

Influence of Process Parameters on the Quality of Underwater Friction Stir Welding (UFSW) Joint in AA6005-T6 Series Aluminium Penetration and Porosity Study

[Pengaruh Parameter Proses terhadap Kualitas Sambungan Underwater Friction Stir Welding (UFSW) pada Aluminium Seri AA6005-T6 Studi Penetrasi dan Porositas]

Dimas Dwi Prastio¹⁾, Mulyadi^{*2)}

^{1,2,3)}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

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

Abstract. Friction stir welding (FSW) is a non-fusion welding technique that is effectively used to join metals, especially in underwater applications. This research aims to investigate the influence of process parameters on the quality of Underwater Friction Stir Welding (UWFSW) connections in AA6005-T6 series aluminum, with a focus on penetration and porosity studies. The process parameters that are varied are rotational speed, pushing speed, and compaction pressure. Joint testing is carried out using microstructure tests and porosity tests. The aim of this research is to evaluate in depth the impact of various UWFSW process parameters on joint quality, with a focus on weld penetration and weld porosity level. The method used is the UWFSW experimental method for studying joint penetration and porosity. The research results show that rotational speed, welding speed, and compaction pressure have a significant influence on joint penetration and porosity. The results of this research based on the Penetrant Test showed an indication of porosity with a length of 6 mm and a width of 4 mm, and the results of the penetration test using a micro structure showed a penetration gap distance of 0.614 mm. This research provides useful insights for the optimization of process parameters in producing high-quality UWFSW joints in AA6005-T6 series aluminum in aquatic environments.

Keywords - friction stir welding, underwater friction stir welding, aluminum AA6005-T6, process parameters, joint quality, penetration, porosity.

Abstrak. Friction Stir Welding (FSW) adalah salah satu teknik pengelasan non-fusi yang efektif digunakan untuk menggabungkan logam, terutama pada aplikasi di bawah air. Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi pengaruh parameter proses terhadap kualitas sambungan Underwater Friction Stir Welding (UWFSW) pada aluminium seri AA6005-T6, dengan fokus pada studi penetrasi dan porositas. Parameter proses yang divariasikan adalah kecepatan putar, kecepatan dorong, dan tekanan pemadatan. Pengujian sambungan dilakukan dengan menggunakan uji mikrostruktur, dan uji porositas. Tujuan penelitian ini untuk mengevaluasi secara mendalam dampak berbagai parameter proses UWFSW pada kualitas sambungan, dengan fokus pada penetrasi las dan tingkat porositas las. Metode yang digunakan yaitu metode eksperimen UWFSW pada studi penetrasi dan porositas sambungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan rotasi, kecepatan pengelasan, dan tekanan pemadatan memiliki pengaruh signifikan terhadap penetrasi dan porositas sambungan. Hasil dari penelitian ini berdasarkan uji *Test Penetrant* terdapat indikasi porositas dengan panjang 6 mm dan lebar 4 mm, dan hasil dari uji penetrasi menggunakan mikroskop optik terdapat jarak celah penetrasi 0.614 mm. Penelitian ini memberikan wawasan yang berguna untuk optimalisasi parameter proses dalam menghasilkan sambungan UWFSW berkualitas tinggi pada aluminium seri AA6005-T6 di lingkungan air.

Kata Kunci - friction stir welding, underwater friction stir welding, aluminium AA6005-T6, parameter proses, kualitas sambungan, penetrasi, porositas.

I. PENDAHULUAN

Pengelasan merupakan teknik krusial dalam dunia manufaktur, memainkan peran utama dalam membangun struktur yang kuat dan tahan lama. Seiring dengan kemajuan teknologi, muncul inovasi baru dalam proses pengelasan, dan salah satu yang menonjol adalah *Underwater Friction Stir Welding* (UFSW) [1]. UFSW menggabungkan prinsip friction stir welding dengan lingkungan air, membuka potensi baru untuk pengelasan di bawah air [2]. Keberhasilan UFSW dapat memberikan dampak positif pada industri kelautan, konstruksi bawah air, dan aplikasi lain yang memerlukan sambungan logam berkualitas tinggi di lingkungan yang menantang [3].

