

# STUDI PENGARUH TEMPERATUR DAN WAKTU AGING TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN MIKROSTRUKTUR KOMPOSIT Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> HASIL PROSES CANAI DINGIN

Asfari Azka Fadhilah<sup>1,a</sup>, Dr. Eng. A. Ali Alhamidi, ST.,MT.<sup>1</sup>, dan Muhammad Fitrullah, ST.,MT<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, Indonesia

<sup>a</sup>[azkaazh01@gmail.com](mailto:azkaazh01@gmail.com)

## Abstrak

Material alternatif yang telah dikembangkan sejak beberapa dekade yang lalu adalah material komposit. Lebih dari 3,5 juta kg bahan AMCs telah digunakan pada berbagai industri terutama industri transportasi, penerbangan, elektronik, otomotif dan olahraga. Di dalam penelitian ini digunakan komposit Al6061/7,5% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang selanjutnya di proses canai dingin dengan reduksi sebesar 60% dan dilakukan aging pada temperatur 423, 473, 523, dan 573 K dengan lama waktu penahanan 300, 1800, 3600, 5400, dan 7200s. Pengujian kekerasan, keausan, metalografi dan analisa XRD dilakukan untuk mengetahui perubahan sifat mekanik komposit Al6061/7,5% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang terjadi. Hasil penelitian menunjukkan perubahan yang terjadi pada mikrostruktur serta munculnya fasa kedua Mg<sub>2</sub>Si dan β – AlFeSi setelah dilakukan proses aging. Terjadi peningkatan nilai kekerasan komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> setelah dilakukan proses canai dingin yaitu sebesar 102,6 HB. Nilai kekerasan tertinggi yang dihasilkan dari proses aging terdapat pada temperatur 473 K dengan lama waktu penahanan 5400s yaitu sebesar 87,85 HB. Abrasi yang terjadi pada komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hasil proses rolling yaitu sebesar 1,5596111x10<sup>-7</sup> mm<sup>3</sup>/mm, tetapi abrasi yang terjadi menurun menjadi 1,1998549x10<sup>-7</sup> mm<sup>3</sup>/mm setelah proses aging yang dilakukan pada material komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

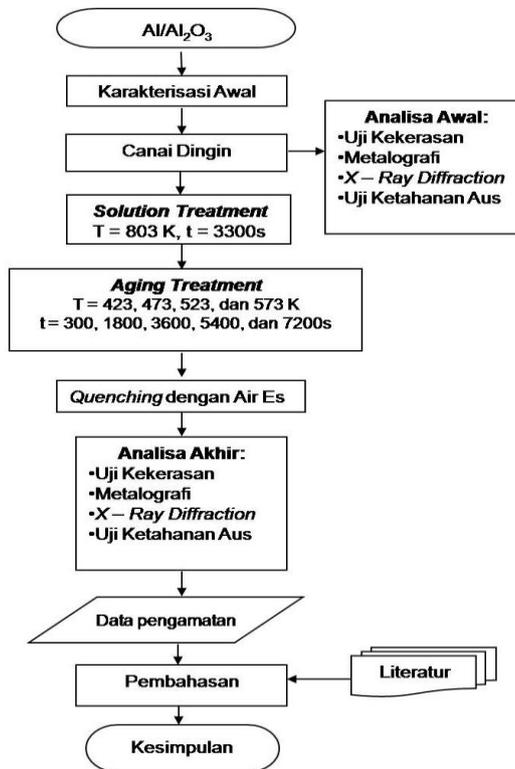
**Kata kunci:** *aluminium matrix composites* (AMCs), komposit Al6061/7,5% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, canai dingin, dan *aging*

