

PENGARUH VARIASI KECEPATAN PUTAR DAN DIAMETER TOOL TERHADAP SIFAT MEKANIK SAMBUNGAN FSSW ALUMINIUM ALLOY 5052 DAN BAJA SS400

Wahid Ramadhan¹, Nurul Muhayat¹, Triyono¹

¹Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

e-mail addresses : andanwahid@gmail.com

Keywords :

FSSW, dissimilar, AA5052, Steel SS400, tool diameter, rotational speed, Hardness Micro Vickers, Tensile Shear Load.

Abstract:

Friction stir spot welding (FSSW) is a development from solid state welding to joint different materials (dissimilar). Dissimilar FSSW is widely used in the automotive industry due to the advantages of joining these two materials with weight savings while exploiting the best strength. This research aims to know the effect of welding parameters of rotation speed and tool diameter on mechanical properties on dissimilar FSSW aluminum alloy 5052 and SS400 steel. Variations in rotational speed used is 800, 1250, 1600, 2000 rpm and tool diameter 10, 12, 14 mm. Plunge depth and dwell time in this research were made uniform. This research used a lap joint configuration with aluminum plate placed on the top and steel plate placed on the bottom. Physical characteristics were analyzed through observation of macro and microstructures, while mechanical characteristics through vickers hardness testing and shear tensile testing. The results indicate that the diameter of 10 mm tool and 1600 rpm rotation speed produce the highest tensile shear load value of 2.4 kN with interface fracture.

PENDAHULUAN

Pengelasan merupakan salah satu jenis proses penyambungan material yang sangat potensial untuk dikembangkan. Dari berbagai macam teknik pengelasan modern ada satu jenis metode pengelasan yang saat ini mendapatkan perhatian dari berbagai industri otomotif, *aerospace* dan industri lainnya. Metode pengelasan itu adalah *friction stir spot welding* (FSSW)[1].

Pengelasan FSSW tergolong memiliki sifat mekanik yang baik karena *heat input* yang dihasilkan rendah sehingga memiliki daerah HAZ yang sempit. Selain itu metode pengelasan FSSW memiliki keunggulan lainnya yaitu distorsi pengelasan yang rendah, sifat mekanik yang lebih baik dan limbah yang lebih sedikit bila dibandingkan dengan proses pengelasan RSW [2]. Pengelasan ini jugasepenuhnya aman bagi lingkungan karena didalam proses pengelasannya tidak menggunakan gas pelindung serta aman dari radiasi sinar *ultraviolet* [3].

Dari berbagai keunggulan metode pengelasan FSSW di atas masih ada suatu hal yang masih harus dipertimbangkan dalam menyambungkan dua bahan material logam yang berbeda (*dissimilar*). Di masa depan, dengan adanya penyebaran struktur multi-bahan, metode penyambungan mekanik dengan atau tanpa ikatan perekat (*adhesive bonding*) akan semakin diterapkan untuk pengelasan logam *dissimilar* yang tidak dapat diterapkan pada pengelasan fusi [4]. Agar tidak terjadinya kekuatan mekanikal yang rendah dan cacat las yang dihasilkan karena kesalahan pemilihan parameter pengelasan (putaran *tool*, *dwell time*, waktu

delay, dan *plunge depth*) dan geometri tool (diameter *shoulder*, profil pin, diameter pin, dan panjang pin) maka faktor-faktor tersebut harus dipilih secara optimal [5].

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mendapatkan hasil pengelasan FSSW yang baik. Penelitian dilakukan dengan metode FSSW pada lembaran aluminium alloy 6061-T4, lalu mendapatkan hasil yang meningkat pada saat kecepatan putar dan *dwell time* ditingkatkan [6]. Efek dari meningkatnya kecepatan putar adalah bertambahnya lebar lasan dan meningkatkan kekuatan. Penelitian juga dilakukan tentang perbandingan antara *tool* dengan pin dan tanpa pin dengan perbedaan diameter *shoulder tool* 8 mm dan 19 mm pada plat magnesium AZ31. Pada diameter *shoulder* 19 mm tanpa pin didapatkan hasil yang terbaik dan struktur mikro yang homogen. Hal ini dikarenakan pada *tool* yang menggunakan pin hasilnya terdapat *cavities* yang besar dan timbulnya *keyhole* [7].