Dalam ranah pengelasan logam, paduan aluminium AA6005-T6 menjadi fokus penelitian yang semakin meningkat. Paduan ini digunakan secara luas dalam pembuatan kapal, struktur laut, dan komponen lain yang memerlukan kombinasi ketahanan korosi dan kekuatan mekanis. Namun, kendati potensi UFSW dalam meningkatkan

kualitas sambungan logam, penelitian mengenai pengaruh parameter-proses terhadap kualitas sambungan UFSW pada paduan aluminium AA6005-T6 masih menjadi area penelitian yang penting [4].

Dalam kerangka tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi secara mendalam dampak berbagai parameter-proses UFSW pada kualitas sambungan logam, dengan fokus pada penetrasi las dan tingkat porositas [5]. Dengan pemahaman yang lebih baik terhadap interaksi antara parameter-proses dan karakteristik sambungan UFSW pada paduan aluminium AA6005-T6, diharapkan dapat ditemukan cara untuk mengoptimalkan proses ini, membuka potensi peningkatan efisiensi dan kualitas sambungan logam di lingkungan bawah air [6].

Friction Stir Welding (FSW) di bawah air (UFSW) merupakan teknik penyambungan bahan padat yang sering digunakan dalam pengelasan panduan aluminium [7]. Dalam upaya untuk mengurangi emisi dan menghemat energi, terutama dalam konteks pengembangan sasis mobil yang menggunakan paduan aluminium untuk keberinganannya, diperlukan pengembangan proses penyambungan yang efektif [8]. Penelitian ini melibatkan pengelasan aluminium 6005 T-6 lembaran dengan dua kondisi berbeda, yaitu di darat dan di bawah air, dengan variasi kecepatan pengelasan [9].

UFSW mempengaruhi perkembangan mikrostruktur, sifat mekanik, dan sifat penyambungan aluminium, dan hasilnya dievaluasi dan dibandingkan. *Friction Stir Welding* (FSW) ditemukan pada tahun 1991 oleh The Welding Institute (TWI), mengatasi berbagai kesulitan metode penyambungan tradisional dan telah diterapkan luas, terutama untuk paduan aluminium sulit di las fusi konvensional [10]. Beberapa penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa UFSW memiliki potensi untuk meningkatkan sifat mekanik, menghaluskan butir, dan memperbaiki zona pelunakan. Di sektor otomotif, paduan aluminium semakin menggantikan baja karena keberingan dan efisiensi bahan bakarnya yang lebih tinggi [11]. Penggunaan paduan aluminium dalam panel bodi dan panel atap mobil menjadi mungkin berkat kemajuan dalam metalurgi aluminium [12].

UFSW menjadi metode yang tepat untuk meningkatkan struktur makro dan sifat bentuk paduan aluminium yang di las. Meskipun beberapa penelitian difokuskan pada peningkatan kekuatan, gesekan las aduk memiliki potensi untuk mengelas material yang berbeda, termasuk bahan tidak kompatibel [13]. Identifikasi cacat pada UFSW melibatkan berbagai aspek seperti hot cracking. Penelitian menyebutkan bahwa hot cracking dapat disebabkan oleh panas yang terlalu rendah atau laju pendinginan yang terlalu tinggi [14]. Dalam penelitian ini akan melakukan proses ufwsw dengan variasi parameter proses untuk mengetahui penetrasi dan porositas hasil pengelasan, serta untuk meningkatkan kualitas penyambungan, dan pentingnya pemahaman tentang cacat dalam pengelasan, termasuk aplikasi paduan aluminium dalam berbagai industri yang terkait dengan proses pengelasan [15].

II. METODE

Tahapan yang dilakukan pada proses *underwater friction stir welding* (UWFSW) dengan menggunakan parameter proses dengan kecepatan 2200 rpm dengan kecepatan pengelasan 10 mm/menit. Adalah sebagai berikut:

1. Eksperimen UWFSW
2. UWFSW pengujian metode penetrasi
3. UWFSW pengujian metode porositas

Alat-alat yang dibutuhkan pada penelitian ini meliputi : mesin *frais*, mesin *cnc milling*, mesin bubut, *jig*/penjepit, bak penampung air, mesin metalografi, bahan untuk test penetrant : cairan penetrasi, cairan *cleaner/remover*, cairan *developer*, penggaris dan kain majun/tisu.

