

Experimental Study of Friction Stir Welding on Ductility in Material AA6061-T651

Studi Eksperimental Friction Stir Welding Terhadap Keuletan Pada Material AA6061-T651

Febrian Alfari¹⁾, Mulyadi ^{*.2)}

¹⁾ Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾ Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

* Email Penulis Korespondensi: mulyadi@umsida.ac.id

Abstract. Friction Stir Welding is a semi-conductor welding system used to join aluminum, and other alloy metals. This study is to determine the ductility of AA 6061 Aluminum material which has gone through the welding process with the Friction Stir Welding Technique. The test used is the Bend test using the ANOVA analysis taguchi method. Using the process parameters of tool rotation speed 765, 1208, 1907, 3022 (rpm), tool rotation speed 24, 43, 65, 90 (mm/min), tool tilt angle 2, 2.5, 3, 3.5 (°), and concave shoulder angle 2, 5, 8, 11 (°). As follows, the results of the ANOVA test on the FSW Process parameters contributed N by 34.40%, WS contributed 1.93%, TL contributed 6.76% and SBC contributed 23.56%. The results of the ANOVA test show that the FSW process parameters have a major role in contributing to the FSW process, namely Tool Rotation Speed and Welding Speed.

Keywords - Friction Stir Welding, AA6061, Bending Test, Taguchi

Abstrak. Friction Stir Welding adalah sistem pengelasan semi konduktor yang digunakan untuk menyambung aluminium, dan logam campuran lainnya. Penelitian ini untuk mengetahui sifat ulet pada material Aluminium AA 6061 yang telah melalui proses pengelasan dengan Teknik Friction Stir Welding. Pengujian yang digunakan yaitu uji Tekuk dengan metode taguchi analisis ANOVA. Dengan menggunakan parameter proses kecepatan putaran tool 765, 1208, 1907, 3022 (rpm), Kecepatan rotasi tool 24, 43, 65, 90 (mm/menit), Sudut kemiringan tool 2, 2.5, 3, 3.5 (°), dan sudut bahu cekung 2, 5, 8, 11 (°). Sebagai berikut hasil uji ANOVA pada parameter Proses FSW kontribusi N sebesar 34,40 %, kontribusi WS 1,93 %, TL 6,76 % dan SBC Berkontribusi 23,56 %. Bahwa hasil uji ANOVA menunjukkan parameter prose FSW yang mempunyai peranan kontribusi besar pada proses FSW yaitu Kecepatan Rotasi Tool dan Kecepatan Pengelasan.

Kata Kunci - Friction Stir Welding, AA6061, Uji Tekuk, Taguchi.

I. PENDAHULUAN

Friction stir welding (FSW) adalah proses pengelasan ekologis dan berkualitas baru. Proses FSW cukup sederhana dan memanfaatkan panas yang dihasilkan oleh gesekan antara alat yang berputar dengan benda.[1]. Friction stir welding ditemukan oleh Wayne Thomas dari The Welding Institute dan dipatenkan di United Kingdom pada bulan Desember 1991[2]. Beberapa parameter pengelasan FSW yang tepat dapat meningkatkan kekuatan dan mengurangi terjadinya cacat pada sambungan antar lain : posisi pin tool, kecepatan putaran, kecepatan perjalanan, desain sambungan dan lain lain[3]. FSW banyak diaplikasikan pada material aluminium dan salah satunya adalah aluminium 6061 (AA6061)[4]. Aluminium dan paduannya merupakan logam yang banyak digunakan dibidang teknik karena mempunyai banyak keunggulan. Termasuk pada aluminium seri 6061 yang memiliki kekuatan dan ketahanan korosi yang cukup baik [5]. Aluminium 6061 merupakan aluminium paduan yang cukup banyak digunakan di dunia industri kendaraan, kapal maupun rangka sepeda[6]. Untuk mengetahui hasil pengerjaan sambungan atau kekuatan material yang dikerjakan, dan untuk meyakinkan bahwa hasil yang didapat mengacu pada standart dan spesifikasi yang dituju maka diadakanlah uji tekuk pada material tersebut[7]. Uji tekuk, juga dikenal dengan nama *Bending Test*, salah satu bentuk pengujian untuk mengukur kekuatan material dan menentukan mutu suatu material secara visual akibat pembebanan dan kekenyalan hasil sambungan las[8]. Proses uji tekuk melibatkan pengaplikasian beban yang merata pada sampel material dalam posisi tumpuan dan beban tengah yang bertujuan untuk menekuk atau membengkokkannya[9]. Metode pengumpulan data dalam penelitian kali ini, penulis memilih menggunakan metode taguchi[6]. Metode taguchi memiliki kelebihan dalam mengurutkan faktor- faktor mana saja yang berpengaruh terhadap kekuatan Tekuk material AA6061. Namun dari penelitian-penelitian sepanjang penulis ketahui belum ada penelitian yang membahas mengenai uji tekuk pada pengelasan *Friction Stir Welding*. Sehingga penelitian ini

