

PROSES UNDERWATER FRICTION WELDING UNTUK DISSIMILAR METAL ANTARA AISI 1045 DENGAN STAINLESS STEEL 304

*Aulia Mei Kurniawan¹, Rusnaldy², Paryanto²

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: uliikurniawan21@gmail.com

Abstrak

Friction welding merupakan pengelasan *solid-state* dimana penggabungan diperoleh dari panas akibat gesekan dan tekanan. *Underwater friction welding* merupakan variasi *friction welding* yang dilakukan dibawah air dengan bantuan *chamber* sebagai media air dengan tujuan hasil penyambungan logam akan lebih optimal karena proses pendinginan yang cepat, yang berlangsung bersamaan dengan proses pengelasan. Pengelasan dilakukan menggunakan mesin *friction welding* dengan parameter waktu tempa 4 detik dan 6 detik serta kecepatan putar 1400rpm. Material pengelasan adalah menyambungkan AISI 1045 dan *stainless steel* 304 berdiameter 12mm. Spesimen hasil *friction welding* diuji kelayakan *Non-Destructive Test* berupa inspeksi visual dengan melihat bentuk *flash* yang dihasilkan. *Friction welding* dilakukan pada 4 spesimen yang terdiri dari 2 spesimen udara dan 2 spesimen *underwater*. Spesimen berhasil disambungkan yang kemudian dilakukan uji kelayakan hasil pengelasan. Waktu tempa memiliki pengaruh terhadap hasil *flash* yang terbentuk pada spesimen, dimana semakin besar waktu tempa yang digunakan menghasilkan *flash* yang berukuran semakin besar. *Flash* yang terbentuk pada material AISI 1045 berukuran lebih besar dibandingkan dengan *flash* yang terbentuk pada *stainless steel* 304 yang diakibatkan oleh perbedaan sifat mekanik dari material yang disambungkan. Pada *underwater friction welding*, ukuran *flash* yang terbentuk lebih kecil daripada *friction welding* udara, dikarenakan pendinginan cepat saat proses pengelasan berlangsung. Terjadi cacat *flash* berupa *misalignment* yang diakibatkan oleh pencekaman yang kurang kuat, ketidaktepatan geometris, dan pemberian tekanan yang terlalu lama. Terjadinya *misalignment* mengakibatkan menurunnya kualitas sambungan pengelasan.

Kata kunci: *flash; friction welding; pengelasan; underwater friction welding*

Abstract

Friction welding is a solid-state welding method where fusion is achieved through heat generated by friction and pressure. Underwater friction welding is a variation of friction welding carried out beneath water using a chamber as a water medium. The purpose is to achieve optimal metal joint results due to the rapid cooling process, which occurs simultaneously with the welding process. Welding is performed using a friction welding machine with forge time parameters of 4 seconds and 6 seconds, along with a rotational speed of 1400 rpm. The welding materials involve joining AISI 1045 and stainless steel 304 with a diameter of 12mm. Specimens produced through friction welding are subjected to a Non-Destructive Test, involving visual inspection by observing the flash formation. Friction welding is performed on 4 specimens, consisting of 2 air specimens and 2 underwater specimens. Successfully joined specimens are then subjected to the assessment of welding results. Forge time has an impact on the size of the flash formed on the specimens, where a longer forge time results in a larger flash. The flash formed on AISI 1045 material is larger compared to the flash formed on stainless steel 304 due to the mechanical property differences of the materials being joined. In underwater friction welding, the size of the flash formed is smaller than in air friction welding, attributed to the rapid cooling during the welding process. Defective flashes, such as misalignments, arise from insufficient clamping force, geometric inaccuracies, and excessive pressure application. These misalignments lead to a decrease in the quality of the welded joints.

Keywords: *flash; friction welding; welding; underwater friction welding*

1. Pendahuluan

Friction welding adalah pengelasan dalam keadaan padat (*solid state welding*) tanpa menggunakan logam pengisi dengan menggunakan metode tekanan dimana dua benda kerja yang akan disambung diberikan kontak dan diatur gerakan relatif dalam tekanan, maka gesekan akan membangkitkan panas disekitar permukaan kontak, ketika sudah mencapai

