

METAL MATRIX COMPOSITE (MMC) DALAM PEMBENTUKAN LOGAM**Martina Kuncara¹⁾, Cecep Nana Nasuha²⁾**

Teknik Mesin, Universitas Islam Al-Ihya Kuningan Jawa Barat, Indonesia

Email: ¹⁾martinakuncara1@gmail.com ²⁾cephy.lucky81@gmail.com**Abstrak**

Metal Matrix Composites (MMC) adalah bahan yang terdiri dari campuran logam yang diperkuat dengan continuous fibres, whiskers, atau particulates. Metal Matrix Composites (MMC) memiliki keunggulan dibandingkan jenis komposit lainnya. Seperti kekuatannya tinggi, modulus tinggi, ketangguhan tinggi dan sifat benturan, sensitivitas rendah terhadap perubahan suhu atau kejutan termal, daya tahan permukaan tinggi dan sensitivitas rendah terhadap cacat permukaan, serta konduktivitas listrik tinggi. Tujuan dari review ini adalah untuk mengetahui metode yang digunakan dalam pembuatan MMC, serta keunggulan dan kelemahan pada metode tersebut. Dari pembahasan diperoleh hasil bahwa berbagai metode pemrosesan telah digunakan dalam pembuatan MMC meliputi metode Stir Casting, powder metallurgy, dan Laser Additive Manufacturing (selective laser sintering (SLS), selective laser melting (SLM), laser metal deposition (LMD)).

Kata kunci: *Metal Matrix Composites (MMC), Stir Casting, Powder Metallurgy, Laser Additive Manufacturing.*

Abstract

Metal Matrix Composites (MMC) are materials consisting of a metal mixture reinforced with continuous fibres, whiskers, or particulates. Metal Matrix Composites (MMC) have advantages over other types of composites. Such as high strength, high modulus, high toughness and impact properties, low sensitivity to temperature changes or thermal shock, high surface resistance and low sensitivity to surface defects, and high electrical conductivity. The purpose of this review is to find out the methods used in manufacturing MMC, as well as the advantages and disadvantages of the method. From the discussion, the results were obtained that various processing methods have been used in the manufacture of MMC, including Stir Casting methods, powder metallurgy, and Laser Additive Manufacturing (selective laser sintering (SLS), selective laser melting (SLM), laser metal deposition (LMD)).

Keywords: *Metal Matrix Composites (MMC), Stir Casting, Powder Metallurgy, Laser Additive Manufacturing*

Pendahuluan

Metal Matrix Composites (MMC) adalah bahan yang terdiri dari campuran logam yang diperkuat dengan *continuous fibres*, *whiskers*, atau *particulates* (Aqida, dkk., 2004). *Metal Matrix Composites* (MMC) telah menjadi bagian penting dari sebagian besar komponen produksi dalam hal pemilihan material (Henry, Ononiwu dkk., 2019). Komposit dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kelompok yaitu berdasarkan pembentukan komposisinya, metode preparasi, dan tipe matriks. Berdasarkan pembentukan komposisinya, dapat dikelompokkan menjadi komposit in-situ dan ex-situ. Penguatnya bisa berupa grafit, graphene, karbon nanotube, keramik, partikel berukuran nano metalik atau fiber. Sedangkan bahan matriksnya bisa berupa aluminium, magnesium, baja, tembaga, dan lain sebagainya. Berdasarkan metode preparasi, dapat dikelompokkan menjadi *Stir Casting*, *assisted Stir Casting*, infiltrasi tekanan, infiltrasi tanpa tekanan, peleburan laser, metode elektrokimia, deposisi tanpa listrik, dan metode metalurgi serbuk. Berdasarkan bahan matriks, dikelompokkan menjadi 3 kelompok yaitu matriks cair (misalnya dalam *Stir Casting*, infiltrasi tekanan, infiltrasi tanpa tekanan, dan peleburan laser), larutan elemen matriks berair atau tidak berair (deposisi dengan listrik dan tanpa listrik) dan matriks fase padat (metalurgi serbuk) (Baumli, 2020).

