

PENINGKATAN SIFAT MEKANIK AL6061 MELALUI HEAT TREATMENT NATURAL-ARTIFICIAL AGING

Dewi 'Izzatus Tsamroh^{1*}, Muchammad Riza Fauzy²

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Merdeka Malang

²Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Merdeka Malang

^{1*} izza@unmer.ac.id, ²riza.fauzy@unmer.ac.id

ABSTRAK

Aluminium memiliki sifat yang ringan, ulet serta memiliki ketahanan korosi yang baik. Akan tetapi, aluminium juga memiliki kelemahan, dimana kekuatan mekaniknya relatif lebih rendah apabila dibandingkan dengan logam komersil lainnya. Aluminium 6061 adalah salah satu seri aluminium yang sangat banyak ditemukan dan diaplikasikan dalam berbagai bidang industri. Ditinjau dari jumlah penggunaan aluminium yang semakin bertambah setiap tahunnya, maka perlu dilakukan perbaikan sifat mekanik aluminium 6061. Sifat mekanik aluminium 6061 dapat ditingkatkan melalui proses *aging*. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik 6061 serta mendapatkan sifat mekanik antara aluminium 6061 yang dikeraskan dengan menggunakan metode *natural aging* yang dilanjutkan dengan *artificial aging*. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium. Proses *natural aging* dan *artificial aging* dilakukan dengan proses *solution heat treatment* pada suhu 520°C ditahan selama 30 menit, dan *quenching* dilakukan dengan media campuran air dan dromus oil. Selanjutnya proses *natural aging* dilakukan dengan penahanan di temperatur kamar selama 7 hari, dilanjutkan proses *artificial aging*, pemanasan dilakukan pada temperatur 200°C dengan variasi *holding time* selama 2, 4, dan 6. Hasil perlakuan panas pada aluminium 6061 akan diuji kekerasan dan struktur mikronya dimana hasil terbaik ditunjukkan pada spesimen dengan waktu penahanan *artificial aging* selama 4 jam.

Kata kunci: Sifat Mekanik, Al6061, Perlakuan Panas, *Natural Aging*, *Artificial Aging*

ABSTRACT

Aluminum is light, ductile and has good corrosion resistance, but it also has weakness, where its mechanical strength is relatively lower compared to other metals. Aluminum 6061 is aluminum series that is widely applied in several industries. The application of aluminum is increasing every year, it is necessary to improve the mechanical properties of Al6061. The mechanical properties of Al6061 can be improved through the aging process. This study aimed to improve the mechanical properties of Al6061 and obtain the mechanical properties of Al6061 which hardened using the natural aging method followed by artificial aging. The research used laboratory experimental method. The natural and artificial aging processes were conducted with solution heat treatment process at temperature of 520°C held for 30 minutes, and quenching was conducted with water and dromus oil. Furthermore, the natural aging process was conducted by holding at room temperature for 7 days, followed by an artificial aging process, heating was conducted at temperature of 200°C with variations in holding times for 2, 4, and 6 hours. The results of heat treatment on Al6061 would be tested for hardness and microstructure where the best results were shown in specimens with artificial aging holding time for 4 hours.

Keywords: *Mechanical Properties, Al6061, Heat Treatment, Natural Aging, Artificial Aging*

PENDAHULUAN

Penggunaan paduan logam ringan seperti aluminium sangat banyak ditemukan pada dunia industri, khususnya industri otomotif dan industri dirgantara (*aircraft*). Penggunaan yang banyak ini disebabkan paduan aluminium merupakan jenis material yang mempunyai beberapa karakteristik yang menguntungkan, seperti memiliki ketahanan yang tinggi terhadap pengaruh lingkungan, ductility yang tinggi, serta memiliki karakter spesifik yaitu *strength to weight ratio*. Industri pesawat terbang telah menggunakan paduan aluminium hingga 90% (Rambabu, Prasad and Kutumbarao, 2017). Selain pada industri pesawat terbang dan industri otomotif, penggunaan paduan aluminium juga ditemukan pada industri rumah tangga, pembuatan perkakas, dll.

