

**ANALISA KEKUATAN TARIK DAN STRUKTUR MIKRO SAMBUNGAN FRICTION WELDING
AL ALLOY 6061 T6 DAN CARBON STEEL AISI 1018**

Vansen Alexander Tanuwijaya

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email : vansen.17045075406@mhs.unesa.ac.id

Akhmad Hafizh Ainur Rasyid

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email : akhmadrasyid@unesa.ac.id

Abstrak

Friction welding, khususnya *Rotary Friction Welding* yang merupakan salah satu metode pengelasan yang memiliki berbagai kelebihan, salah satunya kualitas tingkat penyambungan yang baik dengan biaya yang rendah (ekonomis). Dalam praktiknya sering terjadi kegagalan penyambungan pada pengelasan dengan material yang berbeda. Material belum bias berdifusi dengan baik dikarenakan karakteristik property mekanik dari kedua material yang berbeda. Berdasarkan penelitian terdahulu, penyambungan dua material dengan karakteristik properti mekanik yang berbeda dapat dilakukan dengan memberikan variasi parameter yang terukur pada variabel yang ditentukan. Dengan memberikan variasi diharapkan mendapatkan hasil sesuai yang diinginkan sehingga proses pengelasan akan lebih efektif dari segi waktu dan juga biaya. Salah satu cara untuk menentukan variasi dari variabel yang didapatkan adalah dari rekomendasi simulasi. Dari permasalahan tersebut membuat peneliti tertarik untuk melakukan penelitian konfirmasi dari rekomendasi simulasi *rotary friction welding* berbasis metode elemen yang sudah memprediksi hasil sambungan las dengan kombinasi variasi parameter tertentu. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa bagaimana pengaruh dari penentuan parameter Tekanan Gesek, Kecepatan Putar, dan Tekanan Tempa terhadap kekuatan tarik hasil pengelasan dan struktur mikro.

Metode penelitian yang digunakan adalah kuantitatif eksperimen. Dengan hasil variasi 3 parameter, yang didapatkan dari penelitian sebelumnya yang menggunakan simulasi untuk menemukan parameter pengelasan kemudian dilakukan proses validasi secara eksperimen pada penelitian ini, lalu hasil pengelasan dilakukan pengujian tarik dan pengujian struktur mikro.

Melalui penelitian ini didapatkan hasil pengelasan terbaik dari parameter 1 dengan kekuatan tarik tertinggi pada 80,47 MPa dan kekuatan tarik rata-rata 66,66 MPa. Sedangkan untuk uji struktur mikro didapatkan hasil bahwa terjadi difusi antara kedua material dan perubahan struktur kristal. Sementara itu, untuk variabel 2 dan variabel 3 terjadi kegagalan penyambungan yang disebabkan oleh beberapa kendala yang ditemukan selama penelitian berlangsung.

Kata kunci : *Friction Welding, Rotary Friction Welding, Dissimilar Material, Parameter Optimal, Kekuatan Tarik, Struktur Mikro.*

Abstract

Friction welding, specifically *Rotary Friction Welding* is one of welding method that have many advantage, one of it was good quality joint with low expenses (economic). Practically it is common to fail to weld two different material. Material cannot diffuse well because of the material mechanical characteristic property from two of the material is different. Based on earlier research, welding of two material with different mechanical characteristic property could be done with the variety of the measured parameter given. With the variety given it is expected to get the desired result, so it will be effective in time and also cost. One of the methods to determine the variety of the variable is gathered from simulation. From that case, researcher interested to do confirmation research from the rotary friction welding simulation result based on the element method that predicted the welded joint result with the combination of some varied parameter. This research objective is to analyze how measured parameter of Axial Pressure, Rotational Speed, and Forging Pressure affected tensile strength and micro structure.

The research method that used are experimental quantitative. With the result of 3 variety parameter that gathered from the earlier study that used simulation to determine the parameter continuously validated from the experiment, tensile strength test and micro structure test afterward. From this research gathered the best weld result from parameter 1 with highest tensile strength of 80,47 MPa and average tensile strength of 66,66 MPa. At the same time, micro structure test result that the two material was diffused and there is recrystallization occur. Unfortunately, from parameter 2 and parameter 3 variable, the two material cannot be welded that founded by some problems that founded when the research still on going.

