



MEKANIKA - JURNAL TEKNIK MESIN

Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Volume 9 No. 2 (2026)

ISSN: 2460-3384 (p); 2686-3693 (e)

ANALISIS DISTRIBUSI DAN PRESIPITAT YANG TERBENTUK PADA CORAN *REMelting* AA 6061 DENGAN PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DAN WAKTU PENUAAAN (*AGING*) PERLAKUAN PANAS T6

Muizur Rizal Ubaidillah¹, Harjo Seputro²

¹ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya
Jalan Semolowaru No. 45 Surabaya 60118, Tel. 031-5931800, Indonesia
email: muizur6@gmail.com

ABSTRAK

Paduan aluminium AA 6061 banyak digunakan dalam industri karena memiliki kombinasi sifat mekanik yang baik, ketahanan korosi yang tinggi, serta kemudahan dalam proses manufaktur. Namun, proses *remelting* dapat menyebabkan perubahan strukturmikro dan penurunan sifat mekanik material. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi temperatur dan waktu *artificial aging* pada perlakuan panas T6 terhadap nilai kekerasan dan strukturmikro AA 6061 hasil *remelting*. Penelitian diawali dengan proses *remelting* material AA 6061, dilanjutkan dengan perlakuan panas T6 yang meliputi *solution treatment* pada temperatur 540°C selama 1 jam, *quenching* menggunakan media air, dan *artificial aging* pada temperatur 165°C, 185°C, dan 205°C dengan variasi waktu penahanan 1,5 jam, 2,5 jam, dan 3,5 jam. Pengujian yang dilakukan meliputi uji kekerasan Brinell, pengamatan mikrostruktur menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM), dan analisis komposisi unsur menggunakan *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDX). Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi temperatur dan waktu *artificial aging* berpengaruh terhadap nilai kekerasan dan distribusi partikel pada matriks aluminium. Nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada sampel dengan temperatur *aging* 185°C dan waktu penahanan 2,5 jam sebesar 68,15 BHN, sedangkan nilai kekerasan terendah diperoleh pada sampel dengan temperatur *aging* 165°C dan waktu penahanan 1,5 jam sebesar 45,25 BHN. Hasil pengamatan SEM menunjukkan bahwa distribusi partikel yang lebih homogen cenderung menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi. Analisis EDX menunjukkan keberadaan unsur Mg dan Si pada area pengamatan yang mengindikasikan potensi terbentuknya presipitat berbasis Mg₂Si. Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa variasi temperatur dan waktu *artificial aging* pada perlakuan panas T6 memengaruhi distribusi partikel dan nilai kekerasan paduan aluminium AA 6061 hasil *remelting*. Kondisi *aging* optimum pada penelitian ini diperoleh pada temperatur 185°C dengan waktu penahanan 2,5 jam.

Kata kunci: AA6061, Perlakuan Panas T6, Aging, Presipitat, SEM–EDX, Kekerasan Brinell.

PENDAHULUAN

Paduan aluminium AA 6061 banyak digunakan pada bidang teknik karena memiliki sifat ringan, tahan korosi, serta dapat ditingkatkan sifat mekaniknya melalui perlakuan panas T6. Perlakuan ini mendorong pembentukan presipitat penguat β (Mg_2Si) yang lebih homogen sehingga meningkatkan kekuatan dan kekerasan material. Selain itu, proses *aging* mempengaruhi rekristalisasi matriks aluminium serta pembentukan presipitat berbentuk *plate* dan *needle morphology* yang berperan dalam meningkatkan sifat mekanik paduan aluminium (Guzmán-flores *et al.*, 2024). Pada material hasil *remelting*, proses peleburan ulang dapat mengubah struktur mikro berupa ukuran butir, distribusi unsur, dan distribusi presipitat sehingga memengaruhi respons material terhadap perlakuan panas T6, khususnya pembentukan presipitat Mg_2Si selama proses *aging* (Akhyar *et al.*, 2025).

