

Artikel_Skripsi-FST_Rhobbi80- 2.docx

by lekseym lekseym

Submission date: 29-Jan-2026 03:06PM (UTC+0900)

Submission ID: 2852009463

File name: Artikel_Skripsi-FST_Rhobbi80-2.docx (1.9M)

Word count: 5434

Character count: 34598



EFFECT OF UNDERWATER FRICTION STIR SPOT WELDING PROCESS PARAMETERS ON THE SHEAR STRENGTH AND BRINELL HARDNESS OF AA1100 ALLOY JOINTS

[Pengaruh Parameter Proses *Underwater Friction Stir Spot Welding* terhadap Kekuatan Geser dan Kekerasan Brinell Sambungan Paduan AA1100]

Mochamad Rhobbiatul Isro¹⁾, Mulyadi²⁾

¹⁾Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

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

Abstract. This study aims to evaluate how process variables in *Underwater Friction Stir Spot Welding* (UFSSW) affect the shear strength and Brinell hardness of AA1100 aluminum alloy joints. An empirical approach was employed using a Taguchi L9 (3³) experimental design by varying tool rotational speed (1000 rpm, 1100 rpm, and 1200 rpm), surrounding water temperature (8°C, 29°C, and 60°C), and dwell time (4 s, 7 s, and 10 s). The responses analyzed were shear strength and Brinell hardness, which were statistically evaluated using the Taguchi method and analysis of variance (ANOVA). The results indicated that the highest shear strength, reaching 22.95 MPa, was obtained at a rotational speed of 1200 rpm, a water temperature of 60°C, and a dwell time of 7 s, compared to the base metal shear strength of 55.05 MPa. Brinell hardness values in the welded joints were comparable to those of the base material, demonstrating the effectiveness of water cooling in controlling heat input during the welding process. ANOVA results revealed that water temperature had the most significant influence on shear strength, while both water temperature and dwell time strongly affected Brinell hardness.

Keywords – Aluminium; Taguchi; ANOVA; General Linear Model; Lap Joints

Abstrak. Penelitian ini berupaya untuk menilai bagaimana variabel-variabel dalam teknik Pengelasan Titik Gesek Bawah Air (UFSSW) memengaruhi baik ketahanan geser maupun kekerasan Brinell yang ditemukan pada sambungan paduan aluminium AA1100. Pendekatan empiris menggunakan konfigurasi Taguchi L9 (3³), dengan memodifikasi kecepatan putar alat (1000 rpm, 1100 rpm, 1200 rpm), suhu air di sekitarnya (8°C, 29°C, 60°C), serta durasi jeda (4 detik, 7 detik, 10 detik). Hasil yang dipertimbangkan adalah ketahanan geser dan kekerasan Brinell, yang kemudian dianalisis secara statistik menggunakan metodologi Taguchi dan analisis variansi (ANOVA). Temuan menunjukkan bahwa ketahanan geser tertinggi, sebesar 22,95 MPa, terjadi ketika parameter diatur pada 1200 rpm, suhu air 60°C, dan jeda selama 7 detik, dibandingkan dengan ketahanan geser logam dasar yang sebesar 55,05 MPa. Pengukuran kekerasan Brinell pada sambungan cukup mirip dengan material induknya, menunjukkan efektivitas pendinginan air dalam mengelola energi panas proses. Hasil ANOVA menunjukkan bahwa parameter yang paling berpengaruh terhadap kekuatan geser adalah suhu air, sedangkan suhu air dan durasi tahanannya sangat mempengaruhi kekerasan Brinell.

Kata Kunci – Aluminium; Taguchi; Model Linier Umum; ANOVA; Sambungan Tumpang Tindih

I. PENDAHULUAN

Perkembangan dalam teknologi produksi telah menciptakan permintaan untuk teknik penyambungan logam yang dapat menghasilkan sambungan berkualitas tinggi dengan penggunaan energi yang efisien dan dampak lingkungan yang rendah, terutama pada material yang sensitif terhadap panas seperti paduan aluminium.[1]. Proses pengelasan tradisional yang berbasis peleburan sering kali menimbulkan cacat pada sambungan las, penurunan karakteristik mekanik, serta distorsi akibat dari penguapan panas yang berlebihan.[2]. Oleh karena itu, metode pengelasan dalam keadaan padat semakin banyak diupayakan sebagai solusi untuk mengatasi isu-isu ini.

Salah satu teknik pengelasan dalam kondisi padat yang telah banyak diteliti adalah *Friction Stir Spot Welding* (FSW), yang menggunakan panas dari gesekan dan deformasi plastis tanpa mencairkan bahan.[3]. Metode ini memiliki kelebihan dalam menghasilkan sambungan dengan kualitas metalurgi yang tinggi, struktur mikro yang lebih halus dan merata, serta sangat sedikit cacat pengelasan[4]. Selain itu, FSW tidak memerlukan material tambahan atau gas pelindung, sehingga lebih efisien dan ramah lingkungan[5]. Kelebihan ini membuat FSW banyak diterapkan di industri otomotif, penerbangan, dan manufaktur yang berbasis aluminium.[6].

Pengembangan selanjutnya dari teknik FSW adalah Las Titik Berdesakan (FSSW), yang merupakan metode penyambungan titik tanpa pergerakan translasi dari alat, yang dirancang sebagai alternatif untuk *Resistance Spot Welding* (RSW), terutama di sektor otomotif dan industri ringan.[7]. Dibandingkan dengan RSW, FSSW memiliki keunggulan berupa konsumsi energi yang lebih rendah, tidak memerlukan arus listrik tinggi, serta tidak menggunakan elektroda maupun bahan pengisi[8]. Sebagai proses pengelasan keadaan padat, FSSW mampu menghasilkan sambungan dengan kualitas metalurgi dan sifat mekanik yang lebih baik[9]. Namun demikian, FSSW konvensional masih menghadapi permasalahan pengendalian temperatur akibat akumulasi panas selama proses pengelasan, yang dapat menyebabkan pertumbuhan butir berlebihan, pelunakan pada daerah terpengaruh panas (*heat affected zone*), serta ketidakhomogenan sifat mekanik, terutama pada material aluminium yang sensitif terhadap perubahan suhu[10].

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dikembangkan metode *Underwater Friction Stir Spot Welding* (UFSSW), yaitu proses FSSW yang dilakukan di dalam media air sebagai pendingin eksternal[11]. Keberadaan media air berfungsi menyerap panas berlebih yang dihasilkan selama proses pengelasan, sehingga mampu menurunkan temperatur puncak dan meningkatkan laju pendinginan[12]. Kondisi ini memungkinkan pengendalian pertumbuhan butir mikrostruktur, mengurangi pelunakan pada daerah terpengaruh panas, serta meningkatkan homogenitas sifat mekanik antara zona sambungan dan logam induk[13]. Dengan pengendalian temperatur yang lebih baik, UFSSW berpotensi menghasilkan sambungan dengan kualitas yang lebih konsisten serta kekuatan mekanik dan kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan FSSW konvensional, khususnya pada paduan aluminium AA1100[14].