bertujuan untuk mengetahui sifat ulet dan mengetahui cacad pada sambungan aluminium 6061 yang telah melalui proses pengelasan FSW.

II. METODE

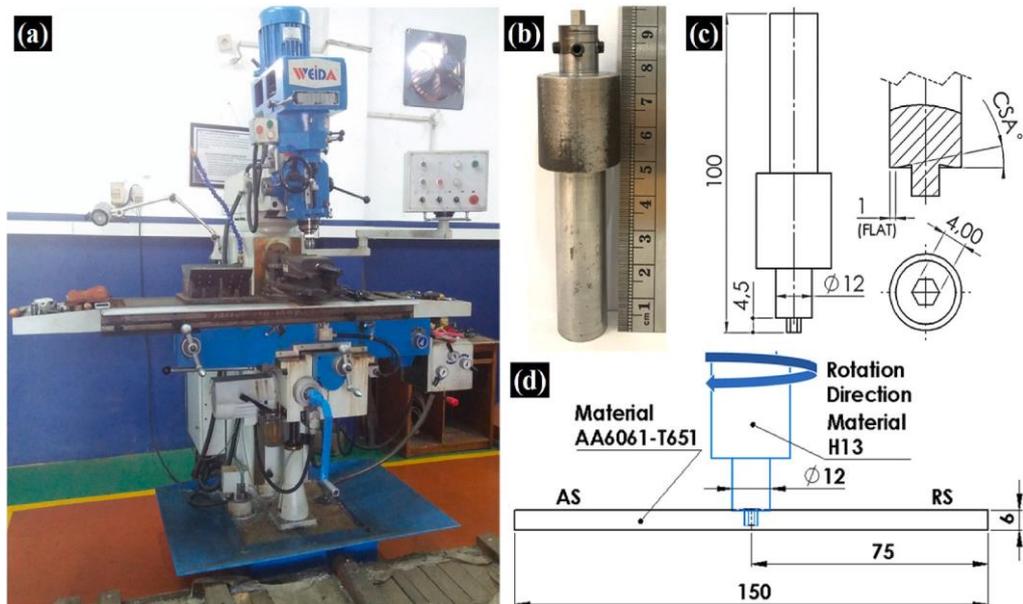
A. Alat dan Bahan

1. Pada penelitian ini material yang digunakan yaitu Aluminium AA6061-T6 dimana aluminium seri 6061 yang memiliki kekuatan dan ketahanan korosi yang cukup baik. Plat Aluminium lembaran dibentuk menjadi spesimen berbentuk plat dengan ukuran lebar 60mm, panjang 200mm dan tebal 6mm. yang ditunjukkan pada Gambar1.



