

Pengaruh Perlakuan Panas dan Deformasi Panas pada Perilaku Partikel Penguat-MMC

Muhammad Budi Haryono*

Program Studi Teknik Mesin, Universitas PGRI Semarang
Jl. Sidodadi Timur Nomor 24 – Dr. Cipto Semarang

*E-mail: muhammadbudiharyono@upgris.ac.id

Diterima: 01-11-2020; Direvisi: 05-11-2020; Dipublikasi: 28-12-2020

Abstrak

Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian tentang morfologi dan distribusi dari partikel penguat pada MMC sangat diminati karena terjadi suatu perdebatan dimana komposit dengan distribusi partikel jaringan memiliki kekuatan yang lebih baik dari distribusi merata. Perlakuan panas memiliki peran penting terhadap morfologi dan mendistribusikan ulang penguat partikel dipermukaan matriks yang bertujuan memperbaiki kekuatan mekanik dari komposit. Perlakuan panas pada komposit dapat menyebabkan penguat partikel tumbuh menjadi lebih besar dengan bentuk yang berbeda dan merubah distribusi partikel pada permukaan matriks yang berakibat menurunnya kekuatan mekanik. Oleh karena itu deformasi panas digunakan untuk mencegah terjadinya pertumbuhan partikel. deformasi panas juga memiliki peran untuk merubah struktur jaringan dari pola distribusi penguat partikel.

Kata kunci: deformasi panas; komposit; partikel penguat; perlakuan panas

Abstract

In recent years, research on the morphology and distribution of reinforcing particles in MMC has been of great interest due to a debate over which composites with network particle distribution have better strength than even distribution. Heat treatment has an important role in morphology and redistributes the particle reinforcement on the surface of the matrix in order to improve the mechanical strength of the composite. Heat treatment of composites can cause the particle amplifier to grow bigger with different shapes and change the distribution of particles on the surface of the matrix resulting in decreased mechanical strength. Therefore hot deformation is used to prevent particle growth. Hot deformation also has a role to change the network structure of the particle reinforcement distribution models.

Keywords: hot deformation; composites; particle reinforcement; heat treatment;

1. Pendahuluan

Kombinasi yang baik dari sifat mekanik, pengeluaran yang rendah, kemampuan kerja yang tinggi dan peningkatan performa yang signifikan dibandingkan dengan paduan tanpa penguat partikel telah membuat komposit bermatriks logam yang diperkuat secara terputus-putus menerima perhatian komersial yang cukup besar. Untuk lebih meningkatkan kinerja MMC yang diperkuat secara terputus-putus, upaya terbaru telah diarahkan untuk menyesuaikan mikrostruktur tiga dimensi (3D) seperti komposit bi-kontinu, interpenetrasi, dan kuasi-kontinu. Sebuah mikrostruktur 3D yang terkontrol meningkatkan kemungkinan mengembangkan material dengan kinerja yang lebih unggul dari pada rekan-rekannya yang homogen, dengan setiap fase memberikan karakteristiknya sendiri pada keseluruhan properti komposit [1]. Hasil percobaan telah menunjukkan bahwa komposit dengan mikrostruktur homogen hanya dapat menunjukkan peningkatan kekuatan yang terbatas dan memiliki keuletan yang jauh berkurang. Bagian dalam dari struktur jaringan dapat secara efektif menghalangi nukleasi retak dan perambatan retak. Dibandingkan dengan distribusi seragam dari fase penguatan tradisional, efek pemisahan fase penguatan bisa sangat dikurangi. Oleh karena itu, sensitivitas retak pada struktur jaringan dapat sangat dikurangi [2]. Sebagai jenis bahan struktur teknik canggih, tradisional pemrosesan termomekanis (TMP) termasuk penempaan, ekstrusi dan penggulangan, dapat digunakan untuk memproses MMC untuk mendapatkan keseimbangan kekuatan dan perpanjangan hingga kegagalan. Selain itu, TMP dapat mengubah arah distribusi partikel penguat dan mengeliminasi porositas [3].

2. Material dan Metodologi

2.1. Material

Material yang digunakan dalam *review papers* ini merupakan komposit bermatriks metal dengan berpenguat partikel yang diproduksi dengan berbagai macam proses, seperti: pengecoran, sintering maupun lainnya.