Paduan aluminium AA1100, yang dikenal karena ketahanannya yang sangat baik terhadap korosi, selain kemampuan superiornya dalam menghantarkan panas dan listrik, serta proses pembentukannya yang sederhana, adalah aluminium murni yang tersedia secara komersial dan digunakan di berbagai bidang industri[15]. Namun, kekuatan mekanik AA1100 yang agak lemah menimbulkan keterbatasan, sehingga membuat integritas sambungan las menjadi elemen penting dalam menilai efektivitas dan keandalan komponen, terutama ketika berada di bawah tekanan gaya geser[16]. Oleh karena itu, untuk menciptakan sambungan yang menunjukkan sifat mekanik terbaik, sangat penting untuk memilih teknik pengelasan yang tepat serta mengatur variabel proses secara cermat, misalnya, seberapa cepat berputarnya, berapa lama ditekan, dan pada suhu berapa[17].

Pada penelitian (Saban et al., 2024) telah dilakukan eksperimen mengenai parameter proses FSSW seperti kecepatan putar *tool*, bentuk pin, diameter *shoulder*, serta kondisi termal selama proses pengelasan sangat mempengaruhi sifat mekanik sambungan aluminium. Studi ini menyatakan bahwa peningkatan panas *input* selama proses FSSW dapat meningkatkan plastisasi material, memperbaiki ikatan antar material, serta meningkatkan kekuatan sambungan[18]. Namun, sebagian besar penelitian sebelumnya masih berfokus pada kekuatan tarik, sementara kajian terhadap kekuatan geser dan kekerasan *brinell*, khususnya pada proses UFSSW masih terbatas.

Studi-studi yang ada menunjukkan bahwa meskipun dampak penggunaan alat yang berbeda dan penerapan panas terhadap hasil pengelasan FSSW untuk aluminium AA1100 telah diteliti, analisis menyeluruh mengenai bagaimana pengaturan proses UFSSW mempengaruhi kekuatan geser dan kekerasan *brinell* sambungan AA1100 masih kurang. Untuk mengatasi celah pengetahuan ini, penelitian ini dilakukan untuk mengeksplorasi efek komprehensif dari parameter proses UFSSW terhadap kekuatan geser dan kekerasan *brinell* sambungan aluminium AA1100 melalui eksperimen yang mendetail. Bertujuan untuk mengetahui bagaimana variasi parameter proses UFSSW mempengaruhi kekuatan geser sambungan paduan AA1100, dan untuk menetapkan korelasi antara parameter proses UFSSW dengan kekerasan *Brinell* yang dihasilkan pada sambungan paduan AA1100.

II. METODE

Penelitian ini berbentuk studi eksperimental yang menggunakan metodologi kuantitatif. Teknik eksperimental dipilih karena penelitian ini melibatkan penerapan perlakuan secara langsung, khususnya modifikasi pada parameter proses UFSSW yang diterapkan pada sambungan paduan aluminium AA1100, diikuti dengan pengamatan terhadap dampak selanjutnya pada reaksi mekanis yang dihasilkan. Reaksi yang diteliti mencakup kekuatan geser sambungan serta kekerasan *brinell*. Strategi kuantitatif diterapkan mengingat data yang dikumpulkan berupa angka numerik yang berasal dari penilaian mekanis, yang kemudian dianalisis lebih lanjut menggunakan metodologi *Design of Experiment* (DoE) *Taguchi* dikombinasikan dengan Analisis *Varians Model Linear* Umum (ANOVA) untuk menentukan tingkat pentingnya pengaruh yang berasal dari parameter proses UFSSW.

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah paduan aluminium AA1100 sebagai material induk pada proses *Underwater Friction Stir Spot Welding* (UFSSW). Komposisi aluminium AA1100 pada Tabel 2.1, yang memperlihatkan bahwa unsur aluminium (Al) merupakan unsur dominan dengan persentase sebesar 99,3%.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Aluminium AA1100

Element	Composition (wt %)
Al	99,3
Zn	0.006
Mn	0.016
Si	0.138
Cu	0.009
Cr	0.03
Fe	0.182
Mg	0.007

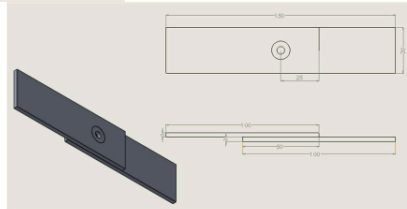
Material ST-90 merupakan baja karbon menengah yang umum digunakan sebagai material *Underwater Friction Stir Spot Welding* yang memiliki kombinasi kekuatan, kekerasan, dan ketahanan aus yang baik, sehingga mampu menahan beban tekan dan gesekan tinggi selama proses pengelasan berlangsung. Komposisi kimia material ST-90 pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Komposisi Kimia Material ST-90

Unsur	Kisaran (% berat)
C	0.45 – 0.60
Mn	0.60 – 0.90
Si	0.15 – 0.35
P	Maks 0.035
S	Maks 0.035
Fe	Sisa

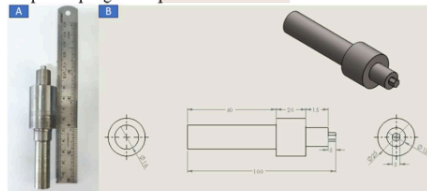
Peralatan yang digunakan meliputi mesin *frais* sebagai mesin utama UFSSW, mesin CNC dan mesin bubut untuk pembuatan alat dan spesimen uji, alat UFSSW yang terbuat dari baja ST-90 dengan desain *pin* heksagonal, kamera termal dan termokopel tipe K untuk memantau suhu selama proses pengelasan, serta mesin uji tarik/geser dan mesin uji kekerasan *brinell* untuk menguji sifat mekanik sambungan.

Desain material penelitian dibuat dari paduan aluminium AA1100 dalam bentuk pelat sambungan tumpang. Titik pengelasan ditempatkan tepat di tengah area tumpang untuk memastikan distribusi panas yang merata dan beban geser selama pengujian, Gambar 2.1 dibawah ini.



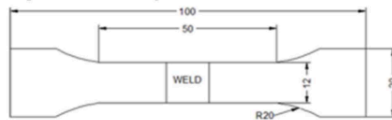
Gambar 2.1 Desain material aluminium AA1100

Peralatan ST-90 yang digunakan dalam penelitian ini memiliki arsitektur khusus yang dirancang untuk mendukung pelaksanaan proses Underwater Friction Stir Spot Welding (UFSSW). Pin berbentuk segi enam pada alat ini dirancang untuk meningkatkan efektivitas pengadukan material, membantu merusak lapisan oksida pada permukaan logam, serta menjamin terbentuknya sambungan yang stabil dan seragam pada setiap titik las. Rancangan dan konfigurasi peralatan ST-90 yang digunakan dalam proses pengelasan pada **Gambar 2. 2**.



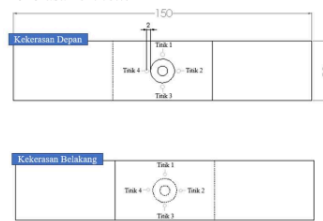
Gambar 2. 2 Desain Tool ST-90

Spesimen uji kekuatan geser dibuat dari paduan aluminium AA1100 dengan bentuk pelat tumpang (*lap joint*) yang umum digunakan pada pengujian *Underwater Friction Stir Spot Welding* menggunakan standart ASTM E8/E8M. Berikut **Gambar 2. 3** desain dari spesimen kekuatan geser.



