

PENGARUH TEKANAN 150 MPa DAN SUHU *SINTERING* 495°C TERHADAP KARAKTERISTIK *GREENBODY METAL MATRIX COMPOSITE* Fe-Cr-Mn-Al-Si-Cu

¹Indreswari Suroso, ²Ahmad

¹Jurusan Aeronautika

Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan
indreswari.suroso@sttkd.ac.id

²Jurusan Teknik Dirgantara

Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan
ahmad@sttkd.ac.id

Article history:

Received 1th of December 2024

Revised 12th of December 2024

Accepted 27th of December 2024

Abstract

Metal Matrix Composite is a composite material consisting of two or more metal materials. Metal material as a matrix and others as reinforcement. Reinforcement can be natural fiber, alumina, SiC, and carbon fiber. The matrix in this study is Fe. The purpose of this study is to determine the characteristics of the green body MMC FeCrMnAlSiCu. MMC provides innovation in improving material properties. In this study, MMC was used as a material for making green body aircraft brake lining. Aircraft brake lining is currently still imported and expensive. This study confirms that aircraft brake lining is feasible to be made domestically with various supporting studies. The method used in this study is the powder mixing method for 1 hour with a rotation speed of 75 RPM, compaction with cold compaction of 150 MPa, and sintering at a temperature of 445°C for 1 hour. The results of EDS spot 1 showed that the dominant element was 36.42 Cu and the results of SEM spot 1 showed a high carbon element because there was oxidation from oxygen which caused corrosion. The results of EDS spot 2 showed that the dominant element was Fe. This is because the EDS test at spot 2 contains a dominant Fe element of 69.900. The SEM result at spot 2 is that at spot 2 the Ni element is zero because it is too small so that it is not distributed at spot 2. The average hardness of the green body MMC FeCrMnAlSiCu is 174.87 VHN has good wear resistance and experiences plastic deformation.

Keywords: MMC, Brake Lining, Komposit, Green Body

Pendahuluan

Metal Matrix Composite (MMC) adalah material komposit yang terdiri dari dua atau lebih material logam. Material logam sebagai matriks dan lainnya sebagai penguat. Penguat dapat berupa serat alami [1] [2], serat karbon, alumina [Al₂O₃] [3-5], dan silika karbida (SiC) [6-8]. Logam sebagai matriks utama dalam *Metal Matrix Composite* (MMC). Fe digunakan sebagai matriks logam [9] [10]. Fe memiliki sifat kuat, ringan, ulet, dan konduktivitas panas yang tinggi [11] [12]. MMC dipengaruhi oleh prosentase bahan penguat [13], ukuran partikel [14-16], dan bentuk partikel [17]. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui karakteristik *green body* MMC FeCrMnAlSiCu. MMC memberikan inovasi dalam meningkatkan sifat material. MMC menghasilkan performa yang unggul dan berkualitas. MMC memberikan inovasi pembuatan komponen yang bersifat ringan, tahan aus, tahan suhu tinggi, kekerasan tinggi, dan kekuatan yang tinggi. MMC digunakan dalam industri pesawat terbang karena bersifat kuat dan ringan. Dalam penelitian ini menggunakan MMC sebagai material pembuatan *green body brake lining*, karena *brake lining* pesawat saat ini masih *import* dan harga mahal. Penelitian ini menguatkan bahwa *brake lining* pesawat layak dibuat didalam negeri dengan berbagai penelitian pendukung. Berikut ini adalah proses metalurgi serbuk yaitu:

