



UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA

Fakultas Teknik

SURAT TUGAS

No. 251-B/UKI.F6.D/2020

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA TENTANG TUGAS MELAKUKAN KEGIATAN PENELITIAN

Dalam rangka menyelenggarakan kegiatan Penelitian di Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia, Jakarta maka dengan ini Pimpinan Fakultas :

Nama	: Ir. Galuh Widati, MSc.
NIP/NIDN	: 03.261261.03
Pangkat/Golongan	: Lektor/IVA
Jabatan Fungsional	: Dekan
Unit Kerja	: Fakultas Teknik UKI

Berdasarkan Surat Keputusan Rektor Universitas Kristen Indonesia Nomor : 93/UKI.R/SK/SDM.8/2018 tentang pengangkatan Ir. Galuh Widati, MSc. Sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia masa kerja 2018-2022 menugaskan:

Nama	: Ir. Budiarto, MSc.
NIDN	: 0302115801
Jenjang Jabatan Akademik /Gol	: Lektor/IV-E
Unit Kerja	: Fakultas Teknik UKI

Untuk melakukan penelitian dengan judul:

Analysis the Effect of Artificial Age (T6) Time on Crystal Structure, Density and Hardness of Aluminum Alloy (6061) for Rocket Fin Materials. Available online <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jmemme>

Semester Gasal Tahun Akademik 2020/2021.

Demikian Surat Tugas ini kami buat untuk dilaksanakan dengan penuh tanggung jawab.

Jakarta, 23 Juli 2020

Dekan,



Ir. Galuh Widati, M.S



Analisis Pengaruh Waktu Artificial Age (T6) Terhadap Struktur Kristal, Densitas Dan Kekerasan Paduan Aluminium (6061) Untuk Bahan Sirip Roket

Analysis the Effect of Artificial Age (T6) Time on Crystal Structure, Density and Hardness of Aluminum Alloy (6061) for Rocket Fin Materials

Shena Alfath, Budiarto Jono Siswanto*

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Kristen Indonesia, Indonesia

*Corresponding author: budidamaz@gmail.com

Abstrak

Analisis perlakuan panas dengan variabel waktu dan suhu terhadap paduan AL6061 yang mempunyai sifat, ringan, mudah dibentuk, tahan karat, serta konduktifitas termal yang baik namun memiliki kelemahan yaitu kekuatannya. Untuk memenuhi syarat paduan Al6061 sebagai bahan fin roket, dapat digunakan metode proses pemanasan T6. Proses T6 dimulai dengan dipanaskan solid solution pada suhu diatas 500 °C ditahan selama 1 jam, kemudian dilakukan pendinginan cepat melalui media air (quenching), serta proses penuaan buatan (artificial aging) variasi waktu 45, 90, 180 menit pada suhu 200 °C. Setelah proses pendinginan, spesimen ini kemudian dilakukan proses metalografi (pengamplasan). Uji kekerasan dengan skala Vickers, diperoleh bahwa paduan Al 6061 tanpa perlakuan panas memberikan angka kekerasan sebesar 50,30 HV. Sampel uji Al 6061 yang mengalami perlakuan panas memberikan nilai kekerasan tertinggi sebesar 65,1 HV diperoleh pada kombinasi temperatur aging 200 °C waktu aging 180 menit, terjadi kenaikan nilai kekerasan sebesar 29,4 2%. Pada pengujian struktur kristal dengan menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM), menunjukkan bahwa pada sampel uji AL6061 tanpa perlakuan panas terlihat matriks Al yang dominan, sedangkan pada sampel uji AL6061, setelah melalui proses T6 menghasilkan fasa Mg_2Si yang berfungsi mengeraskan paduan. Untuk hasil ukuran kristal, kerapatan dislokasi, dan regangan kisi kristal dengan menggunakan konsep X-Ray Diffraction (XRD), menunjukkan menurunnya ukuran kristal dan kerapatan dislokasi pada 45 menit dan 90 menit, lalu pada 180 menit ukuran kristal dan kerapatan dislokasi mengalami kenaikan. Sedangkan regangan kisi mengalami kenaikan, dan mencapai nilai tertinggi pada 180 menit. Sedangkan densitas dislokasi dan regangan kisi meningkat selama periode waktu pemanasan 1 jam dan 4 jam, lalu pada waktu 20 jam mengalami penurunan densitas dislokasi serta regangan kisi.