Gambar 2. 3 Spesimen Uji Kekuatan Geser

Penilaian terhadap perubahan kekerasan permukaan bahan, yang dihasilkan dari teknik pengelasan titik gesek bawah air (UFSSW) pada paduan aluminium AA1100, dilakukan menggunakan sampel uji kekerasan *brinell*. Berikut **Gambar 2. 4** desain dari spesimen kekerasan *brinell*.



Gambar 2. 4 Spesimen Uji Kekerasan *Brinell*

Pelaksanaan proses *Underwater Friction Stir Spot Welding (UFSSW)* dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh kecepatan rotasi *Underwater Friction Stir Spot Welding*, suhu media air, dan waktu penahanan terhadap kualitas sambungan las. Metode *Taguchi* digunakan untuk meminimalkan jumlah eksperimen dengan tetap mempertahankan representasi faktor secara statistik. Berdasarkan kombinasi faktor tersebut, digunakan *orthogonal array* L9 (3³) yang menghasilkan sembilan percobaan pada **Tabel 2.3**.

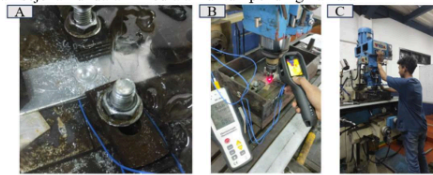
Tabel 2.3 Desain eksperimen *Columns of L9 (3³)*

No	Kecepatan Rotasi (RPM)	Suhu Air (°C)	Waktu Penahanan (detik)
A	1000	8	4
B	1000	29	7
C	1000	60	10
D	1100	8	7
E	1100	29	10
F	1100	60	4
G	1200	8	10
H	1200	29	4
I	1200	60	7

Metode penelitian ini disusun untuk menyajikan pemeriksaan menyeluruh terhadap langkah-langkah yang dilakukan selama penerapan penelitian, dimulai dengan pembuatan hubungan dan dilanjutkan dengan evaluasi sifat mekanik bahan. Setiap langkah dilakukan di bawah pengawasan ketat dan dalam urutan yang logis untuk memperoleh informasi yang dapat diandalkan dan diverifikasi.

Penyambungan sampel yang diperiksa menggunakan teknik UFSSW dilaksanakan melalui serangkaian langkah, yang digambarkan pada **Gambar 2.5** sebagai berikut:

1. Plat aluminium AA1100 dipotong sesuai dengan dimensi spesimen yang telah ditentukan.
2. Spesimen disusun dalam bentuk sambungan *lap joint* dan dijepit dengan kuat pada meja mesin *milling*.
3. Spesimen ditempatkan di dalam bak besi berisi media air tawar dengan variasi temperatur 8°C, 29°C, dan 60°C sesuai dengan parameter penelitian.
4. *Underwater Friction Stir Spot Welding UFSSW* dipasang pada *spindle* mesin *milling* dan diatur sesuai dengan parameter yang telah ditentukan.
5. *Underwater Friction Stir Spot Welding* diputar pada kecepatan putar (rpm) yang telah ditetapkan, kemudian ditekan hingga kedalaman tertentu dan ditahan selama 4 detik, 7 detik, dan 10 detik sesuai variasi waktu penahanan (*dwell time*).
6. Selama proses pengelasan berlangsung, temperatur daerah sambungan dipantau menggunakan thermal camera dan thermocouple tipe K.
7. Setelah proses pengelasan selesai, *Underwater Friction Stir Spot Welding* diangkat secara perlahan dan spesimen dibiarkan sejenak di dalam media air untuk pendinginan alami

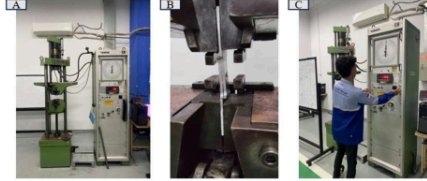


Gambar 2.5 A) Proses Pemasangan Kabel Temperatur, B) Temperatur Pengelasan, C) Proses UFSSW

Proses pengujian kekuatan geser pada sambungan hasil *Underwater Friction Stir Spot Welding (UFSSW)* aluminium AA1100 dilakukan melalui tahapan, serta **Gambar 2.6** proses uji sebagai berikut:

1. Persiapan spesimen sambungan aluminium AA1100 hasil proses UFSSW dipersiapkan sesuai dengan dimensi dan bentuk yang telah ditentukan. Permukaan spesimen dibersihkan dari kotoran, oksida, dan sisa proses pengelasan agar tidak memengaruhi hasil pengujian.
2. Pemasangan spesimen pada alat uji tarik universal (*Universal Testing Machine/UTM*) menggunakan alat bantu (*fixture*) khusus uji geser. Pemasangan dilakukan secara simetris dan sejajar untuk memastikan gaya yang bekerja menghasilkan kondisi geser pada daerah sambungan.

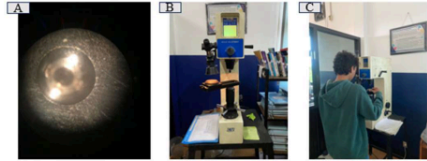
3. Pengaturan parameter pengujian sesuai dengan parameter yang ditetapkan, seperti kecepatan pembebanan dan kapasitas beban. Pengaturan ini bertujuan untuk memastikan pembebanan berlangsung secara bertahap dan terkendali.
4. Pelaksanaan pengujian geser dilakukan dengan memberikan beban penarik secara bertahap hingga sambungan mengalami kegagalan. Selama pengujian, mesin uji mencatat besarnya gaya yang bekerja pada spesimen secara kontinu.
5. Pencatatan beban maksimum tepat sebelum sambungan mengalami kegagalan dicatat sebagai gaya geser maksimum. Nilai ini digunakan sebagai dasar dalam penentuan kekuatan geser sambungan.
6. Pengamatan pola kegagalan dilakukan pengamatan visual terhadap spesimen untuk mengetahui jenis dan lokasi kegagalan sambungan. Hasil pengamatan ini digunakan sebagai data pendukung dalam analisis hasil pengujian.



Gambar 2. 6 A) Alat Uji Kekuatan Geser, B) Pemasangan Sepsimen, C) Proses Uji Kekuatan Geser

Prosedur uji kekerasan *brinell* pada sambungan hasil *Underwater Friction Stir Spot Welding (UFSSW)* aluminium *AA1100* dilakukan melalui tahapan serta **Gambar 2. 7** proses uji sebagai berikut:

1. Untuk membuat area pengujian yang menunjukkan material asli, area yang berubah karena panas, area yang berubah karena panas dan gaya, serta area yang diaduk, sampel las mengalami pemotongan melintasi sambungan.
2. Permukaan spesimen diratakan dan dibersihkan dari kotoran serta oksida menggunakan amplas halus agar diperoleh permukaan uji yang rata dan bersih.
3. Spesimen ditempatkan pada meja mesin uji kekerasan *brinell*.
4. Bola indenter *Brinell* dengan diameter 2,5 mm dipasang pada mesin uji.
5. Beban penekanan sebesar 613 N diberikan pada permukaan spesimen selama waktu penekanan yang telah ditentukan oleh standar pengujian.
6. Setelah beban dilepaskan, diameter jejak indentasi diukur menggunakan mikroskop pengukur pada mesin uji.
7. Nilai kekerasan *brinell* (HB) dihitung berdasarkan hasil pengukuran diameter indentasi.
8. Pengujian dilakukan pada beberapa titik pada masing-masing zona mikrostruktur untuk memperoleh distribusi nilai kekerasan sambungan.



