



Analisis Variasi Temperatur *Artificial aging* terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik pada Aluminium 6061 T6

Fauzi Widyawati^{1*}, Muhammad Miftah Solahudin², Syamsul Hidayat³

¹²Program Studi Teknik Metalurgi, Fakultas Teknologi Lingkungan dan Mineral, Universitas Teknologi Sumbawa, Sumbawa, Indonesia.

³Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknologi Lingkungan dan Mineral, Universitas Teknologi Sumbawa, Sumbawa, Indonesia.

*Corresponding email: fauzi.widyawati@uts.ac.id

Received: 29/October/2023

Accepted: 15/May/2024

Revised: 24/April/2024

Published: 30/June/2024

To cite this article:

Widyawati, F., Solahudin, M.M., & Hidayat, S. (2024). Analisis Variasi Temperatur *Artificial aging* terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik pada Aluminium 6061 T6. *SPECTA Journal of Technology*, 8(1), 12-21. [10.35718/specta.v8i1.1016](https://doi.org/10.35718/specta.v8i1.1016)

Abstract

Aluminum alloy 6061 series has been used extensively in the manufacturing industry. This aluminum material was chosen because it has many advantages. The level of superiority of aluminum can be seen in terms of good machining ability, perfect surface finish, good level of corrosion resistance, and high strength. In this research, the samples used 6061 series aluminum alloy, and an *artificial aging* process was carried out with temperature variations of 150°C, 175°C, 200°C, and a holding time of 8 hours. Following this, measurements were performed for hardness, impact, and microstructural observations. The research shows that the mechanical properties of the alloy after the *artificial aging* process tend to decrease as temperature variations increase, for the hardness value obtained at 150°C is 57.34 HRB, 175°C is 55.42 HRB, 200°C is 46.12 HRB. For the impact value, the optimal value was obtained at a temperature of 150°C with a value of 41.4 J/mm². When the microstructure was examined, it was discovered that each specimen's AlMg₂Si compound was the consequence of the *artificial aging* process.

Keywords: Aluminium 6061, *Artificial aging*, Impact Testing, AlMg₂Si, Age Hardening.

Abstrak

Penggunaan paduan aluminium seri 6061 dalam dunia industri sudah sangat banyak digunakan. Pemilihan bahan aluminium ini karena banyak memiliki keunggulan, tingkat keunggulan dari aluminium dapat dilihat dari sisi kemampuan permesinan yang baik, penyelesaian permukaan sempurna, tingkat ketahanan terhadap korosi yang baik dan kekuatan yang tinggi. Pada penelitian ini sampel menggunakan paduan aluminium seri 6061 dan dilakukan proses *artificial aging* dengan variasi temperatur 150°C, 175°C, 200°C dan waktu tahan 8 jam. Lalu dilakukan pengujian kekerasan, uji impact, dan mikrostruktur. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sifat mekanik dari paduan setelah proses *artificial aging* cenderung menurun seiring bertambah variasi suhu, untuk nilai kekerasan yang didapat pada 150°C sebesar 57,34 HRB, 175°C sebesar 55,42 HRB, 200°C sebesar 46,12 HRB. Untuk harga impact didapat harga optimal pada suhu 150°C dengan nilai 41,4 J/mm. Pada pengamatan mikrostruktur didapat senyawa yang terjadi hasil proses *artificial aging* pada setiap spesimen didapat fasa AlMg₂Si.

Kata Kunci: Aluminium 6061, Artificial aging, Uji Impak, AlMg₂Si, Age Hardening.

1. Pendahuluan

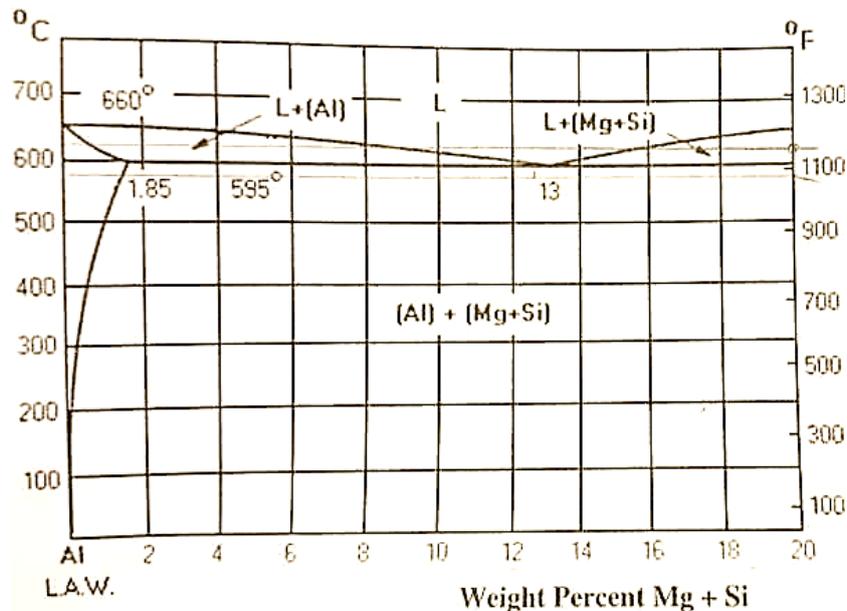
Aluminium merupakan salah satu unsur yang memiliki banyak peran, baik dalam lingkup rumah tangga maupun lingkup industri. Pemilihan bahan aluminium ini karena banyak memiliki keunggulan, menurut (Zuhaimi and Husaini 2006), tingkat keunggulan dari aluminium ini dapat dilihat dari sisi kemampuan permesinan yang baik, penyelesaian permukaan sempurna, kekuatan yang tinggi, dan tingkat ketahanan terhadap korosi yang baik. Namun unsur ini harus dipadukan dengan beberapa unsur dan dilakukan beberapa perlakuan untuk mendapatkan sifat mekanis yang diinginkan. Salah satu paduan dari aluminium adalah Al- Mg₂Si yang dinamakan seri Aluminium 6061.