Kata Kunci: Paduan AL6061, artificial aging, quenching, solution treatment, kekerasan, Vickers, struktur kristal, ukuran kristal, kerapatan dislokasi, regangan kisi

Abstract

Analysis of heat treatment with time and temperature variables on AL6061 alloys which have lightweight, easy to form, corrosion resistant, and good thermal conductivity but have a weaknesses that is his strength. To meet the requirements of the Al-6061 alloy, a T6 heating process can be used. The T6 process begins with heated solid solution at temperatures above 500 °C held for 1 hour, then dip it quickly in water media, as well as the artificial aging process time variations of 45, 90, 180 minutes at a temperature of 200 °C. After the cooling process, the specimen is then carried out metallographic process. Hardness test by Vickers scale, obtained that Al6061 alloy without heat treatment gave a hardness rate of 50,30 HV. Al6061 test sample which heat treatment gave the highest hardness value of 65,1 HV obtained at a combination of aging temperature of 200°C aging time of 180 minutes, an increase in hardness value of 29,42%. In testing the crystal structure using a Scanning Electron Microscope (SEM), showed that the Al6061 test sample without

heat treatment showed the dominant Al matrix, whereas in the Al6061 test sample after going through the T6 process, the Mg_2Si phases were used to harden the alloy. For the results of crystal size, dislocation density, and crystal lattice strain using the concept of X-Ray Diffraction (XRD), showed a decrease in crystal size and dislocation density at 45 minutes and 90 minutes, then at 180 minutes the size of the crystal and dislocation density increased. While the lattice strain has increased, and reached its highest value in 180 minutes.

Keywords: AL6061 alloy, artificial aging, quenching, solution treatment, hardness, Vickers, crystal structure, crystal size, dislocation density, lattice strain.

How to Cite: Siswanto, B.D. 2020, Analisis Pengaruh Waktu Artificial Age (T6) Terhadap Struktur Kristal, Densitas Dan Kekerasan Paduan Alumunium (6061) Untuk Bahan Sirip Roket, *JMEMME (Journal of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials and Energy)*, 4(2): 102-113

PENDAHULUAN

Roket merupakan benda yang berada diluar angkasa yang berputar mengelilingi planet (bumi) dengan cara berotasi di suatu orbit [1]. Roket ketika akan terbang menggunakan sayap, perlu mendapatkan gaya angkat yang sebanding dengan berat total roket tersebut. Selain itu roket dilengkapi dengan fin (sirip) atau ekor yang berguna sebagai penyeimbang dari ketidakstabilan dinamik pada roketnya [2]. Bentuk fin roket ada banyak jenisnya, tergantung dari bahan dasar pembuatan paduannya. Dimana spesifikasi bahan paduan logam yang lebih ringan massanya misalkan paduan aluminium 6061, gaya angkat sayap digunakan untuk mengimbangi berat roket, sedangkan yang digunakan akan berpengaruh terhadap tingkat kesulitan dalam proses fabrikasi sirip tersebut. Salah satu cara untuk pembuatan paduan adalah metalurgi butiran [3].

Paduan CuNiAl diproses dengan menggunakan teknik metalurgi butiran dengan variasi waktu penuaan terhadap kekerasan, densitas, dan strukturmikro. Dimana proses metalurgi butiran merupakan proses untuk membentuk paduan tersebut [4]. Keunggulan dari proses ini adalah untuk pembentukan butir yang halus, sehingga kemungkinan terjadinya retak antar butir 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 [5].

Bambang suhendar,dkk meneliti pembuatan paduan ingat berbentuk Cu-14% Al-3-4% Ni melalui proses metalurgi Butiran dan peleburan dalam tungku pemanas listrik pada suhu 1100 °C telah berhasil membentuk martensite tipe 2H (γ_1') dan tipe 18R (β_1'). Pada sampel ke-4, yang dilebur selama 30 menit, ditemukan struktur martensite yang tegas, padat, dan tidak berpori. Adanya puncak reaksi endotermal di suhu 150 °C pada kurva termogram (DSC) secara tidak langsung menunjukkan bahwa transformasi martensitik, yang menjadi karakteristik efek ingat bentuk, telah terjadi [6] [7].

Aluminium mudah mengalami perubahan dimensi, penurunan kekuatan, ketangguhan, dan ketahanan terhadap korosi [8]. Untuk mengatasi hal itu dan untuk meningkatkan kekuatan serta keuletannya, hasil cor diproses termal dengan satu pemanasan atau lebih yang diikuti pendinginan. Dalam penelitian ini proses termal yang dilakukan adalah T6 dengan suhu heat solution 538 °C dan waktu tahan selama 4 jam, kemudian dilanjutkan dengan quenching sampai 75 °C lalu dipanaskan lagi ke suhu 154 °C dan ditahan selama 5 jam, dan terakhir didinginkan secara lambat di udara [9] [10] [11] [12] [13].

Pembuatan Fin Roket yang berasal dari aluminium menggunakan proses Heat Treatment [14]. Heat treatment adalah suatu proses pemanasan dan pendinginan logam dalam keadaan padat untuk mengubah sifat-sifat fisis logam. Dalam Heat Treatment dibutuhkan Tungku Heat Treatment untuk pemanasannya. Tungku Heat Treatment adalah ruang dimana didalamnya dilakukan pemanasan pada benda kerja, pada temperatur tertentu dan ditahan selama selang waktu tertentu. Agar pemanasan terjadi secara optimal, diperlukan Tungku Heat Treatment yang mampu menahan panas agar tetap berada didalam ruang tungku [15] [16].