PROSES MIXING

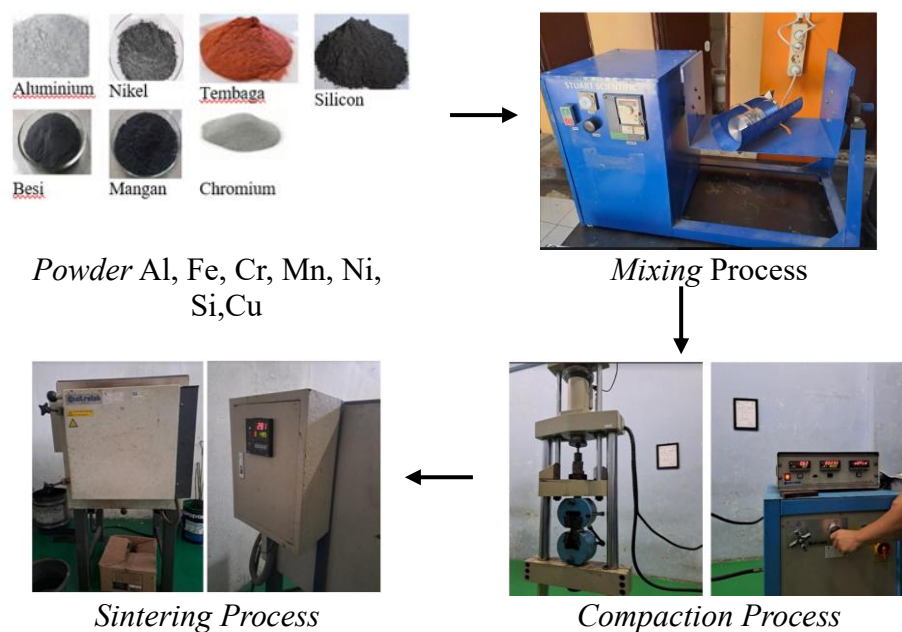
Proses pembuatan *green body* melalui beberapa proses yaitu mixing, kompaksi, dan sintering. Proses *mixing powder* adalah proses pencampuran berbagai *powder* untuk menciptakan campuran homogen [18-22]. Proses *mixing* berlaku juga untuk pencampuran bahan dalam bentuk serat penguat dan logam paduan. Proses ini biasanya digunakan dalam berbagai industri seperti industri bahan kimia, makanan, manufaktur, otomotif, dan farmasi [23-28]. Beberapa faktor yang berpengaruh dalam pencapaian homogenitas campuran telah diteliti. Kecepatan dan suhu *mixing* serta jenis material *powder* yang akan dicampur sangat berpengaruh terhadap waktu *mixing* untuk mencapai kondisi homogen. Semakin lama waktu *mixing* maka homogenitas campuran menjadi lebih baik. Proses *mixing* pada penelitian ini menggunakan horizontal mixing.

PROSES KOMPAKSI

Pemilihan metode kompaksi yang optimal sangat berpengaruh terhadap hasil akhir produk yang presisi. Produk akhir akan dipengaruhi oleh material *powder*. Proses kompaksi diawali dengan mempersiapkan bahan baku dan penguat serat. Pengendalian ukuran partikel pada proses kompaksi agar mampu mengontrol ukuran partikel. Proses kompaksi berpengaruh pada sifat-sifat mekanis dan suhu *green body*. Proses kompaksi diawali dengan mempersiapkan bahan baku dan penguat serat. Selanjutnya, material yang telah dicampur, dimasukkan dalam cetakan logam. Kompaksi menggunakan titik leleh aluminium karena pada serbuk FeCrMnAlSiCu yang suhu leleh terendah adalah aluminium. Metode kompaksi yang dilakukan adalah cold compaction. *Cold compaction* adalah proses pembentukan bahan padat dari serbuk pada suhu kamar atau suhu rendah, tanpa pemanasan. Proses *cold compaction* tergantung dari jenis material yang akan diproses. Metode ini cocok untuk membentuk produk yang presisi.

PROSES SINTERING

Proses *sintering* adalah proses pemanasan bahan dibawah suhu *melting*. Proses *sintering* dapat dilakukan pada serbuk yang belum dikompresi seperti *selective laser sintering*. *Solid State Sintering* merupakan *sintering* yang dilakukan pada material padat yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas material. Proses *sintering* dapat terjadi penyusutan luas permukaan sehingga terjadi ukuran partikel bertambah, terjadi pengasaran permukaan (*coarsening*) dan pemadatan (*densification*). Tujuan proses *sintering* adalah mereduksi porositas, meningkatkan kekuatan ikatan partikel, meningkatkan kekuatan mekanik material, mengubah sifat material menjadi lebih baik, membentuk bahan yang lebih kompleks, dan meningkatkan sifat thermal. Tahap proses *powder metalurgy* ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses powder metalurgy

Metode Penelitian

Material yang digunakan dalam penelitian adalah *green body* 9,59 gram Fe, 0,772 gram Cr, 0,486 gram Mn, 0,02 gram Ni, 0,235 gram Al, 0,235 gram Si, dan 0,8 gram Cu. *Densitas green body* sebesar 4,985 gram/cm³. *Green body* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. *Green body* terdiri dari 9,59 Fe, 0,77 Cr, 0,48 Mn, 0,02 Ni, 0,23 Al, 0,23 Si, dan 0,8 Cu

1. Alat yang digunakan dalam penelitian

- | | |
|--------------------------------------|-------------------------------|
| a. Alat uji <i>horizontal mixing</i> | e. Alat uji densitas |
| b. Alat uji kompaksi | f. SEM |
| c. Alat uji sintering | g. EDS |
| d. Timbangan digital | h. Alat uji kekerasan Vickers |

