

# Analisis Kandungan Silikon Karbida (SiC) Sebagai *Filler* Terhadap Peningkatan Kekerasan Pada Metal Matrik Komposit

Muhammad Ghazali Arrahim<sup>1\*</sup>, Leo Hutri Wicaksono<sup>2</sup>, Muhammad Syaiful Fadly<sup>3</sup>, Afrizal Abdi Musyafiq<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup> Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Widyagama Malang

<sup>3</sup> Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako

<sup>4</sup> Program Studi D3 Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektronika, Politeknik Negeri Cilacap

<sup>1,2</sup> Jl. Borobudur No.35, Mojolangu, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65142

<sup>3</sup> Jl. Soekarno Hatta No.KM. 9, Tondo, Kec. Mantikulore, Kota Palu, Sulawesi Tengah 94148

<sup>4</sup> Jl. Dr. Soetomo Nomor 1, Sidakaya, Cilacap Selatan, Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah 53212

E-mail: ghazali@widyagama.ac.id<sup>1</sup>, leon@widyagama.ac.id<sup>2</sup>, msfadly@untad.ac.id<sup>3</sup>, afrizal.abdi.m@pnc.ac.id<sup>4</sup>

## Abstrak

### Info Naskah:

Naskah masuk: 5 Des 2023

Direvisi: 14 Juni 2023

Diterima: 18 Juni 2023

Metal Matrik Komposit merupakan salah satu komposit logam dengan memanfaatkan paduan aluminium sebagai matrik dalam fabrikasinya. MMC memiliki spesifikasi lebih baik dari material konvensional pembentuknya baik karena sifatnya yang ringan, ulet, dengan sifat kekerasan yang lebih baik. Aluminium paduan sebagai matrik dalam penelitian ini memiliki sifat mekanik yang baik tetapi dengan nilai kekerasan yang terbilang rendah, khususnya pada aluminium tipe 2xxx yang mengandung unsur Al-Cu atau lebih dikenal sebagai *duralumin*. Dengan menambahkan kandungan keramik silikon karbida (SiC) yang berperan sebagai *filler* dalam pembuatan MMC bertujuan untuk meningkatkan nilai kekerasan melalui mekanisme penguatan dengan menganalisis persebaran partikel *filler* terhadap matrik. Metode penelitian yaitu *sintering* dengan variasi temperatur sehingga mempengaruhi sifat mekanik MMC. Dari pengujian yang dilakukan spesimen MMC mengalami peningkatan 7,06 % dengan nilai kekerasan tertinggi pada temperatur sinter 300°C sebesar 71,6 HRB. Dengan kandungan SiC sebesar Wt 14,42%. Kemudian diamati menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) persebaran partikel SiC mengalami pemerataan dan saling mengikat terhadap matrik aluminium sehingga mengurangi porositas dan meningkatkan nilai kekerasan material MMC.

## Abstract

### Keywords:

composite metal matrix;

aluminium 2xxx;

SiC;

sintering;

violence

Metal Matrix Composite is one of the metal composites that utilize aluminum alloy as a matrix in its fabrication. MMC has better specifications than the conventional materials it forms because it is light, ductile, with better hardness properties. The aluminum alloy as the matrix in this study has good mechanical properties but relatively low hardness values, especially type 2xxx aluminum containing Al-Cu or duralumin. By adding silicon carbide (SiC) ceramic content which acts as a filler in the manufacture of MMC it aims to increase the hardness value through a strengthening mechanism by analyzing the distribution of filler particles to the matrix. Using the sintering method with temperature variations that affect the mechanical properties of MMC. From the tests carried out the MMC specimens experienced an increase of 7.06% with the highest hardness value at 300°C sintering temperature of 71.6 HRB. With a SiC content of 14.42% Wt. Then it was observed using a Scanning Electron Microscope (SEM) that the distribution of SiC particles experienced an even distribution and bonded to the aluminum matrix thereby reducing porosity and increasing the hardness value of the MMC material.

