

# Analisis Artificial Aging dan Perlakuan *Electroless Coating* Terhadap Karakteristik Gesek dan Kekerasan Komposit AA6061-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

*Treatment Analysis on Friction Characteristic and Hardness of AA6061-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>*

Hanif Rinaldi\*, Eko Surojo, Teguh Triyono, Hammar Ilham Akbar

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia.

\*Corresponding author email: [hanifrinaldi6@gmail.com](mailto:hanifrinaldi6@gmail.com)



## Kata Kunci:

*Artificial aging; Stir casting; Electroless coating; AA6061; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>*

## Abstrak

Komposit merupakan bahan rekayasa yang terdiri dari dua bahan yaitu matrik dan penguat. Komposit matriks aluminium merupakan salah satu jenis komposit matriks logam yang banyak digunakan dalam dunia otomotif dan konstruksi. Penelitian ini menggunakan AA6061 dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas dan *electroless coating* terhadap karakteristik gesek dan kekerasan komposit AA6061-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Pembuatan komposit menggunakan metode *stir casting*. Perlakuan panas dilakukan dalam tiga tahap. Variasi dari penelitian ini adalah waktu penahanan yaitu 2-6 jam. Waktu penahanan optimum pada proses *artificial aging* terjadi pada 4 jam. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kombinasi perlakuan *electroless coating* pada partikel dan 4 h *artificial aging* menghasilkan kekerasan tertinggi 56,70 BHN, koefisien gesek 0,543 dan keausan spesifik terendah 1,25x10<sup>-4</sup> mm<sup>3</sup>/Nm. Hasil karakterisasi gesekan dan pengujian kekerasan membuktikan bahwa perlakuan *electroless coating* efektif dalam meningkatkan kekerasan dan karakteristik gesekan yang unggul pada komposit AA6061-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

## Keywords:

*Artificial aging; Stir casting; Electroless coating; AA6061; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>*

## Abstract

*Composite is an engineering material consisting of two materials, namely matrix and reinforcement. Aluminum matrix composite is a type of metal matrix composite that is widely used in the automotive and construction. This study used AA6061 matrix and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> reinforcement which aims to determine the effect of heat treatment and electroless coating treatment on the tribology and hardness of the AA6061-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. The manufacturing of AMC is using stir casting. Heat treatment was carried out in three stages. The variation of this research is the holding time where artificial aging was 2-6 h. The optimum time in the artificial aging occurs at 4 hours. The results showed that the combination of electroless coating on the particles and 4 h artificial aging produced the highest hardness, coefficient of friction and the lowest specific wear. The results prove that the electroless coating is effective in the hardness and friction characteristics of the AA6061-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.*

## PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi industri saat ini sangat maju dan pesat. Pesatnya perkembangan teknologi berdampak pada kebutuhan material yang memiliki sifat unggul untuk aplikasi pada berbagai sektor industri. Material konvensional seperti logam, polimer, dan keramik sudah umum digunakan. Dalam pengembangannya manusia membutuhkan sifat dari ketiga jenis material dasar tersebut yang dapat dicapai dengan material komposit. Material komposit dengan sifatnya yang ringan dan kuat dapat menjadi alternatif material untuk masa depan (Arifin & Junaidi, 2017).

Komposit adalah material rekayasa yang dibuat dari material matriks yang digabungkan dengan material penguat untuk menghasilkan material yang memiliki sifat fisik dan mekanik lebih baik dari sifat masing-masing material (Bharath et al, 2014). Dalam prakteknya komposit yang berbahan dasar aluminium sangat bermanfaat bagi dunia otomotif, industri, dan dirgantara. Komposit yang berbahan dasar logam dapat disebut dengan *Metal Matrix Composite* (MMC) (Gibson, 1994).

*Aluminium Matrix Composite* (AMC) merupakan salah satu contoh dari *Metal Matrix Composite* (MMC) dengan bahan dasar aluminium. Sifat dasar aluminium yaitu ringan dan tahan korosi. Aluminium relatif mudah didapatkan di pasar dan murah. Hal tersebut merupakan kombinasi yang baik untuk melakukan perkembangan *Aluminium Matrix Composite* (AMC) (Sahu, 2018).

