

PENGARUH VARIASI *OFFSET* DAN *GEOMETRY* PAHAT KEKUATAN *IMPACT* PADA HASIL SAMBUNGAN LAS *DOUBLE SIDE FRICTION STIR WELDING* ALUMINIUM AA6061

*Ariq Hideo¹, Sulardjaka², Norman Iskandar²

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: hideoa297@gmail.com

Abstrak

Double Side Friction Stir Welding (DS-FSW) merupakan pengembangan dari teknik FSW konvensional yang dilakukan dari dua sisi pelat kerja secara berurutan, dengan tujuan memperbaiki homogenitas pengadukan material dan memperkuat kualitas sambungan, khususnya pada pelat tebal. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi geometri pahat lingkaran dan offset pin (0 mm, 2 mm, 4 mm) terhadap kekuatan impak dan struktur mikro sambungan DS-FSW pada material aluminium AA6061-T6. Proses pengelasan dilakukan dari sisi atas dan bawah pelat secara bergantian, sehingga menghasilkan zona adukan ganda (*dual stir zone*) yang berpotensi meningkatkan ikatan antar butiran logam. Pengujian dilakukan menggunakan uji impak Charpy. Hasil menunjukkan bahwa penggunaan metode DS-FSW mampu mengurangi cacat pengelasan seperti void dan lack of fusion dibandingkan FSW satu sisi, serta memberikan distribusi panas yang lebih merata. Kombinasi geometri pahat segitiga dengan offset 2 mm terbukti menghasilkan nilai impak tertinggi. Penelitian ini mengonfirmasi keunggulan metode DS-FSW dalam meningkatkan performa sambungan khususnya pada aplikasi pelat tebal berbahan aluminium.

Kata kunci: aluminium aa6061-t6; *double side friction stir welding*; fsw; geometri pahat; *impact*; offset

Abstract

Double Side Friction Stir Welding (DS-FSW) is an advancement of the conventional FSW technique, performed sequentially from both sides of the workpiece to improve material stirring homogeneity and enhance weld quality, especially for thick plates. This study aims to evaluate the effect of circular tool geometry and pin offset variations (0 mm, 2 mm, 4 mm) on the impact strength and microstructure of DS-FSW joints in AA6061-T6 aluminum material. The welding process is carried out alternately from the top and bottom sides of the plate, resulting in a dual stir zone that potentially improves grain bonding. Impact testing was conducted using the Charpy method. The results show that DS-FSW effectively reduces welding defects such as voids and lack of fusion compared to single-side FSW, while providing a more uniform heat distribution. The combination of a triangular tool geometry with a 2 mm offset was found to produce the highest impact strength. This study confirms the advantages of the DS-FSW method in improving joint performance, particularly for thick-section aluminum applications.

Keywords: Aluminium AA6061-T6; *Double Side Friction Stir Welding*; FSW; Impact; Offset; Tool Geometry

1. Pendahuluan

Siswanto, (2011) menyatakan pengelasan (welding) adalah teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan logam kontinyu [2]. Salah satu metode pengelasan adalah friction stir welding (FSW). Friction stir welding (FSW) dikembangkan dan dipatenkan di The Welding Institute (TWI), Cambridge, Inggris, pada tahun 1991 sebagai teknik penyambungan dalam keadaan padat. Awalnya, metode ini digunakan untuk material dengan titik leleh rendah, seperti paduan aluminium (Al), magnesium (Mg), dan tembaga (Cu). Namun, dengan selalu adanya perkembangan metode friction stir welding (FSW) diperluas untuk mengelas material dengan titik leleh tinggi sekalipun [12].

Salah satu keunggulan dari metode friction Stir Welding (FSW) ini adalah efisien dalam penggunaan energi, ramah lingkungan, dan serbaguna. Keunggulan utama dari metode ini meliputi distorsi yang rendah, tidak adanya cacat terkait pelelehan, serta kekuatan sambungan yang tinggi. Bahu (shoulder) dan pin merupakan bagian penting dari alat FSW yang dirancang untuk menjalankan tiga fungsi utama, yaitu: (i) menghasilkan panas gesekan dan deformasi untuk melunakkan material kerja di sekitar dan di depan pin, (ii) mengontrol aliran material guna menghasilkan sambungan bebas cacat, serta (iii) menahan material panas di bawah bahu alat [12].