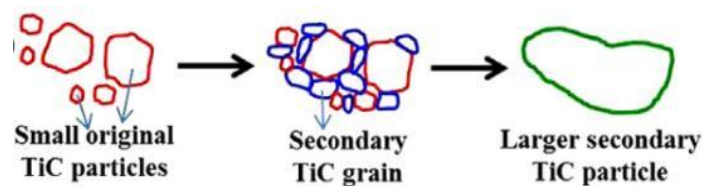
2.2. Metodologi

Jurnal ini merupakan *review papers* dari berbagai jurnal internasional mengenai pengaruh dari perlakuan panas dan proses deformasi panas terhadap perubahan perilaku dari penguat partiel

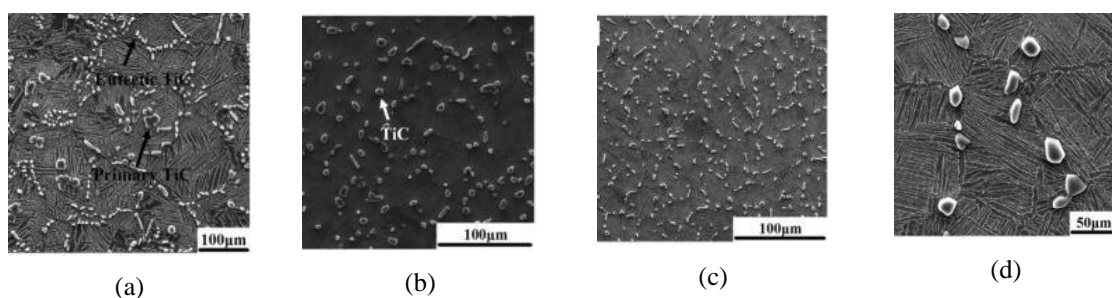
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Perlakuan Panas

