

Pengaruh Variasi Fraksi Volume Serbuk Alumina Terhadap Kekuatan Tarik Dan Kekerasan Pada Aluminium 1050

Mohammad Andrea Iswanto^{1*}, Irwan Aranda²

^{1,2} Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang
Jl. Witana Harja No.18b, Pamulang, Kota Tangerang Selatan, Banten 15417, Indonesia.

* Corresponding author: andreaismwanto14@gmail.com

Abstract

Aluminum 1050 has low density, good corrosion resistance, and excellent formability; however, its mechanical strength and hardness are relatively low. Studies on Aluminum 1050 matrix composites reinforced with low-volume fractions of alumina (Al_2O_3) produced by the stir casting method are still limited. This study aims to analyze the effect of Al_2O_3 volume fraction variations of 0%, 3%, 6%, and 9% on the tensile strength and hardness of Aluminum 1050. The composites were fabricated using the stir casting method at a melting temperature of approximately 700°C. The Al_2O_3 powder was preheated at 400°C for 30 minutes, and the molten metal was stirred for 5 minutes before being poured into the mold. Each composition was tested using three specimens. Tensile testing was conducted using a Universal Testing Machine (UTM) in accordance with ASTM E8, while hardness testing was performed using a Brinell Hardness Tester in accordance with ASTM E10. The results showed that the highest average tensile strength was achieved at the 3% Al_2O_3 volume fraction, reaching 52.27 MPa, while the highest average hardness was obtained at the 6% Al_2O_3 volume fraction, reaching 115.48 HBN. The addition of Al_2O_3 improved the mechanical properties of Aluminum 1050; however, increasing the reinforcement content to 9% reduced the tensile strength due to non-uniform particle distribution and porosity formation.

Keywords: Aluminum 1050, Alumina (Al_2O_3), Stir Casting, Tensile Strength, Hardness.

Abstrak

Aluminium 1050 memiliki massa jenis rendah, ketahanan korosi yang baik, dan kemampuan bentuk (*formability*) yang tinggi, tetapi kekuatan mekanik serta kekerasannya masih relatif rendah. Penelitian mengenai komposit Aluminium 1050 yang diperkuat serbuk alumina (Al_2O_3) dengan fraksi volume rendah menggunakan metode *stir casting* masih terbatas. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi fraksi volume serbuk alumina (Al_2O_3) sebesar 0%, 3%, 6%, dan 9% terhadap kekuatan tarik dan kekerasan Aluminium 1050. Komposit dibuat menggunakan metode *stir casting* pada temperatur peleburan sekitar 700°C, dengan *preheating* serbuk Al_2O_3 pada 400°C selama 30 menit dan pengadukan selama 5 menit sebelum penuangan. Setiap variasi diuji menggunakan tiga spesimen. Pengujian tarik dilakukan menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) mengacu pada ASTM E8, sedangkan pengujian kekerasan menggunakan *Brinell Hardness Tester* mengacu pada ASTM E10. Hasil penelitian menunjukkan kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada fraksi volume 3% sebesar 52,27 MPa, sedangkan kekerasan tertinggi diperoleh pada fraksi volume 6% sebesar 115,48 HBN. Penambahan Al_2O_3 meningkatkan sifat mekanik Aluminium 1050, namun penambahan hingga 9% menurunkan kekuatan tarik akibat distribusi partikel yang kurang merata dan terbentuknya porositas.

Kata kunci: Aluminium 1050, Alumina (Al_2O_3), *Stir Casting*, Kekuatan Tarik, Kekerasan.

1. Pendahuluan

Perkembangan pesat pada sektor otomotif, dirgantara, dan manufaktur modern menuntut penggunaan material yang memiliki bobot ringan namun mampu memberikan performa mekanik yang tinggi. Kebutuhan ini mendorong peningkatan pemanfaatan material berbasis aluminium, khususnya Aluminium 1050, yang dikenal

memiliki densitas rendah, ketahanan korosi yang baik, serta konduktivitas listrik dan termal yang tinggi. Karakteristik tersebut menjadikan Aluminium 1050 banyak digunakan pada komponen struktural ringan dan berbagai aplikasi teknik. Namun demikian, keterbatasan utama Aluminium 1050 terletak pada sifat mekaniknya, terutama kekuatan tarik dan kekerasan yang