Manufaktur AMC umumnya menggunakan partikel keramik sebagai penguatnya. Alumina ( $Al_2O_3$ ) merupakan material keramik non silikat yang dipilih sebagai penguat karena memiliki sifat yang mendukung dari sifat dasar aluminium seperti tahan terhadap korosi dan kekerasan yang tinggi. Selain itu alumina juga memiliki sifat ketahanan listrik yang baik (Hemalatha et al, 2013). Proses manufaktur yang umum digunakan pada pembuatan *Aluminium Matrix Composite* (AMC) menggunakan jenis proses fasa cair. Proses fasa cair merupakan proses manufaktur dimana matriks telah mencair terlebih dahulu lalu dipadukan dengan penguat. Proses fasa cair menghasilkan sifat mekanik yang tinggi. Dalam manufaktur dengan proses fasa cair terdapat beberapa jenis yaitu *stir casting* dan *squeeze casting* (Kandpal et al, 2018). Metode *stir casting* dipilih karena memiliki kemudahan dan lebih ekonomis untuk digunakan pada proses pengecoran (Kant et al, 2017).

*Stir casting* merupakan metode manufaktur dimana mencampurkan dua bahan yaitu bahan dasar berupa aluminium dan bahan penguat dalam bentuk serbuk Alumina ( $Al_2O_3$ ) dalam kondisi mencair dengan pengadukan mekanik. Dalam pelaksanaannya pembuatan komposit dengan metode *stir casting* memiliki faktor-faktor yang dapat mempengaruhi hasil dari komposit tersebut antara lain kecepatan putar, waktu putar, temperatur tuang, perbandingan komposisi penyampuran antara penguat dan matriks, waktu penahanan tuang, dan perlakuan panas pada hasil coran (Kant et al, 2017). Faktor-faktor tersebut akan mempengaruhi hasil coran seperti kekerasan, ketahanan korosi, dan konduktifitas panas.

Perlakuan panas merupakan proses pemanasan dan pengaturan laju pendinginan tanpa ada perubahan komposisi kimia pada material (Callister Jr, 2004). Tujuan dari perlakuan panas yaitu untuk meningkatkan sifat fisik dan mekanik pada material. Secara umum perlakuan panas yang digunakan pada material komposit dengan matriks aluminium paduan Al-6061 adalah perlakuan panas T6 (Rasheed et al, 2016). Terdapat tiga proses dalam perlakuan panas T6 yaitu *solution treatment*, *quenching*, dan *artificial aging* (Tiwari et al 2017).

Dari ketiga proses perlakuan panas T6 pada proses *artificial aging* merupakan proses yang akan meningkatkan sifat mekanik pada material, karena pada proses *artificial aging* terdapat presipitat yang berkembang seiring dengan waktu dan suhu yang ditentukan pada proses *artificial aging* (Rasheed et al, 2016). Dalam penelitian ini akan diteliti tentang pengaruh perlakuan panas terhadap karakteristik gesek dan kekerasan komposit Al-6061- $Al_2O_3$ .

## METODE PENELITIAN

Langkah awal yang dilakukan dalam pembuatan komposit matriks aluminium dengan melakukan perlakuan penguat yaitu *electroless coating* pada penguat. Serbuk  $Al_2O_3$  dibersihkan menggunakan alkohol 96% hingga bersih, kemudian dikeringkan di dalam *furnace* dengan temperatur 100°C selama 10 menit. 40 ml  $HNO_3$  68% dimasukkan ke dalam gelas ukur lalu di tambahkan 20 gram serbuk  $Al_2O_3$ , 0,5 gram fine Al powder, dan 0,1 gram Mg powder lalu diaduk menggunakan magnetic stirrer yang dipanaskan pada temperatur 70°C selama 45 menit. Lalu keringkan serbuk  $Al_2O_3$  yang telah di perlakuan *electroless* di dalam *furnace* pada temperatur 200°C selama 60 menit. Naikkan *temperature* ke 400°C lalu tahan selama 120 menit.

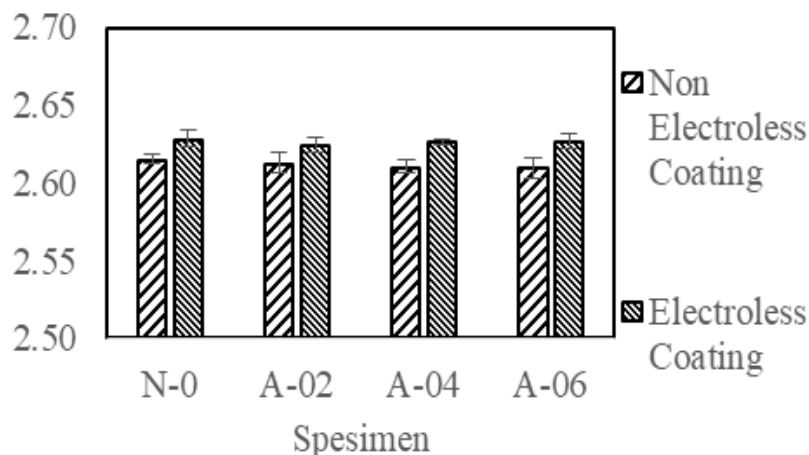
Hasil perlakuan lalu didinginkan ke suhu ruang lalu di simpan dalam wadah. Selanjutnya yaitu proses pengecoran dengan metode *stir casting*. Menyiapkan Al6061 sebanyak 91,5%wt, serbuk  $Al_2O_3$  6%wt dan serbuk magnesium 2.5%wt. Peleburan matrik Al6061 dilakukan dengan temperatur 720-740°C. Kemudian ditambahkan  $Al_2O_3$  yang telah dilakukan perlakuan *electroless coating* dan serbuk magnesium 2.5%. Proses pengadukan dilakukan menggunakan *four blade impeller* dengan kecepatan 600-620 rpm dengan waktu 10 menit.

