

## Analisis Variasi Waktu Perendaman Deep Cryogenic Treatment Dan Aging Terhadap Pengujian Kekerasan Pada Aluminium 6061

Bimo Sakti Mahardika\*, Viktor Naubnome, Reza Setiawan

Universitas Singaperbangsa Karawang

\*Penulis korespondensi: 1710631150054@student.unsika.ac.id

*Histori artikel: diserahkan 23 Agustus 2024, direviu 13 Januari 2025, direvisi 23 April 2025*

### ABSTRACT

*Aluminum alloys are used more in industry due to its light weight, corrosion resistance, high strength, hardness, and recycling. This study examines the microstructure and hardness of 6061 aluminum alloy treated with Deep Cryogenic Treatment for 2, 12, 24, and 48 hours, followed by 1 hour of 1500C aging. Vickers hardness and microstructure testing will occur. The test results show that the hardness value has increased compared to the raw material. In the raw material variation, the hardness value is 53.4 HVN. The 2-hour immersion time variation experienced an increase in hardness value of 48.59% compared to the raw material. In the 12-hour soaking time variation, there was an increase of 43.9%. While the 24-hour and 48-hour variations also experienced an increase of 21.76% and 28.52% compared to the raw material. This is influenced by the microstructure that changes along with the variation in soaking time. Precipitates form due to the influence of deep cryogenic treatment which results in the hardness value of the 24-hour and 48-hour time variations decreasing compared to the 2-hour and 12-hour time variations.*

**Keywords:** Aluminum Alloy 6061, Deep Cryogenic Treatment, Aging, Microstructure, Vickers Method Hardness

**DOI :** <https://doi.org/10.18196/jqt.v6i2.23726>

**WEB :** <https://journal.umy.ac.id/index.php/qt/article/view/23726>

### PENDAHULUAN

Tembaga, aluminium, timbal, dan logam serupa lainnya adalah contoh logam non-besi karena tidak mengandung besi (Fe). Komponen utama dari logam paduan adalah besi dan karbon, tetapi mungkin juga mengandung sulfur, fosfor, mangan, dan elemen lainnya. Contoh logam paduan adalah besi tuang, besi tempa, dan baja (Avner, 1984)

Memasukkan komponen seperti silikon, mangan, timbal, nikel, atau besi ke dalam aluminium meningkatkan kekuatan mekanisnya, tetapi logam ini juga memiliki kualitas lain yang diinginkan, seperti ketahanan terhadap korosi dan penghematan serta koefisien yang rendah. Kain yang terbuat dari aluminium memiliki banyak aplikasi praktis, termasuk dalam transportasi, bangunan, penerbangan, dan pembuatan kapal (Surdia, 1999)

Kriteria penting untuk mengevaluasi kualitas permukaan benda kerja adalah kehalusan dan kekakuannya. Apabila kekerasan permukaan rendah, berarti permukaannya sangat halus. Puncak, lembah, dan ketidaksempurnaan yang sangat kecil mencirikan skala mikro-geometris dari rumput

ruang permukaan yang dirawat. Ketahanan korosi benda kerja, kekakuan kontak, kekuatan fatik, dan kekerasan permukaan semuanya dapat dipengaruhi oleh kekerasan permukaan. Daya tahan dan ketergantungan logam, seperti paduan aluminium 6061, dipengaruhi oleh kekerasan permukaannya. Ketika kualitas mekanis seperti kekuatan traksi, kekuatan, dan lainnya sangat penting, paduan aluminium 6061 digunakan secara luas dalam aplikasi teknik seperti transportasi dan konstruksi (Mulyaningsih et al., 2024).

Paduan aluminium 6061 banyak digunakan dalam konstruksi dan otomotif karena keunggulannya, seperti ketahanan terhadap korosi, perlakuan panas, daya tahan, dan kemampuan las yang baik. Bahan ini digunakan oleh banyak industri maju untuk perancangan dan pembuatan perkakas karena kualitasnya yang luar biasa. Proses aging hardening dapat digunakan untuk menghasilkan paduan aluminium dengan kekerasan dan kekuatan yang ideal (Wicaksono, 2018)

Teknik pengecoran dan komposisi paduan keduanya berdampak pada struktur mikro paduan aluminium. Paduan Al-Si dapat ditingkatkan

kemampuan tuang, karakteristik mekanis, dan kemampuan mesinnya dengan menambahkan elemen tertentu (Wisnujati & Shomad, 2019)