Gambar 1. Plat Aluminium AA 6061-T651

2. Pada Gambar 2 bahan untuk *Tool* FSW harus mempertimbangkan spesimen yang akan dilas; alat ini memiliki tiga fungsi utama: membangkitkan panas pada spesimen, memindahkan material sambungan pengelasan, dan menahan material adukan panas di bawah bahu alat. Baja H13 digunakan dalam penelitian ini karena memiliki pengerasan udara yang tinggi serta kandungan karbon dan vanadium yang tinggi, sehingga memberikan ketahanan aus yang tinggi terhadap guncangan termal dan retak panas serta kekerasan suhu tinggi. Bentuk jarum yang heksagonal tercermin pada kerucut heksagonal tersebut.



Gambar 2. Pengaturan eksperimental FSW: (a) Foto mesin FSW; (b) Foto alat FSW buatan; (c) Diagram skematik alat FSW; (d) Tampilan skematik eksperimen[10].

3. Material AA6061-T651 yang sudah melalui proses *FSW*. Yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Spesimen Uji Tekuk.

4. Pada Tabel 1 menunjukkan Desain Eksperimen OA Taguchi.

Tabel 1. Desain Eksperimen OA Taguchi[11]

No Spc	Kecepatan rotasi <i>tool</i> (Rpm)	Kecepatan pengelasan (mm/min)	Sudut kemiringan <i>tool</i> (°)	Sudut bahu cekung (°)
1	765	24	2	2
2	765	43	2.5	5
3	765	65	3	8
4	765	90	3.5	11
5	1208	65	2.5	2
6	1208	90	2	5
7	1208	24	3.5	8
8	1208	43	3	11
9	1907	90	3	2
10	1907	65	3.5	5
11	1907	43	2	8
12	1907	24	2.5	11
13	3022	43	3.5	2
14	3022	24	3	5
15	3022	90	2.5	8
16	3022	65	2	11

B. Pengujian Tekuk

Uji tekuk² adalah Metode pengujian yang umum digunakan menentukan kisaran sifat plastis suatu bahan dan menentukan kemampuannya untuk berubah bentuk dalam radius tertentu.. Sedangkan metode yang digunakan adalah Triple Point yang dimana sampel diletakkan pada dua titik tumpuan di ujungnya, dan beban diterapkan pada titik tengahnya[12].

Pengujian Tekuk dilakukan dengan menggunakan standart ASTM E290.

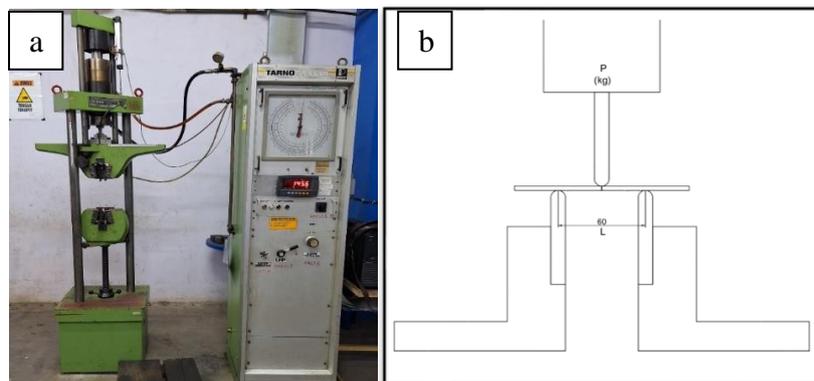
Dirumuskan :

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (1)$$

dimana σ_b adalah Tegangan tekuk/Tekuk (Mpa), P adalah Beban (Newton), L adalah Panjang span/support span (mm), b adalah Lebar (mm) dan d adalah Tebal (mm).