DOI: <https://doi.org/10.24127/trb.v15i1.5384>

Received 9 July 2026; Received in revised form 15 July 2026; Accepted 21 July 2026

Available online 29 July 2026



relatif rendah, sehingga membatasi penggunaannya pada kondisi pembebanan mekanik yang lebih berat [1], [2]

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, pengembangan *Metal Matrix Composite* (MMC) melalui penambahan partikel penguat keramik menjadi salah satu solusi yang banyak diteliti. Di antara berbagai jenis partikel penguat, seperti silikon karbida (SiC), boron karbida (B₄C), dan titanium diborida (TiB₂), alumina (Al₂O₃) dipilih karena memiliki kombinasi sifat mekanik yang baik, stabilitas termal tinggi, serta kompatibilitas yang baik dengan matriks aluminium [3], [4], [5]. Selain memiliki keunggulan teknis, alumina juga lebih ekonomis karena harga bahan bakunya relatif rendah, tersedia secara luas di pasaran, serta lebih mudah ditangani dan dicampurkan dibandingkan beberapa partikel penguat keramik lainnya yang memerlukan biaya dan pengendalian proses lebih tinggi [6], [7]. Oleh karena itu, serbuk alumina dinilai lebih aplikatif dan realistis untuk pengembangan material berbasis aluminium pada skala industri.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penambahan serbuk alumina ke dalam matriks aluminium mampu meningkatkan kekuatan tarik dan kekerasan tanpa meningkatkan massa jenis material secara signifikan [1]. Peningkatan sifat mekanik tersebut terjadi melalui mekanisme penguatan seperti transfer beban (*load transfer mechanism*) dari matriks ke partikel penguat, penghambatan pergerakan dislokasi (*Orowan strengthening*), penyempurnaan ukuran butir (*grain refinement*), serta penguatan oleh partikel (*particle reinforcement*) [8]. Dengan demikian, penggunaan alumina tidak hanya meningkatkan performa mekanik, tetapi juga mempertahankan keunggulan aluminium sebagai material ringan.

Sifat Aluminium 1050 yang diperkuat serbuk alumina sangat dipengaruhi oleh fraksi volume partikel penguat. Peningkatan fraksi volume alumina umumnya diikuti oleh peningkatan kekerasan dan kekuatan tarik hingga batas

tertentu [9]. Akan tetapi, pada fraksi volume yang terlalu tinggi, distribusi partikel menjadi kurang homogen sehingga meningkatkan potensi terjadinya aglomerasi partikel dan pembentukan porositas. Kondisi tersebut menyebabkan ikatan antara matriks aluminium dan partikel penguat menjadi kurang optimal sehingga dapat menurunkan kekuatan tarik, keuletan, dan kemampuan deformasi material [7]. Oleh karena itu, penentuan fraksi volume penguat yang tepat merupakan faktor penting dalam perancangan komposit aluminium.

Menurut penelitian [10] menyatakan, komposit Al7075 yang diperkuat Al₂O₃ menunjukkan sifat mekanik optimum pada fraksi volume penguat sekitar 40%, sedangkan peningkatan fraksi volume di atas nilai tersebut menyebabkan penurunan kekuatan akibat meningkatnya porositas. Sementara itu, penelitian [11] melaporkan bahwa peningkatan fraksi volume serbuk alumina mampu meningkatkan kekerasan secara signifikan, tetapi diikuti oleh penurunan energi serap dan ketangguhan material. Hasil-hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa pengaruh fraksi volume alumina terhadap sifat mekanik masih bergantung pada jenis matriks aluminium, metode fabrikasi, serta komposisi penguat yang digunakan.

Dari sisi manufaktur, metode *stir casting* merupakan teknik yang banyak digunakan dalam pembuatan komposit berbasis aluminium karena prosesnya relatif sederhana, biaya produksi lebih rendah, serta sesuai untuk produksi massal [9], [12]. Metode ini memungkinkan pencampuran partikel alumina ke dalam logam cair melalui proses pengadukan mekanis sehingga menghasilkan distribusi partikel yang relatif merata pada fraksi volume rendah hingga menengah [6], [13]. Selain itu, metode *stir casting* tidak memerlukan peralatan khusus berbiaya tinggi seperti pada metode metalurgi serbuk sehingga lebih ekonomis dan sesuai untuk aplikasi industri skala kecil maupun menengah.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengkaji pengaruh variasi

