



**Jurnal Material Manufaktur Energi Berkelanjutan
(JMMEB)**

<http://ejournal.uki.ac.id/index.php/jmmeb>

ISSN : xxxx-xxxx e-ISSN : xxxx-xxxx

Vol. 1 No. 2 (Desember 2024) Hal. 104-116

PENGARUH WAKTU ARTIFICIAL AGING TERHADAP STRUKTUR KRISTAL KERAPATAN DISLOKASI DAN KEKERASAN PADA PADUAN AL 7040

Reyhand Manurung

diterima : 10 September 2024 disetujui : 07 November 2024 diterbitkan : 30 Desember 2024

Universitas Mputantular, Indonesia

Corresponding author: reyhardmanurung@umt.ac.id

ABSTRAK

Penelitian sintesis paduan Aluminium (7040) dengan metode metalurgi butiran dan proses T6. Data pengaruh waktu artificial aging terhadap struktur kristal, ukuran kristal, kerapatan dislokasi, regangan kisi, dan kekerasan dengan proses solid solution pada suhu 550 °C selama 1 jam, didinginkan hingga mencapai suhu ruang menggunakan udara bebas dan selanjutnya proses artificial aging dengan holding time 1, 24 dan 30 jam pada suhu 200 °C. Setelah itu didinginkan hingga mencapai suhu ruang menggunakan udara bebas. Kekerasan paduan aluminium 7040 tanpa perlakuan panas sebesar 20,118 HBN dan mencapai kekerasan maksimum pada holding time 1 jam sebesar 23,035 HBN, karena terbentuk presipitat (endapan) Mg₂Si dan MgZn₂. Ukuran kristal terbesar dan terkecil pada bidang indeks Miller (2 0 0), dengan holding time 30 dan 24 jam sebesar 23,94550 nm dan 3,4405 nm. Densitas dislokasi terbesar dan terkecil pada bidang indeks Miller (2 0 0), dengan holding time 24 dan 30 jam sebesar 0,08448 garis/mm² dan 0,00174 garis/mm². Regangan kisi mikro terendah dan terbesar bidang indeks Miller (3 1 1) holding time 30 jam yaitu 3,78% dan bidang indeks Miller (1 1 1) holding time 24

jam yaitu 27,9%.

Kata Kunci: Paduan Al 7040, metalurgi butiran, XRD, T6, artificial aging

ABSTRACT

Research synthesis of Aluminum alloy (7040) with metallurgical methods of granules and T6 processes. Data on the effect of artificial aging time on crystal structure, crystal size, dislocation density, lattice strain, and hardness with solid solution process at 550 °C for 1 hour, cooled to reach room temperature using free air and then artificial aging process with holding time of 1, 24 and 30 hours at 200 °C. After that it is cooled until it reaches room temperature using free air. Aluminum alloy hardness 7040 without heat treatment amounted to 20,118 HBN and achieved maximum hardness at a holding time of 1 hour of 23,035 HBN, due to the formation of presipitat (sediment) Mg₂Si and MgZn₂. The largest and smallest crystal size in the Miller index field (2 0 0), with a holding time of 30 and 24 hours of 23.94550 nm and 3.4405 nm. The largest and smallest dislocation density in the Miller index field (2 0 0), with a holding time of 24 and 30 hours of 0.08448 lines/mm² and 0.00174 lines/mm². The lowest and largest micro lattice strain of the Miller index (3 1 1) holding time of 30 hours is 3.78% and miller index field (1 1 1) holding time 24 hours is 27.9 %.

Keywords: Al 7040 alloy, powder metallurgy, XRD, T6, artificial aging

1. PENDAHULUAN

Pesawat terbang masih menjadi alat transportasi paling aman saat ini. Dengan diklaimnya hal tersebut, pesawat terbang membutuhkan material yang ringan, kuat dan tahan lama bertujuan untuk mengurangi berat dan meningkatkan efisiensi bahan bakar. Material-material yang biasa digunakan untuk konstruksi pesawat antara lain campuran aluminium, titanium, paduan baja, dan komposit. Salah satu material yang sering digunakan adalah aluminium. Aluminium mempunyai sifat lunak, tahan lama, ringan dan dapat ditempa, namun kekuatannya tidak dapat ditingkatkan langsung melalui proses perlakuan panas (*heat treatment*, *age hardening*) [1].

Aluminium paduan yang banyak digunakan pada industri pesawat terbang adalah aluminium paduan seri 7xxx karena kompromi yang baik antara kekuatan, tahan korosi dan toleransi kerusakan [2]. Aluminium 7040 adalah suatu paduan yang terdiri dari 5.5% Zn, 2.5% Mg, 1.5% Cu, 0.3% Cr dan 0.2% Mn. Material ini digunakan sebagai bahan konstruksi pesawat terbang karena ringan dan mempunyai kekuatan tertinggi diantara paduan-paduan lainnya sehingga sering digunakan untuk bagian pesawat terbang seperti *front spar*, stabilizer, *frame* atau bagian lain dengan beban lebih. Sifat aluminium 7040 masih dapat ditingkatkan dengan diberi perlakuan khusus sehingga dapat menghasilkan logam dengan sifat yang diinginkan. Salah satu perlakuan khusus dengan *heat treatment* yaitu *solution treatment* dan *aging*. *Solution treatment* berfungsi untuk meningkatkan kekerasan dan keuletan serta kekuatan tarik dari aluminium.

