



## Analisis densitas, kekerasan dan struktur kristal paduan Al-Ti yang dibuat menggunakan teknik pemaduan mekanik

Sujianto Sujianto<sup>a,1</sup>, Mohamad Nasrun<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang, Jl. Surya Kencana No.1 Pamulang, Tangerang Selatan, Banten, 15417, Indonesia

<sup>1</sup>E-mail: dosen01286@unpam.ac.id

### INFO ARTIKEL

#### Riwayat artikel:

Diajukan pada 13 September 2020

Direvisi pada 30 September 2020

Disetujui pada 17 Oktober 2020

Tersedia daring pada 15 November 2020

#### Kata kunci:

Serbuk aluminium, sintering, berat jenis, kuat tekan, difraksi sinar-X.

#### Keywords:

Alumina, sintering, density, compressive strength, X-Ray diffraction.

### ABSTRAK

Komponen paduan Al-Ti merupakan bahan yang cukup prospektif yang banyak digunakan sebagai komponen otomotif, komponen selongsong roket dan komponen pada pesawat terbang. Material Al-Ti untuk komponen tersebut masih diimport, padahal bahan baku Al cukup berlimpah di dalam negeri, sehingga hasil penelitian ini diharapkan mampu mendorong tumbuhnya industri material paduan Al-Ti di dalam negeri. Tujuan dari penelitian ini adalah membuat material paduan Al-Ti serta untuk mengetahui pengaruh komposisi Ti terhadap sifat fisis, mekanik dan struktur mikronya. Preparasi sampel Al-Ti dilakukan dengan komposisi Ti yaitu 0%, 2%, 4% dan 6% berat dan dibuat melalui metalurgi serbuk menggunakan mesin *high energy milling* (HEM). Bahan baku yang digunakan adalah serbuk Al murni dan serbuk Ti murni. Proses *milling* dilakukan selama 30 menit. Serbuk yang diperoleh selanjutnya dicetak tekan membentuk pelet dengan tekanan 40 MPa dan selanjutnya dilakukan sintering pada suhu 550°C, 600°C dan 650°C menggunakan *vacuum furnace*. Karakterisasi sampel pelet paduan yang telah dilakukan sintering meliputi pengukuran massa jenis, kekerasan, kuat tekan dan struktur kristal dengan menggunakan XRD. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa penambahan aditif yang optimal adalah 4% dan 6% berat Ti pada suhu sintering 650°C, dimana diperoleh nilai densitas sebesar 2,62 g/cm<sup>3</sup> dan 2,65 cm<sup>3</sup>, kekerasan Vickers sebesar 118,317 Hv dan 119,404 Hv., dan kuat tekan sebesar 1208,35 MPa dan 1225,30 MPa. Hasil XRD teridentifikasi fasa Al sebagai fasa dominan, sedangkan fasa Ti dan Al<sub>3</sub>Ti adalah fasa minor.

### ABSTRACT

Al-Ti alloy components are a material that has a perspective that is widely used as an automotive component, rocket shell components and components in aircraft. Al-Ti material for these components is still imported even though Al-Ti raw materials are quite abundant in the country, so the results of this study are expected to be able to encourage the growth of the Al-Ti alloy material industry in the country. The purpose of this study was to make Al-Ti alloy materials and to determine the effect of Ti composition on physical, mechanical and microstructure properties. Al-Ti sample preparation was carried out with a Ti composition of 0%, 2%, 4% and 6% by weight and was made through powder metallurgy using a high energy milling (HEM) machine. The raw materials used are pure Al powder and pure Ti powder. The milling process was carried out for 30 minutes in dry conditions. The powder obtained was then pressed to form pellets with a pressure of 40 MPa and then sintered at a temperature of 550°C, 600°C and 650°C using a vacuum furnace. Characterization of alloy pellet samples that have been sintered includes measurements of density, hardness, compressive strength and crystal structure using XRD. The results of characterization showed that the optimal addition of additives was 4% and 6% by weight Ti at a sintering temperature of 650°C, where the density values were 2.62 g/cm<sup>3</sup> and 2.65 g/cm<sup>3</sup>, Vickers hardness was 118.317 Hv and 119.404 Hv, and compressive strength amounting to 1208.35 MPa and 1225.30 MPa. XRD results identified the Al phase as the dominant phase, while Ti and Al<sub>3</sub>Ti phases were minor phases.