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dengan proses solid solution treatment dimulai suhu 500oC untuk proses pelarutan ditahan selama 1 jam. Dilanjutkan celup cepat ke suhu ruang media air. Proses selanjutnya artificial aging (penuaan buatan) selama 45 menit, 90 menit, 180 menit pada suhu 200 °C.

Karakterisasi hasil pembuatan/sintesa paduan AL6061 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

Data yang diperoleh dari hasil pengujian Ukuran Kristal, Densitas Dislokasi, dan Regangan Kisi Mikro perlakuan T6 dari material Aluminium 6061 dengan menggunakan metode Difraksi Sinar X (XRD), adalah sebagai berikut:

Analisis Ukuran Kristal, Dislokasi, Regangan Kisi

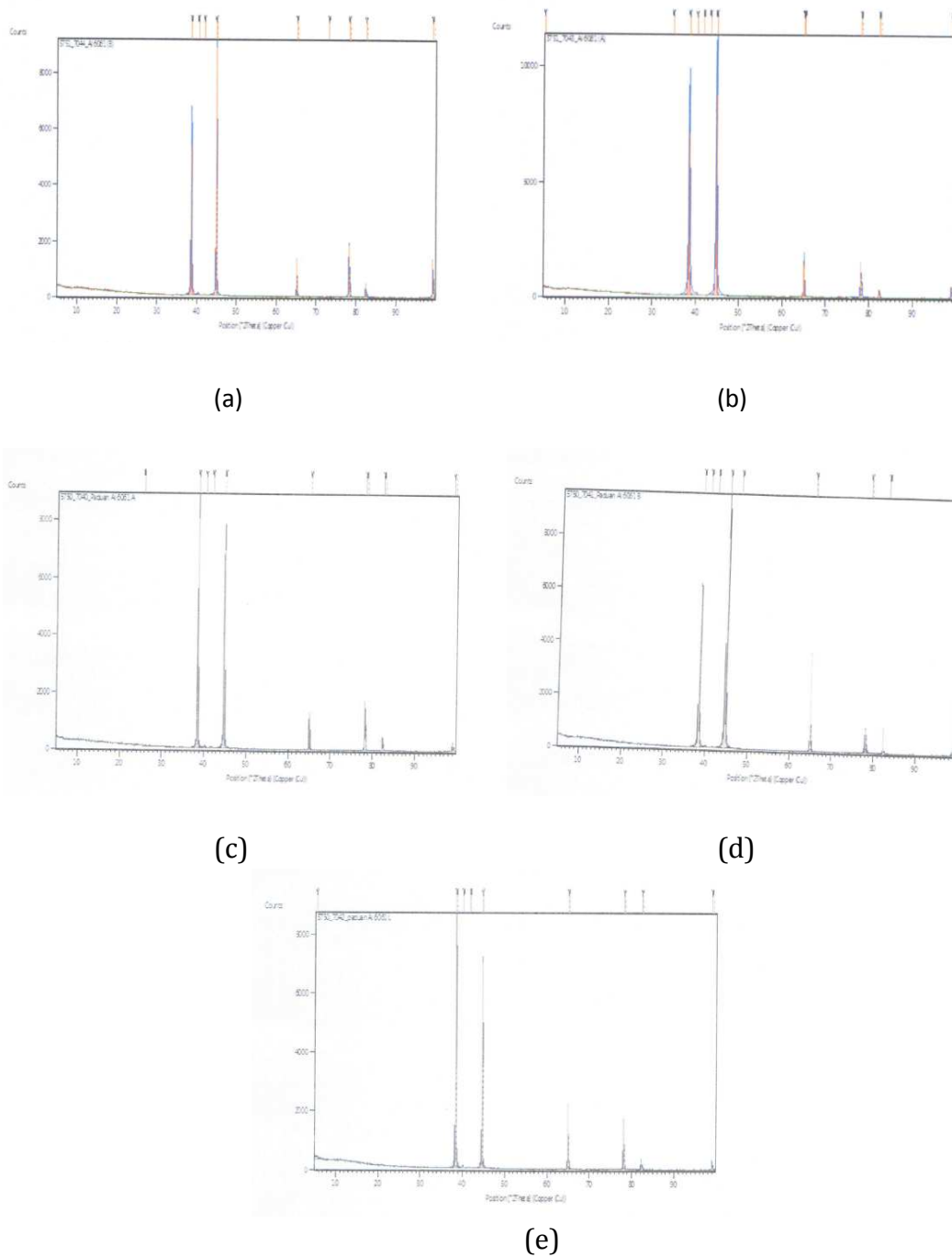
Hasil analisis ukuran Kristal, dislokasi, dan regangan kisi pada material Aluminium 6061 dengan menggunakan metode Difraksi Sinar X (XRD) diperlihatkan pada gambar 1. Sedangkan data-data hasil uji perlakuan panas terhadap waktu diperlihatkan pada tabel 1 hingga 5.

