

PENGECORAN ALUMINIUM MATRIKS KOMPOSIT BERPENGUAT CARBON NANOTUBE (CNT) DENGAN VARIASI PENAMBAHAN SERBUK MAGNESIUM

Muhammad Syahid ¹⁾ ✉, Elyeser ¹⁾, Azwar Hayat ¹⁾

¹⁾Program Studi Teknik Metalurgi dan Material

Universitas Hasanuddin

Jl. Poros Malino,

Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan, 92171

syahid@unhas.ac.id

Abstract

Aluminum matrix composite reinforced CNT have been developed to improve the mechanical properties of aluminum. In this study, the melting of Aluminum 1100 reinforced Carbon Nanotube (1 wt.% CNT) with variations in the addition of Magnesium powder was carried out by the slurry-based method. The casting of the specimens is carried out using a metal mold. CNT powder was first mixed with magnesium powder at 60°C. Then the aluminum is melted to a temperature of 700°C until it melts, then the temperature is lowered to 500°C or the texture has changed to be like mush (slurry based) and then mixed with CNT powder and Magnesium powder are added. After that the alloy was raised again at 720°C for 30 minutes and the stirring process was carried out, after that it was poured into a metal mold with a mold temperature of around 400°C. The samples were then analyzed for mechanical properties and microstructure observations. The results of the Vickers hardness test before the addition of Mg powder and CNT were 36.7 HV. While after the variation of adding 1wt.% Mg powder, the hardness of the specimen increased to 44.5 HV, the variation of adding 3% Mg powder was 45.3 HV, and the variation of adding 5% Mg powder reached a hardness value of 46 HV. The tensile test results on 3% Mg powder is 241.6 MPa. The wear test results show the wear rate value for the 1% Mg variation of 0.146 mg/s, the 3% Mg variation of 0.106 mg/s, and the 5% Mg variation with a wear rate value of 0.093 mg/s. The α -Al phase is the dominant phase formed, where the grain size and grain boundaries in the 3% Mg variation have a relatively small size and the spread of CNT is evenly distributed in the alloy, so the addition of Mg to the alloy can help spread CNT in Aluminum alloys.

Keywords: Aluminium, CNT, Magnesium Powder, Slurry Based, Stir Casting.

1. PENDAHULUAN

Aluminium merupakan salah satu logam yang banyak diaplikasikan dalam berbagai industri karena memiliki mampu cor yang baik, densitas yang rendah dan ketahanan korosi yang baik^[1]. Namun aluminium masih perlu ditingkatkan kekuatan tarik, kekerasan maupun ketahanan ausnya. Salah satu cara yang banyak dikembangkan untuk meningkatkan sifat mekanik aluminium dengan membuat aluminium matriks komposit dengan *Carbon Nanotube* (CNT)^[2]. CNT memiliki struktur yang unik dan memungkinkannya memiliki daya regang dan stabil jika dibandingkan struktur karbon lainnya, memiliki kekuatan yang tinggi, ringan dan penguat nano yang ideal untuk aluminium komposit^[3,4].

Corresponding Author:

✉ **Muhammad Syahid**

Received on: 2023-08-22

Revised on: 2023-08-28

Accepted on: 023-09-04

Aluminium matriks komposit berpenguat CNT yang diproduksi dengan pengecoran telah terbukti dapat meningkatkan kekuatan mekanik secara signifikan. Pengecoran Aluminium A5 dengan penguat CNT 0,01-0,1 % (fraksi berat) dapat meningkatkan kekuatan tarik sebesar 9% dan kekuatan luluh sebesar 32%^[5]. Aluminium matriks komposit berpenguat CNT 1,5% (fraksi berat) dengan pengecoran semi solid yang diaduk dapat meningkatkan kekuatan tarik sebesar 34% dan elongasi 250%^[6]. Sementara, pengecoran aluminium A356 dengan penguat CNT 1,5% (fraksi berat) menggunakan metode *rheocasting* dan *squeeze casting* dapat meningkatkan kekuatan tarik sebesar 50% dan elongasi sebesar 280%^[7].

Namun pada proses pengecoran Aluminium dengan penguat CNT terdapat masalah mengenai sifat CNT yang cenderung menggumpal atau aglomerasi sehingga tidak terdispersi dengan baik pada matriks aluminium. Masalah yang lain adalah kemampuan basah (*wettability*) antara partikel CNT dengan aluminium yang rendah sehingga pada kandungan CNT yang tinggi akan terjadi void dan ikatan yang lemah antara CNT dan aluminium. Sulitnya mendistribusikan CNT kedalam matriks aluminium membuat penambahan CNT hanya efektif dibawah 2% (Fraksi Volume) jika menggunakan metode pengecoran^[8].

