hitam dan batas butir Al-Cu cenderung lebih rapat dan teratur. Hal ini dapat diartikan bahwa pada bahan yang diberi perlakuan aging buatan terdapat endapan atau terbentuknya fasa kedua yang menyebabkan bahan menjadi lebih keras dan memiliki sifat mekanik yang lebih baik.

Kata kunci: *Alluminium Paduan, Artificial Aging, , Sifat Kekerasan, Struktur mikro*

PENDAHULUAN

Penggunaan Aluminium dalam bidang industri otomotif mengalami peningkatan sejak tahun 1980 dan terus meningkat seiring dengan peningkatan jumlah kendaraan bermotor di Indonesia [1]. Komponen otomotif banyak yang berasal dari paduan Aluminium seperti piston, *cylinder head*, blok mesin, *valve* dan lainnya. Komponen otomotif yang berasal dari paduan Aluminium dituntut untuk memiliki kekuatan yang baik. Untuk memiliki kekuatan yang baik biasanya logam aluminium dipadukan dengan unsur-unsur seperti: Cu, Si, Mg, Zn, Mn, Ni, dan sebagainya. Paduan Aluminium-Tembaga (Al-Cu) banyak digunakan dalam komponen otomotif seperti pada komponen mesin yang pada temperatur tinggi, misalnya pada piston dan silinder *head* motor bakar. Kekerasan, kekuatan dan tahan terhadap deformasi pada suhu tinggi merupakan karakteristik sifat mekanik yang dibutuhkan untuk bahan dasar pembuatan piston sebuah *engine*. Sifat mekanik tersebut sangat dibutuhkan oleh piston sendiri karena kerja dari piston sangatlah berat.

Sifat mekanis dari Al-Cu sangat dibutuhkan dan dipenuhi dalam komponen otomotif, maka dari itu diperlukan suatu peningkatan sifat mekanis dari paduan Aluminium-Tembaga (Al-Cu) tersebut. Peningkatan sifat mekanik dari logam paduan Aluminium-Tembaga (Al-Cu) dapat dilakukan dengan proses perlakuan panas. Proses perlakuan panas (*heat treatment*) merupakan proses perlakuan panas hingga temperatur tertentu kemudian didinginkan dengan menggunakan cara tertentu untuk memberikan sifat yang lebih baik [2]. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Santoso dan Nafi (2019) menyatakan bahwa paduan Aluminium-Tembaga (Al-Cu) sering digunakan karena dapat meningkatkan sifat mekanik seperti tingkat kekerasan maupun tarik serta dapat meningkatkan kemampuan pemesinan sampai kira-kira 12%.

Precipitation hardening adalah mekanisme perlakuan panas pada paduan aluminium yang bertujuan untuk meningkatkan nilai kekuatan dan kekerasan dari paduan aluminium tersebut. Kenaikan kekuatan ini dikarenakan terhambatnya pergerakan dislokasi yang merupakan akibat dari munculnya partikel-partikel kecil dalam skala nano yang tersebar rata pada matriks. Partikel-partikel kecil tersebut, pada umumnya disebut presipitat, timbul setelah paduan aluminium diberi perlakuan panas [4]

Gautama (2018) melakukan penelitian mengenai pengaruh aging 140, 160, 180 dan 200 derajat *celcius*

selama 5 jam terhadap sifat mekanis aluminium paduan didapatkan hasil bahwa pada pengujian kekerasan yang mendapat perlakuan aging dapat meningkatkan nilai keefasan. Taufiq dan Korda (2010) melakukan penelitian mengenai pengaruh temperatur aging terhadap sifat mekanis dan struktur mikro yang menunjukkan hasil bahwa hasil uji kekerasan pada paduan aluminium semakin cepat mencapai harga optimum dengan peningkatan temperatur *aging*.