Metal Matrix Composites (MMC) memiliki keunggulan dibandingkan jenis komposit lainnya. Seperti kekuatannya tinggi, modulus tinggi, ketangguhan tinggi dan sifat benturan, sensitivitas rendah terhadap perubahan suhu atau kejutan termal, daya tahan permukaan tinggi dan sensitivitas rendah terhadap cacat permukaan, serta konduktivitas listrik tinggi. Inovasi teknologi dilakukan untuk menciptakan material terbaru dengan kecepatan proses pembentukan yang lebih tinggi dengan konsumsi bahan bakar yang lebih sedikit dan biaya yang lebih terjangkau.

Beberapa tahun terakhir, minat terhadap MMC semakin meningkat karena sifatnya yang unggul. MMC menjadi bahan yang menguntungkan untuk digunakan dalam kondisi kerja yang berat misalnya dalam kondisi beban yang tinggi, kondisi gesekan tinggi, dan pada suhu tinggi. Berdasarkan statistik, sebagian besar komponen pesawat telah digantikan oleh komposit, dan sebagian besar adalah MMC. Selain itu, banyak pabrik mesin otomotif telah mengganti baja tempa dengan MMC. Piston, ring piston, batang penghubung, bantalan liner silinder adalah beberapa komponen yang dibuat oleh MMC karena ketahanannya terhadap aus dan kekuatan tinggi (James, dkk., 2021).

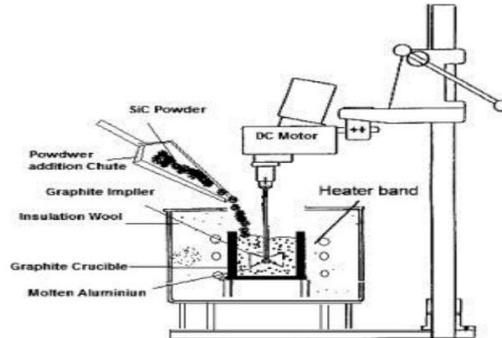
Berbagai teknik pemrosesan telah digunakan dalam pembuatan MMC. Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan, paper ini bertujuan untuk mengetahui berbagai metode yang digunakan dalam pembuatan MMC yang meliputi metode pembuatan, analisis keunggulan dan kelemahan berdasarkan microstructure dan propertiesnya, serta keunggulan dan kelemahan pada performa yang dihasilkan dengan tiap metode pembuatan MMC, kesimpulan dan arah penelitian di masa depan.

Metode 1 *Stir Casting*

Pada 5500 tahun yang lalu, logam dicetak dalam bentuk rongga yang diukir atau dicetak menggunakan cetakan yang dibuat dari tanah liat dan mineral lunak (Imran & Khan, 2019). Berbagai logam yang tersedia secara alami seperti emas, tembaga, dan perak dilebur dan dipadatkan di dalam cetakan tersebut. Pengecoran senjata, perkakas, dll dikembangkan dengan menggunakan teknik metalurgi. Desain kompleks produksi dilakukan dengan menyiapkan cetakan campuran pasir dan tanah liat. Pada tahun 1820-an teknik *pressure die casting* digunakan untuk pengecoran volume besar dan teknik kedua diperkenalkan sebagai teknik *injection molding*. Awalnya teknik *injection molding* digunakan untuk pengecoran logam dengan menggunakan tenaga tangan. Saat ini,

digunakan bantuan berupa sistem hidrolik dan pneumatik. Ada beberapa teknik lain yang dikembangkan, kemudian teknik *Stir Casting* diperkenalkan untuk pengecoran aluminium yang dikenal juga sebagai teknik metalurgi cair.

Teknik *Stir Casting* adalah metode pembuatan material komposit cair, dimana fase terdispersi (partikel keramik, serat pendek) dicampur dengan logam matriks cair melalui pengadukan mekanis. Teknik *Stir Casting* menggunakan biaya rendah dan proses yang ekonomis, prosedur mudah dan memberikan pencampuran yang seragam dengan komposisi logam yang berbeda. Metode *Stir Casting* ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 1 - *Stir Casting* dengan metode *vortex* (Kumar dkk., 2014)



Gambar 2 – Tungku *Stir Casting* (Imran & Khan, 2019)

Salah satu penggunaan *Stir Casting* yaitu dalam produksi Al-7075 Metal Matrix Composites (AMMC). Penambahan Al₂O₃ (alumina) sebagai penguat paduan aluminium memberikan perbaikan sifat mekanik dan tribologisnya. Berikut ini komposisi kimia dari Al-7075.