Proses selanjutnya adalah *aging* atau penuaan. *Aging* dilakukan menggunakan larutan lewat jenuh pada suhu kamar selama beberapa waktu. Perubahan sifat-sifat dengan berjalannya waktu disebut *aging* atau penuaan. *Aging* pada aluminium dibedakan menjadi dua, yaitu penuaan alami (*natural aging*) dan penuaan buatan (*artificial aging*) [3]. *Natural aging* adalah proses penuaan atau menahan material pada suhu ruangan dalam jangka waktu tertentu. *Natural aging* hanya bisa menghasilkan cluster atau pengelompokan dari elemen paduan terlarut. Paduan aluminium AW-6060, cluster yang terbentuk adalah Mg dan Si. Cluster yang terbentuk ini akan berpengaruh pada peningkatan sifat mekanis [4]. *Artificial aging* adalah penuaan dengan memanaskan kembali sampai suhu dibawah garis solvus dan ditahan beberapa saat dengan dilanjutkan dengan pendinginan lambat pada suhu ruang. Misal, menahan pada suhu 150° C selama 4 jam, atau pada suhu 200° C selama 2 jam [5].

Beberapa penelitian telah dilakukan tentang *artificial aging* paduan aluminium. menggunakan aluminium A383, *solution treatment* pada suhu 550 °C selama 2 jam dan di *quenching* dengan air [6]. Kekerasan tertinggi diperoleh melalui perlakuan panas *solution treatment* dengan *artificial aging* pada suhu 200 °C selama 30 menit. Hasil optimasi kekerasan terbaik pada suhu *aging* 200 °C selama 88 menit dan suhu *aging* 100 °C selama 30 menit. Perubahan suhu *aging* dari suhu rendah ke tinggi menyebabkan perubahan struktur mikro tampak lebih besar dan tebal.

Peneliti menggunakan paduan Al-Cu 4.5% sebelum dan sesudah *remelting* sebanyak 4 kali baru diberi perlakuan *aging* suhu 200 °C dengan variasi waktu 3, 6, dan 9 jam [7]. Perlakuan *aging* selama 9 jam hasil *remelting* menyebabkan nilai keuletan

Bantumanulang

menurun menjadi 0.010 J/mm^2 . Perlakuan aging selama 6 jam menghasilkan kekerasan paling tinggi yaitu 97.93 BHN dan kekuatan tarik menurun pada saat aging 9 jam yaitu

101.20 MPa. Peneliti lain menggunakan *aging* pada suhu $180 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan variasi waktu selama 2, 4, dan 6 jam [8].

Perlakuan aging selama 6 jam dan menggunakan media pendingin air garam menghasilkan butiran paling besar diameter rata-rata sebesar 165.3 nm dan butiran terkecil dengan waktu aging yang sama menggunakan media pendingin air sebesar 95.58 nm. Semakin lama waktu aging, semakin halus (kecil) ukuran diameter rata-ratanya, kekerasan bahan, kekuatan luluh, keuletan dan ketangguhan bahan semakin meningkat.

Peneliti lainnya menggunakan variasi suhu $175 \text{ }^\circ\text{C}$, $200 \text{ }^\circ\text{C}$, dan $225 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan waktu aging selama 1 jam dan didinginkan dalam udara terbuka [9]. Kekerasan, kekuatan tarik maksimum dan nilai impak terbesar dicapai pada suhu $175 \text{ }^\circ\text{C}$ yaitu 31.66 HRB,

231.67 MPa dan 0.0290 kg.m/mm^2 . Namun penurunan sifat mekanik Aluminium 6061 disebabkan suhu aging yang berlebihan pada suhu $200 \text{ }^\circ\text{C}$ dan $225 \text{ }^\circ\text{C}$.

Penelitian lain menggunakan Al 7040 dengan proses T6 dimulai dengan dipanaskan *solid solution* pada suhu 570

$^\circ\text{C}$ ditahan selama 1 jam dan *quenching* dengan media air. *Artificial aging* menggunakan variasi waktu 1, 4 dan 20 jam pada suhu $210 \text{ }^\circ\text{C}$. Kekerasan maksimum yang dicapai 144.90 HV, densitas dislokasi dan regangan kisi menurun pada saat waktu aging 20 jam [10]. Oleh karena densitas dan regangan kisi menurun pada waktu aging 20 jam, maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan sifat mekanik Aluminium 7040 jika waktu aging lebih dari 20 jam dan suhu kurang dari $210 \text{ }^\circ\text{C}$. Oleh karena itu penelitian ini menggunakan variasi waktu selama 1, 24 dan 30 jam dengan penggunaan suhu $200 \text{ }^\circ\text{C}$ untuk melihat perubahan kekerasan, densitas dislokasi dan regangan kisi.

Suatu kristal yang memiliki simetri kubik ($a = b = c$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$) dengan ukuran parameter kisi, $a = b = c$, maka sudut-sudut berkas yang didifraksikan dari bidang-bidang kristal / indek Miller (hkl) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1).

