

## SIFAT MEKANIS SAMBUNGAN *DISSIMILAR FRICTION STIR WELDING* ANTARA ALUMINIUM PADUAN AL-MG DAN AL-MG-SI

Muhammad Arsyad Suyuti<sup>1)</sup>, Apollo<sup>2)</sup>

<sup>1,2.)</sup> Dosen Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

### ABSTRACT

Dissimilar Friction Stir Welding (DFSW) is a welding connection of two different types of materials through the Friction Stir Welding process. This study aims to analyze the mechanical properties of the joint DFSW welding result between Al-Mg and Al-Mg-Si aluminum alloy materials. In the DFSW welding process using a triangle pin tool shoulder. The FSW welcoming process uses a conventional milling machine with a variation of the shoulder rotation of 2850 rpm, 1950 rpm and 1300 rpm. While the welding speed (feeding) also varies, namely 240 mm/min, 130 mm/min and 43 mm / min. Based on the results of the mechanical properties test, the highest tensile strength value was obtained at the rotation of 1950 rpm and feeding 130 mm/min of 159.5 MPa. And the fracture of the tensile test results generally occurs in the HAZ area, weld nugget zone, Al-Mg base metal. The highest hardness value was obtained in the aluminum alloy base area of Al-Mg-Si. rotated the tool shouder 1300 rpm and feeding 240 mm/min of 105.9 HBN. The results of the investigation show that the DFSW joint of Al-Mg-Si and Al-Mg aluminum alloy materials can be connected well, although in terms of the tensile strength of the HAZ joint and the weld nugget zone is lower than the tensile strength of the base metal. This DFSW resulting joint can be applied to welding joints whose load or tensile strength is higher than the received load or the joint does not exceed the maximum tensile strength of the Al-Mg base metal

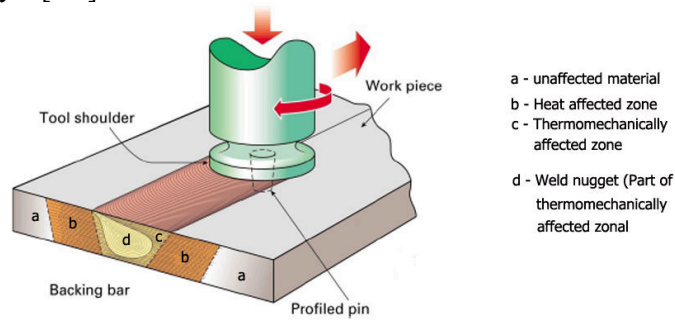
**Keywords:** *Dissimilar friction stir welding (DFSW), Al-Mg-Si dan Al-Mg, pin tool shoulder, feeding, mechanical properties.*

