

## Ketahanan Korosi Sambungan *Friction Stir Welding* dengan Variasi Material Pin Tool

<sup>(1)\*</sup>Istyawan Priyahapsara, <sup>(1)</sup>Bahrudin Yusuf Habibie

<sup>(1)</sup>Program Studi Teknik Dirgantara, Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto, Banguntapan, Yogyakarta

\*Email: [istyawanpriyahapsara@gmail.com](mailto:istyawanpriyahapsara@gmail.com)

Diterima: 12.11.2020 Disetujui: 26.11.2020 Diterbitkan: 30.11.2020

### ABSTRACT

The use of friction stir welding (FSW) for welding materials that have low weldability such as aluminum is a breakthrough in manufacturing. Therefore, FSW is widely used in aircraft structures. FSW has advantages such as superior mechanical properties, green manufacturing, energy saving, and others. Despite its advantages, there have been very few studies analyzing corrosion in FSW. This study aims to find out whether there is corrosion in the FSW connection with the variations of the pin material which serves as a soft metal stirrer in the FSW process. The method of joining the material is carried out by a friction stir welding (FSW) process using the pin tool ST60, ST60 hardened, and stainless-steel with a plate-shaped specimen. After friction stir welding (FSW) connection and temperature measurement on the specimen, then the specimen is cleaned and weighed. After that, corrosion testing was carried out for 14 days (336 hours) using the immersion test method, which was immersed in seawater corrosive media. Calculation of the corrosion rate using the weight loss method. Then take photos of the microstructure to determine the type of corrosion that is formed. The lowest corrosion rate was on the specimen with a stainless-steel pin tool with an average corrosion rate of 0.3254 mpy. The corrosion that is formed on specimens that has been welded is a type of exfoliation corrosion and corrosion causes pits to occur.

Keywords: friction stir welding (FSW), aluminum, welding, corrosion, pin tool

### ABSTRAK

Penggunaan *friction stir welding* (FSW) untuk pengelasan material yang memiliki mampu las rendah seperti aluminium merupakan terobosan dalam dunia manufaktur. Oleh karena itu, FSW banyak digunakan dalam struktur pesawat terbang. FSW memiliki keunggulan seperti sifat mekanis yang superior, manufaktur hijau, hemat energi, dan lain lain. Terlepas keunggulannya, hanya terdapat sedikit penelitian yang menganalisis korosi dalam FSW. Penelitian ini bertujuan untuk mencari tahu apakah ada korosi dalam penyambungan FSW dengan variasi material pin yang bertugas sebagai pengaduk logam lunak dalam proses FSW. Metode penyambungan material dilakukan dengan proses *friction stir welding* (FSW) menggunakan pin tool ST60, ST60 hardened, dan stainless-steel dengan spesimen berbentuk plat. Setelah dilakukan sambungan *friction stir welding* (FSW) dan pengukuran temperatur pada spesimen, selanjutnya dilakukan pembersihan spesimen dan penimbangan. Setelah itu dilakukan pengujian korosi selama 14 hari (336 jam) dengan menggunakan metode *immersion test* yaitu direndam dengan media korosif air laut. Perhitungan laju korosi dengan menggunakan metode *weight loss*. Kemudian dilakukan pengambilan foto struktur mikro untuk mengetahui jenis korosi yang terbentuk. Nilai laju korosi yang paling rendah yaitu pada spesimen dengan pin tool stainless-steel dengan nilai rata-rata laju korosi 0,3254 mpy. Korosi yang terbentuk pada spesimen yang telah dilakukan pengelasan merupakan jenis *exfoliation corrosion* dan korosi menyebabkan terjadinya *pits*.

Kata Kunci: *friction stir welding* (FSW), aluminium, pengelasan, korosi, pin tool

## I. Pendahuluan

*Friction stir welding* (FSW) merupakan jenis pengelasan kondisi padat (*solid state*) yang mampu menghasilkan kualitas lasan tinggi, meskipun untuk logam yang sulit dilas seperti aluminium. Kemampuan ini, menyebabkan metode ini menjadi pilihan mutakhir dalam penyambungan struktur pesawat terbang yang kebanyakan bermaterial aluminium (Huda, Taib, & Zaharinie, 2009). Proses penyambungan rivet tetap menjadi pilihan utama dalam penyambungan struktur pesawat terbang karena alasan *portable*. Meskipun demikian, dalam beberapa tahun mendatang FSW akan siap menggantikan rivet. Beberapa kelebihan FSW adalah ramah lingkungan, kekuatan sambungan lebih baik, dan hemat material (Kundu, Ghangas, Rattan, & Kumar, 2017).