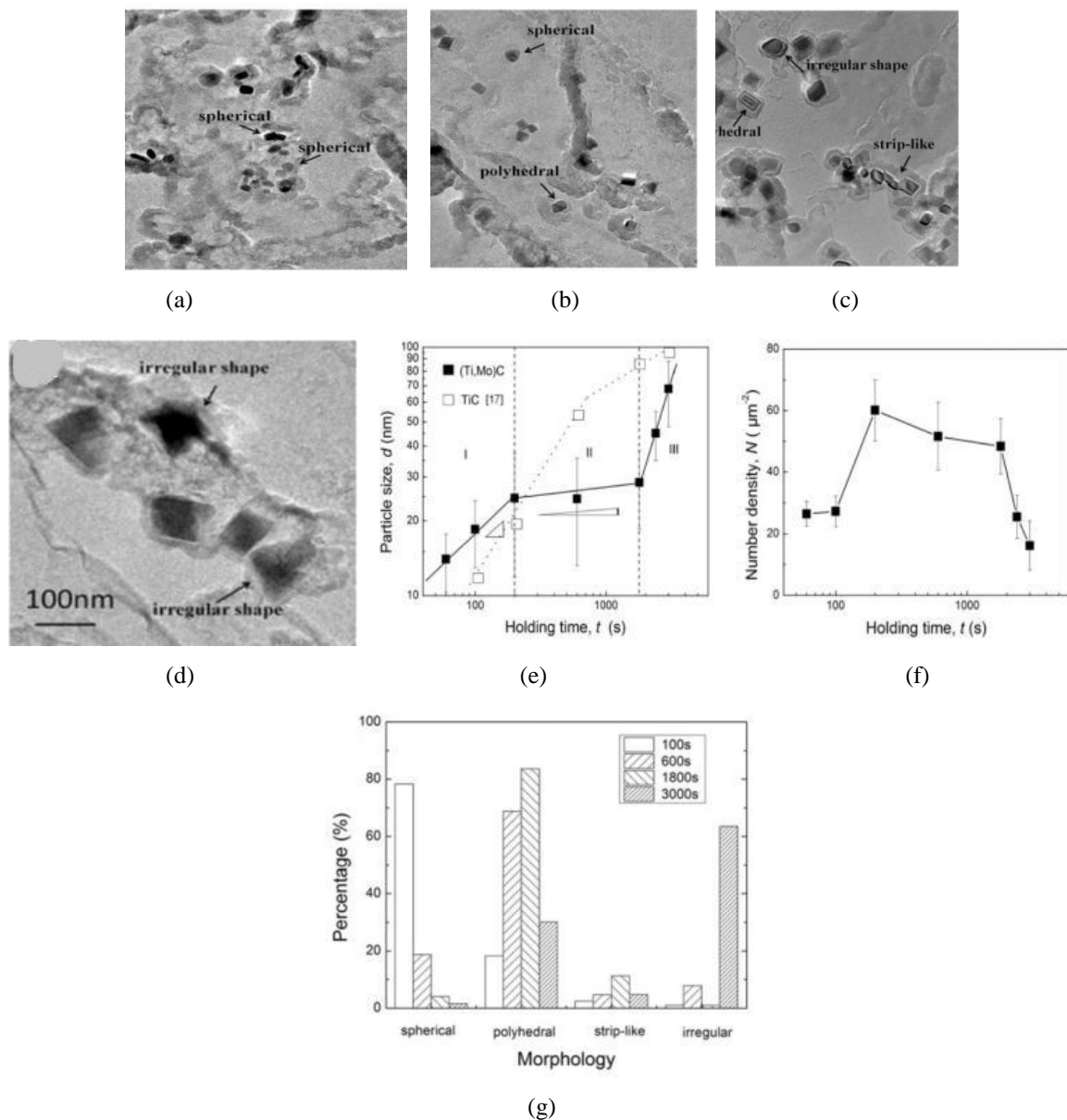
Perubahan bentuk dari partikel penguat dapat terjadi selama proses perlakuan panas yang disebabkan oleh perbedaan temperatur. Mekanisme perubahan bentuk partikel penguat dapat disebabkan oleh mekanisme *reprecipitation*. Proses pertumbuhan atau perubahan bentuk dari partikel disebabkan oleh dua atau lebih partikel penguat bertemu atau dapat terjadi pada partikel yang berdekatan yang bergabung menjadi satu [4–6] (Gambar 1). Perubahan partikel penguat menjadi berukuran lebih besar memiliki dampak negative terhadap penurunan sifat mekanis dikarenakan partikel yang berukuran besar memiliki densitas yang lebih rendah [7–10]. Qi JQ, dkk pada tahun 2015 melakukan sebuah penelitian untuk mendistribusikan ulang partikel penguat dengan cara tiga langkah perlakuan panas. Langkah pertama, komposit dipanaskan pada temperatur 1120°C selama 10 jam lalu didinginkan di udara. Langkah kedua, setelah material dipanaskan hingga 1120°C dan ditahan selama 10 jam, temperatur di turunkan menjadi 1045°C dan ditahan selama 30 jam. Selanjutnya spesimen di letakan dalam furnace dengan temperatur 1120°C selama 5 menit. Spesimen tersebut didinginkan hingga temperature 400°C (langkah 3). Pada langkah pertama (Gambar 2b), partikel penguat berhasil disitribusikan kembali (homogen) dan tidak ditemukan partikel bergerombol. Setelah dilakukan langkah kedua, partikel yang terdistribusi merata berubah menjadi pola jaringan partikel terisolasi (Gambar 2c). Pada langkah ketiga, partkel tidak terdistribusi kembali akan tetapi larut dalam matriks (Gambar 2d) [11]. Perubahan bentuk dari penguat partikel tidak hanya dikarenakan oleh pengaruh temperatur pada saat perlakuan panas, akan tetapi juga oleh waktu penahanan pada saat perlakuan panas [9, 10] (Gambar 3).



Gambar 1. Mekanisme pertumbuhan penguat partikel dengan teori penggabungan [12].



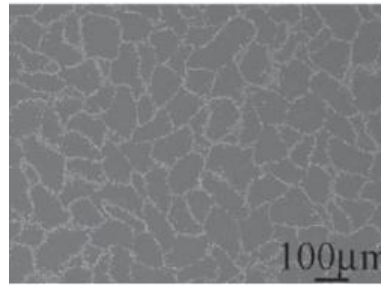
Gambar 2. Pengaruh tiga langkah perlakuan panas terhadap distribusi penguat partikel: (a) as-cast, (b) HT1, (c) HT2, dan (d) HT3 [11].