## PENDAHULUAN

Kebutuhan manusia terhadap teknologi yang semakin meningkat, berdampak pada perkembangan material yang juga dituntut semakin meningkat untuk memenuhi kebutuhan manusia. Material alternatif yang telah dikembangkan sejak beberapa dekade yang lalu adalah material komposit. Material komposit dapat didefinisikan sebagai gabungan dari dua macam material atau lebih yang secara makroskopik merupakan satu kesatuan material yang utuh<sup>[1]</sup>. Komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> merupakan pengembangan dari komposit bermatriks logam, yaitu aluminium yang dikenal dengan istilah Aluminium Matrix Composites (AMCs) dengan alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) sebagai fasa penguatnya. Bahan AMCs telah digunakan pada berbagai industri terutama industri transportasi, penerbangan, elektronik, otomotif dan olahraga. Perlakuan panas dan canai dingin merupakan metode yang digunakan untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasan suatu material atau logam. Canai dingin adalah suatu proses pengerolan yang dilakukan di bawah temperatur rekristalisasi. Pada temperatur di bawah temperatur rekristalisasi, deformasi akan menyebabkan benda kerja mengalami pengerasan regang dan perubahan struktur butiran. Pengerasan regangan yang diperoleh dari reduksi dingin dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan. Peningkatan kekuatan pada pengerjaan dingin terkait dengan peningkatan kerapatan dislokasi pada logamnya. Dislokasi yang semakin rapat mengakibatkan dislokasi itu sendiri semakin sukar bergerak sehingga bahan menjadi semakin kuat atau keras<sup>[2]</sup>. Perlakuan panas adalah kombinasi proses pemanasan dan pendinginan material dengan maksud merubah sifat suatu material untuk tujuan tertentu<sup>[3]</sup>. Salah satu cara perlakuan panas yang dilakukan pada logam aluminium dan paduannya adalah dengan penuaan keras. Proses penuaan akan memunculkan presipitat yang dapat meningkatkan kekuatan pada logam. Apabila paduan mengalami perlakuan penuaan untuk waktu yang cukup lama, terjadi presipitat fasa kedua. Presipitasi ini terjadi melalui proses nukleasi dan pertumbuhan, fluktuasi konsentrasi material terlarut membentuk klaster atom yang kecil dalam kisi yang menjadi nuklei presipitat<sup>[4]</sup>. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperature dan waktu *aging* terhadap mikrostruktur, kekerasan dan ketahanan aus komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hasil proses canai dingin.

## METODE PENELITIAN

Secara skematik, penelitian ini digambarkan dalam bentuk diagram alir yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

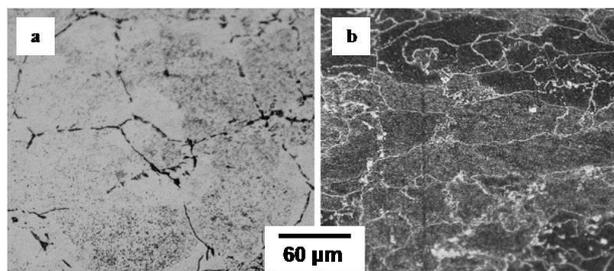
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. menunjukkan nilai kekerasan dan ukuran butir komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> setelah proses canai dingin. Nilai kekerasan awal komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> adalah 65,42 HB dengan ukuran butir 110,35  $\mu\text{m}$ , setelah dilakukan proses *rolling* nilai kekerasan meningkat menjadi 102,6 HB dengan ukuran butir 65,61  $\mu\text{m}$ .

Tabel 1. Nilai Kekerasan dan Ukuran Butir Komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> setelah Proses Canai Dingin

