

ANALISA PENGARUH VARIASI PENGELASAN FRICTION STIR WELDING PADA MATERIAL AA5083

*Ilyasa Dimas Faza¹, Gunawan Dwi Haryadi², Yusuf Umardani²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

*E-mail: ilyasadimasf@gmail.com

Abstrak

Friction Stir Welding (FSW) merupakan metode pengelasan fase padat yang banyak digunakan untuk Aluminium 5083, yang memiliki ketahanan korosi tinggi tetapi sulit dilas secara konvensional. Penelitian ini menganalisis pengaruh kecepatan putaran alat (1100, 1400, dan 1800 rpm) serta sudut kemiringan (1° dan 3°) terhadap struktur mikro dan sifat mekanik hasil lasan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter optimal adalah 1400 rpm dengan sudut 1° , menghasilkan pencampuran material lebih homogen, struktur mikro lebih halus, dan sifat mekanik lebih baik. Peningkatan kecepatan putaran memperhalus butir di zona las akibat rekristalisasi dinamis, sementara sisi retreating menunjukkan kekerasan lebih tinggi dibandingkan advancing side. Kombinasi parameter yang tepat berperan penting dalam meningkatkan kualitas las Aluminium 5083 dengan metode FSW.

Kata kunci: aluminium 5083; friction stir welding; kecepatan putaran; sifat mekanik; struktur mikro; sudut kemiringan

Abstract

Friction Stir Welding (FSW) is a solid-state welding method widely used for Aluminum 5083, known for its high corrosion resistance but challenging to weld conventionally. This study examines the effect of tool rotation speed (1100, 1400, and 1800 rpm) and tilt angle (1° and 3°) on weld microstructure and mechanical properties. The results indicate that the optimal parameters are 1400 rpm with a 1° tilt angle, producing better material mixing, finer microstructure, and improved mechanical properties. Higher rotation speed enhances grain refinement due to dynamic recrystallization, while the retreating side exhibits greater hardness than the advancing side. The right parameter combination significantly improves the weld quality of Aluminum 5083 using FSW.

Keywords: Aluminum 5083; Friction Stir Welding; mechanical properties; microstructure; rotation speed; tilt angle

1. Pendahuluan

Pada masa industrialisasi, teknologi pengelasan mengalami perkembangan yang sangat pesat dan menjadi salah satu elemen penting dalam berbagai sektor industri. Pengembangan bagian-bagian mesin atau struktur yang ringan, kekuatan tinggi, ketahanan korosi, dan hemat biaya terus meningkat di berbagai industri [1](Permana, 2023).

Teknik pengelasan telah banyak diterapkan di berbagai bidang manufaktur, seperti industri penerbangan, otomotif, konstruksi, dan masih banyak lagi. Salah satu keunggulan utama dari teknik ini adalah hasil sambungannya yang lebih ringan dibandingkan metode penyambungan lainnya, seperti paku keling (*rivet joints*) atau baut. Secara konvensional, pengelasan didefinisikan teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan logam *continue* [2].

Untuk mengatasi berbagai tantangan tersebut, teknologi pengelasan terus berkembang. Salah satu inovasi yang signifikan adalah pengembangan metode solid state welding, di mana material yang dilas tetap dalam kondisi padat dan tidak mencair sepenuhnya. Pada tahun 1991, sebuah metode revolusioner bernama *Friction Stir Welding (FSW)* diperkenalkan. Metode ini memungkinkan pengelasan dilakukan tanpa mencairkan material, sehingga mengurangi risiko cacat las dan perubahan sifat material. FSW melibatkan interaksi kompleks antara berbagai *simultaneous thermomechanical processes*. Interaksi mempengaruhi pemanasan dan tingkat pendinginan, deformasi plastik dan aliran, rekristalisasi dinamis fenomena dan mechanical joint [3].

Pada pengelasan *Friction Stir Welding (FSW)* menggunakan prinsip memanfaatkan gesekan dari benda kerja yang berputar dengan benda kerja lain yang diam sehingga mampu melelehkan benda kerja yang diam tersebut dan akhirnya tersambung menjadi satu. Proses pengelasan dengan FSW terjadi pada kondisi padat [4].