Sebagai upaya meningkatkan distribusi dan *wettability* CNT, *Wettability Carbon Nanotube* (CNT) dalam paduan aluminium telah diteliti dengan menambahkan surfaktan Magnesium murni. Hasilnya menunjukkan bahwa adanya tambahan magnesium ke dalam matriks paduan memiliki pengaruh yang positif terhadap *wettability* dan kekuatan mekanik komposit^[4]. F. Rikhtegar, dkk melakukan penelitian dengan menerapkan metode semi basah (SW) dan *Slurry Based* (SB) untuk mensintesis serbuk *Carbon Nanotube* (CNT) ke dalam aluminium dimana berhasil meningkatkan sifat mekanik aluminium sebanyak 18% dan menunjukkan CNT terdispersi dengan baik^[9].

Meskipun sudah banyak penelitian terkait penambahan Mg pada pengecoran aluminium berpenguat CNT, namun belum ada formula dan metode yang terbaik yang bisa menggambarkan kebutuhan Mg untuk mendapatkan hasil kekuatan mekanik yang optimal, dengan CNT yang terdispersi secara merata. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan variasi penambahan magnesium dengan metode serbuk magnesium dicampurkan dengan CNT sebelum dimasukkan kedalam aluminium semi solid. Diharapkan dengan metode ini CNT dapat terdispersi dengan baik dan kekuatan mekanik dapat lebih optimal.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Material

Digunakan material utama aluminium type Al-1100 dengan penambahan 1% CNT (fraksi berat) dan ditambahkan serbuk magnesium yang bervariasi yaitu 1, 3 dan 5 % (fraksi berat). Komposisi kimia aluminium yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Al 1100 berdasarkan fraksi berat (Wt.%)

Al	Cr	Cu	Fe	Mn	Si	Zn
98,17	0,10	0,34	0,46	0,05	0,81	0,87

2.2. Metode Pembuatan Spesimen

Metode pembuatan spesimen yaitu, Pengecoran dilakukan dengan menggunakan cetakan logam. Serbuk CNT terlebih dahulu dicampur dengan serbuk magnesium pada suhu 60 °C. Kemudian aluminium dilebur sampai suhu 700 °C hingga mencair, kemudian diturunkan suhunya ke 500 °C atau teksturnya telah berubah menjadi seperti bubur (*slurry based*) dan

kemudian dimasukkan campuran serbuk CNT dan serbuk Magnesium. Setelah itu paduan dinaikkan kembali pada suhu 720 °C selama 30 menit dan dilakukan proses pengadukan, setelah itu dilakukan penuangan pada cetakan logam dengan suhu cetakan sekitar 400 °C. Pengujian kekerasan menggunakan metode Vickers, pengujian tarik menggunakan specimen ASTM E466. Pengujian keausan dilakukan dengan menggunakan metode pengujian keausan abrasif dengan waktu yang ditentukan 150 detik dan berat beban sebesar 255 g dengan kecepatan putar disk 3 putaran/detik dengan grit amplas 240. Pengujian mikrostruktur dilakukan dengan memoles spesimen menggunakan amplas beberapa tingkatan grid, kemudian dietsa menggunakan etsa Keller Reagent dengan komposisi larutan terdiri dari 25 ml akuades, 5 ml HF, 7,5 ml HCL, dan 12,5 ml HNO₃. Spesimen dicelupkan selama 20 detik, Setelah itu dicuci dengan alcohol dan dilanjutkan menggunakan aquades. Pengujian mikrostruktur menggunakan mesin Olympus LEXT 3D Measuring Laser Microscope OLS4100 dengan pembesaran 200x (100 µm)

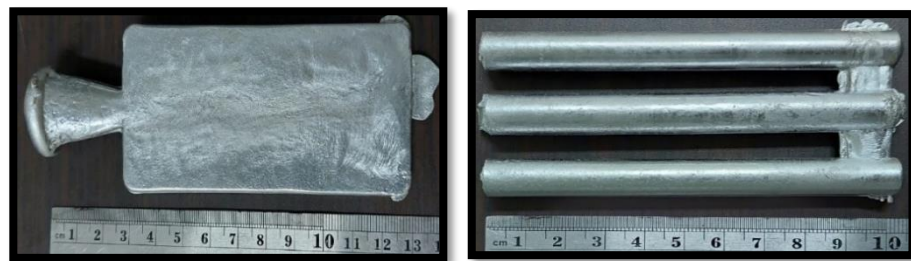
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Produk Coran

