

Pengaruh Perlakuan *Preheat* Partikel Al₂O₃ Pada Proses *Stir Casting* terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Komposit Al6061- Al₂O₃

Eko Surojo¹, Henri Fatih Wibowo¹, Teguh Triyono¹, Agus Suprihanto²

¹Program Studi Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

²Departemen Teknik Mesin – Universitas Diponegoro

e-mail address: Henri@student.uns.ac.id

Keywords:

Aluminium Matrix Composite, Stir Casting, Preheat, Al6061, Al₂O₃

Abstrak:

Aluminium komposit secara luas digunakan untuk aplikasi kinerja tinggi seperti di otomotif, militer dan kedirgantaraan. *Stir casting* merupakan salah satu metode yang digunakan untuk memproduksi AMC (*Aluminium Matrix Composite*). Parameter dalam metode *stir casting* yang harus dipertimbangkan ketika proses manufaktur diantaranya adalah temperatur pengadukan, kecepatan pengadukan dan perlakuan pada partikel penguat karena akan berpengaruh terhadap sifat fisik dan mekanik komposit. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh pemanasan awal serbuk Al₂O₃ terhadap porositas, kekerasan, laju keausan spesifik dan koefisien gesekan komposit Al6061-Al₂O₃. Proses manufaktur komposit dilakukan pada temperatur pengadukan 720-740°C, kecepatan pengadukan 600 rpm dan variasi perlakuan *preheat* pada partikel penguat Al₂O₃ dengan suhu ruang, 150°C dan 300°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan *preheat* pada partikel penguat Al₂O₃ berpengaruh terhadap porositas, kekerasan, laju keausan spesifik dan koefisien gesek komposit. Perlakuan *preheat* pada partikel penguat Al₂O₃ mampu menurunkan porositas, meningkatkan kekerasan dan koefisien gesek, serta menurunkan laju keausan spesifik komposit. Pemberian perlakuan *preheat* yang optimal didapat pada suhu 300°C.

PENDAHULUAN

Era modern ini teknologi dan ilmu pengetahuan berkembang sangat pesat, termasuk di dunia teknik mesin khususnya di bidang material. Perkembangan teknologi di bidang material dicapai melalui rekayasa material agar dihasilkan material yang memiliki sifat unggul dimana salah satu hasil rekayasa tersebut adalah material komposit. Material komposit ini mempunyai keunggulan yaitu ringan, tahan korosi, pemeliharaan mudah dan fleksibel [1].

Metal matrix composite (MMC) adalah material teknologi tinggi yang menggabungkan logam sebagai matrik dan keramik sebagai penguat. Bahan matrik paling populer dalam komposit matrik logam adalah aluminium atau paduannya yang biasa disebut *aluminium matrix composite* (AMC) [2]. *Aluminium matrix composite* (AMC) banyak digunakan untuk aplikasi berkinerja tinggi seperti di bidang otomotif, militer dan dirgantaraan karena sifat fisik dan mekaniknya yang dapat ditingkatkan [3].

Salah satu AMC adalah Al6061 yang diperkuat dengan Al₂O₃ (Alumina). Al6061 adalah matrik yang paling umum digunakan karena memiliki nilai kekuatan tinggi, ketahanan korosi dan kemampuan las yang sangat baik. Aluminium adalah material matrik yang paling menjanjikan untuk

membuat material komposit yang memiliki kestabilan suhu, kekuatan mekanik yang tinggi serta massa jenis yang ringan. Al6061 memiliki kekuatan luluh sedang, dan memiliki sifat formabilitas yang baik. Sementara itu, partikel alumina adalah penguat yang memiliki nilai kekerasan tinggi, ketahanan oksida dan stabilitas kimia yang baik [3].

Metode fabrikasi yang digunakan untuk memproduksi AMC antara lain *powder metallurgy*, *melt infiltration*, *stir casting* dan *squeeze casting*. Metode *stir casting* paling banyak digunakan karena memiliki kelebihan produktivitas tinggi, bentuk produk yang rumit dan ukuran yang kecil dapat dengan mudah diproduksi [4]. Pada proses *stir casting* terdapat beberapa parameter yang terlibat untuk menentukan sifat fisik maupun mekanik material. Parameter tersebut meliputi perbedaan suhu penuangan, waktu pengadukan dan kecepatan pengadukan [5].