Tabel 1. Material Properti Aluminium 6005-T6

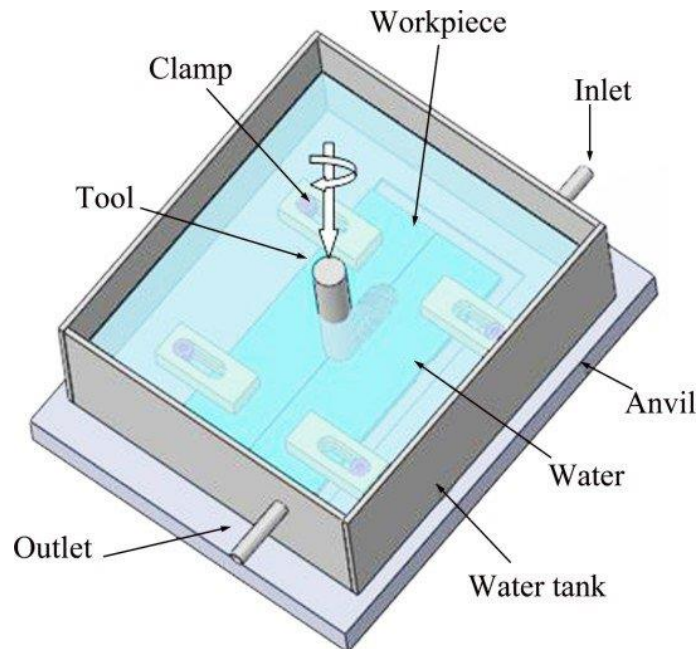
Aluminium AA6005-T6	
<i>Proof Stress</i>	225 Min MPa
<i>Tensile Strength</i>	270 Min Mpa
<i>Elongation A50 mm</i>	8%
<i>Shear Strength</i>	205 MPa
<i>Hardness Brinell</i>	90 HB
<i>Elongation A</i>	10 Min %

Tabel 2. Komposisi kimia aluminium AA 6006 T-6

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
0.6-0.9	0.35	0.1	0.1	0.4-0.6	0.1	0.1	0.1	Pengikat

A. Proses pengelasan dan parameter las

Proses pengelasan dengan metode Underwater Friction Stir Welding (UFSW), menggunakan mesin milling dengan variasi putaran spindle 2200 rpm dan kecepatan feed 10mm/min. Prinsip kerja pengelasan UFSW ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



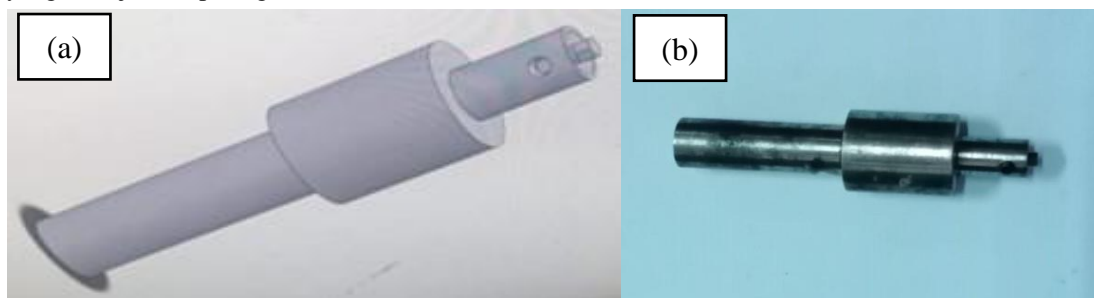
Gambar 1. Proses Pengelasan UFSW

B. Sudut kemiringan tool

Sudut kemiringan *tool shoulder* yang dipakai pada penelitian ini adalah 3° terhadap sumbu tegak lurus pada permukaan benda kerja [1].

C. Bentuk tool

Proses pengelasan menggunakan *tool* dari bahan H-13 *Hardness Steel* dengan panjang *tool* 100mm, dan diameter *pin tool* 4mm berbentuk *hexagonal*, sudut kemiringan *tool shoulder* 3° . Tipe sambungan las *But Joint*, bentuk *tool* seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah [10].



