

Effect of Chisel Speed on Friction Stir Welding of Non-Similar Metals

Sulardjaka^{1,*} dan Rizqi Saiful Umam¹

¹Teknik Mesin, Universitas Diponegoro - Semarang

*Korespondensi: sulardjaka@undip.ac.id

Abstract. This paper aim to analyze the effect of chisel angular velocity to microstructure and micro hardness, on friction stir welding (FSW) contrasting metal between aluminum and copper. FSW process is used with CNC milling using steel H13 tool shoulder. FSW is accomplish using angular velocity variation of 800 rpm and 1000 rpm with welding speed of 5 mm/min. characterization is used at weld joint which is micro hardness and microstructure analysis. Micro hardness testing is conducted using micro hardness Vickers and microstructure observation is done using optical microscope. Micro hardness testing is conducted in the area heat affected zone (HAZ), thermos-mechanically affected zone (TMAZ) and weld nugget (WN) or stir zone (SZ). Welding with chisel angular speed of 1000 rpm has hardness distribution equally compared to 800 rpm. Form microstructure observation, it has showed that welding speed of 1000 rpm has given blend of metal between aluminum and copper equally

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk meneliti pengaruh kecepatan putaran pahat terhadap struktur mikro dan kekerasan mikro, pada pengelasan *friction stir welding* (FSW) logam tak sejenis antara aluminium dan tembaga. Proses pengelasan FSW dilakukan dengan menggunakan mesin CNC *milling* dengan menggunakan *tool shoulder* (pahat) dari baja H13. Pengelasan FSW dilakukan dengan variasi kecepatan putaran pahat 800 rpm dan 1000 rpm dengan kecepatan pengelasan 5 mm/menit. Karakterisasi yang dilakukan terhadap sambungan las yaitu: kekerasan mikro dan analisis struktur mikro. Pengujian kekerasan mikro dilakukan dengan menggunakan Microhardness Vickers sedangkan pengamatan struktur mikro dilakukan dengan mikroskop optik. Pengujian kekerasan mikro dilakukan pada daerah: *heat affected zone* (HAZ), *thermo-mechanically affected zone* (TMAZ) dan *weld nugget* (WN) atau *stir zone* (SZ). Pengelasan dengan kecepatan putaran pahat 1000 rpm memberikan distribusi kekerasan yang lebih merata jika dibandingkan pengelasan dengan kecepatan 800 rpm. Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa pengelasan pada kecepatan 1000 rpm memberikan pencampuran antara logam aluminium dan tembaga yang lebih merata.

Kata kunci: FSW, logam tak sejenis, aluminium, tembaga

© 2017. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Teknik pengelasan banyak digunakan dalam penyambungan karena dengan menggunakan teknik ini penyambungan menjadi lebih ringan dan proses pembuatannya lebih sederhana, sehingga biaya yang diperlukan menjadi lebih murah. Pengelasan yang banyak dilakukan adalah metode pengelasan fusi. Metode pengelasan fusi dilakukan dengan melelehkan sebagian logam, sehingga saat logam cair tersebut membeku, kedua logam bisa tersambung. Metode ini memiliki kelemahan, yaitu: terbentuknya tegangan sisa, adanya *shrinkage*/ distorsi, atau timbulnya retakan atau void pada sambungan.

Untuk mengatasi kelemahan pada pengelasan fusi, metode *friction stir welding* (FSW) mulai dikembangkan. Proses pengelasan dengan FSW terjadi pada kondisi padat (*solid state joining*)[1]. Proses pengelasan dengan FSW terjadi di bawah temperatur *solvus*, sehingga tidak terjadi penurunan kekuatan akibat *over aging* dan larutnya endapan koheren. Temperatur pengelasan FSW tidak terlalu

tinggi, sehingga tegangan sisa yang terbentuk dan distorsi akibat panas juga rendah. Metode ini juga dapat digunakan untuk menyambung aluminium paduan yang tidak dapat disambung dengan las cair, seperti aluminium paduan 2024 [2-4]. Shrivastava, dkk. menyebutkan bahwa pengelasan dengan metode FSW juga membutuhkan energi yang lebih sedikit, jika dibandingkan dengan pengelasan metode pengelasan fusi (*gas metal arc welding*) [5].

