



Pengaruh variasi *tool speed* dan *traveling speed* pada *friction stir welding* Al 2017 dan Al 7075

Ely Aprilia^{1*}, Audi Prasetya Bagdja Alamsyah² dan Asep Ridwan Setiawan^{1,3*}

¹Program Studi Teknologi Pengelasan dan Fabrikasi, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sains Bandung

²Program Studi Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknik dan Desain, Institut Teknologi Sains Bandung
Jl. Ganesha Boulevard, LOT-A1 CBD Kota Deltamas, Cikarang Pusat (Km. 37) Kabupaten Bekasi, Indonesia

³KK Ilmu dan Teknik Material, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha 10 Bandung, 40132, Indonesia

*Email: aprilia.ely@gmail.com, asep.ridwans@gmail.com

Abstrak

Friction Stir Welding (FSW) merupakan proses penyambungan logam dalam kondisi *solid state* atau kondisi logam yang tidak meleleh. Satu keunggulan dari proses penyambungan menggunakan FSW adalah tidak banyak mengubah sifat logam induknya karena panas yang dihasilkan tidak besar. FSW memiliki potensi untuk menyambung aluminium sejenis dan beda jenis dengan hasil lasan yang memiliki sifat fisik dan mekanik baik. Penyambungan aluminium menggunakan metoda las konvensional memerlukan perlakuan khusus seperti *pre heat* atau penggunaan arus AC untuk menghilangkan lapisan aluminium oksida pada permukaan aluminium yang memiliki titik cair yang lebih tinggi dari aluminium itu sendiri. Tujuan dari penelitian ini untuk menganalisis pengaruh kecepatan putaran *tool* dan kecepatan translasi terhadap karakteristik hasil lasan yang dihasilkan dari metode FSW pada penyambungan logam beda jenis aluminium 2017-T4 dengan aluminium 7075-T6. Variasi yang digunakan adalah kecepatan putaran *tool* 1250 rpm, 1000 rpm, dan 800 rpm, dengan variasi kecepatan translasi yang digunakan adalah 100 mm/menit, dan 80 mm/menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadinya perbedaan ukuran butiran dan kekerasan pada tiap daerahnya. Daerah yang terpengaruh oleh panas (HAZ) memiliki kekerasan yang paling rendah di antara zona-zona yang lainnya yaitu memiliki nilai kekerasan HAZ Al 7075 sebesar 94,13 HV_{0,2} dan Al 2017 sebesar 88,76 HV_{0,2}. Kekerasan paling tinggi terdapat pada sampel B3 (1250 rpm & 80 mm/menit) pada daerah yang diaduk (*Stir Zone*) yaitu 131 HV_{0,2}. Adapun nilai kekuatan tarik yang dihasilkan paling maksimum pada sampel B3 (1250 rpm & 80 mm/menit) yaitu sebesar 142,08 N/mm².

Kata kunci : *friction stir welding*, Al 2017, Al 7075, *dissimilar metal*, *heat affected zone*, *tool rotation speed*.

The effect of tool speed and traveling speed variation in friction stir welding of dissimilar weld Al 2017 and Al 7075

Abstract

Friction Stir Welding (FSW) is a process of metal joining in solid state or the condition of metals that do not melt therefore the base metal properties do not change. Friction Stir Welding (FSW) is potential method to joining similar or dissimilar aluminum with weld results that have good mechanical properties. In conventional welding methods, joining aluminum with similar or dissimilar aluminum need special treatment such as pre-heat on the surface and choosing the correct parameters. The purpose of this study was to analyze the effect of Tool Rotation Speed and travelling speed on the weld characteristics that produced by the Friction Stir Welding (FSW) method in joining dissimilar aluminum 2017-T4 with aluminum 7075-T6. The variations used are tool rotation speed of 1250 rpm, 1000 rpm, and 800 rpm, and the travelling speed used is 100 mm/min, and 80 mm/min. The results showed that there are differences in grain size and hardness in each area. Heat affected zone (HAZ) had the lowest hardness among other zones. Hardness value of HAZ Al 7075 and Al 2017 are 94.13 HV_{0.2} and 88.76 HV_{0.2}, respectively. The highest hardness was found in the B3 sample (1250 rpm & 80 mm/min) in the stirred area (*Stir Zone*) which was 139.8 HV_{0.2}. The maximum value of tensile strength produced in the B3 sample (1250 rpm & 80 mm/min) is 142.08 N/mm².

Keywords: *friction stir welding*, Al 2017, Al 7075, *dissimilar metal*, *heat affected zone*, *tool rotation speed*.