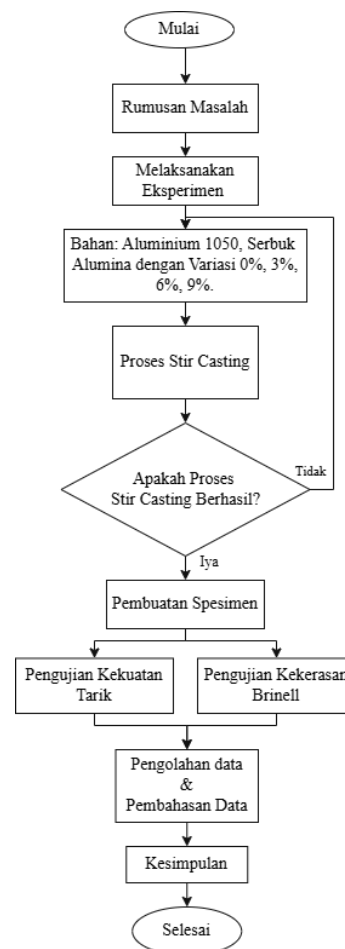
fraksi volume serbuk alumina (Al_2O_3) terhadap sifat mekanik komposit Aluminium 1050. Penambahan Al_2O_3 dapat meningkatkan kekuatan tarik dan kekerasan hingga komposisi tertentu, namun peningkatan fraksi volume yang berlebihan berpotensi menyebabkan aglomerasi partikel dan porositas sehingga berdampak pada penurunan sifat mekanik [14],[15]. Dengan demikian, diperlukan kajian untuk menentukan fraksi volume Al_2O_3 yang mampu menghasilkan sifat mekanik optimum.

Penelitian ini berfokus pada pengaruh variasi fraksi volume Al_2O_3 sebesar 0%, 3%, 6%, dan 9% terhadap kekuatan tarik dan kekerasan Aluminium 1050, serta mengidentifikasi komposisi yang memberikan performa mekanik terbaik. Kebaruan penelitian ini terletak pada penggunaan Aluminium 1050 sebagai material matriks yang diperkuat serbuk Al_2O_3 dengan variasi fraksi volume rendah melalui metode *stir casting*. Berbeda dengan penelitian terdahulu yang umumnya menggunakan paduan aluminium berkekuatan tinggi dan fraksi penguat yang lebih besar, penelitian ini hanya mengombinasikan pengujian tarik dan kekerasan untuk memperoleh komposisi Al_2O_3 yang paling optimal [16]. Hasil penelitian diharapkan dapat memperkaya pengembangan komposit Aluminium 1050 serta menjadi referensi dalam pemilihan komposisi penguat yang efektif, ekonomis, dan berpotensi diterapkan pada berbagai komponen teknik.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk menganalisis pengaruh variasi fraksi volume serbuk alumina (Al_2O_3) sebesar 0%, 3%, 6%, dan 9% terhadap kekuatan tarik dan kekerasan Aluminium 1050 yang difabrikasi menggunakan metode *stir casting*. Aluminium 1050 berfungsi sebagai material matriks. Proses fabrikasi diawali dengan peleburan Aluminium 1050 pada suhu sekitar 700 °C, sedangkan serbuk alumina

dengan ukuran partikel 220 mesh dipanaskan terlebih dahulu pada 400 °C selama 30 menit untuk mengurangi kelembapan dan meningkatkan wettability. Serbuk kemudian ditambahkan secara bertahap ke dalam logam cair sambil diaduk selama 5 menit dengan kecepatan aduk 400-500 rpm. Selanjutnya, logam cair dituang ke dalam cetakan dan didinginkan hingga membentuk spesimen uji. Alur penelitian secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian.

