



## **Analisis Pengaruh Suhu T6 dan Artificial Age Terhadap Kekerasan, dan Struktur mikro Paduan Alumunium**

Edi Sulistiyo

Sekolah Tinggi Teknologi Buna Tunggal, Indonesia

Diterima : 30 Agustus 2024 Disetujui : 11 November 2024 Diterbitkan : 30 Desember 2024

\*Corresponding author: [edisulistiyo@sttb.ac.id](mailto:edisulistiyo@sttb.ac.id)

### **ABSTRAK**

Telah dilakukan analisis pengaruh suhu T6 dan artificial age terhadap kekerasan, dan struktur mikro pada paduan alumunium. Aluminium adalah salah satu bahan yang memiliki karakter yang berpotensi cocok untuk dijadikan opsi, namun memiliki kekurangan pada kekuatannya. Untuk itu dilakukan percobaan perlakuan panas T6 terhadap paduan Al 5052 untuk memperbaiki karakteristik kekuatannya. Proses T6 dimulai dengan dipanaskan solid solution pada suhu diatas 500 °C ditahan selama 1 jam, kemudian dilakukan pendinginan cepat melalui media air, serta proses penuaan buatan (artificial aging) dengan variasi suhu 140 °C, 170 °C dan 200 °C selama 30 menit. Setelah proses pendinginan, spesimen ini kemudian dilakukan proses metalografi. Karakterisasi kekerasan dengan skala Vickers, diperoleh bahwa paduan Al 5052 tanpa perlakuan panas memberikan angka kekerasan sebesar 86,10 HV. Sampel uji Al 5052 yang mengalami perlakuan panas memberikan nilai kekerasan tertinggi sebesar 144,90 HV diperoleh pada kombinasi temperature aging 200 °C waktu aging 30 menit, terjadi kenaikan nilai kekerasan sebesar 68 %. Pengujian struktur mikro dengan Scanning Electron Microscope (SEM), menunjukkan bahwa pada sampel uji Al 5052 tanpa perlakuan panas terlihat matriks Al yang dominan, sedangkan pada sampel uji Al 5052 setelah melalui proses T6 memunculkan fasa MgZn<sub>2</sub> yang meningkatkan nilai kekerasan (sifat mekanik) secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan kadar Mg dalam jumlah yang besar pada paduan Alumunium juga dapat menaikkan kekuatan tarik. Pengujian ukuran kristal, kerapatan dislokasi, dan regangan kisi mikro dengan X-Ray Diffraction (XRD), menunjukkan bertambahnya ukuran kristal seiring dengan lamanya waktu pemanasan penuaan buatan. Sedangkan densitas dislokasi dan regangan kisi meningkat selama dengan variasi suhu 140 °C, 170 °C dan 200 °C.

**Kata Kunci:** Paduan Alumunium 5052, metalurgi butiran, XRD, T6, artificial aging

### **ABSTRACT**

*An analysis of the effect of T6 temperature and artificial age on hardness and microstructure of aluminum alloys has been carried out. Aluminum is a material that has a character that is potentially suitable as an option, but it lacks its strength. For this reason, a T6 heat treatment experiment was carried out on Al 5052 alloy to improve its strength characteristics. The T6 process begins with the solution heated at temperatures above 500 °C sent for 1 hour, then is carried out quickly through the air media, as well as the process of artificial aging (artificial aging) with variations in temperature of 140 °C, 170 °C and 200 °C for 30 minute. After the recovery process, the specimen is then subjected to a metallographic process. Hardness characterization by Vickers scale, obtained Al 5052 alloy without heat preparation gives a defense value of 86.10 HV. The Al 5052 test sample which requires the completion of heat gives the highest value of 144.90. HV obtained at a temperature combination of 200 °C aging time of 30 minutes, an increase in hardness value of 68 %. Microstructure testing using Scanning Electron Microscope (SEM) shows that the Al 5052 test sample without testing shows the dominant Al matrix, while the Al 5052 test sample after going through the T6 process raises the MgZn<sub>2</sub> phase which significantly increases the test value (mechanical properties). This amount adds to the amount of Mg in large quantities in aluminum alloys can also increase the tensile strength. Tests of crystal size, dislocation density, and micro lattice strain with X-Ray Diffraction (XRD), showed an increase in crystal size with the length of time of artificial*

*aging heating. While the density of dislocation and lattice strain increases during variations in temperature of 140 °C, 170 °C and 200 °C.*

**Keywords:** *Al-5052 alloy, artificial aging, T6, hardness, Vickers, crystal structure, crystal size, dislocation density, micro lattice strain.*

## PENDAHULUAN

Roket merupakan wahana luar angkasa, peluru kendali, atau kendaraan terbang yang mendapatkan dorongan melalui reaksi pembakaran dari pembakaran propellant [1]. Alat ini digunakan sebagai kendaraan atau alat pendorong muatan yang digunakan untuk membawa muatan dari permukaan bumi ke ruang angkasa, biasanya ke orbit Bumi atau lebih. Dengan perkembangan ilmu pengetahuan yang sangat pesat, saat ini penggunaan roket telah banyak digunakan untuk pendorong suatu wahana yang dapat terbang, salah satunya adalah sebagai pendorong *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) [2]. Sistem struktural roket mencakup semua bagian yang membentuk bingkai roket diantaranya tubuh silinder, fairings, dan seluruh sirip kontrol. Agar sistem roket bisa bekerja dengan baik maka setiap subsistem tersebut harus bekerja secara sinergis untuk mencapai performa yang diharapkan. Secara garis besar pergerakan roket ditentukan oleh sirip-sirip roket [3]. Berdasarkan kebutuhan tersebut bahan pembuat sirip roket perlu dipertimbangkan dengan baik. Salah satu material yang dapat dipertimbangkan sebagai material pembuat sirip roket adalah aluminium. Namun untuk memenuhi sifat-sifat yang diinginkan, aluminium terlebih dahulu harus mendapatkan proses tertentu misalnya perlakuan panas.

