

## PERCOBAAN PROSES *UNDERWATER FRICTION WELDING* DENGAN BAJA ST 41

\*Rafael Raka Priambadha<sup>1</sup>, Rusnaldy<sup>2</sup>, Paryanto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

E-mail: [rafaelrakapriambadha@students.undip.ac.id](mailto:rafaelrakapriambadha@students.undip.ac.id)

Corresponding Author: [rusnaldy@lecturer.undip.ac.id](mailto:rusnaldy@lecturer.undip.ac.id)

### Abstrak

*Friction Welding* adalah pengelasan dimana panas dihasilkan dari konversi energi mekanik menjadi panas pada permukaan benda kerja. Temperatur tinggi dapat menyebabkan sifat mekanik dan struktur mikro sambungan las yang buruk. Maka, dengan mempercepat pendinginan diharapkan sifat mekanik dan struktur mikro lebih baik. *Underwater* merupakan varian FW untuk mengelas logam dengan menghindari panas berlebih sepanjang garis las dengan media pendingin air. Pengelasan dilakukan dengan mesin bubut 3 variasi kecepatan putar sebagai parameter yaitu 400 rpm, 629 rpm, dan 864 rpm. Material pengelasan adalah Baja ST-41 diameter 15mm. Hasil *friction welding* melalui pengujian kelayakan *Non-Destructive* yaitu inspeksi visual. Berdasarkan hasil pengelasan, seluruh spesimen berhasil dilas. Waktu yang dibutuhkan pada rpm yang lebih rendah lebih lama dari pada rpm tinggi. Pada rpm rendah, *flash* yang dihasilkan mengalami kemiringan atau *misalignment*. Berdasarkan hasil inspeksi visual, bentuk *flash* pada *underwater friction welding* menghasilkan *flash* yang kecil atau bahkan tidak terbentuk sama sekali. *Flash* dapat terbentuk akibat tekanan aksial pada saat spesimen mengalami suhu tinggi yang memungkinkan deformasi. Pada metode *underwater* suhu yang timbul relatif lebih rendah akibat pendinginan, maka dari itu pada saat pemberian tekanan, *flash* yang terbentuk lebih kecil. Dari hal ini dapat dikatakan bahwa *friction welding* membutuhkan kecepatan putar yang tinggi agar menghasilkan hasil las yang baik.

**Kata kunci:** *friction welding*; inspeksi visual; *underwater friction welding*

### Abstract

*Friction Welding* is welding which heat is generated from the conversion of mechanical energy into heat on the surface of the workpiece. High temperatures can cause poor mechanical properties and microstructure of welded joints. Thus, with the desire to insist on better mechanical properties and microstructure. *Underwater* is a variant of Friction Welding to weld metal by avoiding overheating along the weld line with air cooling media. Welding is done with a lathe with 3 variations of rotational speed as parameters, namely 400 rpm, 629 rpm, and 864 rpm. Welding material is Steel ST-41 with a diameter of 15mm. Welding results through *Non-Destructive* testing, namely visual inspection. Based on the welding results, all specimens were successfully welded. The time required at lower rpm is longer than at high rpm. At low rpm, the resulting flash is tilted or misaligned. Results based on visual inspection, the shape of the flash in *underwater friction welding* produces little or even no flash. Flash can form due to axial stress when the specimen is subjected to high temperatures that allow deformation. In the *underwater* temperature method, the resulting temperature is relatively lower due to cooling, therefore at the time of applying pressure, the flash formed is smaller. Therefore it can be said that *friction welding* requires high rotational speed in order to produce good welding results.

**Keywords:** *friction welding*; visual inspection; *underwater friction welding*

### 1. Pendahuluan

*Friction Welding* merupakan suatu teknik penyambungan dua benda material logam. Panas yang dihasilkan dalam *friction welding* berasal dari perubahan energi mekanik menjadi energi panas pada permukaan benda kerja akibat gesekan selama gerak putar antara satu benda dengan yang lainnya [1]. *Friction welding* dapat digunakan untuk menggabungkan bahan dengan sifat termal dan mekanik yang berbeda. Temperatur pemanasan akibat gesekan dan waktu pengelasan yang singkat dari *friction welding* memungkinkan banyak kombinasi bahan untuk disambung. [2]. Pada dunia industri, *friction welding* merupakan salah satu metode pengelasan yang umum digunakan. Pengaplikasian *friction welding* menjangkau berbagai industri seperti pertanian, mesin pesawat, otomotif, listrik, minyak bumi, dan sebagainya. Dalam dunia industri, *friction welding* menjadi penting karena keuntungan pengelasannya. *Friction welding* tidak memerlukan logam pengisi, fluks, atau gas tambahan pada proses pengelasan, lebih ramah lingkungan karena

tidak menghasilkan asap atau gas, dan cocok untuk jumlah produksi yang banyak, karena waktu yang dibutuhkan dalam pengelasan jauh lebih cepat. Hasil produksi *friction welding* berupa *hydraulic piston rod*, *cable lugs*, *draft shaft*, pipa logam, hingga gardan kendaraan [3].