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2+k^2+l^2}{a^2} \quad (1)$$

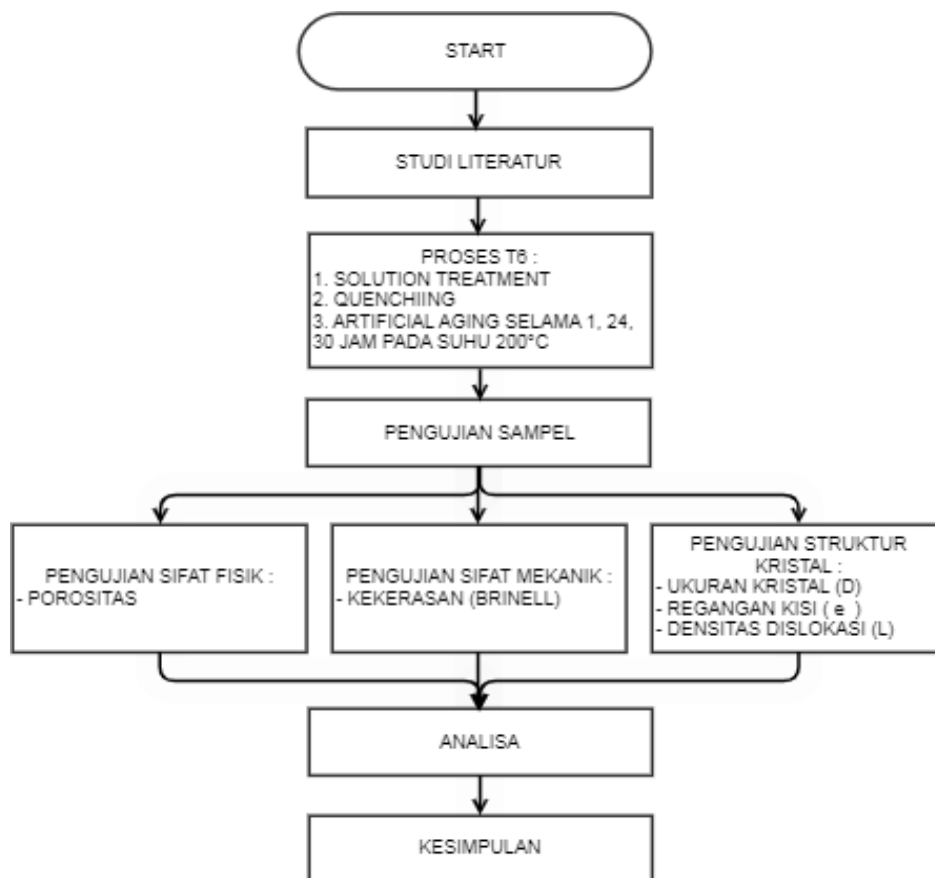
Struktur kristal ditentukan dengan difraksi sinar-X. Jarak interplanar bisa dihitung hingga empat atau lebih angka signifikan dengan mengukur sudut difraksi. Ini bisa digunakan untuk dasar menentukan jarak interatomik dan menghitung jari-jari [12]. Penentuan orientasi kristal dilakukan dengan mengamati pola berkas difraksi sinar-X yang dipantulkan oleh kristal. Untuk XRD, pola difraksi diamati sebagai fungsi sudut 2θ . Pola difraksi yang terjadi kemudian dibandingkan dengan JCPDS sebagai data standar. Panjang gelombang sumber radiasi Co = $1,541 \text{ \AA}$, Nilai K = 0,90. Rumus-rumus untuk menghitung diameter kristal, densitas dislokasi, dan regangan kisi mikro dari D.Shcerrer [13-14].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan sifat mekanik aluminium 7040 dengan perlakuan *artificial aging* variasi waktu selama 1, 24 dan 30 jam pada suhu $200 \text{ }^\circ\text{C}$.

2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini menggunakan alur penelitian pada gambar 1. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah serbuk Al, Mg, Zn, dan Cu. Sampel yang berbentuk silinder dengan diameter 20 mm tebal 5 mm. Sampel dibuat dari metode metalurgi serbuk dengan proses pengepresan atau pencetakan menggunakan tekanan 20 ton dan di sintering dengan suhu 550 oC selama 1 jam.

Peralatan yang digunakan ini antara lain : Timbangan elektrik, mesin press hidrolik, furnace sebagai tungku pemanas sampel selama 1 jam, 24 jam dan 30 jam. Alat SEM-EDX (Scanning Electrone Microscope-Dispersive X-ray Spectroscopy) untuk mengamati struktur mikro dan komposisi unsur kimia. Alat Difraktometer sinar-X (XRD) berfungsi untuk identifikasi fasa, mengukur diameter kristalit, kerapatan dislokasi, dan regangan kisi mikro. Data yang disajikan berupa daftar nilai 2θ , nilai puncak kristal (intensitas) dan besar konstanta kisi. Alat Uji Optik Emisi Spektrometer (OES) merupakan sebuah metode pengujian yang menggunakan emisi dari flame, plasma, arc atau spark pada panjang gelombang khusus untuk menentukan kuantitas unsur pada sampel.