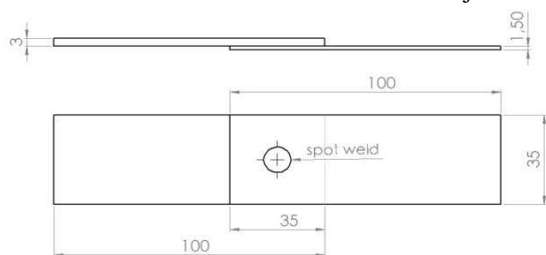
Untuk mendapatkan hasil pengelasan yang terbaik maka penelitian ini akan membahas masalah tentang bagaimana pengaruh kecepatan putaran *tool* dan diameter *tool* pada pengelasan dissimilar FSSW antara plat AA5052 dan plat *steel* SS400 beserta dengan fenomena-fenomena yang terjadi selama proses pengelasan.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan dua material yang berbeda yaitu aluminium paduan 5052 berdimensi

100 x 35 x 3 mm dan baja SS400 berdimensi 100 x 35 x 1.5 mm dengan bentuk sambungan berupa *lap joint* seperti pada Gambar 1. Proses pengelasan dilakukan menggunakan mesin las FSSW, yaitu mesin *milling* yang telah dimodifikasi pada bagian ragumnya agar sesuai untuk menempatkan spesimen. Tabel 1 menunjukkan variabel penelitian yang digunakan. *Tool* yang digunakan adalah *flat tool* dengan 3 variasi diameter, yaitu diameter 10 mm, 12 mm dan 14 mm. Pada saat proses pengelasan menggunakan 4 variasi kecepatan putar *tool*, yaitu 800 rpm, 1250 rpm, 1600 rpm dan 2000 rpm.

Pengujian yang akan dilakukan adalah pengujian tarik-geser menggunakan *Universal Testing Machine*, pengujian kekerasan menggunakan mesin *Micro Vickers*, dan pengamatan struktur makro dan mikro menggunakan mikroskop makro dan mikro. Larutan etsa yang digunakan pada spesimen sebelum dilakukan pengamatan menggunakan mikroskop adalah *Modified Poulton Reagent* (30mL HCl, 40mL HNO₃, 2.5mL HF, 42.5mL H₂O, dan 12g CrO₃) untuk material aluminium dan campuran larutan HNO₃ dan alkohol untuk material baja SS400.



Gambar 1 Rancangan spesimen pengelasan FSSW
Tabel 1 Variabel penelitian

No	Variasi	Diameter Tool (mm)	Kecepatan Putar (rpm)
1	A1	10	1250
2	A2	10	1600
3	A3	10	2000
4	B1	12	1250
5	B2	12	1600
6	B3	12	2000
7	C1	14	1250
8	C2	14	1600
9	C3	14	2000

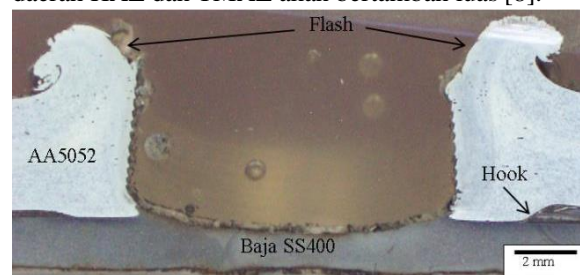
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Foto Makro

Observasi makroskopik pada penelitian ini dapat diamati pada Gambar 2 yang memperlihatkan hasil sambungan pada pengelasan FSSW AA5052 dengan baja SS400. Pengamatan makroskopik ini menunjukkan bahwa variasi diameter *tool* dan kecepatan putar *tool* memberikan pengaruh pada

hook atau celah yang terdapat pada sambungan lasan. Penekanan dan energi panas yang timbul pada saat proses pengelasan mengakibatkan beberapa daerah yang memiliki warna berbeda yaitu daerah stirzone yang berwarna cerah dan tidak berbintik seperti yang ditemukan oleh Jeon [2].