Dalam riset sebelumnya yaitu menganalisis hasil pengelasan dengan *friction welding* pada baja karbon rendah, proses pengelasan dilaksanakan dalam kecepatan putar tinggi dengan beberapa waktu penekanan. Dari hasilnya didapatkan bentuk visual dengan bentuk *flash* yang baik. Hasil ini kemudian diuji kembali pada *destructive test* yaitu uji tarik dan pengamatan struktur mikro. Dimana didapatkan dengan rpm yang tinggi, menghasilkan *tensile strength* yang tinggi dimana patah pada daerah HAZ. Berdasarkan pengamatan struktur mikro didapatkan hasil kandungan ferrit lebih banyak dari pearlite menghasilkan keuletan yang tinggi [4].

Proses *Friction Welding* biasanya dilaksanakan dengan metode udara atau dengan udara terbuka. Pada saat *friction welding*, struktur benda kerja yang dilas mengalami proses deformasi plastis yang tinggi akibat tingginya suhu saat proses pengelasan. Suhu yang tinggi dapat menyebabkan penurunan sifat mekanis sambungan las. Upaya yang telah dilakukan adalah dengan mempercepat laju pendinginan agar memiliki sifat mekanis dan struktur mikro yang unggul. Dalam pengaplikasiannya, hasil pengelasan dengan mesin bubut dapat ditingkatkan salah satunya dengan metode *underwater*. Metode *Underwater* merupakan varian dari proses *friction welding* yang digunakan untuk mengelas logam yang peka panas dengan menghindari panas berlebih di sepanjang garis pengelasan dengan menggunakan air sebagai media pendingin karena memiliki efek laju pendinginan yang tinggi. Dengan metode *underwater*, hasil las diharapkan lebih baik karena laju pendinginan yang cepat karena dilakukan bersamaan dengan proses pengelasan. Metode *underwater* sebelumnya telah diaplikasikan pada *friction stir welding*, sementara untuk *underwater friction welding* dalam dunia industri saat ini belum ada [5].

Penelitian mengenai teknik *Underwater Friction Welding* sendiri sebelumnya telah dilakukan, salah satunya oleh *Japan Institute of Light Metals* dengan judul "*Underwater Friction Welding Of 6061 Aluminum Alloy*". Berdasarkan penelitian tersebut didapatkan bahwa lebar area pelunakan pada sambungan las *underwater* berkurang dan rasio pelunakan juga menurun. Efisiensi sambungan maksimum dari sambungan las *underwater* dapat diperoleh 86%, sedikit lebih besar dibandingkan dengan sambungan las udara yang sebesar 82% [6]. Penelitian lain *Underwater Friction Welding* juga telah dilakukan oleh *Nicholas, E. D.* (1983) dengan judul "*Friction Welding Under Water*". Berdasarkan penelitian tersebut nilai kekerasan pada metode *underwater* lebih tinggi daripada dengan metode udara. Nilai-nilai tinggi ini mencerminkan transformasi menjadi martensit yang dihasilkan dari efek pendinginan air yang cepat [7].

Material yang akan diuji adalah *low carbon steel* ST 41 dimana ini merupakan jenis baja dengan kandungan karbon yang rendah. Baja yang kandungan karbon totalnya tidak melebihi 0,30%. Baja ST41 merupakan salah satu material yang bahan dasarnya adalah besi/baja atau *iron (fe)* yang termasuk baja SS400 atau AISI 1018. Baja ST-41 memiliki massa jenis atau densitas 7,87 gr/cm<sup>3</sup> dan memiliki nilai konduksi termal 51.9 W/mK. Alasan penggunaan material ini adalah karena material ini cukup umum digunakan pada beberapa produk yang menggunakan pengelasan. Sifat materialnya yang mampu dilas dengan baik mampu membantu penelitian mendapatkan hasil yang maksimal [8].