Aluminium paduan Al-Si-Mg yang komposisi dasarnya (*base alloy*) yaitu Si = 0,4-0,8%, Mg = 0,8%-1,2%, Fe = 0,7%, dan beberapa unsur penambah lainnya. Keunggulan yang dimiliki oleh paduan Al 6061, yaitu dari bobot yang ringan dibandingkan dengan baja pada umumnya, dalam proses pengelasan yang baik dan harga yang murah. Namun, paduan Aluminium seri 6061 (Al 6061) memiliki kekurangan pada sifat mekanik, baik dari sifat kekerasan maupun sifat tarik yang rendah.

Salah satu pengaplikasian material Al 6061 adalah untuk *dies* pada industri sepatu. Dalam pengaplikasiannya untuk *dies*, paduan Al 6061 harus memiliki karakteristik atau performa yang mampu untuk menunjang penggunaannya sebagai *dies*. sifat mekanik, baik tingkat kekerasan maupun sifat ketangguhan, dari paduan Al 6061 haruslah tinggi. Salah satu metode dalam mekanisme penguatan logam yaitu dengan membentuk senyawa baru dan mengubah struktur mikro pada paduan dengan proses perlakuan panas. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Djarmiko 2008), menunjukkan sifat mekanik paduan Al-Si-Mg meningkat akibat perubahan struktur mikro dengan penambahan suhu saat perlakuan panas T6. T6 adalah salah satu kode yang digunakan untuk proses perlakuan panas *solution heat*, yaitu *artificial aging* (pemanasan di atas temperatur ruang). Penelitian lain menyatakan bahwa akibat peningkatan temperatur *aging* mampu meningkatkan kekerasan paduan aluminium akibat terbentuknya senyawa kedua Mg₂Si dan Al₂FeSi (Alhamidi, Fitrullah, and Dewi 2016).

Seperti penelitian yang dilakukan oleh (Pratapa and Faisal 2009) mengemukakan cara meningkatkan sifat mekanik Al 6061 yaitu dengan metode *artificial aging* dan memvariasikan waktu tahan yang berbeda yaitu 1,7,11, dan 24 jam pada suhu 180°C. Hasil dari penelitian ini menunjukkan peningkatan kekerasan pada paduan Al 6061 T6 dengan peningkatan maksimal hingga 38,21% pada waktu tahan selama 11 jam dan turun pada waktu tahan 24 jam.

Selain meningkatkan kekerasan, proses perlakuan panas pada paduan aluminium seri 6061 T6 ini dapat meningkatkan sifat mekanik yaitu kekuatan impak, seperti yang penelitian yang dilakukan oleh (Sidik 2019) menyatakan bahwa proses *aging* dapat mempengaruhi sifat mekanik aluminium. Kekerasan maksimal, nilai kekuatan tarik maksimum dan nilai impact tertinggi dicapai pada saat *aging* suhu 175°C dengan nilai kekerasan yaitu 31,66 HRB, 231,67 MPA dan 0,0290 Kg.m/mm².



Gambar 1: Diagram Fasa Aluminium Paduan Al-Mg-Si
Sumber: (Muttahar et al. 2019)

Diagram fasa aluminium paduan $AlMg_2Si$ ditunjukkan pada **Gambar 1** yang menunjukkan kelarutan senyawa Mg_2Si terhadap larutan Aluminium dari temperatur didih (*Liquid*) hingga temperatur rendah (*Solid*). *Age hardening* (Penuaan keras) adalah salah satu perlakuan panas yang banyak digunakan untuk meningkatkan kekerasan dan kekuatan paduan Aluminium. *Age hardening* berlangsung dalam tiga tahapan perlakuan panas pelarutan, yaitu tahap *Solution Heat Treatment*, pendinginan cepat (*Quenching*), dan penuaan (*Aging*).

Tahap awal dalam proses *age hardening* adalah *solution heat treatment* (Perlakuan panas pelarutan). *Solution heat treatment* dilakukan dalam *furnace* pada temperatur 500°C-560°C dan waktu penahanan sesuai ukuran benda kerja. Tujuan pemanasan di tahap awal yaitu untuk menghasilkan larutan padat lewat jenuh (*Super Saturated Solid Solution* (α)) yang mendekati homogen (Majanasastra 2015; Saputro 2008).

Setelah didapatkan *Super Saturated Solid Solution* (α) maka dilakukan proses *aging* (penuaan). Pada proses *aging* ini dibedakan menjadi dua jenis, yaitu *natural aging* (penuaan alami) dan *artificial aging* (Penuaan buatan). Tujuan *artificial aging* yaitu untuk mengeraskan paduan Aluminium dengan cara dipanaskan pada kondisi panas, yaitu antara temperatur 100°C-200°C dengan waktu penahanan antara 1 dan 24 jam. Zona [GP1] terbentuk saat pemanasan temperatur *artificial aging* mencapai 100°C. Pada zona [GP1] terjadi pengerasan larutan padat lewat jenuh yang biasa disebut pengerasan tahap pertama.