Setelah Proses pengecoran dilakukan diperoleh produk cor seperti pada Gambar 1a., Setelah itu spesimen diuji komposisi dengan hasil pada Tabel 2. Penambahan magnesium 1, 3 dan 5% (fraksi berat) hanya mejadi 1,1; 1,32; dan 1,63 %. Hal ini disebabkan Mg mudah sekali menguap dalam proses pengecoran.

Tabel 2. Komposisi material setelah variasi penambahan serbuk Mg

Komposisi							
Penambahan Mg	Al	Mg	Si	Fe	Cu	Mn	Zn
1%	97,40	1,10	0,51	0,44	0,31	0,07	0,07
3%	97,50	1,32	0,39	0,36	0,28	-	0,06
5%	97,09	1,63	0,57	0,34	0,26	-	0,06



(a)

(b)

Gambar 1. Hasil pengecoran aluminium matriks komposit metode stir casting menggunakan cetakan logam yang akan dibuat menjadi specimen uji kekerasan, uji keausan dan uji tarik

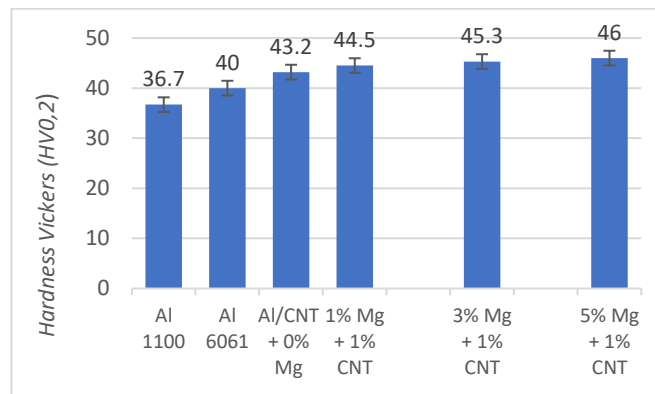
Gambar 1 menunjukkan spesimen yang telah dicetak. Produk Cor ini selanjutnya di potong menjadi beberapa bagian untuk sampel pengujian keausan, kekerasan dan juga pengamatan metalografi. Untuk spesimen (b) akan melewati proses permesinan dalam pembuatan sampel uji tarik ASTM E466 di mana tiap variasi terdapat 3 sampel. Sampel uji tarik yang telah dibubut dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Spesimen Uji Tarik yang telah dipotong sesuai dengan standar ASTM E466

3.2. Pengujian Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan pada Aluminium matriks komposit berpenguat 1% CNT dengan variasi penambahan magnesium serbuk dapat dilihat pada Gambar 3.



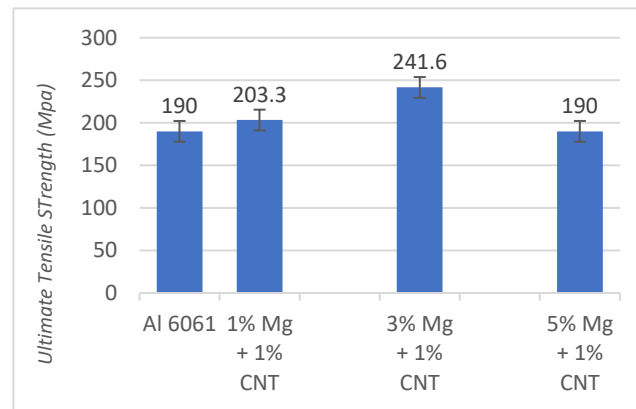
Gambar 3. Nilai kekerasan aluminium komposit 1100 berpenguat CNT (1%) dengan variasi penambahan serbuk magnesium