Sifat fisik dan mekanik material komposit juga dipengaruhi oleh distribusi partikel penguat. Distribusi partikel yang baik akan meningkatkan sifat fisik serta mekanik suatu komposit. Distribusi partikel yang tidak merata termasuk permasalahan yang sering ditemukan di dalam *stir casting* [6]. Kecepatan pengadukan adalah parameter proses yang penting

<https://dx.doi.org/10.20961/mechanika.v19i2.43646>

Submitted August 2020; Revised September 2020; Published September 2020

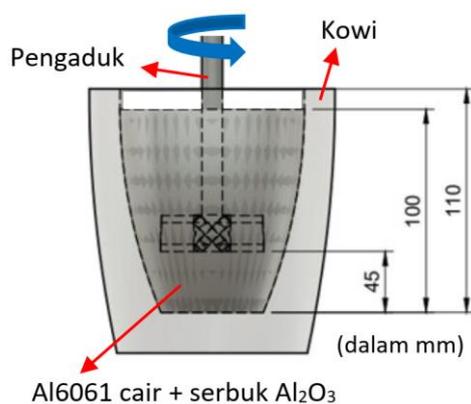
© Mekanika: Majalah Ilmiah Mekanika. All right reserved.

karena pengadukan diperlukan untuk membantu tercapainya *wettability* (keterbasahan). Oleh karena itu, kontrol kecepatan sangat penting untuk keberhasilan produksi pengecoran. Kecepatan pengadukan juga mempengaruhi struktur aliran pengadukan [7]. Selain kecepatan pengadukan, untuk tercapainya *wettability* yang baik bisa diperoleh dengan metode tambahan seperti perlakuan *preheat* pada partikel penguat, penambahan elemen paduan dan pelapisan permukaan pada partikel penguat [8].

Preheat pada partikel penguat sangat diperlukan untuk menghilangkan uap air dan gas dari permukaan partikel penguat. Jika di permukaan partikel penguat terdapat uap air dan gas maka kemungkinan terbentuknya aglomerasi partikel penguat dan terperangkapnya gas di dalam komposit akan semakin besar. Pemanasan awal partikel partikel penguat sebelum dicampurkan ke dalam cairan logam matrik membantu proses percampuran antara partikel penguat dengan matrik. Hal ini disebabkan berkurangnya gas yang ada pada permukaan partikel. Selain itu kotoran di permukaan partikel juga ikut menghilang. Permukaan partikel yang bersih memberikan peluang yang lebih baik untuk interaksi partikel dengan demikian meningkatkan *wettability* dengan matrik [7]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mempelajari pengaruh *preheat* partikel Al_2O_3 terhadap sifat fisik dan mekanik komposit Al6061- Al_2O_3 sehingga diketahui perlakuan *preheat* yang optimal.

METODOLOGI PENELITIAN

Pembuatan komposit Al6061- Al_2O_3 menggunakan metode *stir casting* (Gambar 1). Alat yang digunakan dalam metode ini yaitu tungku pemanas tahanan listrik, pengaduk *four blade impeller* berbahan *stainless steel* seri 304 dengan diameter sudu 50 mm dan kemiringan 45° . Pengaduk diputar oleh motor listrik 1/4 HP. Sementara itu, kowi terbuat dari bahan dasar grafit dan cetakan permanen berbahan baja dengan dimensi $132 \times 132 \times 40$ mm dengan tebal 9 mm.



Gambar 1 Skema proses *stir casting*

Temperatur pengadukan $720-740^\circ C$, kecepatan pengadukan 600 rpm dan waktu pengadukan 10 menit. Terdapat variasi pada partikel penguat Al_2O_3 dengan perlakuan *preheat* pada temperatur ruang, $150^\circ C$ dan $300^\circ C$. Setelah spesimen difabrikasi dilakukan proses permesinan untuk dibuat menjadi beberapa bagian sebelum dilakukan pengujian. Pengujian dilakukan untuk mengetahui karakteristik komposit.

a. Pengamatan Metalografi

Pengamatan metalografi dalam penelitian mengacu pada standar ASTM E407 dengan menggunakan larutan etsa *reagen keller*, 2ml HF + 3 ml HCl + 5 ml HNO_3 + 190 ml aquades. Pengamatan metalografi dilakukan dengan tahapan: perataan permukaan spesimen dengan menggunakan kikir, pengamplasan spesimen hingga amplas *grade 2000*, pemolesan menggunakan autosol dan kain. Dan pencelupan spesimen yang telah siap ke larutan etsa selama 10-20 detik. Setelah proses etsa, permukaan spesimen dibersihkan menggunakan air yang mengalir. Pengamatan spesimen menggunakan *microscope optic*.