Pengujian kekerasan komposit mengacu pada Standar ASTM E-10. Pengukuran densitas dan porositas dilakukan dengan metode *Archimedes*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Densitas dan Porositas

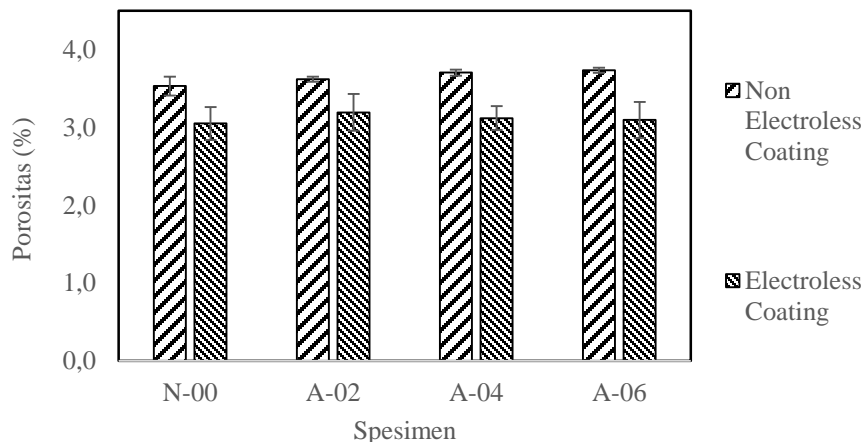
Hasil pengujian densitas dan porositas dapat dilihat dari Gambar 1 dan Gambar 2.



**Gambar 1.** Nilai densitas spesimen pada komposit AA6061- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Nilai densitas spesimen pada Gambar 1 menunjukkan dengan variasi waktu *artificial aging* tidak berpengaruh secara signifikan karena spesimen yang digunakan memiliki penambahan penguat yang sama yaitu 6% Alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Perbedaan nilai densitas spesimen terlihat pada variasi perlakuan penguat yaitu *non electroless coating* memiliki nilai densitas spesimen lebih rendah dibandingkan dengan *electroless coating*. Hal tersebut disebabkan oleh rendahnya kemampuan matriks aluminium untuk membasahi partikel Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, yang juga berpengaruh terhadap terbentuknya porositas (Zulfia & Ajiriyanto, 2011).

Persentase porositas yang terbentuk dapat dilihat pada Gambar 2. Pada variasi waktu *artificial aging* persentase porositas yang terjadi relatif sama karena persen berat dari penguat Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang digunakan sama. Sedangkan perbedaan terlihat pada variasi perlakuan penguat. *Non electroless coating* persentase porositas yang terbentuk rata-rata sebesar 3,6%, sedangkan pada *electroless coating* persentase porositas yang terbentuk rata-rata sebesar 3,1%.