Tersedia pada: <http://dx.doi.org/10.36055/tjst.v16i2.9078>





## 1. Pendahuluan

Material yang terbuat dari komponen utamanya aluminium menjadi salah satu material logam yang multi fungsi, murah, dan memiliki sifat yang khas yaitu ringan, ulet dan tahan korosi [1]. Penggunaan material tersebut sangat luas misalnya paling umum sebagai pembungkus yang lembut dan sangat ulet hingga ke dalam bentuk komponen atau sebagai material konstruksi [1-2]. Aluminium tergolong material yang sangat strategis tetapi juga merupakan material dengan sifat ringan, lunak, mudah mulur dan tidak kuat, sehingga penggunaan material ini menjadi terbatas. Akan tetapi logam Al tergolong logam yang dapat ditingkatkan sifat-sifatnya melalui paduannya dengan menambahkan elemen-elemen logam lainnya seperti Na, Si, Sr, Sb, dan Ti [3]. Rijab dan Al-Mosawi (2004) melaporkan bahwa proses *alloying* logam Al dengan penambahan 12% Si mampu meningkatkan kekerasan hingga hampir dua kali [3]. Penambahan aditif Ti pada paduan logam Al mampu memperhalus ukuran butiran dan menghasilkan mikrostruktur yang homogen, sehingga paduan Al dengan aditif Ti 1% - 5% dapat memberikan peningkatan kekerasan dan keuletan serta terbentuk fasa  $Al_3Ti$  [4-6]. Paduan Al-Ti tergolong material paduan Al yang dapat diaplikasikan pada suhu tinggi  $\geq 700^\circ C$  dan tekanan  $\geq 350$  bar [7].

Proses paduan mekanik dari logam Al dapat dilakukan dengan beberapa metode, misalnya melalui metode casting, metode pelarutan padat dan melalui metode metalurgi serbuk [8]. Melalui metode *casting* diperlukan suatu energi yang cukup besar sampai terjadi peleburan, selanjutnya melalui proses peleburan diperlukan suatu teknik yang khusus agar terjadi pencampuran bahan yang homogen dan tidak terjadi adanya inklusi yang dapat menyebabkan cacat [9]. Sedangkan melalui metode pelarutan padat merupakan suatu proses *alloying* pada suhu ruang, dimana bahan baku dilakukan proses *milling* pada waktu cukup lama, sehingga melalui tumbukan antar partikel akan terjadi proses difusi dan dapat digunakan untuk produksi kapasitas kecil karena memerlukan waktu *milling* secara mekanik pada waktu yang cukup lama. [10-11]. Sedangkan dengan teknik metalurgi serbuk merupakan suatu proses yang secara umum banyak digunakan pada industri manufaktur komponen dari bahan logam, dimana prosesnya dapat menghasilkan suatu produk yang sesuai ukuran tanpa melalui proses *finishing*, dan dapat di gunakan untuk manufaktur dalam jumlah atau kapasitas yang besar [12-13].

Logam paduan Al dengan menggunakan aditif Ti merupakan bahan yang cukup prospektif yang banyak digunakan sebagai komponen otomotif, komponen selongsong roket dan komponen pada pesawat terbang [14]. Sedangkan logam paduan dengan aditif Si, merupakan logam yang paling banyak digunakan pada bidang otomotif dan konstruksi [15]. Material Al-Ti untuk komponen tersebut masih diimport, padahal bahan baku Al cukup berlimpah di dalam negeri. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh komposisi Ti terhadap sifat fisis, mekanik dan struktur mikro dari paduan Al. Dalam penelitian ini digunakan teknik paduan mekanik logam Al dengan aditif Ti melalui metode metalurgi serbuk. Hasil penelitian ini diharapkan mampu mendorong tumbuhnya industri material paduan Al-Ti di dalam negeri.