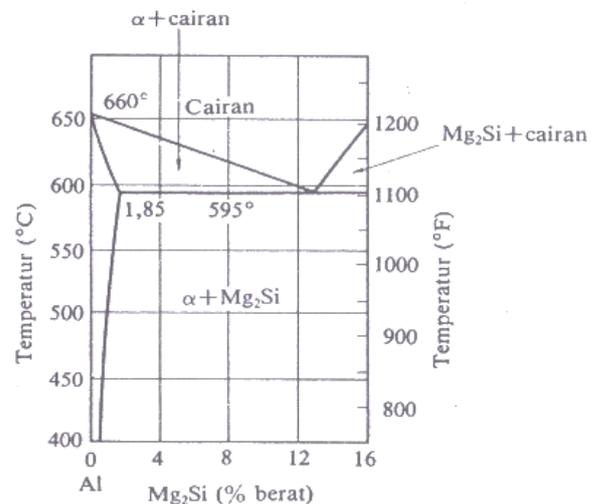
Pentingnya memiliki masa pakai yang lama dengan biaya yang masuk akal disoroti. Pelapisan, kelelahan, ketahanan aus, dan pergeseran fase mikrostruktur dapat meningkatkan sifat mekanis dari material yang digunakan. Gesekan, pelumasan, dan beberapa karakteristik material (kekerasan, kekuatan, dll) menentukan metrik ketahanan terhadap kerusakan dalam penelitian ini. Salah satu teknik yang dapat meningkatkan kekuatan material adalah daya tahan terhadap kerusakan. Proses cryogenic treatment (DCT) dan deep cryogenic treatment (DCT) melibatkan perawatan sampel pada suhu kriogenik (-196oC). Tujuan dari perlakuan ini menghasilkan meningkatkan *wear resistance* juga mengurangi tegangan sisa. Proses pengerasan logam yang terkenal adalah *cryogenic treatment* ada kebutuhan untuk meningkatkan sifat-sifat aluminium tanpa mengobarkan sifat lainnya. Dalam perlakuan *Cryogenic treatment* spesimen uji didinginkan secara bertahap hingga ke suhu yang telah ditentukan dan ditahan dengan waktu yang telah ditentukan dan kemudian dikembalikan menuju kembali suhu kamar. Tujuan dari *Cryogenic Treatment* adalah untuk mendapatkan peningkatan kekerasan dan ketahanan aus. Dengan bantuan *Cryogenic Treatment*, umur komponen, sifat termal, dan permesinan dapat ditingkatkan (Patil et al., 2014).

Paduan aluminium seri 6xxx (6061 dan 6063) memiliki perlakuan panas yang baik karena kandungan magnesium dan silikon kurang lebih seimbang untuk pembentukan magnesium silisida (Mg<sub>2</sub>Si). Paduan aluminium seri 6000 yang mengandung unsur utama Al-Mg-Si dengan klasifikasi AA dapat menghasilkan paduan aluminium 6063 dan 6061, meskipun tidak sekuat paduan seri 2000 dan 7000. Paduan ini juga memiliki sifat mampu bentuk, kemampuan las, dan ketahanan korosi yang baik. Meskipun paduan ini tidak terlalu kuat sebagai bahan tempa, mereka memiliki keuletan yang sangat tinggi dan mudah dibentuk dengan penempaan atau ekstrusi. Konstruksi menggunakan paduan 6063 (Surdia, 1999). Sebagai alternatif, paduan aluminium seri 6061 dapat digunakan secara luas di sektor-sektor mutakhir karena berbagai sifat yang menguntungkan, seperti kemampuan kerja yang sangat baik, kualitas permukaan yang sempurna, kekuatan tinggi, bobot yang ringan, dan ketahanan terhadap korosi (Zuhaimi & Husaini, 2006). Penggunaan aluminium dalam industri pesawat terbang, mobil, dan kontruksi menjadi semakin