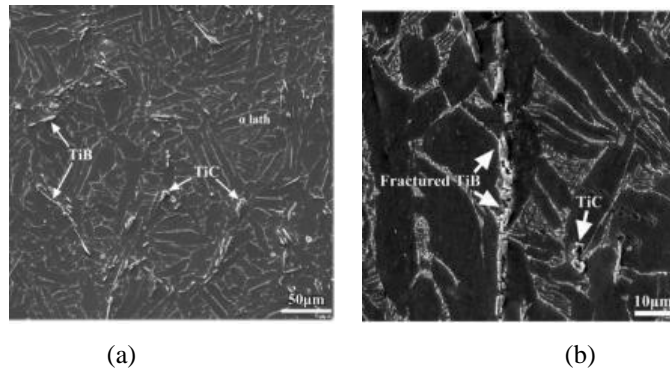
Gambar 3. Pengaruh waktu penahanan pada perlakuan panas terhadap evolusi partikel penguat: (a) 100s, (b) 600s, (c) 1800s, (d) 3000s, (e) pengaruh waktu penahanan terhadap pertumbuhan penguat partikel, (f) pengaruh waktu penahanan terhadap densitas penguat partikel dan (g) pengaruh waktu penahanan terhadap evolusi morfologi dari partikel penguat [9].

3.2. Deformasi Panas

Deformasi plastis dan perlakuan panas merupakan hal yang sangat penting dikarenakan dapat meningkatkan sifat mekanik dari komposit. Hot deformasi telah berhasil merubah pola distribusi dari partikel penguat pada permukaan matriks [7, 13–17]. Ekstrusi panas dan *hot forging* pada komposit akan cenderung membuat partikel penguat terdistribusi secara jaringan partikel terisolasi [18] (Gambar 4) dibandingkan dengan perlakuan penggulungan panas yang akan membuat penguat partikel terdistribusi seperti membentuk sebuah jarum [3, 15] (Gambar 5). Pada saat dilakukan proses deformasi panas, partikel penguat akan cenderung patah dan berubah ukuran partikel dari besar berubah menjadi ukuran kecil yang akan berdampak positif pada sifat mekanik [3, 19].

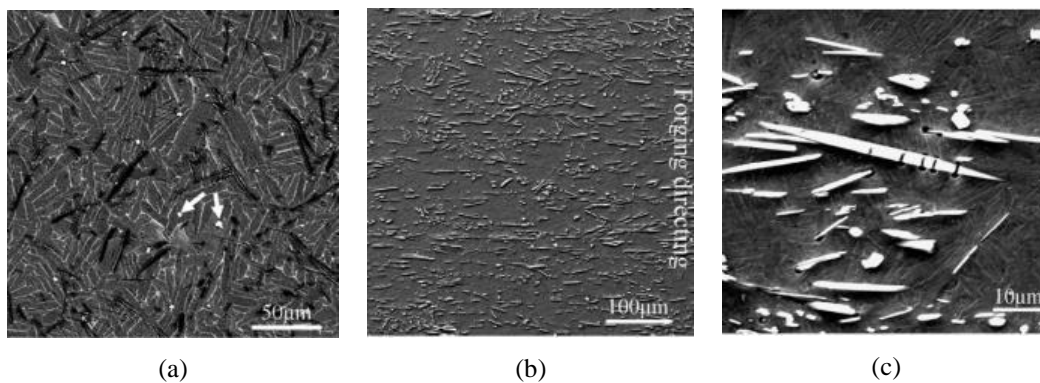


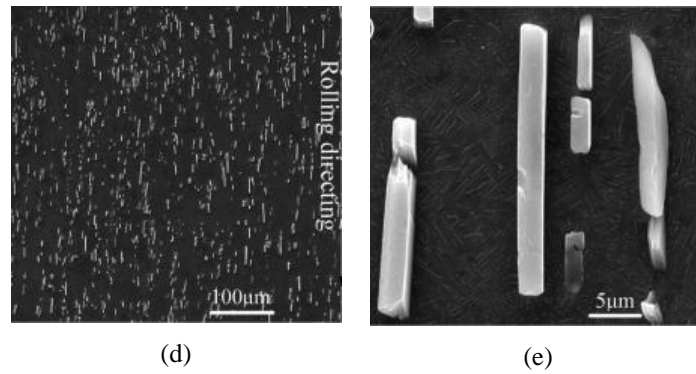
Gambar 4. Mikrostructure setelah ekstrusi panas [18]