Gambar 1. Flow Chart Penelitian

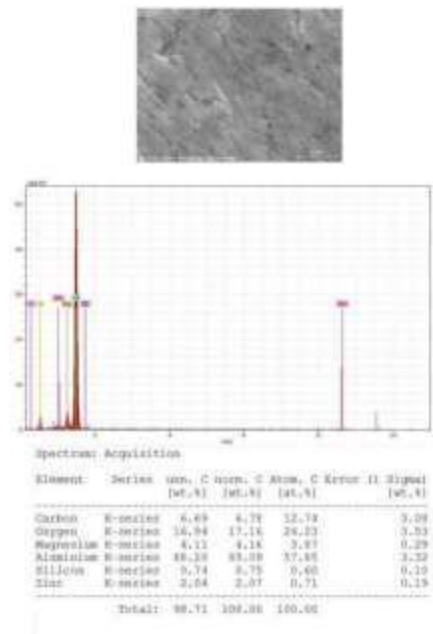
Bantumanulang

Untuk pengujian kekerasan bahan menggunakan metode Brinell, lihat gambar 6.

Selanjutnya dilakukan proses T6 dengan suhu 520 °C dan selanjutnya didinginkan celup cepat ke suhu ruang media udara. Dan dilanjutkan artificial aging (penuaan buatan) selama 1, 24 dan 30 jam pada suhu 200 °C. Kemudian didinginkan pelan – pelan hingga mencapai suhu ruang. Selanjutnya masing – masing sampel di uji di laboratorium.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Komposisi Unsur Kimia Paduan Al 7040 dengan Optik Emisi Spektrometer
Pada tabel 1 menunjukkan bahwa material paduan Al 7040 yang dibuat dengan cara metalurgi butiran.serbuk disintering, kemudian proses T6. Pemanasan penuaan buatan suhu 200 °C dan waktu tahan 1 jam, 24 jam, 30 jam, hasil uji komposisi unsur kimia yaitu mulai Al, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Si, Ti, Zn, Ni dan lain-lain. Sebagian besar sesuai standar UNS A9. Gambar 9, 10 dan 11 menunjukkan pengujian komposisi unsur kimia dengan EDX, memiliki komposisi unsur kimia yang sama yaitu Al, Mg, Si, Zn.

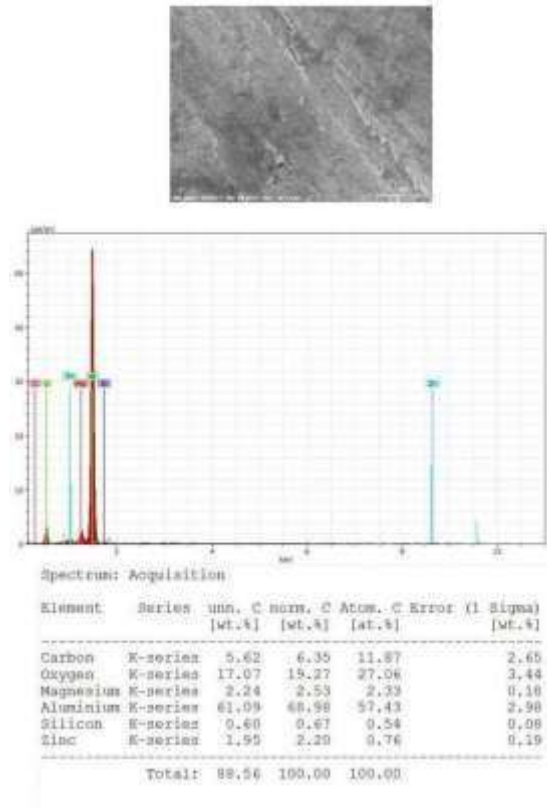


Gambar 9. Komposisi unsur kimia material paduan Al 7040 dengan EDX, penuaan buatan suhu 200 °C dan waktu 1 jam.

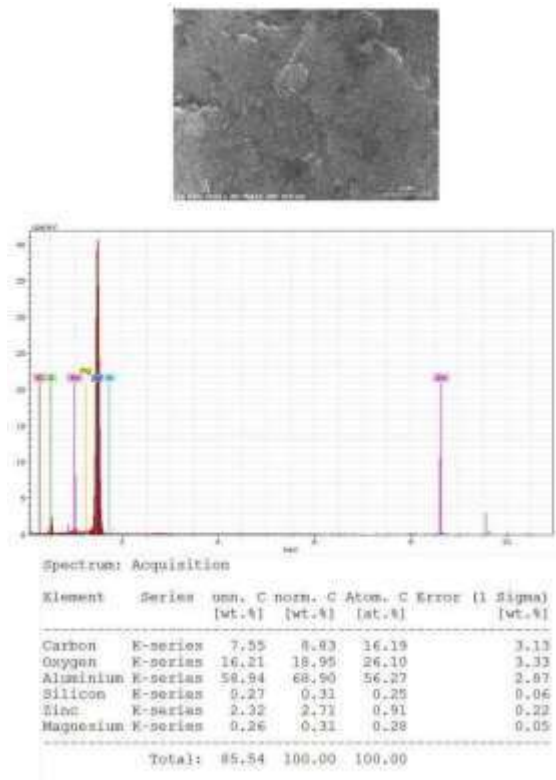
Tabel 1. Data hasil pengujian komposisi unsur material paduan Al 7040