Penyambungan FSW dimulai dengan gesekan (*friction*) akibat kontak antara pin yang berputar dengan logam yang disambung. Gesekan ini menghasilkan panas (di bawah temperatur cair logam), sehingga logam melunak. Selanjutnya akibat putaran pin, logam lunak teraduk (*stir*) dan menyatukan logam yang sebelumnya terpisah. Kedua logam yang sudah teraduk pada akhirnya akan memadat bersama dan terjadilah proses pengelasan (Jiang & Kovacevic, 2004). Dalam FSW, ada beberapa parameter yang bisa dikendalikan faktornya yaitu *spindle speed*, *feed rate*, dan geometri *tool* (Chien, Lin, & Chen, 2011). Material juga mempengaruhi pembangkitan panas saat terjadi gesekan (Pradeep, Amarnath, & Sunil, 2015). Selain itu kecepatan putar pahat dan kecepatan pengelasan dalam FSW mempengaruhi nilai konduktivitas sambungan (Jatimurti, Kurniawan, & Kurniawan, 2019). Hal lain yang mempengaruhi hasil proses FSW adalah *shot peening*. Proses FSW dengan *shot peening* dapat menurunkan laju perambatan retak fatik pada sambungan las (Wartono, 2020). Efek sudut kemiringan (*tilt*) dengan pemodelan FSW dengan sudut  $0^\circ$  dan  $2.5^\circ$ . Kemudian disimpulkan bahwa karena tingginya temperatur, semakin lunak material dan semakin besar gaya gesek pada sisi *tool*, aliran material pada sisi belakang *tool* FSW menjadi lebih baik karena membatu pencegahan terjadinya cacat las (Dialami, Cervera, & Chiumenti, *the Tool Tilt Angle*, 2019).

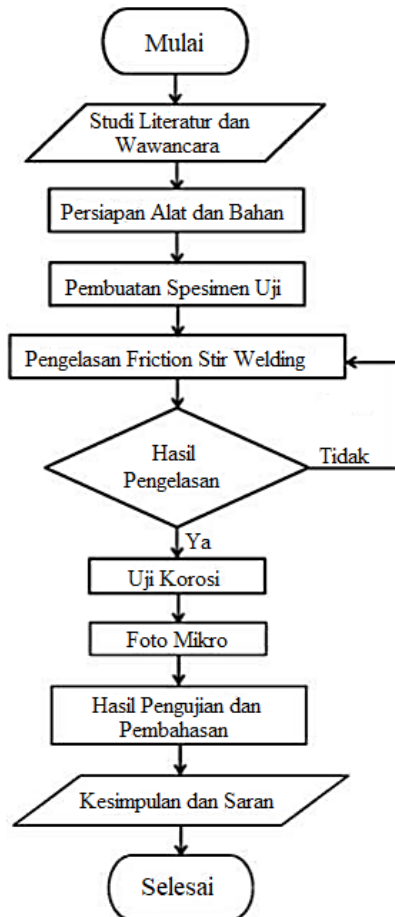
Permasalahan yang sering muncul dari hasil pengelasan FSW yang digunakan untuk pembuatan pesawat terbang adalah korosi, terutama pada sambungan lasnya. Akibat korosi ini, maka kekuatan suatu konstruksi akan berkurang hingga dapat mengakibatkan kegagalan struktur yang bisa berakhir fatal. (Wahyudianto & Yadie, 2017). Pemilihan parameter FSW yang tepat, akan meningkatkan kualitas sambungan hasil pengelasan FSW. Salah satunya adalah pemilihan material *tool probe*. Material *tool* akan mempengaruhi temperatur yang dapat mempengaruhi laju korosi, sehingga harus bisa memilih material *tool* yang cocok untuk pengelasan. Dimana temperatur tersebut akan bereaksi pada lingkungan. Jika material *tool* tidak sesuai, maka akan menyebabkan proses pemanasan yang tidak merata yang nantinya bisa menimbulkan lubang-lubang kecil yang berakibat terjadinya oksidasi. Hal itu dapat berakibat awal terjadinya korosi. Tujuan penelitian ini adalah untuk meneliti pengaruh variasi material pin terhadap karakteristik korosi sambungan FSW.