## 2. Metodologi Penelitian

### 2.1. Preparasi Paduan Al-Ti

Penelitian tentang pembuatan paduan Al dengan aditif logam Ti ini menggunakan metode metalurgi serbuk dengan bahan baku serbuk Al murni dari E Merch (pa) dan serbuk logam Ti dari E Merch (pa) diperlihatkan pada Gambar 1. Komposisi logam Ti yang ditambahkan pada Al adalah 0%, 2%, 4% dan 6% berat. Kedua bahan baku tersebut ditimbang dengan massa total 25 g, kemudian dimasukkan kedalam tabung vial. Selanjutnya bahan baku tersebut ditempatkan pada mesin *high energy milling* (HEM). Proses *milling* dijalankan selama 30 menit. Selanjutnya campuran serbuk yang telah dicampur tersebut dikeluarkan dari vial dan dicetak membentuk pelet menggunakan cetak tekan dengan alat hidrolik press dengan tekanan 40 MPa dan ditahan selama 5 menit (Gambar 1(c)).

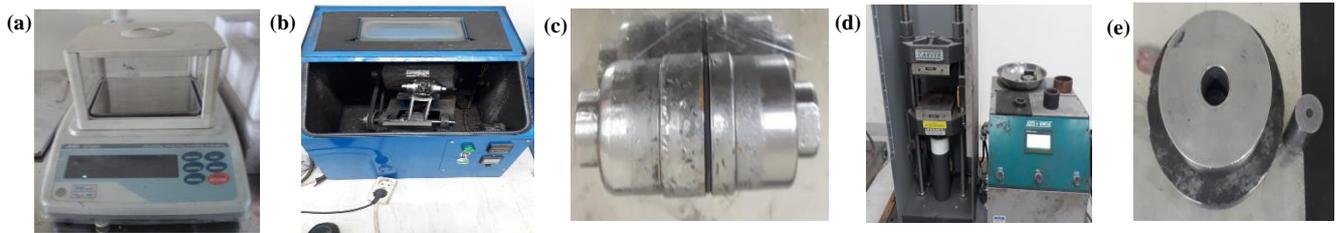


Gambar 1. -(a) Serbuk aluminium; (b) Serbuk titanium; (c) Pelet campuran Al-Ti.

Pelet yang dihasilkan selanjutnya dilakukan sintering menggunakan tungku *vacuum* listrik pada suhu  $550^\circ C$ ,  $600^\circ C$  dan  $650^\circ C$ , dan pada suhu tersebut ditahan selama 1 jam. Sampel pelet yang telah dilakukan sintering selanjutnya dilakukan karakterisasi yang meliputi pengukuran densitas menggunakan metode Archimedes, pengukuran kekerasan Vickers menggunakan *microhardness tester* dengan beban 600 gf, pengukuran kuat tekan menggunakan *universal testing machine* (UTM) dan analisis struktur kristal menggunakan XRD –Rigaku.

### 2.2. Alat-Alat yang Digunakan

Adapun peralatan yang diperlukan dalam preparasi sampel (Gambar 2) meliputi Beaker glass, gelas ukur, petridisk dan spatula, timbangan digital, mesin *high energy milling* (HEM) dan vial, *dies mould*, mesin hidrolik press, *vacuum furnace*, gunting/cutter dan jangka sorong.



Gambar 2. -(a) Timbangan digital; (b) Ball milling; (c) Vial; (d) Mesin hidraulik press; (e) Dies mould.

