

Analisis Hasil Double Side Friction Stir Welding pada Aluminium AA6061 dengan Penguat Serbuk Cu terhadap Struktur Mikro

Nur Kholis^{1*} dan Helmy Purwanto²

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Wahid Hasyim, Jl. Menoreh Tengah X/22, Sampangan, Semarang, Indonesia

Email : nurkholis@unwahas.ac.id^{1}; helmypurwanto@unwahas.ac.id²

ARTICLE INFO

Article history:

Received 29 April 2023

Revised 23 may 2023

Accepted 19 June 2023

Available online 27 June 2023

Keyword:

Friction Stir Welding, Makro, Micro Structure, Double Side, Aluminum

Kata Kunci:

Gesekan Pengelasan, Makro, Struktur Mikro, Lapis dua, Aluminium.

Abstract

Welding Friction Stir Welding (FSW) is a simple welding method, namely by utilizing the heat energy generated from the friction of the shoulder tool with the material being welded. FSW which is currently being developed is by adding powdered material to the nugget area to improve weldability. This study aims to determine the results of macro and micro photos of the overlapping area in Double Side Friction Stir Welding (DS-FSW) welding by adding copper (Cu) powder material. The material used is aluminum with code AA6061 and copper (Cu) powder is chosen as the main ingredient. The addition of Cu powder is placed in (single groove) and (double groove). The DS-FSW welding process uses CnC milling with a feed rate parameter of 80 mm/minute and a tools rotation speed of 1000 rpm. Observation of macro photos uses a USB Digital Microscope, while observations of microstructures use optical metallography. The results showed that the macro photos on single groove and double groove parameters both had welding defects including tunnel defects, but tunnel defect defects that have larger dimensions on the double groove parameter. The results of microstructural observations show that the distribution of copper powder in the overlap lies with the parameters of the double groove. This occurs because the location of the FSW pins is symmetrical between the two grooves which are already filled with Cu powder, so that the mixing can be even.

Abstrak

Pengelasan *Friction Stir Welding* (FSW) adalah metode pengelasan sederhana, yaitu dengan memanfaatkan energi panas yang ditimbulkan dari gesekan *shoulder tool* dengan material yang dilas. FSW yang sedang berkembang saat ini adalah dengan menambahkan material serbuk pada daerah *nugget* untuk meningkatkan kemampuan las. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil secara foto makro dan mikro daerah *overlapping* pada pengelasan *Double Side Friction Stir Welding* (DS-FSW) dengan menambahkan material serbuk tembaga (Cu). Material yang digunakan adalah aluminium dengan kode AA6061 dan serbuk tembaga (Cu) dipilih sebagai bahan utama. Penambahan serbuk Cu diletak kan pada (*single groove*) dan (*double groove*). Proses pengelasan DS-FSW menggunakan CnC *milling* dengan parameter *feed rate* 80 mm/menit dan kecepatan putaran *tools* 1000 rpm. Pengamatan foto makro menggunakan USB Digital Mikroskop, sedangkan pengamatan struktur mikro menggunakan *Metallography optic*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa foto makro pada parameter *single groove* dan *double groove* sama –sama mengalami cacat pengelasan diantaranya adalah *tunnel defect*, namun cacat *tunnel defect* yang memiliki dimensi lebih besar pada parameter *double groove*. Hasil observasi struktur mikro menunjukkan distribusi serbuk tembaga pada *overlap* terletak para parameter *double groove*, hal tersebut terjadi karena letak *pin* FSW berada simetris antara dua *groove* yang sudah terisi serbuk Cu, sehingga pengadukannya bisa merata.



I. Pendahuluan

Pengelasan merupakan metode penyambungan dua material dengan cara melelehkan sebagian material utama dan logam pengisi atau tanpa logam pengisi. Proses penyambungan pada kondisi padat, karena berlangsung pada *temperature* sebelum titik lebur dari logam yang akan disambung. Pengelasan material atau logam yang banyak digunakan salah satunya jenis logam aluminium. Material Aluminium (Al) merupakan material *non ferrous*. Aluminium memiliki sifat – sifat keunggulan, diantaranya adalah tahan terhadap korosi, penghantar panas dan penghantar listrik yang cukup baik serta ringan[1]. Material aluminium sangat banyak dibutuhkan di dunia industri, akan tetapi masih mempunyai kendala pada kemampuan lasnya, dengan demikian memerlukan metode pengelasan yang tepat. Pemilihan metode pengelasan yang dapat menyambungkan material aluminium dengan hasil kemampuan las yang baik. Pengelasan dalam dunia industri modern perkembangannya semakin pesat, yaitu pengelasan pada industri yang bergerak dalam bidang transportasi, perkapalan, kereta api, automotif, dan konstruksi. Semua aplikasi teknik pengelasan industri membutuhkan hasil las yang berkualitas[2].