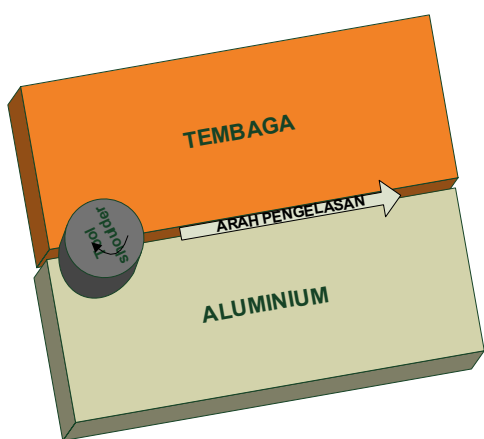
Kelebihan pengelasan FSW yang menyambung suatu material pada kondisi padat, menyebabkan metode ini mulai banyak diteliti dan dikembangkan untuk berbagai aplikasi. FSW dapat digunakan untuk pengelasan material logam yang tidak sejenis. Mohammadi, dkk, telah melakukan penelitian dan dan berhasil mengembangkan pengelasan FSW untuk mengelas material aluminium dan magnesium. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa FSW dapat digunakan untuk menyambung material yang memiliki titik leleh dengan perbedaan yang cukup tinggi [6]. Pengelasan dengan metode

friction stir welding untuk sambungan tidak sejenis antara logam aluminium dan tembaga juga telah mulai diteliti [7, 8]. *Friction stir welding* material logam aluminium dan tembaga yang dianil. Pengelasan dengan metode *friction stir welding* menghasilkan kekuatan tarik hingga 148 Mpa [9].

Peningkatan kualitas sambungan antara logam aluminium dan tembaga masih perlu dikembangkan. Pengelasan aluminium dan tembaga dengan pengelasan fusi konvensional memiliki kelemahan, karena sifat mampu las yang buruk, tingkat distorsi yang tinggi dan pembentukan senyawa intermetalik yang cepat. Pengelasan dengan metode FSW, memungkinkan dapat disambungnya logam aluminium dan tembaga. Pada penelitian ini, diteliti pengaruh kecepatan putaran pahat (*tool shoulder*) terhadap sifat mekanis dari hasil pengelasan logam tak sejenis aluminium dan tembaga.

Metode Penelitian

Material yang akan disambung pada penelitian ini adalah plat aluminium seri 1100 dan plat tembaga dengan ukuran tebal 6 mm, panjang 75 mm, dan lebar 50 mm. Proses pengelasan FSW secara skematik ditunjukkan pada Gambar 1. Pengelasan dilakukan dengan variasi putaran pahat: 800 dan 1000 rpm dengan kecepatan pengelasan 5 mm/min. Pengelasan FSW menggunakan pahat yang dibuat dari material *tool steel*. Bahan pahat yang digunakan adalah baja *hot work steel* H13, yang diperlakukan panas dengan *hardening* kemudian ditemper. Diameter *shoulder* 20 mm, pin berbentuk konikal dengan diameter dasar pin 2 mm dengan panjang pin 6 mm.

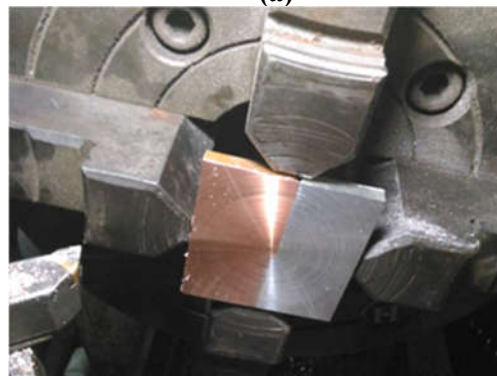


Gambar 1. Skema pengelasan FSW logam aluminium dan tembaga

Hasil pengelasan selanjutnya dihaluskan dengan mesin bubut. Foto hasil pengelasan ditunjukkan pada gambar 2(a), sedang foto hasil pengelasan setelah dihaluskan ditunjukkan pada gambar 2(b).