Penggunaan paduan aluminium dengan jumlah besar juga dapat ditemukan pada industri otomotif. Penggunaan paduan aluminium pada bidang industri otomotif terpantau mengalami peningkatan yang signifikan sejak tahun 1980. Penggunaan aluminium di tahun 2011, terdapat sebanyak 68.5 ton, dan setiap tahunnya penggunaan paduan aluminium terus meningkat hingga 9.9% dalam satuan ton (Tsamroh, 2021). Terdapat beberapa komponen otomotif yang dibuat dengan material dasar paduan aluminium, contohnya adalah pada komponen blok mesin, piston, *cylinder head*, *valve*, dll. Sedangkan pada industri pesawat terbang, paduan aluminium banyak ditemukan pada bagian sayap pesawat serta beberapa komponen kecil seperti rivet (Lei *et al.*, 2017).

Aluminium 6061 adalah jenis paduan aluminium yang sebagian besar terdiri dari paduan Al-Si-Mg (Suprpto *et al.*, 2019). Aluminium 6061 ini memiliki beberapa keunggulan, salah satunya adalah pada sifat mampu ekstruksi yang termasuk tinggi. Tentunya, hal ini disebabkan karena aluminium seri 6xxx memiliki kandungan solute yang relatif kecil serta titik leleh yang cenderung tinggi. Aluminium 6061 adalah salah satu paduan aluminium yang mana penggunaannya banyak diaplikasikan dalam bidang industri otomotif, industri militer, serta industri dirgantara, hal ini disebabkan aluminium 6061 memiliki kekuatan yang cukup tinggi, ketahanan korosi yang relatif tinggi, serta ringan jika dibandingkan dengan paduan logam yang lain (Wardani *et al.*, 2022).

Ditinjau dari jumlah penggunaan aluminium yang semakin bertambah setiap tahunnya, maka perlu dilakukan perbaikan sifat mekaniknya. Sifat mekanik paduan aluminium dapat ditingkatkan melalui proses *aging*

(Stoicănescu *et al.*, 2012; Andoko *et al.*, 2020). Hal ini dilakukan untuk merubah struktur mikro pada paduan aluminium sehingga dapat memperbaiki sifat mekaniknya. Biasanya proses ini dilakukan setelah proses *solution heat treatment* dan *quenching*, kemudian *hardening* dapat dilakukan melalui dua metode, yaitu *hardening* yang dilakukan pada temperatur kamar (*natural aging*) atau dengan menggunakan perlakuan panas presipitasi (*artificial aging*) (Chacko and Nayak, 2014; Cochard *et al.*, 2017; Tsamroh *et al.*, 2017). *Artificial aging* merupakan proses dimana paduan logam dipanaskan pada suhu tertentu yang kemudian ditahan dalam waktu tertentu (Puspitasari *et al.*, 2016). Proses ini menghasilkan presipitat yang kemudian tersebar merata dan membentuk kelompok-kelompok, pada tahap ini dapat dihasilkan efek penguatan material yang optimum (Tsamroh *et al.*, 2018).

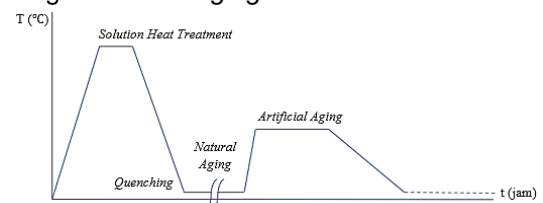
Seiring dengan perkembangan penelitian untuk memperbaiki sifat mekanik aluminium, sebelumnya telah diteliti terkait kombinasi perlakuan *natural aging* dan *artificial aging*. Hasil pada penelitian ini menunjukkan bahwa dengan melaksanakan perlakuan *natural aging* pre-*artificial aging* dapat meningkatkan sifat mekanik pada paduan aluminium (Wardani *et al.*, 2022)

Berdasarkan paparan di atas, maka peneliti memiliki ketertarikan untuk melakukan penelitian terkait dengan peningkatan sifat mekanik aluminium 6061 melalui perlakuan panas *natural aging* yang dilanjutkan dengan proses *artificial aging*.

