

ANALISIS VARIASI *OFFSET* DAN GEOMETRI PAHAT TERHADAP KEKUATAN TARIK PADA HASIL SAMBUNGAN LAS *DOUBLE SIDE FRICTION STIR WELDING* ALUMINIUM AA6061

*Dhafin Hilmy Zidane¹, 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: dhafinhilmyzidane@gmail.com

Abstrak

Double Side Friction Stir Welding (DS-FSW) adalah metode pengelasan padat yang banyak digunakan karena mampu menghasilkan sambungan logam berkualitas tinggi tanpa pelelehan material. Desain geometri pahat berperan penting dalam mengoptimalkan pengadukan material dan distribusi panas di area sambungan. Penelitian ini menguji tiga geometri pahat (lingkaran, persegi, segitiga) dengan variasi offset (0 mm, 0,2 mm, 0,4 mm) untuk mengevaluasi kualitas sambungan pada aluminium AA6061-T6, yang dikenal memiliki kekuatan tarik tinggi, keuletan baik, dan ketahanan korosi. Tujuannya adalah menganalisis pengaruh kombinasi offset dan geometri pahat terhadap kekuatan tarik dan kekerasan sambungan melalui proses DS-FSW dan uji tarik. Hasil menunjukkan bahwa geometri pahat dan offset signifikan memengaruhi distribusi panas, aliran material, dan homogenitas struktur mikro, dengan kombinasi parameter tertentu menghasilkan kekuatan tarik. Penelitian ini diharapkan berkontribusi pada pengembangan teknik DS-FSW yang lebih efisien untuk industri otomotif, dirgantara, dan manufaktur struktural.

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

Abstract

Double Side Friction Stir Welding (DS-FSW) is a solid-state welding method widely used due to its ability to produce high-quality metal joints without melting the material. The tool geometry design plays a critical role in optimizing material stirring and heat distribution across the weld zone. This study evaluates three tool geometries (circular, square, triangular) with offset variations (0 mm, 0.2 mm, 0.4 mm) to assess their impact on joint quality using AA6061-T6 aluminum, known for its high tensile strength, good ductility, and corrosion resistance. The primary objective is to analyze the influence of offset and tool geometry combinations on the tensile strength of DS-FSW joints through welding processes and tensile testing. Results indicate that tool geometry and offset significantly affect heat distribution, material flow, and microstructural homogeneity, with certain parameter combinations achieving optimal material mixing and maximum tensile strength. This research is expected to contribute to the development of more efficient DS-FSW techniques for applications in the automotive, aerospace, and structural manufacturing industries.

Keywords: aluminium aa6061-t6; *double side friction stir welding*; fsw; tool geometry; offset; tensile strength

1. Pendahuluan

Pengelasan adalah proses penyambungan permanen antara dua atau lebih material (baik sejenis maupun berbeda) melalui kombinasi dan difusi atom atau molekul. Dibandingkan dengan metode penyambungan lainnya seperti riveting, pengelasan dapat menghemat sekitar 15–20% material logam. Proses ini penting dalam berbagai industri karena memungkinkan pembuatan struktur yang kuat dan efisien. Pengelasan merupakan proses krusial dalam industri manufaktur yang memungkinkan penyusunan komponen-komponen sederhana menjadi suatu struktur kompleks dengan menyambungkannya secara permanen melalui pelelehan di area sambungan dua logam [5].

Salah satu metode pengelasan adalah friction stir welding (FSW). Friction stir welding (FSW) adalah proses penyambungan logam dalam keadaan padat (solid-state) yang menggunakan alat berputar yang tidak habis pakai untuk mengaduk dan menyatukan dua material tanpa melelehkannya. Panas yang dihasilkan dari gesekan dan deformasi plastis menyebabkan material menjadi lunak dan memungkinkan terjadinya pencampuran material di sekitar alat, menghasilkan sambungan yang kuat dan berkualitas tinggi [10].

Alat pada proses friction stir welding (FSW) memegang peranan penting terhadap keberhasilan sambungan. Umumnya, alat ini terdiri dari bahu (shoulder) berbentuk silinder yang berputar dan pin berulir yang bertugas menghasilkan panas melalui gesekan dan menggerakkan logam yang telah melunak untuk membentuk sambungan. Karena proses ini tidak mencairkan logam secara keseluruhan, maka berbagai masalah umum pada pengelasan leleh seperti retakan akibat solidifikasi, porositas, dan hilangnya unsur paduan yang mudah menguap dapat dihindari [10].

Walaupun konsep friction stir welding telah dipakai sebelumnya, FSW membawa terobosan dalam penyambungan paduan logam yang lunak dan mudah meleleh dengan cara yang lebih efisien. Proses ini dijalankan menggunakan mesin dengan kontrol perpindahan atau kontrol tekanan [8].