Teknik yang digunakan dalam metode friction stir welding (FSW) adalah dengan menyambung dua atau lebih bagian logam dengan tujuan meningkatkan sifat mekaniknya. Sifat sambungan logam yang dihasilkan, seperti yield strength dan tensile strength, dapat bervariasi tergantung pada kecepatan rotasi alat, kecepatan transversal atau kecepatan maju, serta gaya aksial yang diterapkan. Metode penyambungan ini dapat digunakan untuk menyatukan material dengan struktur polimer serupa maupun berbeda dalam industri.

Selain itu, proses ini juga memungkinkan pengelasan pelat tebal dengan produktivitas tinggi. Sambungan yang dihasilkan melalui FSW memiliki sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan dengan metode pengelasan fusi [7].

Metode FSW didasarkan pada panas yang dihasilkan oleh gesekan antara alat dan dua bagian yang akan dilas dan deformasi plastik yang kuat pada material. Keorisimilan dari metode ini adalah dari metode ini adalah kemampuannya untuk mengelas dalam keadaan padat, karena selama proses berlangsung, titik leleh material logam tidak tercapai [8]. Sebagai metode penyambungan dalam keadaan padat, friction stir welding (FSW) menggunakan pahat dengan pin yang terbuat dari material yang lebih keras dibandingkan permukaan material dasar. Pin ini menghasilkan gerakan siklik relatif antara pahat dan material dasar. Panas gesekan yang dihasilkan oleh pin akan mengaduk material dasar sehingga menciptakan daerah plastis di sekitar pin. Setelah gerakan siklik relatif dihentikan, material plastis tersebut akan mengalami pendinginan dan memadat kembali di sekitar pin [8].

Berdasarkan paparan di atas, dapat disimpulkan bahwa Friction Stir Welding (FSW) merupakan metode pengelasan dalam keadaan padat yang menawarkan keunggulan signifikan dalam hal efisiensi energi, ramah lingkungan, dan kualitas sambungan yang tinggi. Namun, performa hasil pengelasan sangat dipengaruhi oleh parameter proses, termasuk variasi geometri pahat dan offset pin. Penelitian mengenai pengaruh kedua parameter tersebut terhadap kualitas sambungan, nilai impact, dan struktur mikro pada material AA6061-T6 masih memerlukan kajian lebih mendalam untuk memahami mekanisme deformasi material dan distribusi panas yang optimal. Oleh karena itu, penelitian ini penting dilakukan untuk mengidentifikasi konfigurasi terbaik dari geometri pahat dan offset yang mampu meningkatkan kualitas hasil pengelasan, sehingga dapat berkontribusi pada pengembangan teknologi FSW yang lebih efisien dan andal..

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Aluminium

Aluminium merupakan salah satu logam non-ferrous yang sering digunakan dalam industri saat ini karena memiliki kombinasi sifat yang unggul, seperti berat jenis yang rendah, ketahanan korosi yang baik, serta konduktivitas termal dan listrik yang tinggi [6].

Aluminium AA6061-T6 adalah paduan dari seri 6xxx yang mengandung magnesium dan silikon sebagai unsur paduan utama, dikenal karena kombinasi kekuatan tinggi, ketahanan korosi yang sangat baik, dan kemampuan ekstrusi yang superior [5].

