

PENGARUH KECEPATAN PUTAR TOOL PADA PENGELASAN FRICTION STIR WELDING DUA SISI MATERIAL ALUMINIUM 1XXX DAN 5XXX DENGAN VARIASI FEED RATE 60 MM/MNT DAN SUDUT KEMIRINGAN 1°

Febi Bhisma Waskita Jati^a, Muh. Budi Nur Rahman^b, Reli Adi Himasora^c

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jalan Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia, 55183

^afebibhismawaskitajati@gmail.com, ^bnurrahman_ummy@yahoo.co.id.

^crela.himarsora@gmail.com.

Abstrak

Friction stir welding (FSW) adalah proses pengelasan yang memanfaatkan putaran dari tool sehingga menghasilkan panas yang digunakan untuk menyambungkan material yang akan disambung. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh kecepatan putar tool pada pengelasan dua sisi (*double sided*) material aluminium seri 1xxx dan material aluminium seri 5xxx. Pengelasan dilakukan dengan variasi kecepatan putar tool 910 rpm, 1500 rpm, dan 2280 rpm dengan variasi feed rate 60 mm/mnt dan sudut kemiringan 1° dan kedalaman oembenaman pintool 4mm dan 2mm. Penelitian ini melakukan empat macam pengujian yaitu, pengujian struktur makro dan mikro, pengujian kekerasan, dan pengujian tarik terhadap hasil pengelasan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kekerasan pada daerah retreating sebesar 66.8 VHN lebih tinggi dari pada daerah advancing sebesar 38.7 VHN karena menggunakan bahan aluminium yang berbeda dan pada tiap kecepatan putar terlihat nilainya naik turun didaerah Stir Zone dan HAZ hal ini disebabkan karena pada proses pengujian salah satu titik spesimen yang terlihat dari gambar struktur mikro terdapat rongga/ pori-pori sehingga mengakibatkan naik turunnya nilai kekerasan. Nilai kekuatan tarik pada kecepatan putar 910 rpm mendapatkan nilai UTS sebesar 111.94 MPa. Sedangkan nilai tegangan terendah pada kecepatan putar 1500 rpm yaitu sebesar 92.44 MPa karena disebabkan terdapat rongga yang membentuk butiran kasar pada spesimen sehingga mengalami pahatan yang getas. Pengujian struktur mikro dengan variasi 910 rpm daerah *stir welding* menghasilkan butiran yang lebih banyak disebabkan oleh proses presitipasi aluminium sehingga meningkatkan sifat tarik dan kekerasannya lebih baik dari pada kecepatan putar yang lain semakin banyak butiran pada daerah *stir welding* maka kekuatan tarik dan kekerasannya semakin tinggi.

Katakunci: *friction stir welding*, aluminium, dua sisi, feed rate, sudut kemiringan.

Abstract

Friction stir welding (FSW) is a welding process that utilizes the rotation of the tool to produce heat that is used to connect the material to be joined. This study aims to determine the effect of tool rotational speed on welding double-sided (double sided) 1xxx series aluminum material and 5xxx series aluminum material. Welding is carried out with 910 rpm, 1500 rpm, and 2280 rpm rotational speed with a feed rate variation of 60 mm / min and a slope angle of 1° and a depth of 4mm and 2mm pintool burping. This study conducts four types of testing, namely, testing the macro and micro structures, hardness testing, and tensile testing of welding results. The test results show the correction value in the reverse region of 66.8 VHN is higher than in the developed area of 38.7 VHN because it uses a different aluminum material and at each rotating speed seen its value rises in the Stir Zone and HAZ regions this is caused by the specimen point process seen from the microstructure image there is a cavity / pore so its value rises. The tensile strength value at a rotating speed of 910 rpm get a UTS value of 111.94 MPa. While the lowest stress value at 1500 rpm rotational speed is 92.44 MPa because it is considered to be a cavity that forms coarse grains in the specimen thereby increasing brittle sculpture. Microstructure construction with a variation of 910 rpm welding area produces more granules from the aluminum precipitation process increasing tensile and hardness properties better than other rotational speeds more granules in the welding area stir then higher tensile and hardness.

Keywords: *friction stir welding*, aluminum, double sided, feed rate, welding angle.