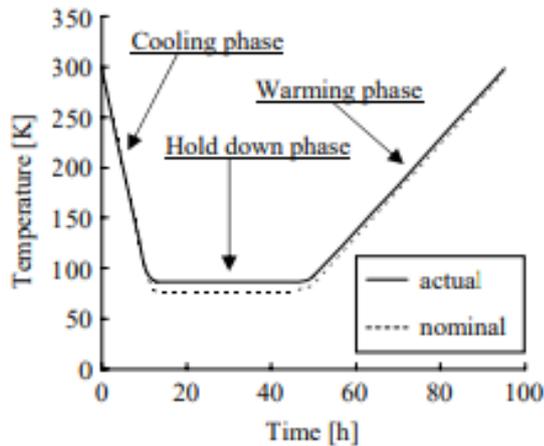
populer karena sifat dan manfaatnya. Secara khusus, aluminium 6xxx banyak digunakan karena harganya yang terjangkau dan mampu bentuk, las, perlakuan panas, dan ketahanan korosi yang wajar (Demir & Gündüz, 2009) (PSSTP Manufaktur, 2024)

*Aging* adalah perlakuan penuaan logam dalam jangka waktu lama pada suhu cukup tinggi untuk menghilangkan dislokasi yang disebabkan oleh pengendapan partikel disertai deformasi partikel, sehingga meningkatkan kekuatan paduan. Proses *aging* bertujuan untuk mengeraskan material dan membentuk struktur yang seragam. Tergantung pada waktu proses pemanasan, kekerasan, dan keseragaman jaringan dapat dicapai. Pendinginan setelah proses penuaan terjadi secara perlahan pada suhu kamar. Perubahan sifat seiring berjalannya waktu pada umumnya dinamakan *aging* (Callister Jr & Rethwisch, 2020). Proses *aging* dibedakan menjadi dua, *artificial aging* dan *natural aging*, proses *artificial aging* atay penuaan buatan efektif meningkatkan nilai kekerasan dan kekuatan bahan paduan aluminium 6061 dibandingkan dengan *natural aging* (Najeeb et al., 2020)

*Heat Treatment* adalah proses yang melibatkan pemanasan dan pendinginan suatu bahan dengan tujuan untuk mengubah sifatnya dengan cara tertentu (Maisonnette et al., 2011). Perlakuan panas logam aluminium dan gabungannya menyebabkan penuaan. Penuaan dapat menghasilkan endapan yang dapat meningkatkan kekuatan logam. Endapan fase kedua akan terbentuk jika paduan logam diproses dalam waktu yang lama. Ketika konsentrasi zat terlarut bervariasi selama nukleasi dan pertumbuhan, gugus atom kecil di dalam kisi-kisi membentuk inti presipitasi, dan presipitasi pun dimulai (Tan & Radzai, 2009). Berikut merupakan diagram fasa pada paduan aluminium seri 6xxx.



GAMBAR 1. Digram fasa Al6061 (Ghosh, 2015)  
 Proses *cryogenic* ini adalah proses mendinginkan bahan secara bertahap hingga suhu tertentu, mempertahankannya pada suhu tertentu, dan kemudian mengembalikannya ke suhu kamar. Sifat mekanik seperti kekerasan, ketahanan aus, dan ketahanan fatigue ditingkatkan melalui proses kriogenik. Sub-zero cryogenic treatment (SCT) adalah prosedur di mana sampel didinginkan secara perlahan hingga mencapai suhu -800C (193 K) dan kemudian ditahan selama beberapa waktu dan kemudian dilanjutkan pada suhu kamar. Deep cryogenic treatment (DCT) adalah prosedur di mana sampel didinginkan secara bertahap hingga mencapai suhu -1960C (77K) dan kemudian dilanjutkan pada suhu kamar (Sonia et al., 2020)



GAMBAR 2. Proses Deep Cryogenic Treatment (Sonia et al., 2020)

Penunjukan Ketahanan material terhadap deformasi tekan disebut kekerasan. Perilaku elastis dan plastis dapat menyebabkan deformasi. Permukaan bagian yang bergerak satu sama lain dapat mengalami deformasi plastis dan elastis. Permukaan yang keras mampu mengalami perubahan plastis dan permukaan yang lebih lunak mengalami perubahan elastis. Efek deformasi ditentukan oleh kekerasan permukaan material. Beberapa cara yang paling terkenal untuk mengukur kekerasan dalam ilmu material termasuk uji kekerasan lekukan, uji kekerasan pantulan (dinamis), dan uji kekerasan gores. Salah satu cara untuk mengukur ketahanan material terhadap goresan adalah melalui uji kekerasan gores; uji kekerasan pantul mengukur

deformasi dinamis permukaan logam sebagai akibat dari energi yang diserap permukaan logam ketika suatu benda didorong kebawah dan jatuh. Dalam uji kekerasan indentasi, indentor ditekan dengan kuat pada permukaan logam yang akan diuji untuk menguji kekerasannya (Dahlan, 2000).