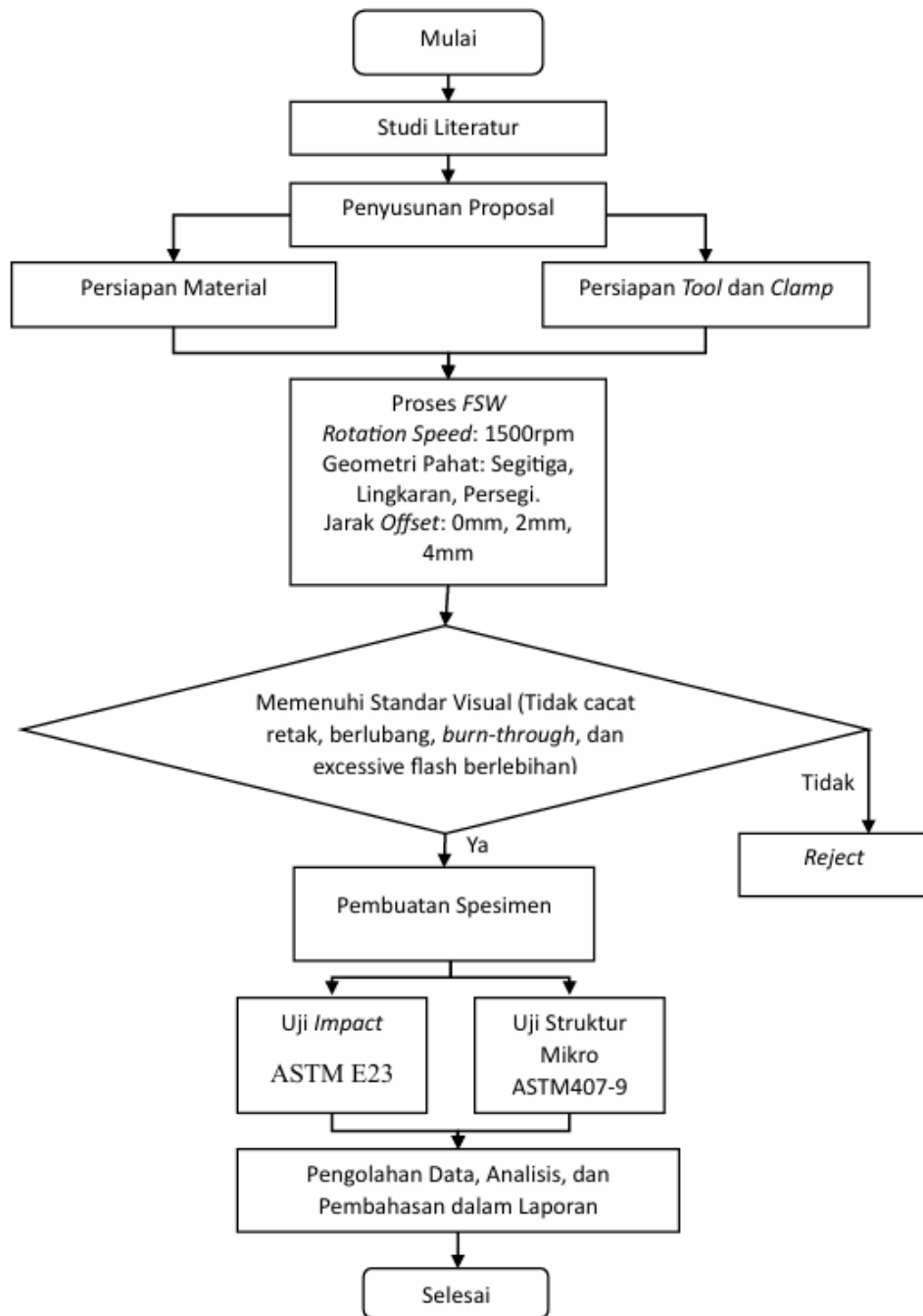
Pengelasan adalah sebuah proses penyambungan dua atau lebih material dengan cara memanaskan hingga mencapai suhu tertentu sehingga terjadi ikatan antar material, baik dengan ataupun tanpa penggunaan bahan pengisi, yang menghasilkan sambungan yang permanen dan fungsional. Proses ini memegang peranan penting dalam industri manufaktur dan rekayasa struktural, karena memungkinkan penggabungan komponen dengan efisiensi tinggi dan integritas mekanik yang optimal [7].

[1] mengelompokkan proses penyambungan material menjadi 3 kategori, yaitu pengelasan fasa padat, pengelasan fasa cair, soldering & brazing

Pada penelitian ini digunakan dua jenis pengujian, yaitu uji impact dan uji mikrografi. Pengujian impact dilakukan untuk mengetahui ketangguhan material terhadap beban kejut atau pembebanan mendadak, terutama pada suhu tertentu, guna mengevaluasi seberapa besar energi yang dapat diserap sebelum material mengalami patah [4]. Pengujian mikrografi dilakukan untuk melihat struktur mikro di tiap zona hasil pengelasan.