1. Pendahuluan

Pesatnya perkembangan dunia industri telah mendorong munculnya berbagai inovasi gagasan yang baru guna untuk menghasilkan berbagai macam produk yang lebih unggul dan memiliki kualitas yang lebih baik. Dalam industri perkembangan otomotif inovasi atau terobosan baru sangat diperlukan untuk menjaga dan meningkatkan hasil produksi sehingga pemanfaatan dan penerapan teknologi merupakan hal yang mutlak harus dilakukan. Salah satu logam yang sangat penting di bidang teknik terutama untuk bahan struktur atau teknik mesin adalah aluminium, sebagai contoh stuktur alat bangunan, pabrik, dan otomotif. Saat ini penyambungan dengan cara pengelasan telah banyak digunakan pada berbagai konstruksi mesin. Salah satu metode pengelasan yang digunakan sebagai penyambung aluminium adalah *Friction Stir Welding (FSW)*.

Salah satu bahan logam yang dikembangkan sebagai bahan untuk pengelasan gesekan adalah aluminium. Aluminium adalah jenis logam yang memiliki sifat konduktor, lebih ringan dari baja, dan lebih tahan terhadap korosi. Paduan aluminium yang digunakan adalah aluminium seri 1xxx dan 5xxx. Pada penelitian ini kedua aluminium ini dilakukan pengelasan menggunakan FSW dua sisi (*double sided*).

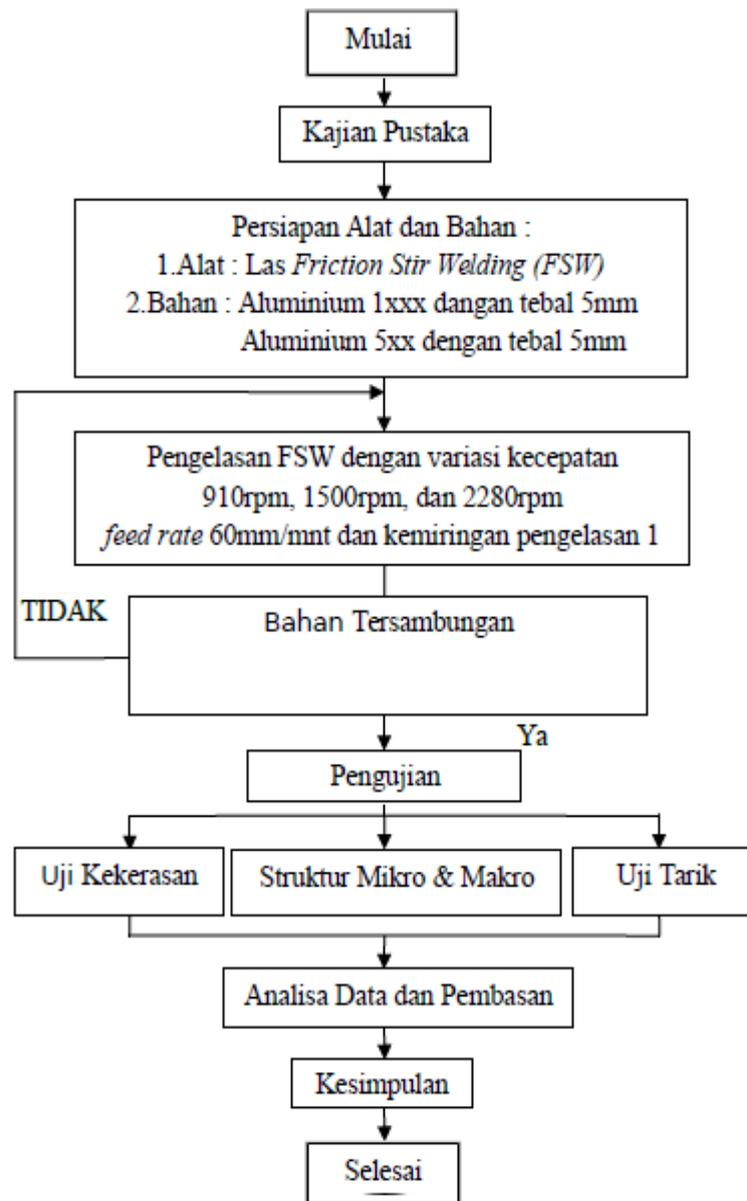
Penelitian yang dilakukan oleh Sudrajat, dkk, (2012), tentang sifat mekanik hasil pengelasan aluminium 1100 menggunakan metode *friction stir welding* dengan ketebalan 4 mm menyatakan bahwa cacat *wormholes* ini hal utama yang menyebabkan kekuatan tarik menjadi berkurang dan adanya celah karena kurangnya penetrasi yang menimbulkan konsentrasi tegangan pada hasil pengelasan. Pada pengujian kekerasan menyatakan bahwa logam las lebih lunak daripada logam induk, sedangkan daerah TMAZ mempunyai kekerasan yang paling rendah.

