

## Kaji Eksperimental Efek Presentase Penguat Serbuk SiC (*Silicon Carbida*), Mg (*Magnesium*) pada Pengolahan Limbah Alumunium dengan Metode *Stir Casting*

Muhammad Faesal Febriyandono<sup>1\*</sup>, Hisyam Ma'mun<sup>2</sup>, Muhammad Budi Haryono<sup>3</sup>, Muhamad Safi'i<sup>4</sup>,  
Rizky Dwi Ardika<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Persatuan Guru  
Republik Indonesia Semarang.

Jl. Lontar No.24, Karangtempel, Kec. Semarang Tim., Kota Semarang, Jawa Tengah 50232.

<sup>5</sup> Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Ponorogo.

Jl. Budi Utomo No.10, Ronowijayan, Kec. Ponorogo, Kabupaten Ponorogo, Jawa Timur 63471.

Email: <sup>1</sup>[muhammadfaesalfebriandyono@upgris.ac.id](mailto:muhammadfaesalfebriandyono@upgris.ac.id)

Submitted Date: Mei 13, 2026

Reviewed Date: Mei 21, 2026

Revised Date: Mei 24, 2026

Accepted Date: Mei 30, 2026

### Abstract

*The use of Aluminum materials in the manufacturing industry, especially automotive, as well as various community needs such as motor vehicles, machine components, and other fields. The use of Aluminum materials has various impacts, both positive and negative. The positive impacts of using Aluminum materials such as its lightweight, rust-resistant, and recyclable material, making it useful in various applications such as construction, transportation, and packaging. However, the negative impacts, its production can have a negative impact on the environment and health, especially in terms of global warming, water consumption, and potential toxicity that causes it to become waste. Previous research focused on analyzing the melting of Aluminum materials using the stir casting method on the effect of temperature variations, rotation speed, percentage of SiC, SiO<sub>2</sub>, Mg mass fractions, and stirring time on increasing tensile strength, impact strength, and macro and micro structures of Aluminum materials. In addition, there are no experimental studies on the utilization, processing, and melting of waste Aluminum materials used as vehicle components using the stir casting method. Variations in the addition of SiC (silicon carbide) and Mg (magnesium) powder of 5 g and 7.5 g at a temperature range of 600°C, 700°C, and 800°C at a constant stir rotation speed of 600 Rpm and a stirring time of 15 minutes are proposed in this research in order to increase the tensile strength, macrostructure, microstructure, and reduce the porosity effect of Aluminum material. To determine the physical properties of Aluminum material, tensile tests and NDT tests were carried out. The research results show that the Aluminum AlSiCMg composite material with a pouring temperature variation of 800°C has optimal results in terms of material strength and hardness values, these results can be recommended and applied to practical applications in the field.*

**Kata kunci :** Alumunium, Casting, Strength, Stir, Hardness.

### Abstrak

Penggunaan material Alumunium pada dunia industri manufaktur terutama otomotif serta berbagai kebutuhan masyarakat seperti kendaraan bermotor, komponen mesin, dan bidang lainnya. Penggunaan material Alumunium memberikan berbagai dampak, baik dampak positif maupun negatif. Dampak positif penggunaan material Alumunium seperti materialnya yang ringan, tahan karat, dan dapat didaur ulang, membuatnya berguna di berbagai aplikasi seperti konstruksi, transportasi, dan pengemasan. Namun, dampak negatifnya, produksinya dapat berdampak buruk pada lingkungan dan kesehatan, terutama dalam hal pemanasan global, konsumsi air, dan potensi toksisitas yang menyebabkannya menjadi limbah. Riset sebelumnya di fokuskan pada analisa peleburan material Alumunium dengan metode *stir casting* terhadap pengaruh variasi temperatur, kecepatan pemutaran, presentase fraksi massa SiC, SiO<sub>2</sub>, Mg, dan waktu pengadukan terhadap peningkatan kekuatan tarik, kekuatan *impact*, serta struktur makro dan mikro material Alumunium. Selain itu tidak ada studi eksperimen tentang pemanfaatan, pengolahan, dan peleburan limbah material Alumunium bekas komponen kendaraan dengan metode *stir casting*. Variasi penambahan serbuk SiC (*silicon carbida*) dan Mg (*magnesium*) sebesar 5 g dan 7,5 g pada rentang temperatur 600°C, 700°C, dan 800°C pada kecepatan putaran *stir* konstan sebesar 600 Rpm dan waktu aduk selama 15 menit di usulkan dalam riset ini guna untuk meningkatkan kekuatan tarik, struktur makro, struktur mikro, dan pengurangan efek porositas material Alumunium. Untuk mengetahui sifat fisik material Alumunium

dilakukan uji tarik dan uji NDT. Hasil riset menunjukkan material komposit Alumunium AlSiCMg dengan variasi temperatur tuang 800°C memiliki hasil optimal ditinjau dari nilai kekuatan dan kekerasan material, hasil tersebut dapat direkomendasikan dan diterapkan pada aplikasi praktis di lapangan.

**Kata kunci : Alumunium, Casting, Kekuatan, Stir, Kekerasan.**

---

## I. Pendahuluan

Alumunium merupakan logam dengan karakteristik bewarna abu-abu dan ringan serta memiliki keuletan, kekuatan, dan konduktivitas termal yang baik (Eko. S et al., 2020). Penerapan dan aplikasi material Alumunium, terutama komposit alumunium banyak digunakan pada industri manufaktur, terutama dibidang otomotif. (Surya. I., 2021, Jelani. S et al., 2019). Alumunium memiliki keunggulan ringan, tahan karat, dan dapat didaur ulang, sehingga cocok untuk aplikasi konstruksi, transportasi, dan pengemasan. Namun, Alumunium juga memiliki kelemahan seperti rentan terhadap goresan dan penyok karena kekerasan permukaannya yang relatif rendah (Hendri. S et al., 2015). Dalam prakteknya, material Alumunium tidak dikelola dan diaplikasikan dengan bijak maka berpengaruh terhadap lingkungan dan kesehatan, serta menumpuknya limbah (Diki. A. S et al., 2019). Sehingga perlu tindakan khusus agar material komposit Alumunium dapat diolah atau di daur ulang menjadi barang baru yang bermanfaat (Gunawan et al., 2018). Dalam mengolah material komposit Alumunium biasanya diterapkan untuk pembuatan material komposit Alumunium (Eri. W et al., 2019).