Tabel 1 - komposisi kimia Al-7075

Table 1 – Chemical composition of Al-7075 T6 [2].										
Composition	Zn	Si	Fe	Ti	Cu	Mn	Mg	Cr	other	Balance
Percentage	5.1-6.1	0.40	0.50	0.20	1.2-2.0	0.30	2.1-2.9	0.18-0.28	0.65	Al

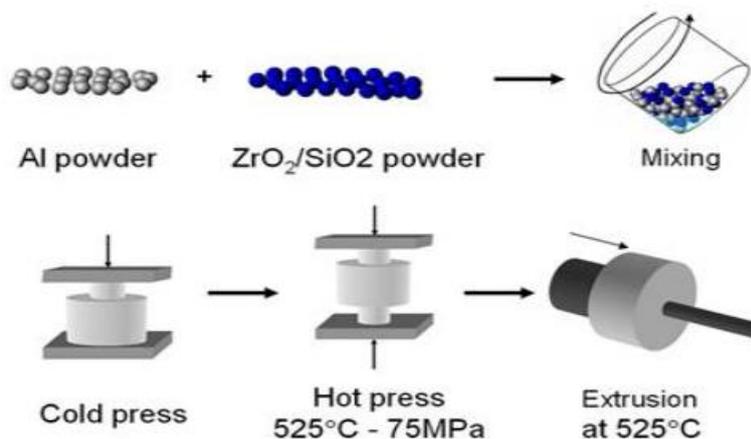
Sumber : (Imran & Khan, 2019)

Ditinjau dari *microstructure*-nya menunjukkan bahwa tulangan terdistribusi secara merata pada material matriks aluminium. Metode *Stir Casting* terbukti cocok untuk memproduksi bagian komposit matriks logam. Namun, metode ini hanya dapat digunakan untuk menghasilkan billet matriks logam, yang perlu diproses lebih lanjut dengan cara subtraktif untuk menghasilkan komponen dalam bentuk yang diperlukan (Behera dkk., 2019).

Metode 2 Powder Metallurgy

Metode *powder metallurgy* adalah teknik sederhana dan hemat biaya yang banyak digunakan untuk pembuatan MMC (Dutta, dkk., 2020). Keuntungan utama dari metode ini adalah distribusi *reinforcements* yang seragam dalam matriks dan suhu dalam pemrosesan yang relatif lebih rendah daripada peleburan dan pengecoran. Meskipun memiliki banyak keuntungan, *powder metallurgy* memiliki kompleksitas yang terbatas dan sifat mekanis yang dicapai juga terbatas. Proses *powder metallurgy* terdiri dari tiga langkah dasar yaitu pencampuran serbuk, preparasi *green compact*, dan sintering. *Green compact* biasanya disiapkan pada suhu kamar dan sintering dilakukan pada suhu ruangan yang terkontrol.

Proses *powder metallurgy* dimulai dengan fabrikasi dan diakhiri dengan pengujian mekanis komposit. Pertama, bubuk dari setiap bahan baku diukur dengan hati-hati menggunakan timbangan elektronik. Kedua, bahan baku siap dicampur. Proses pencampuran dilakukan secara manual selama satu jam dengan menggunakan lumpang dan alu untuk mencampurkan semua bahan dasar. Setelah pencampuran, campuran disegel dan disimpan dalam wadah tertutup untuk mencegah kelembaban mempengaruhi campuran. Ketiga, campuran akan mengalami prosedur pemadatan yang dipanaskan. Campuran akan dituangkan ke dalam rongga cetakan, dan kemudian dilubangi sampai campuran tersebut dipadatkan di dalam cetakan. *Green compact* selanjutnya akan melalui proses sintering (Ismail, dkk., 2022). Berikut ini gambar tahapan dalam *powder metallurgy*.