### \*Penulis korespondensi:

Muhammad Ghazali Arrahim

E-mail: ghazali@widyagama.ac.id

## 1. Pendahuluan

Metal matrik komposit merupakan material yang semakin populer karena dapat diaplikasikan dalam kebutuhan fungsional tertentu. Melalui bobot yang ringan, ketangguhan, kekerasan, dan keuletannya metal matrik komposit dapat dimanfaatkan dalam aplikasi industri teknik, otomotif dan tujuan struktural lainnya [1]. Pembuatan metal matrik komposit tidak lepas dari bahan konvensional pembentuknya berupa matrik dan penguat / *filler* yang digunakan. Aluminium paduan salah satunya Al-Cu sendiri merupakan material dengan keuletan yang lebih baik dari jenis-jenis aluminium lainnya tetapi jika menerima beban yang berlebih tidak menutup kemungkinan terjadi fatigue yang mengakibatkan penurunan performa dalam menerima beban atau tekanan yang diberikan [2], sehingga perlu ditambahkan kandungan unsur lainnya yang dapat menutupi kelemahan matrik Al-Cu.

Dalam pembuatan metal matrik komposit Mg,Si,Cu,Zn merupakan beberapa penguat yang banyak digunakan untuk membentuk komposit dalam rangka memperbaiki sifat material yang dibentuk. Silikon karbida (SiC) adalah salah satu unsur yang memiliki kelebihan dalam nilai kekerasan dan ketangguhannya [3]. Pada penelitian ini dengan menggunakan SiC sebagai *filler* dalam pembuatan metal matrik komposit bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik MMC pada nilai kekerasan yang dihasilkan. Dengan memvariasikan suhu pemanasan pada proses sintering kandungan SiC yang bertindak sebagai *filler* dalam pembuatan MMC dapat tersebar sehingga berdampak pada mekanisme penguatan dan terbentuknya *interphase* antara matrik dan *filler* dengan fenomena ikatan interatomik yang kuat, titik leleh tinggi dan kekerasan tinggi [4].

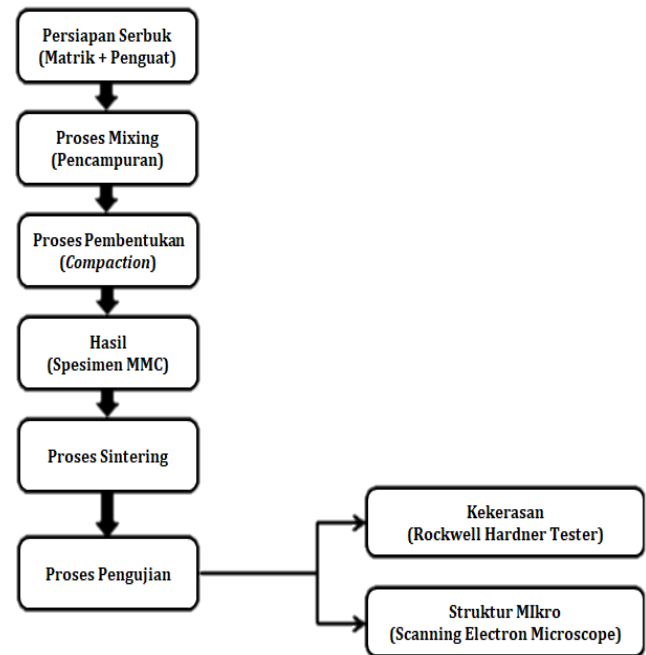
Pembuatan spesimen komposit dengan SiC sebagai *filler* dilakukan secara eksperimental dengan memanfaatkan matrik dengan kekuatan yang rendah seperti aluminium tipe 2xxx atau yang lebih dikenal sebagai Al-Cu atau *duralumin* yang ditambahkan serbuk silikon karbida (SiC) sebagai *filler* yang dilakukan menggunakan metode sintering dimana pengaruh temperatur pemanasan dibawah titik lebur material mengurangi reaksi antara muka (*interface*) antara matrik dengan penguat [5], dengan memperkecil reaksi antara partikel penguat dan matrik yang tidak dikehendaki, bertujuan untuk menghasilkan produk komposit matrik logam yang memiliki sifat mekanis yang lebih baik sehingga dapat meningkatkan sifat kekerasan dari spesimen metal matrik komposit yang dihasilkan [6].

