

## Pengaruh Kecepatan Rotasi Pahat dan Kecepatan Pengelasan terhadap Sifat Mekanis Hasil Pengelasan *Friction Stir* Logam Tak Sejenis Aluminium 5052 H3 dan Tembaga

Sulardjaka\*, Deni Fajar Fitriyana, Ayus Dios Bawono  
Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059  
\*e-mail: sulardjaka@undip.ac.id

### Abstract

The effect of rotational tool shoulder and welding speed, on mechanical properties of friction stir welding (FSW) of AA 5052 H3 and pure copper have been investigated. The CNC milling machine was used for FSW processes. Tool shoulder of FSW processes made from quenched hardened H13 steel with cone pin. The FSW were done on variation tool rotations: 2850 rpm, 3000 rpm and 3150 rpm. Welding speed of FSW were 100 mm / min and 120 mm / min. The result shows that welding at parameter 3000 rpm tool rotation and 100 mm/minute has highest tensile strength (223 MPa).

**Keywords:** friction stir welding, aluminium, copper, dissimilar

### Abstrak

Tujuan penelitian ini meneliti pengaruh variasi kecepatan rotasi pahat dan kecepatan pengelasan, terhadap sifat mekanis pengelasan FSW AA 5052 H3 dengan tembaga. Pengelasan FSW dilakukan dengan menggunakan mesin *milling* CNC. *Tool shoulder* dibuat dengan baja H13 yang dikeraskan dengan metode *quench hardening* dengan pin berbentuk kerucut. Pengelasan FSW dilakukan dengan variasi rotasi pahat: 2850 rpm, 3000 rpm, dan 3150 rpm, Kecepatan pengelasan FSW: 100 mm/min dan 120 mm/min. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tarik tertinggi dihasilkan pada pengelasan dengan kecepatan putaran 3000 rpm dan dengan kecepatan pengelasan 100 mm/menit yaitu sebesar 223 MPa.

**Kata kunci:** friction stir welding, aluminium, tembaga, logam tak sejenis

### 1. Pendahuluan

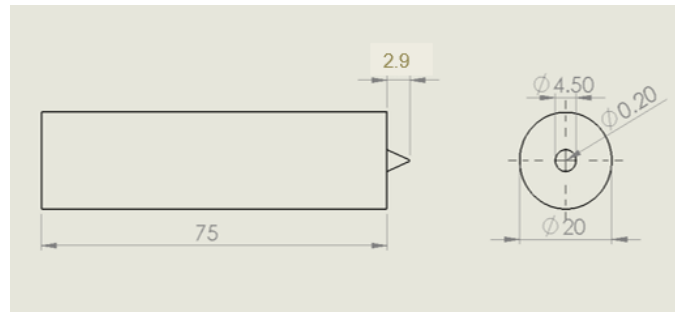
*Friction stir welding* (FSW) adalah proses penggabungan material yang termasuk dalam kelompok pengelasan fasa padat (*solid state*). Proses ini memanfaatkan deformasi pada suhu tinggi. FSW menghasilkan sambungan dengan hasil pengelasan yang menguntungkan. Pada FSW, daerah logam las dan daerah terkena pengaruh panas (*heat affected zone/HAZ*) tidak terpengaruh seperti pada pengelasan listrik konvensional [1]. Material logam yang dilas dengan metode FSW, mendapatkan panas dari gesekan *shoulder*. Efek panas ini yang mengakibatkan pergerakan dari butir-butir pada kedua bagian yang dilas, berpindah dan mengalami pengadukan. Daerah yang dipengaruhi panas tersebut dapat dibagi menjadi beberapa daerah. Daerah hasil pengelasan FSW diklasifikasikan menjadi 4 bagian yaitu: *welding nugget*, *thermomechanically affected zone*, *heat affected zone* dan *base metal* [2]. FSW banyak diteliti untuk digunakan pada pengelasan paduan aluminium, paduan tembaga, paduan magnesium, paduan titanium, baja tahan karat dan komposit matriks logam (MMC) [3].