Perlakuan panas T6 pada paduan AA 6061 dipengaruhi oleh variasi temperatur dan waktu *aging*. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa temperatur *aging* memengaruhi pembentukan presipitat dan nilai kekerasan material. Nilai kekerasan optimum dilaporkan diperoleh pada temperatur 150°C (Widyawati *et al.*, 2024), 190°C (Dan *et al.*, 2023), dan 175°C (Sidik, 2019), yang menunjukkan bahwa temperatur *aging* optimum dapat berbeda bergantung pada kondisi perlakuan panas yang digunakan. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa Penelitian lain dengan variasi temperatur dan waktu *aging* yang lebih singkat juga menunjukkan adanya pengaruh terhadap sifat mekanik material. Penelitian pada temperatur 120°C, 160°C, dan 200°C dengan waktu *aging* 30 menit, 60 menit, dan 90 menit menunjukkan bahwa perubahan temperatur dan waktu *aging* mempengaruhi peningkatan kekerasan serta struktur mikro material (Fernaldy *et al.*, 2021). Selain itu, penelitian perlakuan panas T6 pada aluminium 6061 dengan temperatur *aging* 190°C dan variasi waktu 1 jam, 3 jam, dan 5 jam menunjukkan bahwa proses *artificial aging* mampu meningkatkan kekerasan material (Rasyiid & Rasyid, 2024). Berdasarkan beberapa penelitian tersebut, variasi temperatur *aging* umumnya memiliki interval sekitar 25–30°C dan memberikan pengaruh terhadap distribusi presipitat serta nilai kekerasan material.

Berdasarkan hasil tersebut, penelitian ini menggunakan variasi temperatur *aging* 165°C, 185°C, dan 205°C serta waktu penahanan 1,5 jam, 2,5 jam, dan 3,5 jam untuk menganalisis pengaruhnya terhadap distribusi presipitat dan nilai kekerasan AA 6061 hasil *remelting*. Penelitian dilakukan melalui perlakuan panas T6 yang meliputi *solution heat treatment*, *quenching*, dan *aging* dengan variasi temperatur serta waktu penahanan. Proses ini memungkinkan diamatinya evolusi presipitat Mg_2Si secara sistematis. Analisis mikrostruktur dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscopy–Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* untuk melihat pola distribusi presipitat yang terbentuk pada masing-masing kondisi perlakuan panas. Selain itu, pengujian kekerasan dilakukan untuk mendukung analisis sifat mekanik material sebagai akibat dari perubahan strukturmikro yang terjadi. Berdasarkan dasar ilmiah tersebut, hipotesis penelitian ini adalah bahwa peningkatan temperatur dan waktu *aging* akan mempercepat kinetika presipitasi sehingga mempengaruhi penyebaran presipitat, serta nilai kekerasan dalam matriks aluminium. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi temperatur dan waktu *aging* terhadap distribusi presipitat serta nilai kekerasan pada paduan aluminium AA 6061 hasil *remelting*.

PROSEDUR EKSPERIMEN

Proses Re-melting AA 6061 dengan Tungku Induksi

Proses *re-melting* diawali dengan peleburan paduan aluminium AA 6061 dalam *crucible* pada temperatur 650–800°C. Logam cair kemudian dituangkan ke dalam cetakan dan didinginkan pada suhu ruang hingga membeku. Setelah dingin, coran dikeluarkan dari cetakan dengan hati-hati agar sampel tidak mengalami kerusakan.

Proses Pembuatan Sampel Uji (ASTM E10)

Preparasi sampel meliputi pemotongan menjadi ukuran $25 \times 20 \times 10$ mm, pembersihan menggunakan alkohol atau aseton, pengamplasan bertahap dengan kertas SiC hingga grit 1200, pemolesan menggunakan mesin MP-2B hingga diperoleh permukaan *mirror finish*, serta pembersihan dan pengeringan akhir untuk mencegah korosi.

Proses Perlakuan Panas T6

Perlakuan panas merupakan proses mengubah struktur mikro logam melalui pemanasan, penahanan, dan pendinginan untuk meningkatkan sifat mekanik. Pada perlakuan panas T6, parameter temperatur, waktu penahanan, dan laju pendinginan sangat menentukan hasil yang diperoleh (Saputro & Seputro, 2022). Proses diawali dengan *solution treatment* pada temperatur 540°C selama 1 jam, dilanjutkan *quenching* menggunakan media air untuk membentuk *Supersaturated Solid Solution* (SSSS), kemudian dilakukan *artificial aging* pada temperatur 165°C, 185°C, dan 205°C dengan pengendalian temperatur menggunakan termometer digital.