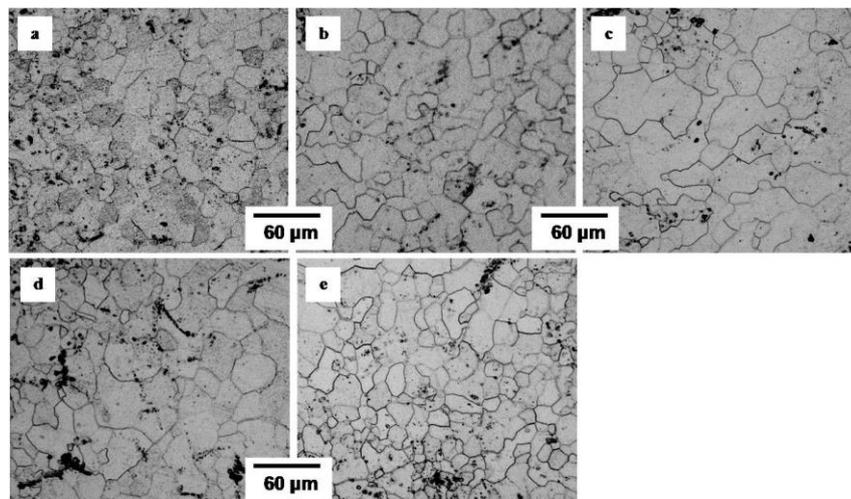
Kode Sampel	Ukuran Butir ( $\mu\text{m}$ )	Nilai Kekerasan (HBN)
Komposit Al6061/7,5% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	110,35	65,42
Komposit Al6061/7,5% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <i>as-rolled</i>	65,61	102,6

Hal ini menunjukkan bahwa dengan semakin halusya ukuran butir, kekerasan akan semakin meningkat. Ukuran butir awal komposit yaitu sebesar 110,35  $\mu\text{m}$  dengan bentuk butir bulat (*equiaxial*) yang dapat dilihat pada Gambar 2a. Proses *rolling* yang dilakukan menyebabkan berubahnya morfologi butir menjadi lonjong dengan ukuran butir yang lebih kecil (Gambar 2b), sehingga nilai kekerasan meningkat.

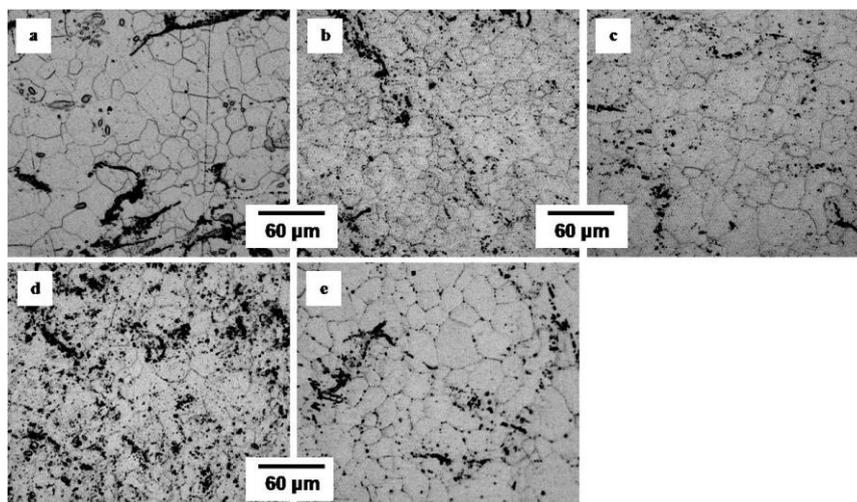


Gambar 2. Hasil Foto Mikro Komposit Al6061/7,5% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Perbesaran 200x dengan (a) kondisi awal, (b) *as-rolled*

Gambar 3 – Gambar 4 menunjukkan mikrostruktur komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> setelah dilakukan proses *aging* pada temperatur 423 dan 473 K dengan lama waktu penahanan 300, 1800, 3600, 5400, dan 7200s. Gambar 3a menunjukkan mikrostruktur komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang dihasilkan dari proses *aging* dengan lama waktu penahanan 300s hampir berbentuk bulat (*equiaxial*) tetapi belum sempurna terbentuk. Seiring dengan semakin lamanya waktu penahanan, mikrostruktur yang dihasilkan mulai berbentuk bulat (*equiaxial*). Gambar 4 menunjukkan mikrostruktur komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> setelah dilakukan proses *aging* pada temperatur 473 K dengan lama waktu penahanan yang berbeda – beda. Bila dibandingkan dengan mikrostruktur hasil proses *aging* pada temperatur 423 K, mikrostruktur pada temperatur 473 K mempunyai bentuk bulat (*equiaxial*) yang lebih jelas. Gambar 4d menunjukkan persebaran partikulat alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) yang merata pada komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hasil proses *aging* pada temperatur 473 K dengan lama waktu penahanan 5400s. Dapat dilihat dari Gambar 3 – Gambar 4 nampak jelas mikrostruktur cenderung tetap hadir dan berbentuk bulat (*equiaxial*). Hal ini dapat disebabkan karena hadirnya fasa kedua dan adanya partikulat yang menghambat terjadinya pertumbuhan butir.