Material komposit merupakan material yang terdiri atas dua atau lebih bahan yang berbeda, baik secara fisik maupun kimia, yang digabungkan untuk menciptakan material baru dengan sifat yang lebih unggul daripada komponen aslinya (Tristan. V. A., 2024). Salah satunya adalah materia komposit Alumunium, dimana material yang aplikasikan pada pelapis eksterior bangunan, panel interior, papan nama, suku cadang otomotif, komponen pesawat, dan peralatan olahraga (Agiel. S. P et al., 2016). Material komposit Alumunium diciptakan untuk membuat material yang lebih kuat, ringan, dan tahan lama (Gunawan et al., 2018). Namun dalam

praktiknya, material komposit alumunium masih meiliki kelebihan dan kekurangan, salah satu kelebihanannya adalah ringan, tahan cuaca, mudah dibentuk. Sedangkan kekurangannya adalah biaya awal yang lebih tinggi, kerentanan terhadap suhu tinggi, dan potensi masalah lingkungan terkait daur ulang (Lilin. H et al., 2023).

Metode pengecoran aduk yang sering diterapkan untuk mengolah komposit matrik logam dengan cara menggabungkan partikel penguat pada logam cair disebut dengan *stir casting* (Nur. K et al., 2024). Tujuan dilakukannya *stir casting* pada material komposit Alumunium adalah untuk meningkatkan sifat fisik dan mekanik serta mengurangi efek porositas pada material tersebut (Eri. W et al., 2019). Tujuan lain pengolahan komposit Alumunium dengan metode *stir casting* adalah membantu mengurangi limbah logam (Choirul. A. and Muchamad A. I., 2018). Dalam prosesnya, *stir casting* sering dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa parameter dan aspek penting seperti rasio temperatur, rasio campuran material lain, kecepatan adukan, dan waktu adukan (Muhammad. S et al., 2023). Harapannya, parameter yang di usulkan seperti rasio temperatur, rasio campuran material lain, kecepatan adukan, dan waktu adukan mampu membantu meningkatkan kekuatan tarik, kekuatan *impact*, serta struktur makro dan mikro material komposit Alumunium (Amir. A & Junaidi., 2017).

Penambahan serbuk silikon karbida (SiC) dan magnesium (Mg) biasanya dijadikan material tambahan pada proses *stir casting* material komposit Alumunium, tujuannya adalah untuk meningkatkan sifat mekanik material komposit Alumunium itu sendiri (Ery. W et al., 2019). Material komposit Alumunium silikon dengan penambahan Titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>) juga diterapkan dalam metode peleburan logam *stir casting*. Tujuannya adalah mencari

komposisi optimal dari perbandingan antara material Aluminium dan Titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) untuk meningkatkan kekuatan material tersebut (Johan. W. D et al., 2023). Penguat tembaga (Cu), magnesium (Mg) dan silikon karbida (SiC) biasanya dikombinasikan untuk membuat komposit logam dengan distribusi partikel penguat yang merata dan homogen. Harapannya efek penambahan penguat tersebut dapat memberi efek positif seperti sifat mekanik dan fisik yang baik (Chasby. A & Sulardjaka., 2014). Paduan  $\text{Al}_7\text{Si}$  dan SiC dikarakterisasi dengan metode *stir casting* untuk meningkatkan kekerasan dan kekuatan material Aluminium (Viktor. N et al., 2019). Beberapa variasi penambahan material pada proses *stir casting* untuk material komposit Aluminium telah diteliti guna untuk menambah performa material tersebut seperti sifat fisik dan mekanik dan memperkecil efek porositas (Faisal. M and Achmad. I. C., 2024). Selain itu kekuatan tarik, kekuatan *impact*, serta struktur makro dan mikro material Aluminium juga menjadi parameter penting dari hasil metode *stir casting* pada material Aluminium (Eri. W et al., 2019, Amir. A & Junaidi., 2017, and Viktor. N et al., 2019).

Dalam industri otomotif, militer, dan kedirgantaraan material komposit Aluminium digunakan karena kekerasan dan keuletannya. Dan *stir casting* merupakan cara yang diterapkan untuk memproduksi AMC (*Aluminium Matrix Composite*). Variasi 720-740°C, kecepatan pengadukan 600 Rpm, dan perlakuan *preheat* pada partikel penguat  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dengan suhu ruang, 150°C dan 300°C di usulkan untuk diteliti terhadap sifat fisik dan mekanik material komposit Aluminium. Hasilnya, perlakuan *preheat* partikel penguat  $\text{Al}_2\text{O}_3$  mempengaruhi nilai porositas, kekerasan, laju keausan spesifik, dan koefisien gesek material komposit Aluminium. Terbukti bahwa partikel penguat  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dapat menurunkan porositas, meningkatkan kekerasan, dan koefisien gesek, serta menurunkan laju keausan spesifik material komposit Aluminium

dengan perlakuan *preheat* yang optimal ditemukan pada suhu 300°C (Eko. S et al., 2020).

*Wettability* merupakan kecenderungan cairan untuk menyebar pada permukaan padatan (Iman. S et al., 2019). Penambahan unsur Mg sebagai *wettability* untuk komposit Al-SiO<sub>2</sub> AMC (*Aluminium Matrix Composite*) dengan fraksi massa SiO<sub>2</sub> sebesar 9% dilakukan dengan metode *stir casting*, variabel presentase penambahan Mg sebesar 1%, 1,5%, 2% dan 2,5% di usulkan. Kemudian, spesimen diuji dengan mesin uji *impact charpy* untuk mengetahui kekuatan *impact* dan mikroskopik untuk struktur mikronya. Hasil penelitian mengungkapkan bahwa, nilai *impact* tertinggi diperoleh pada penambahan fraksi massa Mg sebesar 2,5% (0,507 J/mm<sup>2</sup>) dan uji mikro menunjukkan distribusi SiO<sub>2</sub> yang merata seiring dengan penambahan Mg pada material komposit Aluminium (Andi. T et al., 2015). Penambahan unsur Mg pada material komposit Aluminium *remelting* piston dengan penguat SiO<sub>2</sub> diteliti dengan metode *stir casting* untuk mengetahui nilai kekerasan dan densitanya. Variasi temperatur penuangan 650°C, dan 750°C, kecepatan pengadukan 600 Rpm selama 5 menit dijadikan variabel pendukung. Uji kekerasan material komposit matrik Aluminium dilakukan dengan menggunakan *Rockwell Band* dan uji densitas menggunakan metode *Archimedes*. Hasilnya, nilai kekerasan AMC (*Aluminium Matrix Composite*) meningkat seiring ditambahnya unsur magnesium 2% dan memiliki kekerasan tertinggi sebesar 67,78 HRB. Hasil penelitian mengungkapkan bahwa penambahan unsur magnesium (Mg) mampu meningkatkan nilai densitas tertinggi sebesar 2,460 g/cm<sup>3</sup> untuk variasi tambahan fraksi massa magnesium (Mg) 2,5% (Agiel. S. P et al., 2016).