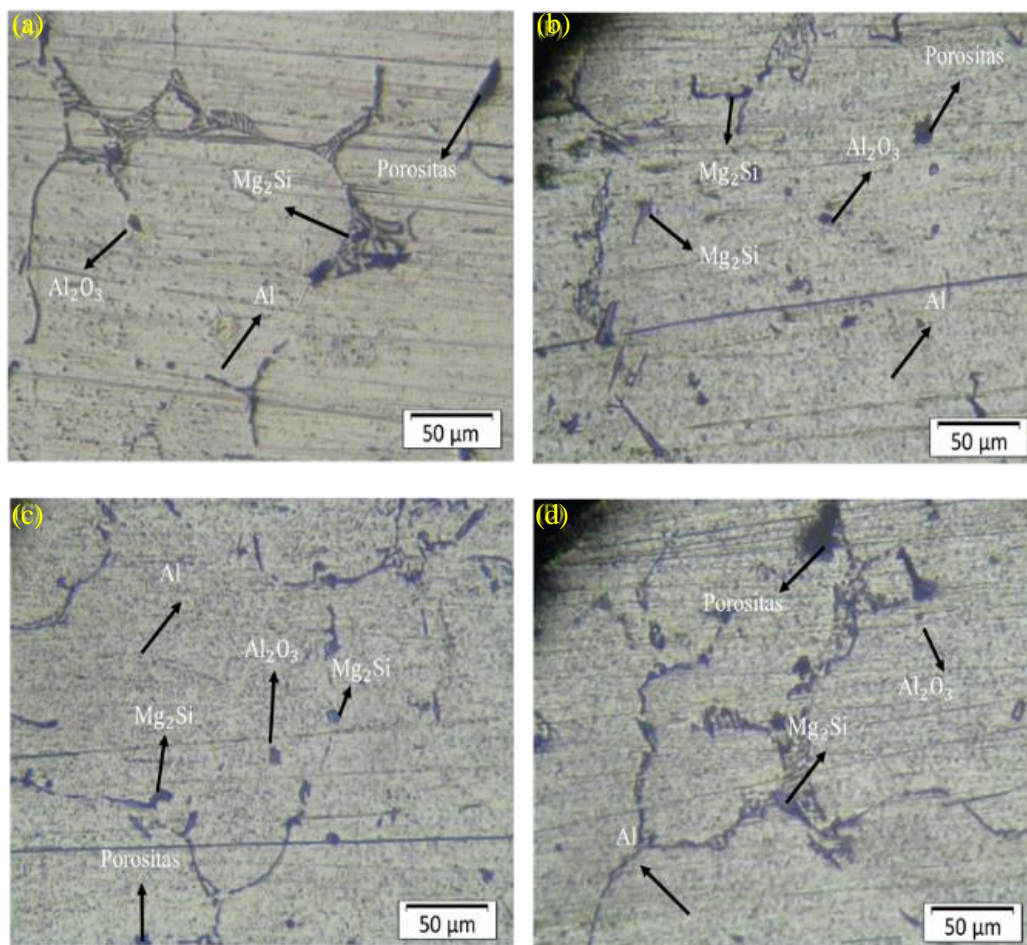
**Gambar 2.** Porositas pada komposit Al6061- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Nilai persentase porositas yang terjadi pada tiap variasi waktu *artificial aging* relatif sama seperti pada nilai densitas yang terjadi. Hal tersebut disebabkan perlakuan panas dengan proses *artificial aging* tidak mempengaruhi porositas yang terjadi pada spesimen. Persentase porositas berbanding terbalik dengan nilai densitas spesimen, semakin tinggi nilai densitas maka semakin rendah nilai porositasnya. Porositas yang terjadi dapat disebabkan oleh gas yang terjebak saat proses pengadukan dengan metode pengecoran *stir casting* dan penyusutan saat proses solidifikasi (Hashim et al, 1999).

Perlakuan *electroless coating* mampu menurunkan porositas pada tiap variasi waktu *artificial aging*. Hal tersebut disebabkan oleh meningkatnya keterbasahan antara penguat dengan matriks (Zulfia & Ajiriyanto, 2011). Keterbasahan yang baik antara matriks dan penguat akan mengurangi porositas yang terjadi.

### Struktur Mikro

Hasil pengamatan struktur mikro dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



**Gambar 3.** Hasil pengamatan struktur mikro dengan perlakuan *electroless coating* dengan variasi waktu *artificial aging*: (a) tanpa perlakuan, (b) 2 jam, (c) 4 jam, (d) 6 jam