METODE PENELITIAN

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan jenis metode penelitian metode eksperimen laboratorium yang diperuntukkan mendapatkan data secara deskriptif tentang karakteristik sifat mekanik dan sifat fisik aluminium 6061 dengan perlakuan *natural aging* yang dilanjutkan dengan *artificial aging*.



Gambar 1. Diagram Perlakuan Panas

Desain penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1 yang menunjukkan diagram perlakuan panas.

Sumbu y menunjukkan temperatur (T) dalam satuan °C, dan sumbu x menunjukkan waktu penahanan (t) dalam satuan jam.

Proses perlakuan panas dilaksanakan di Laboratorium Pengujian Material, Universitas Merdeka Malang, pada bulan September 2021. Pemanasan menggunakan Furnace Muffle, dengan spesifikasi 220V, 50Hz, 12A, 2,7Kw, 1100°C.

Variabel Penelitian

Pada penelitian ini terdapat beberapa variabel penelitian yang merupakan parameter utama dalam perlakuan panas, variabel tersebut adalah:

1. Variabel Bebas
Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini merupakan waktu penahanan pada proses *artificial aging* yaitu 2, 4, dan 6 jam.
2. Variabel Terikat
Variabel terikat yang diuji/diteliti pada penelitian ini merupakan kekerasan aluminium 6061 dan struktur mikro aluminium 6061.
3. Variabel Kontrol
Variabel kontrol pada penelitian ini terdiri dari beberapa parameter, diantaranya adalah temperatur pada proses *solution heat treatment* yang menggunakan suhu 520°C, waktu penahanan proses *solution heat treatment* yaitu 30 menit, media pendingin proses *quenching* yaitu campuran dromus oil dan air dengan perbandingan 1:1, temperatur penahanan *artificial aging* yaitu 200°C dan waktu penahanan proses *natural aging* selama 7 hari.

Pengujian kekerasan dan struktur mikro juga dilaksanakan di Laboratorium Pengujian Material, Universitas Merdeka Malang, pada bulan Oktober 2021. Pengujian untuk mendapatkan angka kekerasan aluminium 6061 menggunakan *Rockwell Hardness Tester*, dan pengujian pada struktur mikro aluminium 6061 diuji dengan menggunakan mikroskop optik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Aluminium 6061 adalah jenis paduan yang paling banyak ditemukan penggunaannya dalam dunia industri. Aluminium 6061 merupakan aluminium paduan seri 6xxx, yang mana paduan ini memiliki beberapa unsur/element pamdu utama yaitu unsur Magnesium (Mg) dan Silikon (Si). Aluminium 6061 mempunyai komposisi kimia yang terdiri dari beberapa jenis unsur sebagai berikut: 0.8 -

1.2 %Mg dan 0.40 - 0.8 %Si (sebagai pemadu utama), serta sejumlah kecil unsur Fe, Cr, Cu, Zn, Mn dan Ti, sedangkan untuk komposisi aluminium terdiri dari 95.85 - 98.56 %Al (Chacko and Nayak, 2014). Komposisi paduan aluminium 6061 disajikan pada Tabel 1.

Untuk mengetahui apakah perlakuan *natural aging* dan *artificial aging* dapat meningkatkan sifat mekanik aluminium 6061, maka dilakukan pengujian berupa pengujian kekerasan dan struktur mikro.

Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan aluminium 6061 yang telah mendapatkan perlakuan *natural aging* dilanjutkan *artificial aging* diuji menggunakan *Rockwell Hardness Tester* pada skala E, dengan beban mayor 100 kg, sedangkan indentor menggunakan bola baja 1/8". Hasil uji kekerasan ditunjukkan pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Hasil uji kekerasan Al6061

Perlakuan	Waktu aging (jam)	Kekerasan (HR _E)
Tanpa perlakuan	-	98
<i>Natural aging</i>	-	84,6
<i>Artificial aging</i>	2	93,4
	4	106,8
	6	105,8

(Sumber: Data primer, diolah oleh peneliti 2021).