| No | Nama Unsur | Sampel A, % | Sampel B, % | Sampel C, % | Standar UNS A97040, % |
|-----|------------|-------------|-------------|-------------|-----------------------------|
| 1. | Al | 87,8 | 87,9 | 88,3 | 87 - 92 |
| 2. | Cr | 0,097 | 0,082 | 0,069 | 0,1 - 0,2 |
| 3. | Cu | 1,94 | 1,27 | 1,26 | 1,2 - 2,0 |
| 4. | Fe | 0,386 | 0,374 | 0,237 | Maks.0,5 |
| 5. | Mg | 2,85 | 2,68 | 2,2 | 2,1 - 2,9 |
| 6. | Mn | 0,465 | 0,471 | 0,356 | Maks. 0,3 |
| 7. | Si | 1,03 | 0,818 | 0,939 | Maks. 0,4 |
| 8. | Ti | 0,051 | 0,052 | 0,042 | Maks. 0,2 |
| 9. | Zn | 4,870 | 3,790 | 5,843 | 5,1 - 6,1 |
| 10. | Ni | 0,248 | 0,245 | 0,212 | Maks.0,4 |
| 11. | Lain-lain | Maks. 0,2 | Maks.0,4 | Maks. 0,3 | Maks.0,5 |

Bantumanulang



Gambar 10. Komposisi unsur kimia material paduan Al 7040 dengan EDX, penuaan buatan suhu 200 °C selama 24 jam

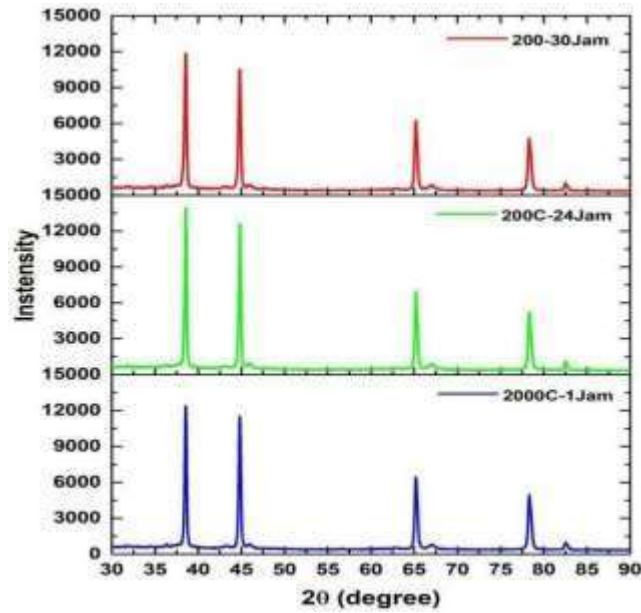


Gambar 11. Komposisi unsur kimia material paduan Al 7040 dengan EDX, penuaan buatan suhu 200 °C selama 30 jam

Analisa Ukuran Kristal, Densitas Dislokasi, dan Regangan Kisi Mikro

Data yang diperoleh dari hasil pengujian diameter kristal, densitas dislokasi dan regangan kisi mikro dari material paduan Al 7040 menggunakan alat Difraktometer sinar- X (XRD). Dari Gambar 13, 14 dan 15, serta Tabel 3, 4 dan 5, terlihat hubungan ukuran besar kristal, densitas diskolasi dan regangan kisi mikro terhadap bidang indeks Miller dan variasi waktu tahan (1 jam, 24 jam, 30 jam) pemanasan penuaan buatan dan suhu tetap 200 °C. Gambar 11 menunjukkan bahwa ukuran kristal terbesar pada bidang indeks Miller (2 0 0), perlakuan panas penuaan buatan pada suhu 200 °C waktu tahan 30 jam, sebesar 23,94550 nm. Ukuran kristal terkecil pada bidang indeks Miller (2 0 0), perlakuan panas penuaan buatan pada suhu 200 °C waktu tahan 24 jam, sebesar 3,4405 nm. Dari grafik menunjukkan bahwa penuaan buatan waktu tahan 30 jam dan suhu 200 °C, ukuran kristal bidang indeks Miller (111), (200), (220), dan (311) lebih besar ukuran kristal dibandingkan paduan Al 7040 waktu tahan 1 jam dan 24 jam serta suhu 200 °C. Hal ini sesuai dengan hasil pengujian nilai kekerasan material paduan Al 7040 pada kondisi perlakuan panas penuaan buatan pada suhu 200 °C waktu tahan 24 jam yang terendah yaitu 18,905 HBN. Gambar 12 menunjukkan bahwa densitas dislokasi terbesar pada bidang indeks Miller (2 0 0), perlakuan panas penuaan buatan pada suhu 200 °C waktu tahan 24 jam, sebesar 0,08448 garis/mm². Untuk nilai densitas dislokasi terendah pada bidang indeks Miller (2 0 0), perlakuan panas penuaan buatan pada suhu 200 °C waktu tahan 30 jam yaitu 0,00174 garis/mm². Juga mengindikasikan bahwa material paduan Al 7040 setelah penuaan buatan selama 30 jam terdapat cacat Kristal yang sedikit. Gambar 13 menunjukkan bahwa regangan kisi mikro terendah pada bidang indeks Miller (3 1 1), perlakuan panas penuaan buatan pada suhu 200 °C waktu tahan 30 jam yaitu 3,78% dan nilai regangan kisi mikro terbesar pada bidang indeks Miller (1 1 1), perlakuan panas penuaan buatan pada suhu 200 °C waktu tahan 24 jam, sebesar 27,93%. Hasil didukung terendah kekerasan (18,905 HBN) pada material paduan Al 7040 setelah penuaan buatan suhu 200 °C waktu tahan 24 jam. Selain itu, pelebaran puncak difraksi sinar-X ini mengindikasikan terjadi perubahan struktur kristal yang dimiliki Al dimana perubahan struktur kristal ini diakibatkan dari pembentukan fasa baru yaitu solid solution Al-Mg atau bisa juga disebut fasa α -Al, dimana unsur Mg yang terlarut pada Al. Kadar Mg dalam jumlah yang besar pada paduan Al, dapat menaikkan nilai kekerasan dan kekuatan tarik pada paduan, tetapi menurunkan nilai regangan.