1. Pendahuluan

Berkembangnya penggunaan logam dalam industri perlu diimbangi dengan peningkatan kualitas baik dari segi desain maupun rancangan struktur. Rancangan struktur yang ringan dan kuat diperlukan di

antaranya pada industri otomotif, penerbangan, dan perkapalan. Pada industri tersebut penyambungan logam dilakukan dengan cara pengelasan. Salah satu metoda pengelasan yang dikembangkan adalah metode *Solid State Welding* (SSW). Proses SSW yang FSW memiliki

beberapa keunggulan yaitu dapat mempertahankan karakter awal logam induk dan tidak memerlukan logam pengisi (*filler*) dalam prosesnya [1]. Distorsi dari hasil FSW sangat rendah karena prosesnya dilakukan dalam keadaan padat. Salah satu logam yang sering digunakan dalam industri adalah logam Aluminium (Al). Keunggulan logam Al ada pada kekuatan yang baik, ringan, dan tahan korosi namun cukup sulit untuk dilas dengan metoda pengelasan konvensional seperti *Shield Metal Arc Welding* (SMAW). Lapisan aluminium oksida (Al_2O_3) pada permukaan Al yang memiliki titik leleh yang lebih tinggi dibandingkan Al sehingga hasil lasan tidak dapat tersambung dengan baik. Permasalahan ini dapat diatasi dengan menggunakan metode pengelasan *Friction Stir Welding* (FSW). Berbagai penelitian mengenai FSW dan Pengembangan teknik FSW telah dilakukan oleh beberapa penelitian sebelumnya untuk menyambungkan berbagai jenis metal alloy, di antaranya aluminium alloy, magnesium alloy, steel dan titanium alloy.

Pada perkembangannya FSW juga digunakan untuk menyambungkan metal yang berbeda jenis dengan berbagai inovasi untuk meningkatkan kualitas hasil las. Review mengenai inovasi metoda FSW untuk disimilar metal aluminium dan copper ditulis dalam review oleh Panaskar et al. [2]. Pengembangan FSW lainnya mengenai FSW menggunakan *artificial neural network* untuk mendapatkan parameter optimal juga telah dilakukan Khirshnan et al. [3]. Penelitian mengenai pengaruh pendinginan oleh air pada pengelasan FSW Al 6061 yang dapat diterapkan pada pengelasan bawah air juga telah diteliti [4]. Hal ini membuktikan bahwa FSW merupakan metoda pengelasan yang masih dapat terus dikembangkan.

Penelitian ini dibatasi pada penyambungan aluminium alloy dengan metoda FSW menggunakan berbagai variasi *rotation* dan *traveling speed* untuk mendapatkan parameter optimal. Review mengenai beberapa penelitian FSW pada Aluminium Alloy telah dilakukan oleh Pandey et al. [5] Penyambungan logam melalui teknik FSW pada aluminium plat Al 2017 dan Al 7075 juga telah dilakukan oleh Kopyściański M. et al. menggunakan plat Al 2017 dan Al 7075 dengan tebal plat 6 mm, *traveling speed* 355 rpm dan *rotation speed* 112 mm/menit menunjukkan hasil kekuatan tarik sebesar 276Mpa [6].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kecepatan putaran *tool* dan *traveling speed* pada karakteristik hasil lasan menggunakan metoda FSW pada Al seri 2017 dengan Al seri 7075. Aluminium seri 2xxx adalah paduan aluminium dan tembaga yang memiliki keterbatasan dalam sifat mampu las, sedangkan aluminium seri 7xxx adalah paduan aluminium dan zinc yang secara umum tidak direkomendasikan untuk dilakukan pengelasan. Kedua logam aluminium paduan tersebut sering digunakan dalam aplikasi penerbangan dan disambung

dengan cara *rivetting*. Salah satu aplikasi dari Aluminium seri 2xxx dan 7xxx digunakan pada bagian bawah dan atas dari sayap pesawat terbang.

2. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan melalui empat tahapan; tahap persiapan peralatan dan spesimen, tahap pengelasan, tahap metalografi dan tahap pengujian. Metoda pengujian yang dilakukan adalah uji kekerasan, uji tarik dan pengujian mikro untuk mengetahui zona hasil pengelasan FSW dengan berbagai variasi parameter.

Tabel 1. Perancangan percobaan

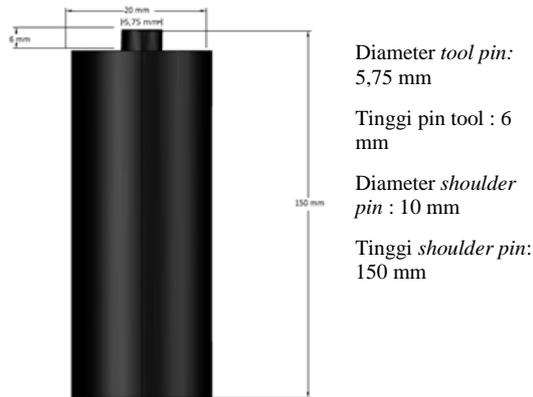
No.	Kode Sampel	<i>Travelling Speed</i> (mm/menit)	<i>Rotation Speed</i> (rpm)
1	A1	100	1000
2	A2	100	800
3	A3	100	1250
4	B1	80	1000
5	B2	80	800
6	B3	80	1250