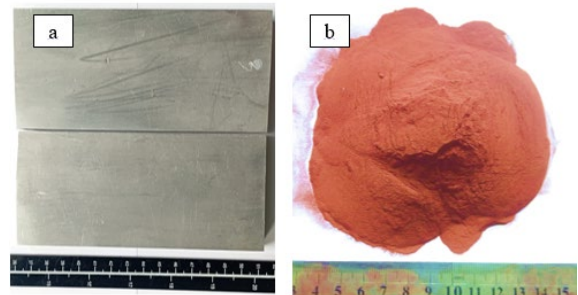
Pengelasan *Friction Stir Welding* (FSW) sangat sederhana, yaitu dengan memanfaatkan energi panas yang ditimbulkan dari gesekan *shoulder tool* dengan material yang dilas. Energi panas hasil gesekan tersebut berubah menjadikan material yang plastis. Parameter–parameter standarisasi FSW, dalam hal ketebalan pelat, kecepatan putar *tool*, kecepatan laju las, dimensi *tool* dan jenis material saat ini belum ada[3][4][5], sehingga parameter pengelasan FSW masih dilakukan rekayasa parameter berbagai uji coba pengelasan. Metode FSW telah digunakan untuk menggabungkan berbagai material diantaranya adalah aluminium paduan, tembaga paduan, baja dan kombinasi berbagai material [6][7]. Selain itu, metode ini juga digunakan untuk memperbaiki difusi suatu material. FSW pada pelat aluminium guna menghasilkan kemampuan las yang berkualitas dan kekuatan sambungan las yang tinggi, beberapa penelitian terdahulu telah dilakukan dengan menambahkan nanoparticle SiC, B₄C, TiC [8].

Proses *Single Side Friction Stir Welding* (SS-FSW) dengan penambahan nanoparticle *single groove*, jenis *grove*, *single pass* dan *double pass* telah lakukan[9] [10]. *Single groove*, jenis *grove*, *single pass* dan *double pass* masih banyak cacat dan distribusi *nanoparticle* tidak merata[11]. Proses *Double Side Friction Stir Welding* (DS-FSW) menjadi metode menghilangkan cacat pada las dan meningkatkan distribusi partikel pada *zona nugget* [12]. Diantara partikel penguat, partikel Cu memiliki karakteristik yang berguna, seperti meningkatkan sifat fisis dan mekanik material[10]. Ashu Garg meneliti pengaruh serbuk Cu pada *single* dan *double pass* FSW. Menurut beberapa uraian beberapa jurnal tentang DS-FSW, bahwa penelitian tentang pengaruh penambahan serbuk Cu pada daerah *Overlapping* merupakan hal yang baru. Pada penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh

penambahan serbuk Tembaga (Cu) pada daerah *overlapping* terhadap Foto makro dan struktur mikro.

II. Metode

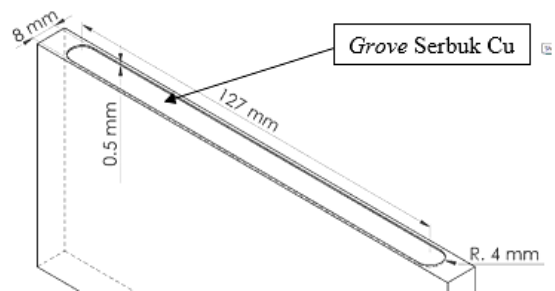
Material yang digunakan pada penelitian adalah Aluminium dengan kode AA6061 dan dilakukan pemotongan dengan ukuran 150 x 70 x 10 mm. Material penguat pada daerah *overlapping* menggunakan serbuk tembaga (Cu) murni dengan ukuran 12µm, disajikan pada **Gambar 1(a,b)**. Kandungan komposisi kimia pada aluminium paduan ditunjukkan pada tabel 1. Dimensi *grove* sebagai tempat serbuk Cu panjang 135, lebar 8 dan kedalaman 0.5 mm, ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 1. a) Material Aluminium AA6061, b) Serbuk Tembaga (Cu)