b. Pengujian Densitas dan Porositas

Pengujian densitas digunakan untuk membandingkan densitas komposit dengan densitas teoritis. Perhitungan densitas dilakukan menggunakan hukum Archimedes. Tahapan pengujian densitas dan porositas menyiapkan spesimen. Menyiapkan timbangan dan gelas ukur berisi air. Menimbang berat spesimen kering. Menimbang berat spesimen basah di dalam gelas ukur dengan cara memasukkan spesimen ke dalam gelas ukur sampai seluruh permukaan spesimen terendam air. Mencatat angka yang tertera pada hasil timbangan. Menghitung densitas spesimen hasil pengujian.

c. Pengujian Kekerasan

Penelitian ini menggunakan pengujian kekerasan menggunakan metode *Brinell* dengan standar ASTM E-10. Pengujian kekerasan dilakukan pada 3 titik untuk setiap spesimennya. Tahap pengujiannya dengan menyiapkan spesimen yang telah halus dan memiliki bidang yang sejajar atas dan bawah. Menyiapkan alat uji kekerasan dengan memasang indenter dengan diameter 2,5 mm, beban 62,5 kg, dan waktu pembebanan selama 30 detik.

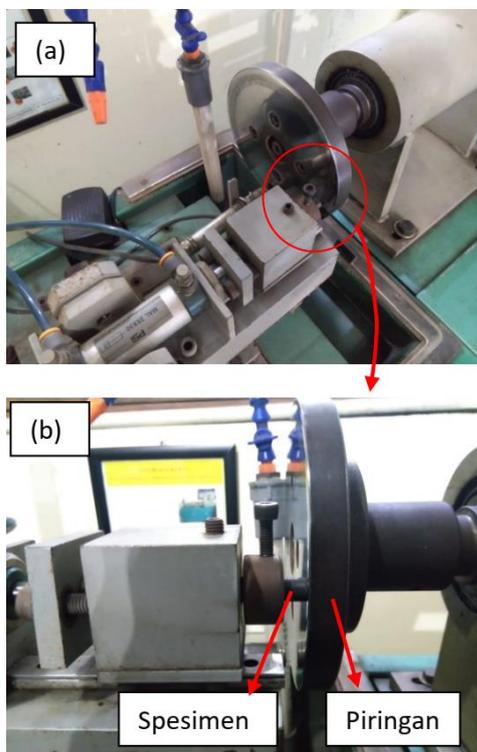
d. Pengujian Laju Keausan Spesifik

Pengujian laju keausan spesifik dilakukan dengan menggunakan mesin tribometer tipe *pin-on-disc* seperti ditunjukkan Gambar 2. Pengujian gesek dilakukan dengan cara menggesekkan permukaan spesimen (pin) pada piringan berputar. Piringan diputar oleh poros yang dihubungkan dengan motor listrik. Pengujian gesek dilakukan pada kecepatan gesek 2 m/s, gaya penekanan 20 N dan panjang lintasan 2000 m. Pengujian laju keausan spesifik dilakukan 3 kali setiap variasi bahan. Data dari 3 kali

pengujian setiap variasi bahan dirata-rata untuk mendapatkan hasil nilai laju keausan spesifik.

e. Pengujian Koefisien gesek

Pengujian koefisien gesek dilakukan dengan menggunakan tribometer tipe *pin-on-disc*. Pengujian koefisien gesek dilakukan dengan kecepatan gesek 2 m/s dan gaya penekanan 20 N. Setiap variasi dilakukan 3 kali pengujian. *Load cell* dan sistem data akuisisi dipasang pada alat uji gesek *pin on disc* untuk mengukur gaya gesek selama pengujian. Koefisien gesek diperoleh melalui perhitungan yakni membagi gaya gesek dengan gaya normal. Pada saat spesimen dan piringan bergesekan Data yang didapat kemudian dirata-rata untuk tiap variasi.



