

Peningkatan Kekerasan Al6061 dengan Penerapan Metode Taguchi pada Proses *Artificial Aging*

Dewi Izzatus Tsamroh¹, Muchammad Riza Fauzy², David Ross³, Andrian Dwi Kristanto⁴

^{1,3,4}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Merdeka Malang
Jalan Taman Agung 1 Malang, Jawa Timur, Indonesia

²Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Merdeka Malang
Jalan Terusan Raya Dieng 62-64 Malang, Jawa Timur, Indonesia

^{1*}izza@unmer.ac.id (penulis korespondensi)

²riza.fauzy@unmer.ac.id

³david.ross@student.unmer.ac.id

⁴andrian.kristanto@student.unmer.ac.id

Abstrak— Salah satu jenis material logam yang saat ini banyak diteliti dan dikembangkan adalah paduan aluminium. Hal ini disebabkan penggunaan aluminium yang kerap ditemui pada berbagai bidang, baik pada industri makanan, industri otomotif, hingga industri penerbangan. Salah satu jenis aluminium yang paling banyak digunakan di industri adalah aluminium seri 6xxx, yaitu aluminium 6061. Aluminium 6061 memiliki berbagai macam sifat yang unik, yaitu tahan terhadap korosi, mudah dilas, ditempa, dan dicor, serta bobotnya yang ringan. Akan tetapi, jika dibandingkan dengan jenis material logam lain, paduan aluminium memiliki angka kekerasan yang relatif lebih rendah. Banyak jenis perlakuan yang dapat diaplikasikan pada aluminium untuk meningkatkan angka kekerasan material tersebut, salah satunya adalah melalui proses *heat treatment*. Akan tetapi, sebelum melakukan eksperimen, alangkah baiknya untuk melakukan proses optimasi agar menghasilkan hasil yang terbaik. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendeskripsikan hasil optimasi pada proses *heat treatment* (*artificial aging*) dengan menggunakan metode Taguchi. Metode penelitian ini adalah metode eksperimental dengan pendekatan statistik dengan menggunakan Minitab 16, dua parameter terkontrol dipilih yaitu suhu *artificial aging* (175, 200, dan 225°C), dan waktu penahanan *artificial aging* (2, 4, 6 jam). Kekerasan aluminium 6061 merupakan karakteristik kualitas yang diukur dalam penelitian ini. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan orthogonal arrays L9 (3²). Hasil penelitian menunjukkan bahwa peringkat parameter yang berpengaruh secara signifikan adalah suhu *artificial aging* diikuti waktu penahanan *artificial aging*.

Kata kunci—Aluminium 6061, *Artificial Aging*, Kekerasan, Optimasi, Taguchi

Abstract— One type of metal material that is currently being researched and developed is aluminum alloy. This is due to the use of aluminum which is often found in various fields, both in the food industry, automotive industry, to the aviation industry. One of the most widely used types of aluminum in the industry is the 6xxx series aluminum, namely aluminum 6061. Aluminum 6061 has a variety of unique properties, namely resistance to corrosion, easy to weld, forge, and cast, as well as its light weight. However, when compared to other types of metal materials, aluminum alloys have a relatively lower hardness number. Many types of treatment can be applied to aluminum to increase the hardness of the material, one of which is through the heat treatment process. However, before conducting experiments, it would be nice to carry out the optimization process in order to produce the best results. The purpose of this study was to describe the optimization results in the heat treatment process (*artificial aging*) using the Taguchi method. This research method is an experimental method with a statistical approach using Minitab 16, two controlled parameters were selected, namely the artificial aging temperature (175, 200, and 225°C), and artificial aging holding time (2, 4, 6 hours). The hardness of aluminum 6061 is the quality characteristic measured in this study. Experiments were carried out using orthogonal arrays L9 (3²). The results showed that the parameter ranking that had a significant effect was the artificial aging temperature followed by artificial aging holding time.