Spesimen hasil pengecoran selanjutnya diproses sesuai standar pengujian. Pengujian kekuatan tarik dilakukan menggunakan Universal Testing Machine (UTM) dengan spesimen mengacu pada standar ASTM E8 tipe 1 untuk memperoleh nilai tegangan tarik maksimum. Nilai kekuatan tarik dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$\sigma_t = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Dimana:

σ_t = Tegangan tarik (MPa)

F = Beban tarik

A = Luas penampang

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode Brinell pada standar ASTM E10. Pengujian dilakukan dengan diameter bola indentor 5 mm, serta gaya tekan 306,5 N dan waktu penahanan 15 detik di setiap spesimen untuk memperoleh nilai kekerasan rata-rata dan mengurangi pengaruh variasi lokal pada permukaan material. Nilai kekerasan dihitung menggunakan Persamaan (2).

$$HBN = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (2)$$

Dimana:

F = Gaya tekan (dalam kgf atau N)

D = Diameter Bola Indentor (mm)

d = Diameter lekukan rata-rata (mm)

Data hasil pengujian tarik dan kekerasan dianalisis secara komparatif untuk mengevaluasi pengaruh variasi fraksi volume serbuk alumina terhadap sifat mekanik Aluminium 1050. Hasil analisis kemudian dibandingkan dengan teori dan penelitian terdahulu untuk menentukan fraksi volume yang paling optimum.

3. Hasil dan Pembahasan

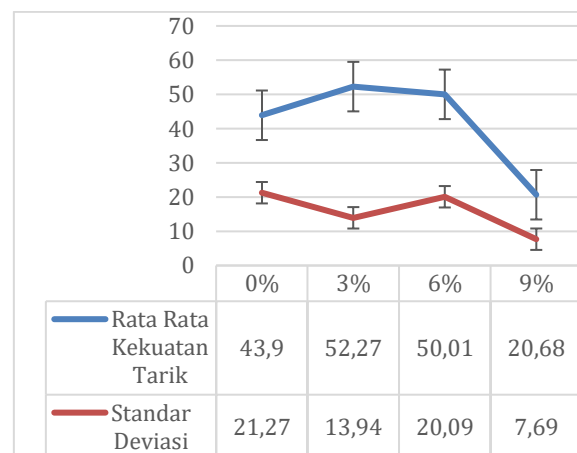
3.1 Pengujian Kekuatan Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh variasi fraksi volume alumina terhadap kekuatan tarik komposit Aluminium 1050. Pengujian menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) pada spesimen dengan kandungan alumina 0%, 3%, 6%, dan 9%, masing-masing diuji sebanyak tiga kali untuk memperoleh nilai rata-rata yang representatif. Variasi fraksi volume Al_2O_3 sebesar 0%, 3%, 6%, dan 9% dipilih untuk merepresentasikan kondisi tanpa penguat sebagai pembanding (0%) serta fraksi

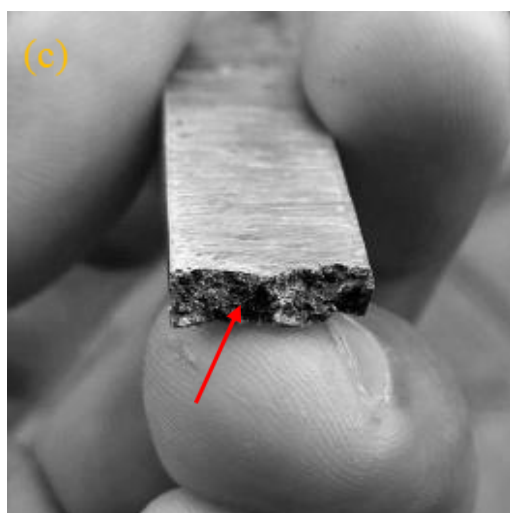
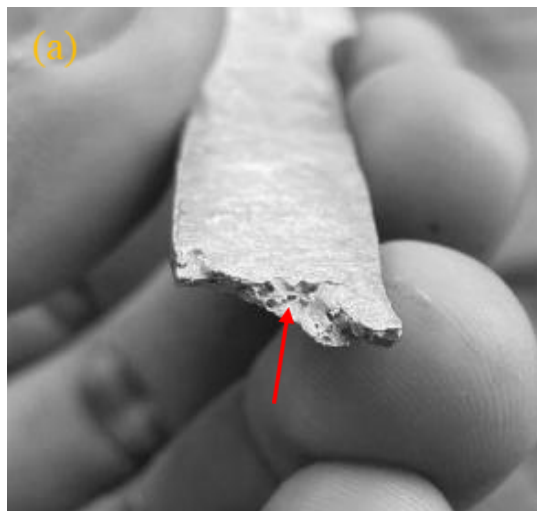
volume rendah yang berdasarkan penelitian terdahulu berpotensi meningkatkan sifat mekanik tanpa meningkatkan risiko aglomerasi partikel dan porositas secara signifikan [14],[16]. Hasil pengujian menunjukkan adanya perbedaan kekuatan tarik pada setiap variasi fraksi volume alumina. Perbedaan tersebut mengindikasikan bahwa penambahan alumina memengaruhi respons mekanik material. Nilai rata-rata kekuatan tarik setiap variasi disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Tarik