Subagyo (2017) melakukan penelitian mengenai proses artificial aging terhadap Aluminium seri 6061 dengan memberikan perlakuan panas pada temperatur 450°C selama 15 menit, kemudian diquenching dengan menggunakan oli sebagai media pendingin. Selanjutnya diberi perlakuan panas kembali pada suhu 190°C dengan variasi holding time 1 jam, 5 jam, dan 11 jam, lalu didinginkan secara lambat dengan suhu ruangan yang didapatkan hasil bahwa adanya pengaruh proses artificial aging terhadap bahan aluminium seri 6061.

Pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan aluminium paduan Al-Cu dengan seri 2024 yang akan mendapat perlakuan panas pada temperatur 450°C dengan metode pendinginan *quenching* dan kemudian mendapat perlakuan *artificial aging* dengan variasi temperatur 150°C, 170°C dan 190°C. Adapun pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengujian komposisi kimia, pengujian kekerasan dan struktur mikro. Pengujian komposisi kimia dan struktur mikro dilakukan di Laboratorium LIPI Tanjung Bintang Lampung. Sedangkan pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Material Teknik Universitas Lampung.

Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh temperatur *artificial aging* terhadap sifat kekerasan dan struktur mikro Al-2024.

METODE PENELITIAN

Pemotongan Aluminium

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Aluminium 2024. Bahan ini dipotong dengan menggunakan gerinda yang terdapat di Laboratorium Material Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Bahan dipotong dengan ukuran panjang yaitu 1,5 cm. Pemotongan dilakukan dengan cara memberi tanda pada bahan sesuai dengan ukuran yang

diinginkan. Kemudian menghidupkan gerinda dengan menghubungkan ke aliran listrik lalu menekan tombol on pada mesin. Setelah dilakukan pemotongan, permukaan bahan berukuran 400, 600, 800, 1000, 1500 dan 2000.



Gambar 1. Spesimen yang Telah Dipotong

Alat Uji

Pengujian dalam penelitian ini menggunakan tungku *furnace* dengan model I64/14 tahun 2000 dan alat uji kekerasan metode *rockwell* dengan mata indenter 1/8 serta pengujian struktur mikro yang dilakukan di laboratorium lipi tanjung bintang lampung. pengujian struktur mikro ini menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 500x.

Sebelum melakukan pengujian, bahan yang telah dipotong dihaluskan terlebih dahulu menggunakan amplas agar bahan dapat diuji dengan baik. Tungku *furnace* dan alat uji kekerasan dibersihkan terlebih dahulu dan kondisi mesin uji di cek kembali agar ketika dilakukan pengujian mesin uji dalam performa terbaik sehingga memperoleh hasil pengujian yang baik.



Gambar 2. Tungku *Furnace*



Gambar 3. Alat Uji Kekerasan

Prosedur Pengujian Perlakuan Panas (*Precipitation Hardening*)

Proses perlakuan panas terdiri atas tiga tahapan yaitu *solution heat treatment*, *quenching* dan *aging*. Adapun langkah dari *solution heat treatment* adalah memanaskan logam paduan Aluminium 2024 dalam *furnace* dengan temperatur 450⁰ C, kemudian melakukan penahanan atau *holding time* selama 15 menit. Setelah itu melakukan proses *quenching* dengan cara mendinginkan logam yang telah dipanaskan dalam *furnace* ke dalam media pendingin dengan menggunakan air. Selanjutnya adalah proses *aging*. Proses *aging* terdiri atas 2 jenis yaitu *natura aging* dan *artificial aging*. Dalam penelitian ini menggunakan *artificial aging* dengan menetapkan suhu pengkristalan untuk paduan Aluminium 2024 dengan variasi temperatur sebesar 150⁰ C, 170⁰C, dan 190⁰C. Kemudian dilakukan *holding time* selama 5 jam. Setelah itu dilakukan pendinginan pada temperatur ruangan.