temperatur tempa maka diberikan tekanan tempa. Metode penyambungan dengan *friction welding* merupakan suatu pilihan metode untuk penyambungan dua jenis logam berbeda, yang mana pada proses ini, penyambungan kedua jenis logam terjadi pada fase solid, tanpa membutuhkan logam pengisi (*filler metal*), *flux*, dan gas pelindung [1]. Proses pengelasan dapat terjadi sebagai akibat dari penggabungan antara laju putaran salah satu benda kerja dengan gaya tekan yang diberikan oleh benda kerja lain terhadap ujung dari benda kerja yang berputar. Pelaksanaan proses berlangsung dengan cepat karena membutuhkan waktu gesek yang relatif singkat. Daerah yang dipengaruhi oleh panas (HAZ) pada logam yang disambungkan menjadi sempit karena panas yang dihasilkan tidak mencapai titik cair logam, dan pemberian tekanan tempa membantu mengurangi efek negatif dari panas pada logam. Parameter proses yang penting dalam *friction welding* adalah waktu gesekan, tekanan gesekan, waktu tempa, tekanan tempa dan kecepatan putar [2]. Terdapat banyak kelebihan yang dimiliki *friction welding* dibandingkan dengan pengelasan konvensional antara lain tidak memerlukan bahan tambahan, waktu pengelasan yang cepat, sambungan yang kuat, keanekaragaman material, tidak menghasilkan gas dan limbah berbahaya [3].

Metode *underwater* adalah bentuk variasi dari teknik *friction welding* yang diterapkan pada penyambungan logam yang peka terhadap panas tinggi. Tujuannya adalah mengurangi potensi peningkatan suhu berlebihan sepanjang garis pengelasan, di mana air digunakan sebagai media pendingin. Hal ini dimungkinkan karena air memiliki kemampuan pendinginan yang baik. Dengan penerapan metode *underwater*, diharapkan hasil penyambungan logam akan lebih optimal karena proses pendinginan yang cepat, yang berlangsung bersamaan dengan proses pengelasan itu sendiri. Metode pengelasan di dalam air dipilih dari berbagai cara perbaikan karena kemudahan penerapannya dan biaya yang ekonomis. Oleh karena itu, metode perbaikan ini semakin populer sehingga banyak penelitian dilakukan untuk mengkaji kualitas sambungan las di bawah air serta kekuatan sambungan las yang dihasilkan [4].

Penelitian tentang *underwater friction welding* sebelumnya telah dilakukan oleh Nicholas (1982) dengan judul "*Friction Welding Under Water*". Berdasarkan penelitian tersebut yaitu membandingkan nilai kekerasan untuk lasan yang diproduksi di udara dan di dalam air, nilai kekerasan pada metode *underwater* lebih tinggi daripada dengan metode udara [5]. Penelitian lain telah dilakukan oleh *Japan Institute of Light Metals* dengan judul "*Underwater Friction Welding Of 6061 Aluminum Alloy*". Berdasarkan penelitian tersebut didapatkan bahwa total *loss* pada sambungan las *underwater* menjadi lebih kecil dibandingkan dengan sambungan las udara. Selain itu 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]. Kemudian penelitian yang dilakukan oleh Priambadha (2022) yang menyambungkan material ST41 dengan metode *underwater friction welding* menyatakan pada *underwater friction welding*, ukuran *flash* yang terbentuk lebih kecil dibandingkan pada *friction welding* biasa. Pada metode *underwater* suhu yang timbul relatif lebih rendah akibat pendinginan, maka dari itu pada saat pemberian tekanan, *flash* yang terbentuk lebih kecil [7]. Dengan adanya penelitian yang telah dilakukan pada metode pengelasan ini, penulis akan melakukan percobaan untuk menyambungkan dua jenis logam yang berbeda, yaitu AISI 1045 dengan *stainless steel* 304 yang kemudian dilakukan pengujian kualitas hasil pengelasan dengan inspeksi visual.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan percobaan *underwater friction welding* untuk *dissimilar metal* antara AISI 1045 dengan *stainless steel* 304.
2. Melakukan inspeksi visual dari hasil *underwater friction welding*.

2. Bahan dan Metode Penelitian

AISI 1045 adalah baja karbon dengan kandungan karbon sekitar 0,43% - 0,50% sehingga baja ini termasuk dalam golongan baja karbon sedang. AISI 1045 memiliki sifat mampu mesin (*machinability*) yang baik dalam segala kondisi. Proses pemesinan seperti *milling*, *drilling*, *turning*, *sewing*, dll dapat dilakukan pada material ini dengan baik. AISI 1045 memiliki *weldability* yang baik apabila dilakukan dengan prosedur yang sesuai dan dapat langsung dilas dengan semua proses pengelasan konvensional. Sifat mampu las dan mampu mesin yang baik, serta tingkat kekerasan yang baik sehingga AISI 1045 digunakan sebagai material dalam pembuatan kapak, baut, poros baling-baling kapal, *machinery parts*, *piston rods* dan lain-lain.