Pengaplikasian mengenai *Friction Welding* dengan metode *underwater* saat ini belum ada. Kurangnya penelitian dan percobaan mengenai metode ini menjadi salah satu penyebab kurangnya pengaplikasian tersebut. Dengan adanya percobaan mengenai metode ini, diharapkan dapat mampu meningkatkan pengaplikasian *underwater friction welding*. Selain itu diharapkan juga, dapat menganalisis hasil pengelasan yang telah dilaksanakan dengan pengujian kualitas hasil las. Pengujian dilakukan dengan inspeksi visual pengelasan.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan uji coba dengan metode *underwater friction welding*.
2. Melakukan inspeksi visual dari hasil *underwater friction welding*.

## 2. Bahan dan Metode Penelitian

Baja ST-41 memiliki *weldability* yang sangat baik dan dapat dilas dalam semua metode pengelasan konvensional. Baja ST-41 memiliki keseimbangan yang baik antara ketangguhan, kekuatan, dan keuletan [9]. Baja ST41 memiliki kandungan dan sifat mekanik yang dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 1.** Kandungan Baja ST-41 [9]

Jenis Kandungan	Besi (Fe)	Mangan (Mn)	Karbon (C)	Fosfor (P)	Sulfur (S)
Persentase	98,81-99,26	0,6-0,9	0,15-0,20	0,04 (max)	0,05 (max)
Kandungan (% wt)					

**Tabel 2.** Sifat Mekanik Baja ST-41 [9]

Sifat Mekanik	Tensile Strength	Yield Strength	Elongation at break	Modulus Young	Hardness, Brinell	Hardness, Rockwell	Hardness, Vickers
Nilai	440 MPa	370 MPa	14 – 21 %	205 GPa	126	71 (konversi dari Brinell Hardness)	131 (konversi dari Brinell Hardness)

Spesimen yang digunakan pada pengelasan memiliki dimensi diameter sebesar 15mm dan panjang 150mm. Spesimen *underwater* menyesuaikan ukuran *chamber* yang telah dibuat. Berikut adalah spesimen yang akan digunakan untuk proses *friction welding*.



**Gambar 1.** Spesimen Pengelasan

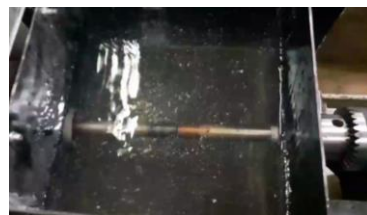
Pada *Experimental Set-Up Friction Welding*, benda kerja pertama diletakkan dan dicekam pada *chuck* dari mesin bubut dan akan berputar sesuai dengan kecepatan yang dibutuhkan. Sedangkan untuk benda kerja kedua dicekam pada *tailstock*. Kemudian benda kerja digesekkan dan ditekan secara aksial. *Setup* alat yang digunakan adalah mesin bubut, benda kerja yaitu silinder ST-41, dan *chamber underwater* sebagai media *underwater*. Gambar 2,3, dan 4 menunjukkan *set-up* sebelum, saat, dan setelah pengelasan.



**Gambar 2.** *Experimental Set-Up* Sebelum Pengelasan



**Gambar 3.** *Experimental Set-Up* Saat Pengelasan



**Gambar 4.** *Experimental Set-Up* Setelah Pengelasan

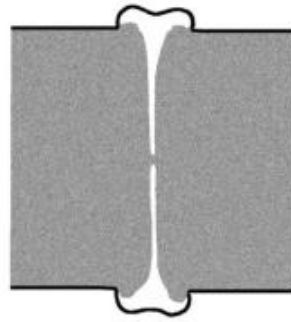
Parameter pengelasan merupakan beberapa variabel yang memengaruhi hasil pengelasan. Parameter pengujian *underwater friction welding* yang digunakan adalah kecepatan rotasi *chuck*. Sedangkan waktu penekanan serta tekanan aksial diasumsikan sama. Pengasumsian ini dilakukan dengan menyamakan pergerakan tuas *tailstock* pada mesin bubut sebesar 10 mm. Adapun variasi kecepatan putar *chuck* yang menjadi parameter pengelasan adalah 3 tingkat kecepatan yaitu pada kecepatan 400 rpm, 629 rpm, dan 864 rpm. Parameter pengelasan lebih jelas dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 4.** Parameter Pengelasan

Kecepatan Putar	Tekanan Aksial
400 rpm	Pergeseran pada angka <i>tailstock</i> Mulai: 3; Selesai: 4
629 rpm	
864 rpm	

Sambungan las di setiap komponen atau struktur memerlukan pemeriksaan yang menyeluruh. Peran *Non-Destructive Evaluation* (NDE) atau *Non-Destructive Inspection* (NDI) dalam pemeriksaan hasil pengelasan sangat penting, dan sebagai membuat teknologi pengelasan menjadi sangat berkembang. Menurut *The Welding Institute*, NDI