Proses Pengujian Kekerasan Brinell

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode *Brinell Hardness Test* mengacu pada standar ASTM E10 untuk mengetahui kekerasan sampel setelah perlakuan panas T6. Permukaan sampel dipersiapkan agar rata dan bersih, kemudian diuji menggunakan bola indentor berdiameter 5 mm dengan beban 125 kgf selama 10–15 detik. Diameter jejak indentasi diukur untuk menghitung nilai Kekerasan Brinell (HB). Pengujian dilakukan pada beberapa titik dan hasilnya dirata-ratakan untuk memperoleh nilai kekerasan setiap sampel.

Proses Pengujian Strukturmikro SEM-EDX

Preparasi pengujian SEM-EDX diawali dengan menyiapkan sampel dalam bentuk potongan kecil yang sesuai dengan *sample holder* serta memastikan permukaannya bersih tanpa perlakuan kimia lanjutan. Sampel kemudian ditempatkan pada *sample stage*, selanjutnya *chamber* ditutup dan divakum hingga mencapai kondisi operasi. Pengamatan dilakukan menggunakan mode *Secondary Electron* (SE) untuk menganalisis morfologi permukaan dan *Backscattered Electron* (BSE) untuk melihat kontras komposisi. Setelah fokus dan *working distance* diatur, citra SEM direkam untuk mengamati bentuk butir, topografi, dan tekstur permukaan. Analisis EDX kemudian dilakukan dengan merekam spektrum energi untuk mengidentifikasi unsur-unsur yang terdapat pada sampel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kodefikasi Sampel

Kode sampel yang digunakan pada pengujian kekerasan. Pemberian kode dilakukan untuk mempermudah identifikasi setiap sampel berdasarkan variasi temperatur *aging* dan waktu penahanan. Kode sampel tersebut digunakan pada seluruh tahapan pengujian dan analisis data penelitian.

- Kode sampel temperatur
 - A = 165°C
 - B = 185°C
 - C = 205°C
- Kode sampel waktu
 - 1 = 1.5 jam
 - 2 = 2.5 jam
 - 3 = 3.5 jam

Tabel 1. Kode Sampel Uji Kekerasan

Kodefikasi	Keterangan
A1	165°C , 1.5 jam
A2	165°C , 2.5 jam
A3	165°C , 3.5 jam
B1	185°C , 1.5 jam
B2	185°C , 2.5 jam
B3	185°C , 3.5 jam
C1	205°C , 1.5 jam
C2	205°C , 2.5 jam
C3	205°C , 3.5 jam

Hasil Uji Kekerasan Brinell

Hasil pengujian Kekerasan Brinell diperoleh dari tiga titik pengukuran pada setiap sampel, kemudian dirata-ratakan sebagai dasar analisis pengaruh variasi temperatur dan waktu *aging* pada coran *remelting* AA 6061.

- Contoh perhitungan Kekerasan Brinell (HB) kode A1 terdapat pada lampiran hasil uji kekerasan

Ket :

$$F = 125 \text{ Kgf}$$

$$D = 5 \text{ mm}$$

$$d = 1.629 \text{ mm}$$

$$\pi = 3.14$$

$$HB = \frac{2(125)}{\pi(5)(5 - \sqrt{5^2 - 1.629^2})} = 58.40 \text{ BHN}$$

- Contoh perhitungan rata rata nilai kekerasan Brinell (HB)

Titik 1 : 58.40 *BHN*

Titik 2 : 59.41 *BHN*

Titik 3 : 59.03 *BHN*

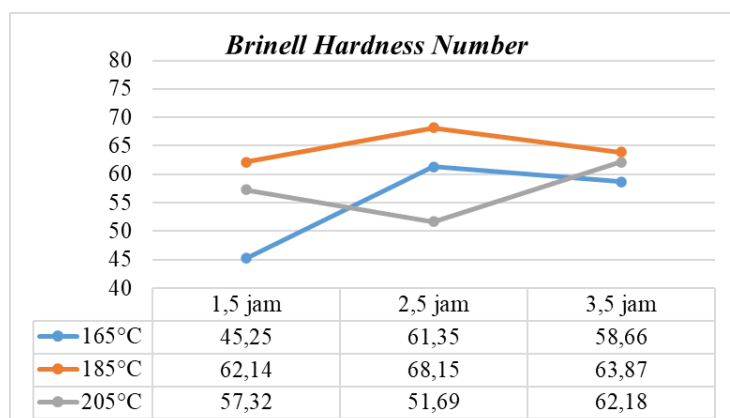
$$\frac{58,40 + 59,41 + 59,03}{3} = 58,95 \text{ BHN}$$