Gambar 5. Pengaruh pengerolan panas terhadap distribusi dan morfologi partikel penguat: (a) as-cast, dan (b) setelah pengerolan panas [3]

Zhang C, dkk. [19] melakukan sebuah penelitian untuk meningkatkan atau memaksimalkan bentuk distribusi jarum dari distribusi partikel penguat dengan dua langkah pengerolan panas. Hal tersebut dikarenakan dengan pengerolan panas hanya dilakukan satu kali memiliki suatu kelemahan yaitu distribusi bentuk jarum yang tidak sempurna. Pada pengerolan panas langkah pertama terlihat partikel penguat terdistribusi secara merata dibandingkan dengan *as-cast*. Pola distribusi partikel mengikuti atau searah dengan arah pengerolan (Gambar 6b). Terlihat banyak partikel penguat yang patah menjadi kecil dikarenakan proses pengerolan dan terlihat mikro-porositas pada permukaan matriks (Gambar 6c). hal tersebut disebabkan oleh proses pengerolan yang belum optimum. Setelah dilakukan pengerolan kedua kalinya, pola distribusi menjadi seragam berbentuk jarum dan tidak nampak mikro-porositas pada permukaan matriks. Dengan seragamnya pola distribusi dari partikel penguat dan tidak ditemukannya mikro-porositas, sifat tarik komposit setelah pengerolan dua langkah memiliki nilai tertinggi.



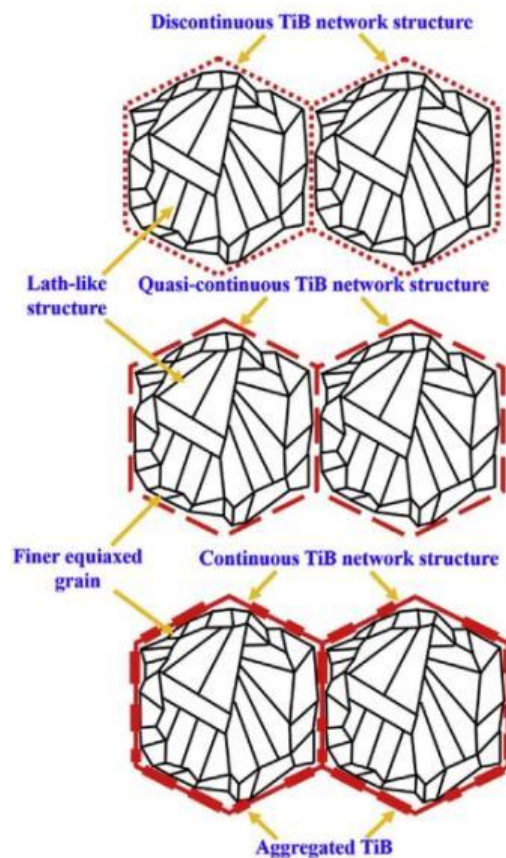


Gambar 6. Pengaruh variasi pengerolan panas pada distribusi partikel penguat: (a) as-cast, (b-c) satu langkah pengerolan panas dan (d-e) pengaruh dua langkah pengerolan panas [19].