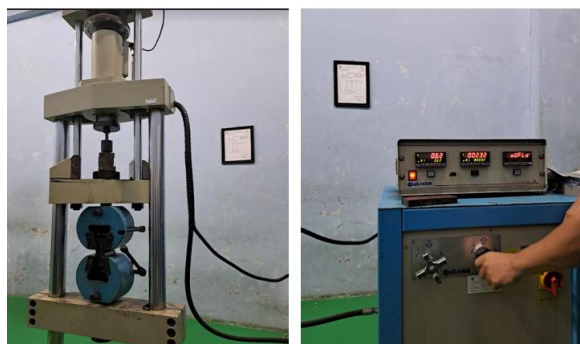
2. Pelaksanaan Penelitian

- a. Pengujian Blending memerlukan waktu 1 jam dengan kecepatan putaran 75 RPM. Alat uji blending dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Alat uji *mixing*

- b. Pengujian Kompaksi memerlukan waktu 1 menit 46 detik pada tekanan 150 MPa. Alat uji kompaksi dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Alat uji kompaksi

- c. Pengujian Sintering memerlukan waktu 1 jam dengan suhu $\frac{3}{4}$ suhu melting aluminium sekitar 495°C. Alat uji sintering dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Alat uji *sintering*

- d. *Scanning Electron Microscopy* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Alat uji *Scanning Electron Microscopy* dan *Energy Dispersive Spectroscopy*

- e. Alat sputtering untuk mengeringkan spesimen selama 8 menit dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Alat *sputtering* untuk mengeringkan *green body*

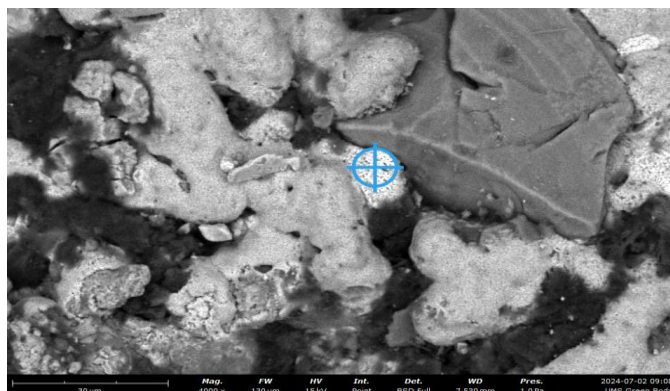
- f. Pengujian Kekerasan Vickers dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Alat uji kekerasan Vickers

Hasil dan Pembahasan

a. Hasil pengujian SEM dan EDS Spot 1

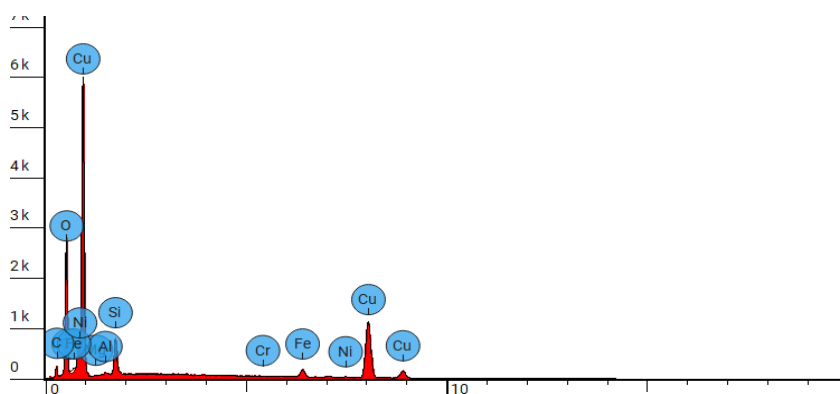


Gambar 9. Hasil pengujian Scanning Electron Microscopy Spot 1

Pengujian SEM ini menggunakan magnitude 4000x, energy 15 KV, ukuran butir 130μm, tekanan 1 Pa, dan Hasil pengujian green body pada Scanning Electron Microscopy Spot 1 berdasarkan Gambar 1 adalah material paduan ini mengandung 5.295C-18.382O₂-0.100 Mg-0.400Al-4.296Si-3.996Fe-0.500Ni-67.033Cu. spot 1 tidak mewakili unsur chromium. Hal ini dikarenakan Cr tidak tercampur merata sehingga di spot 1 tidak terlihat unsur tersebut. Unsur Mn tidak ada di spot 1 karena Mn berwarna gelap sehingga tidak terlihat pada spot 1 karena unsur Mn tidak terdistribusi merata di spot 1. Unsur carbon tinggi karena ada oksidasi dari oksigen sehingga menimbulkan korosi dan mengandung unsur carbon tinggi. Data unsur dalam green body dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian Energy Dispersive Spectroscopy Spot 1