Adapun hasil rekapitulasi nilai rata-rata kekerasan brinell sesuai dengan kodifikasi sampel yang disajikan pada tabel berikut ini :

Tabel 2. Rekapitulasi Perhitungan Nilai Uji Kekerasan

No	Sampel	Nilai rata rata
1.	Raw	81,04
2.	Tanpa T6	51,34
3.	A1	45,25
4.	A2	61,35
5.	A3	58,66
6.	B1	62,14
7.	B2	68,15
8.	B3	63,87
9.	C1	57,32
10.	C2	51,69
11.	C3	62,18

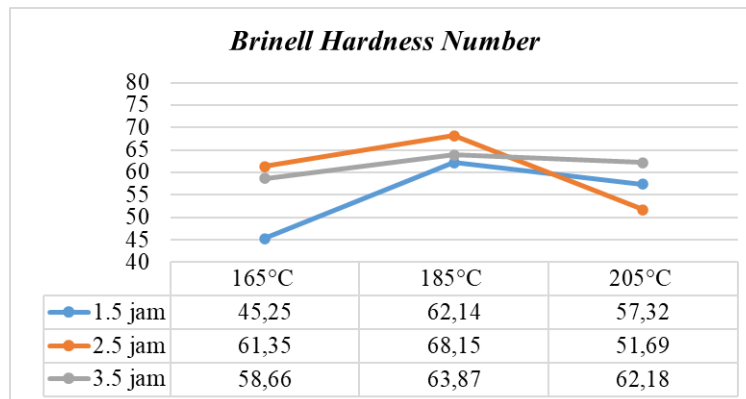
Adapun grafik analisis hasil pengujian kekerasan sebagian berikut :



Gambar 1. Pengaruh Waktu *Aging* pada setiap Temperatur

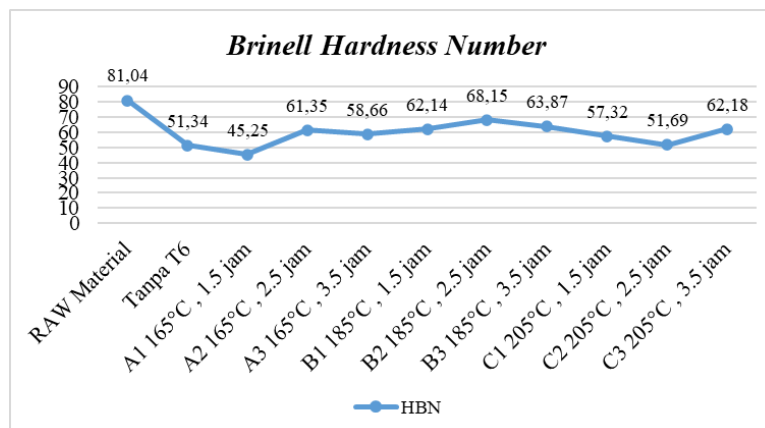
Berdasarkan Gambar 1. waktu *aging* memengaruhi nilai kekerasan AA 6061 pada setiap temperatur perlakuan. Pada 165°C, kekerasan meningkat dari 45,25 BHN menjadi 61,35 BHN pada waktu *aging* 2,5 jam, kemudian menurun menjadi 58,66 BHN pada 3,5 jam. Pada 185°C, kekerasan meningkat dari 62,14 BHN menjadi 68,15 BHN, lalu menurun menjadi 63,87 BHN pada 3,5 jam. Sementara itu, pada 205°C, kekerasan menurun dari 57,32 BHN menjadi 51,69 BHN pada 2,5 jam, kemudian meningkat kembali menjadi 62,18 BHN pada 3,5 jam. Hasil ini

menunjukkan bahwa pengaruh waktu *aging* terhadap kekerasan bergantung pada temperatur perlakuan.