Friction stir welding (FSW) kini menjadi sorotan utama karena potensinya dalam mengeliminasi kekurangan proses pengelasan fusi tradisional mulai dari distorsi berlebihan, retak solidifikasi, segregasi material, struktur dendritik yang kasar, hingga porositas gas dan susut, serta oksidasi permukaan. FSW juga meminimalkan pembentukan fasa intermetalik rapuh saat menggabungkan logam berbeda, mempersempit HAZ, dan menurunkan konsumsi energi serta dampak lingkungan. Di samping itu, kemampuan FSW untuk memanipulasi mikrostruktur termasuk menghasilkan butiran halus atau susunan fasa khusus menjadikan studi hubungan antara parameter proses dengan hasil mikrostruktur sangat krusial agar sifat mekanik sambungan dapat dioptimalkan [2].

Sejumlah kajian literatur utama tentang FSW sudah dipublikasikan, di antaranya ulasan Mishra dan Ma yang mendalami aspek mikrostruktur, serta kajian Meng et al. yang membahas cara cara mengontrol kualitas sambungan. Ulasan Mishra dan Ma dianggap paling komprehensif hingga saat ini, terutama dalam menelaah perubahan butiran pada paduan aluminium, tembaga, magnesium, titanium, dan berbagai jenis baja. Sejak itu, riset FSW terus meluas baik dalam variasi material dan parameter proses yang dieksplorasi, maupun pemahaman tentang bagaimana FSW memengaruhi mikrostruktur [2].

2. Dasar Teori

Aluminium adalah logam ringan dengan nomor atom 13, termasuk dalam golongan IIIA pada tabel periodik, dan memiliki densitas sebesar $2,70 \text{ g/cm}^3$, yang jauh lebih rendah dibandingkan baja ($7,85 \text{ g/cm}^3$) [9].

Paduan aluminium seri 6xxx mengandung magnesium (0,5–1,5%) dan silikon (0,4–1,3%) sebagai unsur utama, yang membentuk fasa Mg_2Si selama perlakuan panas untuk meningkatkan kekuatan melalui *precipitation hardening* (Hirsch, 1997). Paduan AA6061-T6, bagian dari seri 6xxx, mengandung magnesium (0,8–1,2%), silikon (0,4–0,8%), dan unsur mikro seperti kromium (0,04–0,35%) untuk membentuk fasa Mg_2Si melalui perlakuan T6 [1].

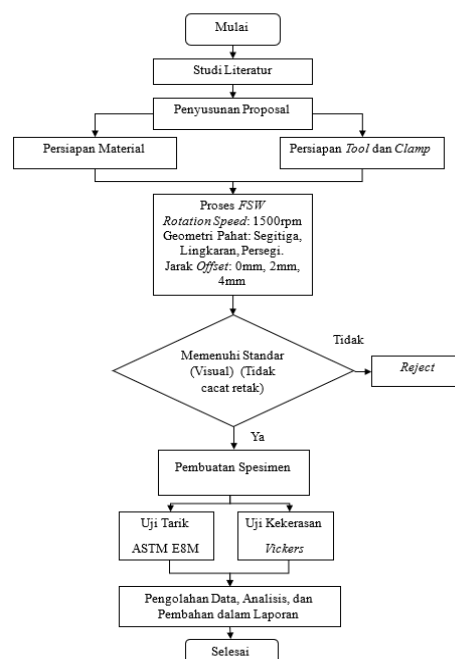
Pengelasan adalah proses penyambungan dua atau lebih komponen logam melalui pemanasan, tekanan, atau kombinasi keduanya untuk membentuk sambungan yang kuat dan permanen [4]. Pengelasan dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori utama: *fusion welding* (fasa cair), yang melibatkan pelelehan material untuk membentuk *weld pool*, dan *solid-state welding* (fasa padat) [6].

Friction stir welding ditemukan pada tahun 1991 oleh The Welding Institute (TWI) di Inggris sebagai teknik penyambungan logam dalam keadaan padat, dan awalnya diterapkan pada paduan aluminium [7].

Pada penelitian ini digunakan dua jenis pengujian, yaitu uji tarik dan uji kekerasan. Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik maksimum, modul elastisitas, batas proporsional, dan galur lentur. Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan di tiap zona pengelasan untuk setiap parameter spesimen uji.

3. Bahan dan Metode Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan dengan beberapa proses yang dilewati. Proses-proses yang dilakukan pada penelitian kali ini disajikan pada diagram alir seperti Gambar 1.



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:

- a. Aluminium AA6061-T6
Aluminium golongan heat treatable alloy seri AA6061 - T6 digunakan sebagai salah satu benda uji.
- b. Tool Steel SKD11
Bahan dasar pembuatan pahat pengelasan FSW yang digunakan pada penelitian kali ini adalah seri JIS SKD11.