Zona [GP2] atau fasa Θ'' terjadi pada temperatur *artificial aging* mencapai 130°C dan tingkat kekerasan akan optimal jika waktu penahanan pada temperatur tersebut tercapai, pengerasan ini disebut pengerasan tahap kedua. Proses *artificial aging* tahap kedua ini akan berhenti ditandai dengan terbentuk fasa antara yang halus (presipitasi Θ''), karena jika pemanasan melewati zona [GP2] maka material akan kembali menurun kekerasannya (Muttahar, Putra, and Frista 2019; Saputro 2008).

Fasa Θ' yaitu kondisi saat pemanasan paduan aluminium ditingkatkan temperatur *artificial aging* atau memperlama waktu *aging* namun dengan temperatur yang tetap maka akan terbentuk fasa antara atau fasa Θ' . Munculnya fasa Θ' sudah masuk ke kategori *overaging* akibat waktu penahanan yang semakin lama (gambar 1). Apabila temperatur *aging* terus ditingkatkan atau waktu penahanan semakin lama maka fasa Θ' akan berubah menjadi fasa Θ dan dari fasa Θ' sampai fasa Θ maka akan semakin menurunkan kekuatan atau kekerasan dari paduan aluminium. Lamanya waktu penahanan atau semakin meningkatnya temperatur penahanan saat proses *artificial aging* akan mempengaruhi perubahan struktur atau fasa paduan Aluminium. Hal ini terjadi akibat terjadi difusi atom penyusun yang membuat semakin

bertambah ukuran fasa paduan aluminium seiring bertambahnya waktu penahanan atau temperatur *aging* yang meningkat.

Tahapan paling kritis pada proses perlakuan panas paduan aluminium yaitu tahap pendinginan (*Quenching*). Pada tahap ini, logam yang sedang dipanaskan di *furnace*, secara tiba-tiba didinginkan dengan cara dicelupkan dan diagitasi ke media pendingin air. Setelah tahap *quenching* akan menghasilkan larutan padat *super saturated solid solution* yaitu fasa metastabil pada temperatur ruang.

Berdasarkan referensi tersebut, maka penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur *artificial aging* pada material Aluminium seri 6061 T6 terhadap perubahan struktur mikro dan sifat mekanik yaitu kekerasan dan kekuatan impak. Dalam Perlakuan *artificial aging*, material akan didinginkan dengan menggunakan media pendingin air dan memvariasikan temperatur *artificial aging* untuk mendapatkan hasil yang optimum untuk diaplikasikan sebagai *dies* pada industri manufaktur sepatu.

2. Metode

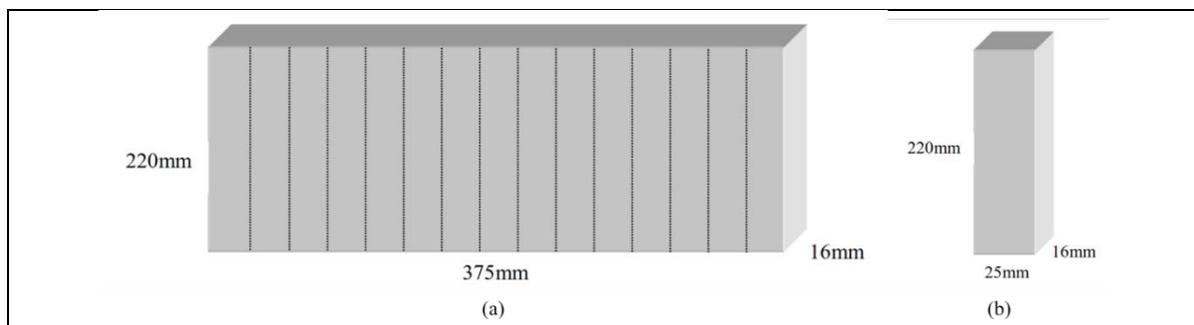
2.1. Material

Spesimen logam yang digunakan dalam penelitian ini adalah pelat aluminium seri 6061 yang ada di pasaran. Dalam penelitian ini, akan dilakukan pengkorosian (*etching*) dalam pengamatan mikrostruktur dengan media etsa *Kellers Etchant*. *Electric furnace* digunakan sebagai pemanas dalam proses *artificial aging*. Pengujian sifat mekanik yaitu uji kekerasan menggunakan *Universal Hardness Test Rockwell Type B* dan untuk uji impak menggunakan mesin uji impak *charpy*. Sebelum pengamatan mikro struktur, dilakukan pengampelasan dari mesh paling kecil 120 hingga mesh 2000 dan diamati dengan *optical microscop optic olympus*.

2.2. Sampel penelitian

Material plat aluminium seri Al 6061 T6 yang didapat dari penyedia bahan logam PT. Mita Jaya Mandiri dengan ukuran 375 mm (*p*) x 220 mm (*l*) x 16 mm (*t*) yang dapat dilihat di **Gambar 2(a)** selanjutnya sampel dipotong menjadi 12 keping bagian dengan ukuran 200 mm (*p*) x 25mm (*l*) x 16 mm (*t*) yang dapat dilihat di **Gambar 2(b)**. Setelah sampel dipotong dengan ukuran yang sesuai selanjutnya akan dilanjutkan ke proses *heat treatment*.