### 1. PENDAHULUAN

Penggabungan material yang berbeda (*dissimilar*) menjadi semakin penting dalam aplikasi industri karena berbagai keunggulannya. Ini tidak hanya mencakup keuntungan teknis, seperti sifat-sifat produk yang diinginkan akan tetapi juga manfaat dalam hal ekonomi produksi. Oleh karena itu, teknik penggabungan dari bahan yang berbeda (*dissimilar*) sangat diperlukan. Namun, logam yang berbeda sulit untuk digabungkan dengan pengelasan fusi konvensional karena karakteristik kimia dan fisiknya yang berbeda, sehingga metode penyambungan *solid state* telah mendapat banyak perhatian [1]. Aluminium paduan merupakan material yang telah banyak digunakan dalam kedirgantaraan, penerbangan, dan transportasi industri karena memiliki beberapa keunggulan seperti kekuatan tinggi, ringan, tingkat kelelahan yang baik, kuat dan tahan korosi[2]. Akan tetapi pengelasan aluminium paduan memiliki banyak tantangan karena metode pengelasan tradisional tidak cocok untuk menyambung paduan aluminium, terutama aluminium paduan yang berbeda. Metode pengelasan aluminium yang berbeda rentan untuk mengalami cacat seperti porositas dan retak selama pembekuan.[3]. Aluminium paduan AA 6061 atau Al-Mg-Si banyak digunakan untuk pembuatan struktur pesawat, seperti komponen bagian interior dan sayap pesawat baik pesawat militer maupun pesawat komersial. Aluminium paduan AA 6061 memiliki sifat mampu las yang rendah apabila menggunakan pengelasan tradisional [4]. Sedangkan Aluminium paduan AA 5052 yang merupakan aluminium paduan Al-Mg, banyak digunakan secara luas pada industri otomotif karena memiliki sifat mampu las dan ketahanan korosi yang sangat baik [5]. Aluminium paduan Al-Mg adalah paduan *solid state* yang diperkuat dengan dislokasi serta penguatan batas butir. Sedangkan aluminium paduan AA 6061 (aluminium alloy Al-Mg-Si) juga banyak digunakan sebagai material komponen struktural otomotif karena kombinasi menarik yaitu kekuatan yang tinggi dan biaya rendah[6]. Saat ini *Friction-stir welding* (FSW) merupakan jenis pengelasan *solid state* yang sangat menarik untuk menyambung jenis paduan aluminium berbeda secara efektif [7]. *Friction-stir welding* (FSW) adalah proses *solid state* yang digunakan secara luas karena merupakan sebagai teknik menyambung sangat menjanjikan [8]. Pengelasan dengan material *base metal* berbeda (*dissimilar*) mempunyai manfaat terhadap industri modern sehingga sering disambung pada bagian yang berbeda untuk mengurangi biaya dan memakai jenis bahan terbaik agar menghasilkan produk bermutu[9] *Dissimilar friction stir welding* (DFSW) juga merupakan aplikasi *friction stir welding* (FSW) yang diciptakan oleh *The Welding Institute* (TWI) tahun 1991 yang digunakan untuk

<sup>1</sup> Korespondensi penulis: Muhammad Arsyad Suyuti, Telp.081341573347, muhammadarsyadsuyuti@poliupg.ac.id

menyambung *base metal* dengan jenis material berbeda seperti baja, aluminium, magnesium, tembaga, titanium serta bahan lainnya. [10]



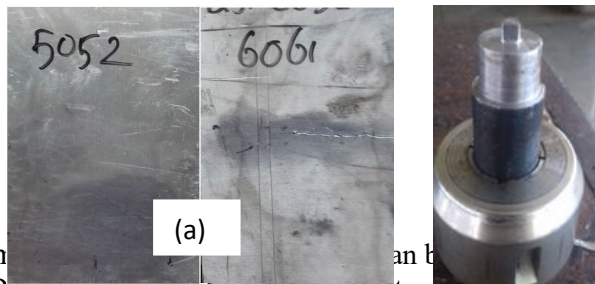
Gambar. 1. Skema dari *Friction Stir Welding* (FSW) [11]

Beberapa parameter yang dipertimbangkan pada pengelasan FSW antara lain: kecepatan putaran, *feeding*, bentuk dan dimensi *pin*, kemiringan *tool*, geometri, material *tool*, dll [12]. *Friction Stir Welding* (FSW) adalah salah satu metode penyambungan alternatif yang sedang berkembang saat ini karena mudah dilakukan, kualitas sambungan pengelasan yang sangat baik dan ekonomis. Pengelasan dissimilar aluminium paduan Al-Mg to Al-Mg-Si merupakan salah satu sambungan *dissimilar* FSW yang dapat diterapkan dalam industri manufaktur secara luas, sehingga perlu dilakukan kajian pengaruh parameter variasi putaran *tool*, *feed rate*, dan *tool* terhadap sifat mekanis sambungan.

## 2. METODE PENELITIAN

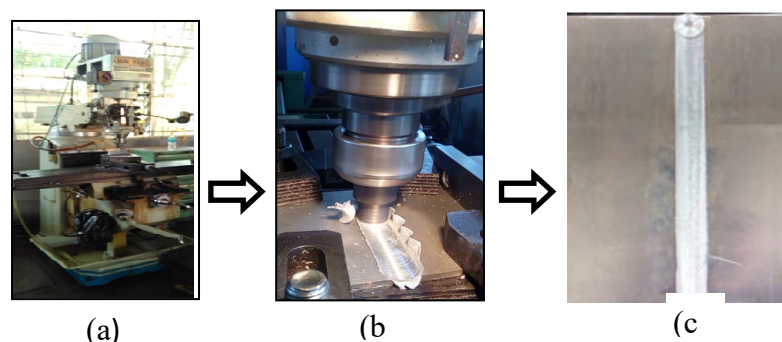
Pelaksanaan penelitian ini bertempat di Bengkel Mekanik dan Lab. Mekanik Politeknik Negeri Ujung Pandang menggunakan mesin frais dan *Universal Testing Machine* (UTM) merek Galdabini tipe PM 100 dengan kapasitas maksimum 100 KN.