Penggunaan Aluminium 5052 ditemukan dalam berbagai aplikasi seperti bejana tekan, bilah kipas, tangki, suku cadang otomotif, peralatan kimia dsb [4] [5]. Kandungan Mg sangat mempengaruhi sifat mekanik dari aluminium [6].

Penelitian yang dilakukan Martin Djamin dan Budiarto mengatakan bahwa pemaduan CuNiAl dilakukan dengan menggunakan teknik metalurgi butiran dengan variasi waktu penuaan terhadap strukturmikro, densitas, dan kekerasan. Dimana proses metalurgi butiran merupakan proses untuk membentuk paduan tersebut [7]. Keunggulan dari proses ini agar dicapai pembentukan butir yang halus, sehingga kemungkinan terjadinya retak antar butir (*granular cracking*) ketika deformasi dapat dihindarkan dan terdapat hubungan yang signifikan antara waktu penuaan dengan densitas dan kekerasan paduan CuNiAl dimana makin lama waktu penuaan, densitas dan kekerasan meningkat.

Dalam penelitian Abhijeet Bhowmik dan Dilip Mishra [8][9] mengenai paduan aluminium Al-5052 menyatakan bahwa material Al-5052 memiliki ruang lingkup penggunaan yang luas sebagai logam karena memiliki ketahanan korosi yang sangat baik, memiliki sifat formabilitas dan keuletan yang sangat baik.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Amulya Bihari Pattnaik [10][11] menunjukkan bahwa penambahan Al-5Ti-1B butir refiner ke dalam paduan Al5052 menyebabkan peningkatan yang signifikan dalam kekuatan tarik ultimit (UTS) dan nilai perpanjangan dari 114 MPa dan 7,8 % menjadi 185 MPa dan 18 % masing-masing. Mekanisme utama di balik perbaikan ini ditemukan disebabkan oleh penyempurnaan butir selama pemadatan dan pengaturan Ti pada batas butir primer.

Berdasarkan penelitian artificial aging yang dilakukan pada Al7075 oleh Budiarto dan Brillian Ardiana Putra [12] menyatakan bahwa Al 7075 mencapai kekerasan maksimum pada temperatur aging 210 °C dan waktu aging 20 jam, yaitu sebesar 144,90 HV. Sedangkan pengujian nilai kekerasan sampel uji Al 7075 tanpa perlakuan panas memberikan nilai kekerasan hanya sebesar 84,10 HV, terjadi kenaikan nilai kekerasan sebesar 41,96 %.

SEM-EDXS dapat memberikan informasi tentang topografi permukaan, struktur kristal, komposisi kimia dan sifat kelistrikan dari dalam satu wadah atau lebih spesimen. Berbagai tahapan khusus (misalnya panas, dingin atau dirancang untuk memungkinkan pengujian mekanis in situ) dapat digunakan untuk pemeriksaan dalam beragam kondisi. Dalam penelitian oleh Wanchuck Woo dkk yang menggunakan alat ukur XRD dalam pengujiannya menyatakan Kepadatan dislokasi dan ukuran subgrain ditentukan dalam bahan dasar dan friction-stir welds dari paduan aluminium 6061-T6. Pengukuran difraksi sinar-X beresolusi tinggi dilakukan dalam bahan dasar. Hasil analisis profil garis puncak difraksi sinar-X menunjukkan bahwa kepadatan dislokasi sekitar  $4,5 \times 10^{14} \text{ m}^{-2}$  dan ukuran subgrain sekitar 200 nm. Pemilihan metode uji kekerasan dan hasil yang diperoleh bergantung pada kekerasan permukaan barang, kekasaran, dimensi, bentuk, struktur mikro, jenis pemrosesan sebelum pengukuran dan kondisi

eksploitasi. Faktor-faktor penting adalah tujuan penggunaan serta nilai akurasi yang diperlukan [19]. Maka pada penelitian ini akan dilakukan pengujian terhadap pengaruh suhu artificial aging terhadap beberapa sifat mekanik dari Al 5052 agar dikemudian hari dapat dijadikan acuan pemilihan bahan untuk bahan konstruksi roket.

**METODE PENELITIAN**

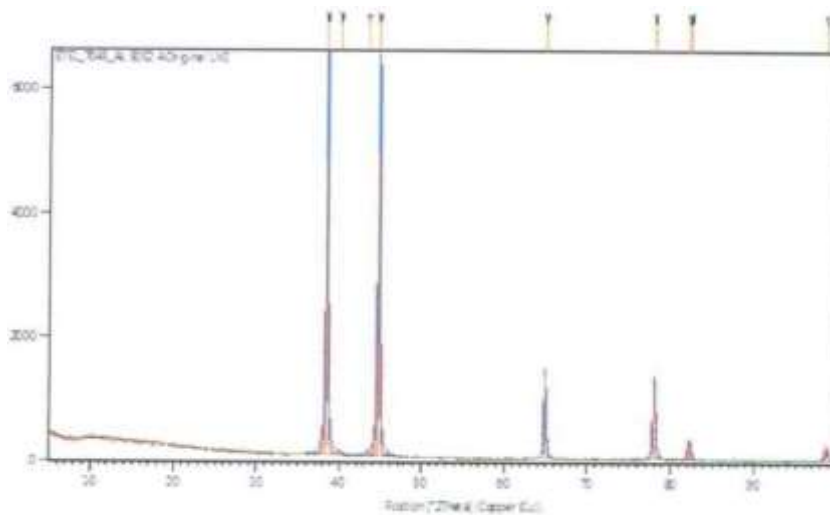
Langkah awal penelitian dilakukan dengan mempersiapkan material berupa plat Al 5052 dengan dimensi 10mm x 10mm x 5mm.