Korosi adalah kerusakan material akibat reaksi kimia atau elektrokimia dengan lingkungan yang korosif. Beberapa instrument yang sering digunakan untuk uji korosi adalah air laut, larutan  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , dan larutan  $\text{KCl}$  (Sukarjo & Surahman, 2017). Korosi erat kaitannya dengan logam. Melalui peristiwa degradasi atau penurunan mutu, korosi terjadi secara alami yang prosesnya tidak dikehendaki. Dalam penurunan mutu logam, tidak hanya melibatkan reaksi kimia, namun juga reaksi elektrokimia. Dimana elemen-elemen yang bersangkutan mengalami perpindahan elektron. Elektron yang bermuatan negatif, maka menimbulkan arus listrik, sehingga reaksinya dipengaruhi oleh potensial listrik. Sedangkan lingkungan adalah semua unsur di sekitar logam terkorosi pada saat reaksi berlangsung (Senthilraj, Kannan, Suresh, & Sekar, 2020). Selain lingkungan yang korosif, laju korosi bisa dipengaruhi oleh perlakuan panas pada logam, yaitu *quenching*. Baja AISI 420 yang diberi perlakuan panas *quenching* memiliki laju korosi lebih rendah daripada logam yang tidak diberi perlakuan panas (Anggoro, 2017).

## II. Bahan dan Metode

### 2.1. Metode Penelitian

Alur jalannya penelitian dapat dilihat pada Gambar 1. Dimana penelitian dimulai dari studi literatur, persiapan alat dan bahan, pembuatan spesimen, kemudian proses pengelasan FSW, dilanjutkan dengan uji korosi, dilanjutkan dengan foto mikro, dan terakhir dilakukan analisis dan pembahasan.



Gambar 1. Alur Penelitian

### 2.2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan untuk penelitian ini antara lain:

#### 1. Pin Material

Bentuk pin material yang digunakan untuk pengelasan FSW seperti terlihat pada Gambar 2. Dimana pin yang digunakan ada 3 jenis, yaitu pin ST 60, pin ST 60 Hd, dan pin satinless steel.

#### 2. Mesin Mill

Alat yang digunakan untuk proses penyambungan FSW adalah mesin mill, seperti terlihat pada Gambar 3.



a. ST 60      b. ST 60 Hd      c. Stainless steel  
Gambar 2. Pin Material



Gambar 3. Mesin Mill

Sedangkan bahan atau material yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 1. Aluminium 2024-T3

Spesimen yang akan digunakan untuk melakukan penelitian adalah Aluminium 2024-T3 seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Aluminium sheet 2024 T3

#### 2. Air laut

Air laut digunakan sebagai media korosif pada saat pengujian korosi pada spesimen. Air laut terlihat seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Air laut

### 2.3. Perhitungan Laju Korosi

Setelah alat dan bahan siap, kemudian hasil data korosi dianalisis untuk mendapatkan nilai laju korosi. Penentuan laju korosi menggunakan standar pengujian ASTM G1 dengan perhitungan *weight loss*. Rumus 1 digunakan untuk menghitung penurunan berat spesimen. Sedangkan Rumus 2, digunakan untuk menghitung laju korosi.

$$W = W_0 - W_A \quad (1)$$

dengan:

$W$  = Kehilangan berat (gram)

$W_0$  = Berat awal (gram)

$W_A$  = Berat akhir (gram)

$$CR = \frac{K \cdot W}{A \cdot T \cdot D} \quad (2)$$

dengan:

$CR$  = Corotion Rate

$K$  = Konstanta laju korosi (Tabel 1)

$W$  = Kehilangan berat (gram)

$A$  = Luas permukaan logam ( $\text{cm}^2$ )

$T$  = Waktu (jam)