Keywords : *Friction Welding, Rotary Friction Welding, Dissimilar Material, Parameter Optimal, Tensile Strength, Micro Structure.*

PENDAHULUAN

Menurut *American Welding Society* (1989) pengelasan adalah proses penyambungan material logam maupun non logam yang dilakukan dengan cara memanaskan material yang akan disambungkan hingga mencapai temperatur las, yang dilakukan dengan cara memberikan tekanan (*pressure*) dan tanpa menggunakan logam pengisi (*filler*). Terdapat berbagai jenis teknik pengelasan, penggunaan jenis teknik pengelasan ditentukan dengan mempertimbangkan beberapa hal yaitu jenis material yang akan dilas, kekuatan las, sumber energi, dan biaya. Pada proses penyambungan dua material yang berbeda jenis teknik pengelasan yang digunakan adalah pengelasan gesek (*friction welding*). *Friction welding* adalah salah satu dari beberapa proses pengelasan *solid-state* dengan menggunakan panas yang dihasilkan oleh gerakan relatif dari dua permukaan yang bergesekan. Metode pada pengelasan ini memanfaatkan konversi langsung dari energi mekanik menjadi energi termal untuk membentuk las, tanpa menggunakan energi panas dari sumber lain. Menurut Wibowo (2011) *friction welding* sangat luas penggunaannya pada bidang konstruksi, perkapalan, industri karoseri, otomotif, dll. Pengelasan ini memiliki kelebihan dengan tidak adanya bahan tambah, hasil las yang terbagi rata di seluruh permukaan, dan juga dapat diaplikasikan pada pengelasan dengan bahan yang berbeda (Haryanto, 2012). Namun, teknologi ini belum banyak diterapkan pada industri menengah dan kecil.

Permasalahan yang terdapat pada penerapan *friction welding* merujuk pada penelitian sebelumnya adalah tidak berhasilnya penyambungan dengan menerapkan metode RFW (*Rotary Friction Welding*) yang kedua materialnya berbeda. Berdasarkan penelitian Hafizh et al (2019) yaitu Analisa Pengaruh Pemanasan Menggunakan Metode Induksi Elektromagnetik Pada Proses Pengelasan Friksi Logam Ferro Dan Non-Ferro dengan menggunakan material Al6061 dengan baja SWRM 1008. Penelitian tersebut menggunakan pemanasan dari induksi magnetik yang bertujuan untuk meningkatkan suhu dari material *ferromagnetik*, serta terdapat beberapa parameter pengelasan yang digunakan yakni kecepatan putar 1800 RPM, tekanan aksial 2 MPa, dan tekanan tempa 3 MPa. Spesimen dari hasil penelitian tersebut belum membuktikan dapat membuat kedua material tersebut berdifusi dengan sempurna, sehingga terdapat patahan yang terjadi pada sambungan las yang diakibatkan oleh kegagalan sambungan. Struktur mikro dari spesimen tersebut juga belum menunjukkan terjadinya difusi antara aluminium dengan baja. Nilai kekuatan tarik sambungan didapatkan nilai sebesar 61 MPa; 65,25 Mpa ; dan 69,33 Mpa. Nilai hasil uji tarik tersebut jauh di bawah kekuatan tarik dari material Al6061 dengan nilai 123,48 Mpa. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa pemberian panas dengan menerapkan metode induksi magnetik pada proses pengelasan logam ferro dan non ferro tidak berpengaruh terhadap kekuatan tarik.

Mengutip dari penelitian terdahulu, terdapat pengaruh dari gaya tekan, kecepatan putar, dan waktu kontak pengelasan friksi baja ST60 terhadap kualitas sambungan las menunjukkan bahwa kecepatan putar (*Rotational Speed*) dan gaya tekan (*axial force*) berpengaruh dalam kekuatan tarik dan suatu material (Haryanto, 2012).