Berat fraksi Alumina %	Sampel	Load (N)	Kekuatan tarik (MPa)	Rata-rata kekuatan tarik (MPa)	Standar Deviasi (MPa)
0%	1	2638	62,07	43,90	21,27
	2	0934	20,34		
	3	1944	49,29		
3%	1	1808	36,14	52,27	13,94
	2	2544	59,57		
	3	2460	61,10		
6%	1	2272	63,18	50,01	20,09
	2	1098	26,91		
	3	2560	59,95		
9%	1	0960	24,24	20,68	7,69
	2	1146	25,81		
	3	0570	11,98		



Gambar 2. Grafik rata-rata hasil pengujian kekuatan tarik.



Gambar 3. Karakteristik permukaan patahan spesimen uji tarik Aluminium 1050 dengan variasi fraksi volume Al_2O_3 : (a) 3%, (b) 6%, dan (c) 9%.

Penambahan Al_2O_3 sebesar 3% meningkatkan kekuatan tarik hingga 52,27 MPa. Berdasarkan Gambar 3(a), permukaan

patahan menunjukkan deformasi plastis dengan indikasi porositas yang relatif sedikit, sehingga mengindikasikan patahan yang masih didominasi sifat ulet (*ductile fracture*). Kondisi ini menunjukkan distribusi partikel penguat yang relatif baik sehingga meningkatkan kemampuan material dalam menahan beban tarik.

Pada variasi 6%, kekuatan tarik sedikit menurun menjadi 50,01 MPa. Gambar 3(b) menunjukkan permukaan patahan yang lebih kasar dengan indikasi meningkatnya jumlah *void*, yang diduga disebabkan oleh distribusi partikel yang kurang homogen sehingga memicu propagasi retak.

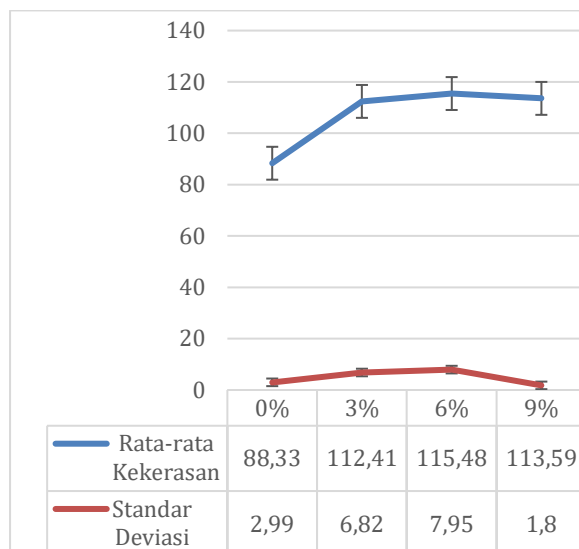
Sementara itu, pada variasi 9%, kekuatan tarik turun signifikan menjadi 20,68 MPa. Berdasarkan Gambar 3(c), permukaan patahan tampak paling kasar dengan indikasi porositas yang lebih dominan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa penambahan Al_2O_3 yang berlebihan meningkatkan kecenderungan aglomerasi partikel dan pembentukan porositas, sehingga mempercepat propagasi retak dan menurunkan kekuatan tarik komposit.

3.2 Pengujian Kekerasan

Pada pengujian ini dilakukan menggunakan metode Brinell untuk mengevaluasi pengaruh variasi fraksi volume serbuk alumina terhadap kekerasan Aluminium 1050. Pengujian dilaksanakan pada setiap variasi komposisi dengan beberapa titik pengukuran guna memperoleh nilai rata-rata yang representatif. Hasil pengujian menunjukkan nilai kekerasan Brinell (HBN) untuk masing-masing variasi fraksi volume alumina sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data hasil kekerasan rata-rata

