

OPTIMASI KUALITAS HASIL PENGELASAN *FRICITION STIR WELDING* (FSW) SAMBUNGAN *SIMILAR* PADUAN ALUMINIUM AA 6061

Muhammad Arsyad Suyuti¹⁾, Tri Agus Susanto²⁾

^{1,2)}*Dosen Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar*

ABSTRACT

Friction Stir Welding (FSW) is a technique of material connection in solid state conditions and is widely used to connect aluminum alloys in aerospace, shipping, automotive, defense and more applications in other sector. FSW welding results can produce better mechanical properties in the welding zone compared to other conventional welding techniques. FSW experiments were conducted using a vertical milling machine with AA 6061 alloy material. The main objective of this study was to determine the optimum operating conditions in the FSW butt joints of aluminum alloy material AA 6061. Rotation speed and welding speed were taken as process parameters. Analysis of variance (ANOVA) through software design of expert is used to reveal the effect of different welding parameters on ultimate tensile strength and hardness to obtain optimum parameters. The optimum result is predicted that the ultimate tensile strength can be reached 192.129 MPa and the hardness value is 66.818 HB

Keywords: *Optimization, Friction Stir Welding, Aluminium AA 6061, Tensile Strength, Hardness.*

1. PENDAHULUAN

Proses pengelasan tradisional seperti las listrik dan las oksigen tidak terlalu cocok untuk pengelasan bahan logam yang lunak. *Friction Stir Welding* (FSW) merupakan teknik terbaik untuk kebutuhan pengelasan bahan yang lunak seperti Al, Ti, dan *Steel* dll. FSW adalah proses pengelasan yang terjadi pada kondisi padat (*solid state welding*) dimana sumber energi panas pengelasannya adalah gesekan (Pamungkas dkk, 2012). Teknologi pengelasan FSW ini sangat ramah lingkungan. *Friction stir welding* ditemukan oleh *The Welding Institute* (TWI) di Inggris pada tahun 1991. Teknik fabrikasi ini juga memainkan peran penting di NASA dan Industri Pesawat Terbang lainnya (Nandan et al., 2009). Metode FSW banyak dilakukan dengan menggunakan mesin perkakas khususnya pada mesin frais baik yang konvensional maupun CNC (*computer numerical control*), namun pengelasan FSW pada umum dilakukan dengan mesin frais vertikal. Karena proses pengelasan FSW dilakukan pada mesin perkakas frais sehingga terdapat beberapa parameter permesinan yang sangat berpengaruh terhadap sifat mekanis hasil pengelasan (Indra R.M., 2011).

Pada metode pengelasan FSW untuk pengelasan *polymer* HPDE putaran *tool* dan *feed rate* berpengaruh signifikan pada sifat-sifat mekanis hasil pengelasan (Adil Shaikh, 2010). Sedangkan menurut Haqqi dan Dony S. (2012) mengatakan bahwa terdapat beberapa parameter pada pengelasan FSW antara lain: kecepatan putar, kemiringan *tool*, *feed rate*, geometri dan dimensi *pin*, geometri dan dimensi *shoulder*, material *tool*, dll (Haqqi dan Dony Setyawan, 2012). Selain itu pada penyambungan aluminium alloy H20 yang berpengaruh signifikan terhadap sifat mekanis hasil pengelasan yaitu variasi geometri *tool* (Omid A. Zargar, 2014). Dari beberapa penelitian yang telah disebutkan diatas diketahui bahwa putaran *tool*, *feed rate*, dan bentuk *pin tool*, dimensi *shoulder*, material *tool* sangat berpengaruh terhadap sifat mekanis hasil pengelasan FSW. Dengan demikian untuk mendapatkan sifat mekanis yang diinginkan penting untuk memiliki kontrol atas parameter proses yang relevan dengan kualitas dasar pengelasan. *Response surface methodology* (RSM) dengan menggunakan software *design of expert* (DoF) merupakan salah satu metode sangat membantu dalam optimasi dengan mengembangkan pendekatan kesesuaian hubungan antara variabel independen dan variabel respon untuk mendapatkan sambungan yang baik.

2. METODE PENELITIAN

Dalam eksperimen ini menggunakan bahan aluminium paduan AA 6061 ketebalan 5 mm, penyambungan dilakukan dengan metode pengelasan FSW pada mesin frais. Komposisi kimia dan sifat mekanik dari logam induk ditunjukkan pada tabel 1 dan 2.