Sampel yang sudah dipotong-potong menjadi 12 keping kemudian dibagi menjadi empat variasi penelitian dengan jumlah sampel tiap variasi sebanyak 3 keping. Sampel terdiri dari sampel tanpa perlakuan *aging*, dan dengan variasi temperatur *aging* terdiri dari tiga variasi temperatur *aging*, yaitu 150°C, 175°C, dan 200°C.



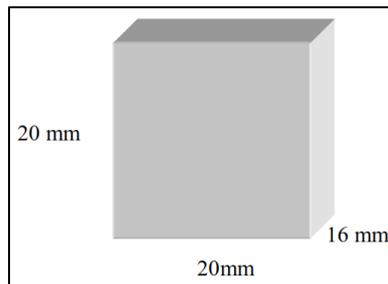
Gambar 2: (a) Pelat Aluminium Sebelum Dipotong, (b) Pelat Aluminium setelah dipotong menjadi 12 Bagian

2.3. Perlakuan panas Artificial aging

Proses *artificial aging* dilakukan dengan memanaskan sampel pada tungku pemanas (*electric furnace*) dengan variasi temperatur pemanasan yaitu 150°C, 175°C, dan 200°C dengan masing-masing waktu pemanasan yaitu 8 jam. Setelah dipanaskan dalam tungku pemanas, sampel dikeluarkan dan langsung di didinginkan secara cepat (*quenching*) pada media pendingin air serta diagitasi agar proses transfer panas antara sampel dan media pendingin merata.

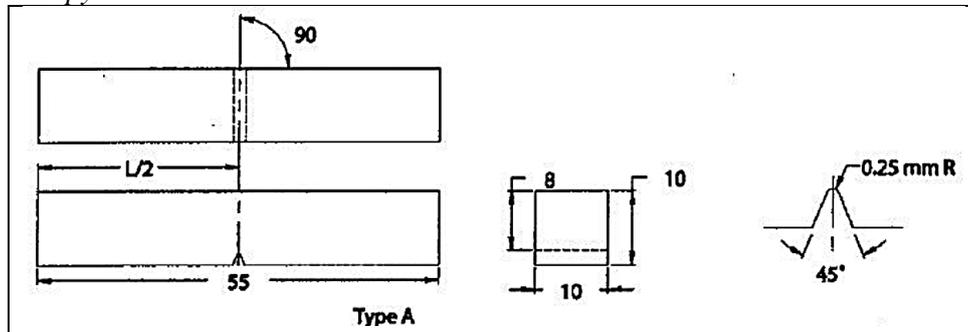
2.4. Karakterisasi sifat mekanik

Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik dalam penelitian ini yaitu pengujian kekerasan dan pengujian impak. Sampel yang dilakukan pengujian sifat mekanik yaitu sampel tanpa dan dengan perlakuan panas *artificial aging*. Pengujian kekerasan pada penelitian ini menggunakan alat uji *Universal Hardness Test Rockwell Type B* (HRB) merek Future Tech. dengan mengambil 5 titik indentasi pada masing-masing variasi sampel pada sampel berdimensi seperti **Gambar 3**.



Gambar 3: Dimensi Sampel Uji Keras *Rockwell Type B* (HRB)
Sumber : ASTM E23-12C

Pengujian impak pada penelitian ini menggunakan aluminium paduan Al 6061 T6 yang tanpa dan dengan perlakuan panas *artificial aging*. Dimensi sampel uji impak dilakukan dengan ukuran sampel merujuk Standar ASTM E23-12C yang divisualisasikan pada **Gambar 4** berikut dan di uji dengan jenis uji impak *Charpy*.



Gambar 4: Sketsa gambar spesimen uji impak *Charpy*
Sumber : ASTM E23-12C

2.5. Pengamatan mikro struktur

Pengamatan mikro struktur untuk mengetahui pengaruh *artificial aging* terhadap struktur dan senyawa yang terbentuk pada Aluminium 6061 T6 dengan variasi temperatur pemanasan dan sampel tanpa *artificial aging*. Untuk dapat melihat struktur mikro pada Al 6061 T6, permukaan sampel dilakukan pengkorosian (etsa) menggunakan larutan etsa *Kellers Etchant*, dengan komposisi dari *Kellers Etchant* ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1: Larutan Etsa *Kellers Etchant*

	Larutan	Konsentrasi
HF	Hydrofluoric Acid	1%
HCl	Hydrochloric Acid	1,5%
HNO ₃	Nitric Acid	2,5%

H ₂ O	Distilled water	menyesuaikan
------------------	-----------------	--------------

Sumber : ASTM E407-3 Kellers Etchant

Proses pengamatan struktur mikro pada sampel paduan aluminium 6061 T6 tanpa dan dengan perlakuan *artificial aging* dilakukan dengan alat *Optical Microscope* merek Olympus.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Identifikasi paduan Aluminium 6061

Pada penelitian ini sampel yang digunakan adalah pelat aluminium yang di beli di toko penyedia bahan logam P.T. Mita Jaya Mandiri yang beralamat Jl. Harum Manis No. 3, Mangga Besar 1, Glodok, Jakarta Barat. Pada **Tabel 2.** menunjukkan komposisi penyusun pada paduan aluminium seri 6061 dari PT. Mita Jaya Mandiri berdasarkan sertifikat pada produk tersebut dan dibandingkan dengan standar yang ada untuk memastikan sampel yang digunakan sesuai dengan Standar.