Gambar 2. 7 A) Luka Hasil Uji Kekerasan, B) Alat Uji Kekerasan, Proses Uji Kekerasan

Untuk menilai pengaruh setiap parameter proses terhadap respons rata-rata, pendekatan *Taguchi* digunakan untuk menganalisis data kekuatan geser dan pemeriksaan kekerasan *brinell*. Selain itu, tingkat pengaruh parameter proses UFSSW terhadap respons mekanis sambungan ditentukan menggunakan Analisis *Varians* (ANOVA) Model *Linear* Umum. Ketika nilai *p* berada di bawah ambang signifikansi 0,05, suatu parameter proses dianggap memiliki pengaruh yang signifikan. Temuan yang diperoleh dari penilaian ini menjadi dasar untuk merumuskan kesimpulan mengenai pengaruh parameter UFSSW terhadap integritas sambungan paduan aluminium AA1100.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

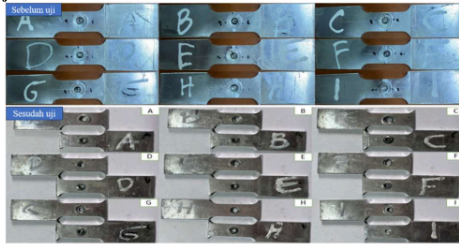
3.1 Hasil Pengelasan UFSSW



Gambar 3.1 Hasil Pengelasan UFSSW

Gambar 3.1 menunjukkan hasil dari pengelasan titik geser bawah air (UFSSW) yang dilakukan pada paduan aluminium AA1100, yang memperlihatkan terbentuknya sambungan padat dengan area campuran di inti titik las, yang dihasilkan dari gerakan putar alat dan perubahan mudah ditempa pada logam. Melakukan pengelasan di dalam lingkungan berair berfungsi sebagai agen pendingin, yang menurunkan suhu puncak, mengurangi karat pada permukaan, dan mencegah terjadinya cacat besar seperti retakan dan celah. Pendinginan yang lebih cepat juga membantu menciptakan struktur sambungan yang lebih seragam, yang berdampak langsung pada peningkatan ikatan antara bahan dan membantu mencapai karakteristik mekanis sambungan yang lebih diinginkan.

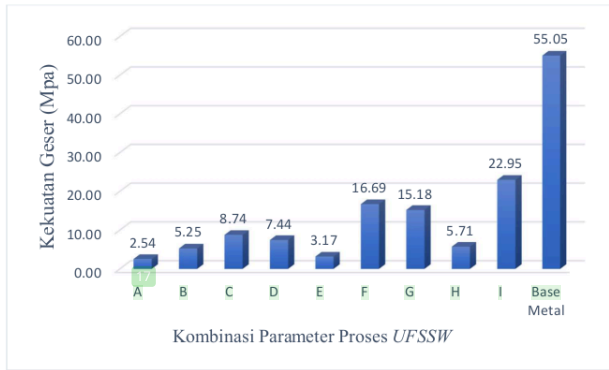
3.2 Data Hasil Pengujian Kekuatan Geser



Gambar 3.2 Spesimen Hasil Uji Kekuatan Geser

Berdasarkan **Gambar 3.2**, hasil uji geser menunjukkan perbedaan kualitas sambungan pada setiap spesimen akibat variasi parameter proses UFSSW. Spesimen A memiliki kekuatan geser rendah akibat pembangkitan panas dan aliran material yang belum optimal. Peningkatan kualitas mulai terlihat pada spesimen B melalui deformasi plastis sebelum patah. Pada spesimen C, kegagalan yang terpusat di area *nugget* mengindikasikan distribusi panas dan pencampuran material yang kurang merata akibat pendinginan yang cepat, sehingga kekuatan sambungan belum berkembang maksimal.

Spesimen D, E, dan G menunjukkan performa sambungan yang baik dengan deformasi bertahap dan merata sebelum patah, menandakan keseimbangan antara pembangkitan panas dan pendinginan serta terbentuknya area ikatan yang efektif. Sebaliknya, spesimen F mengalami penurunan kekuatan akibat pelunakan berlebih karena panas yang terlalu tinggi. Pada spesimen H, ikatan yang terbatas dan kegagalan dini menunjukkan panas dan waktu penahanan yang belum mencukupi, sedangkan spesimen I memperlihatkan karakteristik paling stabil dengan kemampuan menahan beban geser yang tinggi karena parameter proses mendekati kondisi optimum.

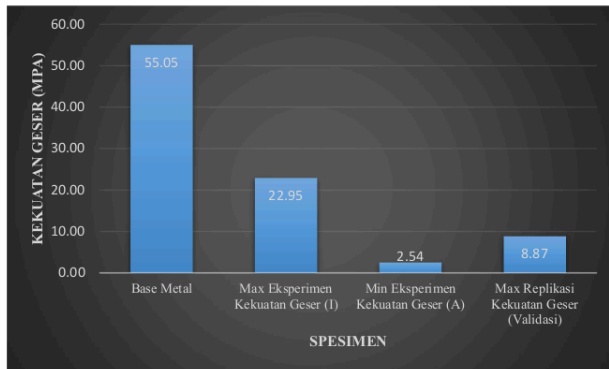


Gambar 3. 3 Hasil Uji Kekuatan Geser Eksperimen

Berdasarkan **Gambar 3. 3** yang menampilkan grafik rata-rata kekuatan geser hasil uji geser, terlihat bahwa nilai kekuatan geser sambungan *Underwater Friction Stir Spot Welding* (UFSSW) bervariasi signifikan pada setiap kombinasi parameter proses. Nilai terendah diperoleh pada spesimen A sebesar 2,54 MPa, sedangkan nilai tertinggi terdapat pada spesimen I sebesar 22,95 MPa. Perbedaan ini menunjukkan bahwa variasi parameter proses berpengaruh langsung terhadap kualitas dan kemampuan sambungan dalam menahan beban geser.

Secara umum, kombinasi kecepatan putar yang lebih tinggi, suhu media air yang lebih hangat, serta *holding time* yang memadai cenderung menghasilkan kekuatan geser yang lebih besar. Hal ini mengindikasikan bahwa keseimbangan antara pembangkitan panas dan laju pendinginan sangat menentukan terbentuknya ikatan yang optimal. Peningkatan satu parameter saja tidak selalu memberikan hasil maksimal apabila tidak didukung oleh pengaturan parameter lainnya secara proporsional.

Sebagai pembandingan, material tanpa sambungan (*base metal*) memiliki rata-rata kekuatan geser sebesar 55,05 MPa. Perbedaan ini bahwa keberadaan daerah sambungan masih menyebabkan penurunan kekuatan mekanik akibat perubahan struktur mikro serta konsentrasi tegangan pada area las.