Tabel 2. Komposisi material Al berdasarkan pengujian OES

Komposisi.	Al 2017	Al 7075
Si	0,621	0,07908
Fe	0,215	0,13291
Cu	3,701	1,41827
Mn	0,563	0,03403
Mg	0,593	2,12996
Zn	0,041	5,19063
Ti	0,031	0,02531
Cr	0,02538	0,19677
other	0,01321	0,00290
Al	94,1766	90,78

2.1 Proses persiapan peralatan dan spesimen.

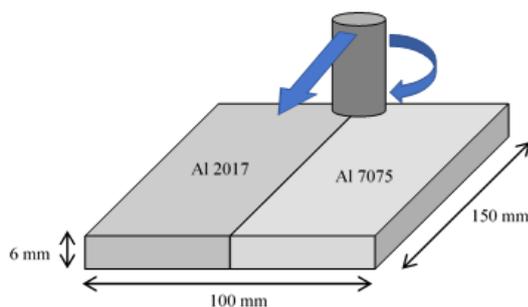
Spesimen plat yang akan dilas dilakukan proses milling terlebih dahulu hingga dimensi plat memiliki panjang 150mm, lebar 50mm dan tebal 6mm. Komposisi material plat Al 2017 dan Al 7075 yang digunakan dapat dilihat pada tabel 2. Setelah itu *tool* dipasang pada mesin frais untuk memulai proses pengelasan. *Tool* yang digunakan berupa *tool shoulder* dan *pin tool* yang keduanya berbentuk silinder. Jenis pin tool akan mempengaruhi sifat mekanik hasil pengelasan [7]. *Tool pin* dibuat tanpa ulir terbuat dari material *tool steel*.



Gambar 1 Dimensi *tools*

2.2 Proses pengelasan.

Desain las menggunakan jenis sambungan *square butt joint* seperti terlihat pada Gambar 2. Pada penelitian ini Al 7075 sebagai *advancing side* dan Al 2017 sebagai *retreating side*. Sifat mekanik yang lebih baik akan diperoleh apabila material yang lebih keras dibuat sebagai *advancing side* [8,9]. Al 7075 memiliki kekerasan sebesar 151 HV0.2 sedangkan Al 2017 memiliki nilai kekerasan sebesar 98,04 HV0.2. Variasi *traveling speed* dan *rotation speed* yang digunakan pada penelitian ini sesuai dengan Tabel 1.



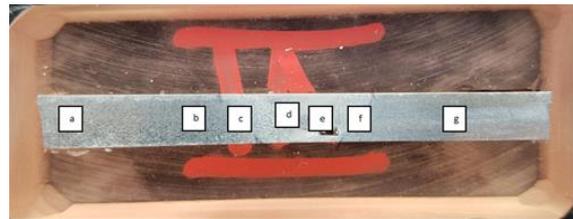
Gambar 2. Desain Sambungan las *square butt joint*

2.3 Proses metalografi.

Tahap metalografi terdiri dari beberapa tahapan yaitu *sectioning*, *mounting*, *grinding*, *polishing* dan *etching*. Seluruh proses metalografi pada penelitian ini mengacu pada standar ASTM E3-95 (*Standard Practice for Preparation Metallographic Specimen*)

2.4. Proses pengujian.

Proses pengujian pertama adalah pengamatan struktur mikro dengan mikroskop optik menggunakan perbesaran: STD-10 700x perbesaran dan STD-20 1400x perbesaran. Titik-titik yang diamati terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Posisi titik yang akan diamati struktur mikronya pada kode sampel B1: (a) *Base Metal* Al 7075, (b) HAZ Al 7075, (c) TMAZ Al 7075, (d) *Stir Zone*, (e) TMAZ Al 2017, (f) HAZ Al 2017, (g) *Base Metal* Al 2017

Pengujian selanjutnya adalah pengujian dengan mikro vickers yang bertujuan untuk mengetahui distribusi kekerasan pada daerah base metal, *heat affected zone* (HAZ), *thermo mechanically affected zone* (TMAZ), dan *stir zone*. Mikro vickers ini sangat cocok karena spesimen aluminium memiliki sifat yang lunak dengan besar gaya penekanannya hanya 200 gramf atau 0,2 kgf. Pengujian kekerasan ini mengacu pada standard ASTM E384-17 (*Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials*). Pada pengujian ini dilakukan penekanan pada spesimen minimal sebanyak 3 titik tiap daerah yang dibagi menjadi 3 garis; atas, tengah, dan bawah seperti terlihat pada Gambar 4.