C. Mesin Uji

Mesin uji yang digunakan adalah mesin uji tekuk *Tarno Grocki* menggunakan Metode Triple Point, di mana benda uji ditumpu dengan satu tumpuan di atas dan dua tumpuan di bawah benda uji, digunakan untuk menentukan sifat ulet bahan dan kemampuan untuk deformasi dengan radius tertentu. Bisa dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Mesin Uji Tekuk ; (a) Mesin Uji teku Tarno Grocki ; (b) Layout pengujian Tekuk

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Spesimen Hasil Uji Tekuk

Gambar 5 menunjukkan spesimen yang sudah dilakukan uji tekuk



Gambar 5. Hasil Uji Tekuk

B. Data Hasil Pengujian tekuk

Pada tabel 2 ini membahas data hasil uji tekuk pada prose FSW material AA6061-T651 yaitu, terdiri dari kecepatan rotasi tool (N), kecepatan pengelasan (WS), sudut kemiringan tool (TL), sudut bahu cekung (SBC) dan menghasilkan data uji tekuk.

Tabel 2. Hasil Pengujian Tekuk

No Spc	Kecepatan rotasi tool (Rpm)	Kecepatan pengelasan (mm/min)	Sudut kemiringan tool (°)	Sudut bahu cekung (°)	Tegangan Tekuk (Mpa)
1	765	24	2	2	11,9
2	765	43	2.5	5	10,3
3	765	65	3	8	8,1
4	765	90	3.5	11	9,1
5	1208	65	2.5	2	8,7
6	1208	90	2	5	5,4
7	1208	24	3.5	8	8,2
8	1208	43	3	11	9,7
9	1907	90	3	2	12,7
10	1907	65	3.5	5	9,1
11	1907	43	2	8	9,7
12	1907	24	2.5	11	10,2
13	3022	43	3.5	2	9,6
14	3022	24	3	5	9,2
15	3022	90	2.5	8	11,6
16	3022	65	2	11	11,3

C. Analisis Hasil Uji Tekuk

Pada kali ini peneliti membahas dampak dari pengaruh pengelasan FSW Sesuai hasil uji ANOVA yang dilakukan oleh peneliti bahwa yang mempunyai kontribusi yang besar dari ketiga parameter tersebut adalah kecepatan rotasi tool.

N mempunyai hasil kontribusi 34,40%, WS kontribusi 1,93 % TL berkontribusi 6,76% dan hasil dari SBC hanya berkontribusi 23,56%. Untuk hasil P-Value kecepatan rotasi tool 0,490 yang bisa diartikan bahwa N mempunyai dampak pengaruh yang optimal terhadap hasil uji tekuk. Untuk P-Value WS 0,979, P-Value TL 0,889 dan SBC 0,609 yang nilainya lebih besar dari 0,05 bisa diartikan bahwa parameter pengelasan FSW ini tidak mempunyai dampak pengaruh yang signifikan pada uji tekuk. Bisa dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Analisis Varian Pengujian Tekuk

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
N	3	15,5804	34,40%	15,5804	5,1935	1,03	0,490
WS	3	0,8733	1,93%	0,8733	0,2911	0,06	0,979
TL	3	3,0623	6,76%	3,0623	1,0208	0,20	0,889
SBC	3	10,6721	23,56%	10,6721	3,5574	0,71	0,609
Error	3	15,1011	33,34%	15,1011	5,0337		
Total	15	45,2893	100,00%				

D. Hasil Dari Persamaan Regresi

Berdasarkan persamaan regresi didapat hasil konstanta 9,668. Hasil N + 0,160 yang berarti setiap peningkatan pada N 765 akan meningkatkan pengaruh pada hasil uji tekuk. Hasil N - 1,658 pada N 1208 tidak mempengaruhi pada hasil uji tekuk. Hasil N +0,756 pada N 1907 akan meningkatkan pengaruh pada hasil uji tekuk. Hasil N +0,741 pada N 3022 juga meningkatkan pengaruh pada hasil uji tekuk.