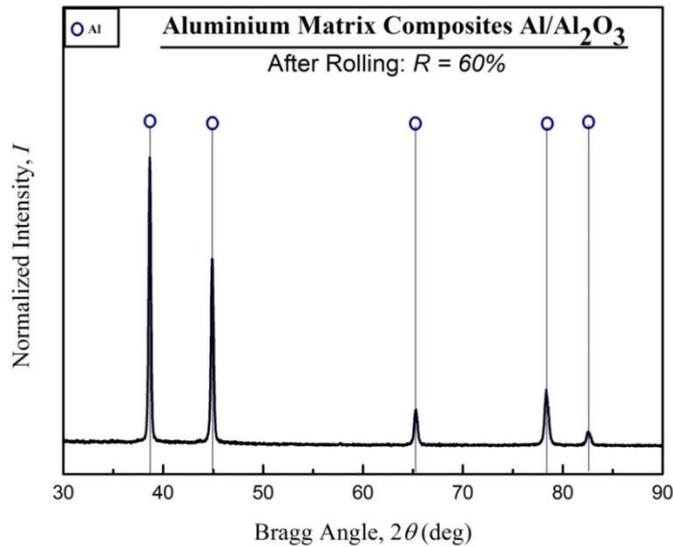


**Gambar 3.** Hasil foto mikro komposit Al6061/7,5% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> *as-aged* pada temperatur 423K, Perbesaran 200x dengan Waktu (a) 300s, (b) 1800s, (c) 3600s, (d) 5400s, dan (e) 7200s