$D$  = Densitas logam ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

Tabel 1. Konstanta Laju Korosi

Satuan Laju Korosi	Konstanta (K)
Mils per year (mpy)	$3,45 \times 10^6$
Inches per year (ipy)	$3,45 \times 10^3$
Inches per month (ipm)	$2,87 \times 10^2$
Milimeters per year (mm/y)	$8,76 \times 10^4$
Micrometers per year ( $\mu\text{m}/\text{y}$ )	$8,76 \times 10^7$
Picometers per second (pm/s)	$2,78 \times 10^6$
Grams per square meter per hour ( $\text{g}/\text{m}^2.\text{h}$ )	$1,00 \times 10^4 \times D$

## III. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Inspeksi Visual

Inspeksi visual dilakukan untuk melihat kualitas sambungan secara visual. Hal ini merupakan inspeksi awal untuk meng-asses kualitas rigi-rigi lasan. Pada Gambar 6 menunjukkan kualitas hasil sambungan FSW, berturut-turut dari kiri ke kanan, ST60, ST60 *hardened*, dan *stainless-steel* menunjukkan rigi-rigi yang rapi dan baik.



Gambar 6. Inspeksi visual FSW

### 3.2. Pengujian Korosi

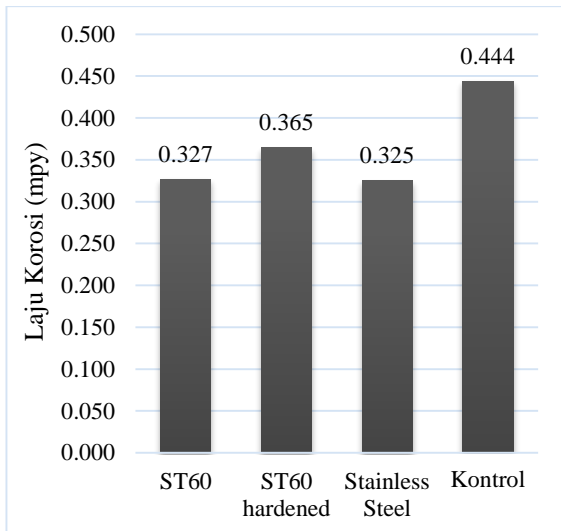
Pengujian laju korosi dilakukan dengan merendam 3 material yang disambung dengan metode FSW dan satu material kontrol yang merupakan material AL 2024 T3 yang tidak dilakukan sambungan. Media korosif yang digunakan adalah air laut dengan lama perendaman selama 336 jam (14 hari).

Perhitungan laju korosi dicari dalam satuan *mils per year* (mpy). Perhitungan laju korosi tersebut menggunakan standar ASTM G1 (*weight loss*) bagian delapan tentang *assessment of corrosion damage*. Pengujian dilakukan dengan menghitung selisih antara berat spesimen sebelum direndam dan setelah direndam. Berdasarkan Rumus 1 dan Rumus 2 didapatkan nilai rerata laju korosi seperti pada Tabel 2. Selanjutnya, data pada Tabel 2 dibuat grafik seperti pada Gambar 7.

Tabel 2. Laju korosi FSW

Material Pin	Rerata Laju Korosi (mpy)
ST60	0,3269
ST60 hardened	0,3648
Stainless Steel	0,3254
Kontrol	0,4441

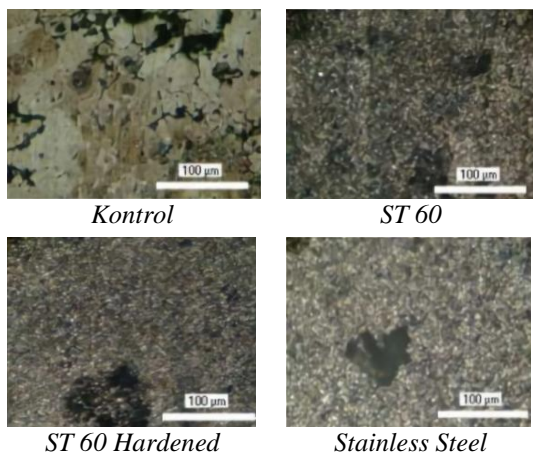
Berdasar Gambar 7, laju korosi pada semua hasil sambungan FSW memiliki nilai lebih rendah daripada laju korosi material kontrol AL 2024 T3. Nilai korosi terendah diperoleh oleh logam *stainless steel*, berikutnya adalah ST 60, ST 60 *hardened*, dan terakhir adalah material kontrol Al 2024 T3.