Prosedur Pengujian Kekerasan

Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengujian kekerasan adalah mempersiapkan spesimen yang telah di amplas terlebih dahulu. Setelah itu mengatur beban dari alat uji sebesar 100 kg. Kemudian mengkalibrasi alat uji kekerasan. Setelah itu memasang indenter yang berbentuk bola baja 3,175 mm (1/8) pada alat uji dengan menggunakan skala merah. Kemudian meletakkan spesimen Al-2024 pada meja uji dari alat, kemudian mengatur *handle* alat uji hingga indenter menyentuh permukaan spesimen. Memutar *handle* hingga jarum dari skala minor menunjukkan angka 0. Kemudian tarik tuas beban berlawanan arah jarum jam dan tunggu hingga 10 detik, lalu tarik kembali tuas searah jarum jam. Setelah itu, menurunkan *handle* landasan hingga indenter tidak lagi menyentuh spesimen.

Prosedur Pengujian Struktur Mikro

Adapun tahapan dalam pengujian struktur mikro adalah mempersiapkan spesimen dengan dimensi yang sesuai yaitu 10 mm x 10 mm. Kemudian menyiapkan cetakan untuk proses *mounting*. Setelah itu, menuangkan cairan resin *polyster* yang telah dicampur dengan katalis pada cetakan spesimen, tunggu sampai kering dan mengeras sempurna. Lalu, mengeluarkan spesimen dari cetakan. Kemudian, menghaluskan permukaan spesimen aluminium 2024 dengan *polisher grinding machine* dengan tingkatan amplas, 360, 400, 600, 800, 1000, 1500 dan 2000. Setelah itu, menggosok permukaan yang telah dihaluskan dengan autosol sampai permukaan benar-benar mengkilap. Kemudian, mencelupkan permukaan spesimen yang telah mengkilap ke dalam larutan etsa (3 ml HCL, 2 ml HF, 5 ml HNO₃, 190 ml air). Lalu, mengamati struktur mikro dan permukaan spesimen aluminium 2024 dengan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 500x.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan diperoleh hasil mengenai uji komposisi kimia, uji kekerasan dan uji struktur mikro. Adapun hasil uji komposisi kimia dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Komposisi Bahan Kimia

No.	Ele-ment	Kadar Sampel (%)	No.	Ele-ment	Kadar Sampel (%)
		Aluminium			Alumi-nium
1.	Si	0,183	17.	Co	<0,00050
2.	Fe	0,361	18.	Ga	0,0128
3.	Cu	5,90	19.	Hg	<0,00100
4.	Mn	0,793	20.	In	<0,00030
5.	Mg	1,81	21.	La	0,0011
6.	Cr	0,0199	22.	Li	<0,00010
7.	Zn	0,188	23.	Na	0,0201
8.	Ti	0,0339	24.	P	0,0055
9.	Ag	0,0013	25.	Pb	0,0028
10.	B	0,0027	26.	Sb	0,0042
11.	Ba	0,0027	27.	Sn	0,0115
12.	Be	0,0002	28.	Sr	0,00018
13.	Bi	0,0031	29.	V	0,0154
14.	Ca	0,0334	30.	Zr	0,0109
15.	Cd	<0,00010	31.	Bi	-
16.	Ce	<0,0015	32.	Al	90,6

Berdasarkan data di atas terlihat bahwa unsur Cu merupakan unsur yang dominan dengan persentase sebesar 5,90% . Selain unsur Cu juga terdapat unsur-

unsur lainnya, namun dalam pengujian ini dikhususkan untuk melihat kadar dari unsur Cu. Hal ini dilakukan karena sesuai dengan tujuan dari dilakukan pengujian uji komposisi bahan kimia untuk memastikan bahwa bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah Al-Cu dengan seri 2024. Data hasil pengujian yang telah diperoleh maka hasil pengujian komposisi bahan kimia dalam penelitian ini telah sesuai dengan referensi yang ada sehingga bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah AlCu dengan seri 2024. Hal ini dikarenakan data hasil pengujian masuk ke dalam range yang ada pada referensi yang terdapat ada buku *ASM Metal Handbook* yaitu dengan persentase Cu sebesar 5,90%. Oleh karena itu penelitian dapat dilanjutkan ke proses berikutnya.