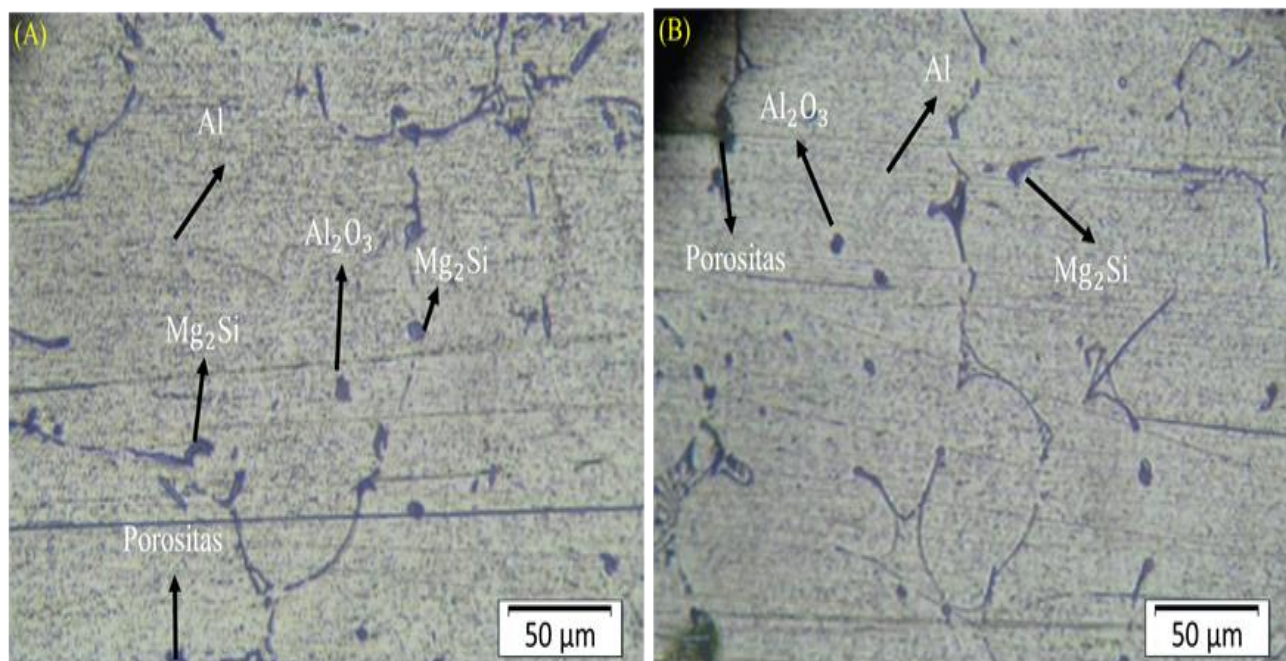
Struktur mikro komposit AA6061- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tanpa perlakuan panas terlihat pada Gambar 3 (a) menunjukkan Mg<sub>2</sub>Si terbentuk di batas butir. Selain itu dendrit mulai terbentuk. Gambar 3 (b) menunjukkan gambar struktur mikro komposit AA6061- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan perlakuan panas T6 *solution treatment* 530°C selama 6 jam dilanjutkan



dengan *quenching* media air dan *artificial aging* 200°C dengan waktu 2 jam. Presipitat Mg-Si mulai terbentuk dengan bentuk yang lebih kecil dibandingkan pada Gambar 3 (a).

Gambar 3 (c) menunjukkan gambar struktur mikro komposit AA6061- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan perlakuan panas T6 *solution treatment* 530°C selama 6 jam dilanjutkan dengan *quenching* media air dan *artificial aging* 200°C dengan waktu 4 jam. Terlihat perkembangan presipitat Mg-Si yaitu ukurannya semakin besar dibandingkan Gambar 3 (b). Ukuran presipitat yang optimum dapat meningkatkan kekerasan pada material pada proses *artificial aging* (Zulfia & Andika, 2012).

Gambar 3 (d) menunjukkan gambar struktur mikro komposit AA6061- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan perlakuan panas T6 *solution treatment* 530°C selama 6 jam dilanjutkan dengan *quenching* media air dan *artificial aging* 200°C dengan waktu 6 jam. Presipitat kembali ke batas butir dengan ukuran yang lebih besar dibandingkan Gambar 3 (c). Kondisi ini disebut dengan *over aging* yaitu kondisi dimana presipitat yang berkembang sudah melewati batas ukuran optimum untuk dapat meningkatkan kekerasan, sehingga material bersifat lunak dan kekerasannya dapat menurun (Kumar et al, 2019).