Berdasarkan persamaan regresi didapat hasil pada parameter WS yaitu + 0,224 yang berarti bahwa setiap peningkatan WS 24 akan meningkatkan pengaruh pada hasil uji tekuk. Hasil + 0,146 yang berarti bahwa setiap peningkatan pada WS 43 akan meningkatkan pengaruh pada hasil uji tekuk. Hasil - 0,383 yang berarti setiap peningkatan WS 65 akan mengurangi pengaruh pada hasil uji tekuk. Hasil + 0,013 bahwa setiap peningkatan pada WS 90 akan meningkatkan hasil pengaruh pada hasil uji tekuk.

Berdasarkan persamaan regresi didapat hasil pada parameter TL yaitu - 0,110 bahwa hasil pada TL 2.0 tidak mempengaruhi pada hasil uji tekuk. Hasil +0,522 yang berarti setiap peningkatan pada TL 2,5 akan meningkatkan pengaruh pada hasil uji tekuk. Hasil +0,239 yang berarti setiap peningkatan pada TL 3,0 akan meningkatkan pengaruh pada hasil uji tekuk. Dan hasil -0,651 yang berarti setiap peningkatan pada TL 2,5 tidak akan meningkatkan pengaruh pada hasil uji tekuk.

Berdasarkan persamaan regresi didapat hasil pada parameter SBC yaitu +1,041 bahwa hasil pada SBC 2.0 meningkatkan pengaruh pada hasil uji tekuk. Hasil -1,162 yang berarti setiap peningkatan pada SBC 5 tidak mempengaruhi pada hasil uji tekuk. Hasil - 0,277 yang berarti setiap peningkatan pada SBC 8 tidak mempengaruhi pada hasil uji tekuk. Dan hasil + 0,398 yang berarti setiap peningkatan pada SBC 11 akan meningkatkan pengaruh pada hasil uji tekuk. Yang ditunjukkan pada Gambar 6.

Regression Equation

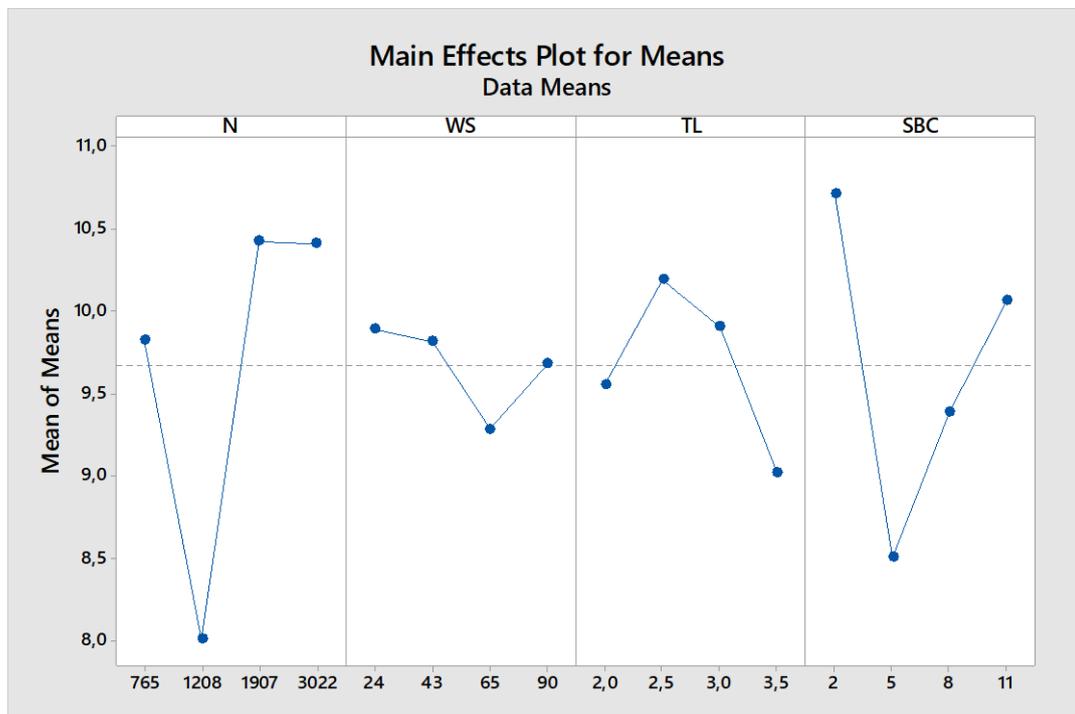
$$\begin{aligned} \text{Kuat Tekan (Mpa)} = & 9,668 + 0,160 N_{765} - 1,658 N_{1208} + 0,756 N_{1907} + 0,741 N_{3022} \\ & + 0,224 WS_{24} + 0,146 WS_{43} - 0,383 WS_{65} + 0,013 WS_{90} - 0,110 TL_{2,0} \\ & + 0,522 TL_{2,5} + 0,239 TL_{3,0} - 0,651 TL_{3,5} + 1,041 SBC_{2} - 1,162 SBC_{5} \\ & - 0,277 SBC_{8} + 0,398 SBC_{11} \end{aligned}$$