Berat fraksi Alumina %	Sampel	Kekerasan (HB)	Rata Rata Kekerasan (HB)	Standar Deviasi (HB)
0%	1	91,63	88,33	2,99
	2	85,79		
	3	87,57		
3%	1	119,88	112,41	6,82
	2	106,51		
	3	110,84		
6%	1	118,02	115,48	7,95
	2	106,57		
	3	121,84		
9%	1	115,47	113,59	1,80
	2	111,88		
	3	113,41		



Gambar 4. Data kekerasan rata-rata

Berdasarkan Gambar 4. peningkatan kekerasan terjadi seiring bertambahnya fraksi volume alumina hingga mencapai nilai optimum pada variasi 6%. Peningkatan kekerasan disebabkan oleh tingginya kekerasan partikel Al_2O_3 yang mampu meningkatkan ketahanan permukaan terhadap penetrasi indenter Brinell. Selain itu, keberadaan partikel penguat membatasi deformasi plastis matriks aluminium selama proses pembebanan. Meskipun nilai kekerasan pada variasi 9% masih lebih tinggi dibandingkan Aluminium tanpa penguat, terjadi sedikit penurunan

dibandingkan variasi 6%. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan partikel yang terlalu banyak menyebabkan distribusi penguat menjadi kurang merata sehingga efektivitas mekanisme penguatan mulai menurun. Selain itu, kemungkinan terbentuknya porositas selama proses pengecoran juga berpengaruh terhadap hasil pengujian kekerasan.



Gambar 5. Sampel hasil pengujian spesimen.

Secara umum, penambahan serbuk alumina (Al_2O_3) meningkatkan sifat mekanik Aluminium 1050. Kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada fraksi volume 3% sebesar 52,27 MPa karena distribusi partikel penguat masih relatif homogen, sehingga mekanisme *load transfer* berlangsung efektif dengan porositas yang rendah. Sementara itu, kekerasan tertinggi dicapai pada fraksi volume 6% sebesar 115,48 HB akibat meningkatnya jumlah partikel Al_2O_3 yang memperkuat ketahanan material terhadap deformasi lokal. Namun, pada fraksi volume 9%, kecenderungan aglomerasi partikel dan porositas menyebabkan ikatan matriks-penguat menjadi kurang efektif sehingga kekuatan tarik menurun. Hasil ini menunjukkan bahwa fraksi volume optimum untuk kekuatan tarik dan kekerasan tidak selalu sama karena dipengaruhi oleh mekanisme penguatan yang berbeda.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini dengan menggunakan metode *stir casting*, dapat disimpulkan bahwa penambahan alumina memberikan pengaruh terhadap kekuatan tarik dan kekerasan material, dengan besarnya peningkatan dipengaruhi oleh fraksi volume penguat yang digunakan. Kekuatan tarik optimum diperoleh pada penambahan alumina sebesar 3% dengan nilai 52,27 MPa, lebih tinggi dibandingkan aluminium 1050 tanpa penguat yang memiliki kekuatan tarik sebesar 43,90 MPa. Peningkatan fraksi volume hingga 6% menghasilkan kekuatan tarik sebesar 50,01 MPa, sedangkan pada 9% terjadi penurunan menjadi 20,68 MPa. Peningkatan kekerasan berlangsung seiring penambahan alumina hingga mencapai nilai maksimum pada fraksi volume 6%, yaitu 115,48 HBN. Nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan material tanpa penguat sebesar 88,33 HBN, serta variasi 3% dan 9% yang masing-masing menghasilkan kekerasan sebesar 112,41 HBN dan 113,59 HBN. Secara umum, hasil penelitian menunjukkan bahwa fraksi volume 3% merupakan komposisi yang paling efektif dalam meningkatkan kekuatan tarik, sedangkan fraksi volume 6% memberikan peningkatan kekerasan yang paling optimal. Dengan demikian, penambahan serbuk alumina pada komposisi yang sesuai mampu meningkatkan sifat mekanik aluminium 1050, sementara penambahan yang berlebihan berpotensi menurunkan kinerja material.