Gambar 2. Tool UFSW : (a) desain tool dan (b) manufaktur tool

D. Pengujian test penetrant

Pengujian ini menggunakan fluorescent atau cairan merah untuk mendeteksi kecacatan seperti retakan atau bukaan diarea pengelasan. Ketika terdapat kecacatan, cairan akan menembus kedalam celah tersebut. Cairan pengembang kemudian diterapkan pada permukaan yang telah diuji dengan cairan fluorescent. Dilokasi dimana cairan telah terserap, cairan tersebut akan naik kepermukaan. Proses pengujian ini dapat dilakukan langsung setelah proses pengelasan selesai, tanpa memengaruhi struktur pengelasan.



Gambar 3. Cairan Buat *Test Penetrant*

E. Pengujian struktur mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan dengan mikroskop optik seperti gambar dibawah ini :

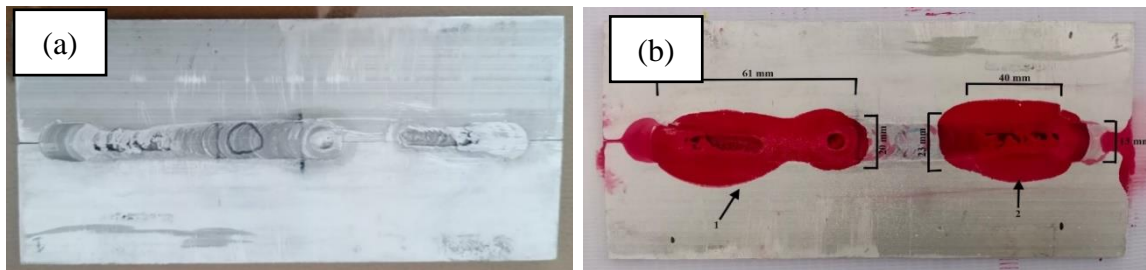


Gambar 4. Mikroskop Optik Merk *OLYMPUS BX53M*

Pengujian struktur mikro dilakukan untuk mengetahui kurang penetrasi. Pengerjaan sebelum uji mikro dilakukan proses etsa terlebih dahulu dengan menggunakan metode *Kellers Regen* kemudian diamati diuji dengan menggunakan mikroskop optik [11].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Test Penetrant

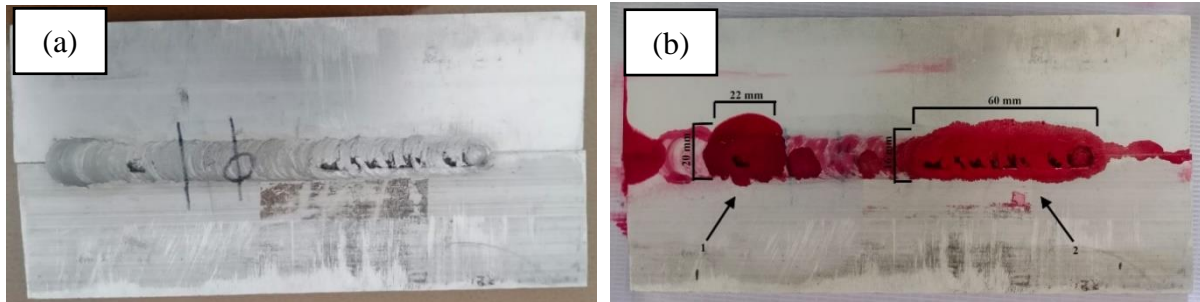


Gambar 5. Spesimen 1 : (a) sebelum *test penetrant* dan (b) sesudah *test penetrant*

Berdasarkan gambar 5 diatas dapat disimpulkan bahwa indikasi diskontinuitas (panjang dan lebar porositas) spesimen 1 dapat dilihat tabel dibawah ini :

Tabel 3. Indikasi Kontinuitas spesimen 1

No	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Indikasi
1	61 mm	20 mm	Porositas
2	40 mm	23 mm	Porositas