Nilai kekerasan material utama Al 1100 sebesar 36.7 HV seperti Gambar 3 sebelum dipadukan dengan CNT dan serbuk Mg. Sedangkan nilai kekerasan paduan Al+CNT tanpa adanya penambahan serbuk Magnesium mendapatkan nilai kekerasan sebesar 43,2 HV, meningkat dibandingkan dengan *raw* materialnya. Untuk variasi penambahan 1% Mg mendapat nilai kekerasan sebesar 44,5 HV, variasi penambahan 3% Mg didapatkan nilai sebesar 45,5 HV, dan pada variasi 5% didapatkan nilai kekerasan sebesar 46 HV. Dengan harga kekerasan yang didapatkan tersebut, menunjukkan bahwa kekerasan aluminium komposit berpenguat CNT mengalami peningkatan seiring dengan adanya penambahan kandungan serbuk Magnesium, dibandingkan dengan tanpa adanya penambahan serbuk Magnesium nilai kekerasan yang didapat Al 1100 dan Al+CNT hanya menyentuh nilai sebesar 40 HV dan 43,2 HV. Hal ini menunjukkan bahwa adanya variasi penambahan kadar serbuk Magnesium dapat menjadi surfaktan untuk mengurangi aglomerasi atau penggumpalan CNT dalam paduan Aluminium sehingga nilai kekerasannya meningkat^[4].

3.3. Pengujian Kekuatan Tarik

Hasil pengujian tarik Aluminium matriks komposit berpenguat 1% CNT dengan variasi penambahan magnesium serbuk dapat dilihat pada Gambar 4. Pada variasi penambahan 1% Mg didapatkan kekuatan tarik sebesar 203,3 MPa, untuk variasi penambahan 3% Mg didapatkan kekuatan tarik sebesar 241,6 MPa, dan pada variasi penambahan 5% Mg

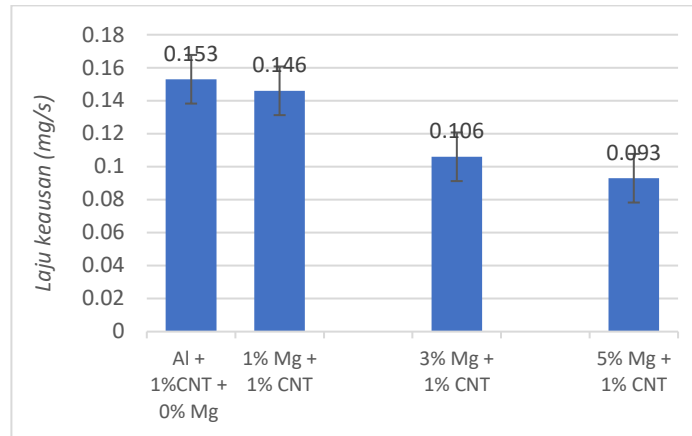
didapatkan kekuatan tarik sebesar 190 MPa. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa nilai kekuatan Tarik tertinggi berada pada variasi 3% dengan nilai mencapai 241,6 MPa, sedangkan nilai terendah berada pada variasi penambahan 5% Mg dengan kekuatan Tarik hanya mencapai 190 MPa. Dari data tersebut, dapat dibandingkan lagi dengan nilai kekuatan tarik Al 1100 tanpa adanya paduan CNT dan Mg hanya mencapai 190 MPa. Oleh sebab itu, adanya campuran paduan CNT sebagai penguat dan adanya penambahan Mg dengan kadar yang tepat sebagai surfaktan yang membantu penyebaran CNT dalam paduan Aluminium, dalam hal ini pada variasi penambahan 3% Mg dapat meningkatkan kekuatan tarik Al 1100 sekitar 4,7%. Penambahan 5% Mg justru memiliki nilai yang lebih rendah jika dibandingkan dengan variasi 1% Mg. Fenomena tersebut bisa diakibatkan oleh terjadinya aglomerasi dan unsur Magnesium tidak berfungsi secara baik dalam mendistribusikan CNT^[4,10].



Gambar 4. Nilai uji tarik aluminium komposit 1100 berpenguat CNT (1%) dengan variasi penambahan serbuk magnesium