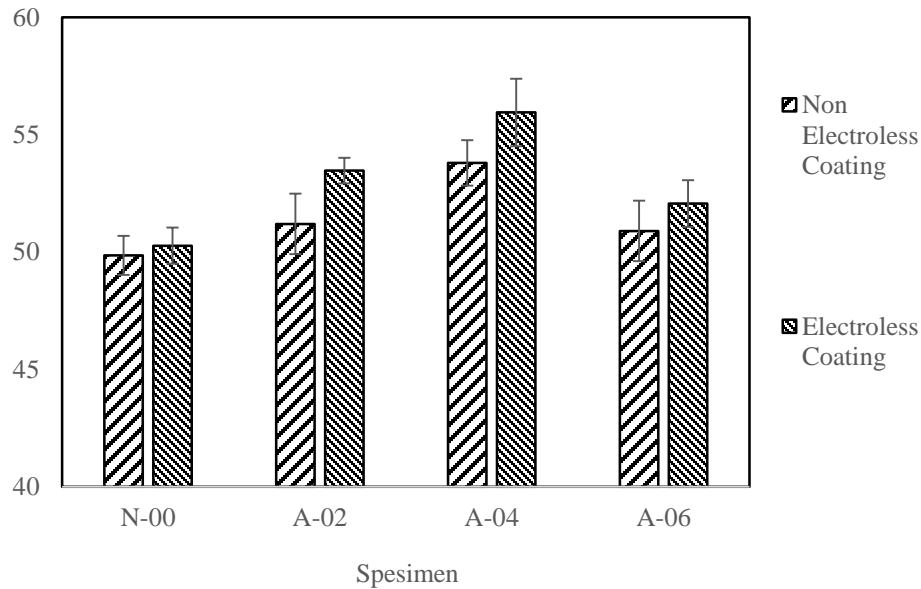


**Gambar 4.** Pengamatan struktur mikro dengan waktu *artificial aging* 4 jam dengan perlakuan penguat (a) *electroless coating*, (b) *non electroless coating*.

Gambar 4 menunjukkan perbandingan hasil pengamatan struktur mikro antara perlakuan penguat *electroless coating* dan *non electroless coating* pada variasi waktu *artificial aging* 4 jam. Terlihat porositas yang terjadi antara Gambar 4 (a) dan Gambar 4 (b). Gambar 4 (a) terlihat lebih sedikit terjadi porositas karena penguat yang telah dilakukan perlakuan *electroless coating* memiliki keterbasahan yang baik sehingga porositas yang terjadi pada hasil coran lebih sedikit. Gambar 4 (b) terlihat banyak porositas yang terjadi karena keterbasahan yang kurang dari penguat Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan matriks aluminium. Hal ini sesuai dengan pengujian porositas pada (Gambar 2) porositas yang terjadi pada penguat dengan perlakuan *electroless coating* lebih sedikit dibandingkan dengan *non electroless coating*.

### Kekerasan

Pengujian kekerasan spesimen dengan metode Brinell dapat dilihat pada Gambar 5.



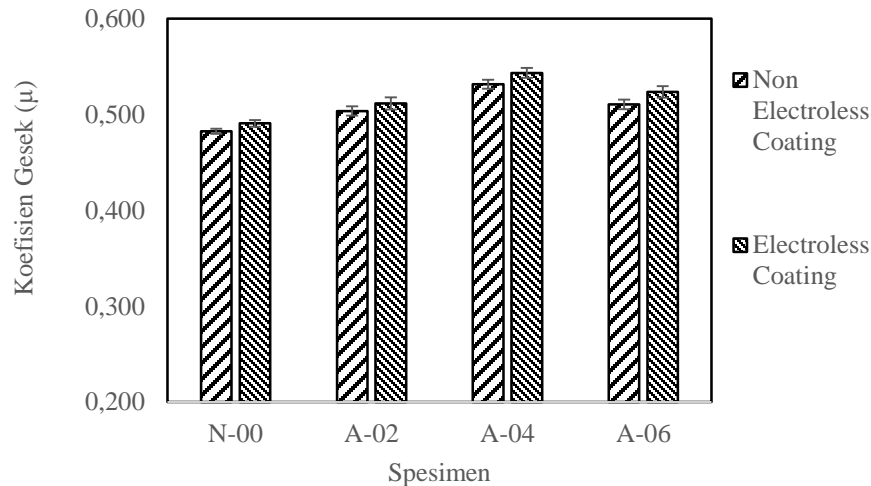
**Gambar 5.** Hasil pengujian kekerasan dengan metode Brinell

Gambar 5 menunjukkan hasil dari pengujian kekerasan dilakukan dengan metode *Brinell*. Nilai terendah terdapat pada variasi tanpa perlakuan panas sebesar 49.86 HBN untuk *non electroless coating* dan 50.25 HBN untuk *electroless coating*.

Gambar 5 juga menunjukkan grafik nilai kekerasan yang meningkat pada spesimen A-02 dan A-04, tetapi saat variasi A-06 terjadi penurunan nilai kekerasan. Hal ini disebabkan pada spesimen A-02 mulai terlihat presipitat pada sekitar penguat dan pada spesimen A-04 presipitat yang terlihat semakin banyak disekitar penguat. Pada spesimen A-06 nilai kekerasan menurun karena presipitat yang terbentuk sedikit dan ukuran menjadi besar yang menyebabkan nilai kekerasan menurun (Zulfia & Ajiriyanto, 2011). Jika dibandingkan nilai kekerasan pada perlakuan penguat *non electroless coating* dan *electroless coating* maka nilai kekerasan lebih tinggi pada perlakuan *electroless coating*. Hal ini sesuai dengan tujuan dari perlakuan *electroless coating* yaitu untuk meningkatkan keterbasahan pada matriks aluminium terhadap penguat  $Al_2O_3$  yang menyebabkan ikatan antar muka matriks aluminium dan penguat semakin kuat sehingga nilai kekerasan meningkat (Bihari & Singh, 2017).