3.3. Struktur Jaringan

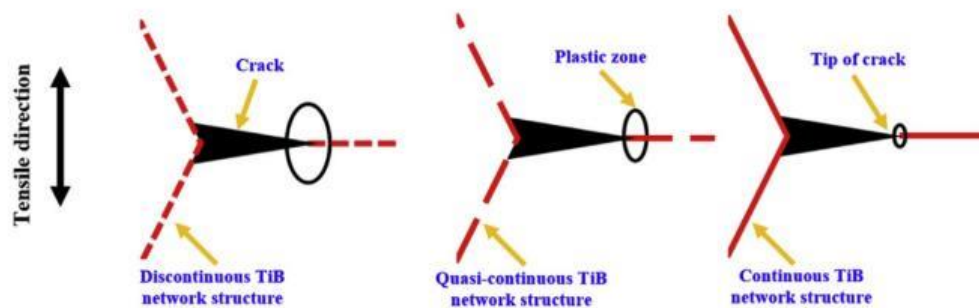
Komposit berpenguat partikel tidak hanya memiliki macam-macam model distribusi partikel, akan tetapi juga memiliki struktur jaringan yang dapat berpengaruh terhadap bertambah atau berkurangnya sifat mekanik dari komposit. Struktur jaringan pada distribusi partikel penguat dibagi menjadi tiga struktur [20] diilustrasikan pada Gambar 7.

- Discontinuous particles network structure,*
- Quasi-continuous particles network structure,*
- Continuous particles network structure.*



Gambar 7. Struktur Jaringan [20]

Perubahan jenis struktur jaringan biasanya disebabkan oleh penambahan berat atau volum jenis partikel penguat dalam komposisi pembuatan komposit, dan juga dapat disebabkan oleh deformasi panas [21-35]. Struktur jaringan sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik dari komposit. *Quasi-continuous particles network structure* memiliki kekuatan tarik yang tinggi dibandingkan dengan dua struktur lainnya. Disebabkan oleh, tegangan yang akan terkonsentrasi pada zona sambungan lemah, khususnya pada antarmuka antara substrat logam lunak dan aglomerasi TiB, karena perbedaan yang signifikan dalam modulus elastisitas dan kekerasan, sehingga menimbulkan pembentukan dan penyebaran retakan di sepanjang struktur jaringan TiB. Peningkatan penambahan penguat partikel tidak hanya meningkatkan kekuatan luluh akan tetapi mengurangi ketangguhan patah, diakibatkan oleh daerah zona plastis D pada ujung retakan disekitar batas jaringan semakin berkurang sehingga terjadi peningkatan laju perambatan retak dan cepat perambatan retak sepanjang struktur jaringan penguat partikel. Di ilustrasikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Ilustrasi dari area zona plastis selama proses patah [20]

4. Kesimpulan

Perlakuan panas dan deformasi panas memiliki peran penting untuk mendistribusikan dan merubah morfologi dari partikel penguat. Perlakuan panas cenderung merubah distribusi partikel akan tetapi memiliki suatu kelemahan yaitu meningkatnya atau tumbuhnya penguat partikel. Sedangkan deformasi panas dapat menutup kelemahan perlakuan panas disebabkan oleh partikel yang berukuran besar akan terbelah menjadi ukuran yang lebih kecil atau pendek. Deformasi panas tidak hanya merubah pola distribusi dari penguat partikel akan tetapi juga merubah struktur jaringan dari pola distribusi partikel yang sangat berpengaruh terhadap kekuatan mekanik.

Daftar Pustaka

- [1] Kaveendran, B., Wang, G. S., Huang, L. J., Geng, L., Luo, Y., H. X. Peng, In situ (Al₃Zr_p+Al₂O₃np)/2024Al metal matrix composite with controlled reinforcement architecture fabricated by reaction hot pressing. *Materials Science and Engineering A*. 2013 Juli; 583: p. 89–95.
- [2] Hua LIN, Y., Heng LIN, Z., Tang CHEN, Q., Ping LEI, Y., Guang FU, H., Laser in-situ synthesis of titanium matrix composite coating with TiB–Ti network-like structure reinforcement. *Transaction of Nonferrous Metals Society of China. (English Ed)*. 2019 April; 29 (8): p. 1665–1676.
- [3] Zhang, C., *et al.*, Effects of direct rolling deformation on the microstructure and tensile properties of the 2.5 vol% (TiB_w+TiC_p)/Ti composites. *Materials Science and Engineering A*. 2017 Desember; 684: p. 645–651.
- [4] Jin, S., Shen, P., Lin, Q., Zhan, L., Jiang, Q., Growth mechanism of TiC_x during self-propagating high-temperature synthesis in an Al-Ti-C System. *Crystal Growth and Design*. 2010 Februari; 10 (4): p. 1590–1597.
- [5] Song, M.S., dkk., Growth of TiC octahedron obtained by self-propagating reaction. *Journal of Crystal Growth*. 2009 Oktober; 311 (2): p. 378–382.