Pengelasan fasa padat FSW memungkinkan untuk digunakan pada pengelasan material logam yang tidak sejenis. Metode FSW telah berhasil digunakan untuk mengelas material aluminium dan magnesium. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa FSW dapat digunakan untuk menyambung material dengan perbedaan titik leleh cukup tinggi [4]. Penyambungan dengan metode FSW untuk menyambung material tidak sejenis antara logam aluminium dan tembaga juga telah mulai diteliti. FSW telah berhasil digunakan untuk menyambung material aluminium dengan tembaga yang di-anil dan menghasilkan kekuatan tarik hingga 148 Mpa [5-7]. Pengelasan logam tak sejenis aluminium dan tembaga masih memiliki banyak masalah yang harus dipecahkan yaitu masih ditemuinya retak, lubang atau cacat pada sambungan sehingga sifat mekanis sambungan masih rendah [8, 9]. Permasalahan pada pengelasan logam tak sejenis aluminium dan tembaga adalah adanya *void* pada daerah sambungan, *tunnel defect*, ketidaksempurnaan penetrasi (percampuran) antara logam aluminium dan tembaga serta terbentuknya campuran antar logam (*intermetallic compounds/IMCs*) yang bersifat keras dan getas pada *stir zone*. Terbentuknya IMCs mengakibatkan timbulnya retak dan menurunnya kekuatan sambungan [9 -13].

Pada penelitian ini, diteliti pengaruh kecepatan putaran *tool shoulder* dan kecepatan pengelasan terhadap kekuatan tarik dan distribusi kekerasan pada hasil pengelasan FSW antara logam paduan aluminium 5052 H3 dengan tembaga.

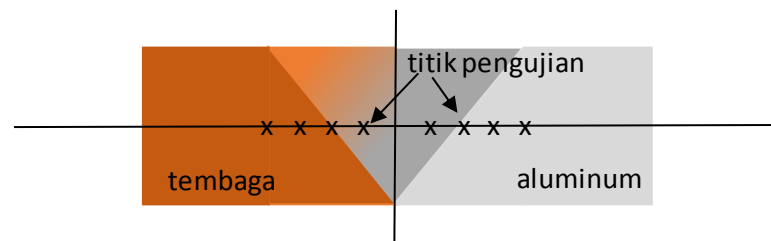
## 2. Material dan metode penelitian

Bahan yang diteliti adalah plat aluminium paduan 5052 H3 dan plat tembaga murni dengan ukuran 200 x 100 mm dengan ketebalan 3 mm. Material untuk bahan *tool shoulder* adalah baja H13 (*hot work steel*). *Tool shoulder* dikeraskan dengan perlakuan *quench hardening* kemudian ditemper. Diameter *shoulder* 20 mm, sedangkan pin berbentuk kerucut dengan diameter dasar 4,5 mm dan diameter ujung 0,2 mm. Gambar dimensi *tool shoulder* untuk pengelasan FSW ditunjukkan pada Gambar 1. Proses pengelasan FSW dilakukan dengan mesin *milling CNC*. Pengelasan dilakukan dengan variasi kecepatan rotasi pahat: 2850 rpm, 3000 rpm, dan 3150 rpm. Parameter kecepatan pengelasan: 100 mm/min dan 120 mm/min.



Gambar 1. Dimensi Tool Shoulder untuk FSW

Pengujian mekanis yang dilakukan adalah pengujian kekerasan mikro, pengujian tarik. Pengujian kekerasan mikro dilakukan dengan menggunakan mesin uji kekerasan mikro Vickers. Uji kekerasan dilakukan dengan mengacu pada standarisasi ASTM E 384 – 99. Pengujian kekerasan mikro dilakukan dari bagian tengah sambungan (titik nol) ke bagian logam aluminium dan tembaga dengan interval tiap 0,5 mm. Pengambilan data kekerasan dari bagian tengah *welding nugget* 5 mm menuju arah aluminium dan arah tembaga. Pengujian dilakukan pada daerah *weld nugget*, *TMAZ*, *HAZ*, dan *base metal*. Secara skematik pengambilan titik pengujian kekerasan ditunjukkan pada Gambar 2. Pengujian tarik dilakukan dengan mesin uji tarik *universal testing machine*, berdasarkan standarisasi ASTM E 8 – 99. Foto spesimen uji tarik ditunjukkan pada Gambar 3.