### Koefisien Gesek

Pengujian gesek dilakukan dengan metode *pin on disc*. Gambar 6 menunjukkan hasil pengujian gesek. Nilai koefisien gesek meningkat dengan perlakuan panas waktu *aging* selama 2 jam dan 4 jam dengan nilai koefisien gesek waktu *aging* 2 jam dengan perlakuan *electroless coating* dan *non electroless coating* sebesar 0,511 dan 0,504. Nilai koefisien gesek waktu *aging* 4 jam dengan perlakuan *electroless coating* dan *non electroless coating* sebesar 0,543 dan 0,532. Tetapi pada waktu *aging* 6 jam dengan perlakuan *electroless coating* dan *non electroless coating* nilai koefisien gesek menurun menjadi 0,510 dan 0,524.



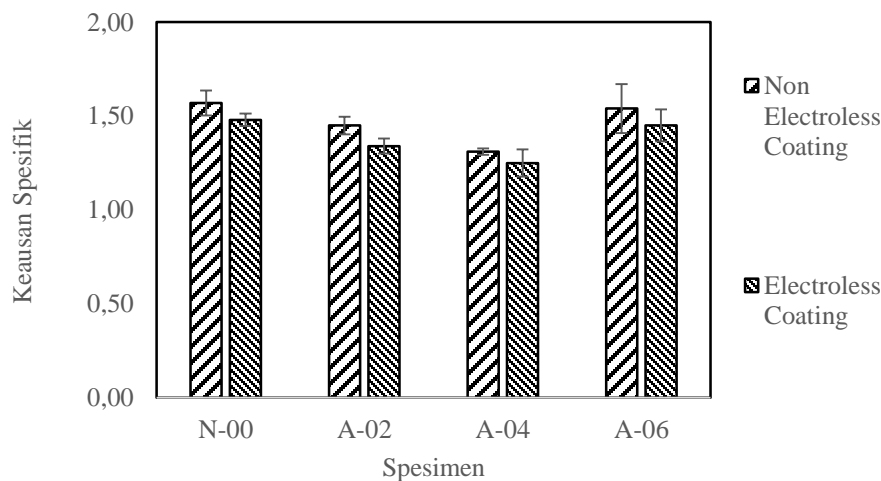
**Gambar 6.** Hasil Pengujian Gesek

Nilai koefisien gesek tertinggi diperoleh pada perlakuan panas 4 jam dengan perlakuan *electroless coating* sebesar 0,543 dan nilai terendah koefisien gesek terdapat pada spesimen tanpa perlakuan panas dan *non electroless coating* sebesar 0,483. Hal ini membuktikan bahwa perlakuan panas dengan waktu aging 2 jam dan 4 jam dengan perlakuan penguat *electroless coating* dapat meningkatkan nilai dari koefisien gesek.

#### *Laju Keausan Spesifik*

Pengujian aus dilakukan untuk mengetahui ketahanan aus dari komposit AA6061-  $Al_2O_3$  dengan perlakuan panas dan perlakuan penguat *electroless coating*. Hasil pengujian aus dapat dilihat dari Gambar 7.

Gambar 7 menunjukkan hasil keausan spesifik spesimen terhadap perlakuan panas dengan variasi waktu aging. Nilai keausan spesifik tertinggi yaitu pada komposit AA6061-  $Al_2O_3$  tanpa perlakuan panas dengan perlakuan penguat *electroless coating* dan *non electroless coating* sebesar  $1,48 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{Nm}$  dan  $1,57 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{Nm}$  dan Nilai keausan spesifik terendah terdapat pada komposit AA6061-  $Al_2O_3$  perlakuan panas dengan waktu 4 jam dan perlakuan penguat *electroless coating* dan non electroless coating sebesar  $1,25 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{Nm}$  dan  $1,31 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ .



**Gambar 7.** Hasil pengujian laju keausan spesifik

Hasil ini menunjukkan perlakuan panas dan perlakuan penguat *electroless coating* dapat menurunkan keausan spesifik spesimen, *electroless coating* memberikan efek pembasahan yang lebih baik pada partikel penguat terhadap aluminium cair. *Wettability* yang baik akan meningkatkan kekerasan material, sehingga meningkatkan ketahanan aus (Zulfia & Ajiriyanto, 2011). Semakin rendah nilai keausan spesifik maka ketahanan aus spesimen semakin baik (Pitchayapillai & Seenikannan, 2017).