Kecepatan *stir* 300 Rpm, 350 Rpm, dan 400 Rpm dan variasi waktu aduk 180 detik, 300 detik, 480 detik di usulkan untuk mengkarakterisasi komposisi AMC (*Aluminium Matrix Composite*) 12% *fly ash*

dan 8% alumina. Hasilnya, nilai kekerasan tertinggi didapatkan pada waktu aduk 480 detik dengan nilai kekerasan 53,051 BHN, nilai *impact* 11,398 J, dan nilai tegangan 11,861 kgf/mm<sup>2</sup> pada temperatur 700°C dan kecepatan putaran *stir* 350 Rpm. (Amir. A & Junaidi., 2017). Dalam aplikasi peleburan material Aluminium komposit dengan metoda *stir casting* terbukti memiliki kelebihan dan memberikan data kinerja yang baik ditinjau dari nilai kekerasan dan kekuatannya dari pada metoda yang lainnya seperti *squeeze casting*, *die casting*, *sand casting* dan lainnya. Nilai kekerasan material Aluminium komposit yang dikarakterisasi dengan metode *stir casting* mampu ditingkatkan sebesar 18% dengan nilai kekerasan sebesar 72,815 BHN (Gunawan et al., 2018). Pembuatan dan pembentukan Aluminium komposit dengan metoda *stir casting* dalam segi non teknis juga memiliki kelebihan lain. Kelebihan itu adalah adalah biaya produksi murah, kemampuan untuk menggabungkan material yang sulit dibasahi, dan densitas yang ringan (Dattatraya. N. L et al., 2018). Namun, dalam proses pembuatan dan pembentukan aluminium komposit dengan metoda *stir casting* juga memiliki beberapa kekurangan seperti efek porositas yang tinggi dan lain sebagainya, sehingga kekurangan tersebut menjadi alasan utama untuk terus berupaya melakukan penelitian dan pengembangan dalam rangka menciptakan produk material Alumunium komposit yang lebih baik melalui metode *stir casting*, baik dengan basis eksperimen maupun analisa numerik (Hanif. R et al., 2022). Selain itu, kekurangan dalam proses *stir casting* yang sering dijumpai adalah dapat distribusi partikel penguat yang kurang merata. Akibatnya efek terjadinya porositas dan penyusutan, serta *wettability* (keterbasahan) yang kurang optimal antara matriks logam dan partikel penguat juga menjadikan pembentukan dan pembuatan material Alumunium komposit terus diupayakan untuk dikembangkan lebih lanjut (Martina. K and Cecep. N. N., 2025).

Kendati demikian, dampak kekurangan metode *stir casting* pada material Alumunium komposit dapat dilakukan dengan cara pemurnian dan *degassing* pada material alumunium (Muhammad. R. P et al., 2023). Selain itu, pemilihan agen pelepas yang tepat, desain saluran yang optimal, dan pengaturan parameter pengecoran yang sesuai juga mampu meminimalisir faktor kegagalan proses *stir casting* pada material komposit Alumunium. Sehingga, usulan penambahan unsur SiC, SiO<sub>2</sub>, Mg, Mn, Cu, dan TiO<sub>2</sub>, variasi temperatur, dan waktu pengadukan menjadi variasi yang sering di usulkan oleh kalangan saintis ataupun teknisi bidang manufaktur karena hasilnya yang optimal (Grahardian. A. K et al., 2016, Agiel. S. P et al., 2016, Hanif. R et al., 2022). Dengan pertimbangan tersebut maka penambahan unsur SiC, Mg, variasi temperatur, dan waktu pengadukan menjadi perhatian utama dalam riset ini.

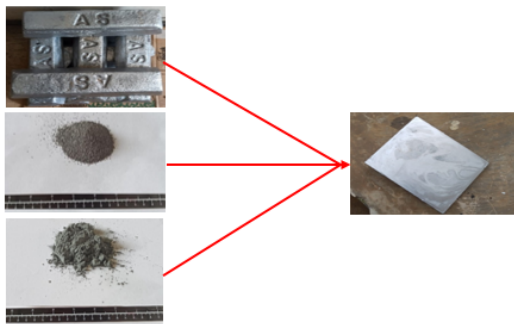
Riset sebelumnya di fokuskan pada analisa peleburan material komposit Alumunium dengan metode *stir casting* terhadap variasi temperatur, kecepatan adukan, presentase fraksi massa SiC, SiO<sub>2</sub>, Mg, Mn, Cu, dan TiO<sub>2</sub>, dan waktu pengadukan terhadap nilai densitas, porositas, peningkatan kekuatan tarik, kekuatan *impact*, serta struktur makro, dan mikro material komposit Alumunium dan ditemukan hasil yang baik. Selain itu, belum ada eksperimen pemanfaatan, pengolahan, dan peleburan limbah material Alumunium bekas komponen kendaraan dengan metode *stir casting*. Variasi tambahan serbuk SiC (*silicon carbida*) dan Mg (*magnesium*) sebesar 5 g dan 7,5 g pada rentang temperatur 600°C, 700°C, dan 800°C pada kecepatan putaran *stir* konstan sebesar 600 Rpm dan waktu aduk selama 15 menit dijadikan variabel dalam riset ini guna untuk mengetahui densitas, tingkat porositas, dan sifat fisik material Alumunium. Uji NDT, uji tarik, dan uji kekerasan dilakukan untuk mengevaluasi hasil usulan tersebut. Hasil riset ini diharapkan mendapatkan komposisi presentase pencampuran serbuk SiC (*silicon*

carbida) dan Mg (magnesium) dan temperatur penuangan yang optimal dengan tingkat porositas rendah, densitas yang proposional dan sifat fisik yang optimal, sehingga hasil tersebut dapat direkomendasikan dan diterapkan pada aplikasi praktis di lapangan serta dapat diusulkan untuk dapat dikembangkan dalam riset selanjutnya.

## II. Metode Penelitian

### Material

Dalam penelitian ini, material aluminium ingot bekas limbah digunakan dan dicampur dengan bahan lain yang termasuk aluminium dengan paduan serbuk SiC (Silikon Karbida) dan Mg (Magnesium) untuk mengetahui peningkatan sifat mekanik dan fisik dari aluminium, seperti yang terlihat pada Gambar 1, serta sifat-sifatnya disebutkan pada Tabel I. Selain itu, kecacatan pada material juga menjadi perhatian utama dalam penelitian ini.