Tabel 1. Hasil Analisis Paduan AL6061

No Puncak	2 θ (°)	β FWHM 2 θ (°)	D Ukuran Kristal (nm)	ρ (Densitas Dislokasi)	ϵ
					(Regangan Kisi)
1	38,5665	0,2047	7,1780	0,01941	14,63%
2	40,2862	0,1791	8,2482	0,01470	12,21%
3	41,832	0,4093	3,6650	0,07445	26,77%
4	44,8023	0,1248	12,0200	0,00692	7,57%
5	44,9361	0,0936	16,0344	0,00389	5,66%
		Rata - Rata	8,07876	0,03300	13,96%

Tabel 2. Hasil analisis XRD AL6061 dengan perlakuan panas (Solid Solution pada suhu 500°C selama 1 jam)

No Puncak	2 θ (°)	β FWHM 2 θ (°)	D Ukuran Kristal (nm)	ρ (Densitas Dislokasi)	ϵ
					(Regangan Kisi)
1	34,7004	0,307	4,7329	0,04464	24,57%
2	38,4528	0,307	4,7844	0,04369	22,01%
3	40,1443	0,2047	7,2507	0,01902	14,01%
4	41,7256	0,614	2,4173	0,17114	40,28%
5	43,2482	0,2047	7,2882	0,01883	12,91%
		Rata - Rata	5,12560	0,05842	20,66 %



Gambar 1. Hasil pengujian AL6061 dengan menggunakan XRD: a. tanpa perlakuan panas, b. Solid Solution pada suhu 500 °C selama 1 jam, c. artificial aged selama 45 menit, d. artificial aged selama 90 menit, dan e. artificial aged selama 180 menit

Tabel 3. Hasil analisis XRD Al6061 dengan penuaan buatan (artificial aged) selama 45 menit

No Puncak	2θ (°)	β FWHM 2θ (°)	D Ukuran Kristal (nm)	ρ (Densitas Dislokasi)	ϵ (Regangan Kisi)
1	38,4772	0,1279	11,4850	0,00758	9,16%
2	40,1763	0,1535	9,6204	0,01080	10,49%
3	44,7103	0,156	9,6175	0,01081	9,48%
4	44,8451	0,0624	24,0438	0,00173	3,78%
5	65,0515	0,1248	13,1803	0,00576	4,89%
		Rata - Rata	11,98192	0,02122	8,05%

Tabel 4. Hasil analisis XRD Al6061 dengan penuaan buatan (artificial aged) selama 90 menit

No Puncak	2θ (°)	β FWHM 2θ (°)	D Ukuran Kristal (nm)	ρ (Densitas Dislokasi)	ϵ (Regangan Kisi)
1	38,3829	0,2814	5,2186	0,03672	20,21%
2	40,0701	0,2303	6,4101	0,02434	15,79%
3	41,7741	0,2047	7,3233	0,01865	13,41%
4	44,612	0,156	9,6095	0,01083	9,51%
5	47,3853	0,1791	8,4565	0,01398	10,20%
		Rata - Rata	7,31969	0,02108	11,72%

Tabel 5. Hasil analisis XRD Al6061 dengan penuaan buatan (artificial aged) selama 180 menit

No Puncak	2θ (°)	β FWHM 2θ (°)	D Ukuran Kristal (nm)	ρ (Densitas Dislokasi)	ϵ (Regangan Kisi)
1	38,4751	0,0624	23,5404	0,00180	4,47%
2	40,0605	0,2184	6,7591	0,02189	14,98%
3	41,7293	0,7488	2,0018	0,24954	49,11%
4	44,5922	0,1248	12,0110	0,00693	7,61%
5	44,7151	0,0624	24,0325	0,00173	3,79%
		Rata - Rata	11,10722	0,05622	15,83%

Berdasarkan gambar 1 a, b, dan tabel 1-2 menunjukkan adanya perubahan pada ukuran kristal (D), regangan kisi (ϵ), dan kerapatan dislokasi (ρ) paduan Al6061 sebelum dan sesudah perlakuan panas (Solid Solution) pada suhu 500 °C, yang menyebabkan penurunan densitas dislokasi dan ukuran kristal yang diikuti dengan bertambahnya regangan kisi. Pada tahap ini terjadi pelarutan fasa-fasa yang ada, menjadi larutan padat yang mendekati homogen. Lalu, pada gambar 1.c hingga e dan tabel 2, 3, menunjukkan adanya perubahan pada AL6061 dengan Solid Solution 500 °C dan AL6061 dengan T6 200 °C, yakni kenaikan ukuran kristal, serta menurunnya densitas dislokasi dan regangan kisi. Sebelum proses T6 berlangsung, AL6061 mengalami proses quenching. Pada tahap quenching akan menghasilkan larutan padat lewat jenuh (Super Saturated Solid Solution) yang merupakan fasa tidak stabil pada temperatur biasa atau temperatur ruang. Selanjutnya terjadi perubahan pada AL6061 dengan perlakuan panas buatan (T6)

200 °C dalam waktu 45 menit, 90 menit, 180 menit, yaitu menurunnya ukuran kristal dan densitas dislokasi, namun pada 180 menit, ukuran kristal dan densitas dislokasi tersebut naik kembali. Lalu regangan kisi mengalami kenaikan dan mencapai hasil tertinggi di 180 menit.