Setelah dilakukan pengujian komposisi kimia, maka dilakukan pengujian kekerasan. Adapun hasil uji kekerasan yang diperoleh dalam penelitian ini disajikan dalam tabel berikut ini:

Tabel 2. Perbandingan Nilai Kekerasan Bahan Antara Tanpa Perlakuan Panas dan Proses *Quenching*.

No.	Tanpa Perlakuan Panas / RAW (HRB)			After Quenching (HRB)		
	1	2	3	1	2	3
1.	60	61	61	55	54	54
2.	60,5	60	60	54,5	55	55
3.	59,5	61	61	51	52	53
4.	60	59,5	59	55	54	54
5.	60	60	60	55	55	55
Rata-rata	60	60,3	60,2	54,1	54	54,2
Std	0,32	0,67	0,84	1,56	1,22	0,75

Dari data yang diperoleh terlihat bahwa nilai kekerasan bahan yang sudah di *quenching* mengalami penurunan dengan presentase sebesar 10,13 % yakni dari rata-rata nilai kekerasan bahan tanpa perlakuan panas sebesar 60,2 (HRB) menurun setelah mendapatkan proses *quenching* menjadi 54,1 (HRB). Hal ini sesuai dengan teori yang telah dikemukakan oleh Smith pada tahun 1995 yang menyatakan bahwa setelah *quenching*, maka logam paduan aluminium menjadi lunak jika dibandingkan dengan kondisi awalnya.

Untuk meningkatkan kembali nilai kekerasan bahan maka diperlukan suatu proses *artificial aging* dimana bahan yang telah mengalami perlakuan *quenching* akan dipanaskan kembali dengan menggunakan variasi temperatur yakni suhu 150°C, 170°C dan 190°C dengan

waktu tahan pemanasan selama 5 jam. Nilai kekerasan yang didapat setelah bahan mendapat perlakuan *artificial aging* adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Perbandingan Nilai Kekerasan Bahan Antara Tanpa Perlakuan, Setelah *Quenching* dan Setelah *Artificial Aging* Pada Suhu 150°C

Variasi Temperatur	HRB RAW	HRB After Quenching	HRB After Artificial Aging		
			1	2	3
150°C	60,67	54,33	65	65	65
	60,17	54,83	64	63	64
	60,5	52	63,5	62	63
	59,5	54,33	64	64	62
	60	55	62	65	64
Rata-rata	60,2	54,1	63,7	63,8	63,6
Std	0,46	1,21	0,98	1,17	1,02

Adapun hasil pengujian nilai kekerasan pada variasi temperatur 170°C didapatkan hasil pada tabel 4 sebagai berikut:

Tabel 4. Perbandingan Nilai Kekerasan Bahan Antara Tanpa Perlakuan, Setelah *Quenching* dan Setelah *Artificial Aging* Pada Suhu 170°C

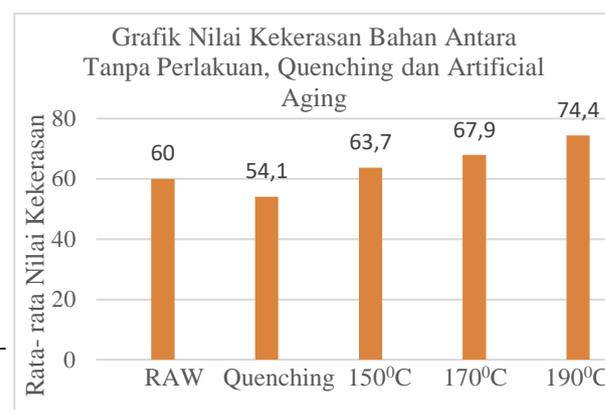
Variasi Temperatur	HRB RAW	HRB After Quenching	HRB After Artificial Aging		
			1	2	3
170°C	60,67	54,33	68	67,5	68
	60,17	54,83	67	68	69
	60,5	52	69	69	68,5
	59,5	54,33	68	68	68
	60	55	67,5	67	67
Rata-rata	60,2	54,1	67,9	67,9	68,1
Std	0,46	1,21	0,66	0,66	0,66

