

KARAKTERISASI ALUMINIUM MATRIX COMPOSITE (AMC) AL/TERAK DENGAN VARIASI BERAT 0% DAN 6% TERAK BESI COR MENGGUNAKAN METODE STIR CASTING

Lutiyatmi,^{1*} Nabila Desy Rahmawati ², Suparni ³,

¹ Politeknik Manufaktur Ceper; lutiyatmi@polman-ceper.ac.id

² Universitas Pertahanan; nabiladesi@rahma31nabila@gmail.com

³. Suparni, SE., MM; lutiyatmi@polman-ceper.ac.id

* Korespondensi: lutiyatmi@polman-ceper.ac.id

Abstrak

Limbah industri pengecoran logam dan otomotif, seperti terak besi cor dan piston aluminium bekas, merupakan limbah padat yang belum dimanfaatkan secara optimal. Terak besi cor mengandung senyawa oksida logam yaitu SiO_2 yang potensial sebagai partikel penguat, sedangkan piston bekas mengandung paduan aluminium-silikon yang dapat dimanfaatkan sebagai matriks. Penelitian ini bertujuan mengkarakterisasi sifat mekanik dan struktur mikro dari Aluminium Matrix Composite (AMC) berbasis limbah dengan metode stir casting.

Matriks aluminium dari hasil peleburan ulang piston bekas dicampur dengan serbuk terak dalam fraksi berat 0% dan 6%. Campuran dilebur dan diaduk dengan *stir casting* pada kecepatan 400–500 rpm selama lima menit, kemudian dituangkan ke dalam cetakan pasir. Sampel hasil cor dianalisis dengan pengujian metalografi, makrografi, dan kekerasan mikrovickers.

Hasil menunjukkan bahwa penambahan 6% terak meningkatkan kekerasan rata-rata dari 124,50 HV menjadi 216,96 HV. Distribusi partikel SiO_2 relatif merata, meskipun diikuti oleh peningkatan porositas. Pengujian makro menunjukkan bahwa porositas meningkat seiring penambahan fraksi berat terak akibat gangguan solidifikasi.

Kesimpulannya, terak besi cor efektif memperkuat matriks aluminium dalam komposit AMC, namun diperlukan pengendalian lebih lanjut pada proses stir casting untuk mengurangi porositas dan memastikan kualitas material. Penelitian ini menunjukkan potensi pemanfaatan limbah industri sebagai bahan baku alternatif dalam pengembangan material teknik.

Kata kunci: AMC, terak besi cor, limbah piston, stir casting, kekerasan, porositas

Abstract

Waste from the metal casting and automotive industries, such as cast iron slag and used aluminum pistons, represents solid waste that has not been optimally utilized. Cast iron slag contains a metal oxide compound, SiO_2 , which has the potential to act as a reinforcing particle, while used pistons contain an aluminum-silicon alloy that can be used as a matrix. This study aims to characterize the mechanical properties and microstructure of a waste-based Aluminum Matrix Composite (AMC) using the stir casting method.

The aluminum matrix from the remelting of used pistons was mixed with slag powder in weight fractions of 0% and 6%. The mixture was melted and stirred with a stir casting machine at 400–500 rpm for five minutes, then poured into a sand mold. The cast samples were analyzed using metallography, macrography, and micro-Vickers hardness testing.

The results showed that the addition of 6% slag increased the average hardness from 124.50 HV to 216.96 HV. The distribution of SiO_2 particles was relatively even, although accompanied by an increase in porosity. Macroscopic testing shows that porosity increases with increasing slag weight fraction due to solidification disturbances.

In conclusion, cast iron slag effectively strengthens the aluminum matrix in AMC composites, but further control of the stir casting process is needed to reduce porosity and ensure material quality. This research demonstrates the potential of utilizing industrial waste as an

alternative raw material in the development of engineering materials.