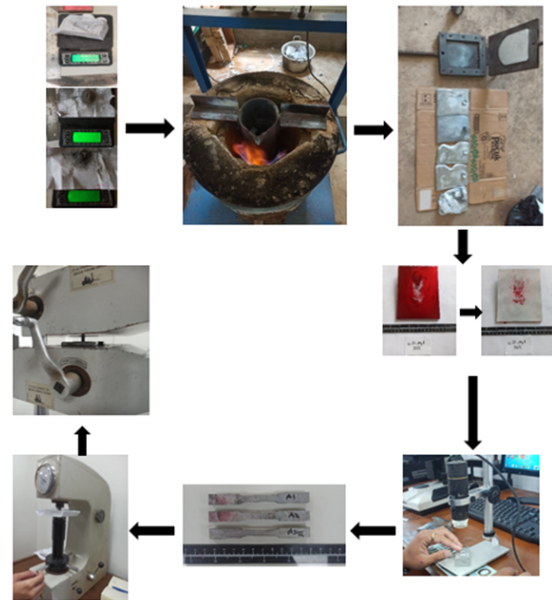
Gambar 1. Material Uji.

Tabel 1. Propertis Material Paduan AlSiCMg.

| Si | P  | Ca | Ti | Cr | M  | Fe | Ni | Cu | Zn | Sr | Al | M  |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| C  | %  | %  | %  | %  | m% | %  | %  | %  | %  | %  | %  | g% |
| 12 | 0, | 0, | 0, | 0, | 0, | 1, | 0, | 0, | 0, | 0, | B  | 0, |
| ,2 | 3  | 6  | 41 | 07 | 24 | 38 | 66 | 69 | 78 | 13 | al | 22 |

### Skema Eksperimen

Skema eksperimen dalam riset ini dijelaskan oleh Gambar 2. Dalam riset ini eksperimen di mulai dari persiapan bahan, uji presentase bahan, proses *stir casting*, penuangan hasil peleburan logam ke dalam cetakan, uji NDT, uji tarik, uji kekerasan, dan uji makro mikro.



Gambar 2. Skema Eksperimen.

### Reduksi Data Eksperimen

Untuk mengevaluasi hasil pengecoran dan mengetahui cacat material seperti porositas dilakukan uji NDT. Pengujian NDT (*Non-Destructive Testing*) material aluminium. Tujuannya adalah memeriksa kondisi material tanpa merusaknya, sehingga deteksi cacat atau kerusakan yang akan terlihat. Berbagai metode NDT dapat digunakan pada aluminium, termasuk pengujian ultrasonik (UT), pengujian partikel magnetik (MPI), pengujian penetran (PT), dan pengujian arus eddy (ECT). pengujian NDT pada aluminium sangat penting untuk menjaga kualitas, keamanan, dan keandalan berbagai aplikasi yang menggunakan material Aluminium (Tristan. V. A., 2024). Hasil eksperimen kaji eksperimen pengaruh penambahan sebuk SiC (silicon carbida), mg (magnesium), dan rasio temperatur pada pengolahan limbah alumunium dengan metode stir casting didapatkan nilai porositas yang dapat dihitung dengan persamaan 1 (Bayu. S., 2014). berikut:

$$P = \left( \frac{\rho_{teoritis} - \rho_{actual}}{\rho_{teoritis}} \right) \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

Densitas atau massa jenis merupakan ukuran massa suatu benda per satuan volume (Agiel. S. P et al.,

2016). Densitas material alumunium dengan tambahan serbuk SiC (*silicon carbida*) dan Mg (*magnesium*) dikarakterisasi untuk mengevaluasi sebaran partikel penguat dan meningkatkan sifat-sifat material tersebut (Gunawan et al., 2018). Densitas dapat dihitung dengan rumus 2 berikut:

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots(2)$$

Kekuatan tarik merupakan egangan maksimum yang dapat ditahan oleh suatu material saat diregangkan atau ditarik sebelum material tersebut mengalami kerusakan atau putus. Kekuatan tarik dihitung dengan Persamaan 3.

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(3)$$

Kekerasan material adalah kemampuan suatu bahan untuk menahan deformasi permanen (lekukan, penyok, atau goresan). Kekerasan material dihitung dengan Persamaan 4.

$$HR = E - e \dots\dots\dots(4)$$

### III. Hasil dan Pembahasan

#### Uji Densitas

Uji densitas dilaksanakan pada bahan komposit Aluminium dengan maksud untuk mengetahui serta menetapkan nilai massa bahan per unit volume. Di samping itu, kepadatan bahan juga menyajikan informasi penting mengenai karakteristik dan sifat fisik dari komposit Aluminium. Uji kepadatan menjadi hal yang krusial untuk dilakukan karena dapat berfungsi sebagai pengendalian kualitas dan identifikasi yang lebih mendalam terhadap bahan tersebut. Hasil pengujian kepadatan dari spesimen bahan mentah dan spesimen dengan berbagai variasi suhu tuang dirangkum dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Densitas.

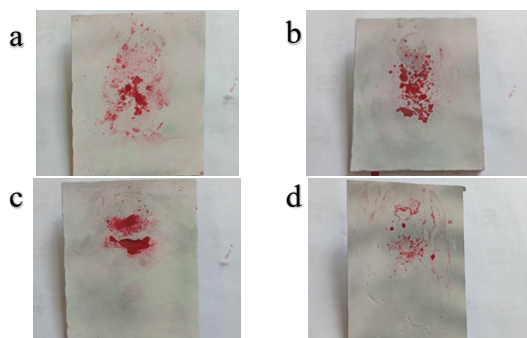
| Hasil Uji Densitas <i>Remelting</i> |                |                                      |                                                |                                        |                                                  |
|-------------------------------------|----------------|--------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Spesimen                            | Temperatur (C) | Densitas aktual (g/cm <sup>3</sup> ) | Rata-rata densitas aktual (g/cm <sup>3</sup> ) | Densitas teoritis (g/cm <sup>3</sup> ) | Rata-rata densitas teoritis (g/cm <sup>3</sup> ) |