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. Mesin *Water Jet Cutting*
- f. *Universal testing machine*

3.3 Prosedur Pengelasan FSW

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



Gambar 2. Persiapan alat DS-FSW.

Memasang benda uji diatas dudukan dan pencekamnya, pastikan benda kerja sudah benar benar, lalu nyalakan mesin untuk memulai proses pengelasan.



Gambar 3. Proses pengelasan DS-FSW.

Matikan semua mesin. Tunggu suhu benda kerja turun, selanjutnya lepaskan benda kerja hasil pengelasan dari penjepit dan dudukannya. Lalu ulangi cara yang sama untuk variasi geometri pin pahat atau variasi offset yang akan digunakan.

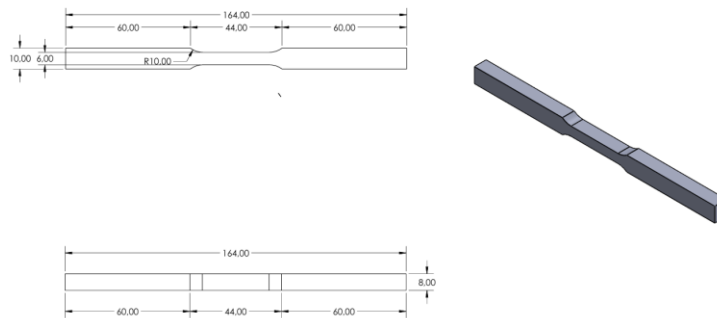
3.4 Pengujian Tarik

Pengujian tarik merupakan metode paling umum yang digunakan untuk mengkarakterisasi sifat-sifat mekanik suatu material. Melalui uji ini, dapat diperoleh data penting seperti modulus elastisitas (*Young*), tegangan luluh, kekuatan tarik maksimum, serta regangan saat putus, yang sangat penting dalam menentukan spesifikasi teknis suatu material [3]. Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Material Departemen Teknik Mesin Universitas Diponegoro. Alat yang digunakan yaitu *Universal Testing Machine* (UTM) yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. *Universal Testing Machine*.

Untuk pengujian tarik, spesimen memiliki dimensi berdasarkan ASTM E8M yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Dimensi Uji Tarik ASTM E8M (mm).

4. Hasil dan Pembahasan

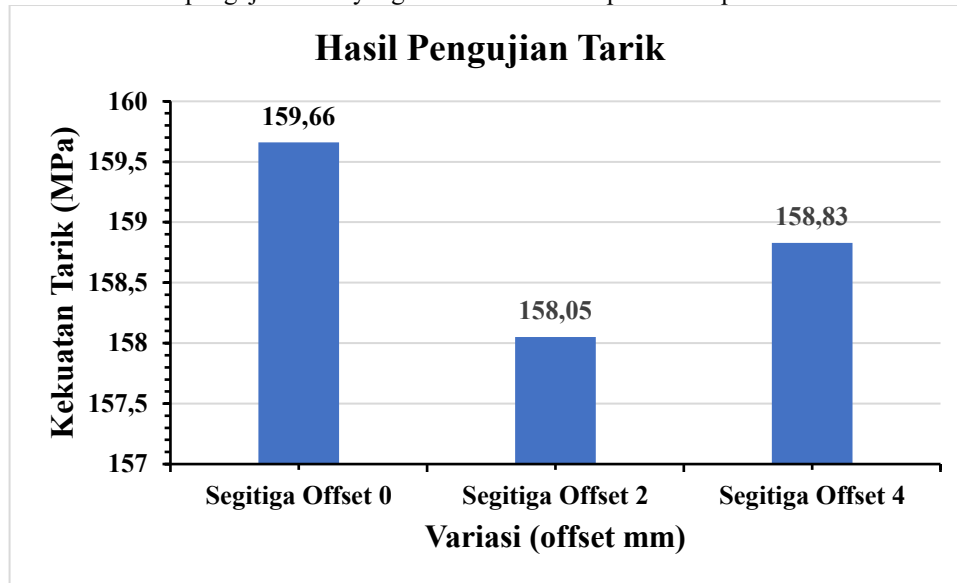
4.1 Hasil Pengujian Tarik

Berdasarkan hasil pengujian tarik yang telah dilakukan kepada spesimen yang sudah dibuat didapatkan data kuat tarik dari spesimen yang dilakukan pengujian.