Bantumanulang



Gambar 12. Difraktogram material paduan Al 7040, artificial aging suhu 200 °C dan waktu 1 jam, 24 jam, 30 jam

Tabel 2. Data hubungan indeks miller terhadap ukuran kristal, densitas dislokasi dan regangan kisi mikro pada paduan Al 7040, suhu artificial aging 200 °C dan waktu 1 jam, 24 jam, 30 jam

| Indek Miller | UKURAN KRISTAL (D, nm) | | | DENSITAS DISLOKASI (ρ) | | | REGANGAN KISI MIKRO (ε) | | |
|--------------|--------------------------|-----------|-----------|--------------------------|----------|-----------|---------------------------|-----------|----------|
| | 200C,1 h | 200C,24 h | 200C,30 h | 200C,1h | 200C,24h | 200C,30 h | 200C,1 h | 200C,24 h | 200C,30h |
| 111 | 4,4108 | 3,8199 | 11,4496 | 0,05140 | 0,06853 | 0,00763 | 24,06% | 27,93% | 9,41% |
| 200 | 4,8769 | 3,4405 | 23,9554 | 0,04205 | 0,08448 | 0,00174 | 18,84% | 26,80% | 7,87% |
| 220 | 6,4155 | 6,3417 | 17,4873 | 0,02430 | 0,02486 | 0,00327 | 10,10% | 8,71% | 4,73% |
| 311 | 8,7041 | 9,5267 | 11,3851 | 0,01320 | 0,01102 | 0,00771 | 6,34% | 5,79% | 3,87% |

Tabel 3. Data difraktogram material paduan Al 7040, artificial aging 200 °C dan waktu 1 jam

| No | B | D | ρ | ε | Bidang Miller | Bentuk kristal |
|--------|---------|------------|---------------------|--|-----------------|----------------|
| Puncak | 2θ (°) | FWHM 2θ(°) | Ukuran Kristal (nm) | (Densitas Dislokasi) Garis/mm ² | (Regangan) Kisi | (h k l) |
| 1 | 38,1362 | 0,3326 | 4,4108 | 0,05140 | 24,06% | (1 1 1) |
| 2 | 44,3332 | 0,3077 | 4,8769 | 0,04205 | 18,84% | (2 0 0) |
| 3 | 64,6803 | 0,2558 | 6,4155 | 0,02430 | 10,10% | (2 2 0) |
| 4 | 77,8076 | 0,2047 | 8,7041 | 0,01320 | 6,34% | (3 1 1) |

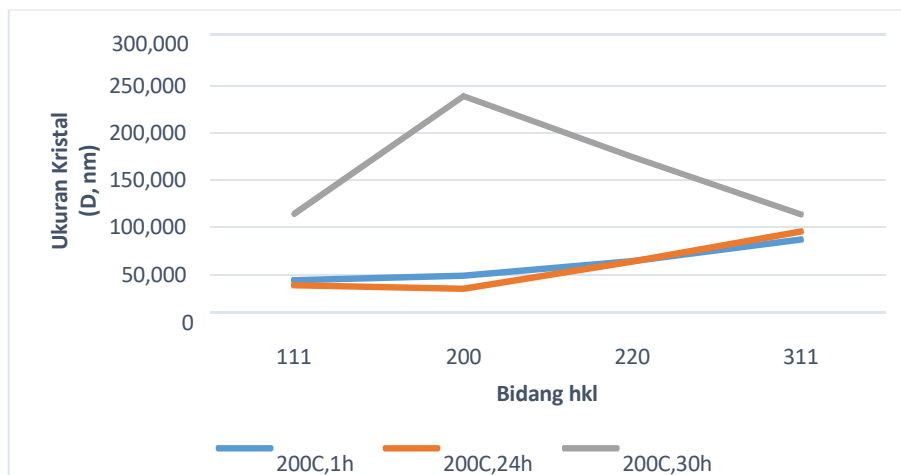
Reyhand Manurung

Tabel 4. Data difraktogram material paduan Al 7040, artificial aging 200 °C dan waktu 24 jam

| No | B | D | ρ | ϵ | Bidang | Bentuk kristal | |
|----|---------|--------------|--|-----------------|---------|----------------|-----|
| | | Kristal (nm) | Densitas Garis/mm ² (Dislokasi) | (Regangan Kisi) | (h k l) | | |
| 1 | 37,9215 | 0,3838 | 3,8199 | 0,06853 | 27,93% | (1 1 1) | FCC |
| 2 | 44,1574 | 0,4349 | 3,4405 | 0,08448 | 26,80% | (2 0 0) | FCC |
| 3 | 65,7305 | 0,2808 | 6,3417 | 0,02486 | 8,71% | (2 2 0) | FCC |
| 4 | 77,9401 | 0,1872 | 9,5267 | 0,01102 | 5,79% | (3 1 1) | FCC |