## METODE PENELITIAN

### Perlakuan *Aging*

- Bahan Aluminium 6061 dicutting sesuai dengan standar ASTM E 384
- Sampel di *aging* pada temperatur 150°C dengan waktu penahanan selama 1 jam. Setelahnya dilakukan warming temperatur kamar

### Perlakuan *Cryogenic*

- Pendinginan pada nitrogen cair.
- Variasi waktu DCT 2 jam, 12 jam, 24 jam dan 48 jam.
- Dilanjutkan dengan warming temperatur kamar.

### Pengujian

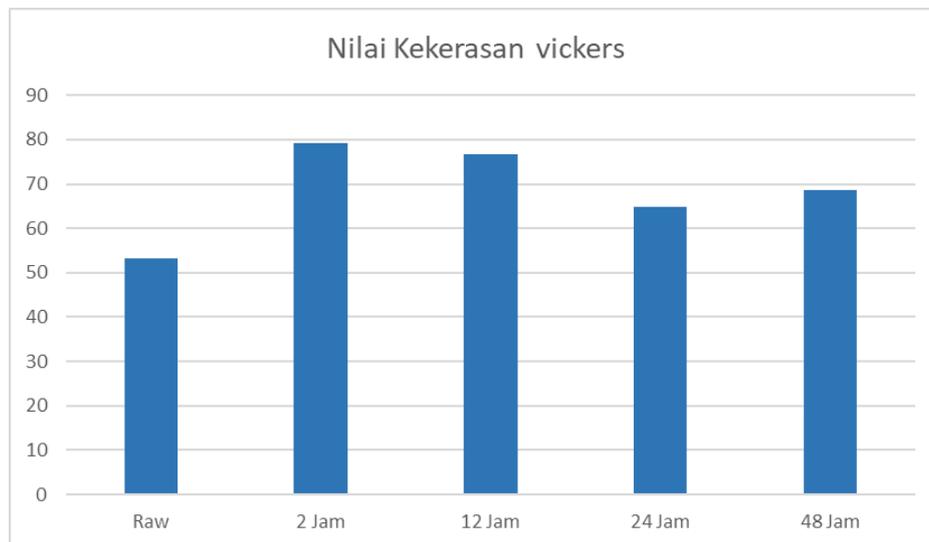
- Uji kekerasan dengan metode *micro hardness Vickers*.
- Uji struktur mikro hingga 100x pembesaran.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji kekerasan spesimen setelah perlakuan Deep Cryogenic Treatment bervariasi selama 2, 12, 24, dan 48 jam, seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 1. Gambar 1 menunjukkan nilai rata-rata kekerasan per spesimen. Masing-masing spesimen diuji pada 3 titik dengan posisi dilakukan secara acak. Pengaruh nilai kekerasan dengan struktur mikro sangatlah berkaitan. Pada hasil pengujian kekerasan material *Raw Material* dilakukan 3 titik pengujian. Nilai yang didapat pengujian kekerasan Vickers pada *raw material* sebesar 53,3 HV. Hasil dari pengujian ini menjadi acuan untuk variasi waktu yang lainnya.

TABEL 1. Hasil pengujian kekerasan *Vickers*

Variasi Waktu Perendaman	Titik uji	D1 (mm)	D2 (mm)	Kekerasan (HV)	Kekerasan rata-rata (HV)
Raw	1	81,55	81,57	53,4	53,3
	2	83,12	80,06	53,3	
	3	81,22	81,84	53,3	
2 jam	1	68,48	68,61	78,9	79,2
	2	68,50	68,47	79,1	
	3	68,65	67,89	79,6	
12 jam	1	67,84	71,29	76,6	76,7
	2	69,12	70,06	76,6	
	3	68,28	70,75	76,8	
24 jam	1	75,57	75,56	65,0	64,9
	2	75,65	75,53	64,9	
	3	75,50	75,67	64,9	
48 jam	1	78,61	68,9	68,9	68,5
	2	78,11	69,2	68,2	
	3	72,91	74,37	68,4	