Gambar 3 - Powder metallurgy (Kumar dkk., 2014)

Dalam beberapa tahun terakhir, telah dikembangkan komposit Mg/HAP (*magnesium-hydroxyapatite*) untuk meningkatkan ketahanan korosi dan sifat mekanik Mg dan paduannya. Komposit Mg/HAP menggunakan sintering *microwave* dengan 5, 10, dan 15% berat HAP dan ditemukan bahwa diatas 10% HAP mulai menggumpal. Penggunaan HAP tergantung pada komposisinya, penambahan HAP dapat mengurangi

keuletan sekaligus meningkatkan kekuatan tekan dan *modulus young*. Biokompatibilitas komposit Mg/HAP meningkat secara signifikan karena penambahan HAP.

Tabel 2 – Ringkasan Teknik Pengolahan dan Sifat Mekanik dan Korosi Komposit Mg/HAP

Table 2. Summary of Processing Techniques and Mechanical and Corrosion Properties of Mg/HAP Composite^a

composite	processing technique	mechanical properties			immersion medium/time (h)	immersion corrosion rate (mmpy)	electrochemical corrosion rate			ref
		strength (MPa)	flexural strength (MPa)	hardness (VHN)			corrosion current density ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	corrosion potential (V)	corrosion rate (mmpy)	
Mg/10HAP	microwave sintering		191.4 ± 10.3	64 ± 2.5	SBF/240		100	-1.59	2.28	66
Mg/5HAP	consolidation by extrusion	452 (UCS)		54 ± 1.05 (L) 57.1 ± 1.1(T)	PBS/100	15				39
AZ91D/20HAP	extrusion	264.3 ± 10 (YTS)		98	artificial sea water/cell medium with and without protein/72	2-3.2			1.25 ± 0.16	40
Mg/10HAP	hot pressing followed by extrusion	117.3 ± 12.1 (YTS) 171.6 ± 16.6 (UTS)			SBF		60.02	-1.604	1.37	67
Mg/12.5HAP/10MgO	conventional powder metallurgy	198 ± 9 (UCS)			Kokubo's SBF/168	1.53 mg/(cm ² ·h)	46.8	-1.258	1.06	68
Mg/3Zn/5HAP	conventional powder metallurgy	98 ± 4 (CYS) 134 ± 3 (UCS)			Kokubo's SBF/56	0.015 mg/(cm ² ·h)	571.97 ± 4.17	-1.65 ± 0.020	1.1746	69
Mg/10HAP	spark plasma sintering			57.2 ± 6.8	3.5% NaCl		260 ± 27	-0.939 ± 0.039	5.94	70

^aAbbreviations: VHN, Vickers hardness number; mmpy, millimeter per year; UCS, ultimate compressive strength; YTS, yield tensile strength; UTS, ultimate tensile strength; CYS, compressive yield strength; SBF, simulated body fluid.

Sumber : (Dutta dkk., 2020)

Secara khusus, metode *powder metallurgy* berhasil digunakan dalam hal ini. Beberapa makalah telah membahas tentang paduan mekanis yang merupakan metode *powder metallurgy* yang terdiri dari pengelasan dingin berulang, rekahan dan pengelasan ulang partikel serbuk dalam *ball mill* berenergi tinggi (Casati & Vedani, 2014).

Metode 3 Laser Additive Manufacturing

Teknologi *Additive Manufacturing* (AM) merupakan teknologi manufaktur yang unik dan sangat menarik untuk proses pembentukannya. Teknologi AM juga disebut sebagai manufaktur peningkatan material, pembuatan prototipe cepat, manufaktur berlapis, fabrikasi bentuk bebas padat, dan pencetakan 3D yang didefinisikan sebagai proses menggabungkan material untuk membuat objek dari data model 3D oleh *American Society for Testing and Materials* (ASTM) (Gong dkk., 2021). Pemrosesan aditif adalah teknik pembuatan yang relatif baru yang muncul melalui evolusi dari pembuatan prototipe cepat hingga pembuatan cepat, dan selanjutnya berkembang sebagai metode pembuatan berlapis (Behera dkk., 2019). Dibandingkan dengan metode manufaktur konvensional, AM telah memperluas kemampuan fabrikasi bagian berbentuk kompleks dan menghadirkan manfaat fleksibilitas desain yang tinggi, kustomisasi yang tinggi, tidak perlu perakitan atau cetakan, dll (Li dkk., 2021). Saat ini ada berbagai proses AM yang diklasifikasikan menjadi dua kategori yaitu metode AM langsung dan tidak langsung.