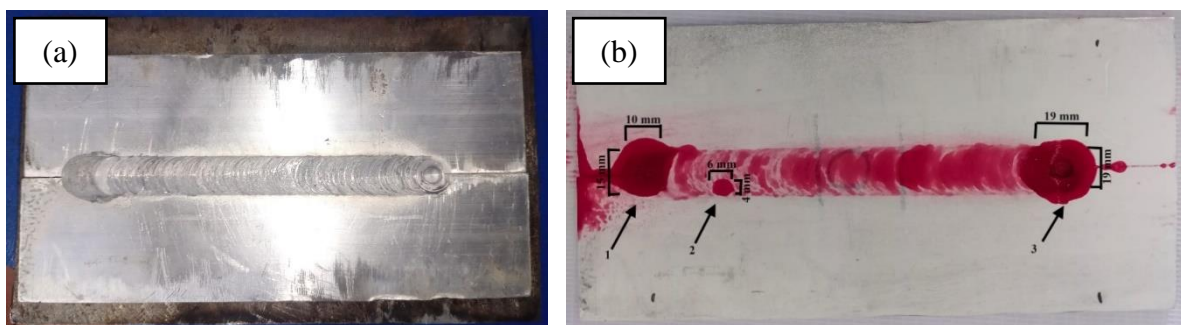
**Gambar 6.** Spesimen 2 : (a) sebelum *test penetrant* dan (b) sesudah *test penetrant*

Berdasarkan gambar 6 diatas dapat disimpulkan bahwa indikasi diskontinuitas (panjang dan lebar porositas) spesimen 2 dapat dilihat tabel dibawah ini :

Tabel 4. Indikasi Kontinuitas spesimen 2.

No	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Indikasi
1	22 mm	20 mm	Porositas
2	60 mm	16 mm	Porositas

Berdasarkan tabel 3 dan 4 diatas, menurut data diatas maka spesimen 1 dan 2 terdapat porositas dengan ukuran lumayan besar Dimana letak cacat porositas tersebut terlihat cukup jelas.

**Gambar 7.** Spesimen 3 : (a) sebelum *test penetrant* dan (b) sesudah *test penetrant*

Berdasarkan gambar 7 diatas dapat disimpulkan bahwa indikasi diskontinuitas (panjang dan lebar porositas) spesimen 3 dapat dilihat tabel dibawah ini :

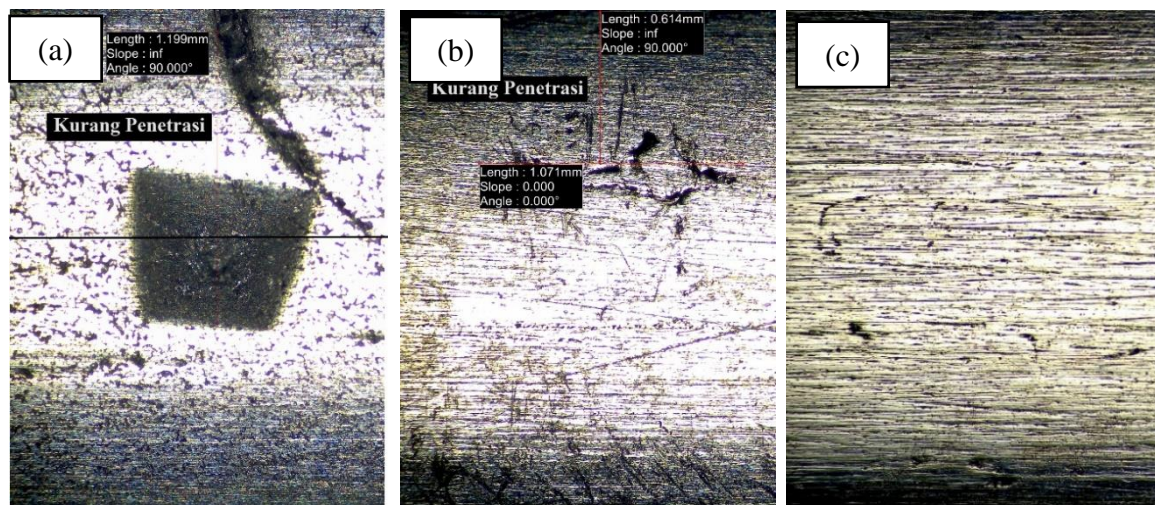
Tabel 5. Indikasi Kontinuitas spesimen 3.