3. Metodologi Penelitian

Dengan mengikuti alur ini, penelitian diharapkan mampu memberikan gambaran menyeluruh mengenai efektivitas proses FSW pada aluminium AA6061-T6, terutama dalam konteks kekuatan sambungan dan kestabilan struktur mikro. Alur lengkapnya ditampilkan pada Gambar 1. di bawah ini:



Gambar 1. Diagram Alir Metode Penelitian

3.1 Bahan

Digunakan beberapa jenis bahan berbeda sebagai spesimen penelitian dan pembuatan pahat. Berikut bahan yang digunakan untuk penelitian kali ini:

- Aluminium AA6061-T6
Aluminium golongan heat treatable alloy seri AA6061 - T6 digunakan sebagai salah satu benda uji. Bahan ini memiliki tebal 8mm.
- Tool Steel SKD11
Bahan dasar pembuatan pahat pengelasan FSW yang digunakan pada penelitian kali ini adalah seri JIS SKD11.
- Cairan Etsa
Cairan etsa yang digunakan adalah campuran dari 12 mL HCl, 6 mL HNO₃, 1 mL HF, dan 1 mL H₂O

3.2 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian kali ini adalah

- a. *Clamp*
- b. Mesin FSW Yeong Chin
- c. Kunci torsi digital
- d. Thermogun
- e. Gelas beaker
- f. Pipet tetes
- g. Mesin Water Jet Cuting
- h. Mesin grinding
- i. Alat Uji Impak
- j. Mikroskop Mikro

3.3 Prosedur Pengelasan FSW

Pertama mempersiapkan alat dan bahan yang diperlukan seperti pahat, benda kerja plat aluminium AA6061-T6, dudukan penjepit benda kerja (*clamp*), kunci torsi digital, thermogun, serta termokopel



Gambar 2. Proses DS FSW

Nyalakan saklar gerakan translasi pengelasan untuk pahat. pastikan semua fungsi telah berjalan.



Gambar 3. Proses gerakan translasi pengelasan pada DS FSW

Beri jarak 10 mm saat sudah mendekati akhir jalur pengelesan dan matikan semua mesin. Tunggu suhu benda kerja turun, selanjutnya lepaskan termokopel dan benda kerja hasil pengelasan dari penjepit dan dudukannya. Lalu ulangi cara yang sama untuk variasi geometri pin pahat atau variasi offset yang akan digunakan.



Gambar 4. Proses DS FSW selesai dilakukan

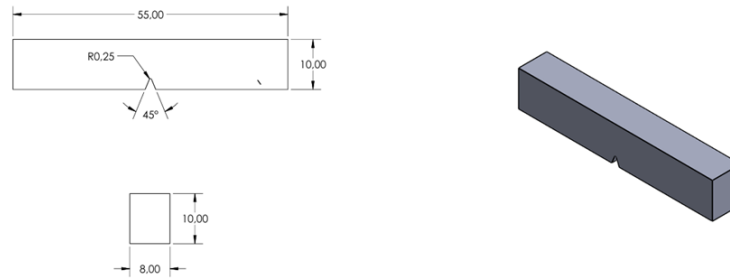
3.4 Pengujian Impak

Pengujian Impak adalah pengujian yang digunakan untuk mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejut. Pengujian impak mensimulasikan kondisi operasi material yang sering ditemui dimana beban tidak selamanya terjadi secara perlahan – lahan melainkan datang secara tiba-tiba [2]. Pengujian impak dilakukan di Laboratorium Material Departemen Teknik Mesin Universitas Diponegoro. Alat yang digunakan yaitu *Impact Testing Machine Shimazu Seisakhuso LTD type CH*, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Mesin Pengujian Impak di Laboratorium Material Teknik Mesin

Untuk pengujian impak, spesimen memiliki dimensi berdasarkan ASTM E23 yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Dimensi Uji Impak ASTM E23 (mm)

