



# Pengaruh Proses Underwater Friction Stir Welding Terhadap Kekerasan dan Kekasaran pada Paduan Aluminium AA6005-T6: Investigasi Eksperimental

Mochammad Vani Yulianto, Mulyadi\*, A'rasy Fahrudin

Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

**Abstrak:** *Underwater Friction Stir Welding Terhadap Kekerasan dan Kekasaran pada Paduan Aluminium Seri AA6005:T6 Underwater Friction Stir Welding (UFSW) adalah metode pengelasan inovatif yang menawarkan keunggulan potensial dalam produksi dan kualitas sambungan paduan aluminium. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis dampak feeding dalam proses end milling surface terhadap tingkat kekasaran, dengan tujuan menentukan parameter feeding yang dapat menghasilkan kekasaran optimal. Metode yang diterapkan adalah eksperimental. Variabel bebas dalam penelitian ini melibatkan variasi feeding dengan nilai 10 mm/min, serta tiga variasi material yang memiliki tingkat kekerasan yang berbeda. Variabel yang diamati adalah tingkat kekasaran sebagai variabel terikat, sementara variabel kontrol yang diatur adalah depth of cut sebesar 0,5 mm dan kecepatan spindle sebesar 2200 RPM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan rotasi, kecepatan pengelasan dan tekanan pematatan memiliki pengaruh signifikan terhadap kekerasan dan kekasaran sambungan. Hasil penelitian ini mendapatkan nilai kekerasan 51,6HV dan hasil dari uji kekasaran mendapatkan nilai 2374 RA.*

**Kata Kunci:** Aluminium 6005, Pengelasan UFSW, Uji Kekerasan, Kekasaran

\*Correspondence: Mulyadi  
Email: [mulyadi@umsida.ac.id](mailto:mulyadi@umsida.ac.id)

Received: 25-08-2025  
Accepted: 25-09-2025  
Published: 25-10-2025



**Copyright:** © 2025 by the authors. Submitted for open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**Abstract:** *Underwater Friction Stir Welding Terhadap Kekerasan dan Kekasaran pada Paduan Aluminium Seri AA6005:T6 Underwater Friction Stir Welding (UFSW) adalah metode pengelasan inovatif yang menawarkan keunggulan potensial dalam produksi dan kualitas sambungan paduan aluminium. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis dampak feeding dalam proses end milling surface terhadap tingkat kekasaran, dengan tujuan menentukan parameter feeding yang dapat menghasilkan kekasaran optimal. Metode yang diterapkan adalah eksperimental. Variabel bebas dalam penelitian ini melibatkan variasi feeding dengan nilai 10 mm/min, serta tiga variasi material yang memiliki tingkat kekerasan yang berbeda. Variabel yang diamati adalah tingkat kekasaran sebagai variabel terikat, sementara variabel kontrol yang diatur adalah depth of cut sebesar 0,5 mm dan kecepatan spindle sebesar 2200 RPM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan rotasi, kecepatan pengelasan dan tekanan pematatan memiliki pengaruh signifikan terhadap kekerasan dan kekasaran sambungan. Hasil penelitian ini mendapatkan nilai kekerasan 51,6HV dan hasil dari uji kekasaran mendapatkan nilai 2374 RA.*

**Keywords:** Aluminium 6005, Pengelasan UFSW, Uji Kekerasan, Kekasaran

## Pendahuluan

*Friction Stir Welding (FSW)* telah membuktikan dirinya sebagai metode inovatif dalam pengelasan logam, khususnya pada aluminium (Febriyanto, 2018). Keunggulannya dalam menghasilkan sambungan yang berkualitas tinggi tanpa memerlukan peleburan logam telah membuatnya menjadi pilihan utama dalam berbagai aplikasi industri. Salah satu varian menarik dari FSW adalah *Underwater Friction Stir Welding*, di mana proses ini dilakukan dalam media cair seperti air (Rahman et al, 2018). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan media cair dapat

memengaruhi sifat mekanis dan morfologi permukaan hasil pengelasan, membuka peluang baru untuk mengoptimalkan karakteristik sambungan (Kartikasari et al, 2014).

Dalam konteks ini, fokus penelitian diletakkan pada pengaruh *proses Underwater Friction Stir Welding* terhadap dua parameter penting, yaitu kekerasan dan kekasaran permukaan aluminium AA6005-T6 (Silalahi et al, 2023). Aluminium ini, dengan kekuatan yang ditingkatkan oleh perlakuan panas T6, memiliki aplikasi yang luas dalam industri otomotif, pesawat, dan konstruksi (Ramadhani et al, 2019). Peningkatan kekuatan dan sifat mekanis lainnya dari aluminium AA6005-T6 membuatnya sangat diinginkan, namun, perubahan yang terjadi selama proses pengelasan dapat memengaruhi secara signifikan performadan daya tahan sambungan (Handoko et al, 2022).