3.4. Pengujian Keausan

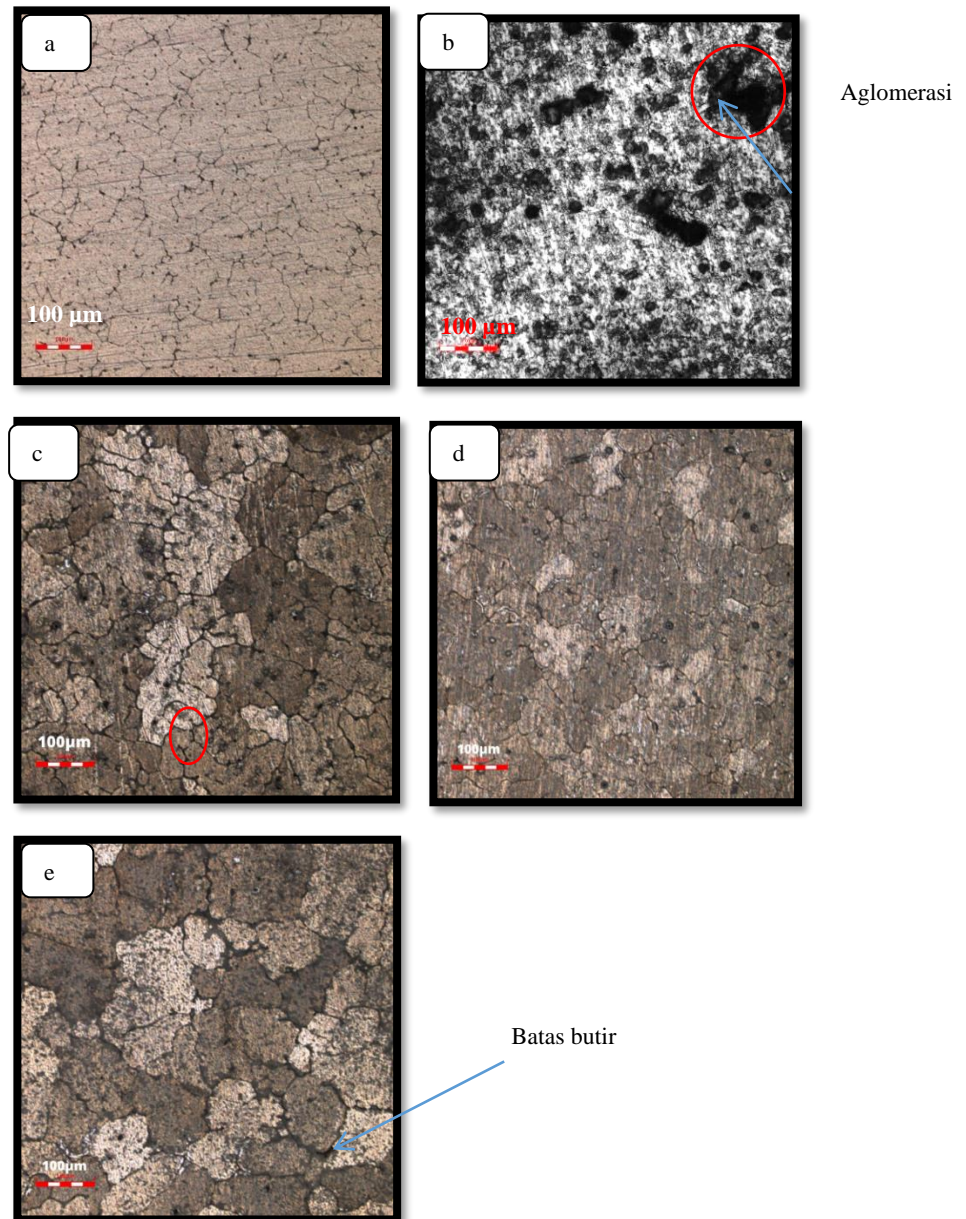
Hasil pengujian keausan dapat dilihat pada Gambar 5. Coran aluminium+CNT tanpa adanya perlakuan penambahan serbuk Magnesium mendapatkan nilai laju keausan sebesar 0,153 mg/s (23 mg), untuk variasi penambahan 1% Magnesium nilai laju keausan yang didapatkan sebesar 0,146 mg/s (22 mg), untuk variasi 3% Magnesium nilai laju keausannya sebesar 0,106 mg/s (16 mg), dan pada variasi 5% nilai laju keausan sebesar 0,093 mg/s (14 mg). Untuk nilai laju keausan tertinggi didapatkan pada spesimen tanpa perlakuan penambahan serbuk Magnesium, sedangkan nilai laju keausan terendah berada pada variasi penambahan 5% serbuk Magnesium yaitu sebesar 0,093 mg/s. Penambahan serbuk Magnesium dalam paduan dapat menjadi surfaktan yang akan membantu serbuk CNT dapat tersebar dengan merata dalam paduan aluminium, sehingga dapat meningkatkan laju keausan dari paduan aluminium. Dengan demikian, hasil tersebut menyatakan bahwa terjadi penurunan laju keausan seiring dengan adanya penambahan Magnesium terhadap komposit. Penurunan laju keausan ini terjadi karena adanya tambahan partikel penguat yang menyebabkan kekerasan komposit meningkat, dengan meningkatnya kekerasan komposit maka memberikan pengaruh kepada ketahanan komposit terhadap keausan^[10,11,12].