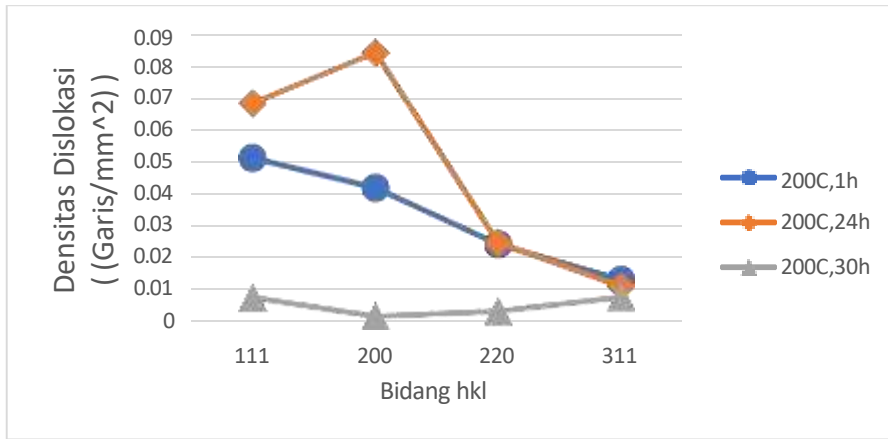
Tabel 5. Data difraktogram material paduan Al 7040, artificial aging 200 °C dan waktu 30 jam

| No | B | D | ρ | ϵ | Bidang | Bentuk kristal | |
|--------|----------------|---------------------|--------------|------------|--------|----------------|-----|
| Puncak | 2 θ (°) | FWHM 2 θ (°) | Kristal (nm) | Dislokasi | Kisi) | (h k l) | |
| 1 | 37,5347 | 0,1279 | 11,4496 | 0,00763 | 9,41% | (1 1 1) | FCC |
| 2 | 43,8831 | 0,0624 | 23,9554 | 0,00174 | 7,87% | (2 0 0) | FCC |
| 3 | 64,2049 | 0,0936 | 17,4873 | 0,00327 | 4,73% | (2 2 0) | FCC |
| 4 | 77,3554 | 0,156 | 11,3851 | 0,00771 | 3,87% | (3 1 1) | FCC |

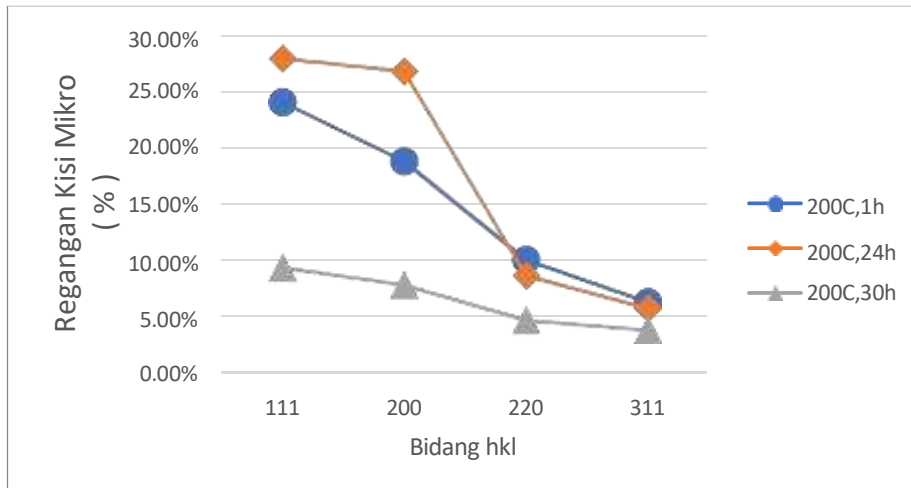


Gambar 13. Grafik Hubungan ukuran besar kristal terhadap bidang indeks Miller hkl, paduan Al 7040 penuaan buatan suhu 200 °C

Bantumanulang



Gambar 14. Grafik Hubungan densitas dislokasi terhadap bidang indeks Miller hkl, paduan Al 7040 penuaan buatan suhu 200 °C



Gambar 15. Grafik Hubungan regangan kisi mikro terhadap bidang indeks Miller hkl, paduan Al 7040 penuaan buatan suhu 200 °C

Analisa Kekerasan material paduan Al 7040 dengan skala Brinell (HBN)

Pengujian kekerasan dilakukan dengan skala Brinell (HBN) dan standar yang digunakan untuk pengujian mengacu pada ASTM E92. Hasil pengujian kekerasan dilihat Tabel 6.

Tabel 6. Data hasil uji kekerasan dengan skala Brinell

| Nama sampel | Nilai Kekerasan(HBN) | Keterangan |
|-----------------------------------|----------------------|-------------------------------|
| Sampel Al 7040, Asli(as cast) | 20,118 | P = 69,5 kgf |
| Sampel Al 7040, A, 200 °C, 1 jam | 23,035 | Duel time = 10 ⁵ |
| Sampel Al 7040, B, 200 °C, 24 jam | 18,905 | Ukuran bola indentor = 2,5 mm |
| Sampel Al 7040, C, 200 °C, 30 jam | 19,675 | |