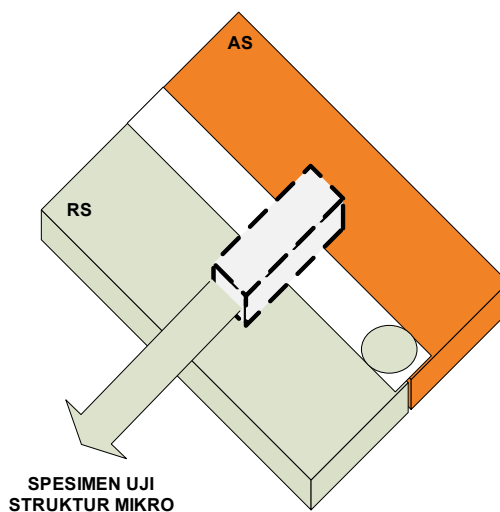
(a)



(b)

Gambar 2. (a) Hasil pengelasan FSW Al – Cu, (b) Hasil pengelasan FSW Al – Cu setelah dihaluskan

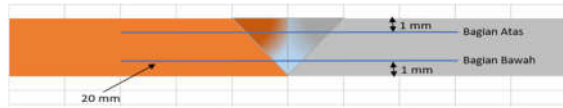
Pengamatan struktur mikro dilakukan pada hasil pengelasan FSW pada logam tak sejenis aluminium dengan tembaga. Analisis struktur mikro dilakukan untuk meneliti pengaruh kecepatan putaran pahat FSW terhadap karakteristik struktur mikro pada sambungan las FSW pada logam tak sejenis aluminium dengan tembaga. Pengamatan struktur mikro dilakukan pada penampang melintang hasil pengelasan seperti ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Pengambilan spesimen uji kekerasan mikro dan struktur mikro

Selain dilakukan pengamatan terhadap struktur mikro hasil pengelasan, pada penelitian ini juga

dilakukan uji kekerasan mikro. Titik pengujian kekerasan mikro ditunjukkan pada gambar 4. Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan mikroskop metalurgi dan SEM/EDX. Pengujian kekerasan dilakukan berdasarkan standarisasi ASTM E 384 – 99.



Gambar 4. Titik pengambilan uji kekerasan mikro

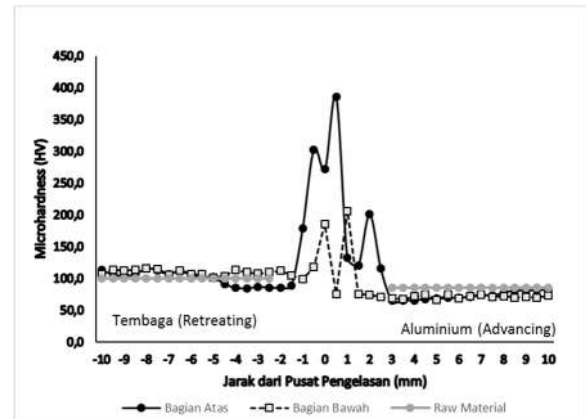
Pengujian kekerasan mikro dilakukan pada area HAZ, TMAZ dan *weld nugget* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4. Area pengujian sepanjang 20 mm dengan jarak pengujian 0,5 mm, pengujian dilakukan pada dua sisi yaitu ujung pin dan pangkal pin di daerah *stir zone*.

Hasil dan Pembahasan

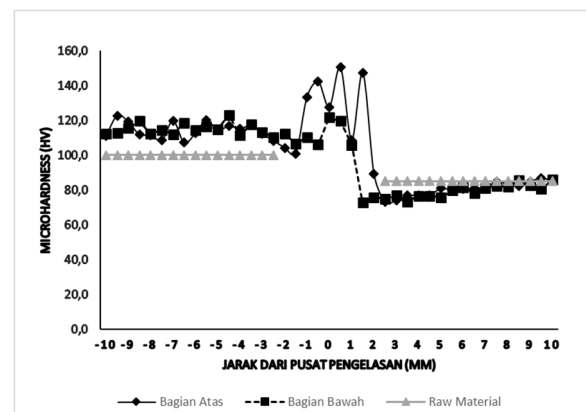
Distribusi kekerasan pada pengelasan dengan putaran pahat 800 rpm dan 1000 rpm ditunjukkan pada gambar 5 dan 6. Didapat nilai kekerasan di daerah HAZ pada kedua sisi dengan rata-rata nilai 72 HV untuk daerah HAZ aluminium dan 105,6 HV untuk daerah HAZ tembaga. Sedangkan untuk nilai *raw material* sendiri nilai kekerasannya yaitu 85 HV untuk aluminium dan 100 HV untuk tembaga. Bisa disimpulkan nilai kekerasan pada daerah HAZ berbeda dengan nilai *raw material*, untuk tembaga mengalami kenaikan dan untuk aluminium mengalami penurunan.