Pengaruh temperatur pada proses sintering juga mempengaruhi *grain size reduction* sehingga ikatan kimia antar partikel yang terjadi memberikan perubahan terhadap sifat mekanik dan berdampak pada perubahan struktur mikro [7] yang kemudian akan diamati dan dianalisis menggunakan mikroskop optik dan elektron atau mikroskop lainnya, sehingga material MMC dengan peningkatan sifat mekaniknya dapat dimanfaatkan secara aplikatif khususnya dalam bentuk komponen otomotif dan dapat menjadi sebuah produk yang kompetitif di pasar global.

## 2. Metode

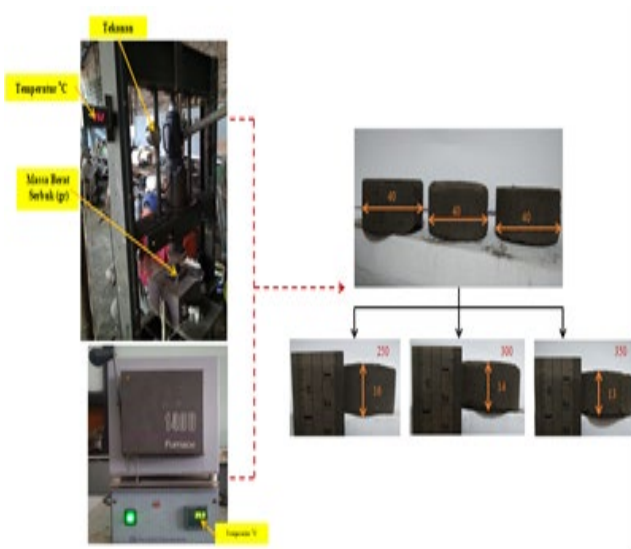
Metode penelitian dalam pembuatan metal matrik komposit ini dilakukan secara eksperimental menggunakan

metode sintering. dengan memperhatikan batasan penelitian tersebut alur penelitian dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1 Tahapan Proses Pembuatan Metal Matrik Komposit

Melalui penggunaan serbuk aluminium type 2xxx atau Al-Cu yang didapatkan dari proses pencacahan hasil limbah industri aluminium kemudian dihancurkan hingga menjadi butiran/serbuk. Pembuatan spesimen dengan memadukan serbuk Al-Cu yang bertindak sebagai matrik dengan serbuk silikon karbida (SiC) sebagai *filler*. Kemudian serbuk matrik dan *filler* dicampurkan (*mixing*) dilanjutkan dengan pemadatan kompaksi (*hot Press*) sehingga serbuk yang dipadatkan menjadi sebuah material solid [8] tujuan dari penelitian dilakukan untuk memaksimalkan persebaran partikel yang kemudian diakhiri dengan proses sintering dengan memanaskan spesimen metal matrik komposit yang terbentuk dengan memvariasikan temperatur pemanasan pada suhu dibawah titik lebur matrik sebesar 200°C, 250°C, dan 300°C sehingga reaksi yang dihasilkan berupa mekanisme penguatan antar partikel pada proses sintering mampu memberikan dampak *interphase* (melekatnya dua partikel penyusun) [9] dan distribusi partikel yang merata antara matrik dan *filler* sehingga menghasilkan material dengan homogenitas partikel yang lebih baik [10].