Analisis Kekerasan Skala Vicker AL6061

Pengujian kekerasan dilakukan dengan cara Hardness Vickers skala HV. Uji kekerasan diberikan terhadap 5 buah sampel uji Al6061, 1 buah sampel uji Al6061 tanpa perlakuan panas, 1 buah sample uji dengan perlakuan panas (Solid Solution) pada suhu 500 °C selama 1 jam, 1 buah sampel uji dengan perlakuan panas penuaan buatan (T6) pada suhu 200 °C selama 45 menit, 1 buah sampel uji dengan perlakuan panas penuaan buatan (T6) pada suhu 200 °C selama 90 menit, 1 buah sampel uji dengan perlakuan panas penuaan buatan (T6) pada suhu 200 °C selama 180 menit. Hasil pengujian ditunjukkan pada tabel 6.

Tabel 6. Hasil pengujian kekerasan skala Hardness Vickers pada AL6061

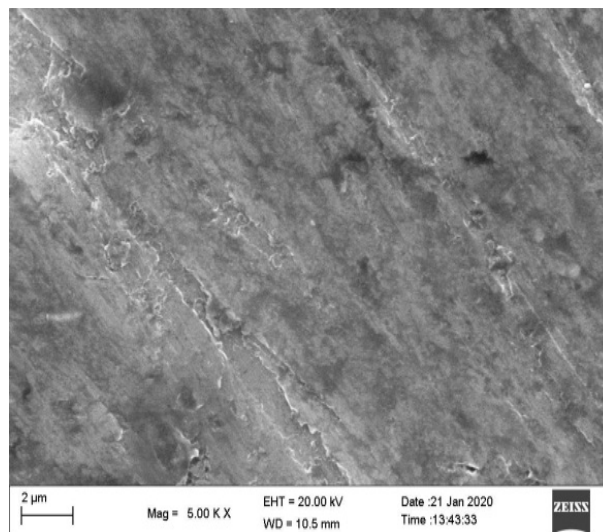
Kode Sampel	Beban	Titik*	Diagonal 1 (μm)	Diagonal 2 (μm)	Nilai Kekerasan Vickers (HV)
AL6061 Asli	4,903 N / 0,5 kgF	1	134,92	135,60	50,70
		2	140,46	137,89	49,90
		Rata-rata	137,69	136,75	50,30
AL6061 Dengan Solid Solution	4,903 N / 0,5 kgF	1	95,31	100,42	58,10
		2	107,21	101,34	51,20
		Rata-rata	101,26	100,88	54,65
AL6061 Dengan T6 200°C 45 Menit	4,903 N / 0,5 kgF	1	131,74	119,86	58,60
		2	132,83	136,22	54,20
		Rata-rata	132,29	128,04	56,40
AL6061 Dengan T6 200°C 90 Menit	4,903 N / 0,5 kgF	1	105,63	119,09	59,10
		2	107,63	110,91	62,60
		Rata-rata	106,63	115,00	61,35
AL6061 Dengan T6 200°C 180 Menit	4,903 N / 0,5 kgF	1	102,06	100,50	66,3
		2	90,12	110,27	63,9
		Rata-rata	94,09	105,85	65,1

Dari hasil pengamatan angka kekerasan rata-rata sampel uji Al6061 yang mengalami perlakuan panas penuaan buatan (artificial age) pada suhu 200 °C dengan variasi waktu selama 45 menit, 90 menit, 180 menit maka dapat disimpulkan pengujian kekerasan dengan menggunakan skala Hardness Vickers, setelah 45 menit proses penuaan buatan dengan suhu 200 °C, bahan mengalami kenaikan nilai kekerasan

dibandingkan bahan tanpa perlakuan panas dari 50,30 HV menjadi 56,40 HV. Nilai kekerasan tertinggi ada pada variasi waktu pemanasan selama 180 menit, dengan nilai 65,1 HV. Peningkatan nilai kekerasan sebesar 15,4 % akibat perbedaan waktu penuaan buatan dengan temperature tetap 200 °C. Namun bila dibanding dengan material paduan Al 6061 yang asli (tidak diperlakukan pemanasan) sebesar 29,42 %.