Tabel 2: Komposisi Kimia penyusun Aluminium Seri 6061

UNSUR	KOMPOSISI (wt%)	
	Standard ASM Vol 2.	Sertifikat pada sampel
Si	0,40-0,80	0,64
Fe	0,7 (max)	0,2
Cu	0,15-0,40	0,19
Mn	0,15 (max)	0,06
Mg	0,80-1,20	1,0
Cr	0,04-0,35	0,15
Zn	0,25 (max)	0,05
Ti	0,15 (max)	0,07
Al	<i>balance</i>	<i>balance</i>

Berdasarkan **Tabel 2.** tersebut menunjukkan bahwa material yang digunakan dalam penelitian ini dari PT. Mita Jaya Mandiri sesuai dengan standar ASM Vol. 2 *Properties and Selection Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials.*

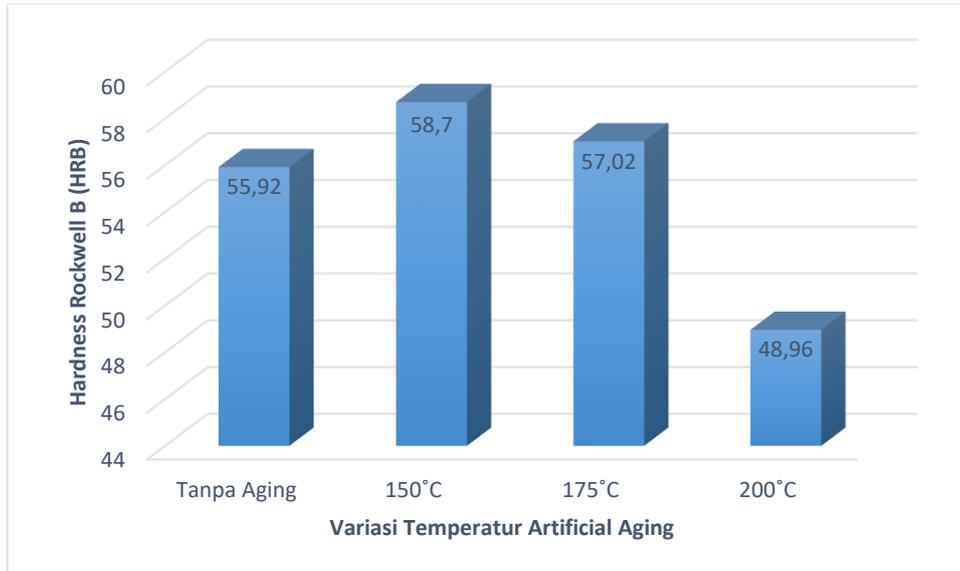
3.2. Pengukuran kekerasan Rockwell Type B

Pengujian kekerasan ini dilakukan menggunakan metode pengujian kekerasan Rockwell B pada sampel paduan aluminium seri 6061 yang bertujuan untuk mengetahui tingkat kekerasan pada sampel yang tanpa dan dengan dilakukan *artificial aging*. Pada **Tabel 3** dapat dilihat hasil kekerasan yang berbeda di setiap variasi temperatur *artificial aging* dengan masing-masing sampel sebanyak lima indentasi.

Tabel 3: Tabel Hasil Pengujian Kekerasan Rockwell Type B (HRB)

Indentasi ke-	Variasi Temperatur <i>Artificial aging</i>			
	Tanpa pemanasan	150°C	175°C	200°C
1	47,9	58,7	56,1	48,0
2	57,0	58,8	56,9	48,3
3	57,8	59,9	57,1	48,6
4	58,1	60,2	57,3	49,7
5	58,8	60,4	57,7	50,2
Rata-rata	55,92	58,7	57,02	48,96

Berdasarkan **Tabel 3** di atas kemudian dibuatkan grafik hubungan antara variasi sampel berdasarkan temperatur *Artificial aging* terhadap kekerasan sampel.



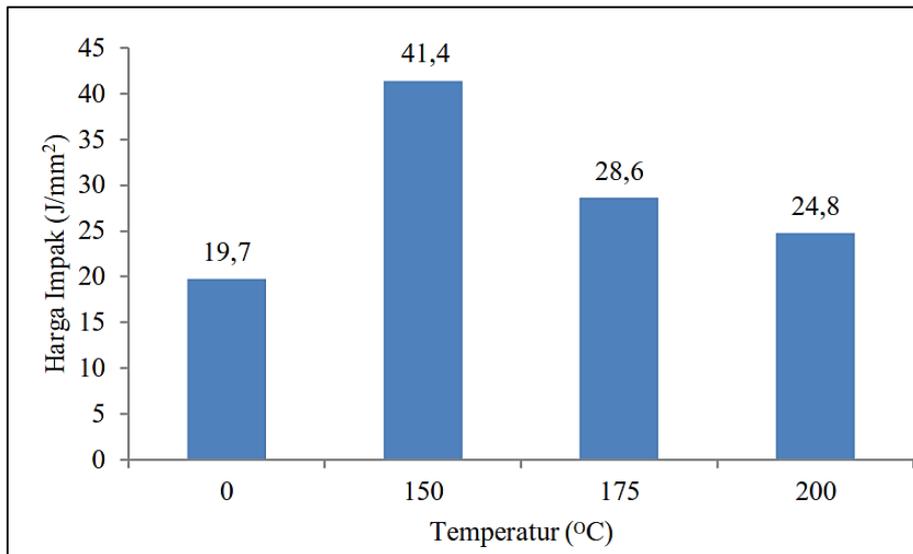
Gambar 5: Grafik hasil uji kekerasan (HRB) hubungan antara variasi temperatur *Artificial aging* terhadap kekerasan sampel.