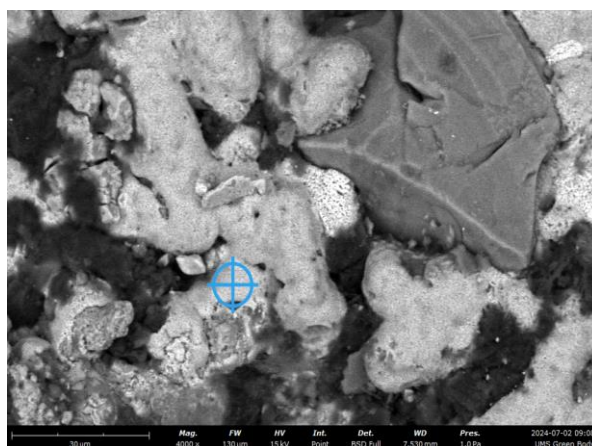
	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6	C	Carbon	15.220	5.295
	8	O	Oxygen	39.662	18.382
	12	Mg	Magnesium	0.142	0.100
	13	Al	Aluminum	0.512	0.400
	14	Si	Silicon	5.280	4.296
	24	Cr	Chromium	0.000	0.000
	26	Fe	Iron	2.470	3.996
	28	Ni	Nickel	0.294	0.500
	29	Cu	Copper	36.421	67.033



Gambar 10. Hasil pengujian Energy Dispersive Spectroscopy Spot 1

Pada gambar 10 terlihat jelas unsur dominan adalah Cu. Hal ini disebabkan pengujian EDS pada titik spot 1 terdapat unsur dominan Cu. Unsur Mn tidak terlihat dikarenakan spot 1 merupakan daerah unsur dominan Cu dan unsur lainnya. Unsur Oksigen tinggi karena ada oksidasi sehingga green body mudah berkorosi, hal ini terbukti unsur carbon tinggi yaitu 5,295. Peran unsur Fe, Ni, Cr, Cu, Al, Si, Mn dalam MMC dengan matriks Fe adalah Fe berfungsi meningkatkan kekuatan dan kekerasan; Ni berfungsi untuk meningkatkan kekuatan, ketahanan korosi, dan ketahanan terhadap suhu tinggi; Cr berfungsi untuk meningkatkan kekerasan, ketahanan korosi, dan ketahanan terhadap keausan; Mn berfungsi sebagai elemen paduan yang meningkatkan kekuatan dan keuletan; Al berfungsi ketahanan korosi tinggi dan bobot ringan; Si berfungsi meningkatkan kekuatan dan ketahanan terhadap keausan; dan Cu berfungsi untuk meningkatkan kekuatan, konduktivitas termal, dan ketahanan korosi.

b. Hasil pengujian SEM dan EDS di spot 2

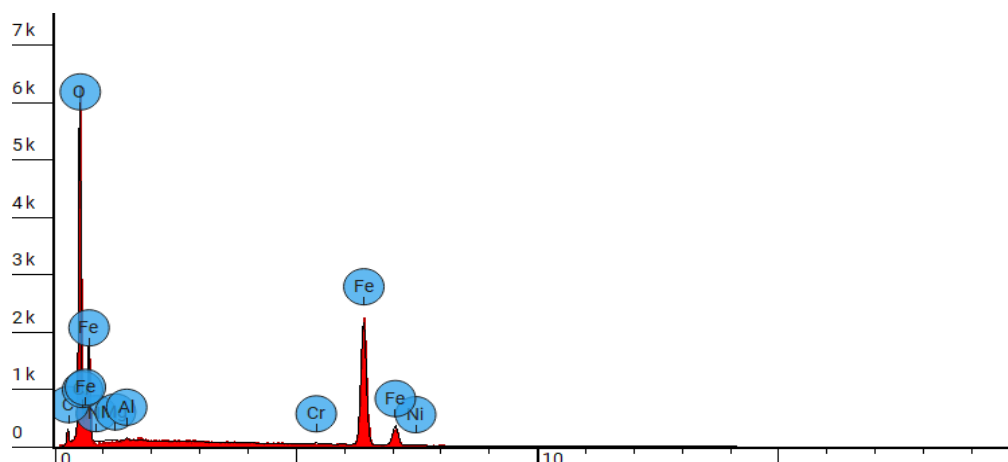


Gambar 11. Hasil pengujian Scanning Electron Microscopy Spot 2

Pengujian SEM ini menggunakan magnitude 4000x, energy 15 KV, ukuran butir 130µm, tekanan 1 Pa. Hasil pengujian *green body* pada *Scanning Electron Microscopy* Spot 2 berdasarkan Gambar 2 adalah material paduan ini mengandung 3,800C-25,500O₂-0Mg-0.350Al-0.500Cr-69,9Fe. Spot 2 menunjukkan tidak ada unsur Ni dan Mn, hal ini dikarenakan spot 2 mendeteksi bagian berwarna cerah ternyata unsur Ni dan Mn tidak terdistribusi merata di spot 2.