Teknologi pengelasan, khususnya FSW, tidak hanya menawarkan solusi untuk tantangan teknis, tetapi juga membuka peluang baru dalam desain dan manufaktur [5]. Dengan kemampuan untuk menghasilkan sambungan

berkualitas tinggi tanpa cacat signifikan, metode ini dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, mulai dari pembuatan komponen pesawat terbang hingga struktur bangunan modern. Pengembangan teknologi ini mencerminkan bagaimana inovasi terus mendorong batasan dalam dunia manufaktur, menciptakan solusi yang lebih efisien, aman, dan andal untuk kebutuhan industri masa kini dan masa depan.

2. Bahan dan Metode Penelitian

2.1 Alumunium 5083

Paduan aluminium 5083 adalah jenis paduan aluminium yang mengandung sekitar 5% magnesium. Di antara paduan aluminium yang tidak dapat diperlakukan panas (non-heat treatable), seri ini memiliki kekuatan tertinggi. Selain itu, aluminium 5083 memiliki ketahanan korosi yang sangat baik dan menunjukkan performa yang luar biasa saat digunakan dalam kondisi lingkungan ekstrem [6].

2.2 Friction Stir Welding

Friction Stir Welding (FSW) adalah metode pengelasan gesek yang memanfaatkan panas yang dihasilkan dari gesekan antara alat (tool) yang berputar dengan material yang akan disambung. Proses ini biasanya diterapkan pada material logam berbentuk pelat, terutama untuk material ringan seperti aluminium [7].

2.3 Pengujian Kekerasan

Uji kekerasan merupakan metode paling efektif dalam mengukur kekerasan suatu material, karena dapat memberikan gambaran mengenai sifat mekanisnya dengan mudah. Meskipun pengukuran hanya dilakukan pada titik atau area tertentu, nilai kekerasan yang diperoleh tetap valid sebagai indikator kekuatan material. Melalui uji kekerasan, suatu material dapat diklasifikasikan sebagai material ulet atau getas. Pengujian kekerasan (*hardness test*) bertujuan untuk menentukan ketahanan suatu material terhadap deformasi pada area lokal atau permukaannya. Khusus untuk logam, deformasi yang dimaksud adalah deformasi plastis, yang mencerminkan sejauh mana material dapat mengalami perubahan bentuk permanen sebelum mengalami kegagalan [8]. Deformasi plastis sendiri adalah suatu keadaan dari material yang ketika diberikan gaya maka struktur mikronya tidak akan kembali ke bentuk semula.

2.4 Pengujian Tarik

Uji tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang sesumbu [9]. Hasil pengujian tarik memiliki peran penting dalam rekayasa teknik dan perancangan produk, karena menyediakan data mengenai kekuatan material. Uji tarik digunakan untuk menilai ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diterapkan secara perlahan.