Berdasarkan **Gambar 5** menunjukkan bahwa nilai kekerasan pada paduan aluminium seri 6061 T6 mengalami penurunan seiring meningkatnya temperatur pemanasan. Pada nilai awal sebelum dilakukan proses *artificial aging* sebesar 55,92 HRB. Nilai rata-rata kekerasan yang didapatkan pada paduan aluminium seri 6061 T6 setelah proses *artificial aging* dengan variasi suhu 150°C, 175°C, 200°C dengan waktu penahanan 8 jam menurun secara berturut-turut yaitu 58,7 HRB, 57,02 HRB, 48,96 HRB.

Dari hasil pengujian kekerasan di atas proses peningkatan temperatur pada proses *artificial aging* menyebabkan penurunan kekerasan. Menurut (Saputro 2008), nilai kekerasan hasil proses perlakuan panas di temperatur 175°C dan 200°C lebih rendah dibandingkan dengan nilai kekerasan tanpa perlakuan panas, hal ini disebabkan karena dengan semakin tingginya temperatur *artificial aging* terjadi perubahan fasa yang terbentuk di setiap kenaikan temperaturnya hal inipun diperkuat dengan teori yang disampaikan dalam buku (Callister and Rethwisch 2013) yang menyebutkan bahwa seiring meningkatnya waktu penahanan atau waktu pemanasan (*overaging*) maka akan menurunkan kekuatan atau kekerasan akibat terjadinya difusi atom menuju kesetimbangan selama proses *artificial aging*.

3.3. Pengukuran kekuatan Impak

Pengujian impak ini dilakukan menggunakan metode pengujian impak berjenis charpy pada sampel paduan aluminium seri 6061 yang bertujuan mengetahui tingkat ketangguhan pada sampel yang belum dilakukan *age treatment* dengan sampel yang sudah dilakukan *age treatment*. Pada hasil pengujian hasil proses uji impak pada paduan aluminium seri 6061 dengan proses *artificial aging* mendapatkan hasil sebagai berikut yang ditunjukkan pada **Gambar 6**.

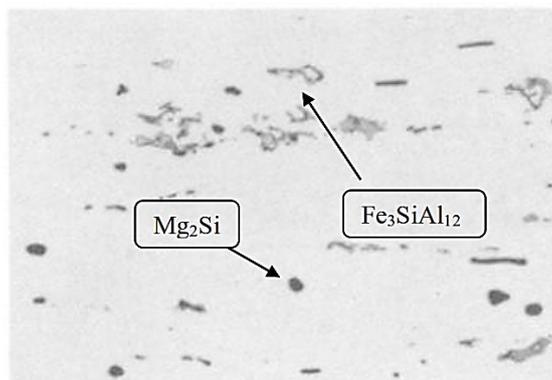


Gambar 6: Grafik hasil uji impact hubungan antara pengaruh variasi temperatur *artificial aging* dan harga impact

Berdasarkan **Gambar 6** spesimen tanpa perlakuan *age hardening* memiliki harga impact 19,7 J/mm². Harga impact meningkat sangat drastis 110% pada spesimen dengan *artificial aging* di temperatur 150°C dengan harga impact sebesar 41,4 J/mm². Peningkatan terjadi selaras dengan meningkatnya kekerasan aluminium seri 6061 T6. Namun, terjadi penurunan harga impact yang selaras dengan kekerasan yang semakin menurun. Seiring meningkatnya temperatur *aging*, dari temperatur 175°C harga impact menurun menjadi 28,6 J/mm², dan pada temperatur 200°C harga impact sebesar 24,8J/mm². Penyebab penurunan harga impact pada sampel 175°C dan 200°C dikibatkan seiring meningkatnya temperatur pada proses *aging* terjadi *overaging*.

3.4. Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan mikrostruktur pada **Gambar 7** merupakan referensi hasil mikrostruktur pada paduan aluminium seri 6061 (Callister and Rethwisch 2013) yang menjadi rujukan dalam mendeskripsikan fenomena struktur mikro pada penelitian ini. Pengamatan mikro struktur dalam referensi tersebut dilakukan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 250x, pada paduan aluminium seri 6061 plat dengan ketebalan 38 mm (1,5 in) dapat dilihat adanya partikel berwarna abu – abu merupakan senyawa Fe₃SiAl₁₂ dan berwarna hitam adalah senyawa Mg₂Si (Callister and Rethwisch 2013).