Keywords: AMC, cast iron slag, piston waste, stir casting, hardness, porosity

• Pendahuluan

Industri pengecoran logam menghasilkan limbah berupa terak, yang hingga kini belum dimanfaatkan secara maksimal dan sering dibuang ke lingkungan. Terak ini umumnya mengandung oksida logam seperti silika (SiO_2), yang sebenarnya berpotensi dimanfaatkan dalam pengembangan material teknik [1-3]. Di sisi lain, limbah piston aluminium bekas dari sektor otomotif juga memiliki potensi sebagai bahan baku karena kandungan aluminium-silikonnya yang tinggi [3-5]. Penggabungan kedua limbah ini dalam bentuk *Aluminium Matrix Composite* (AMC) menawarkan solusi material baru yang ringan, kuat, serta ramah lingkungan dan mendukung konsep keberlanjutan industri [6].

AMC merupakan material komposit logam yang menggunakan aluminium sebagai matriks dan diperkuat dengan partikel keramik atau oksida. Material ini dikenal memiliki kekuatan spesifik yang tinggi, ketahanan aus, serta stabilitas termal yang baik [7]. Dalam studi ini, terak besi cor yang kaya akan SiO_2 digunakan sebagai partikel penguat. Metode *stir casting* dipilih karena sederhana, ekonomis, serta memungkinkan pencampuran partikel secara efisien ke dalam logam cair [8].

Penelitian ini mengevaluasi pengaruh variasi berat terak 0% dan 6% terhadap sifat kekerasan, porositas, dan struktur mikro AMC Al/terak. Hasilnya diharapkan dapat memberikan kontribusi teknis terhadap pengembangan material komposit serta solusi lingkungan melalui pemanfaatan limbah industri [9-11].

• Bahan dan Metode

Penelitian dilakukan di Laboratorium Politeknik Manufaktur Ceper. Bahan utama berupa piston bekas sepeda motor dan mobil, dicairkan ulang menjadi ingot. Bahan penguat berupa terak besi cor dari industri pengecoran logam yang dihancurkan menjadi serbuk. Hasil uji komposisi kimia limbah piston dilebur ulang dan dibentuk menjadi ingot dan digunakan sebagai bahan baku utama. Tabel 1, menunjukkan komposisi bahan baku utama dan bahan penguat ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Hasil uji komposisi kimia bahan baku utama AMC

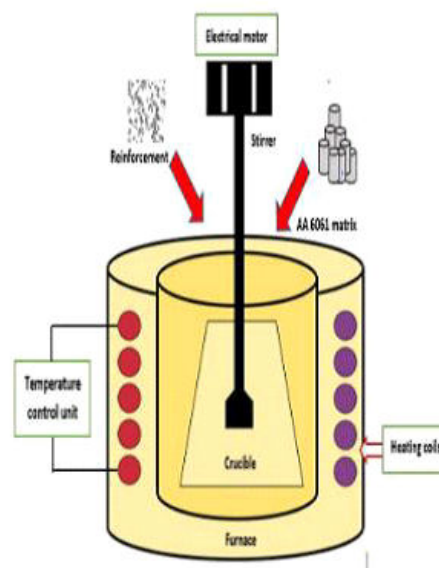
No.	Jenis Material	Unsur Kimia (%)								
		Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Zn	Ti
1.	Piston bekas motor	83,27	12,67	0,568	1,211	0,060	0,944	1,007	0,033	0,076
2.	Piston bekas mobil	83,94	12,53	0,721	1,090	0,265	1,243	0,117	0,048	0,0099
3.	Remelting piston motor dan mobil /Ingot 1,2 & 3	83,29	13,41	0,366	1,193	0,164	0,802	0,571	0,102	0,036
		83,26	13,33	0,410	1,112	0,145	0,929	0,564	0,130	0,034
		83,12	13,41	0,390	1,258	0,168	0,980	0,469	0,085	0,059

Table 2. Komposisi bahan penguat

The screenshot shows a software window with a table of material properties. The table has columns for material name, density, and various mechanical properties. Below the table, there is a section titled 'Table 2. Komposisi kimia pengantar' (Table 2. Chemical composition of the binder) which lists the chemical composition of the binder material.