Kemudian merujuk lagi pada penelitian yang dilakukan oleh Irfan (2022) yang menerapkan metode simulasi berbasis Finite Element Method (FEM) menggunakan software CAE (Abaqus), yang bertujuan untuk mengatasi kegagalan dalam proses penyambungan dan kegagalan difusi antar material.

METODE

Jenis Penelitian

Menurut Sugiyono (2017), metode penelitian pada dasarnya adalah cara ilmiah untuk mendapatkan data dengan tujuan dan fungsi tertentu. Berdasarkan hal tersebut, penelitian yang digunakan adalah metode penelitian kuantitatif. Metode penelitian kuantitatif adalah metode penelitian yang berdasar pada filsafat positivisme yang digunakan untuk meneliti pada populasi suatu sampel tertentu. Untuk teknik pengambilan sampel pada umumnya *random* (acak) dan pengumpulan data menggunakan instrumen penelitian, serta analisis data bersifat kuantitatif atau statistik yang bertujuan untuk menguji hipotesis yang ditetapkan (Sugiono, 2017).

Pendekatan eksperimen digunakan untuk mengetahui ada atau tidak adanya perubahan pada suatu keadaan yang dikendalikan secara ketat, maka diperlukan perlakuan pada kondisi tersebut dan hal ini yang diterapkan pada penelitian eksperimen. Untuk itu penelitian eksperimen adalah metode penelitian yang digunakan dalam mencari pengaruh atas perlakuan tertentu terhadap hal yang lain dalam kondisi yang telah dikendalikan (Sugiyono, 2017).

Variabel Penelitian

Pada Penelitian ini ada beberapa variabel yaitu:

- Variabel Bebas
Variabel bebas adalah variabel yang ditentukan sebelum penelitian dilakukan yang dapat mempengaruhi variabel terikat. Variabel bebas yang ditentukan adalah Tekanan Aksial (MPa), Kecepatan Putar (RPM), dan Tekanan Tempa (MPa). Untuk parameter 1 tekanan gesek 1,5 MPa dengan kecepatan putar 800 RPM dan tekanan tempa 3 MPa, pada parameter 2 tekanan gesek 2,5 Mpa degan kecepatan putar 1120 RPM dan tekanan tempa 4 MPa, pada parameter 3 tekanan gesek 3.5 MPa, dengan kecepatan 1600 RPM dan tekanan tempa 5 MPa.

- Variabel Terikat
Variabel terikat adalah variabel yang nilainya ditentukan oleh variabel bebas. Untuk penelitian ini yang menjadi variabel terikat adalah kekuatan tarik dan struktur mikro.
- Variabel Kontrol
Variabel kontrol adalah variabel yang dikendalikan selama penelitian sehingga variabel terikat tidak terpengaruh oleh faktor diluar penelitian. Untuk penelitian ini yang menjadi variabel kontrol adalah:
 - Dimensi spesimen *Rotary Friction Welding* berdasarkan rekomendasi dari (ANSI AWS, 2014)
 - Jenis *Dissimilar Material* berdasarkan *chart* rekomendasi dari (ANSI AWS, 2014)

Objek Penelitian

Objek penelitian yang digunakan adalah dua poros yang berbeda material, yaitu poros bermaterial Aluminium Paduan (Al Alloy) 6061-T6 dan Carbon Steel AISI 1018 . Dengan spesifikasi panjang 80 mm dan diameter 20 mm dengan diberi modifikasi ukuran diameter bagian yang akan dilas menjadi 12,5 mm dengan panjang 40 mm mengikuti standar spesimen uji tarik. Selanjutnya akan dilas dengan proses *Friction welding* dibentuk *chamfer male-female* sebesar 30° dengan *chamfer female* untuk spesimen aluminium sedangkan *chamfer male* untuk spesimen baja.