Stainless steel tipe 304 adalah *austenitic stainless steel* yang sering dikenali sebagai '18-8' *stainless* karena memiliki komposisi kandungan 18 persen kromium dan 8 persen nikel. *Stainless steel* 304 mudah dalam proses pembentukan, pengelasan, dan memiliki ketahanan terhadap korosi yang tinggi bahkan pada suhu yang sangat rendah [8]. *Stainless steel* 304 merupakan jenis baja tahan karat yang serbaguna dan paling banyak digunakan karena memiliki *machinability* dan *weldability* yang baik dengan harga terjangkau. Aplikasinya mencakup penggunaan dalam pembuatan tangki dan wadah untuk berbagai jenis cairan dan padatan, peralatan pertambangan, industri kimia, pangan, serta sektor farmasi [9]. AISI 1045 dan *stainless steel* 304 memiliki sifat mekanik yang dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Sifat Mekanik AISI 1045.

Sifat Mekanik	Tensile Strength	Yield Strength	Elongation at break	Modulus Young	Hardness, Brinell	Hardness, Rockwell	Hardness, Vickers
Nilai	690 MPa	620 MPa	12 %	206 GPa	197	92 (konversi dari Brinell Hardness)	207 (konversi dari Brinell Hardness)

Tabel 2. Sifat Mekanik *Stainless Steel* 304.

Sifat Mekanik	Tensile Strength	Yield Strength	Elongation at break	Modulus Young	Hardness, Brinell	Hardness, Rockwell	Hardness, Vickers
Nilai	720 MPa	310 MPa	45 %	200 GPa	215	97.5 (konversi dari Brinell Hardness)	237 (konversi dari Brinell Hardness)

Spesimen yang digunakan pada penelitian memiliki dimensi diameter sebesar 12mm dan panjang 100mm. AISI 1045 berada pada cekam putar, sementara *stainless steel* 304 berada pada cekam hidrolis. Pengelasan *pada underwater friction welding* menggunakan alat bantu chamber sebagai media air pada saat proses pengelasan berlangsung. Berikut adalah spesimen yang akan digunakan untuk proses *underwater friction welding*.



Gambar 1. Spesimen Pengelasan

Pada *experimental set-up* untuk *underwater friction welding*, AISI 1045 diletakkan dan dicekam pada *chuck* yang berputar. Sedangkan *stainless steel* 304 dicekam pada *chuck* yang diam yang terdapat hidrolis. Proses operasi *friction welding* yaitu benda kerja pertama dicekam pada *chuck* yang berputar, kemudian benda kerja lain yang akan disambungkan dikontakkan pada benda yang berputar. Gaya gesek yang terjadi antara kedua benda akan menyebabkan panas muncul. Benda kerja yang telah melunak kemudian disatukan dengan pemberian gaya aksial. *Set-up* alat yang digunakan adalah mesin *friction welding*, benda kerja silinder AISI 1045 dan *stainless steel* 304, dan *chamber* 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 faktor-faktor yang mempengaruhi hasil dari proses pengelasan. Parameter pengujian *underwater friction welding* yang digunakan adalah memvariasikan waktu tempa. Sedangkan untuk kecepatan putar mesin tetap di 1400 rpm dan tekanan tempa tetap di 4,5 MPa. Adapun variasi waktu tempa yang menjadi parameter pengelasan adalah waktu tempa 4 detik dan 6 detik. Parameter pengelasan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3. Parameter Pengelasan

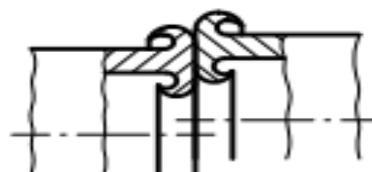
Kondisi Pengelasan	Kecepatan Putar	Tekanan Tempa	Waktu Tempa
Udara	1400 rpm	4,5 MPa	4 detik
			6 detik
<i>Underwater</i>	1400 rpm	4,5 MPa	4 detik
			6 detik

Sambungan hasil pengelasan dari proses *friction welding* perlu dilakukan pemeriksaan untuk mengetahui kualitas sambungan yang dihasilkan. Pemeriksaan pada penelitian dilakukan dengan *Non Destructive Test* (NDT), yaitu pemeriksaan yang dilakukan untuk mengetahui kualitas sambungan pengelasan tanpa merusak spesimen yang dilakukan pengujian. Inspeksi visual merupakan inspeksi yang dilakukan tanpa merusak hasil pengelasan (*non destructive test*) dengan cara melihat hasil *flash* dari pengelasan yang dilakukan. Inspeksi visual diperlukan untuk menentukan batas-batas yang diizinkan dari hasil pengelasan pada suatu spesimen. Inspeksi bentuk *flash* merupakan inspeksi visual dengan cara melihat bentuk *flash* yang terbentuk akibat terjadinya *friction welding*.