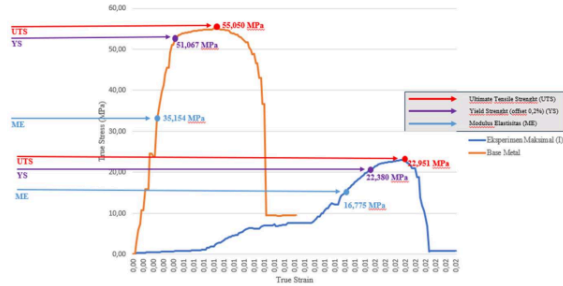


Gambar 3. 4 Grafik Uji Kekuatan Geser Hasil Pengelasan UFSSW

Berdasarkan **Gambar 3. 4**, hasil uji geser menunjukkan perbedaan nilai rata-rata kekuatan geser pada kondisi eksperimen maksimal, eksperimen minimal, dan replikasi maksimal. Nilai tertinggi diperoleh pada eksperimen maksimal (Spesimen I) sebesar 22,95 MPa, sedangkan nilai terendah terdapat pada eksperimen minimal (Spesimen

A) sebesar 2,54 MPa. Pada replikasi maksimal (validasi) diperoleh nilai 8,87 MPa, yang menunjukkan bahwa hasil pengulangan masih memberikan kekuatan yang cukup baik meskipun lebih rendah dari kondisi optimal.

Jika dibandingkan dengan *base metal* sebesar 55,05 MPa, kekuatan geser Spesimen I masih lebih rendah, yaitu sekitar 41,7% dari material induk. Perbedaan ini menunjukkan bahwa daerah sambungan masih mengalami penurunan kekuatan akibat perubahan struktur dan konsentrasi tegangan di area las. Secara keseluruhan, hasil ini menegaskan bahwa variasi parameter proses UFSSW berpengaruh signifikan terhadap kekuatan geser sambungan, namun kekuatan yang dihasilkan masih berada di bawah kekuatan material induk.



Gambar 3. 5 Grafik Uji Kekuatan Geser Eksperimen Maksimal (I) dan *Base Metal*

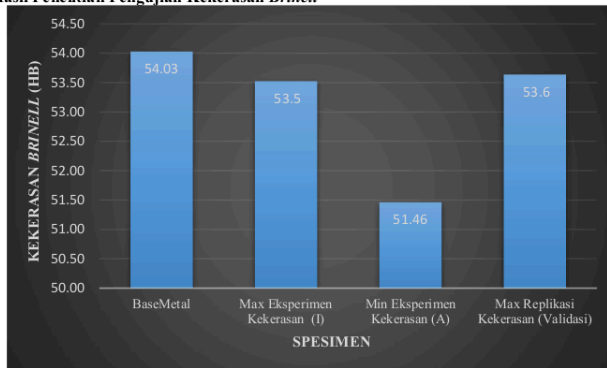
Berdasarkan **Gambar 3. 5**, hasil uji tarik menunjukkan bahwa *base metal* memiliki UTS sebesar 55,050 MPa, sedangkan eksperimen maksimal (Spesimen I) sebesar 22,951 MPa. Penurunan ini menunjukkan bahwa proses UFSSW menyebabkan degradasi kekuatan tarik akibat perubahan mikrostruktur pada *Stir Zone* (SZ) dan *Heat Affected Zone* (HAZ) meskipun dilakukan dalam media air.

Nilai *yield strength* (offset 0.2%) juga menurun dari 51,067 MPa pada *base metal* menjadi 22,331 MPa pada eksperimen maksimal (Spesimen I). Hal ini menandakan material lebih cepat mengalami deformasi plastis akibat rekristalisasi dinamis dan pelunakan struktur selama proses pengelasan pada 1200 rpm dan waktu penahanan 7 detik.

Modulus elastisitas mengalami penurunan dari 35,154 MPa pada *base metal* menjadi 16,775 MPa pada eksperimen maksimal (Spesimen I), yang menunjukkan berkurangnya kekakuan material akibat kombinasi panas, tekanan, dan pendinginan pada suhu air 60 °C.

Secara umum, kurva tegangan–regangan memperlihatkan bahwa *base metal* lebih mampu mempertahankan tegangan sebelum patah, sedangkan spesimen UFSSW mengalami penurunan lebih cepat setelah mencapai tegangan maksimum. Dengan demikian, parameter proses pada kondisi ini masih menyebabkan penurunan sifat mekanik dibandingkan material induk dan memerlukan optimasi lebih lanjut.

3.3 Data Hasil Penelitian Pengujian Kekerasan *Brinell*



Gambar 3. 6 Grafik Uji Kekerasan *Brinell* Hasil Pengelasan UFSSW

Berdasarkan **Gambar 3. 6**, menunjukan hasil uji kekerasan *brinell*, *base metal* memiliki nilai kekerasan sebesar 54,03 HB. Pada kondisi eksperimen maksimal (Spesimen I) sebesar 53,5 HB, sedangkan pada eksperimen minimal (Spesimen A) sebesar 51,46 HB. Hasil replikasi maksimum (validasi) menunjukkan nilai 53,6 HB, yang mendekati nilai eksperimen maksimum.

Apabila dibandingkan secara langsung, selisih kekerasan antara *base metal* dan Spesimen I relatif kecil, yaitu sekitar 0,53 HB atau kurang dari 1%. Temuan ini mengindikasikan bahwa penggunaan parameter UFSSW pada kondisi maksimum tidak menimbulkan perubahan kekerasan yang berarti pada material dasar. Pendinginan oleh media air mampu membatasi kenaikan temperatur berlebih sehingga pelunakan akibat rekristalisasi dan pertumbuhan butir dapat diminimalkan.

Sebaliknya, penurunan kekerasan yang lebih besar pada spesimen eksperimen minimal (Spesimen A) menunjukkan bahwa kombinasi parameter yang kurang optimal dapat mempercepat terjadinya pelunakan material di daerah sambungan. Secara keseluruhan, hasil ini mengindikasikan bahwa pada kondisi parameter terbaik, proses UFSSW mampu mempertahankan kekerasan material mendekati nilai *base metal*, meskipun tetap terjadi perubahan mikrostruktur pada daerah las.

3.4 Pembahasan Hasil Uji Kekuatan Geser dan Hasil Kekerasan *Brinell*

Berdasarkan hasil pengujian, kondisi eksperimen maksimal (Spesimen I) dengan parameter kecepatan putar 1200 RPM, suhu air 60 °C, dan waktu penahanan 7 detik menghasilkan kekuatan geser tertinggi sebesar 22,95 MPa di antara seluruh sambungan UFSSW. Nilai kekerasan *brinell* rata-rata pada kondisi ini sebesar 53,5 HB. Kombinasi parameter tersebut mampu menghasilkan keseimbangan antara pembangkitan panas, deformasi plastis, dan pendinginan, sehingga mendukung terjadinya rekristalisasi dinamik dan pembentukan struktur butir yang lebih homogen pada *stir zone*. Kondisi ini berkontribusi terhadap peningkatan kualitas ikatan dan kemampuan sambungan dalam menahan beban geser.