Untuk distribusi kekerasan di area TMAZ dan *weld nugget* didapat nilai kekerasan yang variatif dan drastis. Terdapat nilai kekerasan yang cukup tinggi dengan nilai 385,9 HV untuk pengujian di area WN dibagian pangkal pin, sedangkan untuk area ujung pin nilai kekerasan tertinggi 206 HV. Untuk nilai kekerasan terendah di dapat nilai 115 HV di bagian pangkal dan 76 HV di bagian ujung pin. Dengan rata-rata nilai kekerasan 188,4 HV di bagian pangkal pin dan 112,2 HV di bagian ujung pin. Peningkatan kekerasan ini disebabkan pada daerah tersebut terbentuk *intermetallic compounds* (IMCs) berukuran nano yang berifat keras [10].

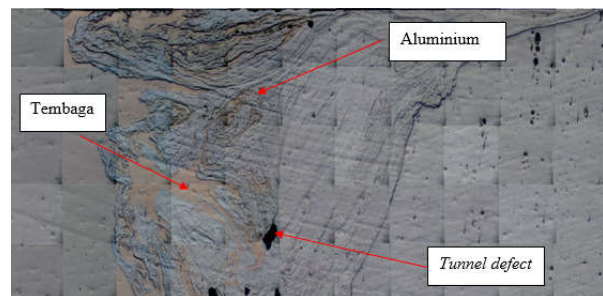
Kekerasan pada daerah HAZ logam aluminium mengalami penurunan, hal ini disebabkan karena pada daerah tersebut mengalami pengasaran butir. Pada daerah pengelasan (*weld nugged zone*), hasil uji kekerasan menunjukkan daerah ini memiliki kekerasan yang lebih tinggi jika dibanding dengan kekerasan logaam dasar. Kekerasan pada daerah yang lebih dekat dengan *shoulder* lebih tinggi jika dibanding dengan kekerasan. Hal ini dikarenakan pada daerah pengelasan memiliki butiran yang lebih halus dan kerapatan dislokasi yang lebih tinggi [11].



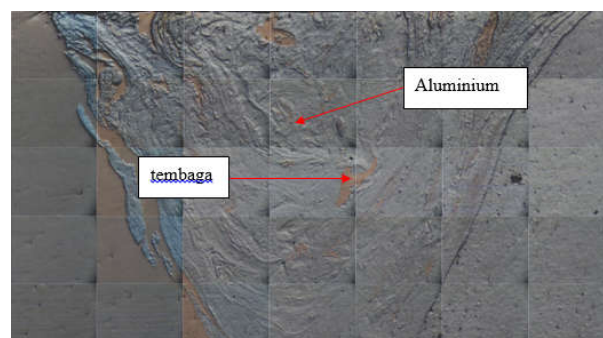
Gambar 5. Distribusi kekerasan mikro pada pengelasan dengan kecepatan putaran pahat 800 rpm



Gambar 6. Distribusi kekerasan mikro pada pengelasan dengan kecepatan putaran pahat 1000 rpm