Gambar 2. Proses Kompaksi (*Hot Press*) Dilanjutkan Sintering MMC



Gambar 3. Proses Pengambilan Data Kekerasan Menggunakan *Rockwell Hardness Tester*

Pada gambar 2 ditunjukkan proses pematatan spesimen yang dilakukan secara *Hot Isostatic Pressure* sehingga spesimen menjadi solid dan homogen terbentuk dari dua serbuk yang dipadatkan. Kemudian dilakukan pengujian sifat mekanik untuk melihat nilai kekerasan pada pembuatan komposit metal. Pemilihan metode *Rockwell Hardness* pada pengujian kekerasan seperti pada gambar 3. berdasarkan beberapa metode pengujian (seperti: *Brinell Hardness*, *Vickers Hardness*, *Micro Hardness*) dimana *rockwell hardness* merupakan metode pengujian kekerasan yang paling sering digunakan di dunia teknik ataupun di dunia industri [11]. Karena metodenya simple dan tidak membutuhkan keahlian khusus, metode *Rockwell Hardness* paling banyak digunakan di Amerika Serikat karena penggunaannya tersebut mudah, dan tidak merepotkan selain itu juga bebas dari "*Human Error*" [12].

Setelah melakukan pengujian kekerasan tahapan selanjutnya melakukan pengamatan struktur mikro menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*). SEM digunakan untuk mengetahui struktur yang terbentuk dalam ukuran mikro sehingga tingkat homogenitas sampel dan daerah *interface* dapat diamati secara mendalam dan lebih lanjut [13]. Pengamatan dengan SEM memiliki resolusi yang tinggi dari perbesaran 10 sampai dengan 100.000 kali dan kedalaman hingga 3–100 nm [14]. Pengamatan menggunakan SEM diharapkan dapat menunjukkan

persebaran partikel yang terjadi antara matrik dan penguat SiC sehingga gambaran dari pengamatan tersebut mampu mendefinisikan sebab dari perubahan sifat mekanik material/spesimen yang dihasilkan.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian secara eksperimental spesimen MMC Al-Cu dengan menggunakan metode pengujian *Rockwell Hardness Tester* menunjukkan peningkatan nilai kekerasan setelah ditambahkan serbuk SiC yang bertindak sebagai *filler*. Dengan variasi suhu *sintering* yang digunakan dalam penelitian ini. Peningkatan yang terjadi menunjukkan hasil yang lebih baik atau meningkat 7,06 % pada spesimen MMC dengan temperatur *sintering* 300°C dengan nilai kekerasan rata-rata sebesar 71.6 HRB dan nilai kekerasan terendah pada *sintering* menggunakan suhu pemanasan 200°C sebesar 63.9 HRB diikuti dengan spesimen MMC tanpa perlakuan *sintering* dengan nilai kekerasan 62.2 HRB. Hasil pengujian ditunjukkan dalam tabel 1.

Dari data yang ditunjukkan pada tabel satu peningkatan kekerasan spesimen MMC Al-Cu yang dipengaruhi oleh suhu *sintering* juga memberikan dampak terhadap *persentase* kandungan setiap spesimen. Hal tersebut dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 1. Data kekerasan MMC

Temperatur °C	Spesimen T1	Spesimen T2	Spesimen T3	Spesimen T4	Spesimen T5	Spesimen R
0	61.65	62.75	62.5	61.8	62.3	62.2
200	64.3	62.7	62.9	62.8	66.8	63.9
250	62.6	64.4	68.8	67.8	67.8	66.3
300	71.3	68.8	68.8	74.3	74.8	71.6

Tabel 2. Kandungan MMC Al-Cu

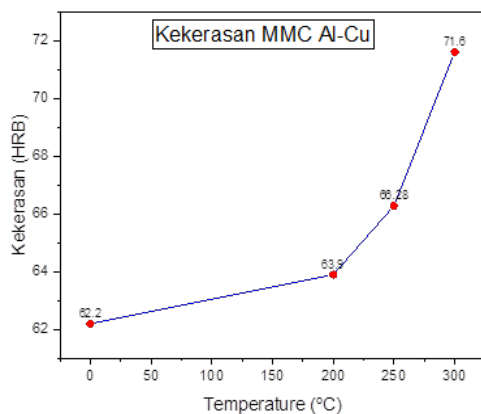
Element	Wt (%)	At (%)
AlK	47	38.08
CK	12.05	21.94
MgK	2.21	2
SiK	14.42	11.23
CuK	1.81	0.62
FeK	4.75	1.86

Kandungan SiC dengan persentase 14,42% yang tersebar dalam matrik aluminium berperan terhadap meningkatnya sifat MMC yang dihasilkan. Pada proses *sintering* dengan variasi suhu 300°C dibawah titik lebur matrik memberikan dampak mekanisme penguatan yang mana partikel SiC yang bertindak sebagai *filler* tersebar secara merata (Gambar 5) ke dalam matrik Al-Cu sehingga meningkatkan nilai kekerasan MMC Al-Cu. Hal tersebut dapat dilihat dalam bentuk grafik yang ditunjukkan pada gambar 4.