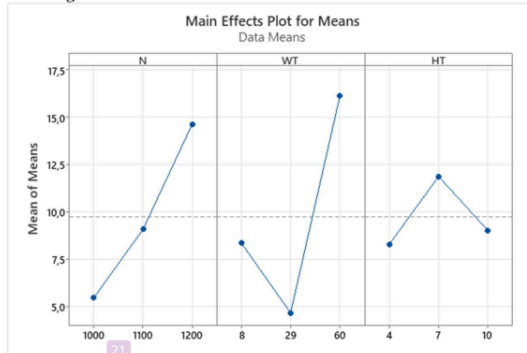
Sebagai pembandingan, *base metal* aluminium AA1100 memiliki kekuatan geser sebesar 55,05 MPa, jauh lebih tinggi dibandingkan seluruh spesimen hasil UFSSW, karena tidak mengalami pengaruh panas maupun perubahan mikrostruktur akibat proses pengelasan. Nilai kekerasan *brinell base metal* sebesar 54,03 HB, yang relatif mendekati spesimen eksperimen maksimal (Spesimen I). Hal ini menunjukkan bahwa meskipun kekerasan tidak mengalami perubahan signifikan, keberadaan daerah sambungan tetap menurunkan kekuatan geser akibat konsentrasi tegangan dan ketidakseragaman struktur pada area las.

Pada kondisi eksperimen minimal (Spesimen A) (1000 RPM, 8 °C, 4 detik), diperoleh kekuatan geser terendah sebesar 2,54 MPa dengan kekerasan rata-rata sekitar 51,46 HB. Rendahnya kekuatan geser menunjukkan bahwa ikatan yang terbentuk belum optimal akibat masukan panas yang tidak mencukupi dan pendinginan yang terlalu cepat, sehingga plastisasi dan aliran material terbatas.

Sementara itu, replikasi maksimal menghasilkan kekuatan geser 8,87 MPa dengan kekerasan sekitar 53,6 HB. Perbedaan terhadap eksperimen maksimal (Spesimen I) utama mengindikasikan adanya variasi distribusi panas dan pembentukan *nugget* selama proses, meskipun parameter yang digunakan sama. Secara keseluruhan, peningkatan kekerasan akibat proses UFSSW tidak selalu sebanding dengan peningkatan kekuatan geser. Kekuatan geser lebih

ditentukan oleh kualitas ikatan dan homogenitas struktur sambungan, yang sangat bergantung pada kestabilan dan kombinasi parameter proses. Kondisi eksperimen maksimal menunjukkan performa mekanik terbaik dibandingkan variasi lainnya.

3.5 Analisis Statistik Pengaruh Parameter Proses UFSSW



Gambar 3.7 Grafik Main Effect Plot for Means

Berdasarkan Gambar 3.7 Main Effect Plot for Means metode Taguchi, Water Temperature (WT) merupakan parameter yang memberikan pengaruh paling besar terhadap nilai respon, yaitu 1200 RPM. Kecepatan putar tool (N) menunjukkan kecenderungan peningkatan respon seiring bertambahnya kecepatan putar, yaitu 60°C. Sedangkan Holding Time (HT) memiliki nilai optimum pada level menengah, yaitu 7 detik. Secara keseluruhan, pengaruh parameter terhadap respon berturut-turut adalah WT, N, dan HT, yang sejalan dengan hasil analisis ANOVA.

Tabel 3.1 Analysis of Variance Kekuatan Geser

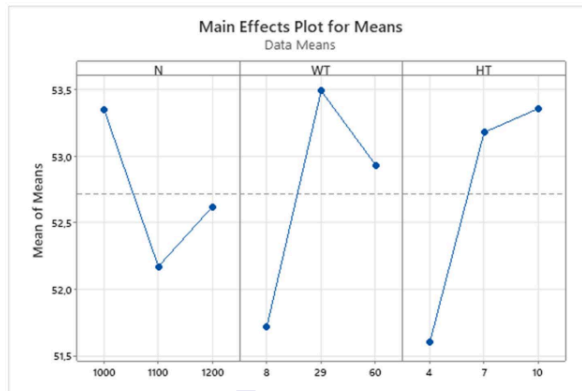
Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-value	P-Value
N	2	126,23	32,37%	126,23	63,12	3,26	0,235
WT	2	203,64	52,21%	203,64	101,82	5,25	0,160
HT	2	21,36	5,48%	21,36	10,68	0,55	0,645
Error	2	38,78	9,94%	38,78	19,39		
Total	8	390,02	100,00%				

Berdasarkan hasil analisis General Linear Model (GLM) ANOVA pada Tabel 3.1, parameter Water Temperature (WT) menunjukkan pengaruh paling dominan terhadap kekuatan geser sambungan Underwater Friction Stir Spot Welding (UFSSW). Hal ini ditunjukkan oleh nilai kontribusi tertinggi sebesar 52,21% dan nilai sum of squares sebesar 203,64, yang mengindikasikan bahwa variasi suhu air merupakan faktor utama yang memengaruhi perubahan kekuatan geser.

Parameter kecepatan putar tool (N) memberikan kontribusi sebesar 32,37% dengan nilai SS 126,23, sehingga berperan cukup signifikan dalam memengaruhi kekuatan sambungan. Pengaruh ini berkaitan dengan besarnya panas gesekan dan tingkat plastisitas material selama proses pengelasan. Sementara itu, Holding Time (HT) memiliki kontribusi paling kecil, yaitu 5,48% dengan nilai SS 21,36, yang menunjukkan bahwa variasi waktu tahan dalam penelitian ini tidak berpengaruh besar terhadap kekuatan geser.

Nilai error sebesar 9,94% menandakan adanya pengaruh faktor lain di luar parameter yang diteliti, namun masih dalam batas yang dapat diterima sehingga model eksperimen dinilai cukup baik. Berdasarkan nilai F-value, WT memiliki pengaruh relatif paling besar, diikuti oleh N dan HT. Namun, seluruh parameter memiliki P-value > 0,05, sehingga pada tingkat kepercayaan 95% pengaruhnya belum signifikan secara statistik.

Secara keseluruhan, hasil ANOVA menunjukkan bahwa suhu air merupakan parameter paling berpengaruh terhadap kekuatan geser sambungan UFSSW, diikuti oleh kecepatan putar tool, sedangkan holding time memberikan pengaruh yang relatif kecil.



Gambar 3.8 Main Effect Plot for Means

Berdasarkan **Gambar 3.8**, Main Effect Plot for Means metode Taguchi, Water Temperature (WT) menunjukkan pengaruh paling dominan terhadap nilai rata-rata respon dengan kondisi optimum pada suhu 29 °C. Holding Time (HT) memberikan pengaruh cukup signifikan dengan kecenderungan peningkatan respon seiring bertambahnya waktu penahanan, yaitu 10 detik. Sementara itu, kecepatan putar tool (N) memiliki pengaruh relatif paling kecil dengan pola perubahan yang tidak linier, yaitu 1000 RPM. Secara keseluruhan, urutan tingkat pengaruh parameter terhadap respon adalah WT, HT, dan N, yang sejalan dengan hasil analisis ANOVA.

Tabel 3.2 Analysis of Variance Kekerasan Brinell

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-value	P-Value
N	2	2,1246	16,50%	2,1246	1,0623	9,58	0,095
WT	2	4,9426	38,38%	4,9426	2,4713	22,28	0,043
HT	2	5,5898	43,40%	5,5898	2,7949	25,20	0,038
Error	2	0,2218	1,72%	0,2218	0,1109		
Total	8	12,8789	100,00%				

Berdasarkan hasil analisis *General Linear Model* (GLM) ANOVA pada **Tabel 3.2**, parameter kecepatan putar tool (N) memiliki nilai kontribusi sebesar 16,50% dengan P-value 0,095 pada tingkat kepercayaan 95%. Meskipun demikian, nilai kontribusi tersebut menunjukkan bahwa kecepatan putar tetap memberikan pengaruh, namun tidak dominan dibandingkan parameter lainnya.