GAMBAR 1. Grafik nilai rata-rata pengujian kekerasan Vickers

Berdasarkan hasil dari pengujian, harga kekerasan pada variasi waktu perendaman 2 jam sebesar 79,2 HVN. Pada pengujian kekerasan dengan variasi waktu 12 jam, mendapatkan rata-rata 76,7 HVN dibandingkan dengan bahan baku. Dibandingkan dengan variasi *raw material* nilai kekerasannya mengalami kenaikan sebesar 43,9 %. Pada variasi waktu perendaman 24 jam didapatkan nilai rata-ratanya sebesar 64,9 HVN. Dibandingkan dengan *raw material* mengalami kenaikan sebesar 21,26%. Pada pengujian kekerasan dengan variasi waktu 48 jam mendapatkan nilai 68,5 HV mengalami kenaikan dibandingkan dengan *raw material*

sebesar 28,52%. Menariknya pada pengujian kekerasan dengan variasi waktu 48 jam nilai rata-rata mengalami kenaikan dari pada variasi waktu 24 jam sebesar 3,6%.

Dari hasil yang didapatkan pada pengujian kekerasa dengan metode *Vickers* dapat didiskusikan dengan perlakuan *deep cryogenic treatment* variasi waktu dengan dilanjut *aging* mengalami kenaikan. Pada hasil pengujian *raw material* mendapat nilai kekerasan sebesar 53,3 HVN. Dilanjutkan pada variasi waktu perendaman pada 2 jam mendapatkan nilai sebesar 79,2 HVN yang menandakan mengalami kenaikan dibandingkan pada *raw*

*material*. Nilai kekerasan dibandingkan dengan variasi bahan baku juga meningkat selama 12 jam, 24 jam, dan 48 jam.

Seiring dengan bertambahnya waktu pencelupan, perubahan dalam struktur mikro paduan diamati sebagai hasil dari perlakuan pencelupan dingin yang dalam (DCT). Nilai kekerasan benda uji berkorelasi dengan struktur mikro, dan sampel dengan presipitat yang lebih rendah biasanya memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi. Sampel variasi waktu dua jam memiliki butiran yang lebih halus daripada sampel variasi waktu dua belas, dua puluh empat, dan empat puluh delapan jam. Ini disebabkan oleh butiran endapan  $Mg_2Si$  yang memiliki dot di tengah partikel. Menurut H. I., Akbar, Endapan  $Mg_2Si$  yang ditemukan pada tengah butir dan cenderung berukuran kecil, berbentuk dot dan cenderung samar (Akbar, 2017). Endapan  $Mg_2Si$  tersebut lah yang mampu memberikan efek pengerasan pada AL 6061.

Menurut Bhattacharya, garis dislokasi terbentuk karna perlakuan *cryogenic treatment* pada proses aging paduan Al-Mg-Si [12]. Pada variasi waktu perendaman 24 jam dan 48 jam, didapati presipitat yang terbentuk memiliki bentuk dot dan pipih. Presipitat  $Mg_2Si$  yang berbentuk pipih mengakibatkan menurunnya nilai kekerasan. Menurut H. Q., Wang fasa  $Mg_2Si$  yang terbentuk pada batas butir dan berbentuk pipih menurunkan nilai kekerasan (Wang et al., 2013).

## KESIMPULAN

Berdasarkan data penelitian yang ada, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut: Hasil uji kekerasan Vickers menunjukkan bahwa, dibandingkan dengan *raw material*, Aluminium 6061 mengalami peningkatan setelah mengalami Deep Cryogenic Treatment (DCT) dengan variasi waktu 2, 12, 24, dan 48 jam. Nilai 53,3 HV untuk uji kekerasan bahan baku. Nilai kekerasan mengalami kenaikan puncak pada variasi waktu DCT 2 jam yang mendapatkan nilai rata-rata 79,2 HV dibanding dengan *raw material* didapatkan sebesar 48,59%. Pada variasi waktu

perendaman 12 jam pun mengalami kenaikan sebesar 43,9% menjadi 79,2 HV. Variasi waktu DCT 24 dan 48 jam mengalami kenaikan sebesar 21,76% dan 28,52% dibandingkan dengan *raw material* menjadi 64,9 HV dan 68,52 HV. Variasi waktu DCT 24 jam dan 48 jam didapatkan penurunan nilai kekerasan dibandingkan pada variasi waktu DCT 2 jam karena terjadinya perubahan struktur mikro yang disebabkan DCT.

Pada pengujian dengan variasi waktu *deep cryogenic treatment* dan dilanjut dengan proses *aging* terjadi perubahan pada struktur mikro. Hasil uji struktur mikro pada variasi waktu perendaman 2 jam didapati presipitat berbentuk dot dan berada pada tengah butir. seiring dengan kenaikan waktu perendaman khususnya pada variasi 24 jam dan 48 jam, presipitat yang dihasilkan menjadi berbentuk pipih dan berada pada garis butir yang mengakibatkan terjadinya penurunan nilai kekerasan.