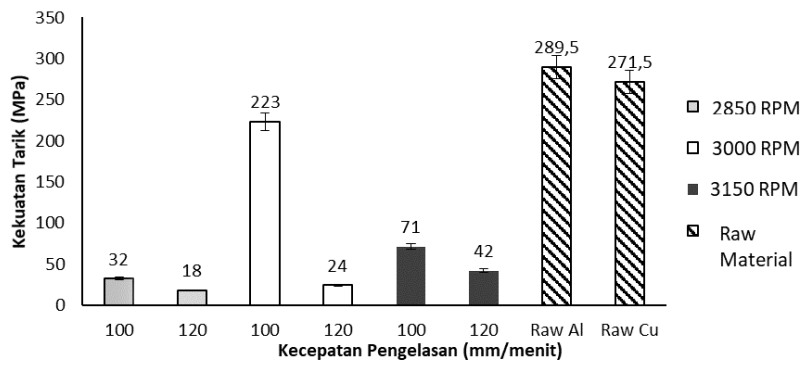
Gambar 2. Pengujian Kekerasan Mikro Hasil Pengelasan FSW



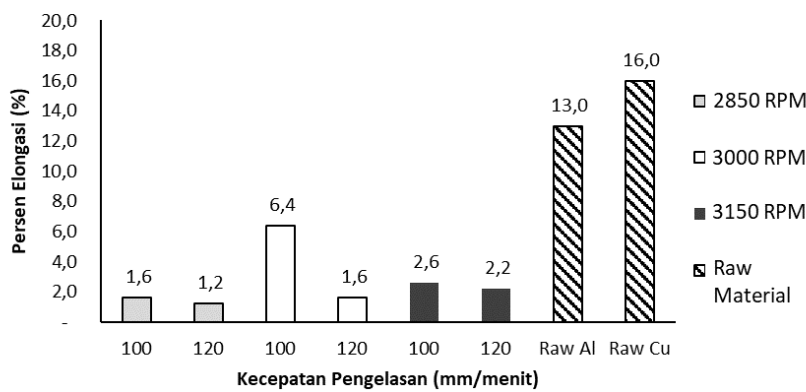
Gambar 3. Foto Spesimen Uji Tarik

## 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil uji tarik pada sambungan pengelasan FSW ditunjukkan pada Gambar 4. Nilai kekuatan tarik sambungan FSW yang tertinggi sebesar 223 MPa. Nilai kekuatan tarik ini mencapai 75 – 80 % dari kekuatan material dasarnya. Kekuatan tarik sambungan tertinggi didapat dari pengelasan FSW dengan parameter kecepatan rotasi pahat 3000 dan kecepatan pengelasan 100 mm/min. Pada parameter pengelasan ini juga didapat nilai elongasi tertinggi, yaitu sebesar 6,4%. Pengelasan FSW dengan parameter pengelasan yang lain tidak memberikan hasil kekuatan pengelasan yang baik. Hal ini bisa disebabkan hasil pengelasan tidak terbentuk *welding nugget* pada daerah sambungan dari kedua material (Gambar 7 dan 8).



Gambar 4. Grafik Kekuatan Uji Tarik Hasil Pengelasan dan Raw Material



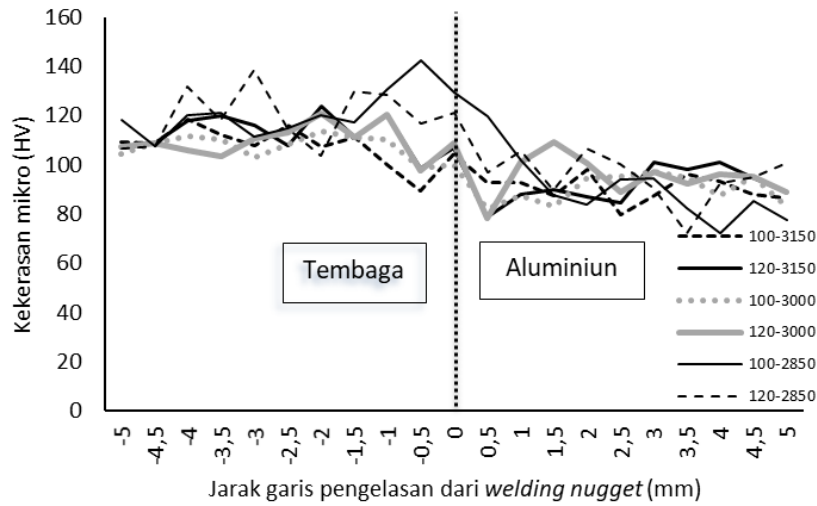
Gambar 5. Grafik % Elongasi Hasil Pengelasan dan Raw Material