Pengelasan FSSW dengan diameter *tool* 10 mm (variasi A) menghasilkan daerah sambungan yang lebih baik dibandingkan dengan pengelasan FSSW menggunakan diameter *tool* 12 mm (variasi B) dan 14 mm (variasi C). Hal tersebut diakibatkan oleh meningkatnya diameter *tool* sehingga meningkatnya panas yang dihasilkan. Panas yang meningkat mengakibatkan material menjadi semakin lunak sehingga lebih mudah terjadi deformasi dan daerah HAZ dan TMAZ akan bertambah luas [8].

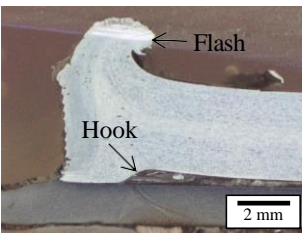
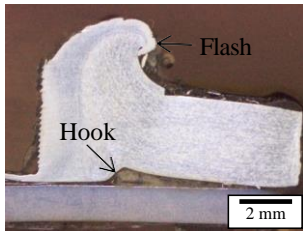
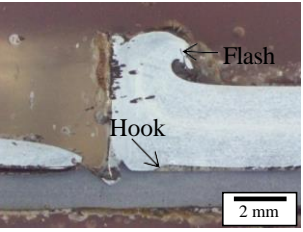
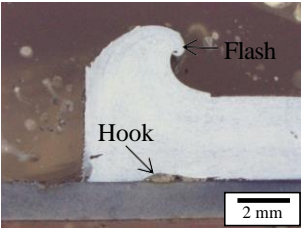
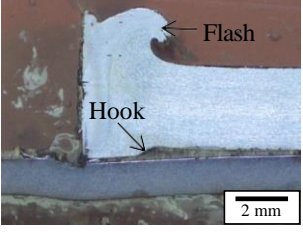
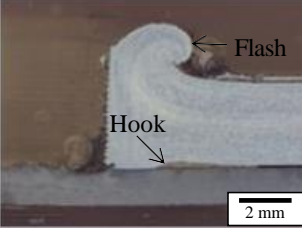
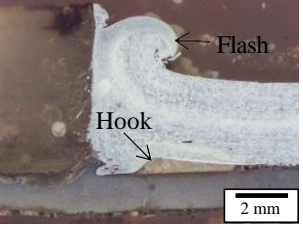
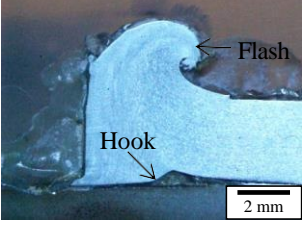


Gambar 2 Hasil observasi makroskopik Proses pengelasan FSSW akan menghasilkan *flash* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2. *Flash* adalah material yang terdorong keluar saat proses *plunging* akibat adanya desakan dari *tool* ke arah material benda kerja. Putaran *tool* yang mengenai material menimbulkan gesekan sehingga membuat timbulnya panas yang tinggi dan material bagian atas menjadi terdeformasi sangat hebat. Kemudian material bagian atas yang mulai lunak terdorong ke atas karena tertahan dari permukaan material bagian bawah yang belum melunak juga sehingga seolah-olah terjadi ekstrusi pada material bagian atas [9]. Hasil observasi menunjukkan pengaruh dari bertambahnya diameter *tool* mengakibatkan bertambah besarnya *flash* yang dihasilkan dan dapat ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 juga menunjukkan hasil observasi makroskopik yang memperlihatkan *hook* (celah) antara material aluminium dan material baja yang cukup jelas terlihat besar pada kecepatan 2000 rpm. Pada kecepatan putar 800 rpm hingga 1600 rpm *hook* mengecil namun di kecepatan 2000 rpm membesar. *Hook* juga membesar seiring dengan bertambahnya diameter *tool*. Celah yang terbentuk adalah akibat dari pembebanan yang berlebih dari tekanan *tool* ke bagian permukaan lasan pada saat proses *plunging*. Fenomena ini merupakan sebuah cacat dari hasil lasan sehingga dapat menurunkan nilai kekuatan pada sambungan dan pada penelitian Shen juga menemukan fenomena *hook* (celah) yang sama pada penelitian *refill* FSSW AA7075-T6 [6].