| A                                   | 0              | 2,686                                | 2,420                                          | 2,021                                  | 2,322                                            |
|-------------------------------------|----------------|--------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------|
| B                                   | 0              | 2,432                                |                                                | 2,305                                  |                                                  |
| C                                   | 0              | 2,101                                |                                                | 2,665                                  |                                                  |
| Hasil Uji Densitas Temperatur 600°C |                |                                      |                                                |                                        |                                                  |
| Spesimen                            | Temperatur (C) | Densitas aktual (g/cm <sup>3</sup> ) | Rata-rata densitas aktual (g/cm <sup>3</sup> ) | Densitas teoritis (g/cm <sup>3</sup> ) | Rata-rata densitas teoritis (g/cm <sup>3</sup> ) |
| A                                   | 600            | 2,632                                | 2,561                                          | 2,261                                  | 2,435                                            |
| B                                   | 600            | 2,354                                |                                                | 2,601                                  |                                                  |
| C                                   | 600            | 2,702                                |                                                | 2,402                                  |                                                  |
| Hasil Uji Densitas Temperatur 700°C |                |                                      |                                                |                                        |                                                  |
| Spesimen                            | Temperatur (C) | Densitas aktual (g/cm <sup>3</sup> ) | Rata-rata densitas aktual (g/cm <sup>3</sup> ) | Densitas teoritis (g/cm <sup>3</sup> ) | Rata-rata densitas teoritis (g/cm <sup>3</sup> ) |
| A                                   | 700            | 1,900                                | 2,656                                          | 3,104                                  | 2,558                                            |
| B                                   | 700            | 2,723                                |                                                | 2,375                                  |                                                  |
| C                                   | 700            | 3,389                                |                                                | 2,242                                  |                                                  |
| Hasil Uji Densitas Temperatur 800°C |                |                                      |                                                |                                        |                                                  |
| Spesimen                            | Temperatur (C) | Densitas aktual (g/cm <sup>3</sup> ) | Rata-rata densitas aktual (g/cm <sup>3</sup> ) | Densitas teoritis (g/cm <sup>3</sup> ) | Rata-rata densitas teoritis (g/cm <sup>3</sup> ) |
| A                                   | 800            | 2,911                                | 2,765                                          | 2,467                                  | 2,611                                            |
| B                                   | 800            | 2,642                                |                                                | 2,913                                  |                                                  |
| C                                   | 800            | 2,721                                |                                                | 2,468                                  |                                                  |

Hasil penelitian efek tambahan serbuk SiC (*silicon carbida*), Mg (*magnesium*), dan rasio temperatur pada pengolahan limbah Alumunium dengan metode *stir casting* terhadap variasi temperatur sebesar 600°C, 700°C, dan 800° terbukti memiliki hasil yang berbeda, umumnya nilai densitas aktual dan teoritis tertinggi material didapatkan pada variasi temperatur 800°C dengan nilai 2,765 g/cm<sup>3</sup> dan 2,611 g/cm<sup>3</sup> sedangkan yang terendah diperoleh pada variasi *Remelting* dengan nilai 2,561 g/cm<sup>3</sup> dan 2,435 g/cm<sup>3</sup>. Peningkatan nilai temperatur saat proses *stir casting* terbukti memberikan data kinerja pada sifat fisik material paduan AlSiCMg terutama aspek densitas. Matrial yang padat umumnya memiliki nilai densitas yang tingi, sehingga material menjadi kuat dan ulet serta tahan terhadap adanya aspek gaya eksternal. Dalam riset ini juga ditampilkan nilai hasil uji densitas material Alumunium komposit diberbagai variasi *stir casting* variasi temperatur tuang 800°C memberikan data kinerja yang baik dari aspek densitasnya, sehingga variasi temperatur tuang 800°C menjadi parameter optimal pada penelitian ini dan berpeluang untuk di rekomendasikan pada aplikasi *stir casting* di lapangan.

## Uji NDT

Uji NDT menggunakan Metode Cairan Penetran diadakan dalam penelitian ini pada material komposit Aluminium untuk memberikan data tentang keadaan material, serta mampu mengidentifikasi kerusakan atau kekurangan. Teknik ini digunakan untuk menemukan cacat pada permukaan luar dari komponen padat, baik yang terbuat dari logam maupun non-logam, sehingga dapat memberikan hasil deteksi yang lebih akurat. Hasil dari uji NDT terhadap material komposit Aluminium dipaparkan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Uji NDT Material Komposit Aluminium AlSiCMg dengan Variasi (a) *Remelting*, (b) Temperatur 600°C, (c) Temperatur 700°C, dan (d) Temperatur 800°C untuk Mendeteksi Porositas.

Setelah melaksanakan uji NDT yang ditunjukkan dalam Gambar 4 a, b, c, d, hasil pemeriksaan yang tidak merusak menggunakan metode NDT pada proses pengecoran logam aluminium menunjukkan adanya cacat porositas. Cacat porositas yang paling banyak ditemukan pada material komposit di Gambar 4 a, yaitu spesimen *Remelting*, dan Gambar 4 b, spesimen aluminium dengan variasi temperatur 600°C. Selanjutnya, variasi pada Gambar 4 c menunjukkan temperatur 700°C, dan Gambar 4 d menunjukkan temperatur 800°C. Penambahan magnesium (Mg) sebanyak 5 g dan silikon karbida (SiC) sebesar 7,5 g dalam aluminium memiliki dampak yang kompleks terhadap porositas. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa Mg dapat menurunkan porositas dengan cara mengurangi viskositas lelehan dan

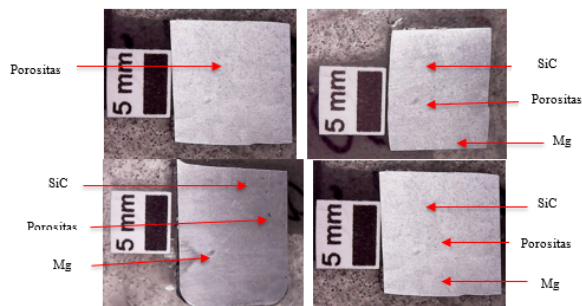
meningkatkan laju pembentukan oksida, sementara penambahan SiC justru cenderung meningkatkan porositas akibat kesulitan dalam mendispersikan dan potensi terjadinya penjeratan gas saat proses peleburan dan pengecoran. Umumnya, tingkat porositas terkecil ditemukan pada spesimen AlSiCMg variasi temperatur 800°C dan terbesar pada variasi spesimen *Remelting*.

## Uji Makro

Pada studi eksperimental ini pengujian struktur mikro dan makro dilakukan untuk mendapatkan informasi dan pemahaman sifat dan perilaku material secara komprehensif. Tujuan analisa struktur mikro dan makro adalah untuk mendapatkan gambaran umum tentang integritas struktural dan mendekati cacat yang lebih besar atau karakter yang mempengaruhi volume material. Berdasarkan data pengamatan Struktur Makro dengan variasi penambahan serbuk alumina (AlSiCMg) sebesar 5 g dan 7,5 g, maka diperoleh hasil pengujian yang ditunjukkan pada Gambar 5.