Gambar 4 dan 5 menunjukkan bahwa dari hasil pengujian tarik hasil pengelasan FSW. Dari grafik pada gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa, pada putaran pahat yang sama, nilai kekuatan tarik pada kecepatan 100 mm/menit lebih tinggi jika dibandingkan dengan pengelasan pada kecepatan 120 mm/menit. Pengelasan pada kecepatan 100 mm/menit juga memberikan % elongasi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan pengelasan pada kecepatan 120 mm/menit. Hasil ini disebabkan pada kecepatan pengelasan yang rendah pergerakan butir material lebih baik dibandingkan pada kecepatan pengelasan yang lebih tinggi [8, 12, 14]. Pengelasan dengan kecepatan yang rendah, juga mengakibatkan pembangkitan panas yang lebih tinggi pada material yang dilas [6,15].

Gambar 6 menunjukkan distribusi dari kekerasan hasil pengelasan FSW. Pada area *weld nugget* didapat nilai kekerasan rata-rata 107 HV untuk variasi kecepatan pengelasan 120 mm/min, dan 104,5 HV untuk variasi kecepatan pengelasan 100 mm/min. Nilai rata-rata kekerasan pada TMAZ yang didapat pada daerah tembaga dan aluminium berturut-urut adalah 114,3 HV dan 87,2 HV pada variasi kecepatan pengelasan 120 mm/min, sedangkan pada variasi kecepatan pengelasan 100 mm/min nilai rata-ratanya adalah 108,86 HV dan 88,36 HV pada bagian tembaga dan aluminium berturut-urut. Pada bagian *base metal*, aluminium memiliki kekerasan sebesar 78 HV dan tembaga 115 HV. Pada pengelasan dengan parameter kecepatan rotasi 3000 rpm, dengan pengambilan data dari *weld nugget* pada bagian titik nol dan 5 mm menuju arah aluminium dan arah tembaga. Pengujian dilakukan pada area *weld nugget*, TMAZ, HAZ, dan *base metal*. Pada area *weld nugget* memiliki nilai kekerasan rata-rata 108,6 HV untuk variasi kecepatan pengelasan 120 mm/min, dan 107,6 HV untuk variasi kecepatan pengelasan 100 mm/min. Nilai rata-rata kekerasan pada TMAZ yang didapat pada daerah tembaga dan aluminium berturut-urut adalah 115,1 HV dan 99,4 HV pada variasi kecepatan pengelasan 120mm/min, sedangkan pada variasi kecepatan pengelasan 100 mm/min nilai rata-ratanya adalah 111 HV dan 91,03 HV pada bagian tembaga dan aluminium berturut-urut. Hasil pengelasan dengan kecepatan rotasi 2850 rpm. Pada area *welding nugget* didapat nilai kekerasan 121,3 HV untuk variasi kecepatan pengelasan 120 mm/min, dan 129,2 HV untuk variasi kecepatan pengelasan 100 mm/min. Nilai rata-rata kekerasan pada TMAZ yang didapat pada daerah tembaga dan aluminium berturut-urut adalah 116,1 HV dan 98,7 HV pada variasi kecepatan pengelasan 120mm/min, sedangkan pada variasi kecepatan pengelasan 100 mm/min nilai rata-ratanya adalah 116,1 HV dan 88,5 HV pada bagian tembaga dan aluminium berturut-urut.