Investigasi eksperimental dilakukan untuk memahami dampak konkret dari pengelasan *Underwater Friction Stir Welding* terhadap kekerasan dan kekasaran permukaan (Baptista et al, 2018). Pendekatan eksperimental ini diarahkan untuk menyelidiki perubahan struktural dan sifat mekanis aluminium AA6005-T6 setelah menjalani proses pengelasan di dalam air (Priyahapsara & Mulyani, 2020). Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan mendalam tentang potensi penggunaan UFSW dalam meningkatkan kualitas sambungan logam aluminium, terutama pada jenis aluminium dengan sifat mekanis yang telah dioptimalkan seperti AA6005-T6 (Wartono, 2013). Melalui pemahaman yang lebih baik tentang pengaruh *Underwater Friction Stir Welding* terhadap sifat kekerasan dan kekasaran permukaan, dapat dikembangkan proses pengelasan yang lebih efisien dan dapat diandalkan untuk aplikasi-aplikasi kritis di berbagai industry. Dengan demikian, penelitian ini bukan hanya berkontribusi pada pengembangan teknologi pengelasan, tetapi juga memiliki potensi untuk meningkatkan kinerja dan daya tahan struktural komponen aluminium yang dihasilkan dari proses tersebut (Babu et al, 2019).

## Metodologi

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

1. Eksperimen UFSW
2. UFSW pengujian metode kekerasan
3. UFSW pengujian metode kekasaran

Alat-alat yang dibutuhkan pada penelitian ini meliputi : mesin frais, mesin cnc milling, mesin bubut, jig/penjepit, bakpenampung air, alat uji Vickers, alat uji surface roughness tester.

**Tabel 1.** Material Properti Aluminium 6005-T6

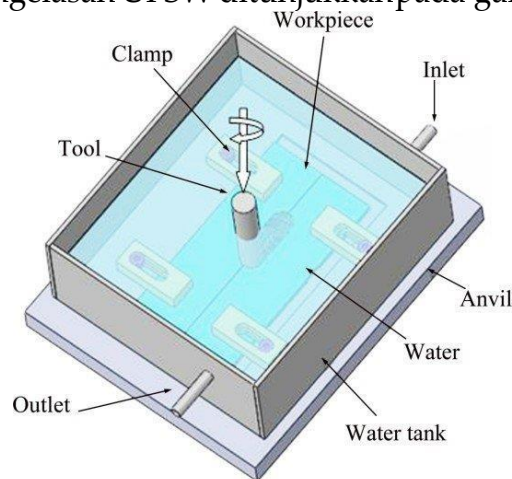
Aluminium 6005-T6	
<i>Proof Stress</i>	225 Min MPa
<i>Tensile Strength</i>	270 Min Mpa
<i>Elongation A50 mm</i>	8%
<i>Shear Strength</i>	205 MPa
<i>Hardness Brinell</i>	90 HB
<i>Elongation A</i>	10 Min %

Tabel 2. Komposisi kimia aluminium AA6005-T6

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 berikut ini:



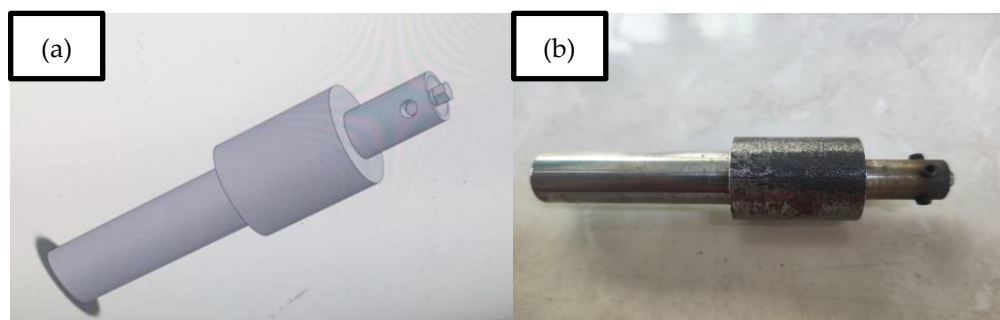
Gambar 1. Proses Pengelasan UFSW

### B. Sudut Kemiringan Tool

Sudut kemiringan *tool shoulder* yang dipakai pada penelitian ini adalah  $3^\circ$  terhadap sumbu tegak lurus pada permukaan benda kerja.