Hasil pengujian dan pengamatan struktur makro dengan menggunakan *metallography* pada Gambar 5 menunjukkan bahwa semakin besar serbuk silikon karbida maka semakin sedikit porositasnya hal ini terlihat pada Gambar 5 (c dan d) hal ini karena ada silikon karbida dan magnesium didalamnya yaitu sebesar 5 g dan 7,5 g memiliki peran penting dalam peningkatan densitas dan pengurangan porositas material. Cacat material porositas terlihat signifikan muncul pada spesimen *Remelting* dan variasi temperatur tuang 700°C, hal ini bisa dilihat pada Gambar 5 (a dan b). Sedangkan pada Gambar 5. c dan d yakni variasi temperatur tuang 750°C dan temperatur tuang 800°C terlihat bahwa intensitas cacat porositas perlahan mulai tidak terlihat. Cacat material berupa porositas pada eksperimen ini disebabkan oleh kecepatan pengadukan yang terlalu tinggi. Akibatnya, partikel-partikel serbuk yang menjadi campuran dalam peleburan

aluminium terlempar keluar dari pusaran suhu *mixing*. Selain itu, selama proses pengadukan, dapat terjadi penggumpalan pada serbuk silikon karbida dan magnesium yang tidak tercampur dengan baik. Ketika penuangan dilakukan, kondisi ini menyebabkan cairan logam menjadi berpori atau mengalami porositas.

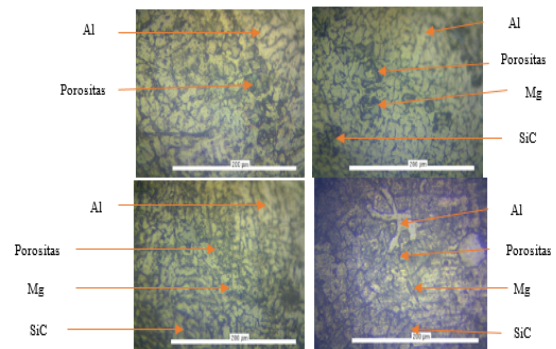


Gambar 5. Uji Makro Material Komposit Alumunium AlSiCMg (a) *Remelting*, (b) Variasi Temperatur Tuang 600°C, (c) Variasi Temperatur Tuang 700°C, dan (d) Variasi Temperatur Tuang 800°C.

### Uji Makro

Pengujian mikrostruktur pada bahan komposit Aluminium dengan perubahan penambahan silikon karbida dan magnesium masing-masing sebanyak 5 g dan 7,5 g pada suhu pengecoran yang bervariasi yaitu 600°C, 700°C, dan 800°C menunjukkan hasil yang terlihat pada Gambar 6. Berdasarkan data pengamatan Struktur Mikro dengan variasi penambahan serbuk alumina (AlSiCMg) sebesar 5 g dan 7,5 g, maka diperoleh hasil pengujian yang ditunjukkan pada Gambar 6. Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi dan menganalisa struktur mikro dan komposisi material komposit alumunium AlSiCMg diberbagai variasi temperatur tuang dilakukan uji mikro guna untuk mndalami sifat mekanik, karakteristik, dan kualitas aluminium, serta untuk mendeteksi cacat material atau perubahan struktur yang mungkin terjadi akibat proses perlakuan panas. Untuk mengamati bentuk dan ukuran butiran kristal, fasa-fasa dalam logam, serta mendeteksi kerusakan akibat proses tertentu digunakan mikroskop metalografi dengan

skala pembesaran 100-400 kali. Hasil uji diharapkan dapat mengetahui penentuan komposisi unsur-unsur yang terkandung dalam material komposit alumunium AlSiCMg secara optimal, serta untuk memastikan kualitas dan kesesuaian dengan standar. Selain itu, hasil uji mikro ini dapat digunakan untuk evaluasi dan optimasi proses pengendalian kontrol kualitas produk.



Gambar 6. Hasil Uji Mikro (a) *Remelting*, (b) 600°C, (c) 700°C, dan (d) 800°C.

### Uji Tarik

Proses pengecoran logam aluminium dengan penambahan serbuk penguat silikon karbida dan magnesium sebanyak 3,5 g dan 3 g dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik material tersebut. Maka dari itu untuk mencari sifat pada masing masing-masing variasi penambahan serbuk silikon karbida dan magnesium maka pada setiap perlakuan dibuat tiga buah spesimen yang kemudian diteliti dengan menggunakan pengujian tarik. Hasil uji tarik material komposit alumunium pada eksperimen ini dirangkum dalam Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Tarik Spesimen *Remelting* dan Spesimen diberbagai Variasi Temperatur Tuang.

| Material         | Yield Stress (Mpa) | Rata-rata Nilai Maximum Stress (Mpa) | Elongation (%) |
|------------------|--------------------|--------------------------------------|----------------|
| Remelting        | 46,725             | 52,513                               | 13,864         |
| Temperatur 600°C | 56,110             | 60,547                               | 11,301         |
| Temperatur 700°C | 58,512             | 62,545                               | 4,702          |
| Temperatur 800°C | 114,102            | 122,409                              | 3,400          |

Pada hasil uji tarik material komposit Alumunium yang dirangkum pada Tabel 3 didapatkan hasil kekuatan tarik tertinggi terjadi pada variasi temperatur 800°C dengan nilai 114,102 MPa dan tegangan maksimum 122,409 MPa dan yang terendah ditemukan pada variasi *Remelting* dengan nilai kekuatan tarik sebesar 46,752 MPa dan tegangan maksimum sebesar 52,513 MPa. Maka dari Tabel 3 dan dapat disimpulkan bahwa pada proses penambahan serbuk silikon karbida dan magnesium terhadap sifat fisik material berupa kekuatan tarik dan tegangan maksimum memperoleh hasil yang baik. Hal ini menunjukan bahwa penambahan serbuk silikon karbida dan magnesium sebanyak 5 g adalah yang paling baik karena menghasilkan nilai kekuatan tarik tertinggi dibandingkan dengan penambahan serbuk silikon karbida dan magnesium sebesar 7,5 g.

#### Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan pada bahan komposit Aluminium dengan perbedaan penambahan silikon karbida dan magnesium masing-masing sebesar 5 g dan 7,5 g pada variasi suhu pencampuran sebesar 600°C, 700°C, dan 800°C dilaksanakan menggunakan metode *Rockwell Hardness* skala B, dan hasil yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 4.