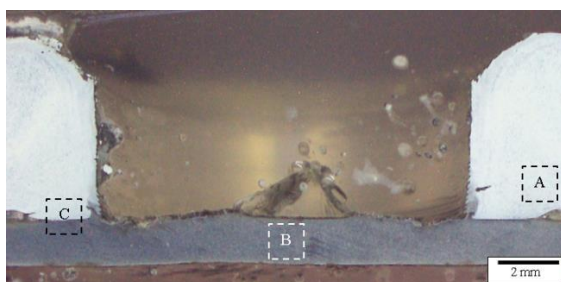
Tabel 2 Hasil observasi makroskopik pada setiap sambungan

Tabel 2. Variasi putaran

Variasi	Diameter Tool		
	10 mm	12 mm	14 mm
Kecepatan Putar	800 rpm		
	1250 rpm		
	1600 rpm		
	2000 rpm		

41 Data Hasil Foto Mikro

Observasi mikroskopik dilakukan berdasarkan beberapa daerah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Observasi mikroskopik menunjukkan perbedaan struktur mikro pada hasil sambungan di setiap daerah yang diamati. Daerah yang diamati yaitu daerah HAZ di aluminium (A), daerah baja di bawah tool (B) dan daerah lapisan reaksi antarmuka (C). Karakteristik perbedaan daerah tersebut adalah daerah gelap dan daerah terang.



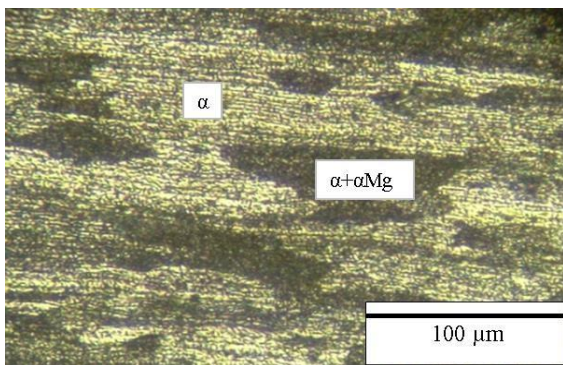
Gambar 3 Daerah-daerah observasi struktur mikro

Tabel 3 menunjukkan hasil observasi mikroskopik pada daerah HAZ dan dapat diamati adanya perbedaan butir yang dihasilkan pada daerah tersebut. Penambahan kecepatan putar tool dan diameter tool mengakibatkan bertambahnya energi panas yang dihasilkan. Bertambahnya energi panas akan memperlambat proses pendinginan sehingga butir-butir aluminium alloys ikut membesar. Hal inilah yang menyebabkan butir-butir HAZ pada variasi diameter tool 12 mm dan 14 mm tampak lebih besar dibandingkan variasi diameter tool 10 mm.

Gambar 4 merupakan hasil observasi mikroskopik pada daerah HAZ di bagian aluminium yang terdiri dari fase α dan fase $\alpha+\alpha\text{Mg}$. Bertambahnya energi panas dari putaran pada proses pengelasan FSSW juga menyebabkan berubahnya luasan fase α dan fase $\alpha+\alpha\text{Mg}$ pada material aluminium. Bertambahnya kecepatan putar maka luasan fase $\alpha+\alpha\text{Mg}$ semakin kecil. Perbedaan luasan fase gelap ini dapat menjadi salah satu alasan penyebab perbedaan kekuatan tarik geser yang dihasilkan sambungan.

Tabel 3 Observasi mikroskopik daerah HAZ (A)

Variasi		Diameter Tools		
		10 mm	12 mm	14 mm
Kecepatan	800 rpm			
	1250 rpm			
	1600 rpm			
	2000 rpm			



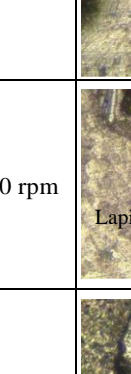
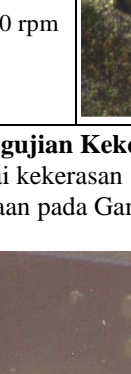

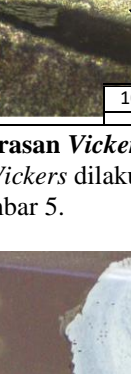
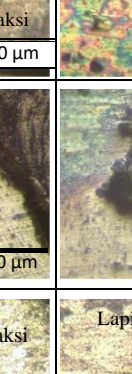