Gambar 1 Spesimen Al Alloy 6061-T6
(Sumber: Data Primer)



Gambar 2 Spesimen Carbon Steel AISI 1018
(Sumber: Data Primer)

Peralatan dan Instrumen Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini, antara lain:

- Alat Penelitian
Alat yang digunakan penelitian ini adalah :
 - Mesin Bubut
 - Mesin Hidrolik
 - Gergaji Besi
 - Kertas Amplas
 - Tang
 - Kunci Pas
 - Stopwatch

- Instrumen Penelitian
Instrumen penelitian adalah alat uji dan alat ukur yang digunakan untuk memperoleh data penelitian yaitu:

- Jangka Sorong



Gambar 3 Jangka sorong untuk mengukur spesimen
(Sumber: Google)

- Alat Uji Tarik



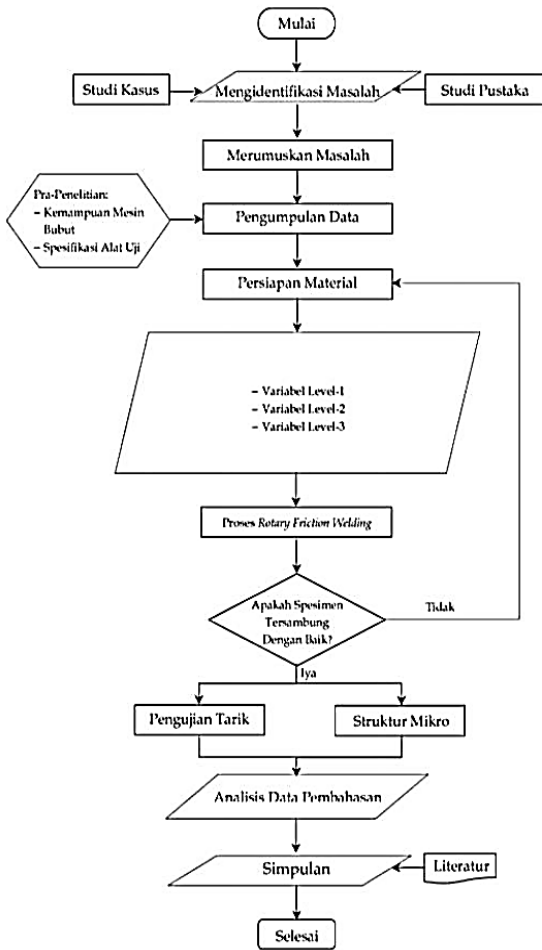
Gambar 4 Alat Uji Tarik untuk proses analisa
(Sumber: Data Primer)

- Alat Uji Struktur Mikro



Gambar 5 Alat Uji Struktur Mikro untuk proses analisa
(Sumber: Data Primer)

Flowchart Penelitian



Gambar 6. Flowchart Penelitian

Teknik Pengumpulan Data

Pendekatan eksperimen digunakan untuk menganalisa adanya perubahan atau tidak adanya perubahan pada keadaan yang dikontrol secara ketat, yang kemudian diperlukan perlakuan (*treatment*) tertentu pada kondisi tersebut. Setelahnya dicatat untuk dilanjutkan proses analisa data.

Teknik Analisa Data

Analisa data penelitian ini dilakukan setelah objek penelitian telah diberikan *treatment* yaitu berupa pemberian variasi parameter, kecepatan putar, tekanan aksial, tekanan tempa dan dianalisa melalui kekuatan tarik dan struktur mikro

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Setelah poros yang bermaterial Aluminium Paduan (Al Alloy) 6061-T6 dan poros yang bermaterial Carbon Steel AISI 1018 sudah melalui *treatment* atau proses *Frictioning Welding* dengan dan diuji melalui kekuatan tarik dan struktur mikro akan memperoleh

hasil dan pem bahasan namun perlu melalui beberapa perhitungan yaitu :

- Ultimate Tensile Strength (UTS)