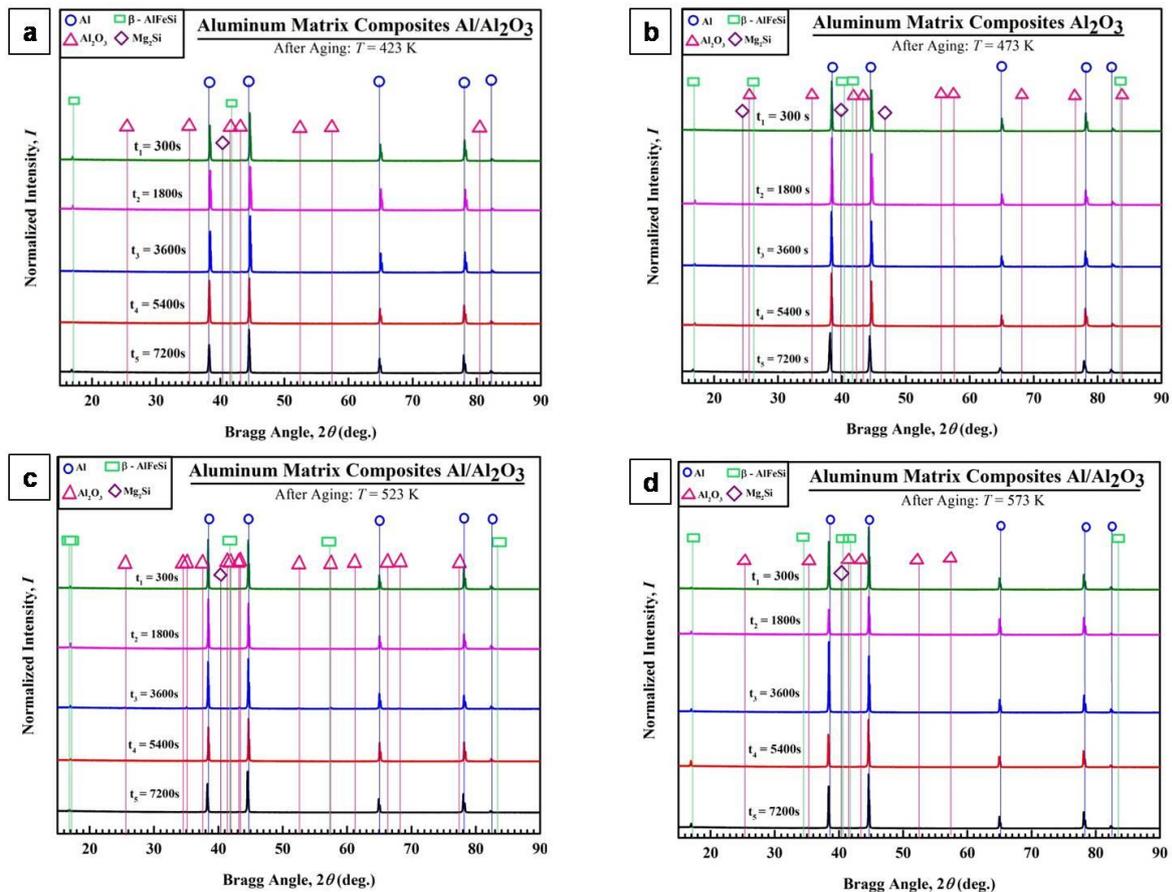
**Gambar 4.** Hasil foto mikro komposit Al6061/7,5% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> *as-aged* pada temperatur 473K, Perbesaran 200x dengan Waktu (a) 300s, (b) 1800s, (c) 3600s, (d) 5400s, dan (e) 7200s

Gambar 5 menunjukkan hasil analisa *X – ray Diffraction* pada material komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> setelah dilakukan proses canai dingin. Dari Gambar 5 dapat dilihat hasil analisa menunjukkan terdapat lima peak yang kelimanya merupakan peak aluminium. Hal tersebut menandakan bahwa belum terdapat fasa kedua pada material komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> setelah dilakukan proses canai dingin.



Gambar 5. Hasil XRD Komposit Al6061/7,5% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as-rolled

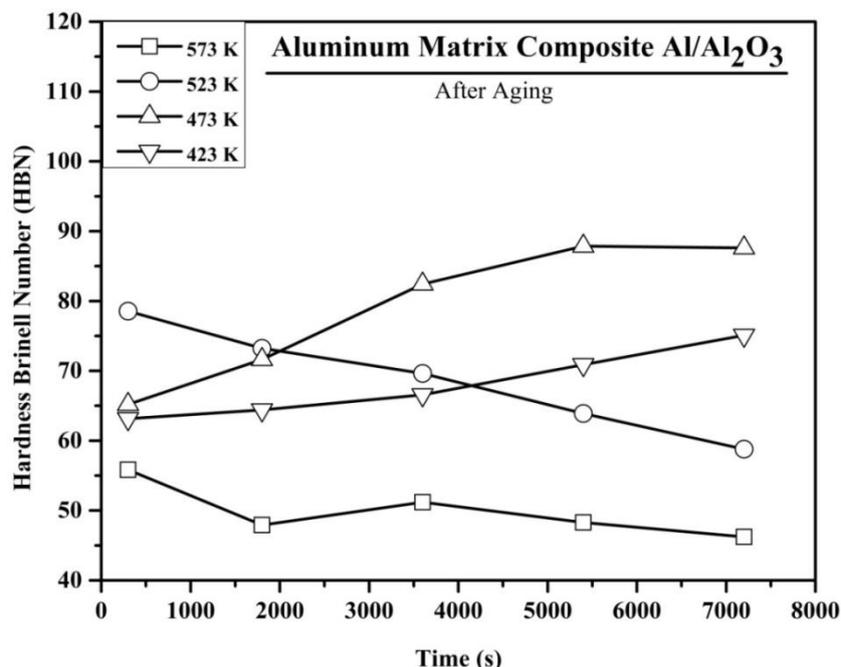
Gambar 6 menunjukkan hasil analisa *X-Ray Diffraction* komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang telah melalui proses *aging* pada temperatur 423, 473, 523, dan 573 K. Fasa kedua yang terbentuk setelah proses *aging* adalah Mg<sub>2</sub>Si dan β – AlFeSi. Dapat dilihat pada Gambar 6 jumlah presipitat yang terbentuk berbeda – beda seiring dengan waktu dan temperature *aging* yang berbeda. Hal tersebut dikarenakan proses *aging* dengan waktu dan temperatur yang berbeda berpengaruh terhadap pembentukan presipitat.