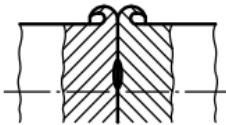
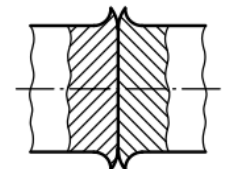
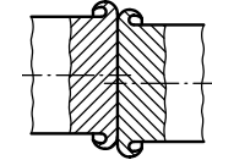
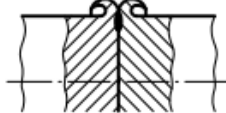
adalah teknik inspeksi dan analisis yang digunakan oleh industri untuk mengevaluasi sifat suatu material untuk perbedaan karakteristik atau cacat pengelasan tanpa menyebabkan kerusakan pada bagian aslinya [10].



Gambar 5. Bentuk *flash* pengelasan optimal [11].

Inspeksi bentuk *flash* spesimen adalah inspeksi visual untuk melihat bentuk *flash* akibat *friction welding* yang telah dilakukan. Bentuk *flash* yang dapat diterima terdapat pada ISO 16620:2019, *Welding - Friction welding of metallic materials* yang telah disebutkan di dasar teori. Bentuk *flash* dari pengelasan yang baik adalah bentuk *flash* pada kedua benda berbentuk dan berukuran mirip/sama. Pemeriksaan visual memberikan kesan awal bentuk dan penampilan dari hasil pengelasan. Namun dalam setiap pengelasan, memungkinkan terjadi hasil las yang mengalami cacat. Cacat *flash* yang paling sering terjadi adalah sebagai berikut.

Tabel 5. Cacat Visual Pengelasan [12]

Cacat Pengelasan	Ilustrasi Gambar	Penyebab
<i>Incomplete Bonding</i>		Parameter pengelasan yang kurang baik atau adanya kotoran pada permukaan material.
<i>Undercut</i>		Parameter pengelasan yang kurang baik atau pencekam yang kurang kuat
<i>Misalignment</i>		Pencekam kurang kuat, ketidaktepatan geometris, dan tekanan terlalu lama
<i>Cracks</i>		Tekanan yang terlalu tinggi, terdapat kotoran pada permukaan, dan kecepatan yang tidak konstan

### 3. Hasil dan Pembahasan

Pelaksanaan pengelasan dilakukan dengan tiga kecepatan putaran *chuck* yaitu pada kecepatan 400 rpm, 629 rpm dan 864 rpm. Tekanan aksial disesuaikan dengan pergeseran pada tuas *tailstock* yaitu sebesar 10mm. Berikut adalah hasil pengujian *Underwater Friction Welding* dan hasil inspeksi visual *Non-Destructive* pada bentuk *Flash* dari spesimen *Underwater Friction Welding*.

Metode *Underwater Friction Welding* pada kecepatan 400 rpm membutuhkan waktu total pengelasan selama 50 menit 29 detik. Sedangkan pada kecepatan 629 rpm membutuhkan waktu pengelasan selama 45 menit 5 detik. Dan pada kecepatan 864 rpm hanya membutuhkan waktu total pengelasan selama 31 menit 18 detik. Gambar 6, 7, dan 8 menunjukkan hasil pengujian pengelasan dalam ketiga kecepatan putar tersebut.





**Gambar 6.** UFW pada Kecepatan 400 rpm



**Gambar 7.** UFW pada Kecepatan 629 rpm



**Gambar 8.** UFW pada Kecepatan 864 rpm

Berdasarkan hasil tersebut, pada pengujian *Underwater Friction Welding* dapat dianalisa bahwa semakin kecil rpm yang digunakan dalam pengelasan, menghasilkan hasil las yang *misalignment*. Selain itu waktu yang dibutuhkan pada rpm yang lebih rendah lebih lama dari pada rpm tinggi. Pada *underwater friction welding* bentuk *flash* yang dihasilkan kecil atau bahkan tidak terbentuk sama sekali. Pada metode *underwater* suhu yang timbul relatif lebih rendah akibat pendinginan, maka dari itu pada saat pemberian tekanan, *flash* yang terbentuk lebih kecil.