Tabel 2. Hasil pengujian Energy Dispersive Spectroscopy Spot 2

Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
6	C	Carbon	9.942	3.800
8	O	Oxygen	50.079	25.500
12	Mg	Magnesium	0.000	0.000
13	Al	Aluminum	0.350	0.300
24	Cr	Chromium	0.302	0.500
26	Fe	Iron	39.327	69.900
28	Ni	Nickel	0.000	0.000



Gambar 11. Hasil pengujian Energy Dispersive Spectroscopy Spot 2

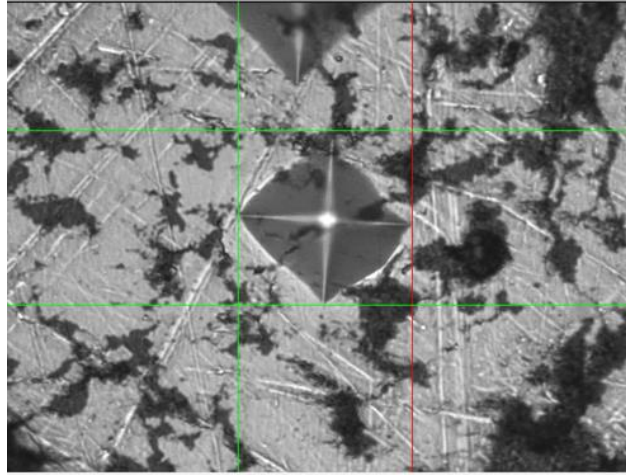
Pada Gambar 11 terlihat jelas unsur dominan adalah Fe. Hal ini disebabkan pengujian EDS pada titik spot 2 terdapat unsur dominan Fe yaitu 69,900. Unsur Oksigen tinggi karena ada oksidasi sehingga *green body* mudah berkorosi. Pada spot 2 unsur Ni nol karena terlalu kecil sehingga tidak terdistribusi pada spot 2. Unsur Cr sebesar 0,50 sehingga warna terang terlihat jelas di spot 2.

c. Analisis Pengujian Kekerasan

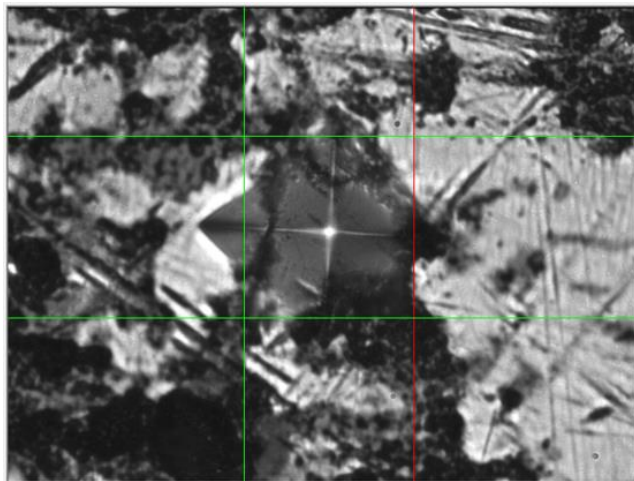
Kekerasan Fe bervariasi tergantung pada kandungan elemen paduan Fe. Besi murni bersifat lunak, dengan ditambahkan unsur mangan, nikel, atau chromium dapat meningkatkan kekerasannya. Fe sebagai matriks komposit dengan komposisi *green body* sebesar 9,59 Fe, 0,772 Cr, 0,486 Mn, 0,02 Ni, 0,235 Al, 0,235 Si, dan 0,8 Cu memiliki kekerasan rata-rata 174,87 VHN dapat dilihat pada Tabel 1. Material dengan kekerasan 174,87 HVN memiliki ketahanan keausan yang baik dan mengalami deformasi plastis. Nilai kekerasan *green body* sebesar 174,87 HVN menunjukkan bahwa material telah mengalami tekanan kompaksi sebesar 150 MPa dan pemanasan *sintering* pada suhu 445°C, dapat dilihat pada Gambar 3. Hasil pengujian kekerasan titik 1 dengan D1=33,21 mm dan D2=32,38 mm menunjukkan nilai kekerasan 172,42 VHN dapat dilihat pada gambar 12. Hasil pengujian kekerasan titik 2 dengan D1=32,01 mm dan D2=33,55 mm menunjukkan nilai kekerasan 172,57 VHN dapat dilihat pada gambar 13. Hasil pengujian kekerasan titik 3 dengan D1=32,91 mm dan D2=32,36 mm menunjukkan nilai kekerasan 179,87 VHN dapat dilihat pada gambar 14. Fe sebagai matriks memiliki kekerasan rendah. Cr berfungsi menambah kekerasan dan ketahanan korosi. Mn berfungsi meningkatkan kekuatan, kekerasan, dan ketangguhan. Ni berfungsi meningkatkan kekerasan, ketangguhan dan ketahanan korosi. Al berfungsi mengurangi berat jenis sehingga ringan. Si berfungsi meningkatkan ketahanan oksidasi dan kekerasan. Cu berfungsi meningkatkan ketahanan korosi dan kekuatan *green body*.