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

σ = Ultimate Tensile Strength

F = Beban Tarik

A_0 = Luas Penampang Awal Spesimen

- Persentase *Elongation*

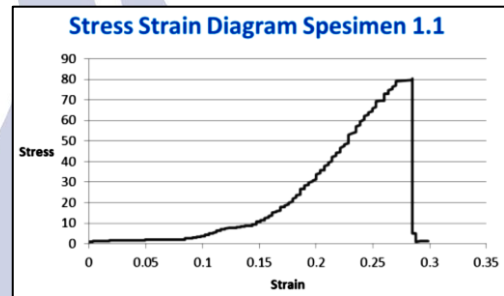
$$e = \frac{l_i - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

e = Persentase *Elongation*

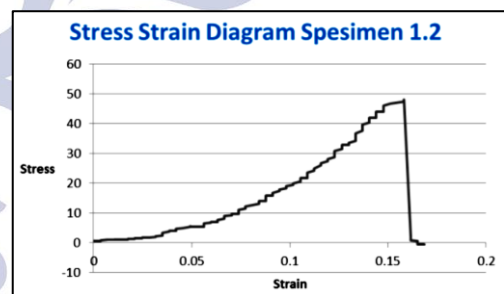
l_0 = Panjang Awal

l_i = Panjang Akhir

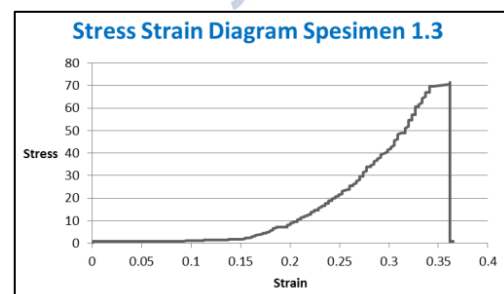
Setelah melalui proses perhitungan didapat hasil penelitian yaitu berupa diagram hasil uji tarik sebagai berikut :



Gambar 7a Diagram Hasil Pengujian Tarik Spesimen 1.1

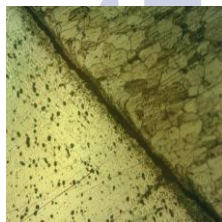


Gambar 7b Diagram Hasil Pengujian Tarik Spesimen 1.2



Gambar 7c Diagram Hasil Pengujian Tarik Spesimen 1.3

Hasil dari uji tarik spesimen *friction welding* dapat dilihat bahwa nilai rata-rata uji tarik yaitu 66,66 Mpa, hasil ini didapat dari variabel parameter 1 variasi Tekanan Gesek 1,5 MPa; Kecepatan Putar 800 RPM; dan Tekanan Tempa 3 MPa. Hasil dari uji tarik ini terpaut sangat jauh dibandingkan hasil dari penelitian terdahulu yang dijadikan rujukan. Hasil penelitian yang menjadi rujukan pada penelitian ini didapatkan hasil kekuatan tarik senilai 294 MPa. Faktor faktor lain diluar variabel-variabel yang sudah ditentukan sangat memungkinkan untuk menyebabkan tidak cocoknya hasil antara simulasi dengan eksperimen langsung, seperti contoh ketersediaan dan kondisi pendukung proses pengelasan diantaranya mesin bubut dan mesin hidrolik yang tentu saja kondisinya tidak sempurna seperti pada simulasi. Hasil simulasi tensile test ini yang menjadi output penelitian yang akan dianalisa sebagai pembanding pada penelitian ini



Gambar 8 Foto Mikro Spesimen 1.4
(Sumber: Data Primer)

Pengujian struktur mikro bertujuan untuk mengamati bagaimana struktur kristal yang terbentuk pada spesimen setelah dilakukan *friction welding*. Hasil pengujian mendapatkan perubahan struktur mikro yang terjadi pada spesimen bahwa terdapat perubahan sifat mekanik. Spesimen yang diuji adalah spesimen yang berhasil dilas dari variasi variabel parameter 1 yaitu Tekanan Gesek 1,5 MPa; Kecepatan Putar 800 MPa; dan Tekanan Tempa 3 MPa. Uji struktur mikro diambil dengan perbesaran 500x, dengan etsa nital 3%.