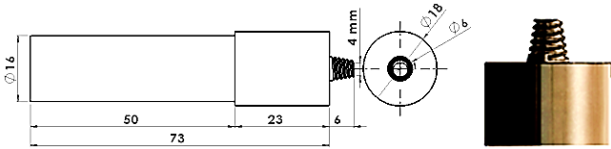
Tabel 1. Komposisi Kimia Al AA6061

Si	Fe	Cu	Cr	Zn	Ti
0.4-0.8	0.7	0.15-0.40	0.04-0.35	0.25	0.15



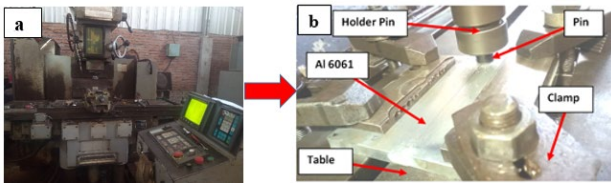
Gambar 2. Dimensi *Grove Serbuk Cu*

Material baja yang digunakan untuk Pin FSW adalah jenis *Steel Chromium Molybdenum 440* (SCM 440) dan dikenal juga sebagai jenis baja minyak. Pin yang digunakan dalam proses FSW adalah jenis *Threaded Tapered* dengan diameter *pin* 6 mm[13], diameter *shoulder* 18 mm dan panjang *shoulder* 23 mm, ditunjukkan pada **Gambar 3**. Parameter pada Proses FSW adalah *rotation pin* 1000 rpm, *federate* 80 mm/menit, Parameter tersebut mengacu dengan penelitian yang pernah dilakukan oleh Rahmatian [9].



Gambar 3. Desain dan dimensi tool FSW

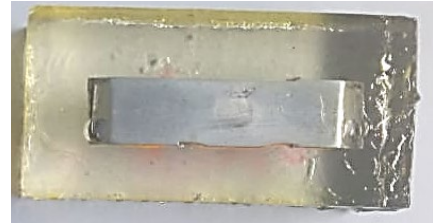
Mesin yang dipergunakan untuk proses *running* FSW adalah Universal Milling Machine Merk Matsuura MC-1000V, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4(a). Alat pengukur suhu yang terjadi saat pengelasan ialah *infrared thermometer*. Proses persiapan FSW dimulai dengan mempersiapkan kelengkapan sesuai dengan kebutuhan diantaranya adalah material aluminium AA6061, Tool Pin FSW, Backing plat, dan milling clamp. Tool Pin FSW dipasang pada Holder pin dan logam aluminium diletakkan pada meja milling. Tool pin diatur pada posisi *weld line* yang merupakan batasan antara dua buah pelat material aluminium, milling machine dijalankan dengan mengacu parameter yang digunakan peneliti yaitu putaran tool sebesar 1000 rpm dengan *federate* 80 mm/menit. Penetrasi searah sumbu y dilakukan secara otomatis pada mesin milling dengan kedalaman *shoulder* 0.5 mm. Pada saat penetrasi tool ke dalam material aluminium, dilakukan penahanan beberapa menit dan baru kemudian tool dijalankan pada jalur *weld line*. Skematik pengelasan FSW ditunjukkan pada Gambar 4(b).



Gambar 4. a), Universal Milling Machine, b) Schematic FSW

Material untuk pengujian *morphology metallography* adalah Cross section material dengan ukuran 30 x 10 mm, ditunjukkan pada Gambar 5. Semua material untuk pengujian *metallography* dilakukan persiapan dengan cara di *mounting* menggunakan resin,

kemudian dipoles dengan menggunakan ampelas *grade* 120, 220, 400, 800, 1000, 1500, 2000, 5000 dan di *finishing* menggunakan Autosol. Spesimen struktur mikro selanjutnya dilakukan *etching* menggunakan standar ASTM E407-07 no. 3 diantaranya adalah 2 mL HF, 5mL HNO₃, 3 mL HCL dan 190 mL Aquades [14], kemudian dilakukan pengamatan makro dan mikro.