- [6] Jam, A., Nikzad, L., Razavi, M., TiC-based cermet prepared by high-energy ball-milling and reactive spark plasma sintering. *Ceramics International*. Elsevier. 2017 November; 43 (2).
- [7] Yang, H., dkk., High-temperature mechanical properties of 2024 Al matrix nanocomposite reinforced by TiC network architecture. *Materials Science and Engineering A*. 2019 Juli; 763: p. 138121.
- [8] Wang, J., Li, L., Tan, C., Liu, H., Lin, P., Microstructure and tensile properties of TiCp/Ti6Al4V titanium matrix composites manufactured by laser melting deposition. *Journal of Materials Processing Technol.* 2018 Oktober; 252: p. 524–536.
- [9] Wang, Z., dkk., Evolution of (Ti, Mo)C particles in austenite of a Ti–Mo-bearing steel. *Materials and Design*. 2016 Juli; 109: p. 361–366.
- [10] Wang, Z., dkk., Carbide precipitation in austenite of a Ti-Mo-containing low-carbon steel during stress relaxation. *Materials Science and Engineering A*. 2013 Maret; 573: p. 84–91.
- [11] Qi, J.Q., dkk., Superior ductility in as-cast TiC/near- α Ti composite obtained by three-step heat treatment. *Vacuum*. 2016 Januari; 126: p. 1–4.
- [12] Ma, Y., Bao, C., Song, S., Lei, J., Effects of TiC addition on microstructures, mechanical properties and fracture behaviors of porous titanium carbide ceramics. *Ceramics International*. 2018 Juli; 44 (16): p. 19919–19925.
- [13] Yang, H., Zhao, K., Nie, J., Liu, X., The enhanced superplasticity of a 2024 matrix nanocomposite reinforced by TiC particles. *Materials Science and Engineering A*. 2020 Januari; 774: p. 138926.
- [14] Yang, H., Gao, T., Wu, Y., Zhang, H., Nie, J., Liu, X., Microstructure and mechanical properties at both room and high temperature of in-situ TiC reinforced Al–4.5Cu matrix nanocomposite. *Journal Alloys and Compound*. 2018 Juli; 767: p. 606–616.
- [15] Yang, H., dkk., Simultaneously improving strength and ductility for Al–Cu–Mg alloy via threadiness array of TiC nanoparticles,” *Materialia*. 2019 April; 6: p. 100333.
- [16] Lartigue-Korinek, S., Walls, M., Haneche, N., Cha, L., Mazerolles, L., Bonnet, F., Interfaces and defects in a successfully hot-rolled steel-based composite Fe-TiB₂, *Acta Materillia*. 2015 Juli; 98: p. 297–305.
- [17] Rastegari, H. A., Asgari, S., Abbasi, S. M., Producing Ti-6Al-4V/TiC composite with good ductility by vacuum induction melting furnace and hot rolling process. *Materials and Design*. 2011 Juni; 32 (10): p. 5010–5014.
- [18] Huang, L.J., Geng, L., Wang, B., Xu, H. Y., Kaveendran, B., Effects of extrusion and heat treatment on the microstructure and tensile properties of in situ TiBw/Ti6Al4V composite with a network architecture. *Composite Part A*. 2012 November; 43 (3): p. 486–491.
- [19] Zhang, C., Kong, F., Xiao, S., Niu, H., Xu, L., Chen, Y., Evolution of microstructural characteristic and tensile properties during preparation of TiB/Ti composite sheet. *Materials and Design*. 2011 Desember; 36: p. 505–510.
- [20] Cai, C. dkk., In-situ TiB/Ti-6Al-4V composites with a tailored architecture produced by hot isostatic pressing: Microstructure evolution, enhanced tensile properties and strengthening mechanisms. *Composites Part B Eng*. 2019 Januari; 164: p. 546–558.
- [21] Zhang, X., *et al.*, Microstructures and mechanical properties of Fe-28Al-5Cr/TiC composites produced by hot-pressing sintering. *Materials Science and Engineering A*. 2011 Juni; 528 (22–23), p. 6819–6824.
- [22] Liu, S., Liu, D., Effect of hard phase content on the mechanical properties of TiC-316 L stainless steel cermets. *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*. 2019 April; 82: p. 273–278.
- [23] Huang, L., Deng, X., Li, C., Jia, Y., Wang, Q., Wang, Z., Effect of TiC particles on three-body abrasive wear behaviour of low alloy abrasion-resistant steel. *Wear*. 2019 Juli; 434–435, : p. 202971.