Material	Si	Al	Fe	Mn	P	S
Si	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
P	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00
S	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00

Proses peleburan menggunakan tungku krusibel berbahan bakar gas elpiji. Aluminium dilebur hingga 660°C, lalu ditambahkan serbuk terak sebanyak 0% dan 6% 90 berat. Campuran diaduk menggunakan pengaduk stirer pada kecepatan 400–500 rpm 91 selama 5 menit, kemudian dituangkan ke cetakan pasir [12]. Pengaduk stirer ditunjukkan 92 pada Gambar 1.



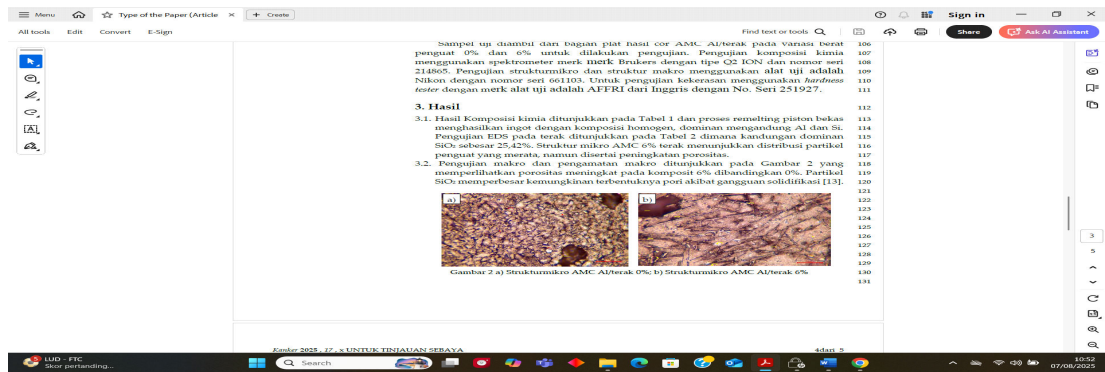
Gambar 1. Skema peleburan AMC dengan pengaduk stirer

Sampel uji diambil dari bagian plat hasil cor AMC Al/terak pada variasi berat penguat 0% dan 6% untuk dilakukan pengujian. Pengujian komposisi kimia menggunakan spektrometer merk merk Brukers dengan tipe Q2 ION dan nomor seri 214865. Pengujian struktur mikro dan struktur makro menggunakan alat uji adalah Nikon dengan nomor seri 661103. Untuk pengujian kekerasan menggunakan *hardness* 110 *tester* dengan merk alat uji adalah AFFRI dari Inggris dengan No. Seri 251927.

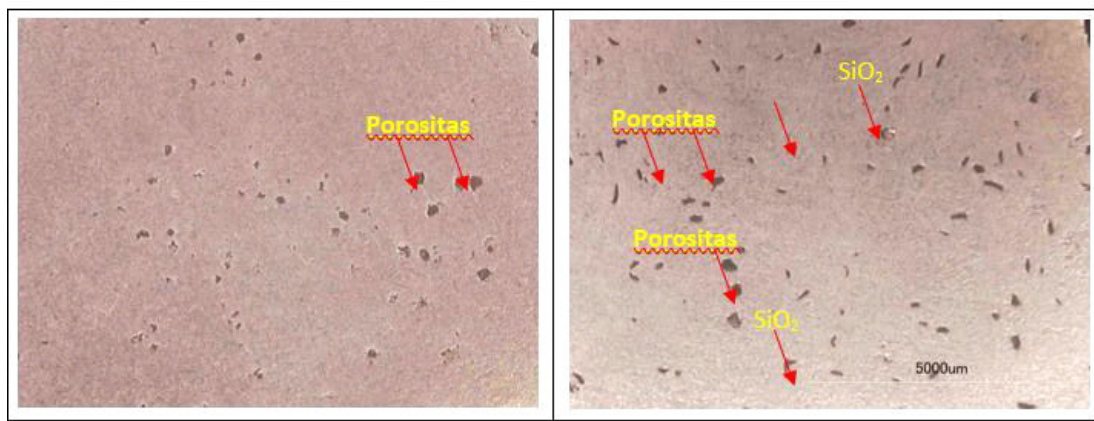
• Hasil

Hasil Komposisi kimia ditunjukkan pada Tabel 1 dan proses remelting piston bekas menghasilkan ingot dengan komposisi homogen, dominan mengandung Al dan Si. Pengujian EDS pada terak ditunjukkan pada Tabel 2 dimana kandungan dominan SiO₂ sebesar 25,42%. Struktur mikro AMC 6% terak menunjukkan distribusi partikel penguat yang merata, namun disertai peningkatan porositas.