Table 1. Komposisi kimia aluminium alloy 6061

Al alloy	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti

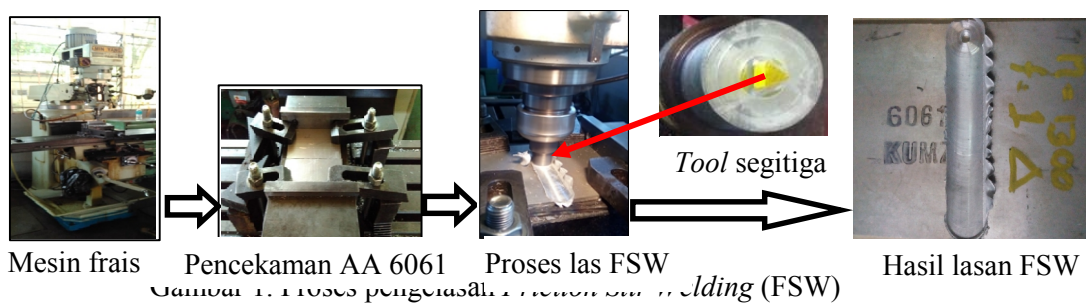
¹ Koresponding: Muhammad Arsyad Suyuti, 081341573347, muhammadarsyadsuyuti@poliupg.ac.id

6061	0.64	0.2	0.19	0.06	1,0	0.15	0,05	0,07
------	------	-----	------	------	-----	------	------	------

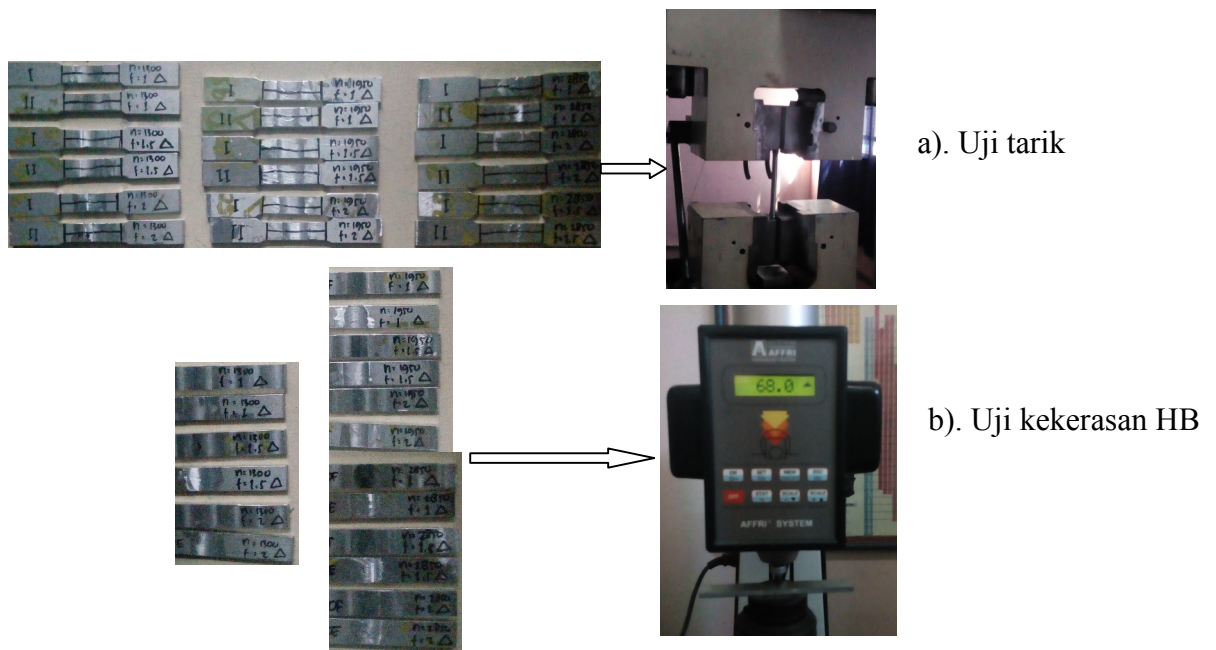
Table 2. Sifat mekanis logam induk proses FSW