Gambar 4 Foto Mikroskopik daerah HAZ pada aluminium

Daerah sambungan hasil pengelasan antara aluminium dan baja SS400 memperlihatkan daerah lapisan reaksi yang berwarna kehitaman seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4. Daerah lapisan reaksi tersebut muncul akibat dari adukan *tool* pada saat temperatur meningkat, sebagian dari material SS400 terdeformasi dan terbawa oleh gerakan putaran dari

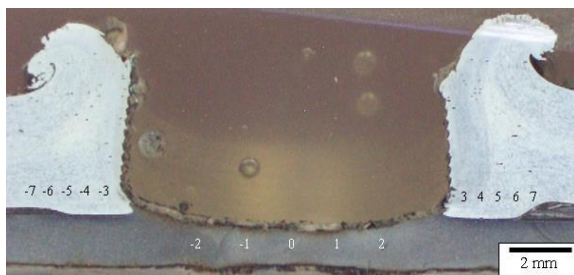
tool. Hasil penelitian menunjukkan dengan meningkatnya kecepatan putar 800 rpm hingga 2000 rpm, ketebalan lapisan reaksi juga meningkat. Ketebalan lapisan reaksi yang meningkat dikarenakan dengan meningkatnya kecepatan putar *tool* maka *heat input* yang diberikan akan semakin tinggi sehingga temperatur akan meningkat. Lapisan reaksi pada penelitian ini serupa dengan *Intermetallic Compound* (IMC). *Intermetallic Compound* (IMC) adalah partikel-partikel kecil dari baja karbon yang unsurnya didominasi oleh Fe, berpindah tempat ke bagian aluminium dan membentuk senyawa baru Fe_xAl_y . Partikel IMC inilah yang akan menentukan apakah akan memperlemah atau justru memperkuat sambungan lasan FSSW *dissimilar* [10]. Hal ini juga ditemukan pada pengelasan *dissimilar* antara AA6016 dan IF-*steel* oleh Bozzi [11]. Hasil penelitian tersebut mengatakan bahwa ketebalan lapisan IMC akan bertambah seiring dengan meningkatnya kecepatan putar *tool*. Namun di dalam penelitian ini belum bisa diketahui jenis IMC yang terbentuk karena belum dilakukan pengujian SEM dan EDS.

Tabel 4 Observasi mikroskopik daerah lapisan reaksi (C)

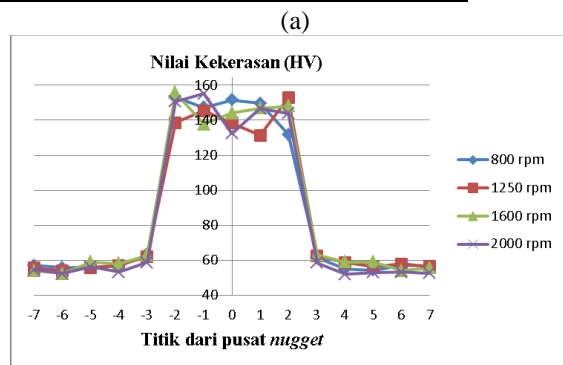
Variasi	Diameter Tools		
	10 mm	12 mm	14 mm
Kecepatan	800 rpm		
	1250 rpm		
	1600 rpm		
	2000 rpm		

4.2 Data Hasil Pengujian Kekerasan Vickers

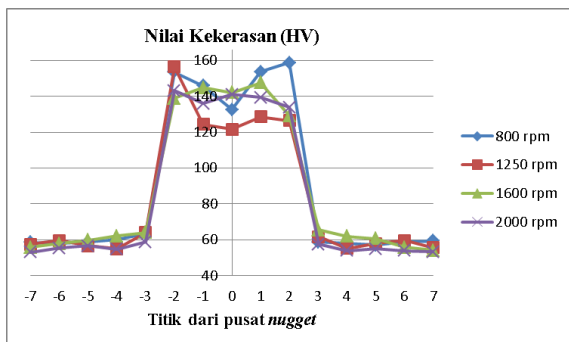
Pengujian nilai kekerasan Vickers dilakukan sesuai dengan pemetaan pada Gambar 5.