Keywords—Aluminum 6061, *Artificial Aging*, Hardness, Optimization, Taguchi

I. PENDAHULUAN

Salah satu jenis material logam yang saat ini sedang banyak diteliti adalah aluminium [1]. Akhir-akhir ini aluminium banyak diteliti karena penggunaannya yang juga meningkat dari tahun ke tahun [2]. Penggunaan aluminium di industri sangat luas, yang mana dapat ditemui pada pembuatan perkakas rumah tangga, industri otomotif, hingga industri penerbangan [3]. Salah satu jenis paduan aluminium yang banyak digunakan adalah aluminium seri 6xxx, yaitu aluminium 6061 [4]. Penggunaan paduan aluminium yang ditemui di berbagai bidang ini karena sifat unik yang aluminium miliki, misalnya ketahanan korosi yang tinggi, ringan, serta memiliki beberapa kemampuan sebagai berikut, yaitu mampu las, mampu cor, serta mampu tempa [5].

Akan tetapi, meskipun paduan aluminium memiliki banyak keunggulan, paduan tersebut memiliki beberapa kelemahan, diantaranya adalah sifat mekaniknya yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan logam komersial lainnya [6]. Sifat mekanik suatu paduan dapat ditingkatkan atau diperbaiki melalui beberapa cara, diantaranya adalah melalui proses *heat treatment* [7]. Salah satu jenis *heat treatment* yang dapat digunakan dalam memperbaiki sifat mekanik paduan adalah dengan menggunakan *artificial aging* [8].

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik paduan aluminium 6061, khususnya angka kekerasannya melalui proses *artificial aging*. Akan tetapi, dalam penerapan *artificial aging*, dapat diperlakukan beberapa parameter dengan berbagai level, misalnya temperatur dan waktu penahanan. Hal ini tentunya akan memakan banyak biaya. Sehingga perlu dilakukan optimasi [5], sehingga didapatkan parameter yang paling maksimal dalam meningkatkan kekerasan paduan aluminium 6061.

Metode yang digunakan dalam melakukan optimasi dapat dilakukan dengan beberapa jenis, yaitu Taguchi dan *Response Surface Method* (RSM) [9]. Dalam rangka mendapatkan hasil yang maksimal dan efisien, peneliti memutuskan untuk menggunakan metode Taguchi dalam menentukan parameter optimum untuk meningkatkan kekerasan paduan aluminium 6061. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah temperatur *artificial aging* dan waktu penahanan.

II. METODE

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini termasuk ke dalam jenis penelitian eksperimental berbasis laboratorium [10]. Penelitian ini menggunakan pendekatan statistik dengan menggunakan Minitab 16. Penelitian dilakukan di laboratorium pengujian material, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Merdeka Malang. Pengambilan data dilakukan selama 1 bulan pada Oktober 2021.

a. Metode Taguchi

Penelitian ini menggunakan metode desain eksperimental, yaitu desain Taguchi [11]. Metode Taguchi banyak digunakan dalam proses analisis teknik, yang bertujuan untuk mengoptimalkan karakteristik kinerja melalui *setting* parameter desain [12]. Metode Taguchi menentukan level yang selanjutnya dilakukan eksperimen berdasarkan pada *Orthogonal Array* (OA). OA yang digunakan dalam penelitian ini adalah OA L9 (3^2), yang artinya terdapat 2 jenis parameter dengan 3 level yang berbeda. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah temperatur (175, 200, 225°C) dan waktu penahanan *artificial aging* (2, 4, 6 jam).

TABEL I
LAYOUT STANDAR EKSPERIMEN DENGAN ORTHOGONAL ARRAY L9 (2^3)

Nomor Eksperimen	Parameter Perlakuan Panas	
	A	B
1	1	1
2	1	2
3	1	3
4	2	1
5	2	2
6	2	3
7	3	1
8	3	2
9	3	3