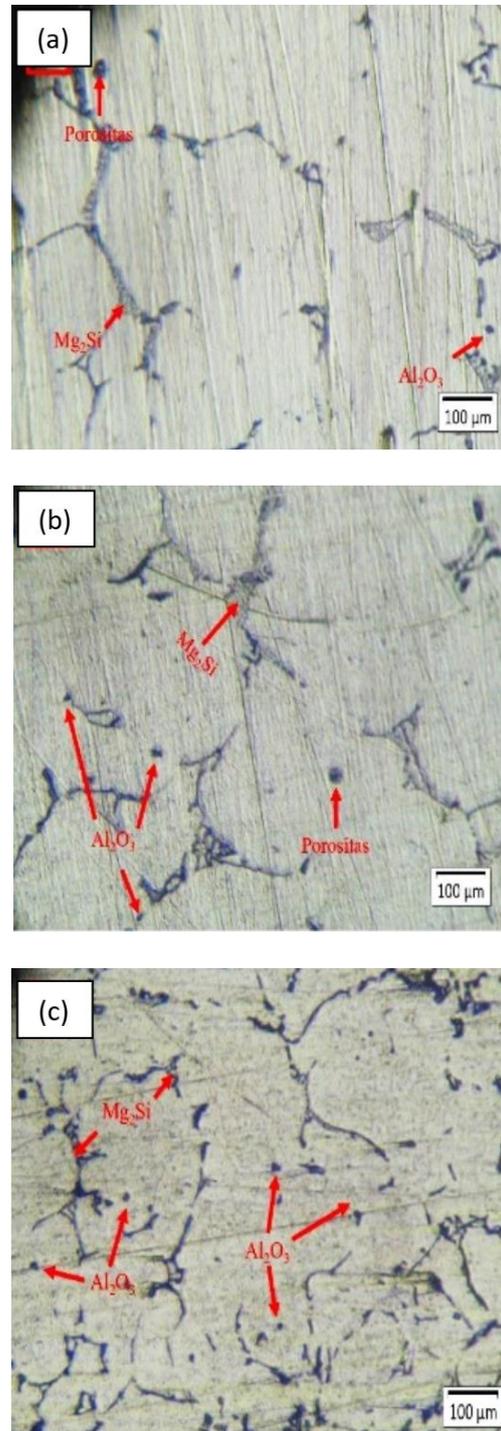
Gambar 2 Alat uji gesek *pin on disc*: (a) tampak atas, (b) kontak antara spesimen dan piringan

HASIL DAN PEMBAHASAN

a) Pengamatan Metalografi

Hasil pengamatan struktur mikro komposit Al6061 – Al₂O₃ dapat dilihat pada Gambar 3. Gambar 3 menunjukkan bahwa struktur mikro dengan variasi *preheat* suhu 150°C dan 300°C memiliki porositas yang lebih sedikit dibandingkan dengan *preheat* suhu ruang (tanpa *preheat*). Selain itu, spesimen dengan variasi *preheat* suhu ruang terlihat memiliki penyebaran partikulat Al₂O₃ yang kurang merata. Hal ini akibat adanya kelembaban dan gas yang masih terjebak di dalam partikel penguat dan menyebabkan terjadinya aglomerasi dimana hal ini diakibatkan oleh perlakuan *preheat* yang kurang optimal [7].

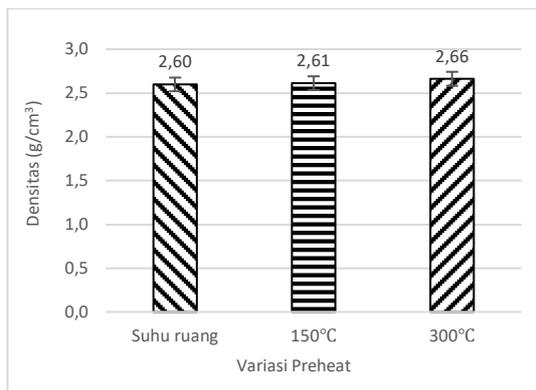
Sedangkan di variasi 300°C terlihat partikulat Al₂O₃ tersebar merata dan sedikit terbentuk porositas. Hal ini disebabkan karena perlakuan *preheat* yang optimal pada partikel penguat dapat menghasilkan peningkatan *wettability* [8]. Peningkatan *wettability* antara matrik dan penguat akan menghasilkan meratanya distribusi partikel Al₂O₃ [9].