Gambar 6. Persamaan Regresi

E. Grafik Main Effects

Berdasarkan grafik main effects uji tekuk pada gambar 3.4 dapat diketahui bahwa parameter proses mengenai pengaruh variabel bebas (kecepatan rotasi tool, kecepatan pengelasan, kemiringan tool, dan sudut bahu

cekung) terhadap variabel terikat (uji tekuk) yaitu kecepatan rotasi menunjukkan 3022 menunjukkan hasil yang optimal, kecepatan pengelasan 24 menunjukkan bahwa ini cukup baik, kemiringan tool $2,5^{\circ}$ menunjukkan hasil yang optimal dan sudut bahu cekung 2° sedikit naik tetapi masih optimal. Yang ditunjukkan oleh Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Main Effects Pengujian Tekuk

IV. SIMPULAN

Berdasarkan pada analisa dan perhitungan dari data-data yang diperoleh dari hasil pengaruh parameter Proses FSW terhadap uji tekuk menggunakan metode taguchi. Kesimpulan yang didapatkan adalah :

1. Berdasarkan hasil uji ANOVA pada parameter Proses FSW kontribusi N sebesar 34,40 %, kontribusi WS 1,93 %, TL 6,76 % dan SBC Berkontribusi 23,56 %. Bahwa hasil uji ANOVA menunjukkan parameter prose FSW yang mempunyai peranan kontribusi besar pada proses FSW yaitu Kecepatan Rotasi Tool dan Kecepatan Pengelasan
2. Pada variabel bebas (kecepatan rotasi tool, kecepatan pengelasan, sudut kemiringan tool dan sudut bahu cekung) yang memiliki pengaruh besar pada variabel terikat (parameter proses FSW) adalah Kecepatan Rotasi dan Kecepatan Pengelasan. Pada hasil persamaan regresi nilai variabel bebas (Kecepatan Rotasi dan Kecepatan Rotasi Tool) selalu banyak menunjukkan hasil positif pada variabel terikat (parameter proses FSW) sedangkan hasil dari variabel bebas (Sudut Kemiringan Dan Sudut Bahu Cekung) terdapat banyaknya hasil yang negatif.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Saya ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Dr. Mulyadi, S.T., M.T. Selaku Dosen pembimbing Saya memberikan petunjuk dan saran untuk menulis jurnal ini. Dengan bantuannya saya bisa menulisnya dengan baik.. Dan juga Terima kasih kepada keluarga, Pacar dan Teman-teman saya yang selalu memberikan dukungan dan semangat dalam proses penulisan jurnal ini. *Love You All.*