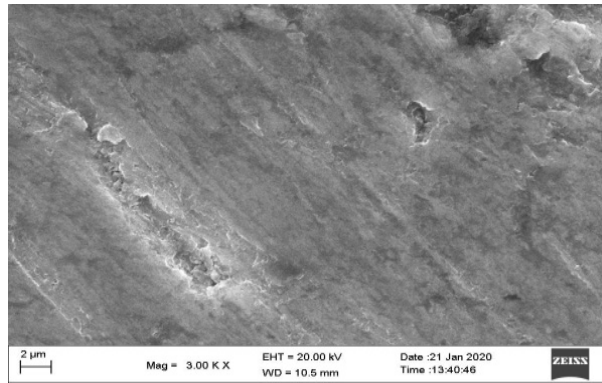
Analisis Struktur Mikro dari Bahan AL6061 dengan Scanning Electron Microscope (SEM)

Hasil pengamatan morfologi permukaan atau struktur mikro spesimen uji material paduan Al 6061 menggunakan SEM-EDX dengan pembesaran 3000 kali dan 5000 kali dilihat pada Gambar berikut



Gambar 2. Mikrograf dari paduan Al 6061, Penuaan buatan waktu 45 menit, temperatur 200 °C, pembesaran 5000X

Dari Gambar 2, material paduan Al 6061 yang telah dilakukan T6, menunjukkan bahwa semakin besar temperatur pemanasan maka bintik- bintik putih akan semakin besar dan menyebar merata. Dengan adanya Mg yang membentuk senyawa Mg_2Si dan $MgZn_2$ 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 AL6061 dengan kondisi perlakuan panas T6 selalu lebih besar dari pada kondisi AL6061 tanpa perlakuan panas. Hal ini disebabkan karena jumlah presipitat sebagai fasa Mg_2Si dan $MgZn_2$ yang terlarut dalam paduan Al 6061 akan semakin besar karena kemampuan untuk mengandung presipitat sebagai fasa Mg_2Si dan $MgZn_2$ 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.



Gambar 3. Mikrograf dari paduan Al 6061, Penuaan buatan waktu 90 menit, temperatur 200 °C, pembesaran 3000X

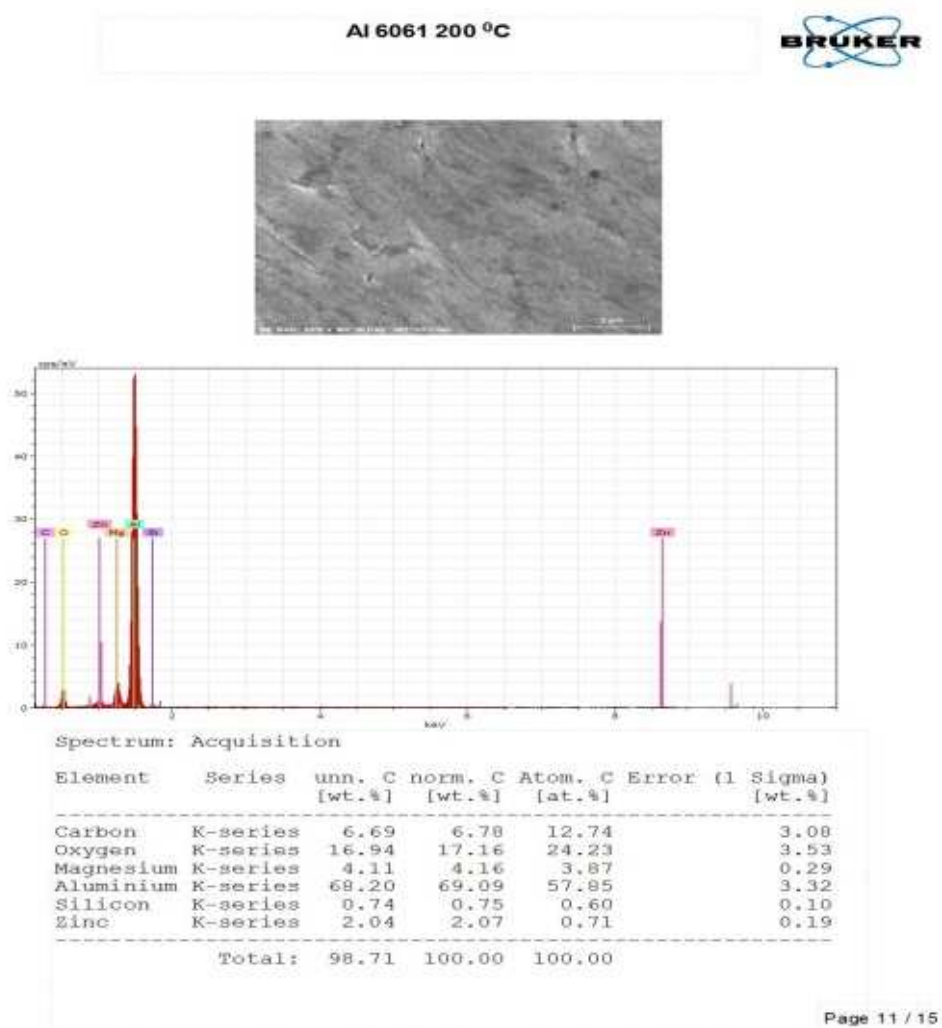


Gambar 4. Mikrograf dari paduan Al 6061, Penuaan buatan waktu 180 menit, temperatur 200 °C, pembesaran 3000X