Tabel 1. Pengujian Kekerasan Vickers

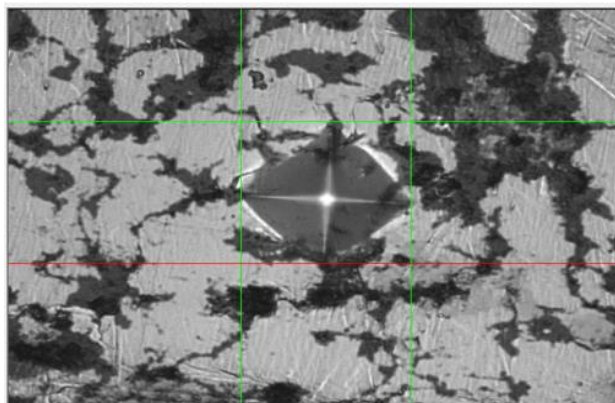
Daerah Pengujian	D1 (mm)	D2 (mm)	Kekerasan VHN
Titik 1	33,21	32,38	172,42
Titik 2	32,01	33,55	172,57
Titik 3	32,91	32,36	179,61
Rata-rata Nilai Kekerasan			174,87



Gambar 12. Hasil pengujian kekerasan Vickers di titik 1



Gambar 13. Hasil pengujian kekerasan Vickers di titik 2



Gambar 14. Hasil pengujian kekerasan Vickers di titik 3

Kesimpulan

Analisis EDS spot 1 bahwa *green body* mengandung 5.295C-18.382O₂-0.100 Mg-0.400Al-4.296Si-3.996Fe-0.500Ni-67.033Cu. Hasil SEM spot 1 terlihat jelas unsur dominan adalah Cu. Unsur Mn tidak terlihat dikarenakan spot 1 merupakan daerah unsur dominan Cu dan unsur Mn tidak terdistribusi merata. Hasil analisis EDS spot 2 bahwa *green body* mengandung 3,800C-25,500O₂-0Mg-0.350Al-0.500Cr-69,9Fe. Hal ini disebabkan pengujian EDS pada titik spot 2 terdapat unsur

dominan Fe yaitu 69,900. Unsur Oksigen tinggi karena ada oksidasi sehingga green body mudah berkorosi. Pada spot 2 unsur Ni nol karena terlalu kecil sehingga tidak terdistribusi pada spot 2. Kekerasan Fe bisa sangat bervariasi tergantung pada kandungan elemen paduan Fe. Besi murni bersifat lunak, dengan ditambahkan unsur mangan, nikel, atau chromium dapat meningkatkan kekerasannya. Fe sebagai matriks komposit dengan komposisi *green body* sebesar 9,59 Fe, 0,772 Cr, 0,486 Mn, 0,02 Ni, 0,235 Al, 0,235 Si, dan 0,8 Cu memiliki kekerasan rata-rata 174,87 VHN memiliki ketahanan keausan yang baik dan mengalami deformasi plastis.