Gambar 2. Pengaruh temperatur pada setiap waktu *aging*

Berdasarkan Gambar 2. temperatur *aging* memengaruhi nilai kekerasan AA 6061. Pada waktu *aging* 1,5 jam, kekerasan meningkat dari 45,25 BHN (165°C) menjadi 62,14 BHN (185°C), kemudian menurun menjadi 57,32 BHN pada 205°C. Pola serupa terjadi pada waktu *aging* 2,5 jam, yaitu meningkat dari 61,35 BHN menjadi 68,15 BHN (nilai tertinggi), lalu turun menjadi 51,69 BHN pada 205°C. Pada waktu *aging* 3,5 jam, kekerasan meningkat dari 58,66 BHN menjadi 63,87 BHN, kemudian sedikit menurun menjadi 62,18 BHN. Hasil ini menunjukkan bahwa temperatur *aging* optimum diperoleh pada 185°C.



Gambar 3. Grafik Rekapitulasi Nilai Kekerasan

Nilai kekerasan *raw material* (81,04 BHN) lebih tinggi dibandingkan sampel hasil *remelting* (51,34 BHN) karena efek *work hardening* dan proses pembentukan awal hilang selama peleburan ulang, serta kemungkinan terbentuknya porositas (Kurniawan, 2024). Pada temperatur *aging* 165°C, kekerasan meningkat hingga 61,35 BHN pada 2,5 jam, kemudian menurun pada 3,5 jam. Pola serupa terjadi pada 185°C, dengan nilai tertinggi sebesar 68,15 BHN pada 2,5 jam (B2), yang menunjukkan kondisi *aging* optimum. Sementara itu, pada 205°C, kekerasan cenderung lebih rendah akibat pertumbuhan presipitat (*coarsening*) yang mengurangi kemampuan menghambat pergerakan dislokasi. Secara umum, variasi temperatur dan waktu *aging* berpengaruh signifikan terhadap kekerasan AA 6061 hasil *remelting*, dengan kondisi optimum pada 185°C selama 2,5 jam, sedangkan

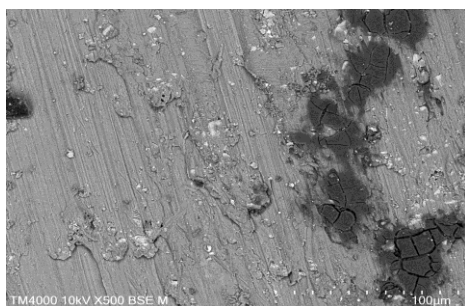
perlakuan yang berlebihan menyebabkan *overaging* dan penurunan kekerasan.

Hasil Pengamatan SEM-EDX

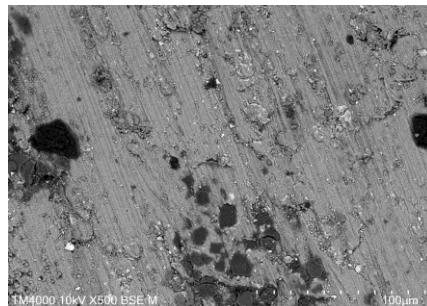
Pengamatan struktur mikro menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dilakukan untuk menganalisis morfologi permukaan dan distribusi partikel setelah perlakuan panas T6. Pengamatan dilakukan pada sampel yang mewakili nilai rata-rata kekerasan setiap variasi *aging* untuk mengkaji hubungannya dengan nilai kekerasan material.