Proses pertama dilakukan pemanasan suhu 500 °C untuk proses pelarutan ditahan selama 1 jam. Dilanjutkan celup cepat (quenching) ke suhu ruang media air. Proses selanjutnya artificial aging (penuaan buatan) dengan suhu 140 °C, 170 °C dan 200 °C selama 30 menit. Setelah proses pendinginan, spesimen ini kemudian dilakukan proses metalografi (grinding, amplas, poles, dstnya). Karakterisasi hasil pembuatan/sintesa paduan Al-5052 antara lain: Pengujian dan pengamatan struktur mikro, komposisi unsur kimia secara kualitatif dan kuantitatif dengan alat SEM-EDXS; serta pengujian struktur kristal, besar ukuran kristal, regangan kisi dan kerapatan dislokasi Kristal dengan XRD.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

*Analisis Ukuran Kristal, Densitas Dislokasi, dan Regangan Kisi Mikro*

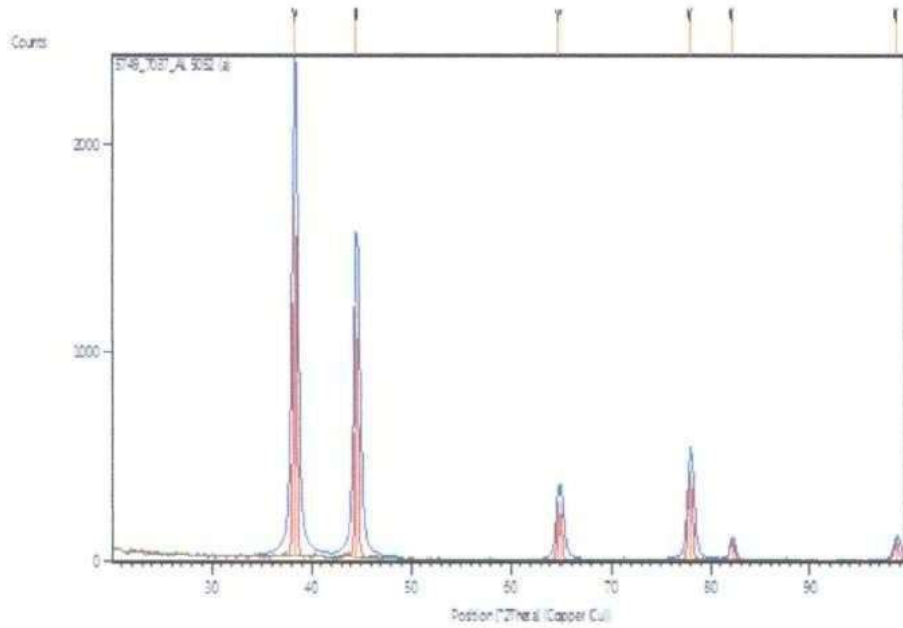
Data yang diperoleh dari hasil pengujian Ukuran Kristal, Densitas Dislokasi, dan Regangan Kisi Mikro perlakuan T6 dari material Aluminium 5052 dengan menggunakan metode Difraksi Sinar X (XRD),



**Gambar 1.** Hasil pengujian AL5052 dengan menggunakan XRD

**Tabel 1.** Hasil analisis XRD pada paduan AL5052.

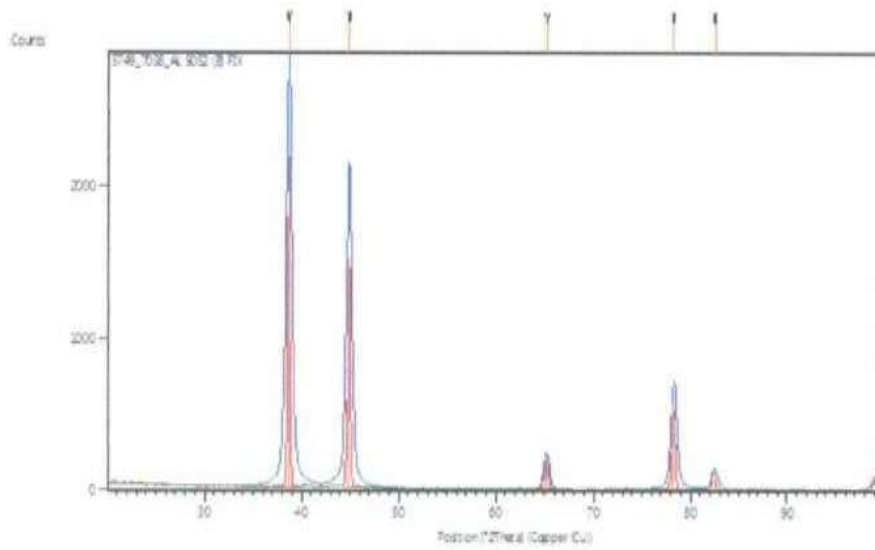
Pos.[2Th.]	FWHMLeft [2Th.]	Besar Kristal (nm)	Densitas Dislokasi	Regangan Kisi
38,3981	0,307	4,783647	0,0437	22%
40,0672	0,307	4,808546	0,043249	21%
43,3257	0,4093	3,645976	0,075227	26%
44,6202	0,2814	5,327363	0,035235	17%
64,9049	0,2303	7,136621	0,019634	9%
77,952	0,2808	6,353283	0,024774	9%
78,1777	0,2184	8,181561	0,014939	7%
82,0887	0,156	11,78781	0,007197	4%
82,3753	0,1872	9,844643	0,010318	5%
98,628	0,1872	11,36448	0,007743	4%
98,9795	0,2496	8,55392	0,013667	5%
Rata-rata		7,435259	0,02688	12%