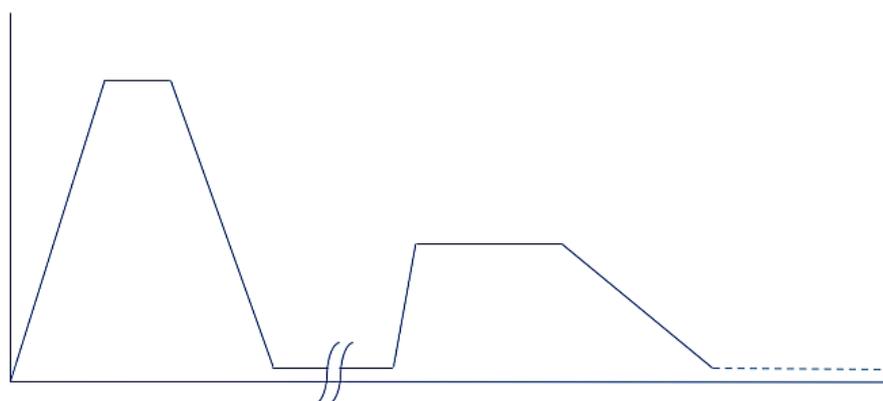
TABEL II
PARAMETER DAN LEVEL

Level	Temperatur <i>Artificial Aging</i> (°C)	Waktu Penahanan <i>Artificial Aging</i> (jam)
1	175	2
2	200	4
3	225	6

b. Eksperimen

Pada penelitian ini, proses eksperimen dilaksanakan berdasarkan hasil optimasi dengan menggunakan metode Taguchi (Tabel 1). Proses eksperimen dilakukan melalui beberapa tahap sebagai berikut:

1. Persiapan alat dan bahan;
2. Pembentukan spesimen, pada proses ini spesimen dibentuk dengan dimensi 20 x 30 x 5 mm.
3. Pemanasan spesimen di dalam tungku jenis muffle hingga pada suhu *solution heat treatment*, yaitu 520°C. Proses ini bertujuan untuk menyeragamkan fase pada paduan aluminium. Proses ini ditahan selama 30 menit.
4. Pendinginan cepat (*quenching*), dengan menggunakan campuran air dan dromus oil dengan rasio 50:50. Penentuan jenis media pendingin ini ditentukan berdasarkan hasil penelitian terdahulu, dimana dengan menggunakan jenis media pendingin ini selain mampu meningkatkan kekerasan paduan aluminium, tetapi juga mampu meningkatkan keuletannya.
5. Setelah tungku mencapai kembali temperatur ruang, maka dilakukan kembali pemanasan untuk proses *artificial aging*, dengan temperatur 175, 200, dan 225 °C, dengan waktu penahanan selama 2, 4, dan 6 jam.
6. Pendinginan dilakukan dengan menggunakan media udara.
7. Pengujian kekerasan.