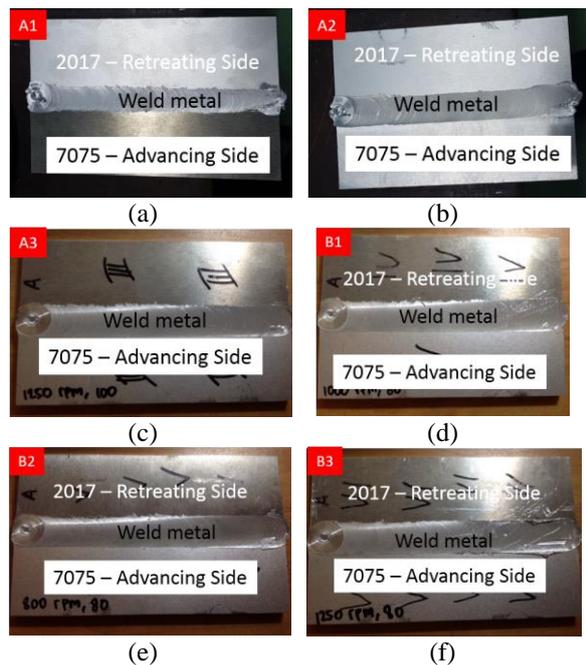
Gambar 4 desain pengujian mikro vickers

Selanjutnya adalah pengujian tarik dilakukan pada mesin uji tarik yang memiliki gaya tarik

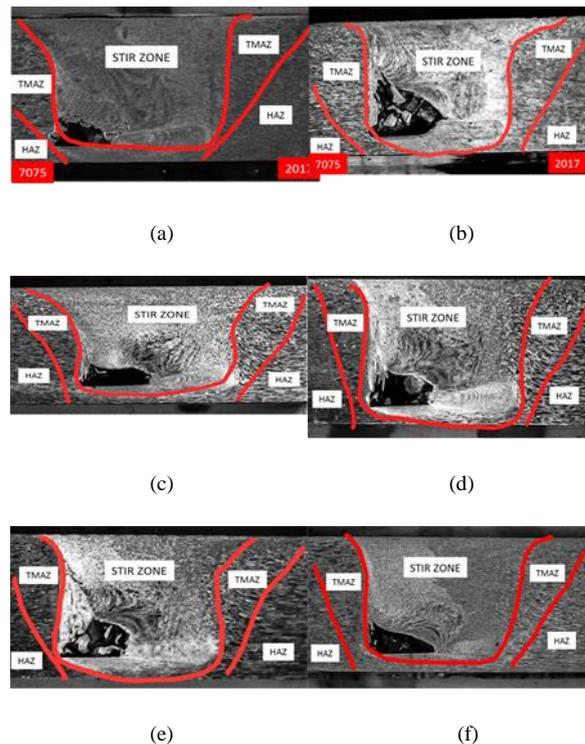
maksimum sebesar 10 kN. Pembuatan desain spesimen uji tarik ini mengacu pada ASTM E8/E8M-16 (*Standard Test Method for Tension of Metallic Materials*). Setelah dilakukan penarikan spesimen hingga mengalami patah, data yang didapat untuk diolah yaitu besar kuat tarik dan elongasi tiap spesimen

3. Hasil dan Pembahasan

Dari proses pengelasan yang telah dilakukan dapat terlihat pada Gambar 5 bahwa hasil las dari FSW dapat menyambung logam dengan hasil permukaan lasan yang sangat halus dan rapi. Proses pengelasan FSW terdapat 3 tahap, yaitu penekanan *tool*, pengelasan, dan penarikan *tool*. Pada tahap penarikan *tool*, diangkatnya *tool* dari benda kerja yang dilas dan meninggalkan lubang atau *exit hole* yang dihasilkan pin dengan lebar diameter sesuai dengan pin yang dipakai yaitu sebesar 5,75 mm. Pada permukaan hasil lasan juga terdapat *flash* yang terdapat pada bagian *retreating side*. *Flash* ini dihasilkan dari gesekan *shoulder* dan membuat panas yang berlebih, munculnya panas yang berlebih dengan maksud untuk melunakkan benda kerja yang digesek oleh *shoulder* akibatnya permukaan spesimen paling atas akan menghasilkan *flash* dan membuat tebal lasan menjadi berkurang.