<i>Tensile strength</i> (MPa)	<i>Yield strength</i> (MPa)	<i>Elongation</i> (%)	<i>Brinell Hardness</i> (HB)
307.1	284	12.5	114

Ukuran pelat logam induk (aluminium paduan AA 606) berdimensi 12mm×75mm×5mm. Pengelasan FSW ini dilakukan dengan menggunakan sambungan *butt joint*, dimana pelat logam induk AA 6061 to AA 6061 dijepit secara sejajar pada meja mesin frais menggunakan *fixtures* seperti ditunjukkan pada gambar 1. *Tool* yang digunakan dirancang khusus untuk pengelasan FSW yang dibuat dari baja perkakas AISI 1045 dengan dimensi diameter *shoulder* 22 mm, *pin* berbentuk segi tiga sama kaki dengan ukuran sisi-sisi 6 mm dan panjang pin 4,8 mm. Parameter mesin yang diambil dalam pengelasan FSW ini yaitu kecepatan putar dan kecepatan pengelasan dengan memilih nilai parametrik seperti ditunjukkan pada tabel 3 tentang desain matrik eksperimen. Spesimen uji tarik disiapkan sesuai dengan standar ASTM E8. Gambar 1 berikut memperlihatkan proses pengelasan FSW.



Gambar 1. Proses pengelasan FSW menggunakan *butt joint* (FSW)



Gambar 2. Proses pengujian sifat mekanis hasil pengelasan FSW

Tabel 3. Desain matriks dan nilai eksperimen

<i>Exsp. No.</i>	<i>Rotational Speed</i> (rpm)	<i>Transversal Feed Speed</i> (mm/min)	<i>Ultimate Tensile Strength</i> (Mpa)	<i>Brinell Hardness</i> (HB)
1	1300	45	204,52	56,60
2	1950	45	185,79	61,50
3	2850	45	170,10	62,30
4	1300	90	186,27	59,93
5	1950	90	176,30	69,07

6	2850	90	158,20	69,30
7	1300	135	184,05	66,73
8	1950	135	150,02	68,53
9	2850	135	122,93	66,27

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Model matematika untuk sifat mekanis *tensile strength* dan *hardness test*

Model kuadrat yang dikembangkan untuk variabel respon parameter *ultimate tensile strength* (UTS) dan *hardness*, kemudian diuji dengan menggunakan analisis ANOVA. Hasilnya diberikan pada tabel 4. Model yang diusulkan dievaluasi dengan Uji F ANOVA. Ringkasan yang sesuai menunjukkan bahwa model kuadrat yang dipasang secara statistik signifikan untuk menganalisis variabel respon. Koefisien determinasi *R-Square* (R^2) menunjukkan *goodness of fit* untuk model. Hal ini juga menunjukkan sedikit perbedaan antara data yang diprediksi dan aktual.

Table 4: Tabel ANOVA untuk response *surface* model

	<i>Ultimate Tensile Strength</i>	<i>Hardness Logam Las</i>
<i>R-squared</i>	0,9513	0.4501
<i>Adj R-squared</i>	0,9351	0.3716
<i>Pred R-Squared</i>	0,8905	0.2020
<i>Adeq precision</i>	21,337	4.1460

Ekspresi persamaan akhir matematis untuk *tensile strength* dan *hardness* ditunjukkan sebagai berikut:

Persamaan *tensile strength* :

$$= 253,47246 - 0,020485 * \text{Rotational speed} - 0,49040 * \text{Transverse Feeds Speed}$$

Persamaan *hardness*:

$$= 57.42593 + 0,078272 * \text{Transverse Feeds Speed}$$

Pengaruh parameter proses terhadap *tensile strength* (UTS) dan *hardness*

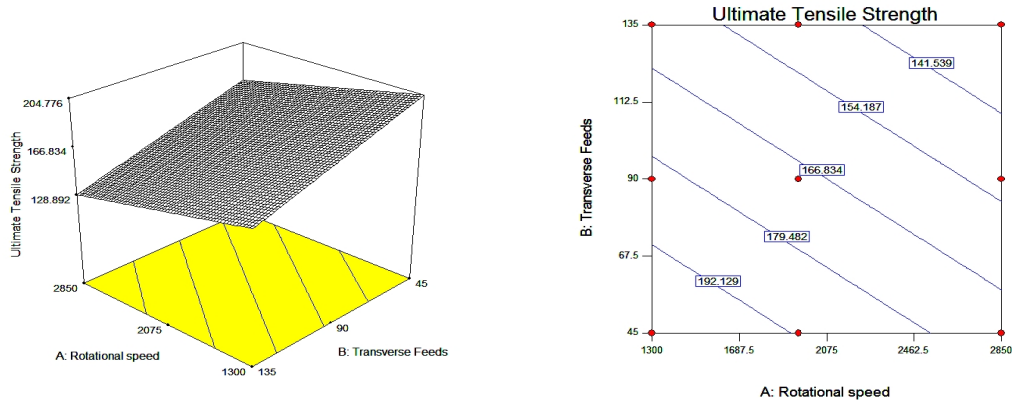
Estimasi respon *surface* 3D untuk UTS sambungan las FSW diilustrasikan pada gambar 3. Respon *surface* menunjukkan bahwa ada perubahan UTS dimana masing-masing parameter FSW berpindah dari titik referensi, sedangkan parameter lainnya dipertahankan konstan pada nilai referensi. Hasil uji tarik menunjukkan bahwa UTS logam las lebih rendah dari logam induk pada semua sambungan lasan FSW. Kondisi kekasaran permukaan hasil pengelasan yang dihasilkan dari gesekan dipengaruhi kecepatan putar dan kecepatan pengelasan. Parameter kecepatan rotasi (*rotational speed*) dan kecepatan pengelasan (*transverse feeds speed*) yang digunakan untuk membuat sambungan FSW menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan putaran *tool* dan kecepatan pengelasan menghasilkan penurunan UTS dari sambungan las FSW. Hal tersebut terjadi mungkin karena dari pengamatan visual tampak adanya cacat permukaan hasil pengelasan berupa permukaan berongga panjang (*surface tunnel*) atau lubang/kekosongan (*voids*). Sedangkan pada kecepatan rotasi dan kecepatan pengelasan yang lebih rendah sampai kerendahan tertentu hasil pengamatan visual tampak bahwa cenderung lebih sedikit bahkan kadang tidak terdapat sama sekali cacat permukaan baik cacat *surface tunnel* maupun *voids* sehingga berdampak pada kekuatan tarik yang lebih tinggi.

Sedangkan estimasi respon *surface* 3D untuk *hardness* sambungan las FSW ini diilustrasikan pada Gambar 4. Respon *surface* juga menunjukkan bahwa terdapat perubahan kekerasan (*hardness*) dan masing-masing parameter FSW juga berpindah dari titik referensi. Kekerasan logam las lebih rendah dari kekerasan logam induk. Kekerasan konstan pada setiap kecepatan rotasi (*rotational speed*), namun kekerasan meningkat dengan bertambahnya kecepatan pengelasan (*transverse feeds speed*). Hal ini memiliki kesamaan dengan yang diungkapkan Divya D. D. bahwa kecepatan putaran menghasilkan panas gesekan yang diperlukan untuk pengisian material dan juga mempengaruhi pencampuran yang tepat dari sambungan pengelasan aluminium paduan. Hasil lasan dengan putaran rendah menghasilkan yang menghasilkan kecepatan rendah memiliki sifat mekanik yang baik daripada lasan yang menghasilkan kecepatan lebih tinggi.

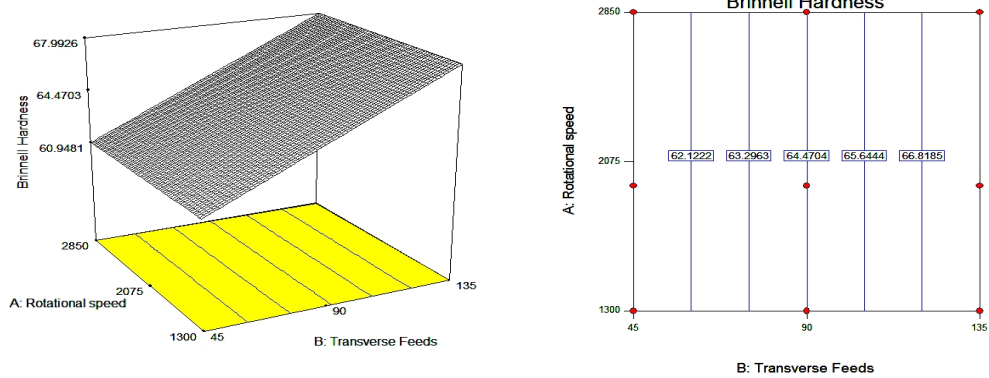
Pendekatan *Desirability* (*Desirability Approach*)