Berdasarkan dari hasil penelitian diatas dapat ditarik kesimpulan pengelasan FSW *single sided*/satu sisi terdapat kekurangan dengan adanya cacat *wormholes* dan berpengaruh pada nilai kekerasan dan kekuatan tarik. Kecepatan putaran *tool* merupakan parameter yang sangat penting dalam pengelasan *Friction Stir Welding*, hal ini dikarenakan putaran *tool* sangat berpengaruh terhadap panas yang dapat mempengaruhi nilai kekerasan dan kekuatan tarik terhadap panas pada aluminium. Penelitian FSW dengan menggunakan variasi putaran *tool* dan desain *tool* sudah banyak dilakukan, tetapi penelitian tentang pengelasan FSW *double sided* dengan variasi kecepatan putar, feed rate dan kemiringan sudut pengelasan masih sedikit dilakukan. Untuk itulah penelitian tentang pengaruh kecepatan *tool* pada pengelasan *Friction Stir Welding double sided*/ dua sisi material aluminium 1xxx dan 5xxx dengan variasi sudut kemiringan 1° ini dilakukan. Hal ini bertujuan untuk memberikan informasi baru tentang proses FSW.

2. Metode Penelitian

2.1 Proses Pengelasan

Proses pengelasan yang dilakukan yaitu pengelasan friction stir welding double sided/ dua sisi dengan menggunakan aluminium seri 1xxx dan aluminium 5xxx dengan variasi feed rate 60 mm/mnt dan sudut kemiringan 1°. Proses yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 1.

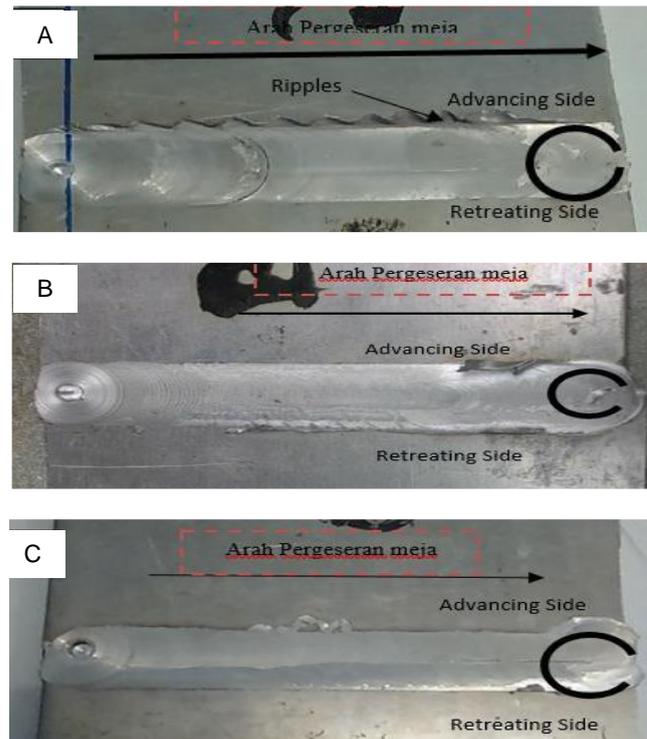


Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil pengelasan FSW

Hasil pengelasan aluminium dissimilar dengan variasi kecepatan putar tool dan menggunakan metode pengelasan *friction stir welding* dilakukan secara bolak-balik/ tumpuk ditunjukkan pada (Gambar 4). Pengelasan dengan metode FSW merupakan pengelasan yang terjadi pada kondisi padat (*solid state joining*) dengan memanfaatkan gesekan dari benda kerja yang berputar dengan benda kerja lain yang diam sehingga melelehkan benda kerja yang diam tersebut dan akhirnya tersambung menjadi satu.