Adapun variasi temperatur pada 190°C didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 5. Perbandingan Nilai Kekerasan Bahan Antara Tanpa Perlakuan, Setelah *Quenching* dan Setelah *Artificial Aging* Pada Suhu 190°C

Variasi Temperatur	HRB RAW	HRB After Quenching	HRB After Artificial Aging		
			1	2	3
190°C	60,67	54,33	74	75	75
	60,17	54,83	73	74	76
	60,5	52	74,5	73,5	75
	59,5	54,33	74	74	74,5
	60	55	74	75	75
Rata-rata	60,2	54,1	73,9	74,3	75,1
Std	0,46	1,21	0,49	0,6	0,49

Data hasil pengujian kekerasan yang diperoleh disajikan juga dalam bentuk grafik. Berikut grafik mengenai perbandingan nilai kekerasan bahan antara tanpa perlakuan, setelah *quenching* dan setelah *artificial aging*:



Gambar 4. Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan Bahan Antara Tanpa Perlakuan, Setelah *Quenching* dan Setelah *Artificial Aging*

Setelah diberikan perlakuan *artificial aging*, nilai kekerasan bahan mengalami peningkatan dari setiap variasi temperatur. Berdasarkan tabel 3, 4 dan 5 serta gambar 4 yang diperoleh terlihat bahwa nilai kekerasan bahan pada variasi temperatur 150°C mengalami peningkatan sebesar 5,81% dari nilai kekerasan tanpa perlakuan panas yang memiliki nilai kekerasan sebesar 60,2 (HRB) menjadi 63,7 (HRB). Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada pemanasan dengan variasi temperatur pada 190°C dengan nilai kekerasan sebesar 74,4 (HRB) dimana nilai kekerasan pada temperatur 190°C mengalami peningkatan sebesar 23,59% dari nilai kekerasan bahan tanpa perlakuan panas. Penelitian yang dilakukan oleh Willy (2019) didapatkan hasil bahwa terjadi penurunan nilai kekerasan pada proses *quenching*. Hal tersebut disebabkan karena material yang melalui proses *quenching* struktur butiran atomnya

mengalami perenggangan dan tidak sampai terjadi proses presipitasi, sehingga kekerasan material menurun, namun setelah mengalami proses *artificial aging*, butiran pada material mulai merapat menunjukkan bahwa telah terjadi proses pengerasan pada presipitat material yang mengakibatkan peningkatan pada kekerasan material.

Angga (2018) mengemukakan bahwa perlakuan *aging* pada proses perlakuan panas dengan suhu 2000 C dapat meningkatkan kekerasan. Nilai kekerasan maksimum terjadi pada waktu 6 jam, namun nilai kekerasan akan menurun jika melewati waktu 6 jam tersebut. Dalam hal ini, waktu sangat berpengaruh terhadap kekerasan Al-Cu hasil remelting pada proses *aging*.

Setelah pengujian kekerasan maka dilakukan pengujian struktur mikro. Pengujian ini dilakukan untuk melihat butiran-butiran pada struktur mikro yang terjadi sebelum dilakukan proses perlakuan panas (*raw material*), setelah di *quenching* dan setelah proses *artificial aging*. Adapun hasil yang diperoleh dalam penelitian ini disajikan dalam gambar di bawah ini:



Gambar 5. Struktur Mikro Al-Cu Sebelum Proses Perlakuan Panas (*Raw Material*).