**Gambar 2.** Hasil XRD Al5052 sesudah penuaan buatan (artificial aged) dengan suhu 140 °C selama 30 menit

**Tabel 2.** Hasil analisis XRD Al5052 hasil penuaan buatan (artificial aged) dengan suhu 140 °C

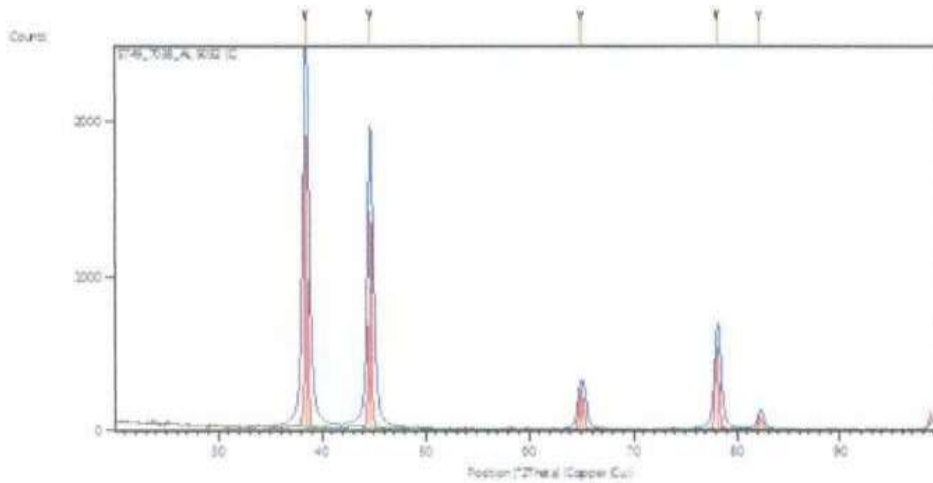
No. Puncak	Pos.[2θ.]	FWHMLeft [β.]	Besar Kristal (nm)	(Densitas Dislokasi)	(Regangan Kisi)
1	38,3359	0,5815	2,525026	0,15684418	42%
2	44,5753	0,5815	2,577608	0,15051032	35%
3	64,8764	0,5815	2,825974	0,12521711	23%
4	77,965	0,5815	3,068213	0,10622558	18%
5	82,1452	0,3877	4,745134	0,04441228	11%
Rata-rata			2,623659	0,09720158	22%



**Gambar 3.** Hasil XRD Al5052 sesudah penuaan buatan (artificial aged) pada suhu 170 °C selama 30 menit.

**Tabel 3.** Hasil analisis XRD Al5052 dengan penuaan buatan (artificial aged) pada suhu 170 °C selama 30 menit

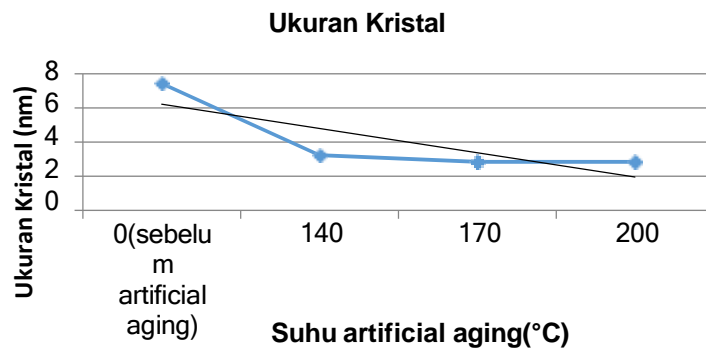
No. Puncak	Pos. [2θ (°)]	FWHMLeft [2θ.]	Besar Kristal (nm)	(Densitas Dislokasi)	(Regangan Kisi)
1	38,6475	0,5815	2,527424	0,15654666	41%
2	44,8817	0,5815	2,580445	0,15017952	35%
3	65,1953	0,3877	4,246123	0,05546447	15%
4	78,2685	0,5815	3,074814	0,10576995	18%
5	82,4674	0,5815	3,171479	0,09942061	17%
Rata-rata			2,600047	0,09456353	21%



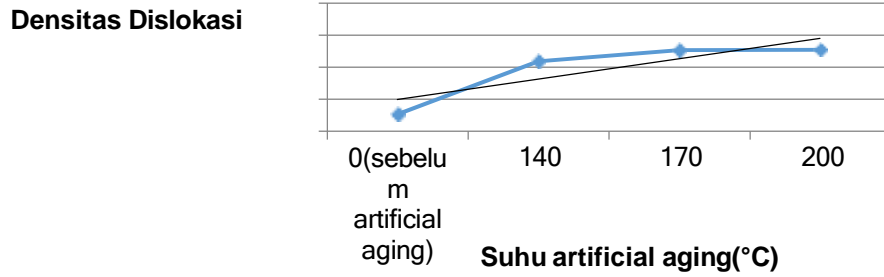
**Gambar 4.** Hasil XRD Al5052 sesudah penuaan buatan (artificial aged) pada suhu 200 °C selama 30 menit