Pengujian makro dan pengamatan makro ditunjukkan pada Gambar 2 yang memperlihatkan porositas meningkat pada komposit 6% dibandingkan 0%. Partikel SiO₂ memperbesar kemungkinan terbentuknya pori akibat gangguan solidifikasi [13].

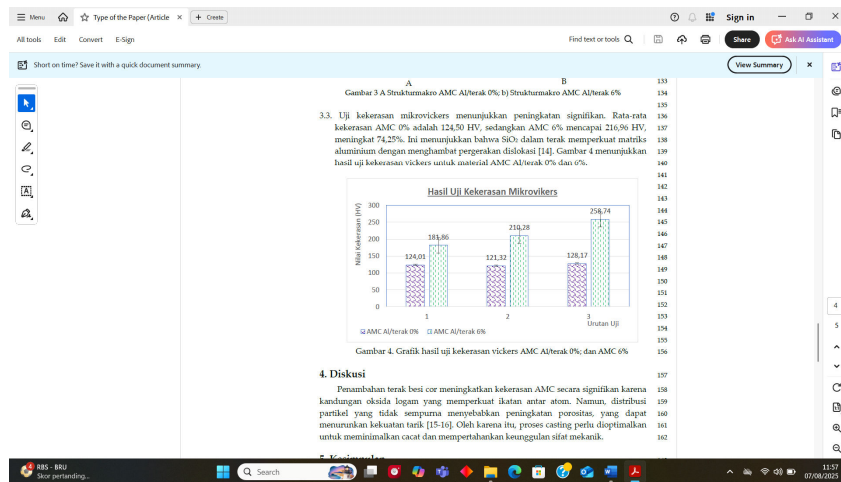


Gambar 2 a) Strukturmikro AMC Al/terak 0%; b) Strukturmikro AMC Al/terak 6%



Gambar 3 A Strukturmakro AMC Al/terak 0%; b) Strukturmakro AMC Al/terak 6%

Uji kekerasan mikrovickers menunjukkan peningkatan signifikan. Rata-rata kekerasan AMC 0% adalah 124,50 HV, sedangkan AMC 6% mencapai 216,96 HV, meningkat 74,25%. Ini menunjukkan bahwa SiO₂ dalam terak memperkuat matriks aluminium dengan menghambat pergerakan dislokasi [14]. Gambar 4 menunjukkan hasil uji kekerasan vickers untuk material AMC Al/terak 0% dan 6%.



Gambar 4. Grafik hasil uji kekerasan vickers AMC Al/terak 0%; dan AMC 6%

• Diskusi

Penambahan terak besi cor meningkatkan kekerasan AMC secara signifikan karena kandungan oksida logam yang memperkuat ikatan antar atom. Namun, distribusi partikel yang tidak sempurna menyebabkan peningkatan porositas, yang dapat menurunkan kekuatan tarik [15-16]. Oleh karena itu, proses casting perlu dioptimalkan untuk meminimalkan cacat dan mempertahankan keunggulan sifat mekanik.

• Kesimpulan

Penambahan 6% terak besi cor pada AMC berbasis limbah piston meningkatkan kekerasan hingga 74,25%. Namun, porositas meningkat, yang dapat mempengaruhi integritas mekanik. Diperlukan pengendalian proses stir casting untuk menghasilkan distribusi partikel yang merata dan mengurangi porositas.