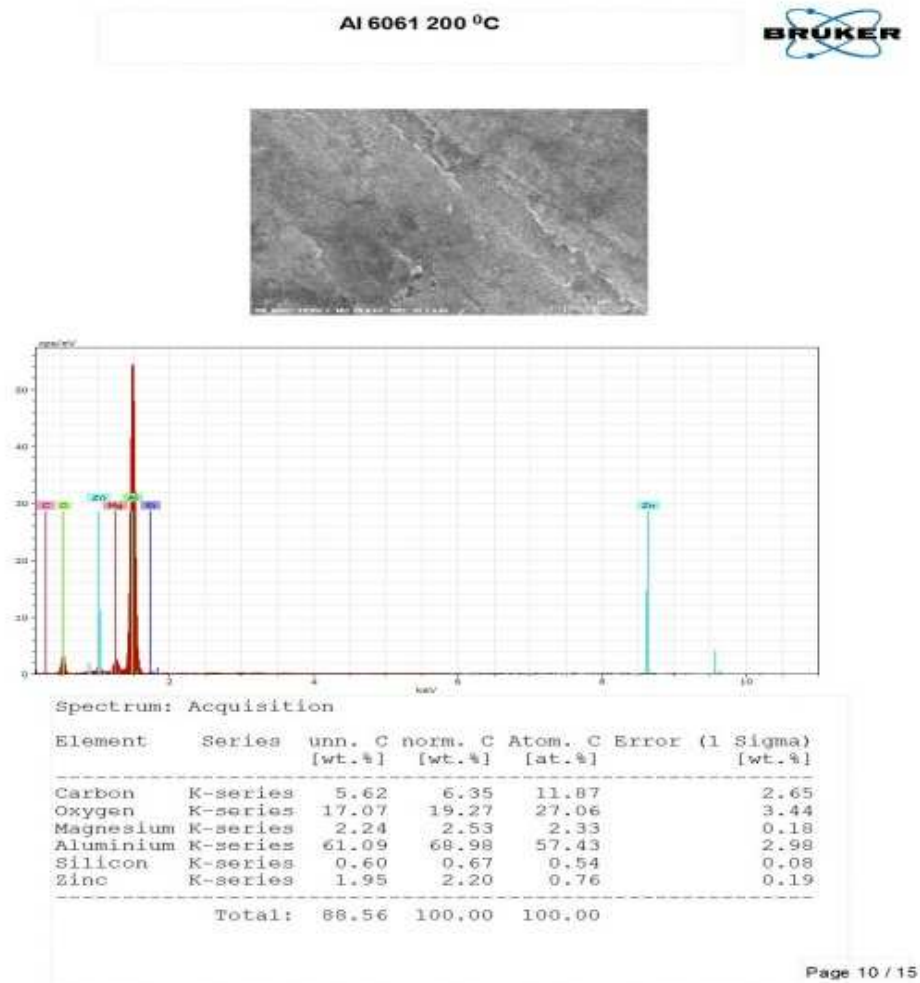
Dari Gambar 2 sampai 4 , menunjukkan mikrograf dari paduan Al 6061, setelah penuaan bantuan dengan variasi waktu 45 menit, 90 menit, dan 180 menit, serta temperatur 200 °C. Terlihat semuanya berbentuk equaxial pada variasi waktu penuaan buatan 45 menit, 90 menit, dan 180 menit, serta temperatur 200 °C. Butir hasil penuaan buatan menunjukkan elongated grain. Berubah bentuk butir setelah penuaan buatan ini akibat deformasi sehingga waktu 180 menit dan temperatur 200 °C mengubah bentuk butiran bahan paduan Al 6061. Hal ini juga akan berdampak pada sifat mekanik yaitu kekerasan yang dihasilkan.

Hasil pengamatan menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM) dengan perbesaran 5000X dan 3000X, untuk menampilkan spektrum Energy Dispersive X-ray (EDX) pada seluruh permukaan spesimen material paduan Al 6061 penuaan buatan waktu 45 menit dan 180 menit serta temperature 200 °C yang dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6. Secara semi kuantitatif komposisi kimia bahan yang terukur pada material paduan Al 6061 adalah unsur-unsur dominan penyusun material antara lain : Al, C, Mg, dan Zn, sedangkan yang berbeda adalah kuantitasnya. Data pengukuran elemental ini lebih lanjut memperlihatkan bahwa pada material paduan Al 6061 penuaan buatan waktu 45 menit dan temperatur 200 °C pembentukan presipitasi Mg_2Si menyebar dari batas butir (grain boundary) hingga butiran (grain) membentuk garis, ini ditunjukkan dengan berkurangnya jumlah unsur Mg dibandingkan material paduan Al 6061 penuaan

buatan waktu 180 menit dan temperatur 200 °C. Dilaporkan bahwa karena didominasi oleh konten unsur Mg dan unsur Si maka Magnesium diSilikon (Mg_2Si) terbentuk sebagai presipitat di batas butir serta peningkatan nilai kekerasan sebesar 15,4 % akibat perbedaan waktu penuaan buatan dengan temperatur tetap 200 °C. Namun bila dibanding dengan material paduan Al 6061 yang asli (tidak diperlakukan pemanasan) sebesar 29,42 %.