**Tabel 4.** Hasil analisis XRD Al5052 dengan penuaan buatan (artificial aged) pada suhu 200 °C selama 30 menit

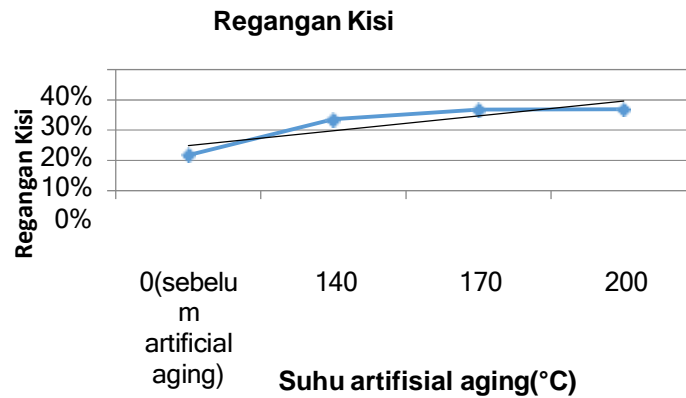
No. ] Puncak	Pos.[2Th.	FWHMLef t [2Th.]	Besar Kristal (nm)	(Densitas Dislokasi)	( Regangan Kisi)
1	38,4615	0,5815	2,52599	0,1567245	42%
2	44,6923	0,5815	2,578688	0,15038421	35%
3	65,0403	0,5815	2,828548	0,1249893	23%
4	78,1079	0,5815	3,071315	0,10601111	18%
5	82,2353	0,5815	3,165865	0,09977351	17%
Rata-rata			2,361734	0,10631377	22%



**Gambar 5.** Grafik perbandingan perubahan ukuran Kristal



**Gambar 6.** Grafik perbandingan perubahan Densitas dislokasi



**Gambar 7.** Grafik perbandingan perubahan Regangan Kisi

Berdasarkan data tersebut dapat dilihat perubahan yang terjadi pada ukuran kristal sebelum dan sesudah artificial aging, data menunjukkan terjadi penurunan ukuran kristal pada sample setelah dilakukan artificial aging tetapi terjadi kenaikan pada densitas dislokasi dan regangan kisi.

#### *Analisis Kekerasan dari Material Al 5052*

Selanjutnya dilakukan pengujian kekerasan pada sampel, pengujian dilakukan dengan menggunakan skala Vickers untuk menghasilkan hasil uji yang lebih akurat. Berikut adalah data hasil pengujian sampel dengan menggunakan skala Vickers.

**Tabel 5.** Hasil pengujian kekerasan skala Vickers dari material Al 5052

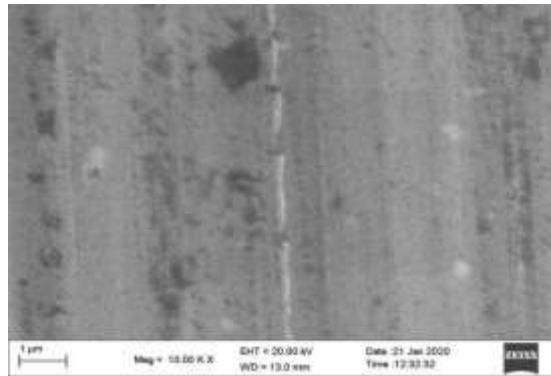
No.	Nama Sampel	Kekerasan (HV)
1.	Al 5052 ( Asli)	86,1
2.	Al 5052 ( 140 °C, 0,5 jam )	99,75
3.	Al 5052 ( 170 °C, 0,5 jam )	127,45
4.	Al 5052 ( 200 °C, 0,5 jam )	144,90

Dari hasil pengamatan angka kekerasan rata-rata sampel uji Al 5052 yang mengalami perlakuan panas penuaan buatan (artificial aging) pada waktu tetap 30 menit

dan variasi temperatur 140°C, 170 °C, dan 200 °C cenedrung mengalami kenaikan sebanding dengan semakin tingginya suhu artificial aging.

*Analisis Struktur mikro dari Material Al 5052 dengan Scanning Electron Microscope (SEM)*

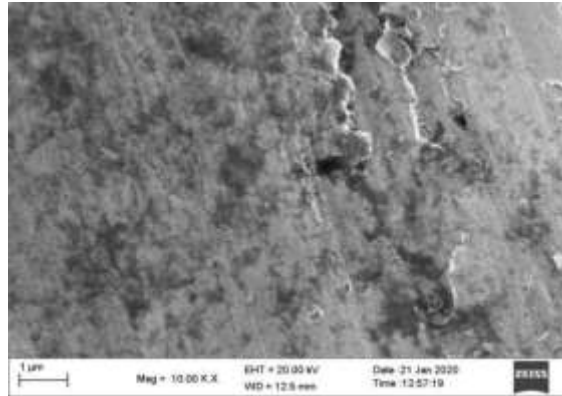
Hasil pengamatan morfologi permukaan atau struktur mikro spesimen uji material paduan Al 5052 menggunakan SEM-EDX dengan pembesaran 10.000X, dilihat pada 8-10.