No	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Indikasi
1	10 mm	15 mm	Porositas
2	6 mm	4 mm	Porositas
3	19 mm	19 mm	Porositas

Berdasarkan tabel 5 diatas, terdapat indikasi porositas dengan ukuran lumayan kecil dibandingkan spesimen 1 dan 2 yang dimana letak cacat porositas tersebut terlihat cukup jelas. Karena pencampuran tidak terjadi dengan sempurna karena fase plastis logam yang tidak merata, ini terjadi akibat putaran rpm pin yang terlalu rendah. Putaran pin yang lambat mengakibatkan panas yang masuk ke logam kurang, sehingga kondisi semi solid logam tidak terbentuk sepenuhnya. Pada teknik pengelasan tertentu seperti UWFSW, pencampuran logam menjadi krusial untuk memastikan aliran material yang lancar dan distribusi yang merata disekitar pin. Kondisi ini juga bisa muncul karena proses pencampuran tidak merata, yang dapat mengakibatkan cacat porositas dalam pengelasan. Sedangkan letak cacat porositas pada spesimen 3 ini tidak terlihat jelas. Bisa disimpulkan bahwa spesimen 3 ini yang cukup bagus indikasi kontinuitasnya dibandingkan spesimen 1 dan 2.

B. Penetrasi

Hasil pengamatan struktur mikro menggunakan optik zoom 50x dengan fokus kurang penetrasi pada pengelasan metode UFSW bahan aluminium seperti gambar dibawah ini :



Gambar 8. Hasil uji mikro penetrasi (a) penetrasi spesimen 1 (b) penetrasi spesimen 2 (c) penetrasi spesimen 3

Pada spesimen 1 dan 2 secara struktur mikro terlihat bahwa jarak celah cacat penetrasi adalah 1,199 mm dan 0,614 mm. Sehingga sambungan tidak terjadi secara sempurna dan terlihat cukup jelas kurang penetrasi yang cukup besar dikarenakan kekurangan panas juga dapat mengakibatkan cacat ini. Ketika laju pengelasan dipercepat, jumlah panas yang diserap semakin sedikit karena pahat bergerak sangat cepat dan tidak sempat memberikan panas yang cukup pada area yang sedang dilas. Akibatnya, semakin tinggi laju pengelasan, semakin terlihat cacat penetrasinya. Dibandingkan pada spesimen 3 terlihat bahwa sambungan terjadi secara sempurna dan tidak terlihat kurang penetrasi.

IV. SIMPULAN

Dari data yang diperoleh, ditemukan beberapa kesimpulan bahwa setelah pengujian menggunakan test penetrant, terdapat ketidaksempurnaan pada hasil pengelasan dalam bentuk porositas dipermukaannya. Pada spesimen 1 dan 2, terdapat indikasi porositas dengan ukuran yang cukup besar, dimana letak cacat porositas tersebut terlihat cukup jelas. Dan pada spesimen 3 terdapat indikasi dengan ukuran lumayan kecil dibandingkan spesimen 1 dan 2. Bisa disimpulkan bahwa spesimen 3 yang cukup bagus indikasi kontinuitasnya dibandingkan dengan spesimen 1 dan 2.