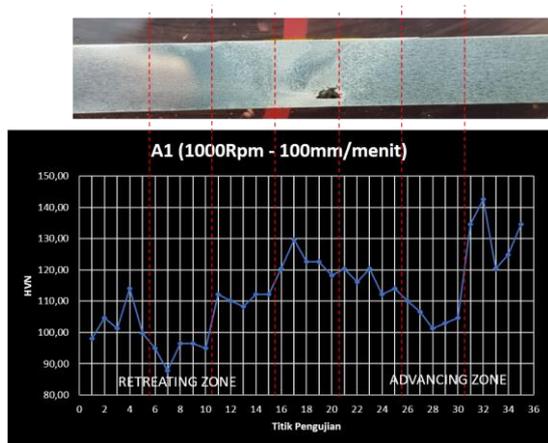
Gambar 5 Hasil Lasan Plat Spesimen: (a) A1 1000 rpm dan 100 mm/menit, (b)A2 800 rpm dan 100 mm/menit, (c) A3 1250 rpm dan 100 mm/menit, (d)B1 1000 rpm dan 80 mm/menit, (e) B2 800 rpm dan 80 mm/menit, (f) B3 1250 rpm dan 80 mm/menit.



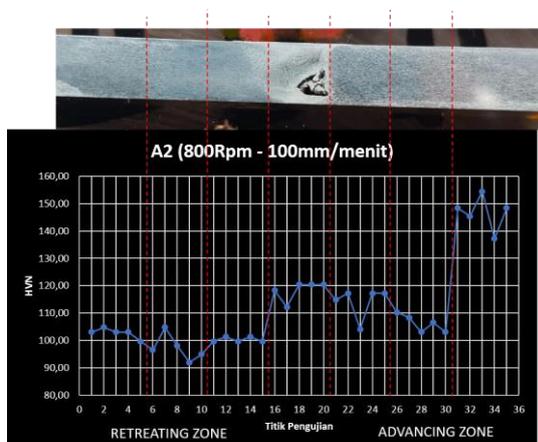
Gambar 6 Foto Struktur Makro Spesimen: (a) 1000 rpm dan 100 mm/menit, (b) 800 rpm dan 100 mm/menit, (c) 1250 rpm dan 100 mm/menit, (d) 1000 rpm dan 80 mm/menit, (e) 800 rpm dan 80 mm/menit, (f) 1250 rpm dan 80 mm/menit.

Dapat dilihat pada Gambar 6 cacat yang didapatkan pada semua sampel yaitu cacat terowongan (*tunnel defect*) yang berada pada bagian *stir zone* dan di bagian *advancing side* yang memiliki ukuran cacat yang berbeda di tiap sampelnya. *Tunnel defect* sendiri terjadi karena masukan panas (*heat input*) yang kurang, dengan kondisi *heat input* yang kurang membuat tegangan alir pada daerah *advancing side* menjadi tinggi dan menyebabkan kurang melunaknya logam yang akan diaduk oleh pin, dengan kejadian tersebut membuat material yang belum melunak akan tetap diam dan sebagian yang melunak akan ikut berputar searah putaran *tool* dan tidak mengisi bagian yang kosong pada daerah *advancing side* lagi. Kurangnya *heat input* ini tentunya dipengaruhi oleh *rotation* dan *travel speed* dari pengelasan FSW. Kecepatan pengelasan akan mempengaruhi pembangkitan *heat input* pada *weld nugget*. Ketika *travel speed* bergerak lebih cepat maka *tool* yang melewati garis batas las juga akan menjadi lebih cepat dan akan mengakibatkan *heat input* pada pengelasan tersebut lebih kecil, sedangkan untuk *rotational speed* terjadi sebaliknya. Apabila *rotational speed* cepat, *heat input* akan lebih besar. Pengaruh *travel speed* dan *rotational speed* terhadap cacat *tunnel* juga ditemukan dalam penelitian sebelumnya oleh fathi et al [4] pada pengelasan FSW Al 6061.

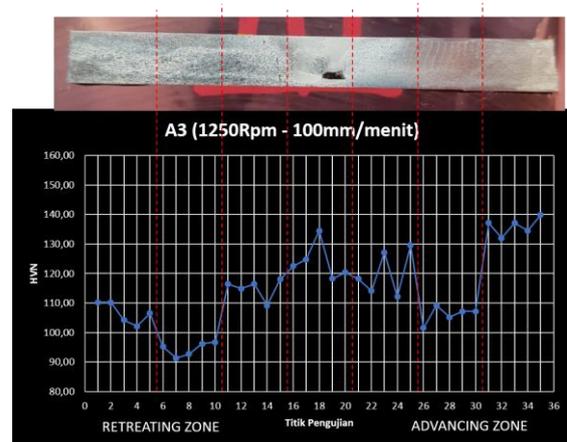
Selanjutnya hasil pengujian kekerasan menggunakan *hardness* dengan beban tekan sebesar 200 gramf/0,2 kgf dilakukan untuk mengetahui distribusi nilai kekerasan pada hasil lasan yang diharapkan memiliki nilai kekerasan yang sama atau mendekati dengan logam induk. Pada pengujian ini dilakukannya penekanan pada 5 titik pada setiap daerah logam induk (*base metal*) Al 2017 dan Al 7075, HAZ Al 2017 dan Al 7075, TMAZ Al 2017 dan Al 7075 dan *stir zone* dengan jarak setiap titik indentasi sejauh $\pm 0,5$ mm