Pada Tabel 2, maka diketahui bahwa angka kekerasan tertinggi dicapai oleh spesimen dengan perlakuan *natural aging* dilanjutkan dengan perlakuan *artificial aging* dengan waktu penahanan selama 4 jam dengan angka 106,8 HR_E. Spesimen yang hanya mendapatkan perlakuan *natural aging* memiliki angka kekerasan terendah yaitu 84,6 HR_E. Sedangkan spesimen dengan perlakuan *natural aging* dilanjutkan *artificial aging* dengan waktu penahanan selama 6 jam angka kekerasannya sedikit menurun dibandingkan dengan spesimen dengan waktu penahanan selama 4 jam yaitu 105,8 HR_E.

Jika dibandingkan dengan angka kekerasan pada raw material, maka dapat diketahui bahwa perlakuan dengan *natural aging* (NA) yang dilanjutkan dengan *artificial aging* (AA) selama 4 dan 6 jam yang menunjukkan adanya peningkatan angka kekerasan. Dengan demikian, dapat diestimasikan bahwa perlakuan yang paling optimum untuk meningkatkan kekerasan Al6061 adalah

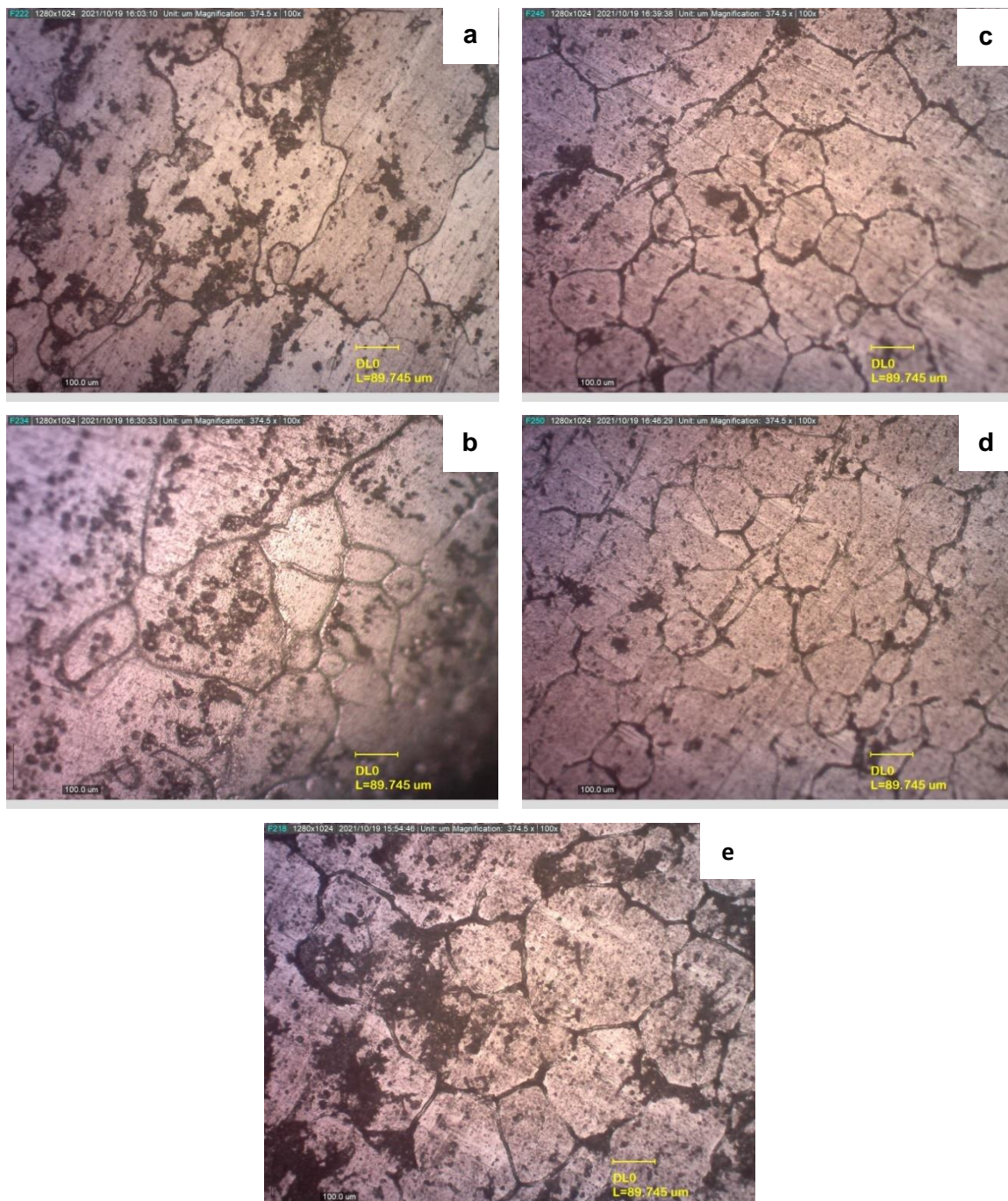
NA+AA (4-6 jam). Akan tetapi, spesimen yang hanya mendapatkan perlakuan *natural aging* memiliki angka kekerasan terendah. Maka dapat disimpulkan, bahwa perlakuan *natural aging* tidak berpengaruh secara signifikan untuk meningkatkan kekerasan Al6061. Hasil daripada penelitian ini memiliki kesamaan