Gambar 7. Grafik laju korosi

### 3.3. Pencitraan Mikroskop

Fenomena dari laju korosi dapat dianalisis melalui citra mikroskop. Gambar 8 menunjukkan spesimen yang telah direndam dalam air laut selama 14 hari (336 jam). Terdapat 4 spesimen yang menunjukkan citra mikroskopis kerusakan akibat korosi. Material kontrol merupakan specimen AL 2024 T3 tanpa dilakukan semabungan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kondisi alami material kontrol terhadap korosi air laut. Berikutnya citra mikroskopis spesimen AL 2024 T3 yang disambungkan menggunakan FSW dengan variasi material pin.



Gambar 8. Citra mikroskopis

Pada Gambar 8, terlihat bercak hitam merupakan cacat permukaan yang terjadi akibat korosi. Material kontrol merupakan material AL 2024 T3 tanpa mengalami sambungan, mengalami *defect* paling banyak. Hal ini berarti material kontrol terjadi serangan korosi paling banyak. Berikutnya adalah ST60 ada beberapa

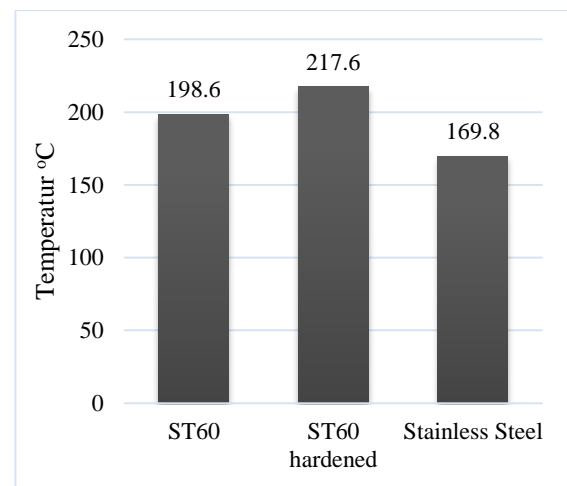
bercak hitam yang terlihat. ST 60 *hardened* memiliki satu cacat yang cukup lebar. Sedangkan bercak hitam paling kecil adalah pada permukaan *stainless-steel* dengan satu cacat korosi dengan area yang lebih kecil dari ST 60 *hardened*. Hal ini selaras dengan laju korosinya, yang menunjukkan *stainless-steel* memang secara makroskopis mendapatkan serangan korosi paling sedikit.

### 3.4. Pengukuran Temperatur

Selama proses FSW, dilakukan juga pengukuran temperatur saat pengelasan seperti terlihat pada Gambar 9. Selanjutnya hasil pengukuran disajikan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 10.



Gambar 9. Proses pengukuran temperature



Gambar 10. Rerata Temperatur FSW

Berdasarkan Gambar 10 menunjukkan rerata temperatur tertinggi adalah material ST60 *hardened*, diikuti dengan pin dengan material ST60, dan yang paling rendah adalah *stainless-steel* dengan nilai 169,8 °C. Temperatur mempengaruhi terjadinya korosi karena meningkatkan kemungkinan terjadinya oksidasi (Abolusoro & Akinlabi, 2019). Rendahnya temperatur yang terjadi saat

penyambungan FSW dengan *stainless-steel*, mengurangi terjadinya oksidasi yang meningkatkan laju korosi. Sehingga pada citra mikroskopnya *stainless-steel* terlihat mengalami serangan korosi yang paling rendah. Untuk material kontrol yang tidak dikenai panas menghasilkan laju korosi yang tertinggi. Hal ini dimungkinkan karena proses FSW saat tahap *stirring* (pengadukan) mengurangi cacat permukaan material yang disambung (Dialami, Cervera, & Chiumenti, *Defect Formation*, 2020).