Gambar 5. SEM-5000X dan Spektrum EDX dari material paduan Al 6061 , penuaan buatan waktu 45 menit dan temperatur 200 °C



Gambar 6. . SEM-3000X dan Spektrum EDX dari material paduan Al 6061 , penuaan buatan waktu 180 menit dan temperatur 200 °C Spektrum EDX

KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan analisa, maka disimpulkan bahwa Paduan Al6061 sesudah diberikan perlakuan panas (Solid Solution) pada suhu 500 °C, menyebabkan penurunan densitas dislokasi dan ukuran kristal yang diikuti dengan bertambahnya regangan kisi. Setelah proses T6 mulai solid solution treatment, quenching dan variasi holding time artificially aging pada material paduan Al 6061 mengakibatkan terjadinya rekristalisasi dan pertumbuhan butir serta presipitat (endapan) yang terbukti dengan naiknya nilai kekerasan, dan ukuran kristalitnya. Namun terjadi penurunan nilai regangan mikro kisi dan densitas dislokasi. Nilai kekerasan meningkat seiring dengan bertambahnya temperatur penuaan buatan sebesar 15,4 %. Hal ini disebabkan karena bergabungnya presipitat sebagai fase dua Mg_2Si menjadi partikel berukuran yang lebih kecil yang mengakibatkan penghalang pergerakan dislokasi menjadi semakin kuat, sehingga sifat mekanik meningkat dan berubahnya bentuk butir setelah penuaan buatan ini akibat deformasi.

REFERENSI

- [1] C. Jiang, T. Han, Z. Gao and C.-H. Lee, "A review of impinging jets during rocket launching," *Progress in Aerospace Sciences*, vol. 109, 2019.
- [2] Z. Dong, M. Sun, Z. Wang, J. Chen and Z. Cai, "Survey on key techniques of rocket-based combined-cycle engine in ejector mode," *Acta Astronautica*, vol. 164, pp. 51-68, 2019.
- [3] S. Edi, Paripurno and A. & Dode, "Karakterisasi aerodinamik sayap/sirip roket RX 420 subsonik dan supersonik," LAPAN, Tangerang, 1994.
- [4] O. D. Neikov, S. S. Naboychenko and I. B. Murashova, "Production of Copper and Copper Alloy Powders," in *Handbook of Non-Ferrous Metal Powders (Second Edition)*, Moscow, Elsevier, 2019, pp. 571-614.
- [5] D. Martin and Budiarto, "Pengaruh waktu penuaan terhadap sifat fisik pada sintesa bahan paduan ingat bentuk CuNiAl," P3TM-BATAN, Yogyakarta, 1999.
- [6] S. M. Bagus, "Pengaruh Variable Waktu(Aging Treatment) Terhadap Peningkatan Kekerasan Permukaan Dan Struktur Mikro Piston Sepeda Motor Honda Vario," Universitas Islam 45 Bekasi, Bekasi, 2015.
- [7] M. Y. R. Siahaan and D. Darianto, "KARAKTERISTIK KOEFISIEN SERAP SUARA MATERIAL CONCRETE FOAM DICAMPUR SERAT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) DENGAN METODE IMPEDANCE TUBE," *JMEMME (JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING, MANUFACTURES, MATERIALS AND ENERGY)*, vol. 4, no. 1, pp. 85-93, 2020.
- [8] E. Georgantzia, M. Gkantou and G. S. Kamaris, "Aluminium alloys as structural material: A review of research," *Engineering Structures*, vol. 227, no. 1, pp. 13-37, 2021.
- [9] D. Eddy and Budiarto, "Pengaruh Perlakuan Panas T6 Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Pada Paduan Al-Si-Mg," BATAN, Tangerang, 2008.
- [10] 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.
- [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] A. J. Zulfikar, B. Umroh and M. Y. R. Siahaan, "Design and manufacture of skateboard from banana stem," *JMEMME (Journal of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials and Energy)*, vol. 3, no. 2, pp. 109-116, 2019.
- [13] A. J. Zulfikar, B. Umroh and M. Y. Siahaan, "Investigation of Mechanical Behavior of Polymeric Foam Materials Reinforced by Oil Palm Empty Fruit Bunches (OPEFB) Fibers Due to Static and Dynamic Loads," *JMEMME (Journal of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials and Energy)*, vol. 3, no. 1, pp. 10-19, 2019.
- [14] M. J. Russell, "Figuring out how life first took off is (much like) rocket science," *Planetary and Space Science*, vol. 175, no. 1, pp. 13-20, 2019.
- [15] R. R. Muhammad, "Perancangan dan Pembuatan Tungku Heat Treatment," Universitas Islam 45 Bekasi, Bekasi, 2015.
- [16] B. Zohuri, "Application of heat pipe in industry," in *Functionality, Advancements and Industrial Applications of Heat Pipes*, New York, Academic Press, 2020, pp. 47-181.