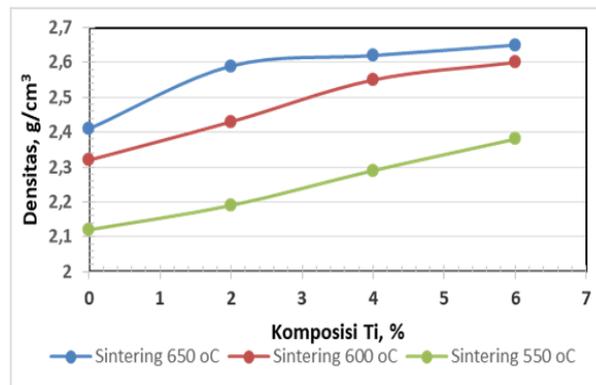
### 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengukuran densitas sampel yang telah dilakukan sintering pada suhu 550°C, 600°C dan 650°C dengan penambahan aditif sebesar 0% , 2% , 4% dan 6% berat Ti diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai densitas sampel pelet Al-Ti yang telah disinterring.

Komposisi Ti (%)	Nilai densitas (g/cm <sup>3</sup> ) pada suhu sintering (°C)		
	500	600	650
0	2,12	2,32	2,41
2	2,19	2,43	2,59
4	2,29	2,55	2,62
6	2,38	2,60	2,65

Berdasarkan hasil pengukuran densitas seperti diperlihatkan pada Tabel 1 dan kurva hubungan densitas terhadap komposisi Ti (Gambar 3), maka diperoleh bahwa semakin tinggi suhu sintering dan semakin besar penambahan aditif Ti maka densitas paduan Al-Ti cenderung meningkat.

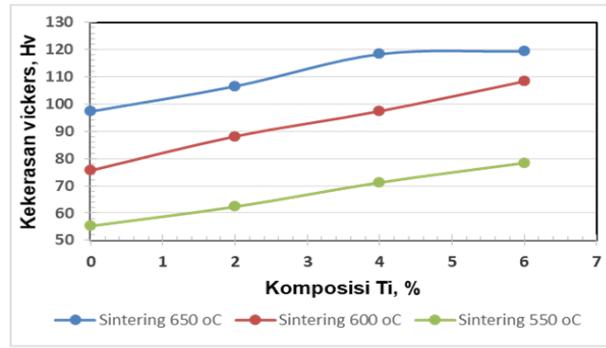


Gambar 3. Kurva hubungan densitas Al-Ti terhadap komposisi Ti.

Sampel dengan suhu sintering pada suhu 550°C dan 600°C, didapatkan nilai densitas masih rendah, yaitu sekitar 2,12 g/cm<sup>3</sup> – 2,60 g/cm<sup>3</sup>, sedangkan nilai densitas tertinggi dicapai pada suhu sintering 650°C pada komposisi 4% Ti dan 6% Ti yaitu masing-masing nilai densitas-nya adalah 2,62 g/cm<sup>3</sup> dan 2,65 g/cm<sup>3</sup>. Hal ini dikarenakan bahwa pada suhu 550°C dan 600°C belum terjadi proses sintering yang optimal. Sedangkan sampel yang telah dilakukan sintering pada suhu 650°C telah mencapai proses sintering yang optimal yang ditandai dengan tercapainya densitas tertinggi. Apabila dibandingkan dengan densitas teoritis logam Al yaitu 2,67 g/cm<sup>3</sup>, maka nilai densitas yang telah tercapai dari penelitian ini sudah mendekati nilai densitas teoritis, atau dapat dikatakan telah tercapai tingkat kepadatan sebesar 99,25 %.

Tabel 2. Nilai kekerasan Vickers sampel pelet Al-Ti yang telah dilakukan sinterring.