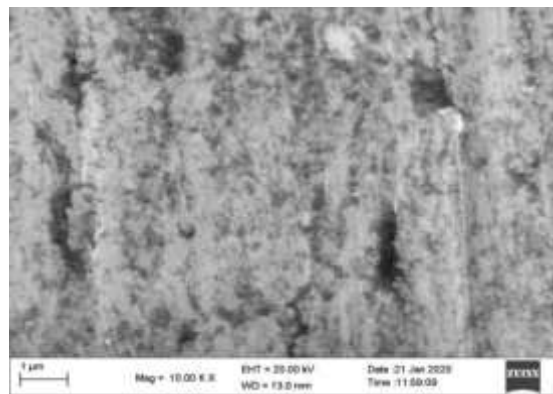
**Gambar 8.** Mikrograf dari paduan Al 5052, Penuaan buatan waktu 30 menit, temperatur 140 0C, pembesaran 10.000X

Dari Gambar 8 material paduan Al 5052 menunjukkan bahwa semakin besar temperatur pemanasan maka bintang-bintang putih akan semakin besar dan menyebar merata. Dengan adanya Mg yang membentuk senyawa MgZn<sub>2</sub> yang tersebar merata maka akan menghambat terjadinya dislokasi bila ada gaya dari luar, atau dengan kata lain gaya yang diperlukan untuk mendeformasi/merusak akan semakin besar, yang berarti kekerasan akan semakin besar. Nilai kekerasan, pada kondisi perlakuan panas T6 selalu lebih besar dari pada kondisi as-cast. Hal ini disebabkan karena jumlah presipitat sebagai fasa MgZn<sub>2</sub> yang terlarut dalam paduan Al 5052 akan semakin besar karena kemampuan untuk mengandung presipitat sebagai fasa MgZn<sub>2</sub> meningkat setelah diberi perlakuan panas. Disamping itu juga disebabkan karena, dengan adanya perlakuan panas T6 maka bentuk butiran berubah dari bentuk bulat menjadi lonjong. Bentuk butiran yang lonjong menyebabkan gaya yang diperlukan untuk mendeformasi akan semakin besar dibandingkan dengan bentuk butiran yang bulat.

*Aluminium solid solution* yang ditunjukkan warna putih dan fasa Mg yang ditunjukkan dengan warna hitam. Kandungan Mg sangat mempengaruhi sifat mekanik dari aluminium. Struktur mikro material Al 5052 (asli/belum proses pemanasan) maka material ini tidak mengalami deformasi. Namun pada material Al 5052 setelah proses pemanasan tersebut ditampilkan dalam dua fasa yaitu fasa aluminium yang ditunjukkan warna putih dan fasa magnesium (Mg) yang ditunjukkan dengan warna hitam. Sedangkan material Al 5052 memiliki butiran besar dan kasar adalah pada daerah yang mendapatkan perlakuan panas (heat treatment) normalizing, karena proses pendinginan yang cepat pada suhu ruangan, dan variasi temperatur penuaan buatan, sehingga struktur tidak cukup waktu untuk berubah.