Gambar 7. Foto Makro FSW 800 rpm



Gambar 8. Foto Makro FSW 1000 rpm

Gambar 7. Menunjukkan foto makro pengelasan FSW dengan kecepatan rotasi 800 rpm. Gambar

tersebut menunjukkan adanya *tunnel/chanel defect* pada daerah *stir zone* serta terlihat perbedaan batas antara logam induk dan *stir zone*. *Chanel defect* dapat terjadi karena kurangnya temperatur pengelasan pada zona pengadukan sebagai akibat dari *heat generation* yang kurang [12]. Gambar 7 juga menunjukkan bahwa persebaran material pengelasan yang kurang merata. Gambar 8 hasil pengujian makro pengelasan FSW dengan kecepatan rotasi 1000 rpm. Dari gambar tersebut terlihat bahwa persebaran material pengelasan yang kurang merata tetapi persebarannya masih lebih baik dibandingkan dengan spesimen dengan kecepatan putaran 800. Dibandingkan dengan kecepatan rotasi 800 rpm, kecepatan rotasi pahat 1000 rpm tidak menunjukkan adanya *chanel defect*. menunjukkan bahwa meningkatnya kecepatan putaran pahat dapat meningkatkan *heat generation* sehingga pada kecepatan rotasi pahat 1000 rpm menghasilkan sambungan pengelasan dengan lebih sedikit timbulnya cacat pengelasan.



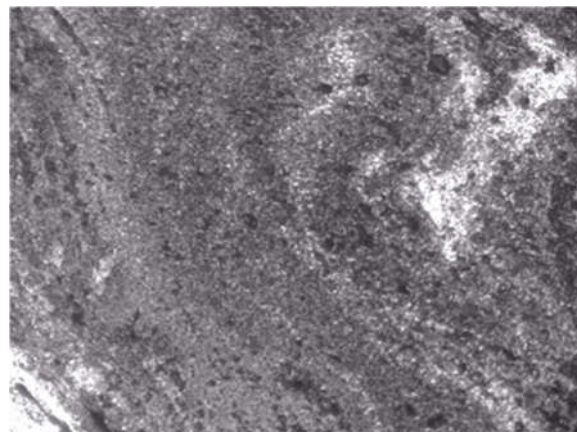
Gambar 9. Foto Mikro TMAZ 800 rpm



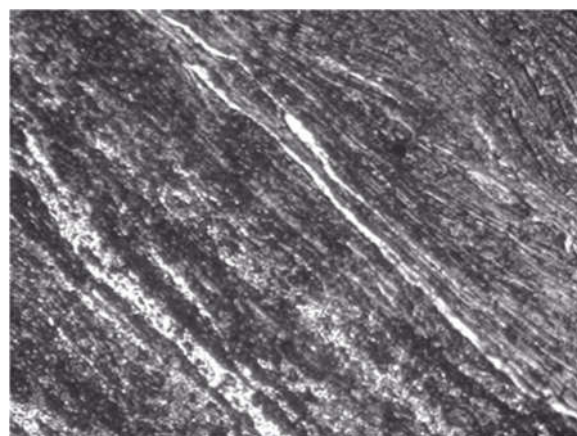
Gambar 10. Foto Mikro TMAZ 1000 rpm

Gambar 9 dan 10 menunjukkan struktur mikro pada daerah TMAZ pada pengelasan FSW dengan kecepatan putaran pahat 800 dan 1000 rpm. Gambar tersebut menunjukkan pengelasan pada temperatur

1000 rpm memberikan pencampuran antara Cu dan Al yang lebih merata. FSW dengan putaran pahat 800 rpm, terdapat lapisan logam Cu yang cukup tebal (warna gelap), pada pengelasan dengan putaran 1000 rpm, warna gelap lebih tercampur secara merata. Garis-garis gelap yang menunjukkan logam Cu lebih tipis dan tersebar merata. Fenomena serupa juga terdapat pada daerah *stir zone* seperti ditunjukkan pada gambar 11 dan 12.



Gambar 11. Stir Zone FSW 800 rpm



Gambar 12. Stir Zone FSW 1000 rpm

Kesimpulan

1. Kecepatan rotasi pahat berpengaruh pada struktur mikro, yang mengakibatkan terbentuknya *chanel defect* di area pengelasan. Pada parameter 800 rpm ditemukan adanya *chanel defect*.
2. Kecepatan rotasi berpengaruh pada distribusi kekerasan, kenaikan kekerasan terjadi sepanjang daerah WN dan TMAZ. Pada parameter 800 rpm terdapat distribusi kekerasan yang variatif dan drastis dengan nilai kekerasan paling tinggi yang bisa dikategorikan getas yaitu dengan nilai kekerasan 385,9 HV. Sedangkan pada parameter 1000 rpm tidak terlalu drastis, nilai kekerasan tertinggi mencapai 150,6 HV. Kenaikan kekerasan terjadi di daerah HAZ tembaga tetapi terjadi penurunan kekerasan di daerah HAZ aluminium.