Gambar 3 Pengamatan struktur mikro komposit Al 6061–Al₂O₃ dengan variasi *preheat* : (a) Suhu ruang, (b) 150°C dan (c) 300°C

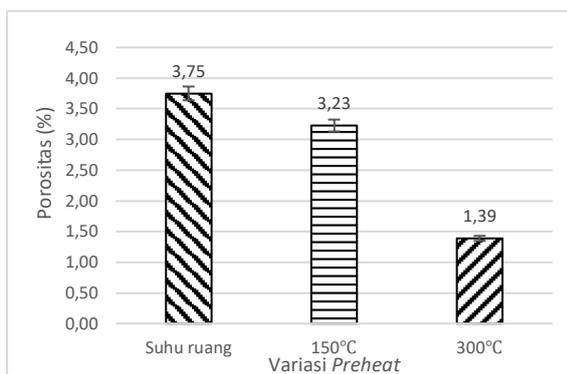
b) Pengujian Densitas dan Porositas

Hasil pengujian densitas dan porositas komposit Al6061 – Al₂O₃ dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5. Gambar 4 menunjukkan bahwa hasil pengujian densitas dengan variasi suhu *preheat* 300°C memiliki nilai rata-rata densitas sebesar 2,66 g/cm³, spesimen dengan variasi *preheat* 150°C memiliki nilai rata-rata densitas sebesar 2,61 g/cm³, spesimen dengan variasi *preheat* suhu ruang memiliki nilai rata-rata densitas sebesar 2,6 g/cm³. Hasil pengujian densitas yang memiliki nilai rata-rata tertinggi adalah spesimen dengan variasi *preheat* 300°C.



Gambar 4 Grafik rata-rata pengujian densitas

Gambar 5 menunjukkan bahwa hasil pengujian porositas dengan variasi suhu *preheat* 300°C memiliki nilai rata-rata porositas sebesar 1,39 %, spesimen dengan variasi *preheat* 150°C memiliki nilai rata-rata porositas sebesar 3,23 %, spesimen dengan *preheat* suhu ruang memiliki nilai rata-rata porositas sebesar 3,75 %. Hasil pengujian porositas yang memiliki nilai rata-rata terendah adalah spesimen dengan variasi *preheat* 300°C.



Gambar 5 Grafik rata-rata pengujian porositas

Metode *stir casting* mempunyai potensi untuk terciptanya porositas. Hal ini terjadi dikarenakan reaksi kimia antara partikel penguat dan matrik atau terdapatnya kandungan air di partikel penguat akan menghasilkan gas ketika partikel penguat dicampurkan ke dalam matrik cair yang panas. Gas yang terbentuk ketika pencampuran dapat terjebak

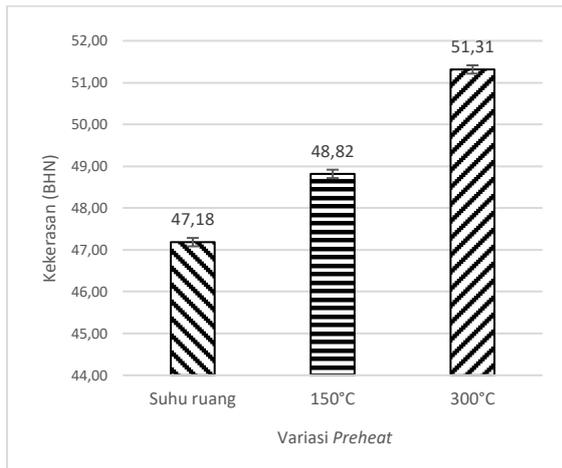
selama proses pengadukan sehingga menyebabkan terbentuknya porositas. Porositas yang terbentuk di dalam hasil coran akan menurunkan sifat mekanis material komposit. *Wettability* yang tinggi mampu mengurangi porositas yang terbentuk pada bagian antar muka matrik dan partikel penguat [10].

Proses *preheat* pada partikel penguat bertujuan untuk meningkatkan *wettability* partikel penguat [11]. Spesimen dengan variasi *preheat* 150°C dan 300°C mempunyai nilai densitas yang lebih tinggi dan porositas yang lebih rendah dibandingkan dengan variasi *preheat* suhu ruang atau *non preheat* sejalan dengan yang terlihat pada struktur mikro. Hal ini sesuai dengan penelitian Gecu, dkk (2017) yang mengatakan bahwa perlakuan *preheat* dapat menghasilkan karakteristik komposit yang lebih baik dibandingkan dengan variasi *preheat* suhu ruang (*non-preheat*) [12].