Gambar 5. Bentuk *Flash* yang Optimal

Bentuk *flash* yang dapat diterima terdapat pada **ISO 16620:2019, Welding - Friction Welding of metallic materials**, dimana *flash* dari pengelasan yang baik adalah bentuk *flash* pada kedua benda berbentuk dan berukuran mirip/sama. Akan tetapi dalam beberapa penelitian pada *friction welding* yang menyambungkan material berbeda jenis (*dissimilar metals*) maka ukuran *flash* yang terbentuk berbeda yang dipengaruhi oleh sifat mekanik masing-masing material. Pemeriksaan visual memberikan gambaran awal bentuk dan penampilan dari hasil pengelasan. Akan tetapi, dalam proses *friction welding* memungkinkan terjadi cacat pada hasil pengelasan. Cacat yang sering terjadi salah satunya adalah *misalignment*, yaitu terjadinya ketidaklurusan pada material yang disambungkan menggunakan *friction welding*. Terjadinya *misalignment* pada hasil pengelasan dapat disebabkan oleh pencekaman yang kurang kuat, ketidaktepatan geometris, dan pemberian tekanan yang terlalu lama [10]. Ilustrasi *misalignment* ditunjukkan oleh gambar 6.



Gambar 6. *Misalignment* [10]

3. Hasil dan Pembahasan

Pelaksanaan *friction welding* berhasil dilakukan dengan parameter yang digunakan yaitu kecepatan putaran mesin 1400 rpm dan waktu tempa 4,5 MPa pada 4 spesimen uji yang terdiri dari 2 spesimen udara waktu tempa 4 detik dan 6 detik, serta 2 spesimen *underwater* waktu tempa 4 detik dan 6 detik. Penyambungan pada spesimen berhasil dilakukan ditandai dengan terbentuknya *flash* pada setiap spesimen yang disambungkan. Hasil pengelasan dengan *friction welding* ditunjukkan oleh gambar 7,8,9, dan 10 berikut.



Gambar 7. FW Udara Waktu Tempa 4 detik



Gambar 8. FW Udara Waktu Tempa 6 detik



Gambar 9. Underwater FW Waktu Tempa 4 detik



Gambar 10. Underwater FW Waktu Tempa 6 detik

Berdasarkan hasil diatas diketahui bahwa waktu tempa yang digunakan sebagai parameter pengelasan memiliki pengaruh terhadap hasil *flash* yang terbentuk. *Flash* yang terbentuk pada spesimen dengan waktu tempa 4 detik memiliki ukuran yang lebih kecil dibandingkan dengan spesimen dengan waktu tempa 6 detik. Hal tersebut dapat terjadi karena waktu penekanan yang diberikan pada spesimen 6 detik lebih besar sehingga material yang terdeformasi lebih banyak yang mengakibatkan *flash* yang terbentuk berukuran lebih besar. Menurut Margono dkk (2019) dalam penelitiannya menyatakan bahwa semakin besar tekanan tempa yang diberikan, semakin besar pula *flash* yang dihasilkan. Terbentuknya *flash* akibat *friction welding* mempengaruhi panjang spesimen. Semakin besar tekanan gesek, tekanan tempa dan durasi *friction welding* maka semakin besar pula *flash* yang dihasilkan serta semakin berkurang panjang spesimen [11].

Inspeksi dilakukan pada spesimen hasil pengelasan menggunakan *Non Destructive Test* (NDT) yaitu inspeksi visual dengan melihat bentuk *flash* yang dihasilkan, dimana *flash* dari pengelasan yang baik adalah bentuk *flash* pada kedua benda berbentuk dan berukuran mirip/sama. Namun, dalam beberapa penelitian pada *friction welding* yang menyambungkan material berbeda jenis (*dissimilar metal*) maka ukuran *flash* yang terbentuk berbeda dipengaruhi oleh sifat mekanik masing-masing material. Berdasarkan hasil pengelasan diatas dapat diketahui bahwa *flash* yang terbentuk pada material AISI 1045 berukuran lebih besar dibandingkan dengan *flash* pada material *stainless steel* 304. Hal tersebut

diakibatkan oleh perbedaan sifat mekanik dari masing-masing material yang disambungkan. Dimana AISI 1045 memiliki nilai kekerasan 237 HVN sedangkan *stainless steel* 304 memiliki nilai kekerasan 207 HVN, sehingga saat proses pengelasan berlangsung, material AISI 1045 mengalami deformasi yang lebih besar yang mengakibatkan terbentuk *flash* dengan ukuran lebih besar. Selain itu, perbedaan titik leleh material yang disambungkan juga berpengaruh terhadap ukuran *flash* yang dihasilkan.