dengan penelitian sejenis yang telah dilaksanakan oleh peneliti sebelumnya, dimana *natural aging* tidak mempengaruhi tren kenaikan kekerasan spesimen (Wardani *et al.*, 2022).

Tabel 1. Komposisi paduan Aluminium 6061

	Al	Cu	Si	Mg	Ti	Mn	Fe	Cr	Zn
Komposisi (Wt.%)	Balance	0,15-0,40	0,40-0,80	0,80-1,2	Maks 0,15	0,15	Maks 0,7	0,04-0,35	Maks 0,25

Sumber: (Rajasekaran, Udayashankar and Nayak, 2012)



Gambar 2. Hasil pengujian struktur mikro (a) raw material; (b) *natural aging*; (c) *natural aging + artificial aging* (2 jam); (d) *natural aging + artificial aging* (4 jam); (e) *natural aging + artificial aging* (6 jam)

Akan tetapi, pada hasil penelitian lain menunjukkan bahwa perlakuan natural aging pada beberapa paduan aluminium seri 6xxx memperbaiki beberapa sifat mekanik paduan, seperti koefisien geseknya yang menjadi lebih tinggi. Namun, dalam penelitian ini juga menunjukkan bahwa material yang hanya

Uji Struktur Mikro

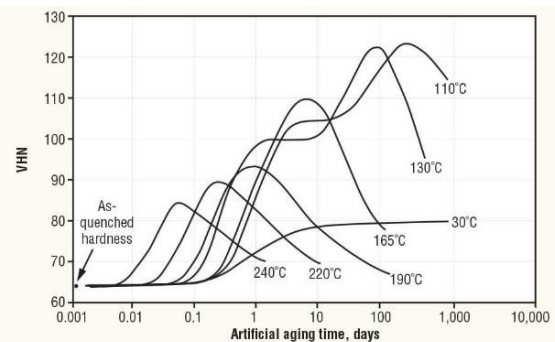
Gambar 2 di atas menunjukkan hasil pengujian struktur mikro pada aluminium 6061 yang diuji menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran 200x. Gambar 2 menunjukkan bahwa spesimen dengan butir terkecil terdapat pada spesimen dengan perlakuan NA+AA (4 jam). Hasil ini menunjukkan kesesuaian dengan hasil pengujian kekerasan, dimana angka kekerasan tertinggi ditemukan pada spesimen yang sama.