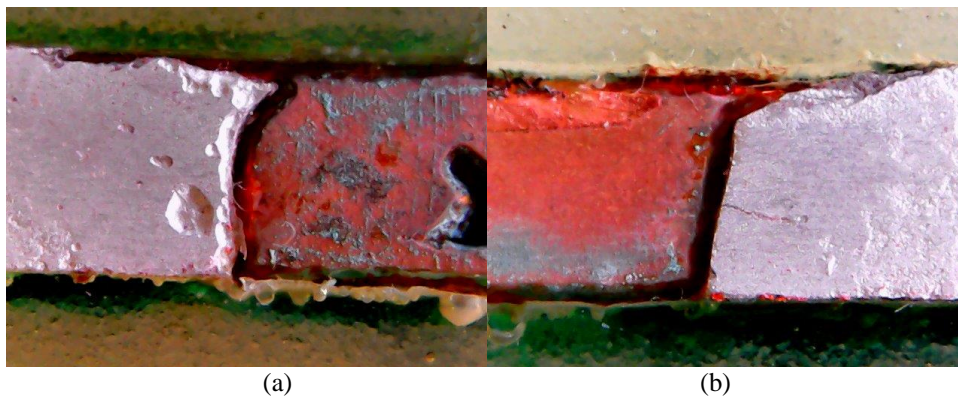
Terjadi peningkatan nilai kekerasan pada bagian *weld nugget* dikarenakan terjadi pencampuran antara kedua belah pihak dan pembentukan butir. Semakin rendah kecepatan rotasi maka semakin tinggi nilai kekerasan yang akan didapat, akibat deformasi plastis material yang lebih tinggi [16]. Peningkatan kekerasan yang tinggi pada daerah *weld nugget*

diakibatkan oleh terbentuknya campuran antar logam (*intermetallic compounds/IMCs*) yang bersifat keras dan getas [11,12].

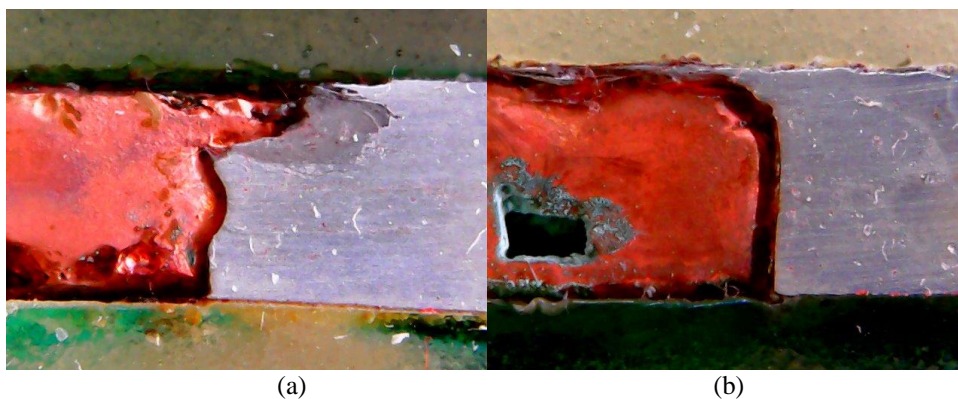


**Gambar 6.** Grafik Distribusi Kekerasan Hasil Pengelasan FSW

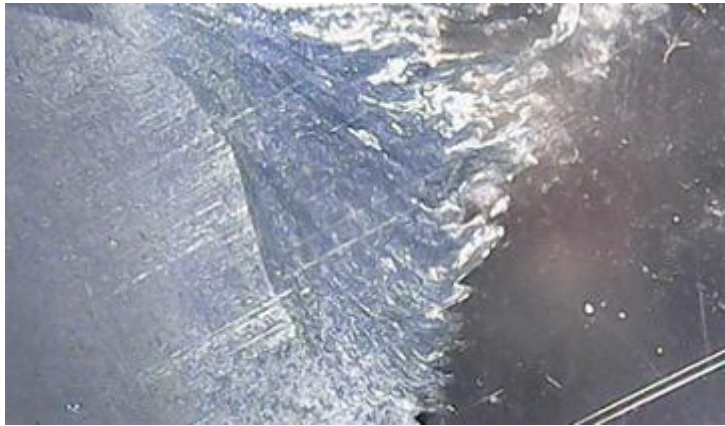
Pada Gambar 7 dan 8 menunjukkan foto makrografi FSW dengan putaran 2850 dan 3150 rpm dan kecepatan 100 mm/menit dan 120 mm/menit. Pada pengelasan dengan kecepatan rotasi pahat 2850 dan 3150 didapat hasil pengelasan yang kurang sempurna. Logam aluminium dan tembaga tidak tercampur. Hasil ini dikarenakan kecepatan pengelasan yang tinggi, menagkibatkan kurangnya *heat generation* sehingga material tidak tersambung sempurna [10].