Perbandingan variasi waktu *aging* pada setiap temperatur

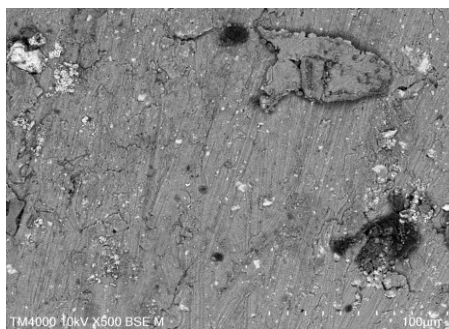
- Gambar hasil SEM sampel A1 A2 dan A3



Gambar 4. Sampel A1



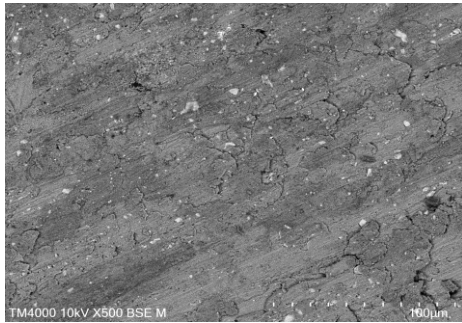
Gambar 5. Sampel A2



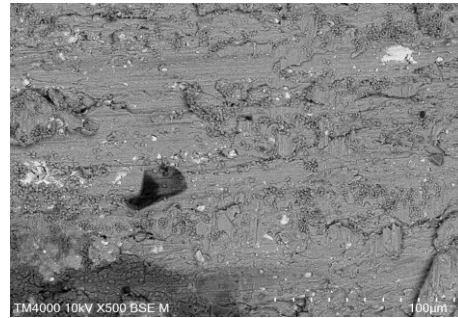
Gambar 6. Sampel A3

Berdasarkan hasil pengamatan SEM, Pada sampel A1 (*aging* 1,5 jam) menunjukkan distribusi partikel Mg dan Si yang belum homogen serta masih terdapat porositas akibat proses *remelting*. Kondisi ini menyebabkan kemampuan menghambat pergerakan dislokasi rendah, sehingga diperoleh nilai kekerasan terendah sebesar 45,25 BHN (Alfath & Siswanto, 2020). Pada sampel A2 (*aging* 2,5 jam), partikel mulai mengelompok sehingga efektivitas penguatan menurun, dengan nilai kekerasan 61,35 BHN, sesuai teori penguatan presipitasi (Guzmán-flores *et al.*, 2024). Sementara itu, sampel A3 (*aging* 3,5 jam) menunjukkan distribusi partikel yang lebih homogen. Analisis EDX mengindikasikan keberadaan Mg dan Si yang berpotensi membentuk presipitat Mg_2Si , sehingga kekerasan meningkat menjadi 58,66 BHN. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa distribusi presipitat yang lebih merata menghasilkan sifat mekanik yang lebih baik (Guzmán-flores *et al.*, 2024).