Parameter suhu air (*Water Temperature*/WT) menunjukkan kontribusi sebesar 38,38% dengan P-value 0,043, yang menandakan adanya pengaruh signifikan terhadap kekerasan *brinell*. Hal ini mengindikasikan bahwa suhu air berperan penting dalam mengendalikan laju pendinginan selama proses pengelasan bawah air, yang selanjutnya memengaruhi pembentukan struktur mikro dan nilai kekerasan material.

Sementara itu, *Holding Time* (HT) merupakan parameter dengan pengaruh paling dominan, ditunjukkan oleh nilai kontribusi tertinggi sebesar 43,40% dan P-value 0,038. Lamanya waktu penahanan memungkinkan distribusi panas dan proses plastisasi material berlangsung lebih optimal, sehingga memberikan perubahan struktur mikro yang signifikan dan berdampak langsung pada peningkatan kekerasan *brinell*.

Nilai *error* yang rendah, yaitu 1,72%, menunjukkan bahwa sebagian besar variasi data kekerasan *brinell* dapat dijelaskan oleh parameter proses yang diteliti, sehingga model ANOVA yang digunakan dinilai cukup baik dan representatif. Secara keseluruhan, hasil ANOVA menunjukkan bahwa *holding time* dan suhu air berpengaruh signifikan terhadap kekerasan *brinell*, dengan *holding time* sebagai parameter paling dominan, sedangkan kecepatan putar tool memberikan pengaruh yang relatif kecil dan tidak signifikan secara statistik.

Nilai F-hitung hasil analisis varian (ANOVA) dibandingkan dengan F-tabel pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$ untuk menentukan signifikansi pengaruh perlakuan serta keputusan terhadap hipotesis nol (H_0). Nilai F-tabel ditentukan berdasarkan derajat kebebasan, yaitu df_1 (jumlah parameter proses - 1) dan df_2 (jumlah spesimen - jumlah faktor).

Dengan df_1 sebesar 2 dan df_2 sebesar 6, diperoleh nilai F-tabel sebesar 5,14. Analisis ini dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh variasi parameter *Underwater Friction Stir Spot Welding* (UFSSW) terhadap kekuatan geser dan kekerasan *brinell* pada paduan aluminium AA1100. Apabila nilai F-hitung melebihi 5,14, maka hipotesis nol (H_0) ditolak dan perlakuan dinyatakan berpengaruh signifikan.

1. Berdasarkan hasil uji F ANOVA terhadap kekuatan geser, parameter kecepatan rotasi (N) menunjukkan nilai F sebesar 3,26, sedangkan waktu tahan (HT) memiliki nilai F sebesar 0,55. Karena kedua nilai tersebut lebih kecil dibandingkan F-tabel (5,14), hipotesis nol (H_0) diterima, yang menandakan bahwa kecepatan rotasi dan waktu tahan tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap kekuatan geser sambungan UFSSW pada tingkat kepercayaan 95%. Sebaliknya, parameter suhu air (WT) menunjukkan nilai F sebesar 5,25 yang lebih besar dari F-tabel, sehingga hipotesis nol ditolak dan hipotesis alternatif (H_1) diterima. Hal ini membuktikan bahwa suhu air berpengaruh signifikan terhadap kekuatan geser dan merupakan parameter yang paling dominan dalam penelitian ini.
2. Pada pengujian kekerasan *brinell*, parameter kecepatan putar (N) menghasilkan nilai F-hitung sebesar 9,58, yang melampaui nilai F-tabel (5,14), sehingga hipotesis nol ditolak dan hipotesis alternatif diterima. Selain itu, parameter suhu air (WT) dan waktu tahan (HT) masing-masing menunjukkan nilai F-hitung sebesar 22,28 dan 25,20, yang juga lebih besar dari nilai F-tabel. Dengan demikian, kedua parameter tersebut berpengaruh signifikan terhadap kekerasan *brinell*, dengan waktu tahan sebagai faktor yang paling dominan karena memiliki nilai F-hitung tertinggi.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan rumusan masalah dan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa parameter proses UFSSW memengaruhi kekuatan geser sambungan paduan aluminium AA1100. Kecepatan putar, suhu media air, dan waktu penahanan berperan dalam pembentukan panas, proses pengadukan material, serta laju pendinginan, yang secara langsung menentukan kualitas ikatan sambungan. Pengaturan parameter yang optimal menghasilkan nilai kekuatan geser maksimum sebesar 22,95 MPa.

Selain itu, parameter proses UFSSW juga berpengaruh terhadap nilai kekerasan *brinell* sambungan aluminium AA1100, terutama pada daerah *stir zone*, TMAZ, dan HAZ. Kecepatan putar, suhu air, dan waktu penahanan memengaruhi besarnya panas, laju pendinginan, serta tingkat deformasi plastis yang berdampak pada perubahan struktur mikro. Kombinasi parameter yang sesuai mampu menghasilkan nilai kekerasan *brinell* yang lebih tinggi dengan distribusi yang lebih merata.

UCAPAN TERIMA KASIH

Keberhasilan selesainya penelitian ini dikarenakan rahmat dan kebaikan Allah SWT, yang bagi-Nya segala puji dan syukur layak diberikan. Penulis menyampaikan apresiasi yang tulus kepada kedua orang tuanya atas doa dan dorongan yang tak pernah putus, kepada pembimbing akademisnya serta semua pihak yang terlibat atas dukungan mereka selama perjalanan penelitian, kepada tunangannya tercinta, Keysa Putri Subagiyo, atas dukungan dan persahabatan yang teguh, dan juga kepada mahasiswa AK.22 PSTM Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, yang berperan penting dalam pengumpulan data penting untuk penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Mulyadi, A. Wahjudi, A. S. Pramono, I. M. L. Batan, And Ubaidillah, "A Study Of Concave Shoulder Angle On The Mechanical Properties And Fractography Of Friction Stir Welded Aa6061-T651 Joints," *J. Mater. Res. Technol.*, Vol. 28, Pp. 78–86, 2024, Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.11.258>.
- [2] R. Firdaus And A. Ahfas, "Study Of Underwater Friction Stir Welding Process Parameters On Aa6005-T6 Material For Marine Industry And Underwater Structure," Vol. 16, No. 2, Pp. 721–733, 2025, Doi: 10.21776/Jrm.V16i2.1922.
- [3] M. Umer *Et Al.*, "Parametric Optimisation Of Friction Stir Welding On Aluminium Alloy (En Aw-1100) Plates," Vol. 63, No. 2, Pp. 75–88, 2023.
- [4] "Teknisi212,+Journal+Manager,+Sifat+Mekanik+Micro+Friction+Stir+Welding+Pada+Plat+Alumunium+Aa+1100+Dengan+Ketebalan+400+Mm.Pdf."
- [5] "Pengaruh Kecepatan Tool Pada Dissimilar Metal Aluminium 1100 Dan 5052 Terhadap Kualitas Hasil Pengelasan Dengan Metode Las Gesek Puntir (Friction Stir Welding) (Skripsi) Oleh Deo Renaldo Scorpion," 2019.
- [6] M. I. P And M. Darsin, "Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Aluminium Aa1100 Hasil Pengelasan Friction Stir Welding Dengan Variasi Feed Rate," Vol. 0.
- [7] A. S. F. P *Et Al.*, "Analisis Sifat Mekanik Hasil Pengelasan Aluminium Aa 1100 Dengan Metode Friction Stir Welding (Fsw) Analisis Sifat Mekanik Hasil Pengelasan Aluminium Aa 1100 Tinggi , Tahan Terhadap