Komposisi Ti (%)	Nilai kekerasan (Hv) pada suhu sintering (°C)		
	500	600	650
0	55,26	75,60	97,260
2	62,34	88,14	106,540
4	71,22	97,40	118,317
6	78,40	108,35	119,404

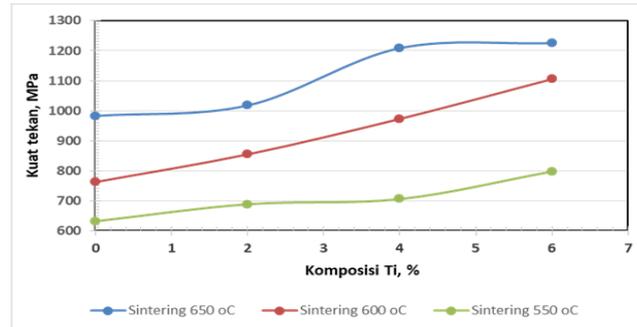


**Gambar 4.** Kurva hubungan kekerasan Vickers pada sampel Al-Ti terhadap komposisi Ti.

Berdasarkan hasil pengukuran kekerasan Vickers, seperti diperlihatkan pada Tabel 2 dan Gambar 4, menunjukkan bahwa nilai kekerasan cenderung meningkat dengan meningkatnya penambahan aditif Ti dan suhu sintering. Hal ini sesuai dengan nilai densitas yang telah diperoleh, bahwa semakin padat material maka nilai kekerasan material tersebut cenderung meningkat. Kekerasan tertinggi dicapai pada sampel dengan aditif Ti sebesar 4% dan 6% pada suhu sintering 650°C yaitu dengan nilai masing-masing adalah 118,317 Hv dan 119,404 Hv. Apabila hasil yang diperoleh dari penelitian ini dibandingkan dengan nilai kekerasan logam Al murni (70 -90 Hv), maka hasil kekerasan yang diperoleh didapatkan hasil yang lebih tinggi dibandingkan dengan nilai kekerasan teoritis. Hasil pengukuran kuat tekan sampel paduan Al-Ti setelah disintering berbagai suhu dan variasi penambahan aditif Ti diperlihatkan pada Tabel 3 dan Gambar 5.

**Tabel 3.** Nilai kuat tekan sampel pelet Al-Ti yang telah dilakukan sintering.

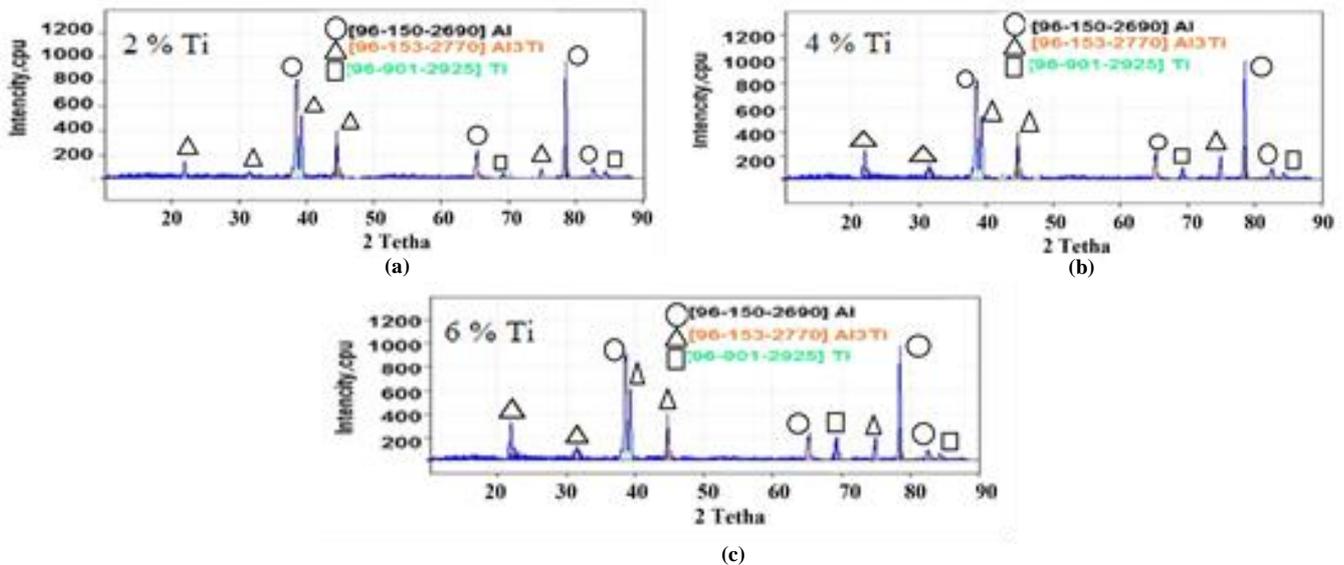
Komposisi Ti (%)	Nilai kuat tekan (MPa) pada suhu sintering (°C)		
	500	600	650
0	631,41	762,10	982,50
2	688,20	854,40	1.017,45
4	705,40	972,56	1.208,35
6	797,34	1.105,33	1.225,30