- [24] Zhou, Y., Wen, S., Wang, C., Duan, L., Wei, Q., Shi, Y., Effect of TiC content on the Al-15Si alloy processed by selective laser melting: Microstructure and mechanical properties. *Optic and Laser Technology*. 2019 Agustus; 120: p. 105719.
- [25] Narayan, S., Rajeshkannan, A., Workability Behavior of Powder Metallurgy Carbide Reinforced Aluminum Composites during Hot Forging. *Materials and Manufacturing Process*. 2015 Januari; 30 (10): p. 1196–1201.
- [26] Gajakosh, A. K., Keshavamurthy, R., Ugrasen, G., Adarsh, H., Investigation on Mechanical Behavior of Hot Rolled Al7075-TiB₂ In-situ Metal Matrix Composite. *Materials Today Proceedings*. 2018; 5 (11): p. 25605–25614.
- [27] Zhao, Z., Gao, Q., Hou, J., Sun, Z., Chen, F., Determining the microstructure and properties of magnesium aluminum composite panels by hot rolling and annealing. *Journal of Magnesium Alloys*. 2016 Agustus; 4, (3): p. 242–248.
- [28] Bhadauria, A., Singh, L. K., Nayak, S. K., Laha, T., Tensile deformation behavior and strengthening mechanism in graphene nanoplatelet reinforced bimodal grained aluminum nanocomposite synthesized by spark plasma sintering and hot rolling. *Materials Characterization*. 2020 Agustus; 168: p. 110568.
- [29] Nayak, K. C., Date, P. P., Hot deformation flow behavior of powder metallurgy based Al-SiC and Al-Al₂O₃ composite in a single step and two-step uni-axial compression. *Materials Characterization*. 2019 Maret; 151: p. 563–581.
- [30] Hao, S. M., Xie, J. P., Wang, A. Q., Wang, W. Y., Li, J. W., Sun, H. L., Hot deformation behaviors of 35%SiCp/2024Al metal matrix composites. *Transaction of Nonferrous Metals Society of China*. 2014 Maret; 50 (10): p. 2468–2474.
- [31] Pang, J. C., Fan, G. H., Bin Li, A., Geng, L., Microstructure evolution of SiCp/Al-Ti foils during hot rolling and reaction annealing. *Transaction of Nonferrous Metals Society of China (English Ed)*. 2011 Juli; 21: p. s304–s307.
- [32] Hamedan, S. S., Abdi, M., Sheibani, S., Comparative study on hot rolling of Cu-Cr and Cu-Cr-CNT nanocomposites. *Transaction of Nonferrous Metals Society of China (English Ed)*. 2018 Juni; 28 (10): p. 2044–2052.
- [33] Alizadeh, M., Paydar, M. H., Fabrication of nanostructure Al/SiCP composite by accumulative roll-bonding (ARB) process. *Journal Alloys and Compound*. 2009 Desember; 492 (1–2): p. 231–235.
- [34] Ko, B. C., Park, G. S., Yoo, Y. C., Effects of SiC particle volume fraction on the microstructure and hot workability of SiCp/AA 2024 composites. *Journal Materials Processing Technology*. 1999 Mei; 95 (1–3): p. 210–215.
- [35] Zhang, J., Liu, J., Lu, Y., Li, T., Re-rolling technology and alloying-element distribution of carbon fibers reinforced Al-matrix composite. *ournal Materials Processing Technology*. 2020 Januari; 281: p. 116617.