Setelah dilakukan proses pengamatan dengan mikroskop optik terlihat bahwa spesimen 1 dan 2 sambungan pengelasannya tidak terjadi secara sempurna dan terlihat cukup jelas kurang penetrasi yang cukup besar. Dan pada spesimen 3 terlihat bahwa sambungan terjadi secara sempurna dan tidak terlihat kurang penetrasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya ucapkan terimakasih kepada kedua orang tua yang telah mensupport dengan baik dan selalu mendoakan saya agar penelitian ini berjalan dengan baik. Ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu jalannya penelitian ini Serta saya ucapkan terimakasih juga kepada teman seperjuangan di teknik mesin yang telah memberi wawasan serta ilmu yang sangat bermanfaat. Tidak lupa juga saya ucapkan terimakasih kepada dosen pembimbing saya yang telah mendukung serta membantu menyelesaikan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] I. H. Kosasi, J. T. Mesin, F. Teknik, U. Wahid, and H. Semarang, "Pengaruh Kecepatan Putar Tool Milling..." pp. 30–34, 2012.
- [2] T. Endramawan, E. Haris, F. Dionisius, and Y. Prinka, "Aplikasi Non Destructive Test Penetrant Testing (Ndt-Pt) Untuk Analisis Hasil Pengelasan Smaw 3G Butt Joint," *JTT (Jurnal Teknol. Ter.,* vol. 3, no. 2, pp. 44–48, 2017, doi: 10.31884/jtt.v3i2.61.
- [3] I. Sukamana, "Pengaruh Kecepatan Tool Pada Dissimilar Metal Aluminium 1100 Dan 5052 Terhadap Kualitas Hasil Pengelasan Dengan Metode Las Gesek Puntir (Friction Stir Welding)," *Mach. J. Tek. Mesin,* vol. 6, no. 2, pp. 29–35, 2020, doi: 10.33019/jm.v6i2.1184.
- [4] T. Tarmizi, F. O. Wijaya, and I. Irfan, "Pengaruh Variasi Diameter Tool Pin Pada Friction Stir Welding Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Sambungan Aluminium 6061-T6," *Kapal J. Ilmu Pengetah. dan Teknol. Kelaut.,* vol. 16, no. 3, pp. 91–99, 2019, doi: 10.14710/kapal.v16i3.23280.
- [5] M. A. WAHID, Z. A. KHAN, and A. N. SIDDIQUEE, "Review on underwater friction stir welding: A variant of friction stir welding with great potential of improving joint properties," *Trans. Nonferrous Met. Soc. China (English Ed.,* vol. 28, no. 2, pp. 193–219, 2018, doi: 10.1016/S1003-6326(18)64653-9.
- [6] K. HUDA, "Studi Pengelasan Friction Stir Welding (Fsw) Pada Aluminium Aa2024 Dengan Baja Karbon Ss400 Menggunakan Variasi Feed rate," 2018.
- [7] M. Mulyadi, R. Firdaus, I. Iswanto, and M. N. Rizki, "Pengaruh parameter proses friction stir welding dengan material aluminium alloy AA6061-T651 terhadap distorsi dan kekerasan," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin,* vol. 11, no. 2, pp. 169–176, 2022, doi: 10.24127/trb.v11i2.2171.
- [8] Nafrizal, Tarkono, and Sugiyanto, "Analisis Uji Destructive Dan Non Destructive Terhadap Hasil Sambungan Las V-Tunggal Baja AISI 1045," *J. Mech.,* vol. 2, no. 2, pp. 66–67, 2011.
- [9] M. F. Sidiq, B. Setiawan, and M. A. Shidiq, "Pengaruh Kecepatan Putar Pada Pengelasan Gesek Dissimiliar Aluminium," vol. 14, no. 2, pp. 9–20, 2023.
- [10] T. Tarmizi, R. Indrawan, and I. Irfan, "Pengaruh Tool Rotation Speed Terhadap Sifat Mekanik Sambungan Aluminium Paduan 6061-T6 Pada Proses Friction Stir Welding," *Urania J. Ilm. Daur Bahan Bakar Nukl.,* vol. 25, no. 3, pp. 153–164, 2019, doi: 10.17146/urania.2019.25.3.5703.
- [11] H. Purwanto, "Evaluasi Laju Pengelasan terhadap Mikrostruktur Sambungan Aluminium 5052 dengan menggunakan Metode Friction Stir Welding," *JMPM (Jurnal Mater. dan Proses Manufaktur),* vol. 6, no. 2, pp. 1–7, 2022, doi: 10.18196/jmpm.v6i2.15005.
- [12] U. Indonesia *et al.,* "Universitas indonesia pengaruh perubahan parameter pemesinan terhadap sifat mekanik material ac4ch pada proses," 2011.
- [13] K. Tim and A. Tim, "DANA RKAT FAKULTAS TEKNIK UNDIP TAHUN ANGGARAN 2022 JUDUL PENELITIAN STUDI AWAL PERCOBAAN UNDERWATER FRICTION WELDING TIM PENGUSUL FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS DIPONEGORO," no. Nim 21050118130081, 2022.
- [14] N. Kholis and H. Purwanto, "Analisis Hasil Double Side Friction Stir Welding pada Aluminium AA6061 dengan Penguat Serbuk Cu terhadap Struktur Mikro," *Suara Tek. J. Ilm.,* vol. 14, no. 1, p. 01, 2023, doi: 10.29406/stek.v14i1.5325.
- [15] R. A. Alfian Nur Firdaus, Nisa Nur Hayati, "Contents Welcoming speech Organizing committee List of article in prosiding i ii iii iv v," *J. Semin. Kim.,* vol. 3, 2018.

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.