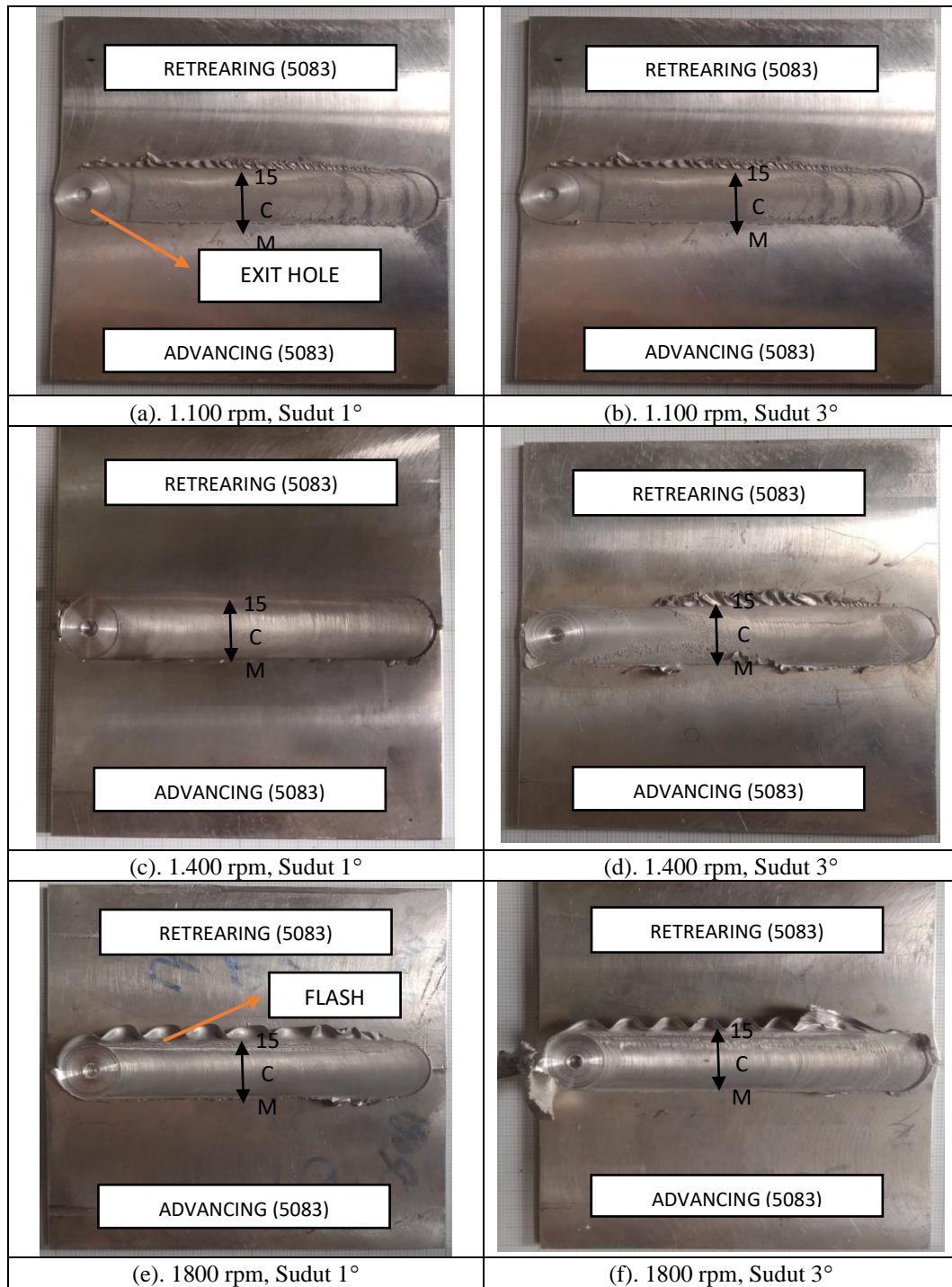
2.5 Struktur Mikro

Analisis mikrostruktur sangat bermanfaat dalam memahami perubahan struktur mikro pada setiap material akibat proses pemanasan dan pendinginan yang cepat selama pengelasan. Pengamatan ini tidak hanya memungkinkan pemeriksaan struktur logam utama, tetapi juga dapat mengidentifikasi serta mendeteksi area yang terpengaruh oleh panas di sekitar zona yang terkena dampak termal. [10].