Ada banyak teknik statistik yang dapat digunakan untuk memecahkan permasalahan yang memiliki banyak respon. Metode *desirability* merupakan salah satu metode yang direkomendasikan untuk

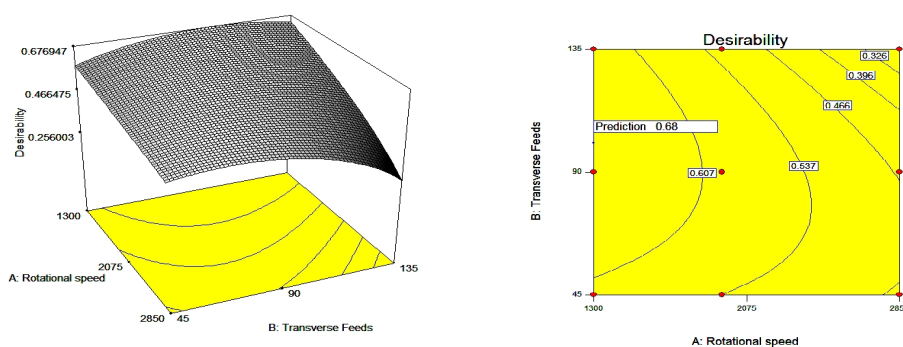
memecahkan masalah yang mempunyai banyak respon karena sederhana, fleksibilitas dan tersedia dalam bentuk perangkat lunak. Metode ini mengubah nilai multi respon menjadi ukuran kinerja tak berdimensi yang juga disebut *overall desirability function* dengan jarak antara 0 sampai 1. Hasil optimal yang diprediksi dari teknik di atas adalah kekuatan tarik maksimum 192,129 MPa dan Nilai kekerasan sebesar 66,818 HB. Pada bagian optimasi ini *design of expert software* memberikan nilai kombinasi *desirability* sebesar **0,68**.



Gambar 3. Memperlihatkan kountur 3D untuk kekuatan tarik (*tensile strength*)



Gambar 4. Memperlihatkan kountur 3D untuk kekerasan (*hardness*)



Gambar 5. Memperlihatkan kountur 3D untuk *desirability*

Optimasi

Hasil optimasi grafis pada gambar 6. adalah *plot overlay*, jenis plot ini sangat praktis untuk penggunaan teknis yang cepat di bengkel untuk memilih nilai parameter pengelasan yang akan mencapai nilai respon tertentu untuk jenis material ini. Daerah yang dihias warna kuning pada *plot overlay* pada gambar 6 adalah daerah yang memenuhi kriteria yang diajukan.



Gambar 6. Grafik *overlay* data input untuk *rotional speed* dan *transverses feeds*