Pada penelitian ini digunakan jenis material aluminium yang berbeda sebagai logam dasar (*base metal*). Metode pengelasan yang dilakukan yaitu *Dissimilar friction stir welding* (DFS<sub>W</sub>) untuk menyambung material aluminium paduan Al-Mg dan Al-Mg-Si. Ukuran logam dasar yaitu 150 x 90 x 4 mm seperti diperlihatkan pada gambar 2a. *Tool* yang dipakai memiliki *shoulder* Ø 17,8 mm dengan *pin shoulder* berbentuk segitiga seperti terlihat pada gambar 2b.



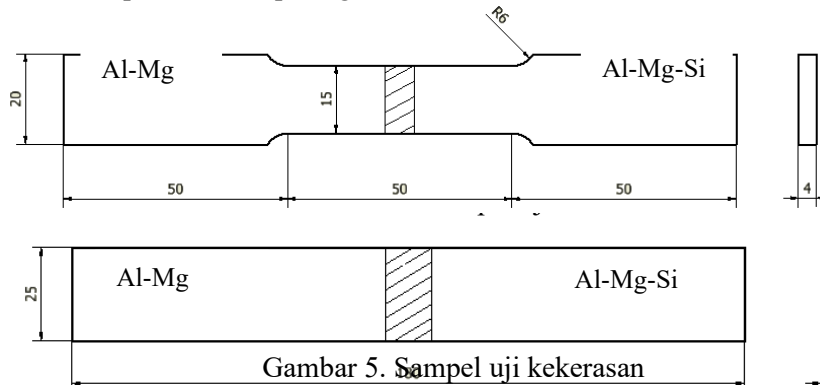
Gambar 2. a) Logam dasar aluminium paduan Al-Mg to Al-Mg-Si, b) *Tool shoulder* berbentuk segitiga DFS<sub>W</sub>

Proses pengelasan DFS<sub>W</sub> aluminium paduan Al-Mg to Al-Mg-Si yang berbeda ini dilakukan pada mesin frais dengan merek MINYANG, dimana benda kerja dipasang pada meja mesin dan *tool shoulder* dipasang pada spindel mesin frais tersebut. Proses pengelasan dan hasil sambungan pengelasan DFS<sub>W</sub> ditunjukkan pada gambar 3 berikut ini:



Gambar 3. Las DFS<sub>W</sub> : a). Mesin frais, b) Proses DFS<sub>W</sub>, c) Sambungan Hasil DFS<sub>W</sub>

Setelah proses pengelasan DFSW maka dari sambungan hasil pengelasan dibuat sampel uji tarik dan uji kekerasan. Dimensi sampel uji tarik dengan ukuran 150 x 20 x 4 mm dan sampel uji kekerasan dengan ukuran 100 x 25 x 6 mm seperti terlihat pada gambar 4 dan 5 berikut ini:



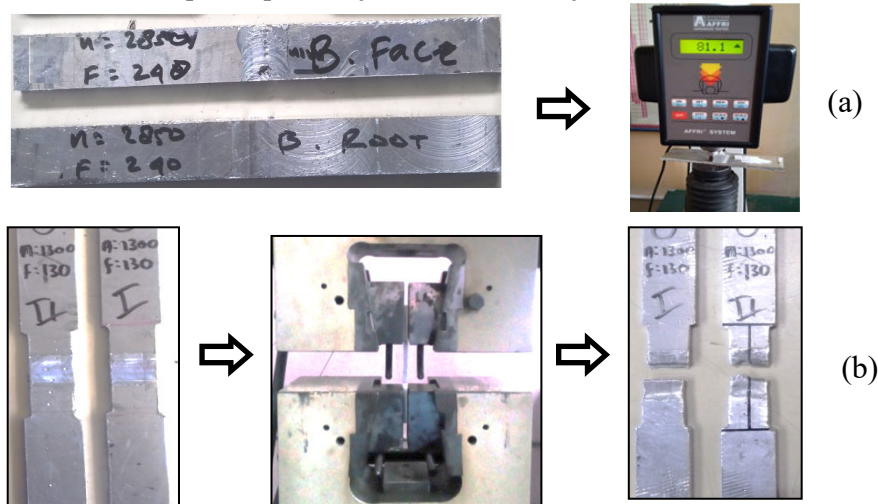
Gambar 5. Sampel uji kekerasan

Adapun kandungan komposisi kimia berdasarkan sertifikat pabrik material logam dasar (*base metal*) yang digunakan dalam penelitian pengelasan DFSW ini tercantum pada tabel 1 dibawah ini:

Tabel 1. Kandungan komposisi kimia aluminium paduan Al-Mg dan Al-Mg-Si

Elemen	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
Al-Mg	0,35	0,40	0,10	0,10	2,2-2,8	0,15 – 0,35	0,10	-
Al-Mg-Si	0,64	0,2	0,19	0,06	1,0	0,15	0,05	0,07

Pada gambar 6. berikut ini merupakan proses uji kekerasan dan uji tarik sambungan hasil DFSW

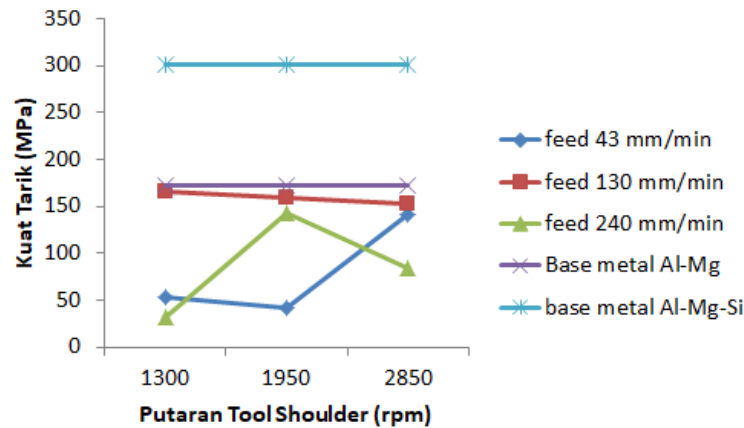


Gambar 6. Proses uji sifat mekanis: a) proses uji kekerasan b). proses uji tarik

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1. Kekuatan Tarik

Berdasar kan hasil uji tarik maka kekuatan tarik sambungan pengelasan dengan metode DFSW paduan Al-Mg dan Al-Mg-Si dengan *pin tool* berbentuk segitiga dapat dilihat pada gambar 7 berikut ini:

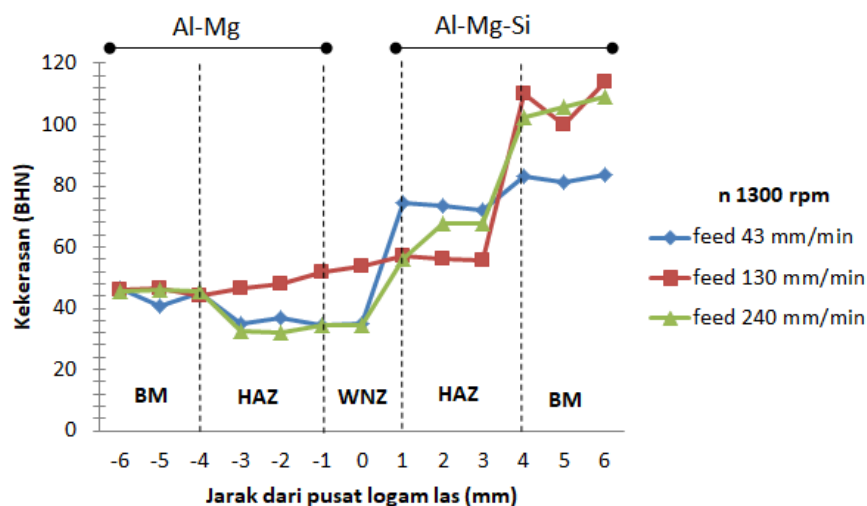


Gambar 7. Kekuatan tarik hasil pengelasan DFSW paduan Al-Mg dan Al-Mg-Si

Berdasarkan hasil uji tarik sambungan *dissimilar* FSW aluminium paduan Al-Mg dan Al-Mg-Si dengan *pin tool* segi tiga ini diperoleh informasi bahwa umumnya patahan terjadi pada sisi *base metal* Al-Mg pada daerah HAZ dan *weld nugget zone* (WNZ). Dimana pada daerah WNZ umumnya memiliki nilai kekerasan yang terendah. Sedangkan patahan sambungan umumnya terjadi patahan getas. Kuat tarik maksimum material *base metal* aluminium paduan Al-Mg sebesar 172.9 MPa dan aluminium paduan Al-Mg-Si sebesar 301,68 MPa. Kekuatan tarik maksimum sambungan pengelasan DFSW aluminium paduan Al-Mg dan Al-Mg-Si semuanya lebih rendah dari kekuatan tarik material *base metal*. Kekuatan tarik tertinggi didapatkan pada putaran *tool* 1950 rpm dan *feeding* 130 mm/min dengan nilai 159.5 MPa. Sedangkan putaran terendah diperoleh pada sambungan pengelasan DFSW putaran *tool* 1300 rpm, *feeding* 240 mm/min) sebesar 32.4 MPa.

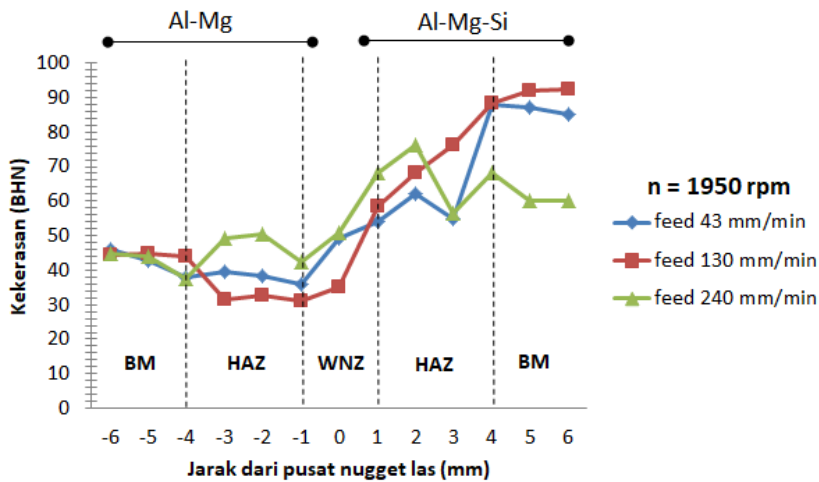
#### 4.2. Kekerasan Sambungan DFSW

Hasil pengujian nilai kekerasan sambungan DFSW material aluminium paduan Al-Mg dan Al-Mg-Si dengan menggunakan *pin tool* segitiga memiliki distribusi kekerasan seperti diperlihatkan pada gambar 8 s.d gambar 10.



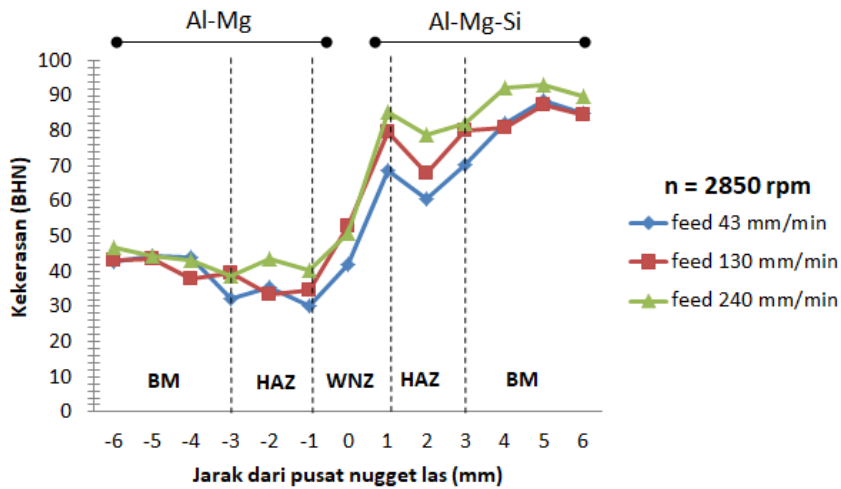
Gambar 8. Distribusi nilai kekerasan sambungan Al-Mg dan Al-Mg-Si pada putaran *tool* 1300 rpm