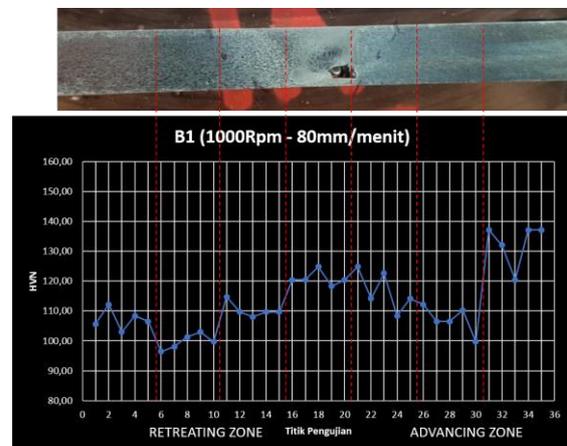
Gambar 7 Distribusi nilai kekerasan sampel A1 (1000 rpm & 100 mm/menit)



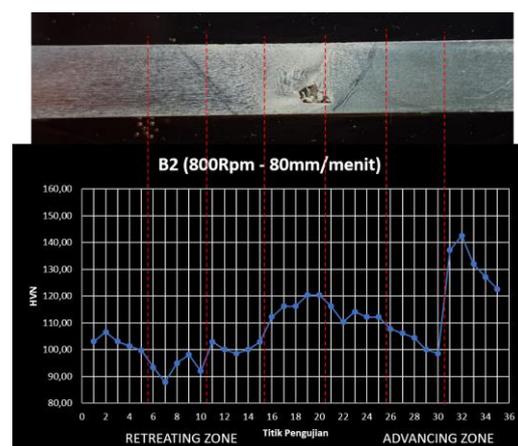
Gambar 8 Distribusi nilai kekerasan sampel A2 (800 rpm & 100 mm/menit)



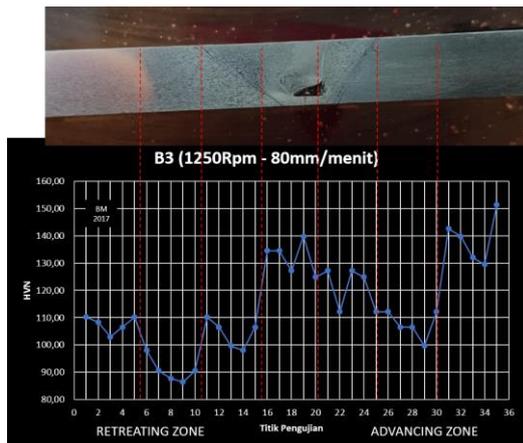
Gambar 9 Distribusi nilai kekerasan sampel A3 (1250 rpm & 100 mm/menit)



Gambar 10 Distribusi nilai kekerasan sampel B1 (1000 rpm & 80 mm/menit)



Gambar 11 Distribusi nilai kekerasan sampel B2 (800 rpm & 80 mm/menit)



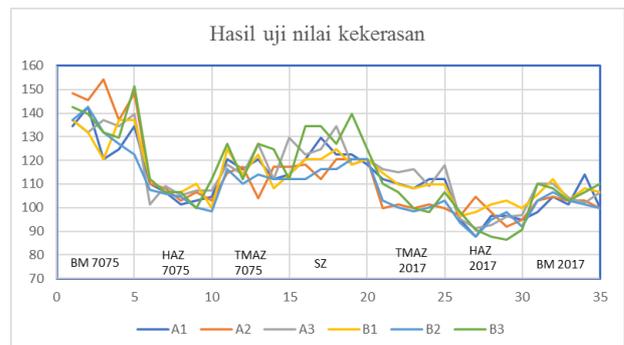
Gambar 12 Distribusi nilai kekerasan sampel B3 (1250 rpm & 80 mm/menit)