**Gambar 5.** Kurva hubungan kekerasan Vickers sampel Al-Ti terhadap komposisi Ti.

Berdasarkan hasil yang diperlihatkan pada Tabel 3 dan Gambar 5 menunjukkan bahwa nilai kuat tekan cenderung meningkat dengan meningkatnya suhu sintering maupun prosentase penambahan Ti. Hal ini menunjukkan adanya korelasi dengan nilai densitas, yaitu semakin tinggi nilai densitas maka material akan cenderung semakin padat dan semakin kuat ikatan partikel-partikelnya. Maka berdasarkan hal tersebut, nilai kuat tekannya menjadi semakin besar. Berdasarkan hasil yang diperoleh, bahwa nilai kuat tekan tertinggi dicapai pada sampel dengan aditif Ti sebesar 4% dan 6% dengan suhu sintering 650°C yaitu sebesar 1208,35 MPa dan 1225,30 MPa. Selanjutnya, berdasarkan hasil pengukuran densitas, kekerasan dan kuat tekan, menunjukkan bahwa penambahan aditif Ti dari 4% sampai 6% serta dengan variasi suhu sintering dapat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penguatan paduan Al dengan aditif Ti.

Hasil Pengukuran struktur kristal menggunakan XRD diperoleh pola difraksi sinar-X seperti diperlihatkan pada Gambar 6. Berdasarkan hasil identifikasi fasa menggunakan *software Match* melalui pencocokan data hasil pengukuran dan data *reference* JCPDS maka pada sampel dengan 2% Ti terdapat fasa dominan yaitu fasa Al sebagai puncak tertinggi dan disertai fasa ikutan yaitu fasa Ti dan fasa *intermediet* yaitu fasa Al<sub>3</sub>Ti. Begitu pula untuk sampel dengan 4% Ti maupun 6% Ti, teridentifikasi dengan fasa-fasa yang sama seperti sampel dengan aditif Ti 2%. Hal ini menunjukkan bahwa paduan Al-Ti yang di buat masih memiliki fasa Al sebagai fasa dominan serta fasa Ti dan Al<sub>3</sub>Ti sebagai fasa minor.



Gambar 6. Pola difraksi sinar-X sampel Al-Ti yang disintering 650°C dengan aditif Ti: (a) 2%, (b) 4%, dan (c) 6%.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa telah berhasil dibuat paduan Al-Ti melalui metode metalurgi serbuk, dimana dengan adanya penambahan aditif Ti berhasil meningkatkan sifat-sifat Al khususnya densitas, kekerasan dan kuat tekan. Dari hasil penelitian penambahan aditif yang optimal adalah 6% berat Ti dengan suhu sintering 650°C, dimana diperoleh nilai densitas 2,65 cm<sup>3</sup>, nilai kekerasan Vickers 119,404 Hv dan kuat tekan sebesar 1225,30 MPa. Hasil identifikasi fasa menggunakan XRD diperoleh fasa Al sebagai fasa dominan dan fasa minor adalah Ti dan Al<sub>3</sub>Ti.

#### Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam penyelesaian penelitian ini, terlebih kepada Bpk. Mohamad Nasrun (sebagai anggota), Universitas Pamulang, Ristekdikti yang telah mensponsori pendanaan sehingga penelitian ini bisa selesai.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Davis, J. R. (2001). Understanding the basics of “aluminum and aluminum alloys”. *ASM International*, pp. 351-416.
- [2] Guan, R. G., & Tie, D. (2017). A review on grain refinement of aluminum alloys: progresses, challenges and prospects. *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)*, vol. 30, no. 5, pp. 409-432.
- [3] Rijab, M. A., & Al-Mosawi, A. I. (2014). Improve microstructure of aluminum alloys by modification. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*, vol. 5, no. 6, pp. 62-67.
- [4] Dobrzański, L. A., Labisz, K., & Olsen, A. (2008). Microstructure and mechanical properties of the Al-Ti alloy with calcium addition. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, vol. 26, no. 2, pp. 183-186.
- [5] Khaple, S., Baligidad, R. G., Sankar, M., & V. V. Satya PRASAD. (2010). Effect of melting process and aluminium content on the microstructure and mechanical properties of Fe–Al alloys. *ISIJ international*, vol. 50, no. 10, pp. 1483-1487.
- [6] Urban, P., Ternero, F., Caballero, E. S., Nandyala, S., Montes, J. M., & Cuevas, F. G. (2019). Amorphous Al-Ti powders prepared by mechanical alloying and consolidated by electrical resistance sintering. *Metals*, vol. 9, no. 11, pp. 1140.
- [7] Basuki, E. A., Prajitno, D. H., & Muhammad, F. (2017). Alloys developed for high temperature applications. *In AIP Conference Proceedings*, vol. 1805, no. 1, pp. 020003. AIP Publishing LLC.
- [8] Yadav, M. K., Siddiquee, A. N., & Khan, Z. A. (2020). Characterization of Ti–Al intermetallic synthesized by mechanical alloying process. *Metals and Materials International*, pp. 1-9.
- [9] Rana, R. S., Purohit, R., & Das, S. (2012). Reviews on the influences of alloying elements on the microstructure and mechanical properties of aluminum alloys and aluminum alloy composites. *International Journal of Scientific and research publications*, vol. 2, no. 6, pp. 1-7.
- [10] Jaradeh, M. M. R. (2006). The effect of processing parameters and alloy composition on the microstructure formation and quality of DC cast aluminium alloys [Doctoral Thesis]. *In Materials Processing Department of Material Science and Engineering School of Industrial Engineering and Management KTH-Royal Institute of Technology SE-10044 Stockholm, Sweden*.
- [11] Oleszak, D. (1999). Mechanical alloying—a novel method for synthesis and processing of materials. *Acta Physica Polonica-Series A General Physics*, vol. 96, no. 1, pp. 101-112.
- [12] Zeren, M., & Karakulak, E. (2008). Influence of Ti addition on the microstructure and hardness properties of near-eutectic Al–Si alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 450, no. 1-2, pp. 255-259.
- [13] Dwivedi, D. K. (2013). *Production and Properties of Cast Al-Si Alloys*. New Age international Publisher. ISBN: 978-81-224-3451-4
- [14] Batool, S. A., Ahmad, A., Wadood, A., Mateen, A., & Hussain, S. W. (2018). Development of lightweight aluminum-titanium alloys for aerospace applications. *Key Engineering Materials*, vol. 778, pp. 22-27.
- [15] Soni, A., & Mandloi, R. K. Mechanical and Tribological Behaviour of Artificially Aged (T6) Al-Zn-Mg-Cu Alloy. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, vol. 9, no. 3, pp. 1988-1993.