### 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*  $3^\circ$ . Tipe sambungan las but joint, bentuk tool seperti pada gambar dibawah:



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

#### D. Pengujian Kekerasan

Salah satu sifat mekanik dari sebuah material adalah uji kekerasan, yang penting terutama untuk material yang akan mengalami gaya gesek dan dinilai melalui deformasi plastis.

$$L = N \times I$$

L = panjang diagonal

N = hasil pengurangan indicator

I = konstanta perbesaran microscop 5x = 0,002



Gambar 3. Alat Uji Kekerasan

#### E. Pengujian Kekerasan ( *Surface Roughness Tester* )

Alat pengukuran kekasaran permukaan dikenal sebagai *surface roughness tester*, digunakan untuk mengevaluasi variasi bentuk permukaan komponen sebuah benda, baik itu disebabkan oleh struktur materialnya maupun proses produksinya.



**Gambar 4.** *Surface Rougness Tester*

**Hasil dan Pembahasan**



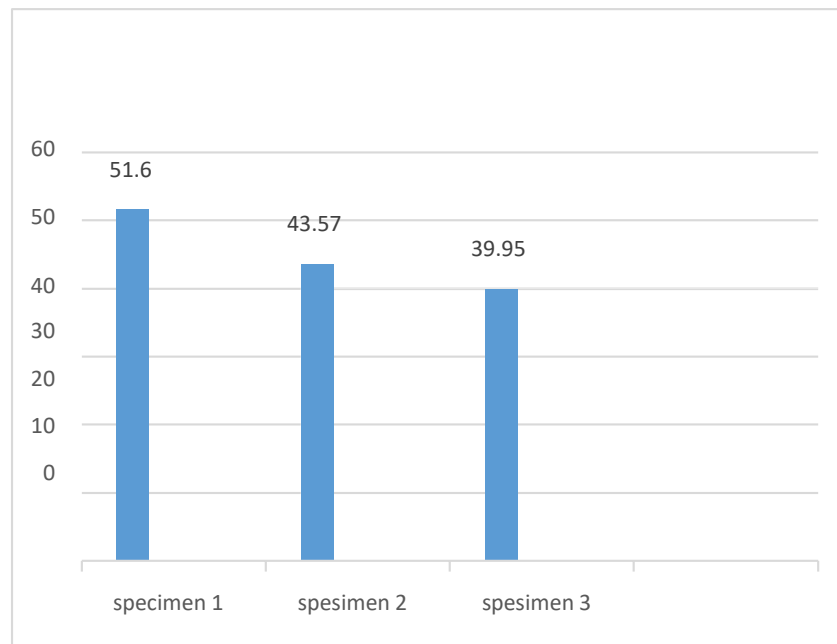
**Gambar 5.** Hasil uji kekerasan : (a) specimen 1 (b) specimen 2 (c) specimen 3

**A. Uji Kekerasan**

Hasil uji kekerasan yang dilakukan mendapatkan nilai sebagai berikut:

**Tabel 3.** Uji kekerasan

HV		
1	<i>Specimen 1</i>	51,6
2	<i>Specimen 2</i>	43,57
3	<i>Specimen 3</i>	39,95