Pada Tabel 4, nilai kekerasan berdasarkan penambahan serbuk silikon karbida dan magnesium didapatkan nilai kekerasan sebesar 45,2 HRB pada *remelting*, 45,5 HRB pada variasi temperatur tuang 600°C, 46,1 HRB pada variasi temperatur tuang 700°C, dan 46,5 HRB pada variasi temperatur tuang 800°C. Peningkatan nilai kekerasan dari pada variasi temperatur tuang 600°C ke *remelting* dan pada variasi temperatur tuang 700°C ke pada variasi temperatur tuang 800°C menunjukkan bahwa kehadiran partikel dalam matriks berkontribusi pada peningkatan kekerasan pada material komposit secara keseluruhan. Umumnya, spesimen *remelting* memiliki nilai kekerasan tertinggi dibandingkan dengan

variasi lainnya sehingga spesimen *remelting* cenderung memiliki kekuatan serta keuletan yang tinggi.

Tabel 4. Hasil Uji Kekerasan Spesimen *Remelting* dan Spesimen diberbagai Variasi Temperatur Tuang.

| Material         | Rata-rata Nilai Kekerasan |
|------------------|---------------------------|
| Remelting        | 45,2                      |
| Temperatur 600°C | 45,5                      |
| Temperatur 700°C | 46,1                      |
| Temperatur 800°C | 46,6                      |

Hasil tersebut memungkinkan karena material memiliki struktur yang lebih homogen dan kontinuitas yang sangat baik, sehingga material tersebut mampu memberikan trasmisi tegangan yang efisien dan mencegah terjadinya konstrasi tegangan pada titik tertentu. Selain itu, material dengan penambahan penguat bisa menciptakan titik lemah dalam struktur material, seperti celah atau batas antar partikel yang dapat mengurangi keseluruhan kekuatan material. Sedangkan nilai kekerasan tertinggi pada grafik diatas didapatkan pada spesimen dengan variasi temperatur tuang 800°C dengan nilai sebesar 46,6 HRB. Penurunan nilai kekerasan material diindikasikan adanya rasio pencampuran material komposit silikon karbida dan magnesium yang terlalu tinggi, sehingga umumnya material menjadi getas dan mudah retak ketika diaplikasikan di lapangan.

#### IV. Kesimpulan

Pengaruh penambahan serbuk silikon karbida dan magnesium sebesar 5 g dan 7,5 g pada matriks aluminium terhadap porositas didapatkan hasil penelitian mengungkapkan bahwa variasi temperatur tuang 800°C memiliki nilai tingkat presentase porositas terendah dengan nilai 2,851%, Pengaruh variasi temperatur dan penambahan serbuk SiC (*silicon carbida*) dan Mg (*magnesium*) sebesar 5 g dan 7,5 g terhadap kekerasan material didapatkan nilai kekerasan tertinggi diperoleh sebesar 46,6 HRB pada variasi temperatur tuang

800°C dan memiliki nilai kekuatan tarik terbesar sebesar 114,102 MPa. Hasil riset menunjukkan material komposit Alumunium AlSiCMg dengan variasi temperatur tuang 800°C memiliki hasil optimal ditinjau dari nilai kekuatan dan kekerasan material, hasil tersebut dapat direkomendasikan dan diterapkan pada aplikasi praktis di lapangan.

### Ucapan terimakasih (jika diperlukan)

Laboratorium Terpadu Universitas Persatuan Guru Republik Indonesia Semarang.  
Jl. Gajah Raya No.40, Sambirejo, Kec. Gayamsari, Kota Semarang, Jawa Tengah 50166.

### Daftar pustaka

- Iman. S., Agus. P., Ricki. H., (2018). *Studi Karakteristik Sifat Mekanik Alumunium Matrix Composite (AMC) Paduan Al, 5% Cu, 12% Mg, 15% Sic Hasil Proses Stir Casting dengan Variasi Temperatur Pengadukan*. Jurnal TEKNIKA. 12, (2), 151-164.
- Diki. A. S., Tugiman., Indra., Sabri. M., Syahrul. A., Mahadi., (2019). *Pengaruh Sic terhadap Sifat Mekanik dan Mikrostruktur pada Aluminium A356 Menggunakan Pengecoran Metode Cooling Slope*. Jurnal Dinamis. 7, (1), 51-60.
- Gunawan., Amir. A., Buana. C. M., (2018). *Fabriksi Karakterisasi Sifat Fisik dan Mekanik Produk Stir Casting Komposit Daur Ulang Alumunium dengan Penambahan 14,18 Dan 22 Wt% FLY ASH*. Flywheel: Jurnal Teknik Mesin Untirta. 4 (2), 28-32.
- Ahmad. Z., (2011). *Pengaruh Waktu Stirring, Fraksi Volume dan Ukuran Besar Butir Partikel SiC terhadap Kekerasan Mmc Al 6061-SiC dengan Sistem Stir Casting*. Jurnal Austenit. 2 (3), 23-34.
- Nur. K., Yudhi. P., Helmy. P., Agung. N., Rizal. H., (2024). *Physical and Mechanical Properties of Aluminum Matrix Composites Reinforced with Copper Powder Via Stir Casting Method*. Jurnal Polimesin. 23 (1), 11-16.
- Lilin. H., Sunu. A. P., Sugeng. H., (2023). *Penambahan Berat SiC pada Komposit Matrik Aluminium dalam Sifat Fisis dan Mekanis diperkuat Tib sebagai Penghalus Butir*. Jurnal Penelitian Rumpun Ilmu Teknik (JUPRIT). 2, (2). 200-211.
- Eri. W., Agung. H., Kardiman., Rizal. H., (2019). *Sifat Mekanik Komposit Aluminium ADC12-Sic-Mg menggunakan Semi Solid Stir Casting dengan Variasi Penambahan SiC dan Mg*. Journal of Infrastructure & Science Engineering. 2, (1). 22-26.
- Amir. A and Junaidi., (2017). *Pengaruh Parameter Stir Casting terhadap Sifat Mekanik Alumunium Matrix Composite (AMC)*. FLYWHEEL Jurnal Teknik Mesin Untirta. 3, (1). 21-31.
- Viktor. N., Santosa., Kardiman., (2019). *Pengaruh Penambahan Berat SiC terhadap Sifat Mekanik Komposit Al7Si+SiC dengan Proses Semi Solid Stir Casting*. Barometer, 4 (1), 180-182.
- Chasby. A and Sulardjaka., (2014). *Pengaruh SiC terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Komposit Matrik Aluminium yang diperkuat Serbuk SiC*. Jurnal Teknik Mesin S-1. 2 (3), 211-218.
- Andi. T., Teguh. T., Indri. Y., (2015). *Analisa Pengaruh Penambahan Mg pada Matriks Komposit Aluminium Remelting Piston berpenguat SiO<sub>2</sub> terhadap Kekuatan Impak dan Struktur Mikro menggunakan Metode Stir Casting*. Mekanika. 14 (1), 47-56.
- Agiel. S. P., Teguh. T., Indri. Y., (2016). *Analisa Pengaruh Penambahan Mg pada Komposit Matrik Aluminium Remelting Piston berpenguat SiO<sub>2</sub> menggunakan Metode Stir Casting terhadap Kekerasan dan Densitas*. Mekanika. 15 (1), 37-43.
- Sulardjaka. S., Sri. N., Norman. I., (2021). *Mechanical Properties of AlSiMg/SiC and AlSiMgTiB/SiC Produced by Semi-Solid Stir Casting and High Pressure Die*