- Karat , Konduktor Listrik Yang Cukup Baik Dan Aluminium Lebih Ringan In," No. September, 2015.
- [8] S. A. Solanki, A. B. Dhruv, S. Sen, T. Singh, And Y. Sharma, "Effect Of Rotation Speed And Welding Speed On Friction Stir Welding Of Aa1100 Aluminium Alloy Effect Of Rotation Speed And Welding Speed On Friction Stir Welding Of Aa1100 Aluminium Alloy," 2018, Doi: 10.1088/1757-899x/346/1/012060.
- [9] G. Cam, V. Javaheri, And A. Heidarzadeh, "Advances In Fsw And Fssw Of Dissimilar Al-Alloy Plates," *J. Adhes. Sci. Technol.*, Vol. 37, No. 2, Pp. 162–194, 2023, Doi: 10.1080/01694243.2022.2028073.
- [10] D. R. Scorpion *Et Al.*, "(Friction Stir Welding) 1100 Dan 5052 Terhadap Kualitas Hasil Pengelasan Dengan Metode Las Gesek Puntir," Vol. 5, No. 1, Pp. 1–7, 2019.
- [11] P. Rupajati And P. Rupajati, "Investigasi Dan Optimasi Parameter Proses Micro Friction Stir Spot Welding Material A1100/Cu1100p Menggunakan Metode Taguchi," *J. Tek. Mesin Iti*, Vol. 3, No. 2, P. 59, 2019, Doi: 10.31543/Jtm.V3i2.340.
- [12] F. Stir, W. Dengan, And V. Feed, "Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Aluminium Aa1100 Hasil Pengelasan Friction Stir Welding Dengan Variasi Feed Rate Moh. Indra P, Mahros Darsin, Sumarji," Pp. 15–22, 1991.
- [13] H. Suryanto, J. T. Mesin, F. Teknik, And U. N. Malang, "Pengaruh Variasi Arus Listrik Pengelasan Titik (Spot Welding) Terhadap Kekuatan Geser , Kekerasan Dan Struktur Mikro Pada Sambungan Dissimilar Baja Stainless Steel Aisi 304 Dengan Baja Karbon Rendah St 41," No. 2, 2016.
- [14] "Makalah.Pdf."
- [15] D. Handoko, T. Prihantono, A. Setiawan, And J. T. Mesin, "Analisa Variasi Putaran Friction Welding Terhadap Kekerasan Logam Aluminium Paduan Seri 1100-H18," Vol. 3, No. 2, Pp. 15–20, 2022, Doi: 10.35970/Accurate.
- [16] R. F. A. Putra, "Pengaruh Sudut Kemiringan Tool Micro Friction Stir Welding Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanis Pada Sambungan Aluminium 1100," Pp. 1–67, 2020, [Online]. Available: <https://Etd.Umy.Ac.Id/Eprint/2845/4/Bab1.Pdf>
- [17] A. Khalkhali, M. Sarmadi, And E. Sarikhani, "Investigation On The Best Process Criteria For Lap Joint Friction Stir Welding Of Aa1100 Aluminium Alloy Via Taguchi Technique And Anova," Vol. 231, No. 2, Pp. 329–342, 2017, Doi: 10.1177/0954408916665651.
- [18] M. Z. Saban *Et Al.*, "Prosiding Snttm Xxii 2024," Vol. 22, Pp. 103–109, 2024, Doi: 10.71452/590897.

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.

Article History:

Received: 26 June 2018 | Accepted: 08 August 2018 | Published: 30 August 2018

ORIGINALITY REPORT

20%

SIMILARITY INDEX

19%

INTERNET SOURCES

17%

PUBLICATIONS

15%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	Submitted to Universitas Muhammadiyah Sidoarjo Student Paper	14%
2	archive.umsida.ac.id Internet Source	1%
3	docplayer.com.br Internet Source	1%
4	mdpi-res.com Internet Source	<1%
5	Saefudin Saefudin. "Pengaruh Kualitas Air Dari Waduk Jatiluhur Sebagai Pendingin Terhadap Korosi Pada Unit Penukar Panas [Effects Of Water Quality Of Reservoir Jatiluhur As To Corrosion On Cooling Unit Heat Exchanger]", Metalurgi, 2016 Publication	<1%
6	ejournal.unesa.ac.id Internet Source	<1%
7	elib.pnc.ac.id Internet Source	<1%
8	etd.umy.ac.id Internet Source	<1%
9	Submitted to Universitas Islam Negeri Raden Fatah Student Paper	<1%
10	www.sid.ir Internet Source	<1%

11	Anshuman Kumar Sahu, Siba Sankar Mahapatra. "Fused Deposition Modeling - Technology, Applications, and Developments", CRC Press, 2025 Publication	<1 %
12	text-id.123dok.com Internet Source	<1 %
13	www.bursakongresi.org Internet Source	<1 %
14	Syafni Syafni, Nurhayati Nurhayati, Ida Nirwana. "Pengaruh Motivasi dan Produktivitas Kerja Terhadap Kinerja Pegawai pada Bagian Kepegawaian Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (PUPR) Kabupaten Sijunjung", RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business, 2025 Publication	<1 %
15	beng.stafpu.bu.edu.eg Internet Source	<1 %
16	doaj.org Internet Source	<1 %
17	epe.lac-bac.gc.ca Internet Source	<1 %
18	eprints.ums.ac.id Internet Source	<1 %
19	koreascience.or.kr Internet Source	<1 %
20	repository.upi.edu Internet Source	<1 %
21	P N Putinela, S A Rafi, R Ramadhan, G A Ibrahim, A Hamni, T. Tarkono, N Tanti. "Uji Kinerja Dan Karakteristik Alat Pengering	<1 %

Tepung Aci Singkong Tipe Tray Dryer",
MECHANICAL, 2023

Publication

22 id.123dok.com <1 %
Internet Source

23 worldwidescience.org <1 %
Internet Source

24 www.scribd.com <1 %
Internet Source

25 Hassan Hormozi, Amir Mostafapour, Vahid Pouyafar. "Investigating the Effect of Friction Stir Welding on the Mechanical and Metallurgical Properties of Joining CK45 Steel to AISI 304L Stainless Steel", Journal of Materials Engineering and Performance, 2023
Publication

26 Petrus Heru Sudargo, Bambang Margono, Edy Suryono, Ivan Ardiyanto Arsita. "PENGARUH FEEDRATE TERHADAP PENGUJIAN UJI TARIK DAN STRUKTUR MIKRO SAMBUNGAN SEJENIS ALUMINIUM 7075 DENGAN METODE FRICTION STIR WELDING", Teknika, 2021
Publication

Exclude quotes Off

Exclude matches Off

Exclude bibliography On