Gambar 5 menunjukkan bahwa perlakuan *preheat* terbaik dalam hal porositas adalah variasi *preheat* dengan suhu 300°C, karena *wettability* yang meningkat akibat *preheat* sehingga gas yang terjebak di dalam proses pengadukan berkurang. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Sajjadi, dkk (2012) yang menyatakan kondisi optimal dalam pembuatan komposit adalah dengan variasi *preheat* partikel penguat dengan suhu 300°C [13].

c) Pengujian Kekerasan

Gambar 6 menunjukkan bahwa hasil pengujian kekerasan spesimen dengan variasi tanpa *preheat*, *preheat* 150°C, dan *preheat* 300°C memiliki nilai rata-rata kekerasan berturut turut sebesar 47,18 BHN, 48,82 BHN dan 51,31 BHN. Hasil ini memperlihatkan bahwa spesimen yang memiliki nilai rata-rata kekerasan tertinggi adalah spesimen dengan variasi *preheat* 300°C. Fenomena ini disebabkan oleh adanya pengaruh *preheat* terhadap porositas dan *wettability* antara partikel penguat dan matrik. *Preheat* yang dilakukan terhadap partikel penguat akan menurunkan cacat porositas dan meningkatkan kekuatan ikatan antara matrik dan penguatnya sehingga hal ini meningkatkan nilai kekerasan komposit [11].



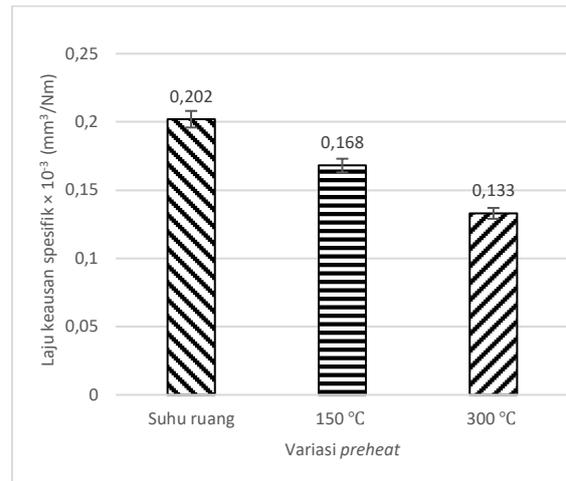
Gambar 6 Grafik rata-rata pengujian kekerasan Brinell

Hasil pengujian yang memiliki nilai kekerasan terendah adalah kekerasan spesimen dengan variasi *non-preheat*. Hal ini disebabkan variasi ini memiliki porositas yang paling tinggi. Selain itu, *wettability* yang kurang baik baik pada variasi *non-preheat* juga ikut menurunkan nilai kekerasannya. Hal ini sesuai dengan penelitian Sriwahyudi dkk. [14] yang mengatakan bahwa porositas yang rendah mengakibatkan kekerasan meningkat dan penelitian Prabowo dkk. [15] yang mengatakan bahwa *wettability* yang baik antara matrik dan penguat mampu meningkatkan kekerasan.

Pada hasil pengujian kekerasan yang memiliki nilai rata-rata tertinggi yaitu spesimen dengan variasi *preheat* 300°C. Hal ini di sebabkan oleh porositas yang rendah [12] dan *wettability* yang baik antara matrik dan penguatnya [11].

d) Pengujian Laju Keausan Spesifik

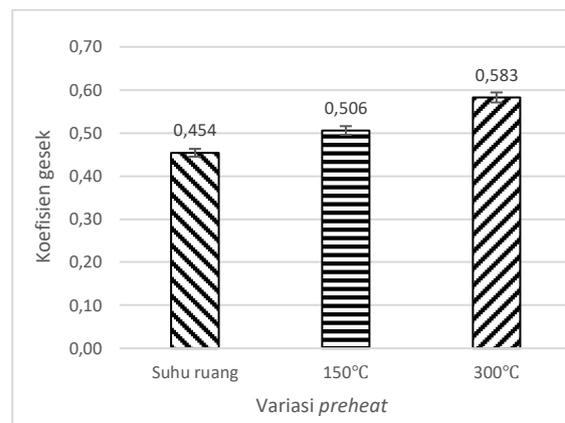
Gambar 7 menunjukkan hasil pengujian laju keausan spesifik. Spesimen dengan variasi *non-preheat*, *preheat* 150°C, dan *preheat* 300°C memiliki nilai rata-rata laju keausan spesifik berturut-turut sebesar $0,202 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{Nm}$, $0,168 \times 10^{-3}$, dan $0,133 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{Nm}$. Spesimen dengan variasi *preheat* 300°C memiliki nilai rata-rata laju keausan spesifik terendah. Hal ini di sebabkan oleh variasi ini memiliki nilai kekerasan tertinggi dibandingkan dengan variasi lainnya. Sebaliknya, spesimen dengan variasi suhu ruang (*non-preheat*) menghasilkan laju keausan spesifik tertinggi dan nilai kekerasan terendah. Hal ini sesuai dengan penelitian Solichin yang menyatakan bahwa kekerasan yang tinggi menghasilkan keausan yang rendah [16].