Terjadi cacat *flash* yaitu *misalignment* atau ketidaklurusan pada material yang disambungkan. Terjadinya *misalignment* pada hasil pengelasan dapat disebabkan oleh pencekaman yang kurang kuat, ketidaktepatan geometris, dan pemberian tekanan yang terlalu lama. Secara visual, dapat diketahui bahwa *flash* yang terbentuk pada spesimen *underwater friction welding* berukuran lebih kecil dibandingkan dengan spesimen udara dikarenakan pendinginan cepat saat proses pengelasan berlangsung. Pada *underwater friction welding* laju pendinginan terjadi bersamaan dengan proses penyambungan material karena dilakukan dibawah air.

4. Kesimpulan

Pengujian *friction welding* untuk material berbeda jenis antara AISI 1045 dengan *stainless steel* 304 berhasil dilakukan pada 4 spesimen yang terdiri dari 2 spesimen udara dan 2 spesimen *underwater*. Semua spesimen berhasil disambungkan yang kemudian dilakukan uji kelayakan hasil pengelasan. Waktu tempa memiliki pengaruh terhadap hasil *flash* yang terbentuk pada spesimen, dimana semakin besar waktu tempa yang digunakan menghasilkan *flash* yang berukuran semakin besar. *Flash* yang terbentuk pada material AISI 1045 berukuran lebih besar dibandingkan dengan *flash* yang terbentuk pada *stainless steel* 304. Hal tersebut dapat terjadi karena perbedaan sifat mekanik dari masing-masing material yang disambungkan dengan *friction welding*. Pada *underwater friction welding*, ukuran *flash* yang terbentuk lebih kecil daripada *friction welding* udara, dikarenakan pendinginan cepat saat proses pengelasan berlangsung. Terjadi cacat *flash* berupa *misalignment* yang diakibatkan oleh pencekaman yang kurang kuat, ketidaktepatan geometris, dan pemberian tekanan yang terlalu lama. Terjadinya *misalignment* mengakibatkan menurunnya kualitas sambungan pengelasan.

5. Daftar Pustaka

- [1] Shubhavardhan, R.N. dan Surendran, S. 2011. *Friction Welding to Joint Dissimilar Metals*. IJETAE, 2(7) : 200-210.
- [2] 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)..
- [3] Kalpakjian, S. dan S. R. Schmid. 2013. *Manufacturing engineering and technology* (7th ed.). Pearson Education, Inc.
- [4] Hariyanto, A., A. D. Anggono, dan T. Prasetyawan. 2018. Karakterisasi Hasil Pengelasan Bawah Air Material Baja ST 37 Dengan Media Air Laut Dan Air Tawar. *Proceeding of The 8th University Research Colloquium 2018: Bidang Teknik dan Rekayasa & Bidang Teknik Kebencanaan*.
- [5] Nicholas, E. D. (1983). Friction welding under water. In *Underwater welding. International Conference* (pp. 355-362).
- [6] Sakurada, D., Katoh, K., & Tokisue, H. (2002). Underwater friction welding of 6061 aluminum alloy. *Keikinzoku*, 52(1), 2-6.
- [7] Priambadha, R. R, Rusnaldy, dan Paryanto. 2022. Percobaan Proses *Underwater Friction Welding* Dengan Baja St 41. *Jurnal Teknik Mesin S-1*, 10(3).
- [8] Ritonga, . D. A. A. dan M. Idris.2017. Karakteristik Bahan Steel 304 Terhadap Kekuatan Impak Benda Jatuh Bebas. *Jurusan Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknik Harapan, Medan. Wahana Inovasi*, Vol 6 No 2.
- [9] Sumarji. 2011. Studi Perbandingan Ketahanan Korosi Stainless Steel Tipe Ss 304 dan Ss 201 Menggunakan Metode U-Bend Test Secara Siklik Dengan Variasi Suhu dan Ph. *Jurnal ROTOR*, Vol 4 No 1.
- [10] British Standards. (2019). *Welding - Friction welding of metallic materials*. European Committee for Standardization.
- [11] Margono, B., Haikal dan M. Chamim. 2019. Pengaruh Tekanan Tempa Dan Waktu Pengelasan Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanik Sambungan Friction Welding Logam Tak Sejenis SS-316 Dan AISI-4140. *Jurnal Teknika*, Vol 6 No 1.