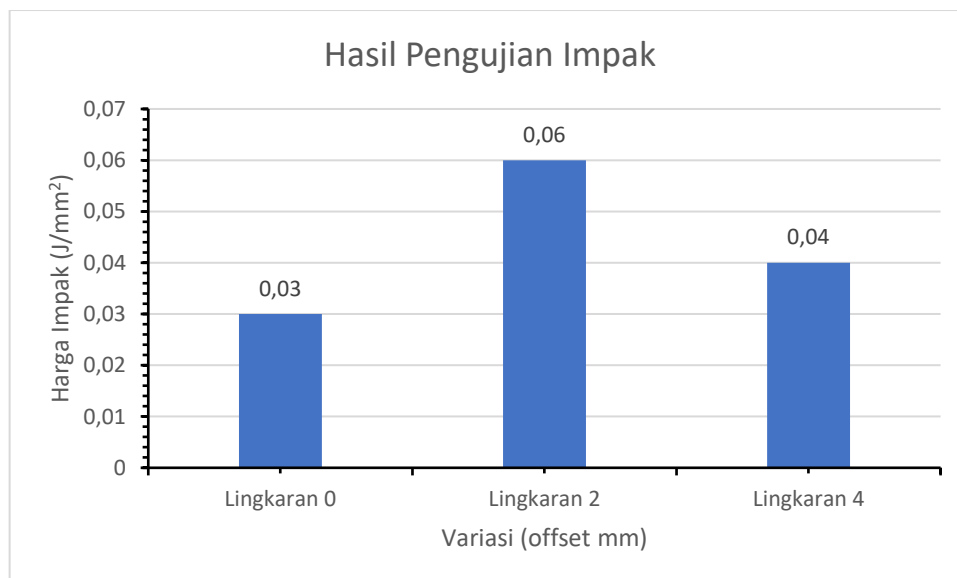
4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Pengujian Impak

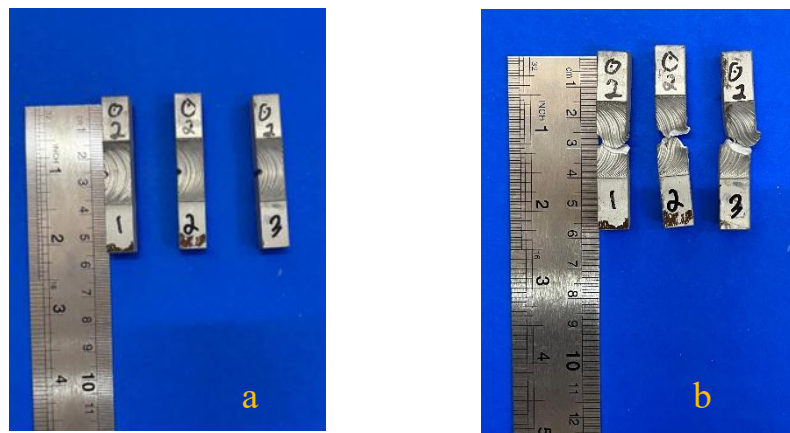
Berdasarkan hasil pengujian impak yang telah dilakukan kepada spesimen yang sudah dibuat didapatkan data seperti energi impak dan harga impak dari spesimen yang dilakukan pengujian.

Tabel 1. Data Hasil Uji Impak

Variasi (offset)	A(mm ²)	Energi Impak (Joule)	Harga Impak(J/mm ²)	Rata-Rata Harga Impak
Lingkaran 0	550	19,30	0,03	0,03
	550	13,61	0,02	
	550	18,27	0,03	
Lingkaran 2	550	25,92	0,05	0,06
	550	42,00	0,08	
	550	35,45	0,06	
Lingkaran 4	550	15,89	0,03	0,04
	550	22,96	0,04	
	550	19,83	0,04	



Gambar 7. Grafik hasil pengujian impak



Gambar 8. Contoh sebelum (a) dan sesudah (b) spesimen dalam pengujian impact

4.2 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan data pada Tabel 1, variasi bentuk pin dalam proses DS-FSW terbukti memberikan pengaruh nyata terhadap ketahanan impact sambungan. Dari hasil pengujian, bentuk pin lingkaran dengan variasi 2 mm menunjukkan performa terbaik dengan rata-rata harga impact tertinggi sebesar $0,06 \text{ J/mm}^2$ dan energi impact maksimum mencapai 42,00 Joule. Sementara itu, bentuk pin lingkaran dengan variasi 0 mm dan 4 mm menunjukkan performa yang lebih rendah dengan nilai rata-rata harga impact masing-masing sebesar $0,03 \text{ J/mm}^2$ dan $0,04 \text{ J/mm}^2$. Hasil ini mengindikasikan bahwa bentuk pin lingkaran dengan variasi 2 mm mampu menghasilkan agitasi material dan distribusi stir zone yang lebih efektif dibandingkan variasi lainnya, sehingga menghasilkan sambungan dengan ketahanan impact yang lebih baik.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa dari beberapa variasi bentuk pin lingkaran yang diuji, variasi 2 mm merupakan konfigurasi paling optimal dalam menghasilkan sambungan DS-FSW yang memiliki kekuatan terhadap beban impact yang tinggi.[9][10]