REFERENSI

- [1] M. M. Z. Ahmed, K. Touileb, M. M. El-Sayed Seleman, I. Albaijan, and M. I. A. Habba, "Bobbin Tool Friction Stir Welding of Aluminum: Parameters Optimization Using Taguchi Experimental Design," *Materials (Basel)*, vol. 15, no. 8, 2022, doi: 10.3390/ma15082771.
- [2] G. Gebreamlak and B. Singh, "Friction Stir Welding and its Applications: A Review," Nov. 2020.
- [3] U. Muhammadiyah Mataram Mataram, M. Hariz Dedy Sayogi, and M. Nur Sasongko, "Seminar Nasional LPPM UMMAT Analisis Temperatur Retreating Side dan Advancing Side Sambungan Las Friction Stir Welding AA 6061 Pada Perbedaan Suhu Awal," vol. 2, no. April, pp. 633–639, 2023.
- [4] N. R. Y. Liara, S. Jokosiswor, and Untung Budiarto, "Analisa Sifat Mekanik Pengelasan GMAW (Gas Metal Arc Welding) Alumunium 6061 dengan Variasi Holding Time pada Proses Normalizing," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 10, no. 2, pp. 1–9, 2022.
- [5] J. Hasil, K. Ilmiah, A. Isworo, U. Budiarto, and A. W. Budi, "JURNAL TEKNIK PERKAPALAN Analisis Perbandingan Kekuatan Impak, Tarik, Tekuk dan Mikrografi Pada Aluminium 6061 Pasca Pengelasan Tungsten Inert Gas (TIG) dengan Media Pendingin Air Laut, Air Tawar dan Udara," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 8, no. 3, 2020, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- [6] H. Saputra, M. Ivanto, and G. S. Lubis, "Pengaruh hasil pengelasan model SMAW terhadap kekuatan tarik baja ST 37 dan ASTM A36," *JTRAIN J. Teknol. Rekayasa Tek. Mesin*, vol. 4, no. 1, pp. 55–64, 2023, [Online]. Available: <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jtm/article/view/62930/75676596455>
- [7] D. F. Rahmadan, "Confirmation Experiment Of Friction Stir Welding Process On Aluminum Alloy Aa 6061-T651 On Impact Strength And Vickers Hardness [Eksperimen Konfirmasi Proses Friction Stir Welding Pada Material Aluminium Alloy Aa 6061-T651 Terhadap Kekuatan Impact Dan Ha," pp. 1–16.
- [8] I. Iswanto, N. Noerdianto, A. Fachruddin, and M. Mulyadi, "Analisa perbandingan kekuatan hasil pengelasan TIG dan pengelasan MIG pada Aluminium 5083," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 1, pp. 87–92, 2020, doi: 10.24127/trb.v9i1.1166.
- [9] S. Aws *et al.*, "5 Veronika , Rika , dkk ; Pengaruh Parameter Pengelasan Terhadap Hasil Uji Bending Dengan Standar Aws Pada Baja ASTM A36 6 Veronika , Rika , dkk ; Pengaruh Parameter Pengelasan Terhadap Hasil Uji Bending Dengan Standar Aws Pada Baja ASTM A36," vol. 9, no. 2, pp. 5–14, 2023.
- [10] A. Wahjudi, A. Sigit, and I. M. Londen, "A study of concave shoulder angle on the mechanical properties and fractography of friction stir welded AA6061-T651 joints," *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 28, no. November 2023, pp. 78–86, 2024, doi: 10.1016/j.jmrt.2023.11.258.
- [11] Mulyadi, R. Firdaus, and R. S. Untari, "Optimization of Friction Stir Welding Parameters for AA6061-T651 Aluminum Alloy: Defect Analysis and Process Improvement," *Acad. Open*, vol. 8, no. 1, pp. 1–13, 2023, doi: 10.21070/acopen.8.2023.6665.
- [12] A. H. Kurnianto and Y. Yunus, "Pengaruh Variasi Beban Penekanan Pada Pengelasan Gesek (Friction Welding) S45C Terhadap Kekuatan Bending Dan Bentuk ...," *J. Tek. Mesin*, pp. 161–164, 2023, [Online]. Available: <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jtm-unesa/article/view/56662%0Ahttps://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jtm-unesa/article/view/56662/44510>

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.