Daftar Pustaka

- [1] Zhang, F., Gou, H., Zhang, W., Huang, Q., Li, Z., Wei, H., & Shan, Q., "Interface microstructure and abrasive wear properties of WC-iron matrix composites with Ni, Mo, Fe added to the preforms," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 24, pp. 4218–4231, 2023, doi: 10.1016/j.jmrt.2023.04.007.
- [2] D. Carlevaris, M. Leonardi, G. Straffellini, and S. Gialanella, "Design of a friction material for brake pads based on rice husk and its derivatives," *Wear*, vol. 526–527, no. April, p. 204893, 2023, doi: 10.1016/j.wear.2023.204893
- [3] Singh, T., da Silva Gehlen, G., Ferreira, N. F., de Barros, L. Y., Lasch, G., Poletto, J. C., & Neis, P. D., "Automotive brake friction composite materials using natural Grewia Optiva fibers," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 26, pp. 6966–6983, 2023, doi: 10.1016/j.jmrt.2023.09.072.
- [4] H. Bai, L. Kang, W. Zhuang, J. Liu, L. Zhong, and Y. Xu, "Microstructure and mechanical properties of W-WC/Fe composite fiber-reinforced Fe matrix composite prepared by combination of infiltration and in-situ solid phase diffusion," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 27, no. November, pp. 5305–5314, 2023, doi: 10.1016/j.jmrt.2023.10.241.
- [5] S. Tejyan, C. Lal, Ch. Kapil. Ror, and V. Singh, "Influence of marble waste reinforcement on mechanical properties and sliding wear behavior of an aluminium alloy metal matrix composite," *Journal of Engineering Research*, no. May, 2023, doi: 10.1016/j.jer.2023.08.002.
- [6] Du, L. Lattanzi, A. E. W. Jarfors, J. Zheng, K. Wang, and G. Yu, "Role of matrix alloy, reinforcement size and fraction in the sliding wear behaviour of Al-SiCp MMCs against brake pad material," *Wear*, vol. 530–531, no. April, p. 204969, 2023, doi: 10.1016/j.wear.2023.204969.
- [7] Sougavabar, M. A., Niknam, S. A., & Davoodi, B. Experimental characterization of tool wear morphology in milling of Al520-MMC reinforced with SiC particles and additive elements Bi and Sn. *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 2, no. 4, pp. 571–585, 2023, doi: 10.1016/j.jmrt.2023.03.006.
- [8] X. Gao, S. Yuan, Q. Li, B. Chen, W. An, and L. Wang, "Ductile-brittle transition mechanism of SiC particle-reinforced Al-MMCs under ultrasonic assisted grinding with single grain," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 28, no. December 2023, pp. 3655–3669, 2024, doi: 10.1016/j.jmrt.2023.12.252.
- [9] Oketola, A., Jamiru, T., Adegbola, A. T., Ogunbiyi, O., Rominiyi, A. L., and Smith, S. Spark plasma sintering of ceramic-reinforced binary/ternary nickel and titanium metal matrix composites: mechanical properties, microstructure, and densification-A review. *Journal of Alloys and Metallurgical Systems*, vol.3, pp. 1–18, 2023, doi: 10.1016/j.jalmes.2023.100031.
- [10] Dittmann, K., Gruhl, R., Trauth, A., & Weidenmann, K. A. In-situ failure behavior and interfacial bonding of an interpenetrating metal matrix composite reinforced with lattice-like metallic glass (Ni60Nb20Ta20) preform. *Composite Structures*, vol. 3, no. 37, pp. 1–10, 2023, doi: 10.1016/j.compstruct.2024.118084.
- [11] Sun, M., Lu, X., Gao, H., Qin, L., Chen, C., Wu, F., & Chen, D. (2022). Lightweight porous carbon/rGO/Ni chain composite with excellent microwave absorption performance and multi-functional properties. *Synthetic Metals*, 291, 117208.
- [12] Pan, Y., Dai, M., Guo, Q., Yin, D., Hu, S., Hu, N., & Huang, J. (2023). Construction of sandwich-structured Cu-Ni wood-based composites for electromagnetic interference shielding. *Chemical Engineering Journal*, 471, 144301.
- [13] Kelen, F. Fabrication, microstructure and mechanical properties of novel titanium and nickel micro-particulates reinforced AZ91D magnesium alloy metal matrix hybrid composites. *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 9, no. 68, 2024, doi: 10.1016/j.jallcom.2023.171999.
- [14] Z. Qu, P. Zhang, Y. Lai, Q. Wang, J. Song, and S. Liang, "Influence of powder particle size on the microstructure of a hot isostatically pressed superalloy," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 16, pp. 1283–1292, 2022, doi: 10.1016/j.jmrt.2021.12.081.
- [15] X. Jin and Y. Shen, "DEM study of mixing performance of superquadric particles in an industrial-scale ribbon mixer," *Advanced Powder Technology*, vol. 34, no. 11, p. 104239, 2023, doi: 10.1016/j.appt.2023.104239.
- [16] Z. Qu, P. Zhang, Y. Lai, Q. Wang, J. Song, and S. Liang, "Influence of powder particle size on the microstructure of a hot isostatically pressed superalloy," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 16, pp. 1283–1292, 2022, doi: 10.1016/j.jmrt.2021.12.081.