**Gambar 6.** Grafik hasil uji kekerasan

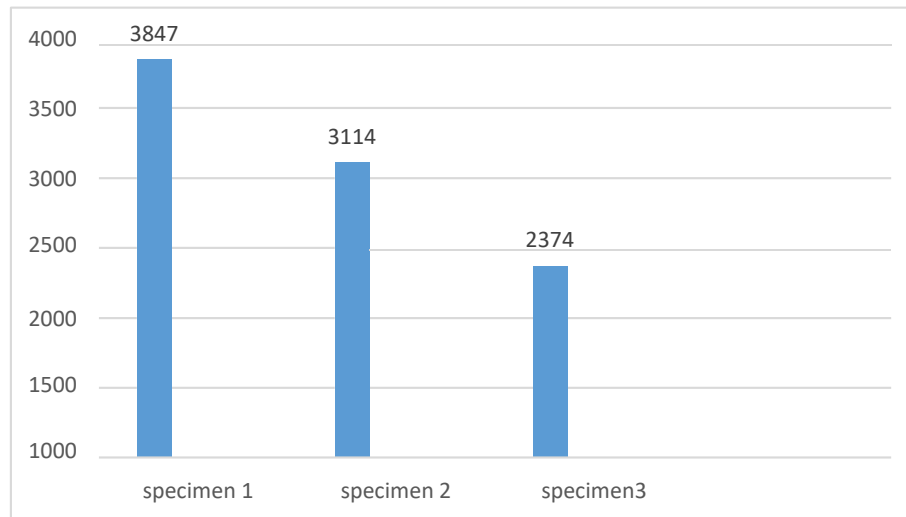
Dalam pengujian kekerasan vikers, perlu memperhatikan beberapa aspek terkait jarak untuk memastikan akurasi hasil. Menurut standart ASTM, jarak minimal dari titik pusat jejak ke bagian pinggir spesimen dan antara jejak-jejak yang berdekatan, standar ISO menetapkan bahwa jarak minimal dari titik pusat ke bagian pinggir benda uji adalah  $2,5d$  untuk baja dan  $3d$  untuk paduan tembaga. Untuk logam-logam ringan, jarak minimal antara jejak adalah  $3d$  untuk baja dan paduan tembaga, sementara untuk logamringan standarnya adalah  $6d$ . Berdasarkan hasil pengujian kekerasan terdapat hasil nilai kekerasan seperti pada tabel diatas. Terdapat perbedaan kekerasan pada ke tiga specimen tersebut, specimen 1 memiliki tingkat kekerasan paling tinggi dengan mendapat nilai kekerasan sebesar 51.6, dibandingkan specimen 2 yang mendapat nilai 43.57, dan specimen 3 mendapatkan nilai kekerasan sebesar 39.95. Perbedaan nilai hasil uji kekerasan bisa terjadi karena beberapa faktor seperti suhu dan kelembapan pada saat melakukan pengelasan.



**Gambar 7.** Hasil uji kekasaran : (a) specimen 1 (b) specimen 2 (c) specimen 3

## B. Uji Kekerasan

Hasil uji kekerasan yang dilakukan mendapatkan nilai sebagai berikut:



**Gambar 8.** grafik uji kekerasan

**Tabel 4.** Hasil uji kekerasan

No	Material	Kekasaran Ra
1	<i>Specimen 1</i>	3.847
2	<i>Specimen 2</i>	3.114
3	<i>Specimen 3</i>	2.374

Pengujian kekerasan dilakukan ke pada tiga benda. Hal ini dilakukan untuk mengetahui urutan kekerasan pada ke tiga material tersebut, pengujian kekerasan menggunakan metode uji kekerasan *vickers*. Berdasarkan tabel diatas specimen 3 memiliki nilai kekerasan paling rendah dengan memperoleh nilai kekerasan 2.374 dibandingkan dengan specimen 1 dan specimen 2, sedangkan untuk nilai kekerasan paling tinggi diperoleh pada specimen 1 dengan nilai kekerasan 3.874 Hasil perbedaan kualitas kekerasan permukaan dapat dipengaruhi beberapa faktor, seperti suhu dan kelembapan air pada saat proses pengelasan.

## Simpulan

Tingkat kekasaran permukaan material pada proses end milling surface dipengaruhi oleh setting parameter *feeding*. Semakin tinggi nilai *feeding*, maka semakin tinggi tingkat kekasaran yang dihasilkandari proses penyayatan. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan dari ketiga benda tersebut memiliki kekerasan yang berbeda, *specimen 1* memiliki tingkat kekerasan tertinggi sebesar 51,6, *specimen 2* memiliki tingkat kekerasan 3,114 dan *specimen 3* mendapatkan nilai kekerasan terendah sebesar 2,374.

## Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, disarankan untuk penelitian selanjutnya agar mencoba menggunakan *feeding* paling kecil guna mencapai hasil kekasaran yang optimal, yang umumnya menghasilkan tingkat kekasaran permukaan paling rendah.

## 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. Serta saya ucapkan terimakasih juga kepada teman seperjuangan dan juga team UFSW 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.