3. Analisis Data

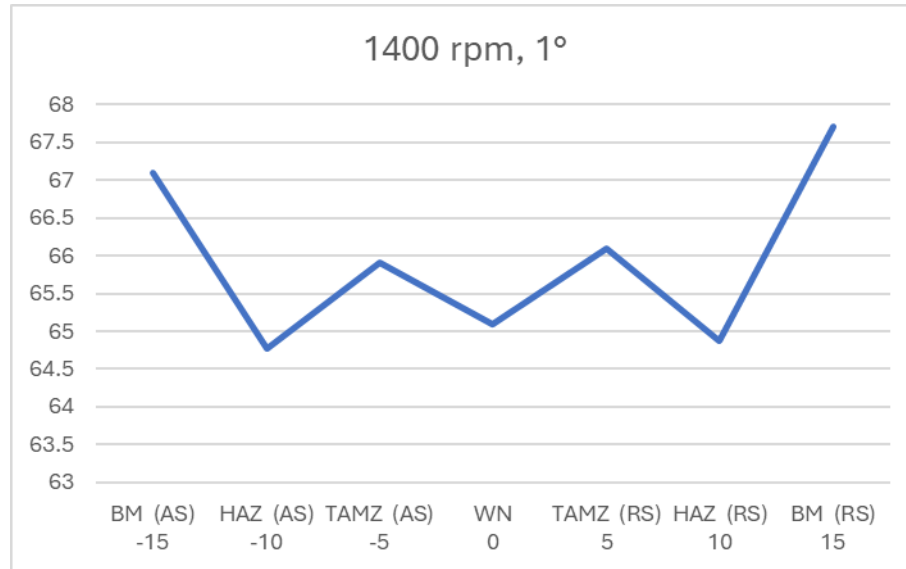
3.1 Hasil Pengelasan

Hasil pengelasan Friction Stir Welding (FSW) pada sambungan Aluminium 5083 menunjukkan karakteristik mekanik dan mikrostruktur yang signifikan. Sebagai metode pengelasan fase padat, FSW menghasilkan sambungan tanpa proses pelelehan, di mana zona las (stir zone) terbentuk melalui deformasi plastis dan pemanasan akibat gesekan. Struktur mikro pada zona adukan (stir zone) cenderung mengalami rekristalisasi dinamis dengan butiran halus dan homogen, yang meningkatkan kekuatan mekanik dibandingkan dengan material dasar yang belum dilas. Dalam penelitian ini, evaluasi dilakukan terhadap hasil pengelasan Aluminium 5083 dengan menggunakan berbagai parameter kecepatan putar dan sudut kemiringan tool FSW guna menentukan parameter optimal dalam menghasilkan kualitas sambungan yang baik.