**Gambar 9.** Mikrograf dari paduan Al 5052, Penuaan buatan waktu 30 menit, temperatur 170 °C, pembesaran 10.000X

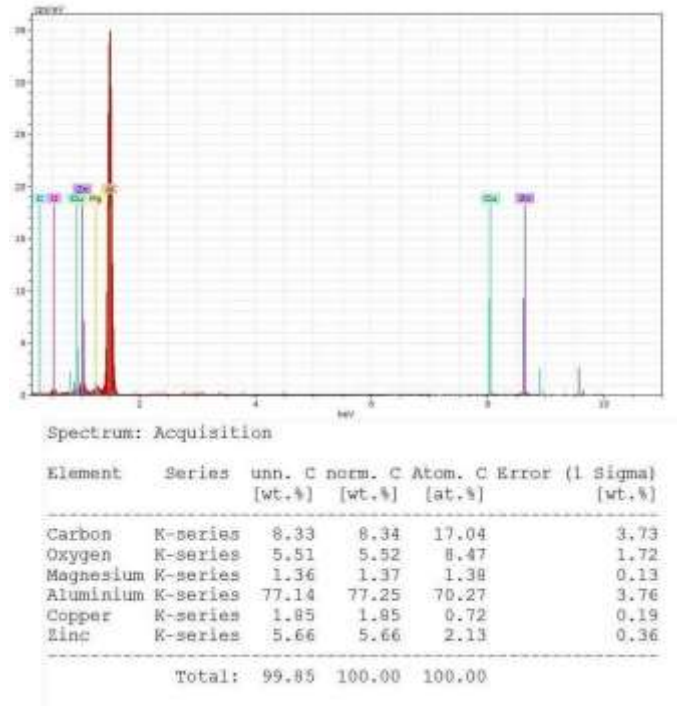


**Gambar 10.** Mikrograf dari paduan Al 5052, Penuaan buatan waktu 30 menit, temperatur 200 °C, pembesaran 10.000X

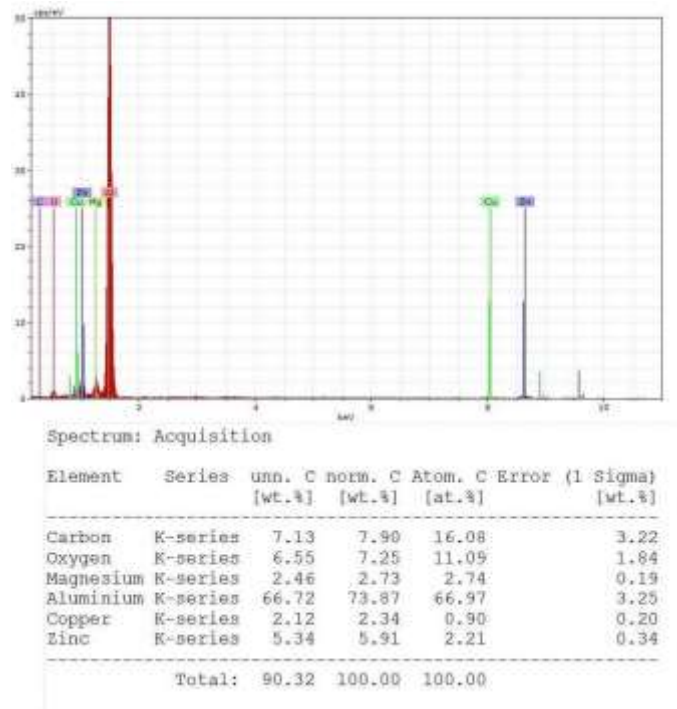
Dari Gambar 8 sampai 10 menunjukkan bahwa mikrograf dari paduan Al 5052, setelah penuaan buatan dengan waktu tetap 30 menit, dan variasi temperatur 140 °C, 170 °C, 200 °C. Pada morfologi permukaan menunjukkan bahwa berbentuk equiaxial pada penuaan buatan waktu tetap 30 menit, dan variasi temperatur 140 °C, 170 °C, dan 200 °C. Berubah bentuk butir setelah penuaan buatan ini akibat deformasi pada temperatur 200 °C mengubah bentuk butiran material paduan Al 5052. Hal ini juga akan berdampak pada sifat mekanik yaitu kekerasan yang dihasilkan.

*Analisis Komposisi unsur kimia dari Material Al 5052 dengan Energy Dispersif X-ray Spektrometer (EDXS)*

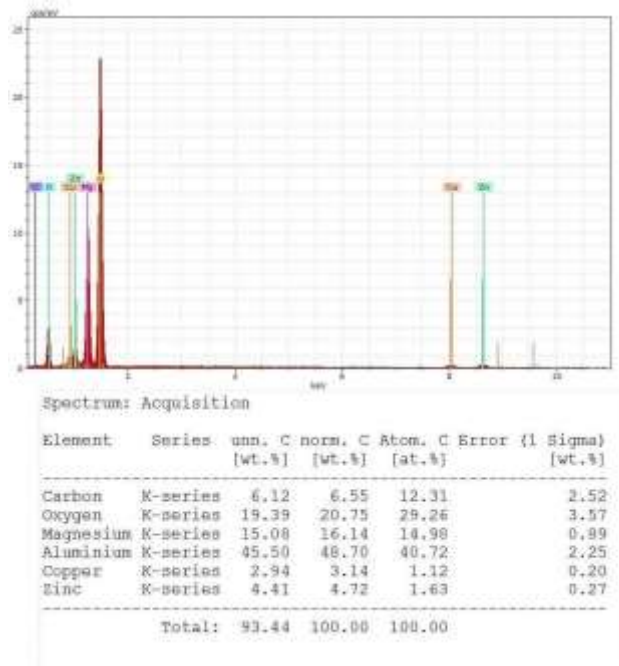
Hasil pengujian komposisi unsur kimia spesimen uji material paduan Al 5052 menggunakan EDXS dilihat pada Gambar 11-13.



**Gambar 11.** SEM-10.000X dan Spektrum EDX dari material paduan Al 5052 , penuaan buatan waktu 30 menit dan temperatur 140 °C



**Gambar 12.** SEM-10.000X dan Spektrum EDX dari material paduan Al 5052, penuaan buatan waktu 30 menit dan temperatur 170 °C



**Gambar 13.** SEM-10.000X dan Spektrum EDX dari material paduan Al 5052, penuaan buatan waktu 30 menit dan temperatur 200 °C

Spektrum EDX. Hasil pengamatan menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM) dengan perbesaran 10.000X, untuk menampilkan spektrum Energy Dispersive X-ray (EDX) pada seluruh permukaan spesimen material paduan Al 5052 penuaan buatan waktu tetap 30 menit dan variasi temperature 140 °C, 170 °C, dan 200 °C, dilihat pada Gambar 11, 12, dan 13. Secara semi kuantitatif komposisi kimia material yang terukur pada material paduan Al 5052 adalah unsur-unsur dominan penyusun material antara lain : Al, Mg, C, Zn, dan Cu, sedangkan yang berbeda pada kuantitasnya. Pada Gambar 11, 12, dan 13, serta Tabel 5, hasil pengujian komposisi unsur kimia (spektrum EDX) dan kekerasan skala Vickers (HV) menunjukkan adanya distribusi kekerasan pada material Al 5052 (asli/belum perlakuan panas) sebesar 86,1 HV.

Pada Gambar 11 dan 12 material Al 5052 hasil penuaan bantuan temperatur 140 °C, dan 170 °C, waktu 30 menit, terlihat bahwa kandungan unsur magnesium (Mg) sekitar 1 % sampai 2 %, nilai kekerasan sebesar 99,75 – 127,4 HV. Begitu juga dengan kandungan Mg sebesar 16,14%, terjadi peningkatan kekerasan sebesar 144,90 HV. Hal ini mengindikasikan bahwa pengaruh penambahan unsur Mg pada paduan Al dan membentuk presipitat (endapan) sebagai fasa MgZn<sub>2</sub> dapat meningkatkan nilai kekerasan (sifat mekanik) secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan kadar Mg dalam jumlah yang besar pada paduan Aluminium juga dapat menaikkan kekuatan tarik. Hal ini di sebabkan karena adanya reaksi ikatan antar partikel unsur Al dan unsur Mg pada waktu proses aniling yang mengakibatkan perubahan struktur kristal, sehingga membentuk fasa baru yaitu solid solution Al-Mg atau bisa juga disebut fasa  $\alpha$ -Al, dimana unsur Mg larut pada unsur Al sebagai matrik ( Al 5052).

## KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa, pengujian ukuran Kristal densitas dislokasi regangan kisi mikro dengan XRD terhadap pengaruh suhu artificial aging pada paduan Al5052 menunjukkan bahwa nilai ukuran kristal berbanding terbalik dengan suhu artificial aging dimana semakin tinggi suhu artificial aging-nya maka semakin kecil ukuran kristalnya, sementara untuk densitas dislokasi dan kerapatan kisi sebanding dengan suhu sehingga seiring dengan tingginya suhu maka nilai densitas dislokasi dan kerapatan kisi pun ikut naik. Pengujian kekerasan dengan skala Vickers, diperoleh bahwa paduan Al 5052 tanpa perlakuan panas memiliki angka kekerasan sebesar 86,10 HV. Sampel uji Al 5052 yang

mengalami perlakuan panas memberikan nilai kekerasan tertinggi sebesar 144,90 HV diperoleh pada kombinasi temperature aging 200 °C waktu aging 30 menit, terjadi kenaikan nilai kekerasan sebesar 68 %. Pengujian struktur mikro dengan SEM, menunjukkan bahwa pada sampel uji Al 5052 tanpa perlakuan panas terlihat matriks Al yang dominan, sedangkan pada sampel uji Al 5052 setelah melalui proses T6 memunculkan fasa MgZn<sub>2</sub> yang meningkatkan nilai kekerasan (sifat mekanik) secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan kadar Mg dalam jumlah yang besar pada paduan Aluminium juga dapat menaikkan kekuatan tarik.

## REFERENSI

- [1] Anggraini Puspita Sari, Desyderius Minggu Khairul Anwar, "RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI SIRIP ROKET BAGIAN RUDDER MENGGUNAKAN KONTROL PID," *JURNAL ILMIAH – VIDYA*, vol. 26, p. 27, 2018.
- [2] FX. Djamar Haryadi Deswara, "ANALISA PERFORMA PROPULSI ROKET EKSPERIMENTAL DENGAN MENGGUNAKAN SOLID PROPELLANT UNTUK PELUNCUR PESAWAT UAV (UNMANNED AERIAL VEHICLE)," *SSN 2087 – 9245*, vol. 3, p. 42, Juni 2015.
- [3] Wahyudi, and Budi Setiyono Fakhruddin Mangkusasmito, "SISTEM KENDALI POSISI SUDUT ANGGUK UNTUK ROKET RKX-300 DENGAN METODE KENDALI LINEAR QUADRATIC REGULATOR (LQR) DAN POLE PLACEMENT," *TRANSMISI*, vol. 15, p. 100, 2013.
- [4] L.Vrsalovic, M.Kliskic, I.Jerkovic, A.Radonic, M.Zekic S. Gudic, "Corrosion Inhibition of AA 5052 Aluminium Alloy in NaCl Solution by Different Types of Honey," *International Journal of Electrochemical Science*, pp. 998 - 1011, Januari 2016.
- [5] Athanasius Priharyoto Bayuseno Ajeng Fitria Satriani, "ENGARUH PENAMBAHAN UNSUR SILIKON (Si) PADA SHAFT PROPELLER BERBAHAN DASAR Al-Mg-S," *Jurnal Teknik Mesin Universitas Diponegoro*, vol. 4 , pp. 170-177, April 2016.
- [6] ADITYA QOMARUDIN, "ANALISA PENGARUH PERLAKUAN PANAS ANNEALING DAN NORMALIZING HASIL PENGELASAN METODE FRICTION STIR WELDING (FSW) PADA ALUMINIUM ALLOY SERI 5052 TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIS," *Electronic Theses and Dissertations Universitas Muhammadiyah Surakarta*, 2019.
- [7] Martin Djamin and Budiarto, "PENGARUH WAKTU PENYUAPAN TERHADAP SIFAT FISIK PADA SINTESA BAHAN PADUAN INGAT BENTUK CuNiAl," *P3TM-BATAN*, vol. 1, pp. 33-38, Juli 1999.
- [8] Dilip Mishra Abhijeet Bhowmik, "A Comprehensive Study of an Aluminum Alloy AL-5052," *ISSN (Print) : 2349-1094, , ISSN (Online) : 2349-1108*, vol. 3, no. 1, p. 22, 2016.
- [9] A. J. Zulfikar, "Numerical Analysis of Strength of Rear Brake Holder Flat on The Motor Cycle Due to Impact Load," *JMEMME (Journal Of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials And Energy)*, vol. 2, no. 1, p. 1-6, 2018.

- [10] Satyabrat Dasa, Bharat Bhushan Jhab, Nedumbilly Prasanth Amulya Bihari Pattnaika, "Effect of Al-5Ti-1B grain refiner on the microstructure, mechanical properties and acoustic emission characteristics of Al5052 aluminium alloy," *Journal of Material Research and Technology*, p. 9, 2014.
- [11] A. J. Zulfikar, A. Sofyan and M. Y. R. Siahaan, "Numerical Simulation on The Onion Dryer Frame Capacity of 5 kg/hour," *JMEMME (Journal of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials and Energy)*, vol. 2, no. 2, p. 86-92, 2018
- [12] Dicky Antonius, Brillian Ardiana Putra Budiarto, "Analisis Pengaruh Waktu Artificial Age Terhadap Kekerasan, Densitas Dan Struktur Kristal Paduan Alumunium (7075) Untuk Bahan Sirip Roket," *Jurnal Kajian Ilmiah (JKI)*, p. 27, 2019.
- [13] Centre for Electronic Materials, UMIST K D Vernon-Parry, "Scanning Electron," *III-Vs Review*, vol. 13, pp. 40-44, 2000.