Dalam penelitian ini, peneliti memberikan beberapa poin saran, yaitu penelitian mengenai penambahan unsur paduan dan waktu perendaman diperlukan untuk mencapai sifat mekanik yang lebih baik dan dapat diaplikasikan; Kandungan paduan yang terbentuk dengan memvariasikan waktu perendaman harus diuji; Perlu adanya penelitian lanjutan pengujian mekanik untuk mengetahui nilai-nilai pengujian lainnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, H. I. (2017). *Pengaruh media quenching terhadap nilai kekerasan dan distorsi pada komposit al 6061-al2o3*. UNS (Sebelas Maret University).
- Avner, S. H. (1984). *Introduction to physical metallurgy* (Vol. 2). McGraw-hill New York. International Book Company.
- Callister Jr, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). *Fundamentals of materials science and engineering: an integrated approach*. John Wiley & Sons.
- Dahlan, H. (2000). Pengaruh variasi beban indentor Micro Hardness Tester terhadap akurasi data uji kekerasan

material. *Urania*, 23–24, 57–62.

- Demir, H., & Gündüz, S. (2009). The effects of aging on machinability of 6061 aluminium alloy. *Materials & Design*, 30(5), 1480–1483.
- Ghosh, K. S. (2015). Study of Electrochemical Behavior of Aluminum Alloys of Various Tempers. *Department of Metallurgical and Materials Engineering National Institute of Technology, Durgapur Durgapur-713209 May, Thesis*.
- Maisonnette, D., Suery, M., Nelias, D., Chaudet, P., & Epicier, T. (2011). Effects of heat treatments on the microstructure and mechanical properties of a 6061 aluminium alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 528(6), 2718–2724.
- Mulyaningsih, N., Zakiy, M. N. F., & Taufik, I. (2024). Analisis Metode Anodizing Aluminium dengan Variasi Kuat Arus sebagai Material Velg Kendaraan. *Quantum Teknika: Jurnal Teknik Mesin Terapan*, 5(2), 55–58.
- Najeeb, M. A. S. M., Mahdi, S. H., & Fadil, N. Q. (2020). The effect of heat treatment on the degree of crystallinity and grain size for (N6, PS) polymers. *Journal of Xi'an University of Architecture & Technology*, 12(3).
- Patil, P. I., Kumar, B., & Faizpur, M. S. (2014). Deep cryogenic treatment of alloy steels: A Review. *International Journal of Electronics, Communication & Soft Computing Science and Engineering*, 2(8).
- PSSTP Menufaktur. (2024). Pengaruh Variasi Holding Time terhadap Mikrostruktur dan Sifat Mekanik AA 6061-T6. *Jurnal CRANKSHAFT*, 7(1).
- Sonia, P., Verma, V., Saxena, K. K., Kishore, N., & Rana, R. S. (2020). Effect of cryogenic treatment on mechanical properties and microstructure of aluminium 6082 alloy. *Materials Today: Proceedings*, 26, 2248–2253.
- Surdia, T. (1999). *Pengetahuan bahan teknik*. PT. Pradnya Paramita.
- Tan, C. F., & Radzai, S. M. (2009). Effect of hardness test on precipitation hardening aluminium alloy 6061-T6. *Chiang Mai Journal of Science*, 36(3), 276–286.
- Wang, H. Q., Sun, W. L., & Xing, Y. Q. (2013). Microstructure analysis on 6061 aluminum alloy after casting and diffuses annealing process. *Physics Procedia*, 50, 68–75.
- Wicaksono, M. N. (2018). *Analisa Variasi Holding Time pada Aluminium 6061 Terhadap Uji Impak, Struktur Mikro, dan Uji Kekerasan*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Wisnujati, A., & Shomad, M. A. (2019). Pengaruh Penambahan Unsur Titanium-Boron (Ti-B) 0, 1% Dan 0, 5% Terhadap Nilai Kekerasan Paduan Aluminium. *Quantum Teknika: Jurnal Teknik Mesin Terapan*, 1(1), 28–32.
- Zuhaimi, Z., & Husaini, H. (2006). Perilaku Retak Aluminium Paduan A6061-T6 pada Pembebanan Mixed Mode. *Jurnal Teknik Mesin*, 8(1), 26–32.