Referensi

- [1] Gunawan wibisono, "PENGARUH PENAMBAHAN SERBUK NANO ALUMINA (Al_2O_3) TERHADAP KARAKTERISASI KOMPOSIT Al/SERAT KAWAT BAJA DENGAN METODE STIR CASTING," *Digital Repository Universitas Jember*, no. September 2019, pp. 2019–2022, 2021.
- [2] D. L. Zariatina, Y. Kurniawan, and N. A. R. Afika, "Development of Data Acquisition System on an Arduino-Based Tensile Test Machine for Composite Materials," *Jurnal Asimetrik: Jurnal Ilmiah Rekayasa & Inovasi*, vol. 5, pp. 331–340, 2023, doi: 10.35814/asiimetrik.v5i2.4981.
- [3] P. Yadav, A. Ranjan, H. Kumar, A. Mishra, and J. Yoon, "A contemporary review of aluminium mmc developed through stir-casting route," *Materials*, vol. 14, no. 21, pp. 1–30, 2021, doi: 10.3390/ma14216386.
- [4] C. H. Morsiya and S. Pandya, "Effect of Stir casting Process Parameters and Stirrer Blade Geometry on Mechanical Properties of Al MMC – a Review," *Archives of Metallurgy and Materials*, vol. 68, no. 4, pp. 1473–1495, 2023, doi: 10.24425/amm.2023.146214.
- [5] K. Narayanaswamy, "Development and Evaluation of Tensile and Compression Strength of Al based MMC," vol. 3, no. 17, pp. 1–3, 2015.
- [6] M. Ahmed, M. El-Gindy, and H. Lang, "Handling performance of an 8x8 combat vehicle," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 973, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/973/1/012009.
- [7] R. Gukendran, M. Sambathkumar, K. S. K. Sasikumar, and D. K. Karupanasamy, "Effect of Silicon Carbide and Alumina Reinforcement of Different Volume Fraction on Wear Characteristics of AL 7075 Hybrid Composites Using Response Surface Methodology," *Materials Research*, vol. 25, 2022, doi: 10.1590/1980-5373-MR-2022-0204.
- [8] L. Tong *et al.*, "Remarkable age-hardening response and microstructural evolution of Mg–7Sn alloy," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 24, pp. 1442–1453, 2023, doi: 10.1016/j.jmrt.2023.03.087.

- [9] Surojo dkk., “Pengaruh Perlakuan Preheat Partikel Al₂O₃ Pada Proses Stir Casting terhadap Sifat Fisik Keywords : Abstrak :,” vol. 19, no. August, pp. 83–89, 2020.
- [10] S. Aghajani, V. Pouyafar, R. Meshkabadi, A. A. Volinsky, and A. Bolouri, “Mechanical characterization of high volume fraction Al₇₀Si₃₀ - Al₂O₃ composite fabricated by semisolid powder processing,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, pp. 2569–2580, 2023, doi: 10.1007/s00170-023-10881-9.
- [11] A. Kurzawa, “The Mechanical Properties, Microstructure Analysis and Damage Behavior of AlMg7 Matrix Composites Reinforced with α -Al₂O₃ Particles,” *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 15, no. 20, pp. 1–27, 2025, doi: 10.3390/app152011173.
- [12] S. K. Sharma *et al.*, “Progress in Aluminum-Based Composites Prepared by Stir Casting: Mechanical and Tribological Properties for Automotive, Aerospace, and Military Applications,” *Lubricants*, vol. 12, no. 12, 2024, doi: 10.3390/lubricants12120421.
- [13] F. M. Hussien and B. Abdul-Hassan Khalaf, “The Effect of (α -Al₂O₃) Volume Fraction on The Mechanical Properties of (Al-Alumina) Metal Matrix Composite,” *Engineering and Technology Journal*, vol. 29, no. 13, pp. 2765–2772, 20AD, doi: 10.30684/etj.29.13.14.
- [14] J. Grilo, V. H. Carneiro, J. C. Teixeira, and H. Puga, “Manufacturing methodology on casting-based aluminium matrix composites: Systematic review,” Mar. 01, 2021, *MDPI AG*. doi: 10.3390/met11030436.
- [15] A. Kareem, J. A. Qudeiri, A. Abdudeen, T. Ahammed, and A. Ziout, “A review on aa 6061 metal matrix composites produced by stir casting,” *Materials*, vol. 14, no. 1, pp. 1–22, Jan. 2021, doi: 10.3390/ma14010175.
- [16] P. Yadav, A. Ranjan, H. Kumar, A. Mishra, and J. Yoon, “A contemporary review of aluminium mmc developed through stir-casting route,” Nov. 01, 2021, *MDPI*. doi: 10.3390/ma14216386.