Gambar 7 Grafik rata-rata pengujian laju keausan spesifik

e) Pengujian Koefisien Gesek

Gambar 8 menunjukkan hasil pengujian koefisien gesek. Spesimen dengan variasi *non-preheat*, *preheat* 150°C, dan *preheat* 300°C memiliki nilai rata-rata koefisien gesek berturut-turut sebesar 0,454, 0,506, dan 0,583. Hasil ini memperlihatkan bahwa spesimen dengan variasi *preheat* 300°C memiliki nilai rata-rata koefisien gesek tertinggi. Fenomena ini dikarenakan tersebarnya penguat Al_2O_3 secara merata pada spesimen *preheat* 300°C seperti yang terlihat pada struktur mikro. Perlakuan *preheat* yang optimal dapat meningkatkan *wettability* dan berikutnya menghasilkan tersebarnya Al_2O_3 secara lebih merata [8]. Sedangkan hasil koefisien gesek terendah adalah variasi suhu ruang (*non preheat*). Spesimen *non preheat* memiliki partikel Al_2O_3 yang yang tidak tersebar merata seperti terlihat pada struktur mikro. Hal ini sesuai dengan penelitian Eriksson dkk. [17] yang mengatakan Al_2O_3 adalah partikel *abrasive* yang mampu meningkatkan koefisien gesek dari spesimen.



Gambar 8 Grafik rata-rata pengujian koefisien gesek

KESIMPULAN

Berdasarkan proses pengujian, pengamatan serta hasil pembahasan yang telah dilakukan di dalam