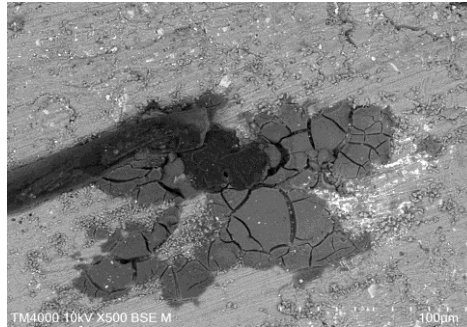
- Gambar hasil SEM sampel B1 B2 dan B3



Gambar 7. Sampel B1



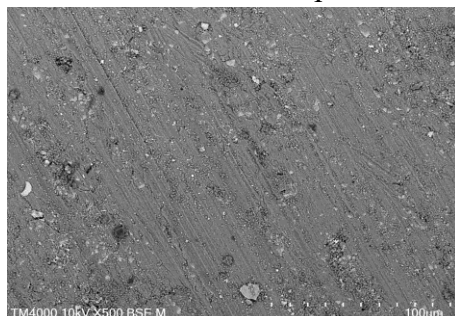
Gambar 8. Sampel B2



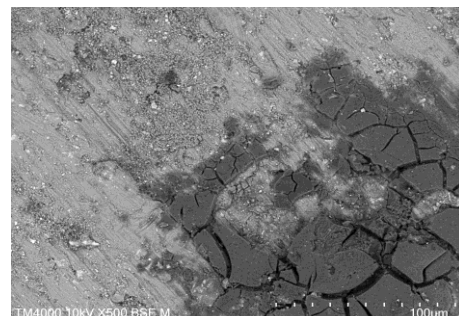
Gambar 9. Sampel B3

Dari ke tiga gambar menunjukkan hasil pengamatan morfologi permukaan sampel B1, B2, dan B3 yang diberi perlakuan *aging* pada temperatur 185°C dengan variasi waktu penahanan 1,5 jam, 2,5 jam, dan 3,5 jam. Analisis EDX mengonfirmasi keberadaan unsur Mg dan Si pada seluruh sampel. Sampel B1 (*aging* 1,5 jam) menunjukkan distribusi partikel yang belum homogen dengan masih adanya porositas, sehingga nilai kekerasannya sebesar 62,14 BHN. Pada sampel B2 (*aging* 2,5 jam), distribusi partikel tampak lebih merata dan matriks lebih homogen. Keberadaan Mg dan Si mengindikasikan potensi terbentuknya presipitat Mg_2Si yang menghasilkan nilai kekerasan tertinggi, yaitu 68,15 BHN, sejalan dengan penelitian sebelumnya (Alfath & Siswanto, 2020). Sementara itu, sampel B3 (*aging* 3,5 jam) menunjukkan kecenderungan pengelompokan partikel dan porositas yang lebih dominan sehingga kekerasan menurun menjadi 63,87 BHN. Kondisi ini sesuai dengan teori pengerasan presipitasi yang menyatakan bahwa pertumbuhan dan pengelompokan presipitat menurunkan efektivitas penguatan material (Guzmán-flores *et al.*, 2024).

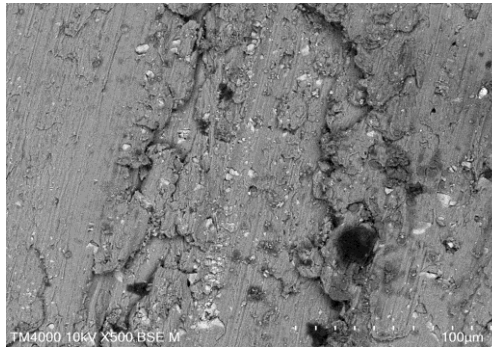
➤ Gambar hasil SEM sampel C1 C2 dan C3



Gambar 10. Sampel C1



Gambar 11. Sampel C2



Gambar 12. Sampel C3

Pada sampel C1 (*aging* 1,5 jam), partikel Mg dan Si telah tersebar pada matriks aluminium, namun distribusinya belum homogen dan masih terdapat ketidakseragaman akibat proses *remelting*. Kondisi ini menyebabkan nilai kekerasan relatif rendah, yaitu 57,32 BHN. Pada sampel C2 (*aging* 2,5 jam), homogenitas partikel semakin menurun dengan porositas yang lebih dominan. Meskipun analisis EDX mengonfirmasi keberadaan Mg dan Si, distribusi yang tidak merata mengurangi efektivitas penguatan sehingga nilai kekerasan turun menjadi 51,69 BHN. Hasil ini menunjukkan bahwa porositas akibat proses *remelting* berpengaruh terhadap penurunan sifat mekanik material.

Pada sampel C3 (*aging* 3,5 jam), distribusi partikel tampak lebih merata dibandingkan C2 dengan area gelap yang lebih sedikit. Analisis EDX mengonfirmasi keberadaan Mg dan Si yang mengindikasikan potensi terbentuknya presipitat Mg_2Si . Distribusi partikel yang lebih merata meningkatkan kemampuan material dalam menghambat pergerakan dislokasi, sehingga nilai kekerasan meningkat menjadi 62,18 BHN. Peningkatan nilai kekerasan pada sampel C3 menunjukkan bahwa meskipun temperatur *aging* yang tinggi dapat mempercepat proses pertumbuhan presipitat, penambahan waktu penahanan hingga 3,5 jam memungkinkan terbentuknya distribusi partikel yang lebih homogen dibandingkan dengan sampel C2. Kondisi ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa distribusi presipitat yang merata pada matriks aluminium berkontribusi terhadap peningkatan sifat mekanik material (Guzmán-flores *et al.*, 2024).