Referensi

- [1] Saravanan, C.; Subramanian, K.; Krishnan, V.; Narayanan, R. Effect of Particulate Reinforced Aluminium Metal Matrix Composite—A Review. *Mech. Eng.* **2015**, *19*, 23–30.
- [2] Liu, J.; Zhang, Y.; Guo, Z.; Zhang, J.; Jie, J.; Fu, Y.; Li, T. Enhancement of fiber–matrix adhesion in carbon fiber reinforced Al– matrix composites with an optimized electroless plating process. *Comp. Part A: Appl. S* **2021**, *142*, 106258.
- [3] Ashrafi, N.; Hanim, A.; Ariff, M.; Sarraf, M.; Sulaiman, S.; Hong, T.S. Microstructural, Thermal, Electrical, and Magnetic Properties of Optimized Fe₃O₄–SiC Hybrid Nano Filler Reinforced Aluminium Matrix Composite. *Mater. Chem. Phys.* **2020**, 123895.
- [4] Park, B.; Lee, D.; Jo, I.; Lee, S.B.; Lee, S.K.; Cho, S. Automated quantification of reinforcement dispersion in B₄C/Al metal matrix composites. *Comp. Part B: Eng.* **2020**, *181*, 107584.

- [5] Krishnasamy, S.; Thiagamani, S.M.K.; Kumar, M.C.; et al. Recent advances in thermal properties of hybrid cellulosic fiber reinforced polymer composites. *Int. J. Biol. Macromol.* 2019, 141, 1–13.
- [6] Simanjuntak, R.; Muhayat, N.; Prabowo, A.R.; Saputro, Y.C.N.; Triyono. Effect of environment on the defects of welded aluminum AA 1100. *AIP Conf. Proc.* 2020, 2217(1), 030135.
- [7] Ardika, R.D.; Triyono, T.; Muhayat, N.; Triyono. A review porosity in aluminum welding. *Procedia Struct.* 2021, 33, 171–180.
- [8] Setyawan, H.; Muhayat, N.; Yuliadi, M.Z.; Manurung, Y.H.P.; Triyono. Effect of artificial ageing temperature in T6-heat treatment on the mechanical properties of dissimilar metals weld between AA5083 and AA6063. *Arch. Mater. Sci. Eng.* 2023, 123(2), 72–85.
- [9] Thirumoorthy, A.; Arjunan, T.V.; Kumar, K.L. Latest Research Development in Aluminum Matrix with Particulate Reinforcement Composites – A Review. *Mater. Today Proc.* 2018, 5(1), 1657–1665.
- [10] Maleque, M.A.H.; Adebisi, A.A.; Izzati, N. Analysis of Fracture Mechanism for Al–Mg/SiCp Composite Materials. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 2017, 184, 012031.
- [11] Purohit, Q.; Qureshi, R.; Rana, M.R. The Effect of Hot Forging and Heat Treatment on Wear Properties of Al6061-Al₂O₃ Nano Composites. *Mater. Today Proc.* 2017, 4, 4042.
- [12] Ramkumar, K.; Natarajan, S. Effects of TiO₂ nanoparticles on the microstructural evolution and mechanical properties on accumulative roll bonded Al nanocomposites. *J. Alloys Compd.* 2019, 793, 526–532.
- [13] Gowrishankar, T.P.; Manjunatha, L.H.; Sangmesh, B. Mechanical and Wear Behaviour of Al6061 Reinforced with Graphite and TiC Hybrid MMCs. *Mater. Res. Innov.* 2019, 24, 179.
- [14] Bodunrin, M.O.; Alaneme, K.K.; Chown, L.H. Aluminium matrix hybrid composites: A review of reinforcement philosophies; mechanical, corrosion and tribological characteristics. *J. Mater. Res. Technol.* 2015, 4, 434–445.
- [15] Li, Q.J.C.; Lin, X.; Kang, N.; Lu, J.L.; Wang, Q.Z.; Huang, W.D. Microstructure, tensile and wear properties of a novel graded Al matrix composite prepared by direct energy deposition. *J. Alloys Compd.* 2020, 826, 154077.
- [16] Huang, G.Q.; Yan, Y.F.; Wu, J.; Shen, Y.F.; Gerlich, Y.P. Microstructure and mechanical properties of fine-grained aluminum matrix composite reinforced with nitinol shape memory alloy particulates produced by underwater friction stir processing. *J. Alloys Compd.* 2019, 786, 257–271.