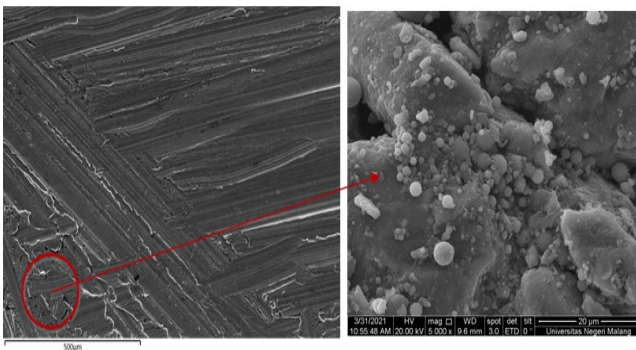
Pada Gambar 4 menunjukkan peningkatan nilai kekerasan spesimen MMC Al-Cu. Pengaruh variasi suhu *sintering* yang bertindak sebagai variabel penelitian menunjukkan bahwa suhu pemanasan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap meningkatnya sifat mekanis spesimen khususnya dalam meningkatkan nilai kekerasan MMC Al-Cu. Dimana aluminium yang digunakan sebagai matrik sendiri memiliki kelemahan

dalam hal kekerasan [15] sehingga dengan menambahkan SiC yang bertindak sebagai *filler*, kemudian dilakukan proses sintering dibawah titik lebur matrik aluminium yaitu 660°C memberikan pengaruh pada sebaran SiC sebagai *filler* terhadap matrik aluminium [16] sehingga spesimen yang dihasilkan berupa MMC Al-Cu memiliki nilai kekerasan yang baik khususnya pada proses sintering dengan variasi suhu 300°C dengan nilai kekerasan yang dihasilkan sebesar 71,6 HRB.

Hasil pengujian selanjutnya yang dilakukan yaitu pengamatan secara mikroskopis atau pengamatan struktur mikro menggunakan *scanning electron microscope* (SEM) pada spesimen MMC yang ditunjukkan pada gambar 5.

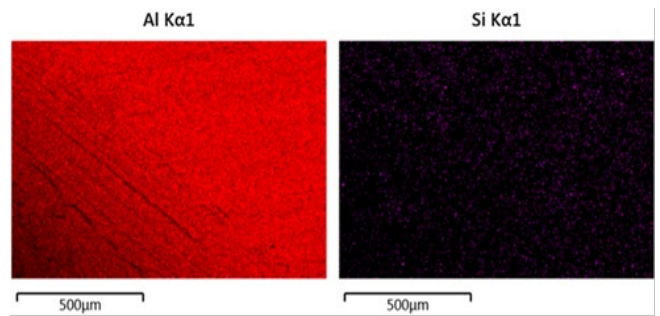


Gambar 4. Grafik Kekerasan MMC Al-Cu



Gambar 5. Pengamatan MMC Al-Cu Menggunakan SEM EDX dengan pembesaran 5000 X

Pada Gambar 5 menunjukkan permukaan MMC Al-Cu yang kemudian dilakukan pengamatan mikro menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dimana dari gambar yang ditunjukkan SiC yang bertindak sebagai *filler* pada matrik aluminium memiliki persebaran yang cukup baik terhadap matrik. Indikator partikel SiC yang dapat dilihat pada gambar berupa butiran-butiran halus yang tersebar pada matrik aluminium. Persebaran tersebut menyebabkan sedikit rongga yang terbentuk pada spesimen MMC sehingga mengurangi dampak porositas dan meningkatkan nilai kekerasan material yang dihasilkan [17]. Partikel SiC yang tersebar dapat diamati secara lanjut melalui pengamatan *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (EDS) Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Sebaran Partikel Filler SiC Terhadap Matrik Al MMC Al-Cu Pada Pembesaran 5000 X