- Casting. *Materials Physics and Mechanics*. 47 (2), 31-39.
- Basuki. W and Wahyu. P. A., (2021). *Addition of Magnesium (Mg) with Alumina ( $Al_2O_3$ ) Reinforcer in Aluminum Material Composites on the Mechanical Properties and Micro Structures*. *Journal of Sustainable Technology and Applied Science (JSTAS)*. 2 (2), 7-13.
- Bayu. S and Sulardjaka. S., (2014). *Kajian Sifat Fisis dan Mekanis Material Komposit dengan Matrik AlSiMg Diperkuat dengan Serbuk SiC*. *Jurnal Teknik Mesin S-1*. 2 (4), 480-487.
- Teguh. T., Abdul. L. Al Y., Eko. S., (2020). *Study Pengaruh Kecepatan Pengadukan pada Proses Stir Casting terhadap Sifat Fisik dan Mekanik AMC Berpenguat Pasir Silica yang Dilakukan Proses Electroless Coating*. *Mekanika: Majalah Ilmiah Mekanika*. 19 (1), 41-46.
- Suyanto., Sulardjaka. S., Sri. N., (2014). *Pengaruh Komposisi Mg dan SiC terhadap sifat kekerasan komposit AlSi-SiC yang dibuat dengan Proses Semi Solid Stir Casting*. *Prosiding SNATIF Ke-1*. 165-172.
- Johan. W. D., Salnan. S. W., Mashudi., Abi. S., (2023). *Analisis Micro Structure pada Aluminium Silikon Berpenguat  $TiO_2$* . *BRILIANT: Jurnal Riset dan Konseptual*. 8 (4), 1074-1080.
- Syahrudin. R., Abram. T., Muh. Hasmar. H., Muh. Al-Fandi., (2019). *Analisis Struktur Mikro Globular Dan Kekerasan Paduan Aluminium ADC12 Pada Pengecoran Semi Solid Dengan Metode Stir Casting*. *SINERGI*. 17 (2), 197-205.
- Tristan. V. A., (2024). *Pengaruh Persen Reduksi terhadap Karakteristik Komposit Al 6061 Berpenguat SiC Hasil Proses Thixoforming dan Artificial Aging*. *Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon-Banten*.
- Mastuki., Gatut. P. U., M. Rifan. T., Raziv. A., (2023). *Analisa Pengaruh Komposisi %Ti dan Besar Kompaksi pada Paduan Al-Ti Terhadap Nilai Kekerasan dan Densitas dengan Metode Metalurgi Serbuk*. *SINERGI*. 21 (1), 85-91.
- Toto. R and Lilik. D. S., (2005). *Pengaruh Kadar  $TiO_2$  terhadap Kekuatan Bending Komposit Serbuk Al/ $TiO_2$* . *JURNAL TEKNIK MESIN*. 7 (1), 28-34.
- Ali. S. L and Sulardjaka. S., (2014). *Rancang Bangun Alat Stir Casting Menggunakan Metode Pahl And Beitz untuk Proses Pembuatan Komposit Matriks Aluminium*. *Jurnal Teknik Mesin S-1*. 2 (3), 190-194.
- Mastuki., Gatut. P. U., Muhammad. R. T., Raziv. A., (2023) *Analisa Pengaruh Komposisi %Ti dan Besar Kompaksi pada Paduan Al-Ti Terhadap Nilai Kekerasan dan Densitas dengan Metode Metalurgi Serbuk*. *Sinergi*. 21 (1), 85-91.
- Suryanto. P. P., Slamet. S., Suyitno., (2020). *Perancangan Alat Stir Casting untuk Proses Pembuatan Komposit Matriks Aluminium dengan Saluran Penuangan*. *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*. 11 (1), 108-113.
- Okta. K. A., Teguh. T., Agung. T. W., (2020). *Analisis Pengaruh Variasi Ukuran Impeler Pengaduk terhadap Kekerasan, Kekuatan Bending dan Densitas Aluminium Matrix Composite (AMC) Dengan Metode Stir Casting*. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 15 (2), 7-12.
- Eko. S., Henri. F. W., Teguh. T., Agus. S., (2020). *Pengaruh Perlakuan Preheat Partikel  $Al_2O_3$  Pada Proses Stir Casting terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Komposit Al6061-  $Al_2O_3$* . *Mekanika: Majalah Ilmiah Mekanika*. 19 (20), 83-89.
- Dattatraya N. L., Shriyash. S. S., Tushar S. J., (2016). *Study of Process Parameters in Stir Casting Method for Production of Particulate Composite Plate*. *International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology [IJERT]*. 3 (1), 1-5.
- Martina. K and Cecep. N. N., (2025). *Metal Matrix Composite (MMC) dalam Pembentukan Logam*. *Jurnal ATSAR UNISA*. 4 (1), 1-9.

- Muhammad. R. P., Fahmi. I., Hammar. I. Akbar., Eko. S., Dody. A., (2023). *Pengaruh Panjang Baffle pada Proses Stir Casting terhadap Sifat Mekanik Komposit AA6061-Pasir Pantai*. PROSIDING SNTM XX1 2023. 4 (1), 1-6.
- Grahardian. A. K., Purwadi. J. W., Wahyu .P. R., (2016). *Analisa Pengaruh Fraksi Massa Penguat SiO<sub>2</sub> terhadap Kekuatan Impak dan Struktur Mikro pada Komposit Matrik Aluminium Menggunakan Metode Stir Casting*. Jurnal Teknik Mesin Indonesia. 11 (2), 56-60.
- Afif. A. A., Kiryanto., Ari. W. B. S., (2017). *Analisa Kekuatan Tarik, Kekuatan Tekuk, Komposisi dan Cacat Pengecoran Paduan Aluminium Flat Bar dan Limbah Kampas Rem dengan Menggunakan Cetakan Pasir dan Cetakan Hidrolik sebagai Bahan Komponen Jendela Kapal*. Jurnal Teknik Perkapalan. 5 (1), 97-103.