Gambar 5. Nilai laju keausan aluminium komposit berpenguat CNT (1%) dengan variasi penambahan serbuk magnesium

3.5. Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan mikrostruktur dari pengecoran Aluminium berpenguat 1% CNT dengan variasi penambahan serbuk Magnesium dapat dilihat pada Gambar 6. Fasa yang dominan terbentuk ialah fasa primer (α -Al), fasa lain yang terlihat ialah fasa Al-Mg eutektik. Gambar 6(a) merupakan hasil uji mikro raw material Al 1100 dimana dapat terlihat dominan butiran warna putih, hal ini disebabkan material tanpa perlakuan campuran dari unsur lain, variasi penambahan 1% Mg seperti pada Gambar 6(b) terlihat butir-butir hitam (CNT) yang tersebar merata namun memiliki ukuran yg terbilang besar serta batas butir yang tidak beraturan. Pada Gambar 6(c) variasi penambahan 3% Mg terlihat memiliki butir hitam (CNT) yang tersebar dengan merata dan memiliki batas butir yang kecil hampir tidak terlihat. Sedangkan pada gambar 6(d) variasi penambahan 5% Mg jelas terlihat CNT tersebar merata namun memiliki ukuran butir yang besar dan tidak beraturan serta batas butir dengan ukuran yang besar. Dari ketiga variasi penambahan serbuk Mg, terlihat bahwa pada variasi penambahan 3% jelas lebih baik dibandingkan penambahan 1% Mg dan penambahan 5% Mg, dimana CNT tersebar dengan merata dan memiliki ukuran butir yang relatif kecil. Hal ini berkorelasi dengan kekuatan dan kekerasan yang baik pada aluminium komposit dengan penambahan 3%. pada Penambahan Mg 5% menunjukkan batas butir yang lebih tebal yang merupakan fasa AlMg yang memiliki sifat yang getas sehingga menurunkan nilai kekuatan tarik. Dengan demikian, adanya keberadaan Mg yang berlebih tidak berfungsi efektif lagi dalam meningkatkan sifat mekanik, namun dalam komposit yang tepat tidak hanya meningkatkan keterbasahan antar partikel penguat, namun juga meningkatkan distribusi CNT dalam matriks^[4, 13,14].



Gambar 6. Hasil uji struktur mikro (100 μ m) Al + 1% CNT (a) raw material Al 1100 (b) Al/CNT + 0%Mg (c) Al/CNT + 1%Mg (d) Al/CNT + 3%Mg (e) Al/CNT + 5%Mg

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, penulis dapat menarik kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Dari nilai hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa adanya penambahan serbuk Magnesium kedalam paduan Aluminium berpenguat CNT dapat meningkatkan kekerasan seiring dengan penambahan kadar Magnesiumnya. Nilai kekerasan tertinggi didapatkan pada variasi penambahan 5% Mg dengan nilai kekerasan sebesar 46 HV.

- 2) Dari hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa variasi penambahan Magnesium yang baik untuk paduan Aluminium komposit 1100 berpenguat 1% CNT yaitu kadar tidak lebih dari 3%. Hal ini dapat ditunjukkan oleh nilai kekuatan tarik tertinggi didapatkan pada variasi penambahan 3% Magnesium yaitu sebesar 241,6 Mpa, sedangkan saat menyentuh kadar 5% Mg hanya mendapat kekuatan tarik sebesar 193,3 Mpa lebih rendah dari variasi 1% Mg yaitu 203,3 Mpa.
- 3) Dari hasil pengujian keausan menunjukkan bahwa nilai laju keausan berbanding lurus dengan bertambahnya kadar Magnesium dalam paduan. Hal ini dapat dilihat dari tiap penambahan kadar Magnesium mulai dari tanpa penambahan sampai dengan penambahan 5% Mg, nilai laju keausan yang didapatkan semakin menurun yaitu sebesar 0,093 Mg/s.
- 4) Untuk hasil pengamatan struktur mikro dari setiap variasi penambahan kadar Magnesium, dapat dilihat hasil yang terbaik yaitu pada variasi penambahan 3% serbuk Magnesium, dimana penyebaran CNT yang merata dalam paduan, serta ukuran butir dan batas antar butir yang kecil.