#### IV. Kesimpulan

Material pin *stainless-steel* menghasilkan laju korosi terendah 0,3254 mpy. Berikutnya material pin ST60 dengan nilai 0,3269 mpy dan terakhir ST 60 *hardened* dengan nilai 0,3648 mpy. Hal ini dikarenakan temperatur yang dibangkitkan *stainless-steel* menunjukkan rerata terendah dibanding yang lain. Nilai terendah ini berarti sambungan menggunakan pin *stainless-steel* menghasilkan sambungan yang lebih tahan korosi karena semakin lamanya dia terkorosi. Dalam penelitian ini juga diketahui bahwa proses FSW mengurangi laju korosi dari material yang disambung, hal ini terlihat dari hasil material kontrol yang merupakan lempengan AL 2024 T3 tanpa sambungan, yang menghasilkan laju korosi yang tertinggi.

#### Daftar Pustaka

- Abolusoro, O. P., & Akinlabi, E. T. (2019). Wear and Corrosion Behaviour of Friction Stir Welded Aluminium Alloys-An Overview. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD)*, 9(3), 967-982. doi:10.24247/ijmperdjun2019105
- Anggoro, S. (2017). Pengaruh Perlakuan Panas Quenching dan Tempering terhadap Laju Korosi pada Baja AISI 420. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, 1(2), 19-29. doi:10.30588/jeemm.v1i2.257
- Chien, C. H., Lin, W. B., & Chen, T. (2011). Optimal FSW Process Parameters for Aluminum Alloys AA5083. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 34(1), 99-105. doi:10.1080/02533839.2011.553024
- Dialami, N., Cervera, M., & Chiumenti, M. (2019). Effect of the Tool Tilt Angle on the Heat Generation and the Material Flow in Friction Stir Welding. *Metals*, 9(1), 28. doi:doi.org/10.3390/met9010028
- Dialami, N., Cervera, M., & Chiumenti, M. (2020). Defect Formation and Material Flow in Friction Stir Welding. *European Journal of Mechanics - A/Solids*, 80, 103912. doi:10.1016/j.euromechsol.2019.103912
- Huda, Z., Taib, N. I., & Zaharinie, T. (2009). Characterization of 2024-T3: An Aerospace Aluminum Alloy. *Materials Chemistry and Physics*, 113(2-3), 515-517. doi:10.1016/j.matchemphys.2008.09.050
- Jatimurti, W., Kurniawan, F., & Kurniawan, B. A. (2019). Analisa Kecepatan Pengelasan dan Kecepatan Putar Mata Pahat terhadap Konduktivitas Listrik Sambungan Aluminium dan Tembaga Hasil Friction Stir Welding (FSW). *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, 3(2), 39-46. doi:10.30588/jeemm.v3i2.536
- Jiang, W. H., & Kovacevic, R. (2004). Feasibility Study of Friction Stir Welding of 6061-T6 Aluminium Alloy with AISI 1018 Steel. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 218(10), 1323-1331. doi:10.1243/0954405042323612
- Kundu, J., Ghangas, G., Rattan, N., & Kumar, M. (2017). "Friction Stir Welding: Merits over other Joining Processes. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 7(3), 1175-1177.
- Pradeep, K. M., Amarnath, K., & Sunil, K. M. (2015). A Review on Heat Generation in Metal Cutting. *International Journal of Engineering and Management Research (IJEMR)*, 5(4), 193-197.
- Senthilraj, K., Kannan, P. R., Suresh, P., & Sekar, T. (2020). Corrosion and Fatigue Study on FSW and GTAW Welded Joints of AA7075-T6. *Journal of Xidian University*, 14(5), 5484-5492. doi:10.37896/jxu14.5/594

Sukarjo, H., & Surahman, A. (2017). Pengaruh Korosi terhadap Kekuatan Tarik Macaroni Tubing P110 1.900"x4.19 lbs/ft. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, 1(1), 1-10. doi:10.30588/jeemm.v1i1.223

Wahyudianto, F. A., & Yadie, E. (2017). Corrosion Behavior of AA5083 Friction Stirred Metal Welds Joints inside 3,5% NaCl Solution. *Prosiding SNTTM, XVI*, 77-80.

Wartono, W. (2020). Pengaruh Shot Peening terhadap Laju Perambatan Retak Fatik Sambungan Friction Stir Welding pada Aluminium Seri 5083. *Jurnal Engine: Energi, manufaktur, dan Material*, 4(1), 20-26. doi:10.30588/jeemm.v4i1.728