## 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.

## Daftar Pustaka

- Babu, K. T., Muthukumar, S., Bharat Kumar, C. H., & Narayanan, C. S. (2019). A study on influence of underwater friction stir welding on microstructural, mechanical properties and formability in 5052-O aluminium alloys. *Materials Science Forum*, 969, 27–33. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.969.27>
- Baptista, P., et al. (2018). No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析 [Covariance structure analysis of health-related indicators in community-dwelling elderly focusing on subjective health perception]. *Photosynthetica*, 2(1), 1–13. <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-76887-8>
- Budiana, E.P. (2025). Temperature and material flow in one-step double-acting friction stir welding process of aluminum alloy: Modeling and experimental. *Mechanical Engineering for Society and Industry*, 5(1), 145-157, ISSN 2798-5245, <https://doi.org/10.31603/mesi.12987>
- Febriyanto, N. (2018). *Analisa sambungan aluminium 5083 yang disambung menggunakan metode las gesek*.
- Gadakh, S. (2025). Multi-response optimization of process parameters for weld performances during underwater friction-stir welding of dissimilar aluminum alloys AA6063-T6 and AA5083-H32. *Journal of Adhesion Science and Technology*, ISSN 0169-4243, <https://doi.org/10.1080/01694243.2025.2525995>
- Gunjal, Y.R. (2025). Process Parameter Optimization for Dissimilar Friction Stir Welding of Aluminum and Steel. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 78(9), ISSN 0972-2815, <https://doi.org/10.1007/s12666-025-03708-6>
- Handoko, D., Prihantono, T., Setiawan, A., & Politeknik Negeri Pontianak Kampus Sanggau. (2022). Analisa variasi putaran friction welding terhadap kekerasan logam aluminium paduan seri 1100-H18. *Accurate: Journal of Mechanical Engineering and Science*, 3(2), 15–20. <https://doi.org/10.35970/accurate>

- Kartikasari, R., Sutrisna, & Asmara, W. W. (2014). Analisis ketangguhan paduan Fe-7,5Al-25Mn pada temperatur transisi. In *Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri ke-20*.
- Koesgi, D. P., Sehono, & Wicaksono, D. (2021). Pengaruh pemanasan awal terhadap sifat mekanik sambungan spot friction stir welding dalam pemasangan rivet aluminium 2024. *Teknika: STTKD Journal of Technical Electronic Engineering*, 7(1), 140–153. <https://doi.org/10.56521/teknika.v7i1.315>
- Kozlov, G. V., & Yanovskii, Y. G. (2014). Microhardness. *Fractal Mechanics of Polymers*, 5, 256–265. <https://doi.org/10.1201/b17730-17>
- Nugroho, F., Ahmadi, N., & Yulianto, E. (2024). Studi pengaruh kecepatan putaran rotating tool friction stir welding (FSW) terhadap kekuatan, kekerasan dan struktur. [*Journal name missing*], M(1), 24–28.
- Prasath, V. Manoj Mohan (2025). Effects of multi-objective optimization of friction stir welding process parameter on mechanical and ballistic properties of AA5754 aluminum alloy. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 39(6), 879-909, ISSN 0169-4243, <https://doi.org/10.1080/01694243.2024.2432392>
- Priyahapsara, I., & Mulyani, S. (2020). Analisis kualitas sambungan aluminium 2024 menggunakan metode friction stir welding (FSW) dengan variasi kekerasan material pin. In *Conference SENATIK STT Adisutjipto Yogyakarta* (Vol. 6, pp. 99–106). <https://doi.org/10.28989/senatik.v6i0.400>
- Pujono. (2025). Distribusi nilai kekerasan pada las friction stir welding (FSW) pada paduan aluminium dengan aplikasi transient thermal (TT).
- Rana, H. (2025). Numerical investigation on dissimilar titanium-aluminum T-joints produced by Friction stir welding: process mechanics and material flow. *International Journal of Material Forming*, 18(2), ISSN 1960-6206, <https://doi.org/10.1007/s12289-025-01915-6>
- Rahman, M. B. N., Nugroho, A. W., & Wardhana, B. S. (2018). Pengaruh feed rate dan kecepatan putar pin tool friction stir welding (FSW) terhadap kekuatan tarik dan kekerasan aluminium 5052. *Jurnal Material dan Proses Manufaktur (JMPM)*, 2(2), 83–95. <https://doi.org/10.18196/jmpm.2224>
- Ramadhani, I. (2019). Pengaruh kecepatan spindle proses friction stir welding (FSW) pada AA-2014 menggunakan variasi.
- Silalahi, R., Triyono, Prayitno, D., & Annas, S. (2023). Studi friction stir welding (FSW) pada lembaran Al 5083. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 9(2), 129–136.
- Tarik, K., Lembaran, K., & Dan, A. L. (2023). *Huma*, 33–40. <https://publikasi.kocenin.com/index.php/huma>
- Wartono, S. (2013). Pengaruh shot peening terhadap kekasaran permukaan dan sifat mekanis sambungan friction stir welding pada aluminium seri 5083. (c), 2–6.