Menurut perbedaan sumber panas, teknologi AM untuk logam secara kasar dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu *wire and arc additive manufacturing* (WAAM), *electron beam additive manufacturing* (EBAM) dan *laser additive manufacturing* (LAM). WAAM cocok untuk pembuatan prototipe cepat komponen berukuran besar, sedangkan EBAM dan LAM keduanya berlaku untuk komponen kecil. LAM adalah teknologi AM yang paling menjanjikan untuk logam saat ini. Sebagian besar LAM berisi dua kelas yaitu metode pembentukan serbuk sinkron (atau pengumpanan kawat) yang diwakili oleh *laser metal deposition* (LMD) dan metode pembentukan bedak bubuk yang diwakili oleh *selective laser melting* (SLM).

Tabel 3 – Klasifikasi Proses AM

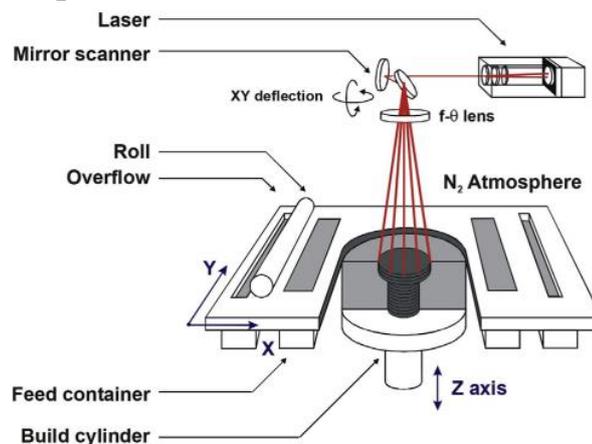
AM Processes	Processes	Layer Forming Principle	Forming Material	MMCs Application
Direct-AM Process	1. Selective laser sintering (SLS)	Partially melting by laser	Powder	Yes
	2. Selective laser melting (SLM)	Complete melting by laser	Powder	Yes
	3. Laser-melting deposition (LMD)	Complete melting by laser	Powder/Wire	Yes
Indirect-AM Process	1. Fused deposition modelling (FDM)	Extrusion	Filament	Yes
	2. Stereolithography (SLA)	Photo curing via laser scanning	Resin and powder	No
	3. Direct inkjet printing (DIP)	Inkjet printing	Powder suspension	No
	4. Layer-wise slurry deposition (LSD)	Slurry deposition	Slurry	Yes
	5. Laminated object manufacturing (LOM)	Sheet binding and laser cutting	Sheet	Yes

Sumber : (Mahmood dkk., 2020)

Dalam teknik pembuatan aditif laser yang tepat meliputi *selective laser sintering* (SLS), *selective laser melting* (SLM), *laser metal deposition* (LMD), dan lain sebagainya.

1. Selective Laser Sintering (SLS)

SLS adalah proses AM yang didasarkan pada pra-penyebaran serbuk, kontrol komputer selanjutnya dan sinterring laser, yang menghasilkan bagian-bagian kompleks dengan mengkonsolidasikan lapisan-lapisan serbuk yang berurutan antara satu sama lain dan mengkonsolidasikan area yang dipilih. Sistem SLS umumnya mencakup laser, wadah umpan, dan sistem proteksi gas.