Mengacu dari gambar 5 dimana foto permukaan MMC yang diamati persebaran partikelnya menggunakan *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (EDS), Dimana indikator warna hitam dengan titik ungu adalah gambaran sebaran SiC yang bertindak sebagai *filler* menyebar secara merata pada matrik aluminium dengan indikator warna merah. Dari data yang ditunjukkan pada tabel satu peningkatan kekerasan spesimen MMC Al-Cu juga dipengaruhi oleh suhu *sintering* yang diberikan [18]. Pada proses *sintering* dengan variasi suhu 300°C dibawah titik lebur matrik memberikan dampak mekanisme penguatan dimana persebaran partikel SiC yang bertindak sebagai *filler* ke dalam matrik menghasilkan homogenitas yang baik dengan mencampurkan matrik dan *filler* sehingga menghasilkan spesimen komposit yang lebih baik dari segi sifat mekanik khususnya kekerasan.

#### 4. Kesimpulan

Dari penelitian yang sudah dilakukan pada proses pembuatan MMC Al-Cu dengan menggunakan matrik Aluminium tipe 2xxx yang ditambahkan SiC sebagai *filler* atau pengisi, memberikan dampak peningkatan kekerasan yang cukup baik dengan memvariasikan temperatur suhu *sintering* dapat ditunjukkan pengaruh SiC sebagai *filler* berperan dalam mekanisme penguatan partikel dan homogenitas yang terbentuk sehingga berdampak dalam meningkatnya nilai kekerasan spesimen komposit metal yang dihasilkan. Dalam proses *sintering* dengan variasi suhu 300°C hasil yang ditunjukkan berupa meningkatnya nilai kekerasan spesimen sebesar 71,6 HRB. Dengan kandungan SiC sebesar *Wt* 14,42%. Pada pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) persebaran partikel SiC mengalami pemerataan dan saling mengikat terhadap matrik aluminium sehingga mengurangi porositas dan meningkatkan nilai kekerasan material MMC.

#### Ucapan Terimakasih

Terima kasih kepada LPPM Universitas Widyagama Malang selaku pemberi Dana, dan rekan-rekan fakultas dan jurusan yang telah memberikan bimbingan, dorongan, saran dan masukan selama smenjalani dan menyelesaikan penelitian ini.

#### Daftar Pustaka

- [1] S. Venugopal, S. Baskar, and P. N. F. Samuel, "Study on the mechanical behaviour of metal matrix composites (MMC)," *Mater. Today Proc.*, 2023, doi:https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.01.208.
- [2] S. Banoth, V. Suresh Babu, G. Raghavendra, and P. Hari Shankar, "Study of various types of aluminium alloy grade series and their