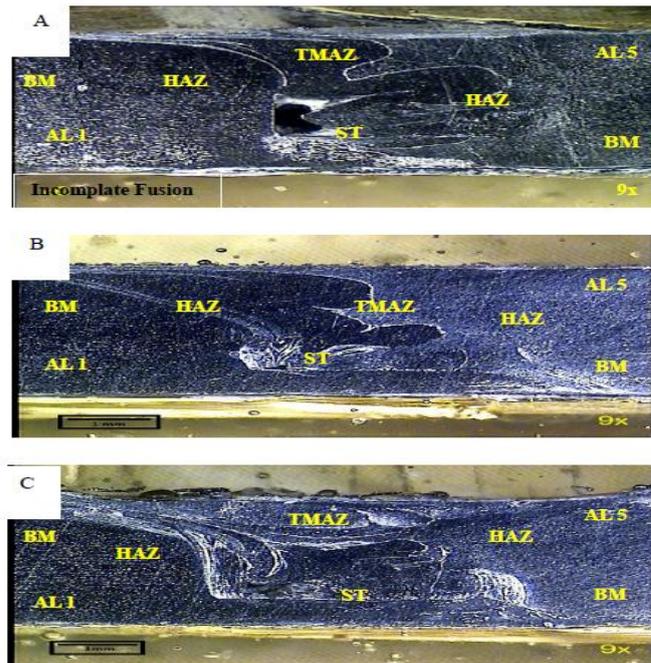
Gambar 4 Hasil pengelasan FSW dua sisi antara aluminium 1xxx dengan 5xxx variasi kecepatan putar (A) Rpm 910 (B) Rpm 1500 dan (C) Rpm 2280.

Pada Gambar 4 (A) hasil pengelasan dengan metode FSW dengan rpm 910 permukaan lasannya terlihat kasar hal ini disebabkan pada permukaan lasan terdapat *ripples* hal ini dikarenakan penetrasi pin *tool* kecepatan *feed rate* terlalu pelan sehingga menghasilkan panas yang cukup berlebih akibatnya banyak melelehkan aluminium yang akhirnya muncul ke permukaan kehasil pengelasan. Gambar 4 (B) dan (C) sambungan las menyatu dengan baik walaupun masih terdapat cacat yang disebabkan oleh *tools* yang terlalu menempel pada plat pada saat proses pengelasan dan tidak halus permukaan *tool* yang bergesekan dengan benda kerja yang menyebabkan hasil las tidak begitu halus dan rapi.

3.2 Hasil Pengujian Struktur Makro dan Mikro

- Hasil makro

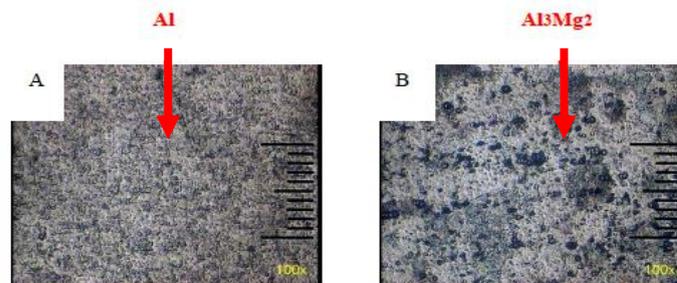
Pengamatan makro dikerjakan untuk mengetahui dan bisa membedakan daerah hasil lasan yang terdiri dari logam induk. Yaitu : HAZ, TMAZ dan *stir zone* pada hasil pengelasan FSW. Setelah diamati pada hasil foto struktur makro dengan pembesaran 9x hasil pengelasan *Friction Stir Welding* terdapat cacat *incomplete fussion* pada setiap variasi kecepatan putar. Terjadinya cacat *incomplete fussion* ini pada kecepatan putar 910 rpm, cacat ini terjadi karena pada saat proses pengelasan terjadi hambatan yaitu adanya slip yang dikarenakan *heat input* kurang tinggi sehingga penyambungan tidak dapat menyatu dengan sempurna yang mengakibatkan terjadinya celah pada pusat sambungan las.