Tabel 1. Data Hasil Uji Tarik

Variasi	A(mm ²)	Kekuatan Tarik (MPa)	Rata-Rata Kekuatan Tarik
Segitiga 0	100	161,34	159,66
	100	155,29	
	100	162,51	
	100	159,49	
Segitiga 2	100	158,42	158,05
	100	161,63	
	100	154,96	
	100	157,21	
Segitiga 4	100	160,16	158,83
	100	153,50	
	100	158,78	
	100	162,88	

Grafik dari data hasil pengujian tarik yang telah dilakukan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik hasil uji tarik.

4.2 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian tarik pada spesimen dengan geometri pahat segitiga dan variasi offset, diperoleh bahwa kekuatan tarik tertinggi terdapat pada spesimen dengan offset 0 mm, yaitu sebesar 159,66 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa konfigurasi tanpa offset mampu menghasilkan sambungan dengan performa tarik paling baik. Sebaliknya, spesimen dengan offset 2 mm menunjukkan kekuatan tarik terendah, yaitu sebesar 158,05 MPa, yang mengindikasikan bahwa penambahan offset pada nilai ini justru menurunkan kemampuan sambungan dalam menahan beban tarik. Sementara itu, pada offset 4 mm, kekuatan tarik meningkat menjadi 158,83 MPa, meskipun belum mampu melampaui nilai pada offset 0 mm. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa offset 0 mm merupakan konfigurasi paling optimal untuk menghasilkan kekuatan tarik tertinggi pada sambungan dengan pahat berbentuk segitiga, sedangkan penggunaan offset 2 mm justru cenderung menurunkan kualitas sambungan secara mekanis.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pengolahan data, dapat disimpulkan bahwa:

1. Nilai kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada spesimen dengan offset 0 mm, yaitu sebesar 159,66 MPa, menunjukkan bahwa konfigurasi ini mampu menghasilkan sambungan dengan performa mekanik paling baik dalam menahan beban tarik.
2. Nilai kekuatan tarik terendah tercatat pada spesimen dengan offset 2 mm, yaitu sebesar 158,05 MPa, yang mengindikasikan bahwa penambahan offset sebesar 2 mm cenderung menurunkan kekuatan tarik sambungan.
3. Spesimen dengan offset 4 mm menunjukkan nilai kekuatan tarik sebesar 158,83 MPa, berada di antara offset 0 mm dan 2 mm, namun tetap belum melampaui performa sambungan dengan offset 0 mm.
4. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa variasi offset berpengaruh terhadap kekuatan tarik sambungan DS-FSW, dan offset 0 mm merupakan konfigurasi paling optimal untuk menghasilkan sambungan dengan kekuatan tarik tertinggi pada pahat segitiga.

6. Daftar Pustaka

- [1] Bin, Y. K., Sheng, E. L., Yew, W. K., Balasubramani, S. R., & Pramono, A. W. (2024). Effect of Heat Treatment on Mechanical Characteristics and Microstructure of Aluminium Alloy AA6061. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 124(1), 209–219. <https://doi.org/10.37934/arfmts.124.1.209219>
- [2] Heidarzadeh, A., Mironov, S., Kaibyshev, R., Çam, G., Simar, A., Gerlich, A., Khodabakhshi, F., Mostafaei, A., Field, D. P., Robson, J. D., Deschamps, A., & Withers, P. J. (2021). Friction stir welding/processing of metals and alloys: A comprehensive review on microstructural evolution. In *Progress in Materials Science* (Vol. 117). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2020.100752>
- [3] Kim, N. Y., Kim, N. H., Razali, M. K., Lee, H. M., & Joun, M. S. (2025). Analytical and numerical evaluation of the relationship between elongation calibration function and cyber standard tensile tests for ductile materials. *Materials and Design*, 253. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2025.113851>
- [4] Kou. (2003). *WELDING METALLURGY SECOND EDITION*.
- [5] Kumar, K., Kalita, H., Zindani, D., & Davim, J. P. (2019). *Welding* (pp. 65–81). https://doi.org/10.1007/978-3-030-21066-3_5
- [6] Lancaster, J. F. (1984). THE PHYSICS OF WELDING. In *Phys. Technol* (Vol. 15).

-
- [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] Padhy, G. K., Wu, C. S., & Gao, S. (2018). Friction stir based welding and processing technologies - processes, parameters, microstructures and applications: A review. *Journal of Materials Science and Technology*, 34(1), 1–38. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2017.11.029>
- [9] Polmear, I. , S. D. , N. J.-F. , & Q. M. (2017). *Light Alloys: Metallurgy of the Light Metals (5th ed.)*. Butterworth-Heinemann.
- [10] Rai, R., De, A., Bhadeshia, H. K. D. H., & DebRoy, T. (2011). Review: Friction stir welding tools. *Science and Technology of Welding and Joining*, 16(4), 325–342. <https://doi.org/10.1179/1362171811Y.0000000023>