Dari gambar 7-12 nilai kekerasan dari semua sampel memiliki *trend* yang sama. Kekerasan dari logam induk Al 2017 ke HAZ Al 2017 menurun, lalu mengalami peningkatan pada TMAZ Al 2017, dan daerah *stir zone*. Dari arah *stir zone* nilai kekerasan menurun hingga daerah HAZ Al 7075, dan daerah HAZ Al 7075, peningkatan nilai kekerasan terjadi pada logam induk Al 7075. Pada hasil yang didapatkan dari keenam sampel, nilai kekerasan pada daerah HAZ memiliki nilai yang paling rendah dibandingkan dengan daerah-daerah lainnya, seperti pada daerah logam induk Al 2017 yang memiliki kekerasan paling rendah 98,4 HV_{0,2} pada sampel A1 (1000 rpm & 100 mm/menit) dibandingkan pada daerah HAZ Al 2017 memiliki 86,43 HV_{0,2} pada sampel B3 (1250 rpm & 80 mm/menit). Begitu juga dengan daerah HAZ Al 7075, memiliki nilai kekerasan paling rendah 98,53 HV_{0,2} pada sampel B2 (800 rpm & 80 mm/menit), yang dibandingkan pada daerah TMAZ Al 7075 sebesar 104,1 HV_{0,2} pada sampel A2 (800 rpm & 100 mm/menit). Hal ini disebabkan karena pada daerah HAZ mengalami pertumbuhan ukuran butir pada kedua daerah HAZ Al 2017 maupun HAZ Al 7075 yang disebabkan oleh panas yang dihasilkan dari proses pengelasan yang dilakukan. Pada daerah TMAZ mengalami peningkatan kekerasan dibandingkan daerah HAZ karena pada daerah ini logam mengalami deformasi plastis akibat gesekan *shoulder* terhadap benda kerjanya yang membuat bentuk butirannya menjadi columnar atau pipih memanjang. Pada daerah lasan atau *stir zone* memiliki nilai kekerasan paling tinggi dibandingkan HAZ atau TMAZ, lebih keras dari pada logam induk Al 2017. Namun, lebih rendah kekerasannya dibandingkan logam induk Al 7075. Hal itu disebabkan karena pada daerah *stir zone* butiran mempunyai ukuran yang sangat halus (*fine grain*) sehingga membuat kerapatan dari tiap butir semakin

dekat dan membuat kemungkinan dislokasi semakin rapat dan membuat logam menjadi lebih keras.

3.1 Pengaruh kecepatan putaran tool dan traveling speed terhadap nilai kekerasan.

Nilai kekerasan tertinggi pada A3 (1250 rpm & 100 mm/menit) sebesar 134,5 HV_{0,2} dan nilai kekerasan paling rendah yaitu A2 (800 rpm & 100 mm/menit) sebesar 120,3 HV_{0,2}. Semakin tinggi kecepatan putaran *tool* yang digunakan, akan membuat pengadukan pada daerah *stir zone* mengalami pengaruh gesekan mekanik yang lebih besar dan menghasilkan panas. Bertambahnya panas akan membuat butiran pada HAZ semakin membesar. Begitu pula pada daerah TMAZ, semakin cepat putaran yang dilakukan mempengaruhi gerak mekanik sehingga dapat menghasilkan deformasi plastis pada butiran yang pipih dan memanjang. TMAZ Al 2017 dan Al 7075 memiliki kekerasan paling tinggi pada sampel A3 (1250 rpm & 100 mm/menit) sebesar masing-masing 118 HV_{0,2} dan 129,5 HV_{0,2}.



Gambar 13 Grafik pengaruh variasi kecepatan putaran tool dan traveling speed terhadap nilai kekerasan

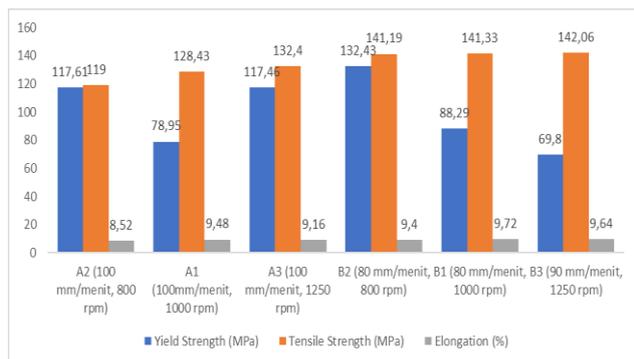
Berkebalikan dengan kecepatan putaran *tool*, untuk *travelling speed* semakin berkurangnya kecepatan translasi yang digunakan, semakin tinggi nilai kekerasannya. Hal tersebut disebabkan karena *feedrate* yang lambat akan membuat *tool* mempunyai waktu untuk menghasilkan panas dan waktu pengadukan yang menyeluruh pada sekitar *tool*-nya. Dengan lambatnya *traveling speed* juga dapat membantu pelunakan agar saat dilakukan pengadukan oleh pin material yang akan diaduk sudah mengalami deformasi plastis terlebih dahulu dan mempunyai tegangan alir yang rendah dan mudah dilakukan pengadukan. Pada hal ini, sampel B3 (1250 rpm & 80 mm/menit) memiliki kekerasan yang tinggi hingga 139,8 HV_{0,2} dan A3 (1250 rpm & 100 mm/menit) kekerasannya adalah 134,5 HV_{0,2}.

3.2 Pengaruh kecepatan putaran tool dan traveling speed terhadap kekuatan tarik.

Seiring dengan bertambahnya kecepatan putaran tool maka kekuatan tarik yang didapatkan akan semakin meningkat.