Pembahasan

- Uji Statistik Nilai Kekuatan Tarik Spesimen Hasil Friction welding dengan Variasi Tekanan Gesek, Kecepatan Putar, dan Tekanan Tempa
Berdasarkan hasil dari *friction welding* hanya satu variabel yang berhasil tersambung dengan baik dan didapatkan nilai uji tariknya, sedangkan dua variabel lain tidak dapat dilakukan pengelasan. Maka, uji statistik tidak dapat dilakukan. Kegagalan pengelasan dua variabel lainnya akan dibahas lebih lanjut.

- Analisa Proses *Friction Welding*

Pada proses pengelasan yang dilakukan dengan 3 variabel yang sudah didapatkan dari penelitian terdahulu dan juga dilakukan adaptasi variasi Kecepatan putar yang tersedia pada mesin bubut, hanya variabel parameter 1 dengan variasi Tekanan Gesek 1,5 MPa; Kecepatan Putar 800 RPM; dan Tekanan Tempa 3 MPa yang berhasil tersambung dan dapat dilakukan pengujian tarik dan struktur mikro.

Ketika dilakukan proses pengelasan untuk variabel parameter 2 yang dimana variasi Tekanan Gesek 2,5 MPa; Kecepatan Putar 1120 RPM; dan Tekanan Tempa 4 Mpa terdapat kendala yang berulang kali terjadi yaitu spesimen aluminium yang selalu terlalu cepat meleleh dan terkikis saat baru saja melakukan kontak dengan spesimen baja yang disebabkan oleh putaran mesin yang tinggi. Hal tersebut disebabkan karena dengan tingginya kecepatan putaran mesin, maka peningkatan suhu terjadi lebih cepat. Dengan peningkatan suhu yang cepat tersebut kurang optimal untuk proses pengelasan gesek dissimiliar material karena titik leleh aluminium lebih rendah dibandingkan dengan titik leleh baja. Dapat dilihat pada spesimen baja terdapat lelehan dari aluminium pada bagian yang melakukan kontak dengan spesimen aluminium.

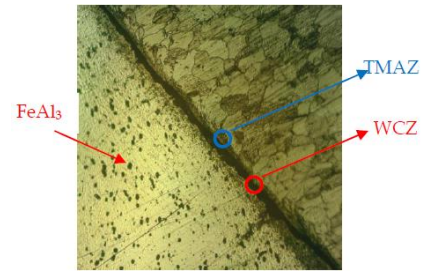


Gambar 9 Material Aluminium Yang Melekat Pada Spesimen Baja
(Sumber: Data Primer)

Fenomena lain terjadi pada variabel parameter 3. Spesimen Al Alloy 6061 T6 tidak hanya meleleh terlalu cepat, namun juga berulang kali terpelanting pada saat melakukan kontak dengan spesimen Carbon Steel AISI 1018. Pada proses pengelasan variabel parameter 3 yang memiliki variasi Tekanan Gesek 3,5 MPa; Kecepatan Putar 1600 RPM; dan Tekanan Tempa 5 MPa, beberapa spesimen bahkan sampai terpecah sesaat diberi tekanan gesek. Tidak hanya pada spesimen aluminium, spesimen baja juga mengalami kebengkokan.



Gambar 10 Spesimen Aluminium Patah Pada Proses *Friction Welding*
(Sumber: Data Primer)



Gambar 12 Foto Mikro Spesimen 1.4
(Sumber: Data Primer)

- Analisa Patahan Spesimen

Bentuk dari patahan material hasil uji tarik didapatkan dari kemampuan material saat terjadi deformasi plastis. Material bersifat ulet memiliki *area* deformasi plastis yang luas, lain hal dengan material bersifat getas memiliki sedikit atau tidak ada deformasi plastis. Patahan pada seluruh spesimen setelah dilakukan pengujian tarik adalah patahan getas. Hal tersebut diakibatkan karena tidak terdapat sama sekali reduksi luas penampang patahan dan berbentuk granular pada spesimen Al Alloy 6061 T6.