penelitian ini maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Perlakuan *preheat* pada partikel penguat Al_2O_3 berpengaruh terhadap sifat fisik komposit:
 - a. Perlakuan *preheat* pada partikel penguat Al_2O_3 berpengaruh terhadap penyebaran partikel penguat. Komposit yang partikel penguatnya diberi perlakuan *preheat* mempunyai tingkat persebaran partikel Al_2O_3 yang lebih merata. Persebaran partikel Al_2O_3 terbaik pada penelitian ini terdapat pada variasi *preheat* $300^\circ C$.
 - b. Perlakuan *preheat* pada partikel penguat Al_2O_3 berpengaruh terhadap porositas komposit. Komposit yang partikel penguatnya diberi perlakuan *preheat* memiliki porositas yang lebih rendah. Porositas terendah pada penelitian ini terdapat pada variasi *preheat* $300^\circ C$.
2. Perlakuan *preheat* pada partikel penguat Al_2O_3 berpengaruh terhadap sifat mekanik komposit:
 - a. Perlakuan *preheat* pada partikel penguat Al_2O_3 berpengaruh terhadap kekerasan komposit. Kekerasan tertinggi pada penelitian ini dicapai pada variasi *preheat* $300^\circ C$ yang disebabkan oleh rendahnya porositas dan tersebaranya partikel Al_2O_3 secara merata.
 - b. Perlakuan *preheat* pada partikel penguat Al_2O_3 berpengaruh terhadap laju keausan spesifik. Laju keausan spesifik terendah pada penelitian ini dicapai pada variasi *preheat* $300^\circ C$. Hal ini disebabkan oleh nilai kekerasan yang tinggi pada variasi *preheat* $300^\circ C$.
 - c. Perlakuan *preheat* pada partikel penguat Al_2O_3 berpengaruh terhadap koefisien gesek. Koefisien gesek tertinggi pada penelitian ini dicapai pada variasi *preheat* $300^\circ C$ yang disebabkan oleh partikel Al_2O_3 yang tersebar secara merata.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. C. Kandpal, J. Kumar, and H. Singh, "Fabrication and Characterisation of Al_2O_3 /Aluminium Alloy 6061 Composites Fabricated by Stir Casting," *Materials Today: Proceedings*, vol. 4, no. 2, pp. 2783–2792, 2017.
- [2] N. Panwar, and A. Chauhan, "Fabrication Methods of Particulate Reinforced Aluminium Metal Matrix Composite-A Review," *Materials Today: Proceedings*, vol. 5, no. 2, pp. 5933–5939, 2018.
- [3] K. D. Koli, G. Agnihotri, and R. Purohit, "Influence of Ultrasonic Assisted Stir Casting on Mechanical Properties of Al_6061 -Nano Al_2O_3 Composites," *Materials Today: Proceedings*, vol. 2, no. 4–5, pp. 3017–3026, 2015.
- [4] M. T. Sijo, and K. R. Jayadevan, "Characterization of Stir Cast Aluminium Silicon Carbide Metal Matrix Composite," *Materials Today: Proceedings*, vol. 5, no. 11, pp. 23844–23852, 2018.
- [5] A. Arifin, and Junaidi, "Pengaruh Parameter Stir Casting Terhadap Sifat Mekanik Aluminium Matrix Composite (Amc)," *FLYWHEEL : Jurnal Teknik Mesin Untirta*, vol. 1, no. 1, pp. 21–31, 2017.
- [6] M. K. Sahu, and R. K. Sahu, "Fabrication of Aluminum Matrix Composites by Stir Casting Technique and Stirring Process Parameters Optimization," *Advanced Casting Technologies*. 2018.
- [7] B. Bihari, and A. K. Singh, "An Overview on Different Processing Parameters in Particulate Reinforced Metal Matrix Composite Fabricated by Stir Casting Process," *International Journal of Engineering Research and Applications*, vol. 7, no. 1, pp. 42–48, 2017.
- [8] V. Bharath, M. Nagaral, V. Auradi, and S. A. Kori, *Preparation of 6061Al-Al₂O₃ MMC's by Stir Casting and Evaluation of Mechanical and Wear Properties*, Procedia Materials Science, vol. 6(Icmpe), pp. 1658–1667, 2014.
- [9] A. Triono, T. Triyono, and I. Yaningsih, "Analisa Pengaruh Penambahan Mg Pada Matriks Komposit Aluminium Remelting Piston Berpenguat SiO_2 Terhadap Kekuatan Impak Dan Struktur Mikro Menggunakan Metode Stir Casting," *Mekanika*, vol. 14, pp. 47–56, 2015.
- [10] T. S. Cavalcante, and J. M. R. S. Tavares, "Brinell and Vickers Hardness Measurement Using," *Journal of Testing and Evaluation*, 2010.
- [11] J. Hashim, L. Looney, and M. S. J. Hashmi, "The Wettability of SiC Particles by Molten Aluminium Alloy," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 119, no. 1–3, pp. 324–328, 2001.
- [12] R. Gecu, H. Atapek, and A. Karaaslan, "Influence of Preform Preheating on Dry Sliding Wear Behavior of 304 Stainless Steel Reinforced A356 Aluminum Matrix Composite Produced by Melt Infiltration Casting," *Tribology International*, vol. 115, pp. 608–618, 2017.
- [13] S. A. Sajjadi, M. Torabi Parizi, H. R. Ezatpour, and A. Sedghi, "Fabrication of A356 Composite Reinforced with Micro and Nano Al_2O_3 Particles by a Developed Compocasting Method and Study of Its Properties," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 511, no. 1, pp. 226–231, 2012.
- [14] S. Sulardjaka, M. S. Rahman, and C. Wahyudianto, "Pengaruh Waktu Dan Temperatur Sinter Terhadap Densitas Dan Porositas Komposit Aluminium Yang Diperkuat Limbah Geothermal," *Rotasi*, vol. 15, no. 4, p. 28, 2013.
- [15] A. S. Prabowo, T. Triyono, and I. Yaningsih, "Analisa Pengaruh Penambahan Mg pada

- Komposit Matrik Aluminium Remelting Piston Berpenguat Sio₂ Menggunakan Metode Stir Casting terhadap Kekerasan dan Densitas,” *Mekanika*, vol. 15, pp. 37–43, 2016.
- [16] M.Solichin, Y. Kaelani, and T. V. Kusumadewi, “Studi Eksperimental Laju Keausan (Specific Wear Rate) pada Ultra High Molecular Weight Polyethylene (Uhmwpe) dengan Stainless Steel sebagai Sendi Lutut Buatan (Total Knee Joint Replacement) Manusia,” *Paper and Presentation of Mechanical Engineering*, pp. 5–8, 2012.
- [17] M. Eriksson, and S. Jacobson, “Tribological Surfaces of Organic Brake Pads,” *Tribology International*, vol. 33, no. 12, pp. 817–827, 2000.