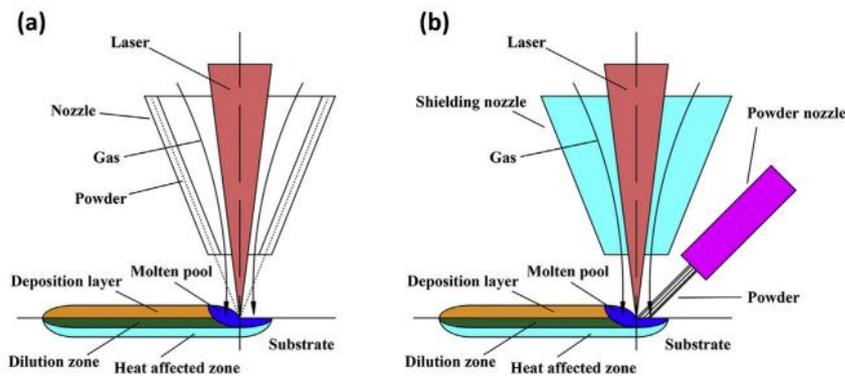
Gambar 4 – Skema peralatan SLS (Gong, dkk., 2021)

2. Selective Laser Melting (SLM)

Peralatan dan prosedur SLM mirip dengan SLS. Namun, mekanisme pengikatannya berbeda dengan SLS yaitu peleburan penuh yang membutuhkan lebih banyak energi yang didukung oleh sinar laser berdaya tinggi. Keunggulan dari SLM adalah kemampuannya untuk memproses logam murni nonferrous dengan densitas tinggi, yang sulit diproses oleh SLS. Selain itu, kekerasan mikro produksi SLM jauh lebih tinggi daripada SLS karena lebih sedikit cacat. Namun demikian, ada beberapa masalah yang dihadapi dalam proses SLM. Masalah utamanya adalah kekasaran permukaan yang tinggi dan akurasi bagian yang rendah yang dipengaruhi oleh efek tangga. Selain itu, gradien termal yang tinggi memperkuat tegangan residu berlapis karena peleburan dan pematatan penuh dalam waktu yang sangat singkat.

3. Laser Metal Deposition (LMD)

LMD adalah metode AM pembentuk bubuk sinkron yang representatif. LMD juga disebut *laser engineering net shaping (LENS)*, *direct metal deposition (DMD)*, *laser rapid forming (LRF)*, *direct laser fabrication (DLF)* di berbagai wilayah dan lembaga penelitian, karena teknologi LMD tersebut dikembangkan dan diberi nama secara independen oleh berbagai institut dan universitas. LMD dapat digunakan untuk membuat komponen dengan permukaan yang rumit alih-alih beberapa teknologi pemesinan konvensional, yang dapat memecahkan serangkaian masalah pemesinan keras, pemborosan material, keausan pahat, dll. Komponen yang difabrikasi oleh LMD umumnya memiliki tekstur yang kompak dan sifat material yang sangat baik tanpa perlakuan panas. Saat ini, teknologi LMD diterapkan secara luas dalam industri otomotif, dirgantara, kedokteran, dan industri lainnya untuk menggantikan beberapa metode pembentukan konvensional.



Gambar 5 – Skema LMD : dengan sistem pengumpan coaxial powder (a), side powder (b) (Gong dkk., 2021)

Saat ini, dua masalah utama masih perlu diselesaikan dalam MMC AM laser. Pertama, struktur mikro MMC sulit dikendalikan di bawah kondisi siklus pemanasan intens yang tidak stabil dan pendinginan kecepatan tinggi. Kedua, dalam proses laser AM, akumulasi dan penggabungan tegangan termal, tegangan struktur mikro, tegangan penyusutan pematatan, dan tekanan kompleks lainnya dapat dengan mudah menyebabkan deformasi dan bahkan retaknya material (Li dkk., 2021).

Kesimpulan dan Saran

Metal Matrix Composites (MMC) memiliki keunggulan dibandingkan jenis komposit lainnya. Seperti kekuatannya tinggi, modulus tinggi, ketangguhan tinggi dan sifat benturan, sensitivitas rendah terhadap perubahan suhu atau kejutan termal, daya tahan permukaan tinggi dan sensitivitas rendah terhadap cacat permukaan, serta konduktivitas listrik tinggi. Berbagai metode pemrosesan telah digunakan dalam pembuatan MMC meliputi metode *Stir Casting*, *powder metallurgy*, dan *Laser Additive Manufacturing* (*selective laser sintering* (SLS), *selective laser melting* (SLM), *laser metal deposition* (LMD)).