Struktur mikro dan peningkatan kekerasan pada spesimen saling berhubungan. Sebagaimana diketahui bahwa spesimen yang memiliki butir lebih kecil cenderung memiliki angka kekerasan yang lebih tinggi (García-rentería, Torres-gonzalez and Cruz-hern, 2020). Peningkatan kekerasan pada paduan aluminium 6061 adalah dikarenakan pembentukan endapan (presipitat) dari Mg_2Si yang ditandai dengan titik-titik hitam pada hasil pengujian struktur mikro. Endapan (presipitat) inilah yang memiliki sifat keras, yang kemudian mengisi pada batas butir paduan, sehingga menyebabkan paduan mengalami peningkatan kekerasan. Adanya penurunan angka kekerasan pada spesimen dengan perlakuan NA+AA (6 jam) diduga spesimen telah mengalami *overaging*, sehingga butir kembali membesar. Spesimen dengan butir yang relatif besar akan cenderung menurun kekerasannya (Zhang, 2016; Rymer *et al.*, 2021). Fenomena *overaging* ini dikarenakan suhu yang digunakan dalam proses pemanasan terlalu tinggi, atau waktu penahanan yang terlalu lama (Liao *et al.*, 2020). Pada penelitian yang dilakukan oleh peneliti lain terkait dengan fenomena *overaging*, hal ini terjadi karena penggunaan suhu yang lebih tinggi atau waktu yang lebih lama dari yang diperlukan material untuk mencapai penuaan puncak, sehingga *overaging* menyebabkan terjadinya aglomerasi partikel dari fase presipitasi yang mana mengakibatkan menurunnya kekerasan (kekuatan) dari material (Herring, 2019).

Gambar 3 di atas yang menunjukkan puncak aging pada beberapa hasil artificial aging. Sehingga, pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa waktu penahanan (*holding*

mendapatkan perlakuan natural aging cenderung menurun ketahanan korosinya, dan ketahanan korosi paduan akan meningkat setelah diberikan perlakuan artificial aging (Abo Zeid, 2019).

time) yang paling optimum dalam melakukan penuaan adalah 4 jam, yang mana hasil ini hampir sama dengan penelitian yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya dengan menggunakan material duralium (Tsamroh *et al.*, 2018).



Gambar 3. Puncak kekerasan pada material Al-Cu pada beberapa perlakuan artificial aging (Herring, 2019)

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Bersumber pada paparan terkait dengan hasil dan pembahasan yang disajikan pada bagian sebelumnya, maka dapat disimpulkan beberapa simpulan sebagai berikut:

1. Proses *natural aging* tidak berpengaruh secara signifikan terhadap peningkatan kekerasan Al6061.
2. Angka kekerasan tertinggi diperoleh pada spesimen dengan perlakuan NA+AA (4 jam).
3. Hasil pengujian struktur mikro menunjukkan kesesuaian dengan pengujian kekerasan, dimana butir terkecil yang rapat ditunjukkan pada spesimen dengan perlakuan NA+AA (4 jam).

Saran

Beralaskan kesimpulan yang telah ditarik di atas, maka peneliti merekomendasikan saran untuk peneliti selanjutnya hendaknya melakukan penelitian pada Al6061 hanya dengan menggunakan perlakuan *artificial aging*. Dengan demikian akan dapat dibandingkan signifikansi pengaruh proses *natural aging* terhadap peningkatan kekerasan Al6061.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Merdeka Malang, khususnya Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) yang memberikan Hibah Internal Pengabdian Pemula 2021.