Gambar 5 Struktur makro variasi kecepatan putar
 (A) Rpm 910 (B) Rpm 1500 dan (C) Rpm 2280

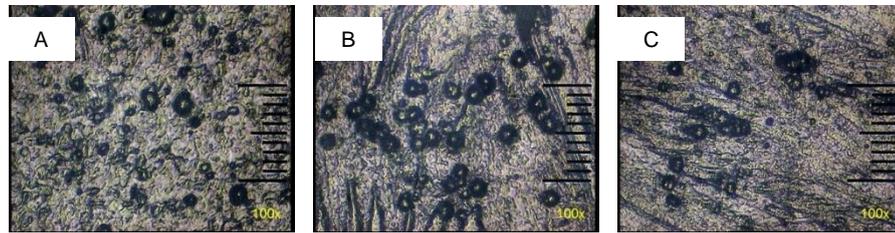
- Hasil mikro

Pengamatan struktur mikro dikerjakan untuk mengetahui perubahan struktur mikro yang terjadi akibat adanya proses pengelasan dengan metode FSW, yaitu didaerah *Stir zone*, HAZ, TMAZ, dan base metal. Pada pengelasan FSW dua sisi dengan menggunakan aluminium seri 5052 hanya terjadi penghasulan partikel-partikel pada daerah *stir zone* dan tidak perubahan fase. Menurut Wahdiyanto (2015) partikel hitam yang terdispersi merata pada matriks aluminium adalah Al_3Mg_2 , seperti yang dijelaskan pada Gambar 4.4 Ketiga daerah (*stir zone*, HAZ dan *base metal*) itu mendapatkan perlakuan yang berbeda pada saat proses pengelasan berlangsung, dengan adanya perlakuan yang berbeda maka ketiganya memiliki struktur mikro yang berbeda. Pengujian struktur mikro dilakukan dengan cara mengambil foto dengan pembesaran 100x untuk mengetahui struktur yang terjadi.



Gambar 6 Struktur mikro daerah base metal
 (A) Aluminium 1xxx dan (B) Aluminium 5xxx

Gambar 6 struktur mikro daerah *base metal* (BM) aluminium seri 1xxx dan 5xxx. Daerah *base metal* adalah bahan material yang belum dilas, jadi material tidak mengalami deformasi dan perubahan struktur makro. Bentuk butir pada *base metal* aluminium 1xxx dan aluminium 5xxx yaitu berbentuk proses perlakuan *cold working* pada saat proses pembuatannya.

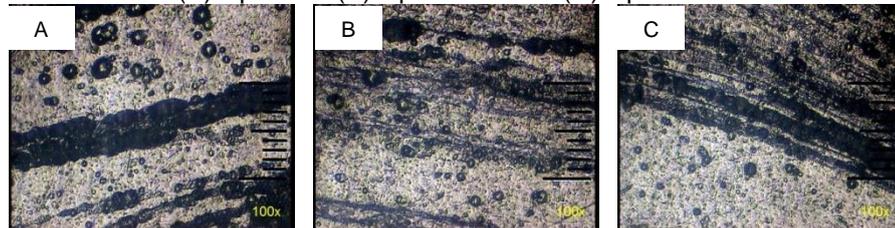


Gambar 7 Struktur mikro daerah stir zone
 (A) Rpm 910 (B) Rpm 1500 dan (C) Rpm 2280

Hasil pengamatan struktur mikro pada gambar 7 *stir zone* merupakan bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair kemudian membeku. Batas butir paling kecil terdapat pada kecepatan putar 2280 rpm dibandingkan dengan kecepatan putar 910 dan 1500 rpm yang memiliki batas lebih besar. Hal ini disebabkan karena semakin besar kecepatan putar maka akan semakin kecil batas butirnya.