Ada banyak kelemahan pada bahan logam tradisional, pada masa yang akan datang diperlukan pemahaman secara mendalam tentang mekanisme pembentukan dan prinsip penguatan fase penguatan dalam MMC laser. Dengan bantuan struktur kompleks dan integrasi multi material yang membentuk kemampuan teknologi manufaktur aditif dan melalui desain struktur inovatif struktur bionik, struktur pengoptimalan topologi, metamaterial dan struktur super, diharapkan dapat mencapai terobosan di bidang fungsional seperti cahaya, suara, panas, listrik, magnet dan sebagainya.

BIBLIOGRAFI

- Aqida, S. N., Ghazali, M. I., & Hashim, & J. 2004. *Effects of Porosity on Mechanical Properties of Metal Matrix Effects of Porosity on Mechanical Properties of Metal Matrix Composite: An Overview*. *Jurnal Teknologi* (Vol. 40).
- Baumli, P. 2020. *Interfacial aspects of metal matrix composites prepared from liquid metals and aqueous solutions: A review*. *Metals* (Vol. 10, Issue 10, hlm. 1–16). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/met10101400>
- Behera, M. P., Dougherty, T., & Singamneni, S. 2019. Conventional and additive manufacturing with metal matrix composites: A perspective. *Procedia Manufacturing*, 30, 159–166. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.023>
- Casati, R., & Vedani, M. 2014. *Metal matrix composites reinforced by Nano-Particles—A review*. *Metals* (Vol. 4, Issue 1, hlm. 65–83). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/met4010065>
- Dutta, S., Gupta, S., & Roy, M. 2020. *Recent Developments in Magnesium Metal-Matrix Composites for Biomedical Applications: A Review*. *ACS Biomaterials Science and Engineering* (Vol. 6, Issue 9, hlm. 4748–4773). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/acsbmaterials.0c00678>
- Gong, G., Ye, J., Chi, Y., Zhao, Z., Wang, Z., Xia, G., Du, X., Tian, H., Yu, H., & Chen, C. 2021. *Research status of laser additive manufacturing for metal: a review*. *Journal of Materials Research and Technology* (Vol. 15, hlm. 855–884). Elsevier Editora Ltda. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.08.050>
- Henry Ononiwu, N., Akinlabi, E. T., & Ozoegwu, C. G. 2019. *Sustainability in Production and Selection of Reinforcement particles in Aluminium Alloy Metal Matrix Composites: A Review*. *Journal of Physics: Conference Series*, 1378(4). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1378/4/042015>
- Imran, M., & Khan, A. R. A. 2019. *Characterization of Al-7075 metal matrix composites: A review*. *Journal of Materials Research and Technology* (Vol. 8, Issue 3, hlm. 3347–3356). Elsevier Editora Ltda. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2017.10.012>
- Ismail, N., Asif Iqbal, A., Mat Yahya, N., & Sakib, Md. N. 2022. *Fabrication And Characterization of Al/ Sic/ Gr Hybrid Metal Matrix Composite Fabricated By Powder*

Metallurgy. Journal of Modern Manufacturing Systems and Technology, 4(2), 98–105.
<https://doi.org/10.15282/jmmst.v4i2.7156>

- James, J., Annamalai, A. R., Muthuchamy, A., & Jen, C. P. 2021. *Effect of wettability and uniform distribution of reinforcement particle on mechanical property (Tensile) in aluminum metal matrix composite—A review*. *Nanomaterials* (Vol. 11, Issue 9). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/nano11092230>
- Kumar, J., Singh, H., Chandra Kandpal, B., & kumar, J. 2014. *Production technologies of metal matrix composite-A Review*. <https://www.researchgate.net/publication/277814523>
- Li, N., Liu, W., Wang, Y., Zhao, Z., Yan, T., Zhang, G., & Xiong, H. (2021). *Laser Additive Manufacturing on Metal Matrix Composites: A Review*. Dalam *Chinese Journal of Mechanical Engineering (English Edition)* (Vol. 34, Issue 1). Springer. <https://doi.org/10.1186/s10033-021-00554-7>
- Mahmood, M. A., Popescu, A. C., & Mihailescu, I. N. 2020. *Metal matrix composites synthesized by laser-melting deposition: A review*. Dalam *Materials* (Vol. 13, Issue 11). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ma13112593>