Gambar 1 Hasil Pengelasan FSW

3.2 Hasil Uji Kekerasan



Gambar 2 Grafik Uji kekerasan mikro parameter 1.400 rpm, tool tilt 1°

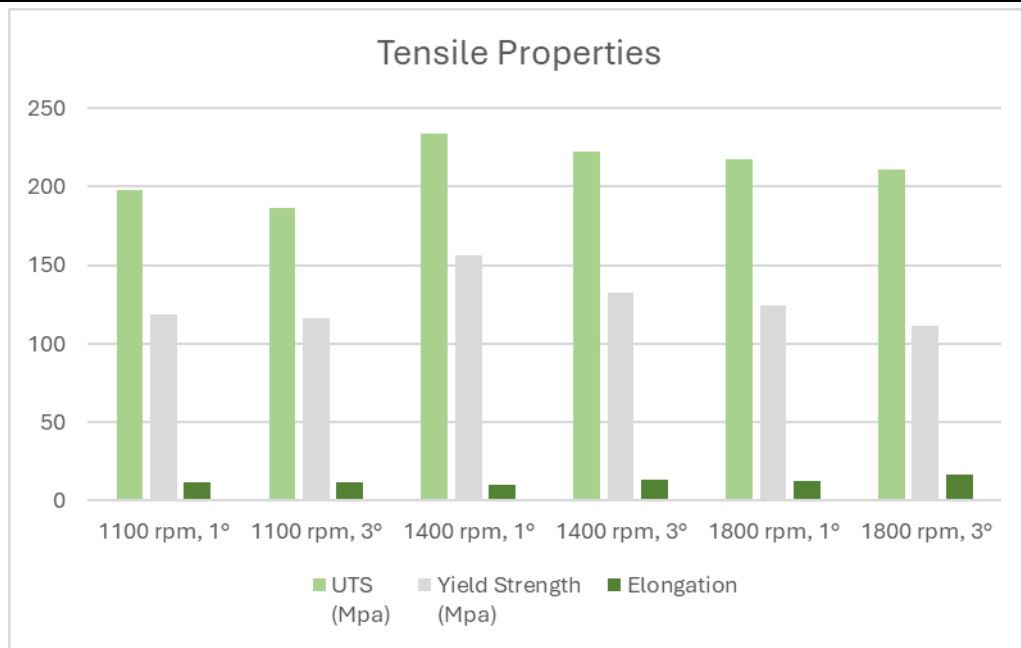
Hasil Uji Kekerasan terbaik berada pada 1400 rpm dengan sudut 1°. Pada kecepatan 1400 rpm dengan sudut 1°, terjadi perubahan yang cukup signifikan dibandingkan percobaan sebelumnya. Kekerasan di BM (-15 mm dan +15 mm) masih relatif tinggi, masing-masing sebesar 67.1 HV dan 67.7 HV, menunjukkan bahwa logam dasar tetap tidak terpengaruh secara langsung oleh proses FSW. Namun, terjadi sedikit penurunan kekerasan pada HAZ (-10 mm dan +10 mm) menjadi 64.767 HV dan 64.867 HV, yang menandakan bahwa peningkatan kecepatan putaran menghasilkan lebih banyak panas, menyebabkan pelembutan lebih lanjut di zona ini. Di TMAZ (-5 mm dan +5 mm), kekerasan turun menjadi 65.9 HV dan 66.1 HV, yang lebih rendah dari percobaan sebelumnya. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan suhu akibat kecepatan putaran yang lebih tinggi mulai mengubah struktur mikro dan menyebabkan pelembutan. Pada WN (0 mm), kekerasan turun menjadi 65.1 HV, yang lebih rendah dibandingkan percobaan sebelumnya. Ini menunjukkan bahwa meskipun ada peningkatan rekristalisasi, efek termal yang lebih tinggi mulai mendominasi, menyebabkan pertumbuhan butir yang lebih besar dan pelembutan material. Secara keseluruhan, peningkatan kecepatan putaran menjadi 1400 rpm dengan sudut 1° menghasilkan efek pelembutan di zona las, terutama di WN dan TMAZ.

3.3 Hasil Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan pada hasil pengelasan FSW aluminium 5083, dimana pada penelitian menggunakan standar ASTM E8 (ASTM E8, 2010) sebagai acuan dalam pembuatan perhitungan serta pemodelan spesimen. Pengujian dilakukan dengan variasi putaran 1100 rpm, 1400 rpm, serta 1800 rpm dengan sudut bakung atau tool tilt 1° dan 3°. Dari data Tabel nilai rata-rata dari kekuatan tarik maksimum dapat dilihat dari grafik sebagai pembanding untuk melihat nilai tertinggi dan terendah dari proses pengelasan tersebut:

Tabel 1 Tensile Properties

| Parameter | Tensile Properties | | | |
|--------------|--------------------|----------------------|------------|-----------|
| | UTS (Mpa) | Yield Strength (Mpa) | Elongation | Efisiensi |
| BM 5083 | 290.6068 | 219.414 | 13.8 | |
| 1100 rpm, 1° | 198.3005 | 118.5123 | 11.43 | 67% |
| 1100 rpm, 3° | 186.7123 | 116.4234 | 12.12 | 65% |
| 1400 rpm, 1° | 233.9945 | 156.3667 | 9.9 | 74% |
| 1400 rpm, 3° | 222.7349 | 132.7427 | 13.3 | 72% |
| 1800 rpm, 1° | 217.7018 | 124.7193 | 12.6 | 68% |
| 1800 rpm, 3° | 210.9561 | 111.0363 | 16.97 | 70% |