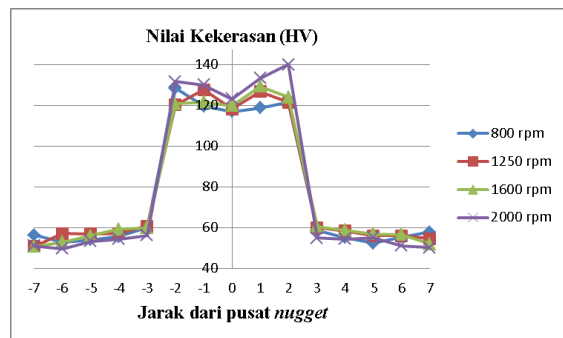
Gambar 5 Daerah pengambilan data nilai uji keras Vickers



(a)



(b)



(c)

Gambar 6 Diagram hasil uji keras *Vickers* pada hasil sambungan tiap variasi kecepatan putar dan diameter *tool* (a) 10 mm, (b) 12 mm, (c) 14 mm.

Hasil pengujian kekerasan dapat ditunjukkan pada Gambar 6. Hasil pengujian menunjukkan kecenderungan nilai yang sama yaitu pada aluminium didapatkan nilai kekerasan tertinggi pada titik terdekat dengan *center of nugget*. Nilai kekerasan aluminium tertinggi didapatkan pada variasi A3 (diameter *tool* 10 mm dan kecepatan putar 1600 rpm) yaitu 65.4 HV. Sedangkan nilai kekerasan terendah didapatkan pada variasi C4 (diameter *tool* 14 mm dan kecepatan putar 2000 rpm) yaitu 55 HV. Daerah titik -7 dan 7 merupakan titik terjauh dari *center of nugget* dan daerah yang masih terkena efek panas atau daerah HAZ. Daerah HAZ ini mengalami penurunan nilai kekerasan bila dibandingkan dengan titik terdekat dengan *center of nugget* dan mempunyai trend yang menurun dari variasi kecepatan 800 rpm hingga 2000 rpm.

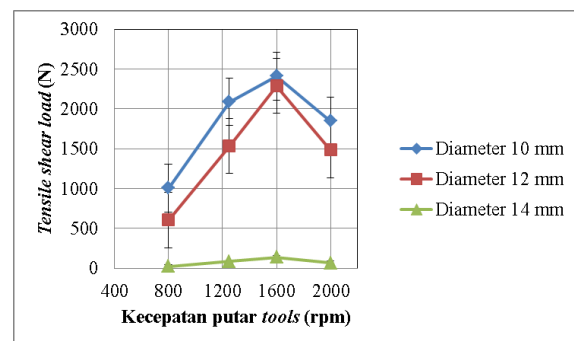
Daerah aluminium yang terdekat dengan *center of nugget* merupakan daerah yang memiliki temperatur yang tinggi pada proses pengelasan FSSW dan daerah yang mengalami deformasi plastis sehingga didapatkan nilai kekerasan tertinggi. Hal ini sesuai dengan penelitian Elangovan yang mendapatkan nilai kekerasan tertinggi berada pada daerah terdekat dengan *center of nugget* pada AA6061 [8]. Hal ini diakibatkan oleh perubahan deformasi plastis yang hebat akibat desakan *tool*, sehingga ukuran butir mengalami pengecilan. Dengan mengecilnya ukuran butir yang dihasilkan maka ikatan antar butir yang terbentuk akan semakin kuat. Pernyataan ini sesuai dengan penelitian Chi-Sung yang menyatakan bahwa ukuran butir di sekitar pin mengalami deformasi akibat torsi bertekanan tinggi disertai peningkatan temperatur [2].

4.3 Data Hasil Pengujian Tarik Geser

Gambar 7 menunjukkan hasil pembebanan nilai pengujian tarik geser dan didapatkan *trend* yang menurun dari variasi diameter *tool* 10 mm hingga 14 mm. Selain itu pada variasi kecepatan putar *tool* didapat *trend* yang meningkat dari variasi kecepatan 800 rpm hingga 1600 rpm kemudian turun pada kecepatan 2000 rpm.