4. KESIMPULAN

Optimasi multi obyektif dengan menggunakan RMS merupakan teknik yang berguna untuk mengoptimalkan parameter *friction stir welding* agar diperoleh kekuatan tarik maksimum dan kekerasan akhir yang optimum. Kesimpulan yang dapat ditarik penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Aluminium *alloy grade* AA 6061 berhasil disambung melalui proses pengelasan *friction stir welding* (FSW) dengan baik.
- Kekuatan tarik maksimum optimal diprediksi sebesar 192,129 MPa dan kekerasan sebesar 66,818 HB.
- Kecepatan putaran dan kecepatan pengelasan banyak berkontribusi dalam menghasilkan panas yang dibutuhkan dari gesekan dan memiliki dampak signifikan pada sifat mekanik.
- Kekuatan tarik maksimum meningkat pada kecepatan putaran dan kecepatan pengelasan FSW yang rendah sedangkan kekerasan cenderung meningkat dengan meningkatnya kecepatan pengelasan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Adil Shaikh, K.D. Bhatt and Alok B. Chaudhary. 2014. *Effect of Friction Stir Welding Process Parameters on Polymer Weld*. International Journal for Technology Research in Engineering, Vol. 1. No. 9. Hal. 2347 – 4718.
- Divya D. D., Anuj S., Charit V., 2014. *Optimisation of Friction Stir Welding Parameters for AA 6061 and AA 7039 Aluminium Alloys by Response Surface Methodology (RSM)*. Volume 4, Number 5, pp. 565-571.
- G. Elatharasan and V.S. S. Kumar., 2012. *Modelling and Optimization of friction stir welding parameters for dissimilar aluminium alloys using RSM*. Vol 38, pp 2477 – 3481.
- G. Gopala K., P.Ram R. & M.Manzoor H., 2013. *Experimental Investigation of Tensile Strength and Deflection Characteristics of Friction Stir Welded Aluminum AA 6351 Alloy Joint*, IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), Vol. 7 No.5, hal 01-06.
- Haqqi, Syaiful dan Dony Setyawan, 2012. *Analisis Pengaruh Backing Plate Material Pengelasan Dua Sisi Friction Stir Welding Terhadap Sifat Mekanis Aluminium 5083 Pada Kapal Katamaran*. Jurnal teknik pomits. Vol.1, No. 2, hal 1-6
- Indra R.M. Marpu R. & A.C.S. Kumar, 2011. *A Study of Process Parameters of Friction Stir Welded AA 6061 Alloy in O and T6 Conditions*. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Volume 6, No.2, hal 61-66.
- Jarot W. & Agdha A., 2010, *Pengaruh Feed Rate terhadap Sifat Mekanik Pengelasan FSW Alumunium 6110*, Jurnal Jurnal Kompetensi Teknik, Vol. 2, No.1, hal 19-28, Yogyakarta.
- Meran, C. and Canyurt, O.E, 2010. *Friction Stir Welding of Austenitic Stainless Steels*. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Vol 43, No. 1, hal 432-439.
- N.T. Kumbhar and G.K. Dey, 2011. *Friction Stir Welding of Aluminium Alloys*. Research Article Barc Newsletter, No. 321, hal 11-17.
- Nandan, R., DebRoy, T., Bhadeshia. H.K.D.H. 2008. *Recent advances in friction-stir welding*. Process, weldment structure and properties, Progress in Materials Science, Vol 53. hal 980–1023.
- Omid A. Zargar. 2014. *Friction Stir Welded Joint Aluminum Alloy H20-H20 with Different Type of Tools Mechanical Properties*. Engineering and Technology International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering, Vol 8, No.1, hal 103-109.

- Qasim M.D. & Bashar A.W., 2012. *Experimental Study of Friction Stir Welding of 6061-T1 Aluminium Pipe*. International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, Jurnal Int. J. Mech. Eng. & Rob, Vol. 1, No. 3, hal 143-156.
- Pamungkas, Angger Sudrajat F. dkk., 2012. *Analisis Sifat Mekanis Hasil Pengelasan Aluminium AA 1100 Dengan Metode Friction Stir Welding (FSW)*. Jurnal ROTOR, Vol. 5 No. 1, hal. 8 – 17.
- Rusdi Nur, Muh Arsud Suyuti, 2011. *Mechanical properties on friction stir welding of Aluminium alloy 5052*. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol 12, No. 17, hal 4445-4450.
- S. Rajakumar and V. Balasubramanian, 2011. *Multi-Response Optimization of Friction-Stir-Welded AA1100 Aluminum Alloy Joints*. Journal of Materials Engineering and Performance. Volume 21, No. 6, pp 809–822.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis dengan tulus mengucapkan terima kasih kepada: 1). Kemenristekdikti atas dana rutin program penelitian dan pengabdian masyarakat tahun 2017 yang telah diberikan. 2). Direktur dan Ketua UPPM Politeknik Negeri Ujung Pandang yang memberikan kesempatan untuk mengikuti program penelitian fundamental ini. 3) Semua pihak yang terlibat dalam penelitian ini.

Semoga hasil penelitian ini dapat memenuhi tujuan yang diharapkan dan dirasakan manfaatnya oleh masyarakat, khususnya bagi industri yang banyak melakukan penyambungan material aluminium alloy. Akhirnya kepada Allah-lah kami serahkan semuanya, semoga segala aktivitas kita dinilai-Nya sebagai ibadah dan mendapatkan amal jariah dari-Nya. Amin !!!.