- effect on mechanical performance,” *Mater. Today Proc.*, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.635>.
- [3] J. Chen, J. Liu, Z. Peng, Y. Yao, and S. Chen, “The microscopic mechanism of size effect in silica-particle reinforced silicone rubber composites,” *Eng. Fract. Mech.*, vol. 255, no. August, p. 107945, 2021, doi: [10.1016/j.engfracmech.2021.107945](https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2021.107945).
- [4] M. Chinababu, E. Bhaskar Rao, and K. Sivaprasad, “Fabrication, microstructure, and mechanical properties of Al-based metal matrix-TiB<sub>2</sub>-HEA hybrid composite,” *J. Alloys Compd.*, vol. 947, p. 169700, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2023.169700>.
- [5] A. Kumar Mishra, V. Kumar, and B. Nand Pathak, “Al 6061 hybrid metal matrix composites with SiC & Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> using stir casting: A review,” *Mater. Today Proc.*, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.05.165>.
- [6] H. Wu, W. Xu, D. Shan, X. Wang, B. Guo, and B. C. Jin, “Micromechanical modeling of damage evolution and fracture behavior in particle reinforced metal matrix composites based on the conventional theory of mechanism-based strain gradient plasticity,” *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 22, pp. 625–641, 2023, doi: [10.1016/j.jmrt.2022.11.139](https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.11.139).
- [7] C. Edtmaier, J. Segl, E. Rosenberg, G. Liedl, R. Pospichal, and A. Steiger-Thirsfeld, “Microstructural characterization and quantitative analysis of the interfacial carbides in Al(Si)/diamond composites,” *J. Mater. Sci.*, vol. 53, no. 22, pp. 15514–15529, 2018, doi: [10.1007/s10853-018-2734-1](https://doi.org/10.1007/s10853-018-2734-1).
- [8] femiana gapasri muhammad ghazali arrahim, wahyono suprpto, “Pengaruh Fraksi Penguat Fly Ash dan Temperatur Cetakan terhadap Sifat Kekerasan dan Struktur Mikro pada MMC,” *Ash, F L Y Temp. D A N Strukt. Kekerasan D A N Mmc, Mikro Pada*, no. October, pp. 725–732, 2021.
- [9] J. Lu, Z. Zhang, Y. Li, and Z. Liu, “Effect of alumina source on the densification, phase evolution, and strengthening of sintered mullite-based ceramics from milled coal fly ash,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 229, p. 116851, 2019, doi: [10.1016/j.conbuildmat.2019.116851](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116851).
- [10] H. Gökçe and M. L. Öveçoğlu, “Microstructure-property evolution of mechanically alloyed Al-20 wt% Si matrix powders and sintered composites reinforced with TiB<sub>2</sub> particulates,” *Eng. Sci. Technol. an Int. J.*, vol. 39, 2023, doi: [10.1016/j.jjestch.2023.101341](https://doi.org/10.1016/j.jjestch.2023.101341).
- [11] H. Bashori, “Uji Material Aluminium Paduan Dengan Metode Kekerasan ROCKWELL Hasan,” *Angew. Chemie Int. Ed.*, vol. 6, no. 11, pp. 951–952, 2020.
- [12] K. Zahir Ahmed, M. Faizan, F. Azam, and A. Faheem, “Hardness assessment of novel waste tire rubber-polypropylene composite,” *Mater. Today Proc.*, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.445>.
- [13] S. Sharma et al., “Investigation on mechanical, tribological and microstructural properties of Al-Mg-Si-T6/SiC/muscovite-hybrid metal-matrix composites for high strength applications,” *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 12, pp. 1564–1581, 2021, doi: [10.1016/j.jmrt.2021.03.095](https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.03.095).
- [14] R. Saranu, R. Chanamala, and S. R. Putti, “Processing, micro structures and mechanical properties of AZ91E, SiC and fly ash composites: A review,” *Mater. Today Proc.*, vol. 26, no. xxxx, pp. 2629–2635, 2019, doi: [10.1016/j.matpr.2020.02.555](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.555).
- [15] J. Sethi, S. Das, and K. Das, “The effect of milling time, and sintering temperature and time on the microstructure-property relationship of aluminium-matrix hybrid composites,” *Mater. Today Commun.*, vol. 35, p. 106242, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2023.106242>.
- [16] J. Hu et al., “Interfacial microstructure and sintering mechanism of plasma activated sintered Al/SiC composites,” *Vacuum*, vol. 212, p. 112051, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2023.112051>.
- [17] P. K. Krishnan et al., “Production of aluminum alloy-based metal matrix composites using scrap aluminum alloy and waste materials: Influence on microstructure and mechanical properties,” *J. Alloys Compd.*, vol. 784, no. 2019, pp. 1047–1061, 2019, doi: [10.1016/j.jallcom.2019.01.115](https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.01.115).
- [18] X.-P. Ding, W.-N. Xu, L.-M. Luo, Y.-Q. Qin, and Y.-C. Wu, “Microstructure and properties of WCu composites with low copper content at different sintering temperatures,” *Int. J. Refract. Met. Hard Mater.*, vol. 113, p. 106219, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2023.106219>.