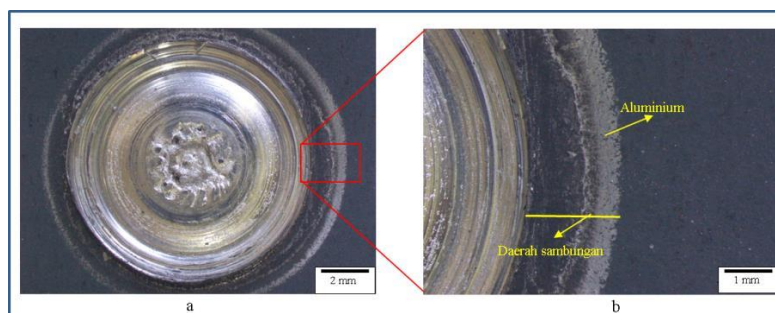
Variasi A3 (diameter *tool* 10 mm dan 1600 rpm) memiliki *tensile shear load* tertinggi yaitu 2413

N. Berdasarkan observasi mikroskopik, variasi A3 memiliki penampakan ukuran butir yang lebih kecil dibandingkan variasi C1 (diameter *tool* 14 mm dan 800 rpm) yang nilai *tensile shear load* terendah yaitu 25 N. Meningkatnya diameter *tool* memberikan efek panas yang semakin meningkat pada proses pengelasan sehingga ukuran butir akan menjadi besar. Hasil pengujian kekerasan *vickers* juga didapatkan nilai kekerasan tertinggi pada variasi A3 yaitu sebesar 65,4 HV. Gabungan dari semua hasil pengujian dan observasi visual yang dilakukan, variasi A3 merupakan variasi yang paling optimal pada sambungan las FSSW AA5052 dengan baja SS400.

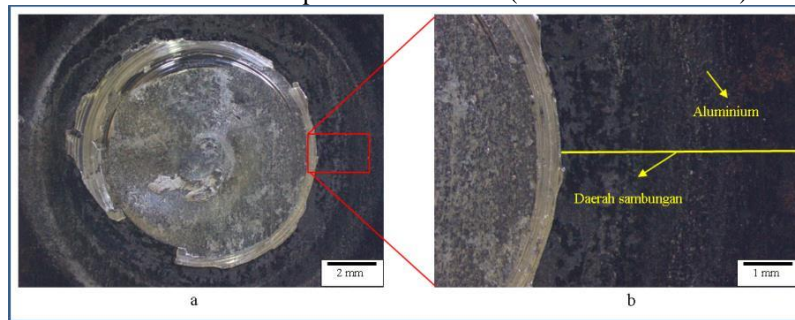


Gambar 7 Diagram hasil pengujian tarik geser

Hasil patahan pembebanan tarik geser menunjukkan mode patahan *interface* yang terjadi pada semua variasi hasil sambungan. Mode patahan retak *interface* memiliki arah patahan yang tegak lurus dengan arah pembebanan. Mode patahan *interface* yang dihasilkan pada pengujian tarik geser dapat dihubungkan dengan nilai *tensile shear load*. Gambar 8 memperlihatkan foto makro patahan *interface* pada bagian baja dengan variasi A3 yang memiliki nilai *tensile shear load* tertinggi. Permukaan patahan *interface* variasi A3 memperlihatkan pada daerah sambungan terdapat aluminium yang lebih banyak bila dibandingkan dengan variasi C1 yang memiliki nilai *tensile shear load* terendah. Gambar 9 juga memperlihatkan pada variasi C1 memiliki luasan daerah sambungan (*bonded zone*) lebih luas bila dibandingkan dengan variasi A3, namun aluminium yang terdapat pada permukaan hanya tipis. Hasil foto penampang permukaan patahan memperlihatkan bahwa banyaknya aluminium yang menempel pada baja mempengaruhi nilai kekuatan uji tarik geser.