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pengolahan data, dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan hasil uji impact pada spesimen dengan bentuk pahat lingkaran, nilai impact tertinggi diperoleh pada variasi 2 mm dengan rata-rata harga impact sebesar $0,06 \text{ J/mm}^2$ dan energi impact maksimum sebesar 42,00 Joule. Sedangkan nilai impact terendah terdapat pada variasi 0 dengan rata-rata harga impact sebesar $0,03 \text{ J/mm}^2$.
2. Perbandingan antar variasi menunjukkan bahwa bentuk pahat lingkaran dengan variasi 2 mm memberikan peningkatan kekuatan impact yang signifikan dibandingkan variasi 0 mm dan 4 mm, yang masing-masing memiliki nilai impact lebih rendah.
3. Performa tinggi pada variasi 2 mm mengindikasikan bahwa konfigurasi ini mampu menghasilkan pencampuran material yang lebih baik dan pola agitasi yang lebih merata di zona stir, sehingga meningkatkan kualitas sambungan secara keseluruhan.
4. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pada spesimen dengan bentuk pahat lingkaran, variasi 2 mm merupakan konfigurasi paling optimal dalam meningkatkan ketahanan impact sambungan DS-FSW.

6. Daftar Pustaka

- [1] AWS. (2020). Standard Welding Terms and Definitions Including Terms for Adhesive Bonding, Brazing, Soldering, Thermal Cutting, and Thermal Spraying. www.copyright.com
- [2] Bagus, R., & Majanasastra, S. (2013). ANALISIS SIMULASI UJI IMPAK BAJA KARBON SEDANG (AISI 1045) dan BAJA KARBON TINGGI (AISI D2) HASIL PERLAKUAN PANAS.
- [3] Budi Santoso, T., Tri Hutomo, P., & Kuat Arus Listrik, P. (2015). PENGARUH KUAT ARUS LISTRIK PENGELASAN TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN STRUKTUR MIKRO LAS SMAW DENGAN ELEKTRODA E7016. <http://news.okezone.com/read/>
- [4] Callister, W. D. ., & Rethwisch, D. G. . (2009). Materials science and engineering : an introduction. John Wiley.
- [5] J.R. Davis. (2001). Aluminum and Aluminum Alloys Introduction and Overview. <https://doi.org/10.1361/autb2001p351>
- [6] Kaufman, J. G. . (2000). Introduction to aluminum alloys and tempers. ASM International.

-
- [7] Mishra, R. S., & Ma, Z. Y. (2005). Friction stir welding and processing. In *Materials Science and Engineering R: Reports* (Vol. 50, Issues 1–2). <https://doi.org/10.1016/j.mser.2005.07.001>
- [8] Polaihah, K., Naidu, Hemalatha., & Kumar, P. S. (2017). Friction Stir Welding of Similar Metals by Taguchi Optimization Technique -A Review. *International Journal of Advanced Engineering, Management and Science*, 3(10), 991–994. <https://doi.org/10.24001/ijaems.3.10.3>
- [9] Priyasudana, D., Crisdion, S. A., Puspitasari, P., Triyono, Jamasri, Andoko, & Pramono, D. D. (2023). Double side friction stir welding effect on mechanical properties and corrosion rate of aluminum alloy AA6061. *Heliyon*, 9(2). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13366>
- [10] Rezgui, M. A., Ayadi, M., Cherouat, A., Hamrouni, K., Zghal, A., & Bejaoui, S. (2010). Application of Taguchi approach to optimize friction stir welding parameters of polyethylene. *EPJ Web of Conferences*, 6. <https://doi.org/10.1051/epjconf/20100607003>
- [11] Xie, L., Xiao, X., Jiang, C., & Zhu, X. (2023). Effect of the offset between double-pass on texture and tensile properties of dissimilar friction stir welded joints of ZK60 and Mg-4.6Al-1.2Sn-0.7Zn alloys. *Materials Letters*, 330. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2022.133272>
- [12] Yeshitla, G. G., Singh, B., & Gebreamlak Yeshitla, G. (2020). Friction Stir Welding and its Applications: A Review. *High Technology Letters*, 26(11), 2020. <https://www.researchgate.net/publication/34513311>