Gambar 6. Hasil XRD Komposit Al6061/7,5% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as-aged pada temperatur (a) 423K, (b) 473K, (c) 523K, (d) 573K

Gambar 7 menunjukkan grafik pengaruh waktu dan temperatur *aging* terhadap nilai kekerasan komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Nilai kekerasan tertinggi yang dihasilkan yaitu sebesar 87,85 HB terdapat pada komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang telah melalui proses *aging* pada temperatur 473 K dengan lama waktu penahanan 5400 detik. Sedangkan nilai kekerasan terendah yaitu 46,22 HB komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang telah melalui proses *aging* pada temperatur 573 K dengan lama waktu penahanan 7200 detik. Nilai kekerasan komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hasil proses *aging* pada temperatur 423 K meningkat seiring dengan semakin lamanya waktu penahanan (*holding time*) proses *aging* (Gambar 7). Hal tersebut dapat terjadi karena mulai terbentuknya presipitat atau fasa kedua yang berupa senyawa Mg<sub>2</sub>Si dan β – AlFeSi (Gambar 6a). Presipitat atau fasa kedua berperan sebagai penghambat dislokasi sehingga dislokasi menjadi sulit untuk bergerak. Pergerakan dislokasi yang terhambat oleh senyawa fasa kedua akan mengakibatkan kekerasan logam meningkat.

Peningkatan kekerasan seiring dengan semakin lamanya waktu penahanan (*holding time*) pada saat proses *aging* juga terjadi pada komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hasil proses *aging* pada temperatur 473 K (Gambar 7). Presipitat berupa senyawa Mg<sub>2</sub>Si dan β – AlFeSi yang terbentuk pada komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> setelah proses *aging* di temperatur 473 K lebih banyak (Gambar 6b) jika dibandingkan dengan temperatur 423 K. Distribusi presipitat dalam bentuk partikel endapan fasa kedua tersebut menimbulkan tegangan dalam (*internal stress*). Tegangan yang ditimbulkan semakin besar akan berdampak pada semakin meningkatnya kekerasan. Berbeda dengan temperatur sebelumnya, pada temperatur 523 K dan 573 K nilai kekerasan menurun seiring dengan bertambahnya waktu (Gambar 7). Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan S. Junus, *et al*, bahwa kekerasan akan menurun seiring bertambahnya waktu *aging*<sup>[5]</sup>. Menurunnya kekerasan seiring dengan bertambahnya waktu *aging* dikarenakan temperatur *aging* yang semakin tinggi dengan waktu tahan yang lebih lama menyebabkan terjadinya penggabungan presipitat, sehingga ukuran presipitat menjadi lebih besar dan mengakibatkan kekerasan menurun. Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan Tan C.F, *et al*, bahwa kekerasan akan menurun seiring dengan temperatur *aging* yang semakin tinggi dengan waktu tahan yang lebih lama<sup>[4]</sup>. Presipitat dengan ukuran yang lebih besar akan menyebabkan kerapatan antar presipitat berkurang, sehingga dislokasi menjadi mudah bergerak.