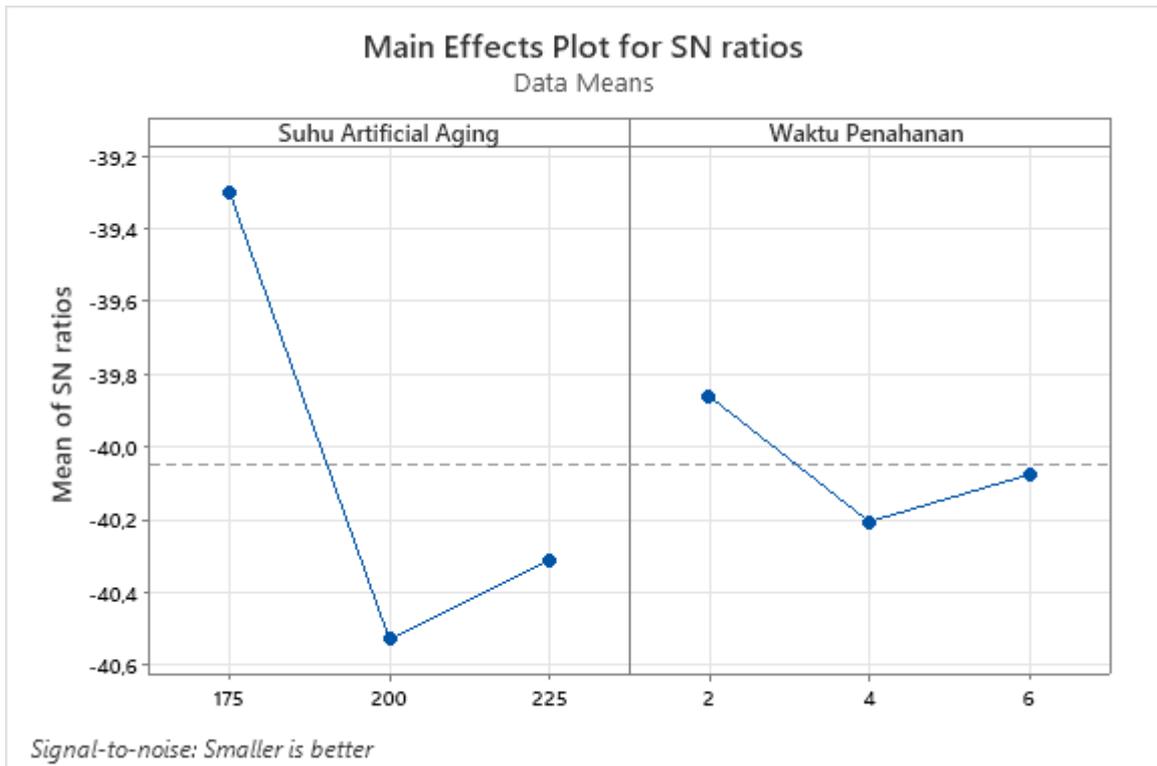
Gambar 1. Diagram perlakuan panas

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar di bawah menunjukkan respon Taguchi terhadap parameter *artificial aging* pada paduan aluminium 6061. Gambar 2 merupakan S/N rasio dengan menggunakan *smaller is better*, yang artinya bahwa kondisi optimum suatu parameter ditunjukkan pada rasio yang lebih kecil/rendah. Berdasarkan Gambar 2, maka diketahui bahwa parameter paling optimum pada proses *artificial aging* ditemukan pada temperatur 200°C dengan waktu penahanan selama 4 jam. Dengan demikian dapat diketahui bahwa angka

kekerasan tertinggi paduan aluminium 6061 didapatkan pada spesimen dengan perlakuan *artificial aging* pada temperatur 200°C yang ditahan selama 4 jam.

Hasil penelitian ini hampir sama dengan hasil penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa angka kekerasan paling optimum pada duralium ditemukan pada temperatur dan waktu penahanan yang sama [7]. Tentunya hal ini dipengaruhi oleh parameter yang telah ditentukan sebelumnya. Diantara dua parameter yang telah ditentukan memiliki peran yang paling optimum dalam menentukan peningkatan kekerasan suatu paduan. Hal ini dapat diketahui berdasarkan pada *response table for signal to noise ratio* yang disajikan pada Tabel 3.



Gambar 2. S/N rasio Taguchi

TABEL III
RESPONSE TABLE FOR SIGNAL TO NOISE RATIO

	Temperatur	
	<i>Artificial</i>	Waktu
Level	<i>Aging</i>	Penahanan
1	-39,30	-39,86
2	-40,53	-40,21
3	-40,31	-40,08
Delta	1,23	0,35
Rank	1	2

Smaller is better

Tabel 3 didapatkan berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan Metode Taguchi setelah hasil eksperimen diuji. Berdasarkan Tabel 3, maka dapat diketahui bahwa parameter yang memiliki peran paling signifikan dalam peningkatan kekerasan paduan aluminium 6061 adalah temperatur *artificial aging*. Hasil penelitian ini hampir sama dengan penelitian terdahulu, yang mana menunjukkan bahwa temperatur

yang digunakan dalam perlakuan panas memiliki peran yang sangat penting dalam merubah sifat suatu material [13]. Penggunaan temperatur yang tepat akan mampu memperbaiki sifat suatu material, akan tetapi jika menggunakan temperatur yang terlalu tinggi maka akan merusak sifat suatu material, sedangkan penggunaan temperatur yang terlalu rendah tidak dapat merubah suatu sifat material [14].

Waktu penahanan yang diterapkan dalam proses *artificial aging*, juga dapat mempengaruhi bagaimana sifat akhir dari suatu material. Hal ini terkait dengan *under-aging* dan *over-aging*. Dimana pada kondisi *under-aging*, material tidak akan mengalami perubahan sifat. Sedangkan pada kondisi *over-aging*, sifat akhir dari material akan kembali ke kondisi semula [15]. Tentunya, dalam penentuan temperatur dan waktu penahanan, diharapkan dapat menggunakan diagram fasa perlakuan panas sesuai dengan jenis material yang diteliti. Pada saat proses pemanasan pada kondisi *solution heat treatment*, fasa yang terbentuk pada paduan aluminium telah sampai pada tahap rekristalisasi, sehingga waktu dan temperatur yang diterapkan setelah proses tersebut akan sangat berpengaruh pada sifat akhir paduan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan tentang peningkatan kekerasan paduan aluminium 6061 dengan *artificial aging* melalui metode Taguchi, dapat ditarik kesimpulan bahwa kekerasan optimum didapatkan pada spesimen dengan perlakuan *artificial aging* pada temperatur 200°C yang ditahan selama 4 jam. Temperatur *artificial aging* merupakan parameter yang paling optimum dalam peningkatan kekerasan aluminium 6061.