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan, perlakuan panas T6 dapat meningkatkan karakteristik gesek dan kekerasan pada komposit AA6061/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan waktu *artificial aging* 2 jam dan 4 jam. Waktu optimum dari perlakuan panas T6 dengan proses *artificial aging* terjadi pada waktu 4 jam. Nilai kekerasan tertinggi pada perlakuan panas T6 dengan waktu aging 4 jam perlakuan *electroless coating* sebesar 56,70 HBN. Nilai koefisien gesek tertinggi pada perlakuan panas T6 dengan waktu aging 4 jam dengan perlakuan penguat *electroless coating* sebesar 0,543 dan nilai ketahanan aus tertinggi pada perlakuan panas T6 dengan perlakuan *electroless coating* yaitu  $1,25 \times 10^{-4}$  mm<sup>2</sup>/Nm. Perlakuan *electroless coating* pada penguat Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mampu meningkatkan kekerasan, koefisien gesek dan menurunkan keausan spesifik

## REFERENSI

- Arifin, A., & Junaidi. (2017). Pengaruh parameter stir casting terhadap sifat mekanik aluminium matrix composite (AMC). *Flywheel: Jurnal Teknik Mesin Untirta*, 3(1), 21–31. <http://dx.doi.org/10.36055/fwl.v1i1.1459>
- Bharath, V., Nagaral, M., Auradi, V., & Kori, S.A. (2014). Preparation of 6061Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> MMC's by stir casting and evaluation of mechanical and wear properties. *Procedia Material Science*, 6, 1658–1667. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2014.07.151>
- Bihari, B., & Singh, A. K. (2017). An overview on different processing parameters in particulate reinforced metal matrix composite fabricated by stir casting process. *International Journal of Engineering Research and Application*, 7(1), 42–48.
- Callister Jr, W. D. (2004). Material science and engineering: An introduction. *John Wiley & Sons*.
- Gibson, R. F. (1994). Principles of composite material mechanics. *McGraw-Hill Science/Engineering*, 205, xxvii, 579 p.
- Hashim, J., Looney, L., & Hashmi, M. S. J. (1999). Metal matrix composites: Production by the stir casting method. *Journal of Materials Processing Technology*, 92–93, 1–7. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(99\)00118-1](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(99)00118-1)
- Hemalatha, K., Venkatachalapathy, V. S. K., & Alagumurthy, N. (2013). Processing and synthesis of metal matrix Al 6063/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> metal matrix composite by stir casting process. *Journal of Engineering Research and Applications*, 3(6), 2248.
- Kandpal, B. C., Kumar, J., & Singh, H. (2018). Manufacturing and technological challenges in stir casting of metal matrix composites- A review. *Materials Today: Proceedings*, 5(1), 5–10. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.046>
- Kant, S., & Verma, A. S. (2017). Stir casting process in particulate aluminium metal matrix composite: A review. *International Journal of Mechanics and Solids*, 9(1), 973–1881.
- Pitchayapillai, G, Seenikannan P. (2017). Effect of nano-silver on microstructure, mechanical and tribological properties of cast 6061 aluminium alloy. *Transaction Nonferrous Metal Society Chin*, 27(10),



2137–2145. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(17\)60239-5](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(17)60239-5)

- Rasheed R., R, Deth. K. J, V., & Mathew, A. (2016). Investigation of heat treatment on Al 6061- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite & analysis of corrosion behaviour. *International Journal Engineering Trends and Technology*, 30(7), 360–363. <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V30P267>
- Sahu, M.K & Sahu, R.K. (2018). Fabrication of aluminum matrix composites by stir casting technique and stirring process parameters optimization. *Advanced Casting Technologies*, pp.111-126.
- Tiwari, S. K., Soni, S., Rana, R. S., & Singh, A. (2017). Effect of heat treatment on mechanical properties of aluminium alloy-fly ash metal matrix composite. *Materials Today: Proceedings*, 4(2), 3458–3465. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.02.235>
- Zulfia A & Ajiriyanto, M.K. (2011). Effect of artificial aging (T6) on microstructure of Al-AC8H/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> MMC produced by stir casting route. *Advanced Material Research*, 328–330, 1552–1555. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.328-330.1552>
- Zulfia, A. & Andika, A. (2012). Production of aluminium AC8H/Al<sub>2</sub>O<sub>3p</sub> coated metal matrix composites by stir casting route. *AIJSTPME*, 5(4), 53–58.