Gambar 3 Tensile Properties

Dari hasil pengujian ini, dapat disimpulkan bahwa kombinasi parameter terbaik bergantung pada kebutuhan aplikasi. Jika aplikasi memerlukan kekuatan tarik tinggi, maka parameter 1400 rpm dengan tool tilt 1° dapat menjadi pilihan yang baik. Namun, jika aplikasi lebih memprioritaskan keuletan dan fleksibilitas, maka parameter 1800 rpm dengan tool tilt 3° menjadi yang paling optimal. Sebaliknya, parameter dengan kecepatan putaran rendah dan sudut tool tilt besar sebaiknya dihindari karena menghasilkan sambungan dengan sifat mekanik yang lebih rendah. Dengan memahami bagaimana variasi parameter mempengaruhi sifat mekanik hasil pengelasan aluminium 5083 menggunakan metode FSW, proses optimasi dapat dilakukan untuk mendapatkan sambungan yang lebih baik sesuai dengan kebutuhan aplikasi industri, baik itu dalam sektor otomotif, maritim, maupun struktur lainnya yang memerlukan material dengan performa tinggi.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian ini dapat diketahui bahwa:

1. Variasi parameter proses berpengaruh signifikan terhadap sifat mekanik sambungan, terutama pada nilai *Ultimate Tensile Strength* (UTS), *Yield Strength*, elongation, dan efisiensi sambungan. Parameter dengan kecepatan rotasi 1400 RPM dan sudut 1° menghasilkan UTS tertinggi sebesar 233.9945 MPa dengan efisiensi 74%, mendekati karakteristik material dasar. Parameter dengan kecepatan rotasi 1100 RPM dan sudut 3° menghasilkan UTS terendah sebesar 186.7123 MPa dengan efisiensi 65%, menunjukkan bahwa parameter ini kurang optimal untuk menghasilkan kekuatan tarik tinggi.
2. Peningkatan kecepatan rotasi cenderung meningkatkan kelenturan sambungan, tetapi terkadang mengorbankan nilai kekuatan tarik.
3. Struktur mikro menunjukkan distribusi butir yang berbeda-beda tergantung pada parameter proses yang digunakan. Pencampuran material paling optimal terjadi pada kecepatan rotasi 1400 RPM dan sudut 1°, menghasilkan butiran yang lebih halus dan seragam. Parameter lain menunjukkan kecenderungan pencampuran yang kurang homogen, adanya void, atau dominasi salah satu sisi material dalam struktur mikro.

5. Daftar Pustaka

- [1] K. K. Kumar, A. Kumar, and S. Sundar, "Investigation of microstructure characteristics and work hardening behaviour of water-cooled FSW dissimilar aluminium alloys," *Mater. Today Commun.*, vol. 35, no. January, p. 105857, 2023, doi: 10.1016/j.mtcomm.2023.105857.
- [2] Azwinur, A., Jalil, S. A., & Husna, A. (2017). Pengaruh variasi arus pengelasan terhadap sifat mekanik pada proses pengelasan SMAW. *Jurnal Polimesin*, 15(2), 36-41.
- [3] Tarmizi, T., & Prayoga, B. (2016). Analisa Sifat Mekanik dan Struktur Mikro pada Proses *Friction Stir Welding* Aluminium 5052. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 10(2), 105-118.
- [4] Faruq, R. A. Y., Jokosisworo, S., & Hadi, E. S. (2018). Analisa pengaruh perbedaan diameter pin tool terhadap kekuatan tarik, impak, dan mikrografi pada aluminium 6061 dengan metode pengelasan *friction stir welding* (fsw). *Jurnal Teknik Perkapalan*, 7(1).

-
- [5] Triyoko, D., & Anggoro, A. D. (2016). Analisis Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Pada Sambungan Las Beda properties Aluminium Dengan Metode *Friction Stir Welding* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- [6] "ASM Handbook Vol 3.pdf."
- [7] 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.mser.2005.07.001.
- [8] M. S. M. Isa et al., "*Recent research progress in friction stir welding of aluminium and copper dissimilar joint: a review*," J. Mater. Res. Technol., vol. 15, no. September, pp. 2735–2780, 2021, doi: 10.1016/j.jmrt.2021.09.037
- [9] H. Margareth, *Material Science And Engineering*. 2017
- [10] M. Dewi, "Studi mikrostruktur dan sifat mekanik Aluminium 6061 melalui proses canai dingin dan aging," J. Furn., vol. 2, no. 1, 2016.