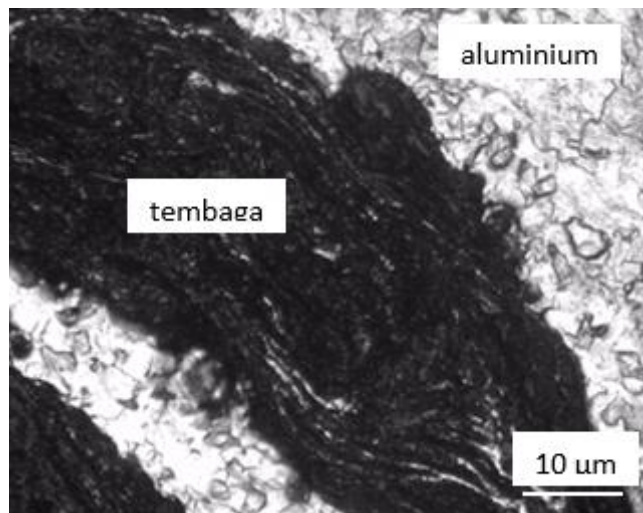
**Gambar 7.** Foto makro dengan variasi kecepatan putar 2850 rpm  
(a) kecepatan pengelasan 100 mm/min dan (b) kecepatan pengelasan 120 mm/min



**Gambar 8.** Foto makro dengan variasi kecepatan putar 3150 rpm  
(a) kecepatan pengelasan 100 mm/min dan (b) kecepatan pengelasan 120 mm/min



**Gambar 9.** Foto Makro Hasil Pengelasan FSW pada Kecepatan 100 mm/menit dan Rotasi 3000 rpm



**Gambar 10.** Foto Makro Hasil Pengelasan FSW pada Kecepatan 100 mm/menit dan Rotasi 3000 rpm

Gambar 9 menunjukkan foto makro hasil pengelasan dengan parameter kecepatan 100 mm/menit dan rotasi 3000 rpm. Dibanding dengan foto makro pada Gambar 7 dan 8 pengelasan pada parameter ini memberikan hasil kualitas sambungan yang lebih baik. Hal ini juga didukung dengan hasil dari uji tarik yang memberikan nilai kekuatan lebih tinggi. Foto struktur mikro dari hasil pengelasan seperti ditunjukkan pada Gambar 10 menunjukkan bahwa terjadi perpindahan atau aliran material logam aluminium dan tembaga sehingga menghasilkan kekuatan yang sambungan yang cukup baik.

#### 4. Kesimpulan

Hasil pengelasan dengan parameter kecepatan rotasi pahat 2850 rpm dan 3150 rpm dan kecepatan pengelasan 100 mm/min dan 120 mm/min, menggunakan geometri *tool* berbentuk *tapered* atau kerucut, dengan menggunakan *offset* pengelasan pada sisi tembaga ini tidak terbentuk *welding nugget* pada area penggabungan kedua material. Hal ini diketahui dari pengujian makrografi yang menunjukkan hasil pengelasan tidak memiliki area pengadukan, dan rata-rata memiliki celah di bagian *welding nugget* atau *stir zone*. Nilai kekuatan sambungan tertinggi didapat pada pengelasan FSW dengan kecepatan pengelasan 100 mm/menit dan kecepatan putaran 3000 rpm. Pengelasan pada parameter ini menghasilkan kekuatan tarik sebesar 223 Mpa atau mencapai 75 – 80 % dari kekuatan material dasarnya.

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi yang telah memberikan dana penelitian ini melalui skema penelitian PDUPT. Berdasarkan Surat Tugas No: 101-32/UN7.P4.3/PP/2018 tanggal: 5 Februari 2018.