Bentuk *flash* dari pengelasan yang baik adalah bentuk *flash* pada kedua sisi benda berbentuk dan berukuran mirip/sama. Dari hasil inspeksi visual tersebut, didapatkan terdapat cacat *flash* dari spesimen yang dilas. Dalam pengujian di atas, terjadi cacat *flash* yaitu *misalignment*. *Misalignment* dapat terjadi karena pengecam kurang kuat, ketidaktepatan geometris, dan tekanan yang terlalu lama. Secara visual, pengujian dengan kecepatan putar yang lebih tinggi menghasilkan bentuk *flash* yang lebih baik atau rapih. Dimana bentuk dari spesimen lebih rapih dan kemiringan yang terjadi tidak terlalu besar. Kecepatan rendah menghasilkan las yang kurang rapih dan kemiringan yang cukup besar. Dari hal ini dapat dikatakan bahwa *friction welding* membutuhkan kecepatan putar yang tinggi agar menghasilkan hasil las yang baik. Secara visual, dapat dilihat bahwa *flash* yang timbul akibat proses pengelasan dari kedua sisi spesimen berbentuk mirip dan hampir sama.

#### 4. Kesimpulan

Pengujian *Underwater Friction Welding* telah dilaksanakan yang kemudian dilanjutkan dengan uji coba kelayakan hasil las. Berdasarkan hasil pengelasan, seluruh spesimen berhasil dilas. Waktu yang dibutuhkan pada rpm yang lebih rendah lebih lama dari pada rpm tinggi. Akibat dari metode *underwater friction welding* menyebabkan waktu yang diperlukan selama pengelasan menjadi lama. Waktu yang lebih lama diakibatkan oleh laju pendinginan yang cepat juga membuat peningkatan suhu semakin lama dan semakin rendah. Maka dari itu pada saat pemberian tekanan, *flash* yang terbentuk lebih kecil.

Uji coba kelayakan kemudian dilaksanakan dengan *non-destructive visual inspection*. Bentuk *flash underwater friction welding* yang dihasilkan kecil atau bahkan tidak terbentuk sama sekali. Berdasarkan hasil *non-destructive inspection* yaitu inspeksi visual masih terdapat cacat *flash* pada spesimen pengelasan. Spesimen *Underwater Friction Welding* mengalami cacat *flash* yaitu *misalignment* pada spesimen kecepatan 629 rpm dan 400 rpm. Sedangkan visual *flash* terlihat lebih baik pada spesimen kecepatan 864 rpm. *Underwater Friction Welding* memerlukan parameter pengelasan yang baik. Kecepatan putaran dan tekanan aksial menjadi hal yang sangat penting. Kecepatan putar dan tekanan yang rendah memungkinkan terjadinya *misalignment* yang kemudian berdampak pada berkurangnya kualitas hasil las.

## 5. Daftar Pustaka

- [1]. Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2009). *Manufacturing Engineering* (pp. 978-9810681449). Pearson Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ, USA.
- [2]. Yilbas, B. S., & Sahin, A. Z. (2014). *Friction welding: thermal and metallurgical characteristics*. Springer Berlin Heidelberg.
- [3]. Ferjutz, K., & Davis, J. R. (1993). *ASM handbook: volume 6: welding, brazing, and soldering*. ASM International, Materials Park, OH.
- [4]. Husodo, N., & Sanyoto, B. L. (2011). Peningkatan Peran Teknologi Friction Welding Dalam Memproduksi As Sepeda Motor Produk Industri Kecil. In *Prosiding Seminar Competitive Advantage* (Vol. 1)
- [5]. El-Sayed, M. M., Shash, A. Y., Abd-Rabou, M., & ElSherbiny, M. G. (2021). Welding and processing of metallic materials by using friction stir technique: A review. *Journal of Advanced Joining Processes*, 3, 100059.
- [6]. Sakurada, D., Katoh, K., & Tokisue, H. (2002). *Underwater friction welding of 6061 aluminum alloy*. *Keikinzoku*, 52(1), 2-6.
- [7]. Nicholas, E. D. (1983). Friction welding under water. In *Underwater welding. International Conference* (pp. 355-362).
- [8]. Eyvazian, A., Hamouda, A., Tarlochan, F., Derazkola, H. A., & Khodabakhshi, F. (2020). Simulation and experimental study of underwater dissimilar friction-stir welding between aluminium and steel. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(3), 3767-3781.
- [9]. Anonymus. "AISI 1018 Mild/Low Carbon Steel" <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=9138>. diakses Mei 2022
- [10]. Welding, E. B., & Handbook, A. S. M. (1993). *Welding, brazing, and soldering*. ASM Int, 6, 254
- [11]. Weman, K. (2011). *Welding processes handbook*. Elsevier.
- [12]. British Standards. (2019). *Welding - Friction welding of metallic materials*. European Committee for Standardization.