Gambar 11a Patahan pada spesimen 1.1
(Sumber: Data Primer)



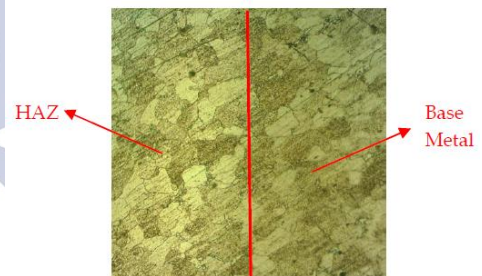
Gambar 11b Patahan pada spesimen 1.2
(Sumber: Data Primer)



Gambar 11c Patahan pada spesimen 1.3
(Sumber: Data Primer)

Berdasarkan gambar hasil foto mikro yang dapat dilihat pada gambar diatas terlihat bahwa pada *Weld Center Zone* (WCZ) yang diberi tanda dengan lingkaran merah terbentuk butir FeAl yang menandakan terjadinya difusi namun hasil difusi sangat sedikit. Hal ini dapat disimpulkan dari rekristalisasi butir logam yang mengecil dan menjadi berwarna gelap yang menandakan terbentuknya solid solution.

Kemudian pada daerah yang ditunjuk dengan lingkaran biru, yaitu daerah Thermo Mechanically Affected Zone (TMAZ) menunjukkan terdapat perubahan struktur kristal pada baja dan juga aluminium dengan adanya Dynamic Recrystallization (DRX). Dengan adanya reduksi ukuran butir dari rekristalisasi tersebut dapat mendorong terjadinya deformasi plastis yang mendorong untuk terjadinya perubahan butir mengarah ke WCZ.



Gambar 13 Area transisi Base Metal Carbon Steel AISI 1018 Menuju HAZ
(Sumber: Data Primer)

- Analisa Struktur Mikro

Pengamatan hasil uji struktur mikro dilakukan untuk melihat struktur kristal yang ada pada spesimen setelah dilakukan *friction welding*

Untuk daerah *Heat Affected Zone* pada aluminium juga ditemukan adanya bercak-bercak hitam yang menandakan terbentuknya partikel FeAl₃ berdasarkan ASM Hand Book Metallography and Microstructures. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi reaksi antara Fe dan Al, semakin banyak FeAl₃ yang terbentuk akan mengakibatkan peningkatan kekuatan dan kekerasan logam yang diakibatkan dari sulitnya pergerakan dislokasi pada batas butir. Sementara itu pada daerah HAZ dari baja dapat dilihat bahwa semakin dekat dengan daerah TMAZ, ukuran butir dari baja semakin

mengecil dibandingkan ukuran butir pada base metal-nya yang menandakan akan terjadinya rekristalisasi.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, pengaruh variasi variabel Tekanan Gesek, Kecepatan Putar, dan Tekanan Tempa pada friction welding dapat disimpulkan bahwa:

- Pengaruh variasi kecepatan putar, tekanan aksial, dan tekanan tempa terhadap kekuatan tarik pada daerah pengelasan belum bisa membuktikan benda kerja dapat tersambung dengan baik dikarenakan hanya 1 variabel yang dapat tersambung dan dilakukan uji tarik dan hasil uji terbaik ada pada nilai 80,47 MPa.
- Pengaruh variasi kecepatan putar, tekanan aksial, dan tekanan tempa terhadap struktur mikro pada daerah pengelasan juga belum dapat ditarik kesimpulan. Namun pada satu variabel yang berhasil tersambung didapatkan hasil bahwa kedua dissimilar material dapat tersambung walaupun daerah WCZ masih sangat sedikit. Namun, untuk daerah TMAZ maupun HAZ dapat dilihat terdapat perubahan struktur kristal yang menandakan adanya peningkatan kekuatan material. Pada material Al Alloy 6061 T6 juga ditemukan adanya senyawa FeAl₃.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, pengaruh variasi variabel Tekanan Gesek, Kecepatan Putar, dan Tekanan Tempa pada friction welding diperoleh saran antara lain:

- Diperlukan lebih banyak lagi variasi untuk menentukan variabel terbaik untuk proses friction welding. Parameter yang ditentukan dari hasil simulasi software belum bisa memberikan hasil yang sesuai, karena ada faktor-faktor lain yang kondisinya tidak sempurna seperti pada simulasi.
- Diharapkan penelitian selanjutnya untuk meneliti beberapa variabel lain yang kemungkinan dapat mempengaruhi hasil dari penelitian seperti temperatur pengelasan, besar upset pengelasan, waktu gesek, maupun waktu tempa.
- Diharapkan penelitian selanjutnya agar meneliti pengaruh sudut *chamfer male-female* terhadap kekuatan tarik *dissimilar material friction welding*.
- Diharapkan untuk penelitian selanjutnya agar menggunakan mesin-mesin dan peralatan yang sama serta sesuai dengan rujukan penelitian

terdahulu maupun metode yang sudah ditentukan sebelum memulai penelitian karena dapat mempengaruhi hasil penelitian.

- Perlu dilakukan analisa terhadap mesin hidrolik yang berperan sebagai pemberi tekanan pada proses pengelasan agar hasil dapat lebih maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- ANSI AWS. (2014). Recommended Practices for Friction Welding (Vol. 89, Issue October).
- ASM International. Handbook Committee, George F. Vander Voort, ASM International 2004
- Chennakesava Reddy, A., & Kumar, T. S. (2013). Finite Element Analysis of Friction Welding Process for 2024 Al Alloy and AISI 1021 Steel. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 4(8), 947–952.
- Faruq, A. S. Al. (2020). Pengaruh Sudut Chamfer Male – Female Dan Tekanan Gesek Pada Proses Friction Welding Baja Karbon S45c Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Andre Setyawan Al Faruq Akhmad Hafizh Ainur Rasyid Abstrak. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Universitas Teknik Mesin*, 1(1), 1–10.
- FATHUROHMAN, F. (2019). Optimasi Sambungan Rotary Friction Welding Pada Aluminium Dengan Variasi Bentuk. *International Journal of Advanced Production and Industrial Engineering*, 1(4), 29–39. Pah, J., Irawan, Y., & Suprpto, W. (2018). Pengaruh Waktu dan Tekanan Gesek terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Paduan Aluminium dan Baja Karbon pada Pengelasan Gesek Continuous Drive. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 9(1), 51–59.
- Maulana, Irfan (2022). Simulasi Berbasis Finite Element Method (Fem) Pada Proses Rotary Friction Welding Al Alloy 6061 T6 Dan Carbon Steel AISI 1018. Skripsi. Tidak Diterbitkan. Fakultas Teknik. Universitas Negeri Surabaya: Surabaya
- Mayasari, A. I., Wuryandari, T., & Hoyyi, A. (2014). Optimalisasi Proses Produksi Yang Melibatkan Beberapa Faktor Dengan Level Yang Berbeda Menggunakan Metode Taguchi. *Jurnal Gaussian*, 3(3), 303–312.
- Muralimohan, C. ., Haribabu, S., Hariprasada Reddy, Y., Muthupandi, V., & Sivaprasad, K. (2015). Joining of AISI 1040 Steel to 6082-T6 Aluminium Alloy by Friction Welding. *Journal of Advances in Mechanical Engineering and Science*, 1(1), 57–64.
- Nimesh, P., Chaudhary, R., Singh, R. C., & Ranganath, M. S. (2016). Simulation of Inertia Friction Welding of Mild Steel and Aluminium 6061

using Finite Element Method on ABAQUS
International journal of advanced Simulation of
Inertia Friction Welding of Mild Steel and
Aluminium 6061 using Finite Element Method
on ABAQUS.

RASYID, H. A. (2019). Laporan akhir penelitian
kebijakan fakultas (Issue 8).

Taban, E., Gould, J. E., & Lippold, J. C. (2010).
Dissimilar friction welding of 6061- T6
aluminum and AISI 1018 steel: Properties and
microstructural characterization. *Materials and
Design*, 31(5), 2305–2311.

Tensile Testing. (2004). Amerika Serikat: ASM
International.

Timoshenko, & Gere. (2000). *Mekanika Bahan*.
Erlangga.