Tabel 3. Data hasil pengujian kuat tarik

No.	Kode Sampel	Kuat tarik (mm/menit)	elongasi (%)
1	A1	128,43	9,48
2	A2	119,00	8,52
3	A3	132.40	9,16
4	B1	141,33	9,72
5	B2	141,19	9,40
6	B3	142,08	9,64



Gambar 14 Grafik pengaruh variasi kecepatan putaran tool dan traveling speed terhadap kekuatan tarik

Dengan kecepatan translasi 100mm/menit, sampel A2 (800 rpm & 100 mm/menit) memiliki kekuatan tarik yang paling rendah yakni 119 N/mm², dan jika kecepatan tool dinaikkan menjadi 1000 rpm & 100mm/menit (sampel A1) akan didapatkan kenaikan pada kekuatan tarik yaitu 128,4 N/mm², dan jika dinaikkan lagi kecepatan putaran toolnya menjadi 1250 rpm & 100 mm/menit (sampel A3) akan menambah kekuatannya menjadi 132,40 N/mm². Pada kecepatan translasi 80 mm/menit, tidak terdapat perbedaan kekuatan yang signifikan. Namun, sampel B3 (1250 rpm & 80mm/menit) memiliki kekuatan tarik yang paling besar yaitu 142,08 N/mm² dan dengan penurunan kecepatan putaran tool, menurun pula kekuatan tarik dari sampel tersebut namun tidak jauh dari sampel B1 141,33 N/mm² dan B2 141,19 N/mm².

4. Kesimpulan

Dengan parameter yang diberikan masih terdapat cacat pengelasan berupa cacat *tunnel*. Namun demikian, dari hasil pengelasan FSW pada material Al 7075 dan Al 2017 ini juga didapatkan hasil bahwa kenaikan kecepatan putaran tool menyebabkan kenaikan nilai kekerasan pada *stir zone* dan kenaikan kekuatan tarik pada hasil sambungan. Berkebalikan dengan kecepatan putaran, kenaikan kecepatan translasi (*travelling speed*) menyebabkan penurunan nilai kekerasan pada *stir zone* dan penurunan kekuatan tarik pada hasil sambungan. Pada penelitian ini didapatkan nilai kekuatan hasil las yang optimal menggunakan metoda *friction stir welding* pada material Al 2017 dan Al 7075 diperoleh pada sampel B3 (kecepatan putaran tool 1250 rpm dan kecepatan translasi 80 mm/menit) dengan nilai kekerasan 139,8 HV0,2 dan kekuatan tarik sebesar 142,08 N/mm²

Referensi

- [1] L. Dubourg, A. Merati and M. Jahazi, "Process optimisation and mechanical properties of friction stir lap welds of 7075-T6," *Materials and Design*, vol. 31, pp. 3324-3320, 2010.
- [2] Panaskar, Nitin & Tekrar Ravi, "Review on Recent Advances in Friction Stir Lap Welding of Aluminium and Copper" *Materials Today: Proceedings*, pp8387-8393, 2017
- [3] Krishnan, M. Muthu, Maniraj, J. Deppak, R. & Anganan, K. "Prediction of Optimum Welding Parameters for FSW of Aluminium Alloys AA6063 and A319 using RSM and ANN". *Materials Today: Proceedings* 5 716-723, 2018
- [4] Fathi, J. Ebrahimzadeh, P. Farasati, R. & Teimouri, R. " Friction Stir Welding of Aluminium 6061-T6 in Presence of Watercooling: Analizing Mechanical Properties and Residual Stress Distribution", *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*, Vol 2, pp. 107-115 (2019)
- [5] S. K. Pandey, P. Gahlot, V. Rohila and M. , "A Review of Friction Stir Welding of Aluminium Alloy (7075)," *International Journal of Recent Technology and Engineering*, vol. 9, no. 3, 2017.
- [6] M. Kopyściański, A. Wegłowska, A. Pietras, C. Hamilton and S. Dymek, "Friction Stir Welding of Dissimilar Aluminium Alloy," *Key Engineering Material*, vol. 682, pp. 31-37, 2016.
- [7] Sadeesh P., Venkatesh Kannan M., Avinash P., Arviazhagan N., Devendanath Ramkumar K, Narayanan S. " Studies on friction stir welding of AA 2024 and AA 6061 dissimilar metals" , *Procedia Engineering* 75 pp.145 – 149, 2014.

[8] P. Xue, D. E. Ni, D. Wang, B.L., Xiao, Z.Y. Ma., “ Effect of Friction Stir Welding Paramters on The Microstructure and

Mechanical Properties of The Dissimilar Al-Cu Joints”, *Materials Science and Engineering A* 528, pp. 4683–4689, 2011.