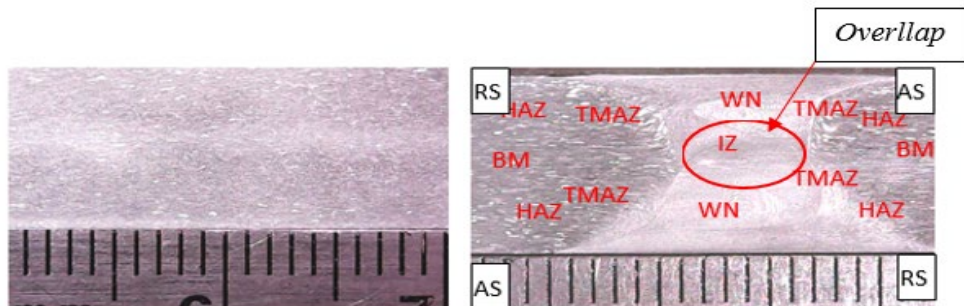


Gambar 5. Cross Section Material

III. Hasil dan Pembahasan

III.1. Foto Makro

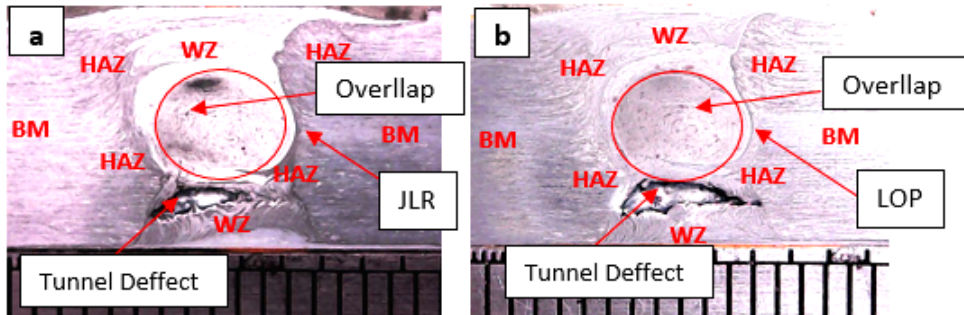
Pada Gambar 6(a) merupakan penampang *raw material*, terlihat secara makro terlihat butiran-butiran halus, hal tersebut terjadi karena tidak ada perlakuan pengelasan FSW. Hasil foto makro penampang spesimen tanpa grove, terlihat halus, tanpa cacat pengelasan. Pada hasil pengelasan DS-FSW tersebut terbagi menjadi 5 bagian, namun pada penelitian ini terfokus pada daerah *overlapping/interference Zone* (IZ) yang terjadi pada pertemuan root sambungan sisi ganda, hal tersebut terjadi karena pengadukan kembali akibat pengelasan *double side* dengan menggunakan panjang pin yang melebihi setengah dari tebal pelat. Adapun bagian-bagian yang lain adalah daerah *Weld Nugget* (WN), daerah *Thermomechanically Affected Zone* (TMAZ), daerah HAZ, dan yang terakhir adalah *base metal*.



Gambar 6. a). Raw Material, b). Tanpa grove

Pada Gambar 7(a) hasil foto makro material pengelasan *single Grove* dengan penambahan serbuk tembaga (Cu), terlihat bahwa terjadinya beberapa cacat dari hasil pengelasan antara lain yaitu *Joint-Line Remnant* (JLR) dan *Tunnel Defects*. Cacat JLR disebabkan karena terjadinya penetrasi *tool pin* FSW yang kurang dalam, sehingga logam tidak terdeformasi secara sempurna. Adapun cacat *Tunnel Defect* biasanya terjadi di bawah daerah *Stir Zone* (SZ) sampai TMAZ. Faktor-faktor yang menyebabkan cacat *tunnel defect* yaitu berkurangnya volume material dan kurang padatnya penambahan serbuk tembaga (Cu),

rotasi *tools* dan kecepatan pengelasan[15]. Cacat *tunnel defect* juga timbul karena logam plastis tidak cukup mengisi pada lubang yang besar. Pada gambar 7(b) hasil foto makro material *Double Grove* memperlihatkan beberapa cacat pada pengelasan antara lain *Lack of Penetration* (LOP) dan *tunnel defects*. Cacat *Tunnel defects* ternyata memiliki ukuran/ dimensi yang lebih besar. Ukuran/ Dimensi *tunnel defects* yang lebih besar terjadi karena suhu yang timbul pada daerah *Stir Zone* (SZ) rendah, material tidak terdeformasi secara optimal ke arah daerah *grove* yang masih kosong[16].