Gambar 8 Foto makro patahan variasi A3 (diameter *tool* 10 mm)



Gambar 9 Foto makro patahan variasi C1 (diameter *tool* 14 mm)

KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Semakin bertambahnya diameter *tool* maka semakin besar *flash* yang didapatkan. Kecepatan putar 2000 rpm didapatkan hook terbesar dibandingkan dengan kecepatan putar 800 hingga 1600 rpm. Kemudian seiring bertambahnya kecepatan putar dan diameter *tool* didapatkan foto mikro lapisan reaksi yang semakin jelas.
2. Semakin bertambahnya kecepatan putar maka semakin besar nilai kekerasan *Vickers* pada bagian aluminium yang terdekat dengan *center of nugget*. Diameter *tool* 10 mm memiliki rata-rata nilai kekerasan *Vickers* yang lebih besar dibandingkan dengan diameter 12 mm dan 14 mm pada aluminium. Nilai kekerasan aluminium terbesar ditunjukkan variasi kecepatan putar 1600 dan diameter *tool* 10 mm pada bagian yang paling dekat dengan *center of nugget* dengan nilai kekerasan sebesar 65.4 HV.
3. Semakin bertambahnya kecepatan putar hingga kecepatan 1600 rpm maka semakin besar juga nilai *Tensile shear load* sambungan, namun menurun pada kecepatan 2000 rpm. Diameter *tool* 10 mm memiliki nilai *Tensile shear load* paling besar dibandingkan dengan diameter *tool* 12 mm dan diameter *tool* 14 mm. nilai *Tensile shear load* terbesar ditunjukkan oleh variasi kecepatan putar 1600 dan diameter *tool* 10 mm yaitu sebesar 2413 N dan didapatkan foto makro penampang patahan pada baja dengan aluminium yang lebih banyak menempel dibandingkan dengan variasi kecepatan putar 800 dan diameter *tool* 14 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Chen, "Process parameters study on FSW joint of dissimilar metals for aluminum-steel," *J. Mater. Sci.*, vol. 44, pp. 2573–2580, 2009.
- [2] C.-S. JEON, S.-T. HONG, Y.-J. KWON, H.-H. CHO, H.N. HAN, "Material properties of friction stir spot welded joints of dissimilar aluminum alloys," *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, vol. 22, pp. s605–s613, 2009.
- [3] R.S. Mishra, Z.Y. Ma, "Friction stir welding and processing," *Mater. Sci. Eng. R Reports*, vol. 50 pp. 1–78, 2005.
- [4] T. Sakayama, G. Murayma, Y. Naito, K. Saita, Y. Miyazakki, H. Oikawa, T. Nose, "Dissimilar metal joining technologies for steel sheet and aluminum alloy sheet in auto body," *Nippon. Steel. Technical. Report*, vol. 393, pp. 91–98, 2012.
- [5] M.K. Bilici, "Effect of tool geometry on friction stir spot welding of polypropylene sheets," *Express Polym. Lett.* vol. 6, pp. 805–813, 2012.
- [6] Z. Shen, X. Yang, Z. Zhang, L. Cui, Y. Yin, "Mechanical properties and failure mechanisms of friction stir spot welds of AA 6061-T4 sheets," *Mater. Des.* vol. 49, pp. 181–191, 2013.
- [7] A. Forcellese, F. Gabrielli, M. Simoncini, "Mechanical properties and microstructure of joints in AZ31 thin sheets obtained by friction stir welding using "pin" and "pinless" tool configurations," *Mater. Des.* vol. 34, pp. 219–229, 2012.
- [8] K. Elangovan, V. Balasubramanian, M. Valliappan, "Influences of tool pin profile and axial force on the formation of friction stir processing zone in AA6061 aluminium alloy," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* vol. 38, pp. 285–295, 2008.
- [9] J.M. Piccini, H.G. Svoboda, "Effect of pin length on Friction Stir Spot Welding (FSSW) of dissimilar Aluminum-steel joints," *Procedia Mater. Sci.* vol. 9 pp. 504–513, 2015.
- [10] L. Tricarico, R. Spina, D. Sorgente, M. Brandizzi, "Effects of heat treatments on mechanical properties of Fe/Al explosion-welded structural transition joints," *Mater. Des.* vol. 30, pp. 2693–2700, 2009.
- [11] S. Bozzi, A.L. Helbert-Etter, T. Baudin, B. Criqui, J.G. Kerbiguet, "Intermetallic compounds in Al 6016/IF-steel friction stir spot welds," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 527, pp. 4505–4509, 2010.