Gambar 6. Struktur Mikro Al-Cu Setelah Proses *Quenching*



Gambar 7. Struktur Mikro Al-Cu Setelah Proses *Artificial Aging* Pada Temperatur 190°C

Berdasarkan gambar 17 diperoleh hasil bahwa struktur mikro Al-Cu pada saat sebelum proses perlakuan panas (*raw material*) memiliki butiran-butiran kecil yang cenderung rapat. Pengamatan struktur mikro material Al-Cu setelah proses *quenching* memiliki butiran dengan bentuk yang lebih besar dan jumlah yang lebih sedikit serta struktur butiran atomnya yang lebih renggang, hal ini sesuai dengan hasil pengujian kekerasan yang diperoleh hasil yang lebih kecil nilainya dibandingkan material Al-Cu pada saat sebelum proses perlakuan panas (*raw material*). Untuk struktur mikro material Al-Cu setelah proses *artificial aging* pada temperatur 190°C memiliki butiran hitam (*fase θ'*) dengan jumlah yang lebih banyak dan batas butir Al-Cu cenderung lebih rapat dan teratur. Berdasarkan penelitian Ichlas, dkk (2019) menyatakan bahwa semakin tinggi temperatur *aging* dapat merubah ukuran butir struktur mikro aluminium 2024 semakin besar. Menurut hasil penelitian Chepko (2020) daerah berwarna terang merupakan daerah fasa α , daerah berwarna gelap merupakan daerah fasa θ sedangkan butiran berwarna gelap merupakan presipitat θ' . Pengujian ini sesuai dengan hasil pengujian kekerasan yang memiliki nilai kekerasan lebih tinggi dibandingkan dengan material yang belum mendapatkan proses perlakuan panas (*raw material*) dan setelah *quenching*.

Proses pendinginan yang cepat atau *quenching* mengakibatkan atom-atom Cu yang larut padat tidak sempat berdifusi keluar dari fasa α , dengan demikian maka fasa kedua Al-Cu tidak akan terbentuk. Pendinginan cepat ini menghasilkan fasa α yang kelarutannya lewat jenuh (*super saturated solid solution*). Hal ini sesuai dengan teori Smith pada tahun 1995 yang menyatakan bahwa ketika paduan aluminium telah melalui tahap solution heat treatment dan *quenching* maka akan dihasilkan larutan padat lewat jenuh pada temperatur kamar. Peristiwa ini mengakibatkan terjadinya kekosongan atom dalam keseimbangan atom dalam keseimbangan termal pada temperatur tinggi tetap dalam tempatnya. Setelah *quenching* logam paduan aluminium akan menjadi

lunak kembali dibandingkan dengan kondisi awalnya.

Pada tahap awal dari proses *artificial aging* akan terbentuk suatu Zona GP 1. Zona GP 1 terbentuk ketika temperatur berada di bawah 100°C atau ketika pada suhu ruangan. Terbentuknya Zona GP1 mengakibatkan nilai kekerasan logam paduan aluminium mengalami peningkatan [9]. Ketika temperatur *artificial aging* ada 100°C ke atas maka akan dimulai terbentuknya fasa θ'' atau Zona GP 2. Jika temperatur di atas 100°C dengan *holding time* yang terpenuhi maka akan diperoleh nilai kekerasan yang optimal (Smith, 1995). Ketika telah terbentuk Zona GP 2 dan fasa antara yang halus (presipitasi θ'') maka proses *artificial aging* berhenti. Hal ini terjadi karena ketika telah melalui Zona GP 2, maka paduan akan menjadi lunak kembali. Terbentuknya fasa θ'' atau Zona GP 2 pada proses *artificial aging* disebut dengan pengerasan kedua.