**Gambar 7. Grafik Pengaruh Waktu dan Temperatur *Aging* terhadap Nilai Kekerasan Komposit Al6061/7,5% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**

Tabel 2 menunjukkan pengaruh nilai kekerasan terhadap ketahanan aus komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Abrasi yang terjadi pada komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hasil proses *rolling* yaitu sebesar 1,5596111 x 10<sup>-7</sup> mm<sup>3</sup>/mm, tetapi abrasi yang terjadi menurun menjadi 1,1998549 x 10<sup>-7</sup> mm<sup>3</sup>/mm setelah proses *aging* yang dilakukan pada material komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Hal tersebut menandakan bahwa proses *aging* yang dilakukan meningkatkan ketahanan aus

material komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Meningkatnya ketahanan aus komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> juga dapat disebabkan karena persebaran partikulat yang merata (Gambar 4d).

**Tabel 2.** Pengaruh Nilai Kekerasan terhadap Ketahanan Aus

Kode Sampel	Nilai Kekerasan (HBN)	Spesifik Abrasi (mm <sup>3</sup> /mm)
Komposit Al6061/7,5% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <i>as-rolled</i>	102,6	1,5596111 x 10 <sup>-7</sup>
Komposit Al6061/7,5% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <i>as-aged</i> ( T = 473 K, t = 5400s)	87,85	1,1998549 x 10 <sup>-7</sup>

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan :

1. Proses canai dingin yang dilakukan pada komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan reduksi sebesar 60% menyebabkan terjadinya perubahan mikrostruktur dan kekerasan komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Butiran awal komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yaitu berbentuk bulat dengan ukuran butir sebesar 110,35 µm dan nilai kekerasan sebesar 65,42 HB, setelah dilakukan proses canai dingin bentuk butir berubah menjadi lonjong dan pipih dengan ukuran sebesar 65,61 µm dan nilai kekerasan yang meningkat menjadi 102,6 HB.
2. Nilai kekerasan komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> meningkat setelah proses aging yang dilakukan pada temperatur 423 K dan 473 K, tetapi nilai kekerasan menurun pada temperatur aging 523 K dan 573 K. Nilai kekerasan tertinggi yaitu sebesar 87,85 HB yang dihasilkan dari proses aging dengan temperatur 473 K dan lama waktu penahanan 5400s.
3. Abrasi yang terjadi pada komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hasil proses rolling yaitu sebesar 1,5596111 x 10<sup>-7</sup> mm<sup>3</sup>/mm, tetapi abrasi yang terjadi menurun menjadi 1,1998549 x 10<sup>-7</sup> mm<sup>3</sup>/mm setelah proses aging yang dilakukan pada material komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

## REFERENSI

- [1] Telang, A. K., et al. "Alternate Materials in Automobile Brake Disc Applications with Emphasis on Al Composites"—A Technical Review. *Journal of Engineering Research and Studies*, 1(1) (2010): 35-46.
- [2] Devincre, B., Thierry Hoc, and L. Kubin. "Dislocation mean free paths and strain hardening of crystals." *Science* 320.5884 (2008): 1745-1748.
- [3] Maisonnette, D., et al. "Effects of heat treatments on the microstructure and mechanical properties of a 6061 aluminium alloy." *Materials Science and Engineering: A* 528.6 (2011): 2718-2724.
- [4] Tan, Chee Fai, and Mohamad R. Said. "Effect of hardness test on precipitation hardening aluminium alloy 6061-T6." *Chiang Mai J. Sci* 36.3 (2009): 276-286.
- [5] Junus, Salahuddin, et al. "Pengaruh Waktu Aging Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Komposit Al-Si-Mg/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Dengan Metode Stir Casting." *Rotor* 7.2 (2014): 40-43.
- [6] Demir, Halil, and Süleyman Gündüz. "The effects of aging on machinability of 6061 aluminium alloy." *Materials & Design* 30.5 (2009): 1480-1483.