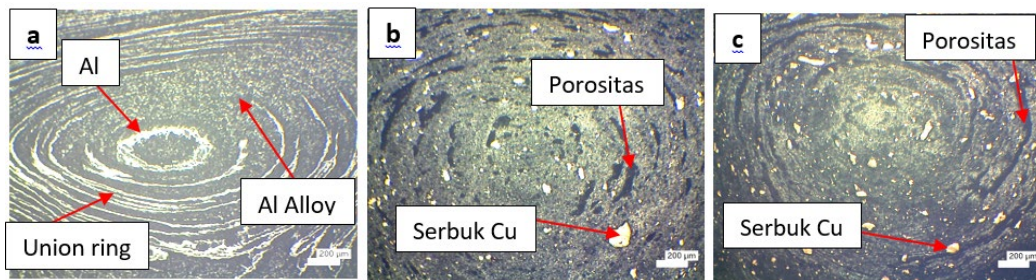


Gambar 7. Foto makro, a). *Single Grove*, b). *Double Grove*

III.2. Struktur Mikro

Pada gambar 8 merupakan penjelasan distribusi serbuk tembaga (Cu) pada daerah *overlap*. Teknik atau metode yang digunakan dalam pengamatan struktur mikro

menggunakan *Metallography Optic*, untuk melihat persebaran serbuk tembaga (Cu). Fenomena struktur mikro yang terjadi pada daerah *overlap* membentuk formasi *Onion ring*, fenomena tersebut terjadi karena puntiran *pin* yang panjangnya melebihi setengah tebal dari material[17].



Gambar 8. Distribusi Partikel Cu pada *Overlap* (*Metallography Optic*)

Pada hasil pengamatan tersebut menunjukkan bahwa DS-FSW pada *double groove* terlihat pada Gambar 8(c) persebaran serbuk tembaga (Cu) pada daerah *overlap* terlihat lebih banyak dan merata, dibandingkan dengan yang terlihat pada DS-FSW *single Grove* pada Gambar 8(b). Meratanya distribusi serbuk pada parameter *double groove* terjadi karena *pin / probe shoulder* berputar ditengah-tengah *grove* yang kanan dan kiri sudah terisi serbuk tembaga (Cu). Berbeda dengan hasil pada parameter *single groove*, adapun *pin / probe shoulder*

terletak di sebelah kanan *grove* atau didaerah *retreating side* (RS) yang terisi serbuk tembaga, berbeda dengan hasil pada parameter *single groove*, adapun *pin / probe shoulder* terletak di sebelah kanan *grove* atau didaerah *retreating side* (RS) yang terisi serbuk tembaga (Cu), maka ketika *pin* berputar terjadi adukan ke belakang atau berlawanan arah jarum jam. Arah adukan ke belakang atau berlawanan arah jarum jam mengakibatkan *deformasi* plastis pada material tidak bisa optimal menuju daerah *advancing side* (AS) [10]. Pada Gambar 8(a) terlihat

paduan Al-Mg-Si berputar yang membentuk pola *onion ring pattern*, karena memang tidak adanya *grove* dan penambahan serbuk tembaga (Cu).

IV. Kesimpulan

Pengamatan foto makro memperlihatkan terjadinya cacat pada hasil pengelasan, baik pada parameter *single* dan *double grove*. Cacat pada hasil pengelasan itu terjadi akibat tekanan *pin* yang kurang dalam dan suhu yang dihasilkan rendah, sehingga kondisi material yang sudah plastis tidak mampu mengisi ruang yang kosong. Struktur mikro *double grove* pada daerah *overlap* terlihat porositas yang memanjang searah medan *union ring*. Adapun persebaran serbuk tembaga lebih banyak dan merata, hal tersebut terjadi karena *pin/probe shoulder* berputar di tengah-tengah *grove* yang kanan dan kiri sudah terisi serbuk tembaga (Cu). Hasil pengamatan struktur mikro pada parameter *single grove* di area *overlapping* terlihat porositas lebih sedikit di area *union ring*, sedangkan distribusi serbuk tembaga lebih sedikit, hal tersebut terjadi karena *pin* berputar terjadi adukan ke belakang atau berlawanan arah jarum jam. Arah adukan ke belakang atau berlawanan arah jarum jam mengakibatkan deformasi plastis pada material tidak bisa optimal menuju daerah AS.

Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih kepada Laboratorium Material Teknik, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Wahid Hasyim Semarang yang telah memberikan fasilitas dalam menyelesaikan penelitian ini.