PERNYATAAN TERIMA KASIH

Penulis ingin menyampaikan terima kasih Laboratorium Pengecoran Logam dan Laboratorium Metalurgi Fisik Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin atas fasilitas yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Syahid, M., Arma, L. H., Arsyad, H., & Suwardi, Z. A2, “*Effect of pouring temperature on mechanical properties and microstructures of aluminium matrix composite strengthened by CNT with stir casting method*”. In *Materials Science Forum* (Vol. 988, pp. 30-35). Trans Tech Publications Ltd, 2020.
- [2] Esawi, A. M., Morsi, K., Sayed, A., Taher, M., & Lanka, S. J. C. S. “*Effect of carbon nanotube (CNT) content on the mechanical properties of CNT-reinforced aluminium composites*”, *Composites Science and Technology*, 70(16), 2237-2241, 2010.
- [3] Akbarpour, M.R. Pouresmaeil, A, “*The influence of CNTs on the microstructure and strength of AlCNT composites produced by flake powder metallurgy and hot pressing method*”, *Department of Materials Engineering, University of Maragheh*, Maragheh, P.O. Box 83111-55181, Iran, 2018.
- [4] Hanizam, H., Salleh, M. S., Omar, M. Z., Sulong, A. B., Yahaya, S. H., & Siswanto, N, “*Effect of magnesium surfactant on wettability of carbon nanotube in A356 alloy composite*”, *Journal of Advanced Manufacturing Technology (JAMT)*, 13(2), 2019.
- [5] Alekseev, A. V., Dubov, D. Y., & Predtechenskiy, M. R, “*Influence of carbon nanotubes on mechanical properties of cast aluminum, Grade A5*”. *Inorganic Materials: Applied Research*, 9(2), 270-278, 2018
- [6] Rashad, R. M., Awadallah, O. M., & Wifi, A. S, “*Effect of MWCNTs content on the characteristics of A356 nanocomposite*”, *Journal of achievements in materials and manufacturing engineering*, 58(2), 74-80, 2013
- [7] Elshalakany, A. B., Osman, T. A., Khattab, A., Azzam, B., & Zaki, M, “*Microstructure and mechanical properties of MWCNTs reinforced A356 aluminum alloys cast nanocomposites fabricated by using a combination of rheocasting and squeeze casting techniques*”. *Journal of Nanomaterials*, 2014.

- [8] Bakshi, Srinivasa R. & Agarwal, Arvind, “An analysis of the factors affecting strengthening in carbon nanotube reinforced aluminum composites”, *Scincedirect Volume 49, Issue 2, Pages 533-544*, 2011.
- [9] Rikhtegar, F., Shabestari, S. G., & Saghafian, H, “Microstructural evaluation and mechanical properties of Al-CNT nanocomposites produced by different processing methods”. *Journal of Alloys and Compounds*, 723, 633-641, 2017
- [10] Al Kautsar, A., Junus, S., Trifiananto, M., Sholahudin, I., & Muttaqin, A.Z, “Pengaruh Penambahan Mg dan Sr terhadap Kekerasan Komposit ADC12/nano-Al₂O₃ dengan metode stir casting”. *Stator: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 6(1), 36-38, 2023
- [11] Liao, jinzhi. “A simple approach to prepare Al/CNT composite: Spread–Dispersion (SD) method”. *Materials Letters* 65 (2011) 2742-2744. Nanyang Technological University, 50 Nanyang Avenue, Singapore, 2011
- [12] Mansoor, Muh. Shahid, Muh, “Carbon nanotube-reinforced aluminum composite produced by induction melting”, *Journal of Applied Research and Technology*, Volume 14, Issue 4 pages 215-224, 2016
- [13] Nguyen, V. A., Bui, H. T., Le, D. C., Doan, D. P., & Phan, N. M. “A method to obtain homogeneously dispersed carbon nanotubes in Al powders for preparing Al/CNTs nanocomposite”, *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 4(2), 025015, 2013
- [14] Yan, Hong & Qiu, Hongxu, “Fabrication of Carbon Nanotube Reinforced A356 Nanocomposites”. *Cambridge University Press. Journal of Materials Research*, Volume 31, Issue 15, pp 2277-2283, 2016