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, proses *remelting* menurunkan nilai kekerasan paduan aluminium AA 6061 dari 81,04 BHN menjadi 51,34 BHN, yang diduga disebabkan oleh hilangnya efek *work hardening* pada raw material. Variasi temperatur dan waktu *artificial aging* pada perlakuan panas T6 berpengaruh terhadap peningkatan kekerasan hingga mencapai kondisi optimum. Nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada sampel B2 (185°C; 2,5 jam) sebesar 68,15 BHN, sedangkan nilai terendah terdapat pada sampel A1 (165°C; 1,5 jam) sebesar 45,25 BHN. Pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa distribusi partikel yang lebih homogen menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi karena mampu menghambat pergerakan dislokasi. Analisis EDX mengindikasikan keberadaan unsur Mg dan Si yang berpotensi membentuk presipitat Mg_2Si , meskipun identifikasi fasanya belum dapat dipastikan. Pada temperatur *aging* 205°C dengan waktu penahanan 2,5 jam (sampel C2), nilai kekerasan kembali

menurun menjadi 51,69 BHN akibat indikasi porositas dari proses *remelting* yang kurang sempurna. Dengan demikian, kondisi *artificial aging* optimum pada penelitian ini diperoleh pada temperatur 185°C dengan waktu penahanan 2,5 jam.

Penelitian selanjutnya disarankan melakukan karakterisasi tambahan menggunakan *X-ray Diffraction* (XRD) atau *Transmission Electron Microscope* (TEM) untuk mengidentifikasi fasa presipitat secara lebih akurat. Pengamatan struktur mikro juga perlu dilakukan dengan perbesaran yang lebih tinggi agar distribusi presipitat terlihat lebih jelas. Selain itu, disarankan menambahkan pengujian mekanik seperti Uji Tarik, Uji Impak, atau Uji Keausan untuk memperoleh informasi yang lebih komprehensif. Proses *remelting* juga perlu dioptimalkan guna meminimalkan porositas melalui pengendalian parameter peleburan yang lebih baik.

REFERENSI

- Akhyar, A., Ali, N., & Reza, M. (2025). Results in Materials Variations in casting temperatures effect of re-melted 6061 aluminum alloy on tensile strength. *Results in Materials*, 26(7), 100691. <https://doi.org/10.1016/j.rinma.2025.100691>
- Alfath, S., & Siswanto, B. D. (2020). Analisis Pengaruh Waktu Artificial Age (T6) Terhadap Struktur Kristal, Densitas Dan Kekerasan Paduan Alumunium (6061) Untuk Bahan Sirip Roket. *Journal of Mechanical Engineering Manufactures Materials and Energy*, 4(2), 102–113. <https://doi.org/10.31289/jmemme.v4i2.4041>
- Dan, K., Mikro, S., & Hasymi, Z. (2023). *Pengaruh Variasi Temperatur Artificial Aging Pada Aluminium 6061 Terhadap Sifat*. 14, 1–4.
- Guzmán-flores, I., Granda-gutiérrez, E. E., Cruz-gonzález, C. E., Hernandez-garcia, H. M., Díaz-guillen, J. C., Flores-gonzález, L., Javier, R., & Dora, P. (2024). *Peningkatan Sifat Mekanik Paduan Aluminium 6061 melalui Perlakuan Panas dari Perspektif Taguchi Desain Eksperimen*.
- Kurniawan, A. T. (2024). *Analisa Kekerasan Bahan Dalam Proses Pengecoran Aluminum Sebagai Bahan Pembuatan Blok Silinder Motor Bakar*. 4, 98–110.
- Rasyiid, N. R., & Rasyid, A. H. A. (2024). Analisa Pengaruh Perlakuan Panas T6 Terhadap Kekerasan Aluminium Al6061 Untuk Aplikasi Velg Sepeda Motor. *Jurnal Teknik Mesin*, 12(03), 77–82.
- Saputro, D., & Seputro, H. (2022). ... Terhadap Kestabilan Dimensi Material Aluminium Komposit (Amc) Berpenguat Abu Dasar Batu Bara Setelah Perlakuan Panas T6. *Senakama: Prosiding Seminar ...*, 1(September), 279–293.
- Widyawati, F., Solahudin, M. M., & Hidayat, S. (2024). *Analisis Variasi Temperatur Artificial aging terhadap Struktur Mikro dan Sifat*. 8(1), 12–21. <https://doi.org/10.35718/specta.v8i1.1016>