Referensi

- [1] R. S. Mishra and Z. Y. Ma, "Friction stir welding and processing," *Mater. Sci. Eng. R Reports*, vol. 50, no. 1–2, pp. 1–78, 2005, doi: 10.1016/j.mserr.2005.07.001.
- [2] E. Kristianto and A. D. Anggono, "Analisis Sifat Mekanik dan Struktur Mikro pada Sambungan Las Aluminium dengan Variasi Filler Menggunakan Metode Friction Stir Welding (FSW)." Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2017.
- [3] N. Kholis, H. Purwanto, G. P. Annanto, and M. A. E. Jatmiko, "The Effect of Tool Rotation on Structure and Mechanical Properties in Friction Stir Welding Of Aluminum AA5052," *J. Mod. Mech. Eng. Technol.*, vol. 9, pp. 83–89, 2022, doi: 10.31875/2409-9848.2022.09.10.
- [4] H. A. Derazkola, A. Simchi, and F. Lambiase, "Friction stir welding of polycarbonate lap joints: relationship between processing parameters and mechanical properties," *Polym. Test.*, vol. 79, p. 105999, 2019.
- [5] R. Kumar, S. Singh Bhadauria, V. Sharma, and M. Kumar, "Effect on microstructure and mechanical properties of single pass friction stir welded aluminium alloy AA-7075-T651 joint," *Mater. Today Proc.*, no. December 1991, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.10.111.
- [6] N. Kashaev, V. Ventzke, and G. Çam, "Prospects of laser beam welding and friction stir welding processes for aluminum airframe structural applications," *Journal of Manufacturing Processes*. 2018, doi: 10.1016/j.jmapro.2018.10.005.
- [7] L. Shi, X. Dai, C. Tian, and C. Wu, "Effect of splat cooling on microstructures and mechanical properties of friction stir welded 2195 Al–Li alloy," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 858, no. June, 2022, doi: 10.1016/j.msea.2022.144169.
- [8] D. R. Ni, D. L. Chen, D. Wang, B. L. Xiao, and Z. Y. Ma, "Influence of microstructural evolution on tensile properties of friction stir welded joint of rolled SiCp/AA2009-T351 sheet," *Mater. Des.*, vol. 51, pp. 199–205, 2013, doi: 10.1016/j.matdes.2013.04.027.
- [9] B. Rahmatian, K. Dehghani, and S. E. Mirsalehi, "Effect of adding SiC nanoparticles to nugget zone of thick AA5083 aluminium alloy joined by using double-sided friction stir welding," *J. Manuf. Process.*, vol. 52, no. October 2019, pp. 152–164, 2020, doi: 10.1016/j.jmapro.2020.01.046.
- [10] A. Garg and A. Bhattacharya, "Influence of Cu powder on strength, failure and metallurgical characterization of single, double pass friction stir welded AA6061-AA7075 joints," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 759, no. January, pp. 661–679, 2019, doi: 10.1016/j.msea.2019.05.067.
- [11] M. Raturi, A. Garg, and A. Bhattacharya, "Joint strength and failure studies of dissimilar AA6061-AA7075 friction stir welds : Effects of tool pin , process parameters and preheating," *Eng. Fail. Anal.*, vol. 96, no. August 2018, pp. 570–588, 2019, doi: 10.1016/j.engfailanal.2018.12.003.
- [12] X. G. Chen, M. da Silva, P. Gougeon, and L. St-

- Georges, “Microstructure and mechanical properties of friction stir welded AA6063-B4C metal matrix composites,” *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 518, no. 1–2, pp. 174–184, 2009, doi: 10.1016/j.msea.2009.04.052.
- [13] I. HEJAZI and S. E. MIRSALEHI, “Effect of pin penetration depth on double-sided friction stir welded joints of AA6061-T913 alloy,” *Trans. Nonferrous Met. Soc. China (English Ed.)*, vol. 26, no. 3, pp. 676–683, 2016, doi: 10.1016/S1003-6326(16)64158-4.
- [14] S. Practice, “Standard Practice for Microetching Metals and Alloys ASTM E-407,” vol. 07, no. Reapproved 2015, pp. 1–22, 2016, doi: 10.1520/E0407-07R15E01.2.
- [15] R. Zettler, T. Vugrin, and M. schmücker, “Effects and defects of friction stir welds,” in *Friction Stir Welding: From Basics to Applications*, 2009.
- [16] P. Podržaj, B. Jerman, and D. Klobčar, “Welding defects at friction stir welding,” *Metalurgija*, vol. 54, no. 2, pp. 387–389, 2015.
- [17] R. Chandran and S. K. V. Santhanam, “Submerged friction stir welding of 6061-T6 aluminium alloy under different water heads,” *Mater. Res.*, vol. 21, no. 6, 2020, doi: 10.1590/1980-5373-mr-2017-1070.