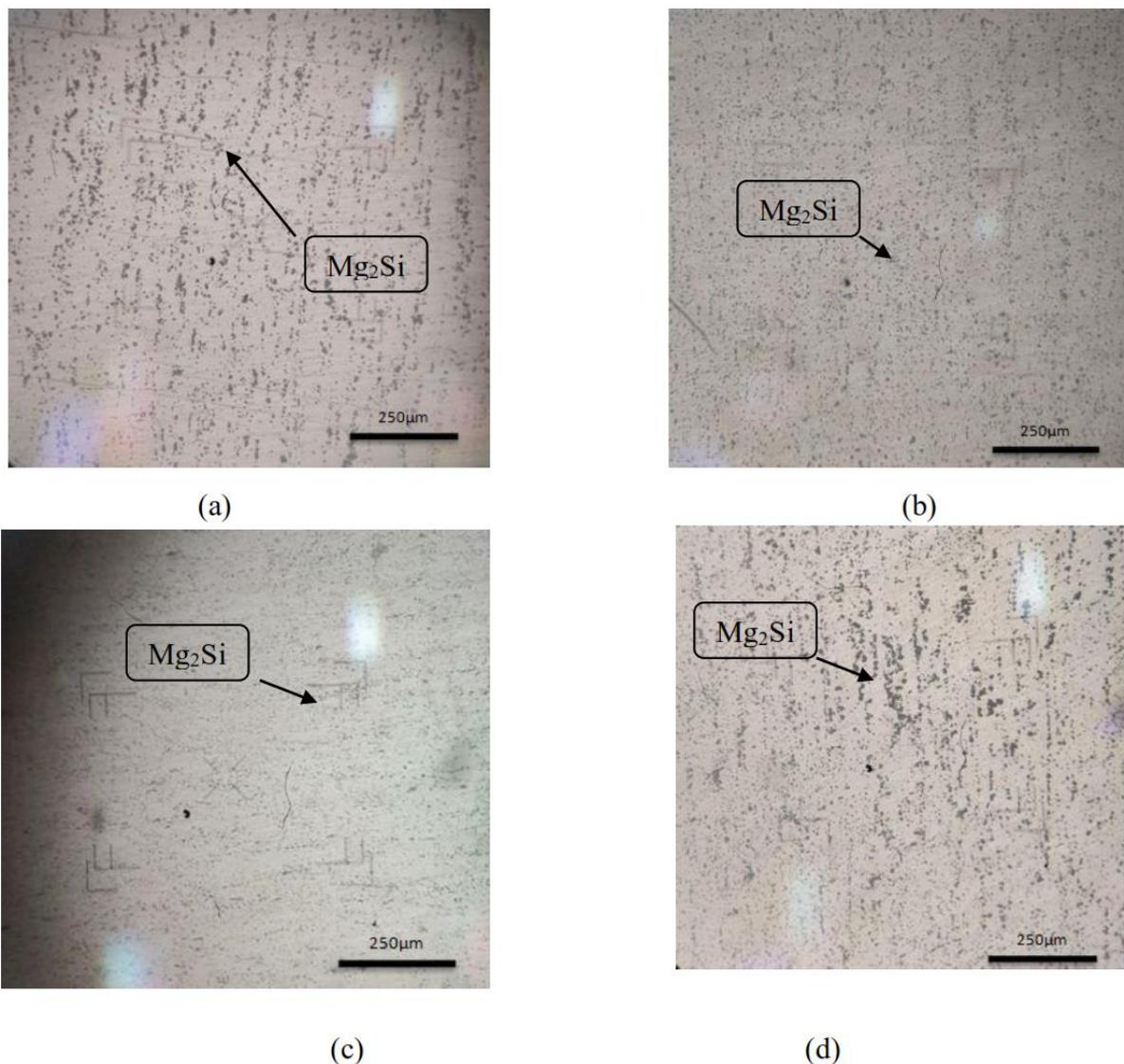


Gambar 7: Mikrostruktur Paduan Aluminium Paduan 6061 T6 dan Senyawa yang Terbentuk
Sumber: (Callister and Rethwisch 2013)

Gambar 8 (a) merupakan sampel awal yang dibeli dari psaran dan menunjukkan hasil pengamatan mikrostrutur yang merupakan sampel tanpa dilakukan proses *artificial aging* di penelitian ini memeperlihatkan adanya senyawa Mg₂Si yang berwarna kehitaman dan memiliki butiran lebih kasar dibandingkan dengan hasil *artificial aging* yang dilakukan dalam penelitian ini. Senyawa Mg₂Si tanpa

proses *aging* akan tetap terbentuk karena pada dasarnya material Aluminium 6061 merupakan Aluminium Paduan dengan penambahan unsur kimia Mg dan Si, sehingga saat proses pembuatan material ini pun akan tetap terbentuk senyawa tersebut. Namun bentuk dan ukuran senyawa Mg_2Si belum homogen. Proses artificial aging ini bertujuan juga untuk mengubah senyawa Mg_2Si menjadi senyawa yang lebih stabil dan mempengaruhi sifat mekanik material.

Pada hasil pengamatan mikrostruktur sampel dengan proses *artificial aging* pada temperatur 150 °C dan 175°C terbentuk senyawa yang halus dan homogen (**Gambar 8(b) dan 8(c)**). Namun proses *artificial aging* pada temperatur 200°C mengalami perubahan bentuk butir menjadi lebih besar dan berkumpul di beberapa titik **Gambar 8(d)**. Hal ini diindikasikan akibat temperatur yang semakin tinggi yang disebut dengan *overaging* mengakibatkan terjadi difusi ke area senyawa terdekat. Selaras dengan penelitian dari (Wibowo and Nurato 2018) semakin tinggi temperatur pada temperatur *aging*, maka kekerasan yang semakin rendah. Hal ini dapat terjadi oleh konsentrasi butiran-butiran dari senyawa paduan aluminium. Semakin kasar butiran-butiran senyawa, maka kekerasan atau kekuatan akan menurun, sedangkan dalam endapan semakin halus maka material akan semakin keras.