Gambar 8. diatas merupakan distribusi nilai kekerasan brinell sambungan Al-Mg dan Al-Mg-Si untuk putaran *shoulder* 1300 rpm dan variasi *feeding* 43 mm/min, 130 mm/min dan 240 mm/min. Distribusi kekerasan pada titik -1 sampai dengan - 6 merupakan daerah *base metal* material aluminium paduan Al-Mg, sedangkan ditribusi kekerasan 1 sampai dengan 6 merupakan daerah *base metal* material aluminium paduan Al-Mg-Si. Daerah titik nol merupakan daerah WNZ, daerah ini umumnya nilai kekerasannya lebih kecil dibandingkan daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) dan daerah *base metal* paduan Al-Mg-Si. Nilai kekerasan daerah WNZ untuk *feeding* 43 mm/min, 130 mm/min dan 240 mm/min secara berturut-turut sebesar 34.9 BHN, 53.7 BHN dan 34.3 BHN.



Gambar 9. Distribusi nilai kekerasan sambungan Al-Mg dan Al-Mg-Si pada putaran *tool* 1950 rpm

Pada gambar 9 diatas memperlihatkan tend distribusi nilai kekerasan brinell sambungan aluminium paduan Al-Mg dengan Al-Mg-Si pada putaran *shoulder* 1950 rpm, dimana trend tersebut memiliki kemiripan dengan distribusi nilai kekerasan brinell dengan sambungan DFSW pada putaran *tool* 1300 rpm. Distribusi kekerasan logam dasar Al-Mg pada daerah *base metal*, HAZ dan WNS cenderung terdistribusi secara merata. Sedangkan pada daerah logam dasar Al-Mg-Si memiliki kecenderungan nilai kekerasan meningkat dan juga nilai kekerasannya lebih tinggi dari daerah WNZ dan logam dasar Al-Mg. Besarnya nilai kekerasan untuk variasi *feeding* 43 mm/min, 130 mm/min dan 240 mm/min secara berturut-turut sebesar 49.3 BHN, 35.1 BHN dan 50.7 BHN.



Gambar 10. Distribusi nilai kekerasan sambungan Al-Mg dan Al-Mg-Si pada putaran *tool* 2850 rpm

Dan pada gambar 10 pada putaran *shoulder* 2850 rpm juga memiliki *trend* distribusi nilai kekerasan Brinell yang mirip dengan putaran *shoulder* 1300 maupun 1950 rpm. Distribusi nilai kekerasan pada *base metal* sambungan DFSW aluminium paduan Al-Mg dan Al-Mg-Si pada semua daerah *base metal*, HAZ dan WNS juga memiliki kecenderungan terdistribusi secara merata. Nilai kekerasan pada *base metal* Al-Mg-Si lebih tinggi daripada daerah WNZ dan *base metal* material aluminium paduan Al-Mg. Adapun nilai kekerasan daerah WNZ pada variasi *feeding* 43 mm/min, 130 mm/min dan 240 mm/min secara berurutan sebesar 41.8 BHN, 52.8 BHN dan 50.9 BHN.

### 5. KESIMPULAN

1. Hasil proses pengelasan metode DFSW material aluminium paduan Al-Mg dan Al-Mg-Si umumnya mampu tersambung secara baik walaupun masih ada beberapa cacat.
2. Nilai kekerasan daerah *weld nugget zone* secara umum lebih kecil dari nilai kekerasan dari *base metal* dengan nilai kekerasan tertinggi sebesar 53,7 HB