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dalam makalah ini adalah Dalam penelitian ini didapatkan hasil uji komposisi kimia dengan persentase Al sebesar 90,6 % dan presentase Cu sebesar 5, 90%. Proses *artificial aging* yang dilakukan pada penelitian ini dapat meningkatkan nilai kekerasan Al-2024. Nilai kekerasan Al-Cu tertinggi terdapat pada material yang melalui proses *artificial aging* dengan variasi temperatur 190°C nilai kekerasan sebesar 74,4 (HRB) yang mengalami peningkatan sebesar 23,59% dari nilai kekerasan bahan tanpa perlakuan panas. Hasil pengujian struktur mikro menunjukkan bahwa material Al-Cu setelah proses *artificial aging* pada temperatur 190°C memiliki fase θ dengan jumlah yang lebih banyak dan batas butir Al-Cu cenderung lebih rapat dan teratur. Hal ini berarti bahwa pada bahan yang mendapat perlakuan *artificial aging* terdapat endapan presipitat atau terbentuknya fasa kedua yang menjadi penyebab bahan tersebut lebih keras dan lebih baik sifat mekanisnya

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Budinski. 2001. *Engineering Materials Properties and Selection*. PHI New Delhi. pp. 517–536.
- [2] Sumpena dan Wardoyo. 2018. Pengaruh Variasi Temperatur *Hardening* dan *Tempering* Paduan AlMgSi-Fe12% Hasil Pengecoran Terhadap Kekerasan. *Jurnal ENGINE*. Vol. 2, No. 1: 26-32.
- [3] Santoso, Edi dan Nafi, Maulana. 2019. Analisa Pengaruh Variasi Penambahan Cu dan Waktu Aging pada Hasil Pengecoran AlCu Terhadap Struktur Mikro. *Mekanika-Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 5, No. 2: 6-11.
- [4] Gede, I. Brahmanda, A. P. 2016. Studi Eksperimental Pengaruh Perlakuan Panas *Precipitation Hardening* T6 Dengan Variasi *Holding Time* dan Temperatur *Solution Treatment* Terhadap Sifat Mekanik Paduan Aluminium ADC 12. *Tugas Akhir*. Institut Teknologi Sepuluh Noverber. Surabaya.
- [5] Gautama, Johannes. 2018. *Pengaruh Artificial Aging 140, 160, 180 dan 200 derajat celcius selama 5 jam Terhadap Sifat Mekanis Aluminium Paduan Tembaga 2,5%*. Universitas Sanatha Dharma Yogyakarta. Yogyakarta.
- [6] Korda, Akhmad dan Thaufiq, Tania. 2010. Studi Pengaruh Temperatur Aging dan Orientasi Butiran Terhadap Sifat Mekanik Paduan Aluminium AL 2014. Institut Teknologi Bandung. ITB.
- [7] Subagyo, Nur, Imam. 2017. Analisis Pengaruh Artificial Aging Terhadap Sifat Mekanis Pada Aluminium Seri 6061. Skripsi. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- [8] ASM Handbook, Vol. 12. 1991. *Heat Treating*. ASM International. The Materials Information Company.
- [9] Smith, R. 1995. *Chemical Process Design*. McGraw Hill International Book Company, Singapore.
- [10] Willy, A.T. 2019. Pengaruh Variasi Suhu Proses *Artificial Aging* 100°C, 150°C dan 250°C terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Pada Aluminium Paduan (Al-Cu). *Skripsi*. UMS. Surakarta.
- [11] Angga, Anugrah, Novrio. 2018. Pengaruh *Aging* 200°C Dengan Waktu 1-9 Jam Terhadap Sifat Mekanik Al-Cu Remelting. Skripsi. Universitas Sanatha Darma. Yogyakarta.
- [12] Ichlas, Wahid., et all. 2019. Kaji Eksperimen Pengaruh Variasi Temperatur *AGING* dan Waktu *Aging* Pada Proses Perlakuan Panas Aluminium 2024 Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro. *Mekanika-Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 5, No. 2: 12-18.
- [13] Chepko, et all. 2000. *An experimental and Analytical Study of the Properties of Precipitation Hardening Alluminium Alloy*. University of the Pacific School Engineering, USA.