- [17] Zhang, L. C., Xu, W. Y., Li, Z., Zheng, L., Liu, Y. F., & Zhang, G. Q. Characterization of particle shape of nickel-based superalloy powders using image processing techniques. *Powder Technology*, vol. 3, no. 95, pp. 787-801, 2022, doi: 10.1016/j.powtec.2021.10.013.
- [18] Ahmed, F. F., Clark, S. J., Leung, C. L. A., Stanger, L., Willmott, J., Marussi, S., & Phillion, A. B., "Achieving homogeneity in a high-Fe β -Ti alloy laser-printed from blended elemental powders," *Mater Des*, vol. 210, p. 110072, 2021, doi: 10.1016/j.matdes.2021.110072.
- [19] J. Chen, S. Xie, and H. Huang, "A novel method of utilizing static mixer to obtain mixing homogeneity of multi-species powders in laser metal deposition," *Chinese Journal of Aeronautics*, vol. 36, no. 1, pp. 423–433, 2023, doi: 10.1016/j.cja.2022.07.013.
- [20] H. Li, E. G. Brodie, and C. Hutchinson, "Predicting the chemical homogeneity in laser powder bed fusion (LPBF) of mixed powders after remelting," *Addit Manuf*, vol. 65, no. February, p. 103447, 2023, doi: 10.1016/j.addma.2023.103447.
- [21] Chen, Z., Kang, W., Li, B., Zhang, Q., Hu, X., Ding, Y., & Liang, S. Preparation of Mo–Cu composite powder with high homogeneity by solution combustion synthesis. *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 2, no. 4, pp. 715-723, 2-23. doi: 10.1016/j.jmrt.2023.03.043.
- [22] Ficici, F., "Investigation of wear mechanism in drilling of PPA composites for automotive industry," *Journal of Engineering Research*, vol. 11, no. 2, pp. doi: 10.1016/j.jer.2023.100034.
- [23] Singh, T., da Silva Gehlen, G., Ferreira, N. F., de Barros, L. Y., Lasch, G., Poletto, J. C., & Neis, P. D., "Automotive brake friction composite materials using natural Grewia Optiva fibers," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 26, pp. 6966–6983, 2023, doi: 10.1016/j.jmrt.2023.09.072.
- [24] Gajjar, P., Styliari, I. D., Legh-Land, V., Bale, H., Tordoff, B., Withers, P. J., & Murnane, D., "European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics Microstructural insight into inhalation powder blends through correlative multi-scale X-ray computed tomography," *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, vol. 191, no. April, pp. 265–275, 2023, doi: 10.1016/j.ejpb.2023.08.016.
- [25] Farkas, "European Journal of Pharmaceutical Sciences Image-based simultaneous particle size distribution and concentration measurement of powder blend components with deep learning and machine vision," vol. 191, no. April, 2023, doi: 10.1016/j.ejps.2023.106611.
- [26] L. Yan, N. Wang, and Z. Xu, "Case Studies in Thermal Engineering Experimental study on the effectiveness and safety of cement powder on extinguishing metal magnesium fires based on pneumatic conveying technology," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 37, no. June, p. 102279, 2022, doi: 10.1016/j.csite.2022.102279.
- [27] P. Singh, V. K. Pandey, R. Singh, K. Singh, K. K. Dash, and S. Malik, "Unveiling the potential of starch-blended biodegradable polymers for substantializing the eco-friendly innovations," *J Agric Food Res*, vol. 15, no. November 2023, p. 101065, 2024, doi: 10.1016/j.jafr.2024.101065.
- [28] Owheru, J. O., Edo, G. I., Oluwajuyitan, D. T., Faturoti, A. O., Martins, I. E., Akpogheli, P. O., & Agbo, J. J., "Quality evaluation of value-added nutritious biscuit with high antidiabetic properties from blends of wheat flour and oyster mushroom," *Food Chemistry Advances*, vol. 3, no. July, p. 100375, 2023, doi: 10.1016/j.focha.2023.100375.
- [29] B. A. Akinbode, S. A. Malomo, and I. I. Asasile, "In vitro antioxidant, anti-inflammatory and in vivo anti-hyperglycemia potentials of cookies made from sorghum, orange-flesh-sweet-potato and mushroom protein isolate flour blends fed to Wistar rats," *Food Chemistry Advances*, vol. 2, no. March, p. 100263, 2023, doi: 10.1016/j.focha.2023.100263