3. Dari hasil uji tarik diperoleh informasi bahwa patahan paling banyak terjadi pada daerah HAZ, *base metal* Al-Mg dan daerah *nugget*.
4. Kekuatan tarik sambungan DFSW material aluminium paduan Al-Mg dan Al-Mg-Si yang tertinggi diperoleh pada putaran 1950 rpm dan feeding 130 mm/min sebesar 159.5 MPa.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Xue, B. L. Xiao, D. R. Ni, and Z. Y. Ma, "Enhanced mechanical properties of friction stir welded dissimilar Al – Cu joint by intermetallic compounds," vol. 527, pp. 5723–5727, 2010.
- [2] G. Peng, Q. Yan, J. Hu, P. Chen, Z. Chen, and T. Zhang, "Effect of forced air cooling on the microstructures, Tensile strength, and Hardness distribution of dissimilar friction stir welded AA5A06-AA6061 Joints," *Metals (Basel)*, vol. 9, no. 3, 2019.
- [3] N. S. Biradar and R. Raman, "Investigation of hot cracking behavior in transverse mechanically arc oscillated autogenous AA2014 T6 TIG welds," *Metall. Mater. Trans. A Phys. Metall. Mater. Sci.*, vol. 43, no. 9, pp. 3179–3191, 2012.
- [4] J. S. Leon and V. Jayakumar, "Investigation of Mechanical Properties of Aluminium 6061 Alloy Friction Stir Welding," *Int. J. Students' Res. Technol. Manag.*, vol. 2, no. 4, pp. 140–144, 2015.
- [5] M. Howeyze, H. Arabi, A. R. Eivani, and H. R. Jafarian, "Strengthening of AA5052 aluminum alloy by equal channel angular pressing followed by softening at room temperature," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 720, pp. 160–168, 2018.
- [6] S. Malopheyev, I. Vysotskiy, V. Kulitskiy, S. Mironov, and R. Kaibyshev, "Optimization of processing-microstructure-properties relationship in friction-stir welded 6061-T6 aluminum alloy," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 662, pp. 136–143, 2016.
- [7] R. Nandan, T. DebRoy, and H. K. D. H. Bhadeshia, "Recent advances in friction-stir welding - Process, weldment structure and properties," *Progress in Materials Science*, vol. 53, no. 6, pp. 980–1023, Aug-2008.
- [8] R. Nandan, T. DebRoy, and H. K. D. H. Bhadeshia, "Recent advances in friction-stir welding - Process, weldment structure and properties," *Prog. Mater. Sci.*, vol. 53, no. 6, pp. 980–1023, 2008.
- [9] M. M. Hasan, M. Ishak, and M. R. M. Rejab, "Effect of pin tool flute radius on the material flow and tensile properties of dissimilar friction stir welded aluminum alloys," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 98, no. 9–12, pp. 2747–2758, 2018.
- [10] M. A. Suyuti, T. A. Susanto, D. Jurusan, T. Mesin, P. Negeri, and U. Pandang, "OPTIMASI KUALITAS HASIL PENGELASAN FRICTION STIR WELDING ( FSW ) SAMBUNGAN SIMILAR PADUAN ALUMINIUM AA 6061 a ). Uji tarik b ). Uji kekerasan HB," vol. 2017, pp. 35–40, 2017.
- [11] R. S. Mishra and Z. Y. Ma, "Friction stir welding and processing," *Mater. Sci. Eng. R Reports*, vol. 50, no. 1–2, pp. 1–78, 2005.
- [12] M. Iswar, M. A. Suyuti, and R. Nur, "Optimizing the machining conditions on friction stir welding of aluminum alloy through design experiments," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2187, no. December, pp. 1–6, 2019.

#### 6. UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis dengan tulus mengucapkan terima kasih kepada: 1). Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan atas dana DIPA yang telah diberikan melalui program penelitian dan pengabdian masyarakat Politeknik Negeri Ujung Pandang tahun 2020. 2). Direktur dan Ketua UPPM Politeknik Negeri Ujung Pandang yang memberikan kesempatan untuk mengikuti program Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi 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 proses pabrikan untuk penyambungan logam melalui proses pengelasan baik pengelasan tradisional maupun Dissimilar Friction Stir Welding (DFSW). Akhirnya kepada Allah-lah kami serahkan semuanya, semoga segala aktivitas kita dinilai-Nya sebagai ibadah dan mendapatkan amal jariah dari-Nya. Aamiin.