Kekerasan dibagian atas pengelasan lebih tinggi daripada di bagian bawah. Penyebab kenaikan nilai kekerasan pada area *weld nugget* yaitu karena proses pengadukan oleh pin pahat sehingga terjadi difusi.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai dengan dana PNPB Fakultas Teknik tahun 2016 melalui skim penelitian Hibah Penelitian Dasar Fakultas Teknik tahun 2016.

Referensi

- [1] C.T. Dawes, dan W.M. Thomas, Friction Stir Process Weld Aluminum Alloy : A New Friction Welding Technique Allows Easy Welding of Normally Difficult – to – Joint Materials, *Welding Journal* 75 (2000) 41.
- [2] M.W. Mahoney, C.G. Rhodes, J.G. Flintoff, R.A Spurling, W.H. Bingel, 1998, Properties of Friction Stir Welded 7075 T351 aluminum, *Metallurgical and Materials Transactions A* 29A(7) (1998), pp.1955– 1964.
- [3] [Y. Li, L.E. Murr, J.C. McClure, Flow Visualization Associated with the Friction Stir Welding of 2024 Aluminum to 6061 Aluminum, *Materials Science and Engineering A271* (1-2) (1999) pp.213 – 223.
- [4] H. Liu, M. Maeda, H. Fujii, K. Nogi, Tensile Properties and Fracture Locations of Friction-Stir Welded Joints of 1050 – H24 Aluminum Alloy, *Journal of Material Science* 22 (2003) pp : 41 – 43.
- [5] Shrivastava, A., Manuela Krones, M., dan Pfefferkorn, F.E., 2015, Comparison of energy consumption and environmental impact of friction stir welding and gas metal arc welding for aluminum, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirpj.2014.10.001>, diakses 10 Maret 2015.
- [6] J. Mohammadi, Y. Behnamian, A. Mostafaei, H. Izadi, T. Saeid, T., A.H. Kokabi, A., H., A.P. Gerlich, Friction stir welding joint of dissimilar materials between AZ31B magnesium and 6061 aluminum alloys: Microstructure studies and mechanical characterizations, *Materials Characterization* 101 (2015), pp.189–207
- [7] P. Carlone, A. Astarita, G. S. Palazzo, V. Paradiso, A. Squillace, Microstructural aspects in Al–Cu dissimilar joining by FSW, *Int J Adv Manuf Technol*. DOI 10.1007/s00170-015-6874-z
- [8] Wei Zhang, Yifu Shen, Yinfei Yan, Rui Guo, Dissimilar friction stir welding of 6061 Al to T2 pure Cu adopting toothshaped joint configuration: Microstructure and mechanical properties, *Materials Science & Engineering A* 690 (2017), pp. 355–364.
- [9] Jingqing Zhang, Yifu Shen, Xin Yao, Haisheng Xu, Bo Li, Investigation on dissimilar underwater friction stir lap welding of 6061-T6 aluminum alloy to pure copper, *Materials and Design* 64 (2014) pp. 74–80.
- [10] P. Xue, B.L. Xiao, D.R. Ni, Z.Y. Ma, Enhanced mechanical properties of friction stir welded dissimilar Al–Cu joint by intermetallic compounds, *Mater Sci Eng A*, 527 (2010), pp. 5723-5727.
- [11] Z. Qiu-zheng, G. Wen-biao, L. Wei, 2014. Microstructure and mechanical properties of dissimilar Al–Cu joints by friction stir welding. China: Laboratory of Advanced Structural Materials, Ministry of Education, Changchun University of Technology, Changchun 130012 (2014).
- [12] Zhou C, Yang X. Effect of kissing bond on fatigue behavior of friction stir welds on Al 5083 alloy. *J Mater Sci*, 41 (2006) pp.2771–2777.