Gambar 8 Struktur mikro daerah HAZ aluminium 1xxx
 (A) Rpm 910 (B) Rpm 1500 dan (C) Rpm 2280



Gambar 9 Struktur mikro daerah HAZ aluminium 5xxx
 (A) Rpm 910 (B) Rpm 1500 dan (C) Rpm 2280

Hasil pengamatan struktur mikro pada daerah HAZ memiliki butir las yang lebih besar dibandingkan daerah *base metal* terjadinya perubahan ukuran batas butir dikarenakan pengadukan pada proses pada saat proses pengelasan. Pada variasi kecepatan putar 1500 dan 2280 rpm terjadi pencampuran antara daerah *stir zone* dan *base metal* yang baik (merata) dibandingkan pada variasi kecepatan putar 910 rpm, hal tersebut dikarenakan pada kecepatan putar 910 rpm lambat sehingga proses pengadukan kurang maksimal.

Bedasarkan pada hasil struktur mikro gambar diatas terdapat perbedaan pada tiap- tiap daerahnya antara lain daerah *stir zone*, *base metal* dan HAZ. Hasil pengelasan pada variasi kecepatan putar 910 rpm terjadi cacat *incomplete fusion* yaitu hasil penyambungan pengelasan kurang merata dikarenakan pada kecepatan putar 910 rpm lambat dibandingkan kecepatan putar 1500 dan 2280 rpm yang hasil pengelasannya merata.

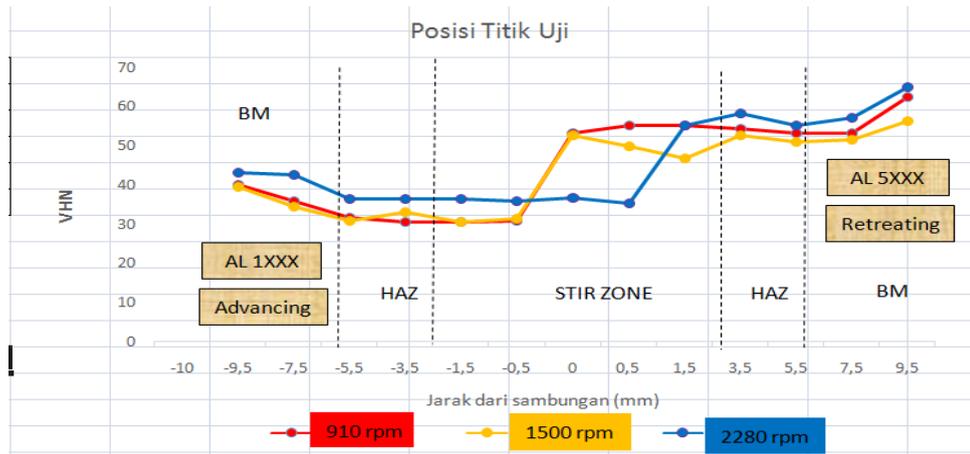
3.3 Hasil Pengujian Kekerasan

Hasil uji uji kekerasan pengelasan FSW menggunakan *micro hardness vickers* dan ditunjukkan dalam bentuk grafik hubungan jarak tiap penetrasi indenter terhadap pusat las dengan besarnya *Vickers hardness number* (VHN). Hasil plot grafik uji kekerasan ditunjukkan pada Tabel 1. Menunjukkan data hasil pengujian kekerasan *Vickers*.

Tabel 1 Hasil pengujian kekerasan

No	Jarak dari Sambungan (mm)		Nilai Kekerasan VHN				
			910Rpm	1500Rpm	2280Rpm	Raw Material Al 1xxx	Raw Material Al 5xxx
1	Al Seri 1xxx	9.5	40.1	39.5	43.2		
2		7.5	35.8	34.3	42.6		
3		5.5	31.7	30.9	36.3		
4		3.5	30.5	33	36.3		
5		1.5	30.5	30.5	36.3		
6		0.5	30.9	31.3	35,8		
7	Tengah	0	53.3	52.4	36.8	38.4	66
8	Al Seri 5xxx	- 0.5	55.1	49.8	35.3	39.5	67.3
9		- 1.5	55.1	46.7	55.1		
10		- 3.5	54.2	52.4	58.1		
11		- 5.5	53.3	50.7	55.1		
12		- 7.5	53.3	51.5	57.1		
13		- 9.5	62.4	56.1	64.8		

Pada proses pengelasan aluminium *Friction Stir Welding* dua sisi dengan menggunakan variasi kecepatan putar *pin tool*, kecepatan *feed rate* dan sudut kemiringan *pin tool*. Nilai kekerasan pada bagian tengah/daerah lasan lebih tinggi dari raw material aluminium seri 1xxx (retreating) berbeda dengan raw material aluminium seri 5xxx (advancing) yang memiliki nilai kekerasan paling tinggi dari pusat las dapat dilihat pada tabel 1.