UCAPAN TERIMA KASIH

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

REFERENSI

- [1] P. Rambabu, N. E. Prasad, and V. V. Kutumbarao, "Aerospace Materials and Material Technologies," 2017, doi: 10.1007/978-981-10-2143-5.
- [2] J. R. Davis, "Aluminum and Aluminum Alloys," *Light Met. Alloy.*, p. 66, 2001, doi: 10.1361/autb2001p351.
- [3] W. H. Overbagh, "Use of aluminum in automotive space frames," *SAE Tech. Pap.*, no. 41 2, 1995, doi: 10.4271/950721.
- [4] C. Chen, X. Yin, W. Liao, Y. Xiang, M. Gao, and Y. Zhang, "Microstructure and properties of 6061/2A12 dissimilar aluminum alloy weld by laser oscillation scanning," *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 14, pp. 2789–2798, 2021, doi: 10.1016/j.jmrt.2021.08.105.
- [5] D. I. Tsamroh, A. Suprpto, and P. Eka Setyawan, "Optimasi Parameter Anodizing pada Aluminium 6061 dengan Metode Taguchi," in *Seminar Nasional Teknologi Fakultas Teknik Unmer Malang*, 2020, pp. 113–116.
- [6] D. I. Tsamroh, "Comparison finite element analysis on duralium strength against multistage artificial aging process," *Arch. Mater. Sci. Eng.*, vol. 109, no. 1, pp. 29–34, 2021, doi: 10.5604/01.3001.0015.0512.
- [7] D. I. Tsamroh, P. Puspitasari, A. Andoko, A. A. Permanasari, and P. E. Setyawan, "Optimization of multistage artificial aging parameters on Al-Cu alloy mechanical properties," *J. Achiev. Mater. Manuf. Eng.*, vol. 87, no. 2, pp. 62–67, 2018, doi: 10.5604/01.3001.0012.2828.
- [8] S. Jin, T. Ngai, G. Zhang, T. Zhai, S. Jia, and L. Li, "Precipitation strengthening mechanisms during natural ageing and subsequent artificial aging in an Al-Mg-Si-Cu alloy," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 724, pp. 53–59, 2018, doi: 10.1016/j.msea.2018.03.006.

- [9] P. Puspitasari, T. Dewi Izzatus, M. Achyarsyah, B. Bandanajaya, and D. Puspitasari, "Multistage artificial aging optimization for tensile properties of Duralium using Response Surface Method (RSM)," 2018, doi: 10.1051/mateconf/201820400007.
- [10] Sugiyono, *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. 2015.
- [11] M. Prabhakaran, D. Madan, C. Sivakandhan, K. Anandan, and S. Marichamy, "Parametric effect and taguchi optimization of cryogenic treatment of OHNS steel," *Mater. Today Proc.*, no. xxxx, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.09.269.
- [12] M. Stoicănescu, M. Smeadă, V. Geamăn, and I. Radomir, "The Influence of Work Parameters about the Heat Treatment Applied to AlCu4Mg1,5Mn - Aluminum Alloy," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 62, pp. 886–890, 2012, doi: 10.1016/j.sbspro.2012.09.149.
- [13] M. Chacko and J. Nayak, "Aging Behaviour of 6061 Al-15 vol% SiC Composite in T4 and T6 Treatments," *Int. J. Chem. Mol. Nucl. Mater. Metall. Eng.*, vol. 8, no. 3, pp. 195–198, 2014.
- [14] I. P. Wardani *et al.*, "Pengaruh Natural Aging Sebelum Proses Artificial aging Terhadap Sifat Mekanik Aluminium 6061," in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan VIII 2020*, 2022, pp. 109–114.
- [15] D. H. Herring, "Overaging," *Industrial Heating*, 2019.
<https://www.industrialheating.com/articles/94773-overaging>.