Gambar 8: Hasil Pengamatan Mikro Struktur (a) Tanpa *Artificial Aging*, (b) *Artificial aging* Temperatur 150°C, (c) *Artificial aging* Temperatur 175°C, (d) *Artificial aging* Temperatur 200°C

Pada sampel 175°C dimana butiran yang dihasilkan lebih halus dibandingkan dengan dengan sampel dengan variasi 150°C dan 200°C, namun pada sampel 175°C memiliki tingkat kekerasan lebih rendah dibandingkan dengan sampel 150°C hal ini diakibatkan karena pada proses pengujian sampel dimana butiran senyawa AlMg₂Si dengan bentuk yang lebih halus dibanding sampel lainnya. Pembentukan karbida kasar (*primary carbide*) dengan distribusi yang tidak seragam memiliki tingkat kekerasan tinggi, namun berbanding terbalik dengan pendistribusian dalam karbida yang lebih merata memiliki kekerasan yang lebih rendah (Ibrahim 2019).

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa data yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Paduan aluminium seri 6061 setelah dilakukan proses *artificial aging* dengan variasi temperatur 150°C, 175°C, 200°C dengan waktu tahan selama 8 jam tingkat kekerasan menurun secara berturut turut yaitu 58,70 HRB, 57,02 HRB, 48,96 HRB.
- Artificial aging* pada paduan aluminium seri 6061 T6 dengan variasi 150°C, 175°C, 200°C dengan waktu tahan selama 8 jam mendapatkan harga impact yang optimum pada suhu 150°C dengan mendapatkan harga sebesar 41,4 J/mm².
- Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa pada temperatur 150°C senyawa Mg₂Si di distribusikan secara merata dan ukuran butir yang kecil dimana hal tersebut membuat tingkat kekerasan menjadi lebih optimal dibandingkan dengan hasil variasi temperatur 175°C dan 200°C.
- Pada suhu 200°C terjadi penurunan kekerasan diakibatkannya proses *overaging*, dimana semakin tinggi suhu *aging* maka tingkat kekerasan pada paduan aluminium akan cenderung menurun selaras dengan nilai impact yang cenderung menurun.

Acknowledgments

Ucapan terima kasih kepada seuruh Pihak Jurusan Teknik Pengecoran Logam, Politeknik Manufaktur Negeri Bandung yang telah memberikan kesempatan kepada peneliti untuk menggunakan fasilitas demi kelancaran penelitian.

Referensi

- Alhamidi, Ali, Muhammad Fitrullah, and Mirnawati Dewi. 2016. "Evolusi Mikrostruktur Paduan Al 6061 Hasil Proses Canai Dingin Terhadap Sifat Mekanik." *Teknika: Jurnal Sains Dan Teknologi* 12(1):25. doi: 10.36055/tjst.v12i1.6613.
- Callister, D. William, and G. David Rethwisch. 2013. *Materials Science and Engineering*. Vol. 9.
- Djatmiko, Eddy. 2008. "pengaruh perlakuan panas t6 terhadap kekerasan dan strukturmikro pada paduan Al-Si-Mg." *Jurnal Sains Materi Indonesia* 78–83.
- Ibrahim, Setiani. 2019. "Kajian Perbandingan Komposisi Kimia, Sifat Mekanik Dan Ketahanan Aus Terhadap Baja Perkakas AISI D2 Pada Aplikasi DIES." *Jurnal Vokasi Teknologi Industri (Jvti)* 1(1). doi: 10.36870/jvti.v1i1.42.
- Majanasastra, R. Bagus Suryasa. 2015. "Pengaruh Variable Waktu (*Aging Heat Treatment*) Terhadap Peningkatan Kekerasan Permukaan Dan Struktur Mikro." *Ilmiah Teknik Mesin* 3(2):87–101.
- Muttahar, Moch Iqbal Zaelana, Purbaja Adi Putra, and Greida Frista. 2019. "Pengaruh Variasi Waktu Holding Proses *Artificial Aging* Terhadap Kekuatan Tarik Dan Ketahanan Impak Paduan Al-Si." *Metal Indonesia* 41(2):69. doi: 10.32423/jmi.2019.v41.71-76.
- Pratapa, Suminar, and Heny Faisal. 2009. "Pengaruh Perlakuan Panas *Aging* Terhadap Perilaku Korosi Paduan Aluminium Seri 6061 Dalam."
- Saputro, Herman. 2008. "Pengaruh Temperatur Dan Waktu Penahanan *Artificial Aging* Pada Proses *Age Hardening* Terhadap Tingkat Kekerasan Logam Paduan Aluminium." *JIPTEK* 1(1):1–6.
- Sidik, Jaelani. 2019. "Pengaruh Variasi Temperatur Perlakuan Panas *Aging* Terhadap Sifat Mekanik Aluminium Aa 6061." *T R a K Si* 19(1):1. doi: 10.26714/traksi.19.1.2019.1-8.
- Wibowo, Nandar Saliro, and Nurato. 2018. "Analisis Pengaruh Ketidakstabilan Temperatur Terhadap Hasil Kekerasan Meterial Dari Proses Heat Treatment Piston." *Jurnal Teknik Mesin Mercubuana* 7(3).
- Zuhaimi, and Husaini. 2006. "Perilaku Retak Aluminium Paduan A6061-T6 Pada Pembebanan Mixed Mode." *Jurnal Teknik Mesin* 8(1):26–32.