Dari Tabel 6 hasil pengamatan nilai kekerasan material paduan Al 7040 setelah dilakukan pemanasan penuaan buatan (artificial aging) pada suhu 200 °C dengan variasi waktu tahan 1 jam, 24 jam dan 30 jam menunjukkan bahwa nilai kekerasan mengalami penurunan yang signifikan. Tetapi bila dibandingkan sampel material paduan Al 7040 asli setelah sintering naik sebesar 12,66%, hal ini terjadi karena terbentuk presipitat

(endapan) Mg_2Si dan $MgZn_2$. Sehingga, endapan tersebut menghalangi dislokasi yang akan terjadi. Namun pada sampel material paduan Al 7040 setelah penuaan buatan dari waktu tahan 1 jam dibandingkan waktu tahan 24 jam dan 30 jam terjadi penurunan kekerasan sebesar 17,93% dan 14,58%. Hal ini disebabkan telah terjadi *over age*. Kekuatan paduan pengerasan presipitat terutama dikendalikan oleh fraksi volum, ukuran, dan jarak antar presipitat dalam matriks Aluminium. Kekuatan yang tinggi akan diperoleh bila partikel yang terbentuk kristal berukuran sangat kecil dan keras dengan fraksi volum yang tinggi, hal mana dicapai dalam sistem pengerasan penuaan buatan. Dalam paduan aluminium pengerasan presipitat, pembentukan presipitat fasa kesetimbangan biasanya didahului oleh pembentukan kluster atom-atom solut (G-P zones) dan/atau presipitat antara yang dapat digeser oleh dislokasi.

KESIMPULAN

Aluminium 7040 mencapai kekerasan maksimum pada suhu *artificial aging* 200 °C dengan holding time 1 jam sebesar 23,035 HBN. Namun pada sampel material paduan Al 7040 setelah penuaan buatan dari waktu tahan 1 jam dibandingkan waktu tahan 24 jam dan 30 jam terjadi penurunan kekerasan sebesar 17,93% dan 14,58%. Disebabkan adanya *over age*. Pengujian komposisi unsur kimia menunjukkan unsur yang terkandung antara lain Al, Mg, Si, Zn. Ukuran kristal terbesar pada bidang indeks Miller (2 0 0) terjadi pada perlakuan panas *artificial aging* pada suhu 200 °C holding time 30 jam sebesar 23,94550 nm. Dan ukuran kristal terkecilnya terjadi pada perlakuan panas *artificial aging* pada suhu 200 °C holding time 24 jam sebesar 3,4405 nm.

REFERENSI

- [1] B. JR, Foseco Non-Ferrous Foundryman's Handbook, Oxford: ButterworthHeinemann, 2001.
- [2] T. Marlaud, B. Malki, C. Henon, A. Deschamps and B. Baroux, Relationship Between Alloy Composition Microstructure And Exfoliation Corrosion in Al-Zn-Mg-Cu Alloys, *Corrosion Science* 53 (2011)3139-3149, 2011.
- [3] S. Schonmetz and H. Reiter, Pengerjaan Logam dengan Mesin,, Bandung: Angkasa, 1990.
- [4] S. Jin, T. Ngai, T. Zhai, S. Jia and L. Li, Precipitation Strengthening Mechanisms During Natural Ageing and Subsequent Artificial Ageing in an Al-Mg-Si-Cu Alloy, *Materials Science and Engineering*, 2018.
- [5] H. Shwe Wut, L. Kay Thi and K. Waing, The Effect of Ageing Treatment of Aluminum Alloys for Fuselage Structure-Light Aircraft, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 2008.
- [6] A. Z. Sultan and N. Hamzah, "Pengaruh Solution Treatment dan Artificial Aging Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Paduan Aluminium A383," *Jurnal Poli UPG*, p. 10, 2019.
- [7] A. N. Angga, "Pengaruh Aging 200°C dengan Waktu 1-9 jam terhadap Sifat Mekanik pada Al-Cu Remelting," *Repository USD*, 2018.

Bantumanulang

- [8] J. Susanto, H. Seputro and E. Santoso, "Analisa Pengaruh Variasi Media Pendingin dan Waktu Aging pada Perlakuan Panas T terhadap Struktur Mikro Komposit Aluminium Abu Dasar Batubara," *Jurnal Untag Sby*, 2018.
- [9] J. Sidik, M. Sholihin and A. Riyan, "Pengaruh Variasi Temperatur Perlakuan Panas Aging terhadap sifat Mekanik Aluminium AA 6061," *Jurnal Unimus*, 2019.
- [10] Budiarto, D. Antonius and B. A. Putra, "Analisis Pengaruh Waktu Artificial Aging terhadap Kekerasan, Densitas dan Struktur Kristal Paduan Aluminium (7040) untuk Bahan Sirip Roket," 2020.
- [11] Budiarto, S. and U. Sanjaya, "The Effect of Artificial Age Time on Crystal Size, Dislocation Density, Hardness and Micro Structure on Al 6061 Materials Alloy," in *Seminar Internasional ICCST, FMIPA, USU, Sumatera Utara*, 2020.
- [12] Wikipedia, "Miller Index," Wikipedia, 16 8 2020. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Miller_index. [Accessed 19 10 2020].
- [13] P. Scherrer, "Wikipedia," Wikipedia, 6 8 2020. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Scherrer_equation. [Accessed 19 10 2020].
- [14] M. E. S., M. A. and H. , "Pengaruh Holding Time Pada Proses Heat Treatment Terhadap Nilai Kekerasan Material Alumunium Alloy AC8A," 2017.