REFERENSI

- Abo Zeid, E. F. (2019) 'Mechanical and electrochemical characteristics of solutionized AA 6061, AA6013 and AA 5086 aluminum alloys', *Journal of Materials Research and Technology*, 8(2), pp. 1870–1877. doi: 10.1016/j.jmrt.2018.12.014.
- Andoko, A. *et al.* (2020) 'The effects of artificial-aging temperature on tensile strength, hardness, micro-structure, and fault morphology in AlSiMg', 98(2), pp. 49–55. doi: 10.5604/01.3001.0014.1480.
- Chacko, M. and Nayak, J. (2014) 'Aging Behaviour of 6061 Al-15 vol% SiC Composite in T4 and T6 Treatments', *International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering*, 8(3), pp. 195–198.
- Cochard, A. *et al.* (2017) 'Natural aging on Al-Cu-Mg structural hardening alloys – Investigation of two historical duralumins for aeronautics', *Materials Science and Engineering A*, 690, pp. 259–269. doi: 10.1016/j.msea.2017.03.003.
- García-rentería, M. A., Torres-gonzalez, R. and Cruz-hern, V. L. (2020) 'First assessment on the microstructure and mechanical properties of gtaw-gmaw hybrid welding of 6061-t6 AA', 59(October), pp. 658–667. doi: 10.1016/j.jmapro.2020.09.069.
- Herring, D. H. (2019) *Overaging, Industrial Heating*. Available at: <https://www.industrialheating.com/article/s/94773-overaging>.
- Lei, C. *et al.* (2017) 'Effect of riveting parameters on the quality of riveted aircraft structures with slug rivet', *Advances in Mechanical Engineering*, 9(11). doi: 10.1177/1687814017734710.
- Liao, X. *et al.* (2020) 'Effect of Pre-Aging, Over-Aging and Re-Aging on Exfoliation Corrosion and Electrochemical Corrosion Behavior of Al-Zn-Mg-Cu Alloys', pp. 81–88. doi: 10.4236/msce.2020.82008.
- Puspitasari, P. *et al.* (2016) 'Tensile strength differences and type of fracture in artificial aging process of duralium against cooling media variation', *AIP Conference Proceedings*, 1778, pp. 0–4. doi: 10.1063/1.4965746.
- Rajasekaran, S., Udayashankar, N. K. and Nayak, J. (2012) 'T4 and T6 Treatment of 6061 Al-15 Vol. % SiC P Composite', 2012. doi: 10.5402/2012/374719.
- Rambabu, P., Prasad, N. E. and Kutumbarao, V. V (2017) 'Aerospace Materials and Material Technologies'. doi: 10.1007/978-981-10-2143-5.
- Rymer, L. M. *et al.* (2021) 'Artificial aging time influencing the crack propagation behavior of the aluminum alloy 6060 processed by equal channel angular pressing', *Materials Science and Engineering: A*, 811, p. 141039. doi: 10.1016/J.MSEA.2021.141039.
- Stoicănescu, M. *et al.* (2012) 'The Influence of Work Parameters about the Heat Treatment Applied to AlCu4Mg1,5Mn - Aluminum Alloy', *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 62, pp. 886–890. doi: 10.1016/j.sbspro.2012.09.149.
- Suprpto, A. *et al.* (2019) 'the Effect of Anodizing Solution Type Against the Coating Thickness and Wear Rate of Aluminum 6061', 10(12), pp. 57–64.
- Tsamroh, D. I. *et al.* (2017) 'Comparison study on mechanical properties single step and three step artificial aging on duralium', *AIP Conference Proceedings*, 1887. doi: 10.1063/1.5003553.
- Tsamroh, D. I. *et al.* (2018) 'Optimization of multistage artificial aging parameters on Al-Cu alloy mechanical properties', *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 87(2), pp. 62–67. doi: 10.5604/01.3001.0012.2828.
- Tsamroh, D. I. (2021) 'Comparison finite element analysis on duralium strength against multistage artificial aging process', *Archives of Materials Science and Engineering*, 109(1), pp. 29–34. doi: 10.5604/01.3001.0015.0512.
- Wardani, I. P. *et al.* (2022) 'Pengaruh Natural Aging Sebelum Proses Artificial aging Terhadap Sifat Mekanik Aluminium 6061', in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan VIII 2020*, pp. 109–114.
- Zhang, W. (2016) 'Rolling, Partial and Full Annealing of 6061 Characterization of Microstructure, Tensile Strengths and Ductility', *Materials Sciences and Applications*, 07(09), pp. 453–464. doi: 10.4236/msa.2016.79040.