#### Daftar Pustaka

- [1] Sanderson, S., dan Nelson, T.W., 2011, "Effect of Processing Parameter on Friction Stir Welded HSLA-65 Charpy V Notch Impact Toughness," *Proceedings of the TMS 2011 Annual Meeting & Exhibition*. California, USA.

- [2] Shinde, G., Gajghate, S., Dabeer, P.S., Seemikeri, C.Y., 2016, "Low Cost Friction Stir Welding: A Review," *Materials Today: Proceedings* 4: 8901–8910.
- [3] Yamamura, K., Torikai, K., Nishimura, T., 2011, "Mechanical Interlock of Thin Metallic Using Friction Stir Forming," *Proceedings of the TMS 2011 Annual Meeting & Exhibition*. California, USA.
- [4] Mohammadi, J., Behnamian, Y., Mostafaei, A., Izadi, H., Saeid, T., Kokabi, A.H., Gerlich, A.P., 2015, "Friction stir welding joint of dissimilar materials between AZ31B magnesium and 6061 aluminum alloys: Microstructure studies and mechanical characterizations," *Materials Characterization* 101: 189–207
- [5] Carlone, P., Astarita, A., Palazzo, G.S., Paradiso, V., Squillace, A., 2015, "Microstructural aspects in Al–Cu dissimilar joining by FSW," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 79(5-8):1109–1116.
- [6] Wei Zhang, Yifu Shen, Yinfei Yan, Rui Guo, 2017, "Dissimilar friction stir welding of 6061 Al to T2 pure Cu adopting toothshaped joint configuration: Microstructure and mechanical properties," *Materials Science & Engineering A* 690: 355–364.
- [7] Jingqing Zhang, Yifu Shen, Xin Yao, Haisheng Xu, Bo Li, 2014, "Investigation on dissimilar underwater friction stir lap welding of 6061-T6 aluminum alloy to pure copper," *Materials and Design* 64: 74–80.
- [8] Sulardjaka dan Umam, R.S., 2017, "Pengaruh Kecepatan Putaran Pahat Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Mikro Pada Hasil Pengelasan FSW Logam Tak Sejenis Aluminium dan Tembaga," *Prosiding SNTTM 16*, Surabaya
- [9] Mehta, K.P., dan Badheka, V.J., 2016, "Effects of tool tilt angle on properties of dissimilar friction stir welding copper to aluminum," *Materials and Manufacturing Processes* 31(3): 233-254.
- [10] Savolainen, K. 2012, "Friction stir welding of copper and microstructure and properties of the welds," Helsinki, Aalto University (PhD thesis), Finland.
- [11] Mehta, K., dan Badheka, V., 2014, "Investigations on friction stir welding defects for dissimilar copper to aluminum materials under different process parameters," *In Proceedings of International Conference on Friction based Processes (ICFP-2014)*, IISc, Bangalore, India.
- [12] Esmaili, A., Besharati Givi, M.K., Zareie Rajani, H.R., 2012, "Experimental investigation of material flow and welding defects in friction stir welding of aluminum to brass," *Materials and Manufacturing Processes*, vol: 27 (12): 1402–1408.
- [13] Mubiyai, M.P. dan Akinlabi, E.T., 2013, "Friction stir welding of materials between aluminum alloys and copper- An overview," *In Proceedings of the World Congress on Engineering*, London, UK, July 2013: 978–988.
- [14] Tan, C.W., Jiang, Z.G., Li, L.Q., Chen, Y.B., Chen, X.Y., 2013, "Microstructural evolution and mechanical properties of dissimilar Al-Cu joints produced by friction stir welding," *Materials and Design*: 466-473.
- [15] Dwivedi, D. K., 2010, "Adhesive wear behaviour of cast aluminium–silicon alloys: overview," *Materials & Design*, 31(5): 2517-2531
- [16] Liu, H.J., Shen, J.J., Zhou, L., Zhao, Y.Q., Liu, C., Kuang, L.Y., 2011, "Microstructural characterisation and mechanical properties of friction stir welded joints of aluminium alloy to copper," *Science and Technology of Welding & Joining*, 16: 92-98.