Gambar 9 Grafik uji kekerasan

Dari gambar 9 grafik hasil uji nilai kekerasan pada daerah retreating dengan nilai 66.8 VHN lebih tinggi dari pada daerah advancing dengan nilai 38.7 VHN karena menggunakan bahan aluminium yang berbeda dan pada tiap kecepatan putar terlihat nilainya naik turun didaerah Stir Zone dan HAZ hal ini disebabkan karena pada proses pengujian salah satu titik spesimen yang terlihat dari gambar struktur mikro terdapat rongga/ pori - pori sehingga mengakibatkan naik turunnya nilai kekerasan.

3.4 Hasil Pengujian Tarik

Pengujian uji tarik dilakukan dengan dimensi uji tarik menggunakan standar ASTM E8-09 pada material aluminium seri 1xxx dan 5xxx pengelasan *Friction Stir Welding* dua sisi/ tump dengan kecepatan putar 910 rpm, 1500 rpm, dan 2280 rpm. Sifat-sifat logam induk secara umum yang meliputi sifat fisik, sifat mekanik dan sifat kimianya, logam induk aluminium seri 1xxx dan aluminium seri 5xxx dengan logam yang sudah dilas memiliki perbedaan nilai tegangan dan regangan yang sangat signifikan. Data hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 2.

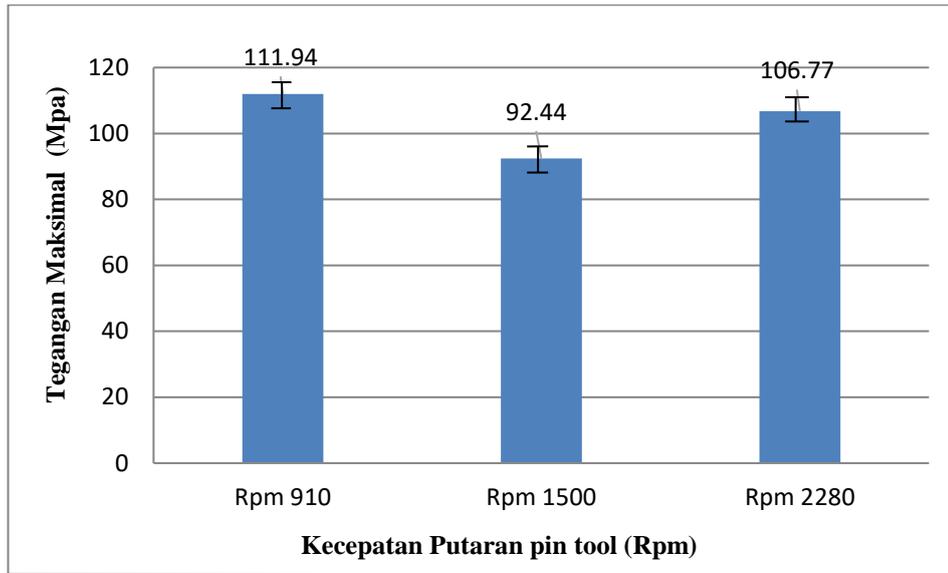
Tabel 2 Tegangan hasil uji tarik

Kecepatan Putar Pin Tool (Rpm)	Luas (mm ²)	Kekuatan Tarik (Mpa)			Rata-rata (Mpa)	Standar deviasi
		Spesimen I	Spesimen II	Spesimen III		
910	30	99.27	122.51	114.05	111.94	11.76
1500	30	100.93	109.25	67.16	92.44	22.29
2280	30	108.68	99.96	111.68	106.77	6.08

Tabel 3 Regangan hasil uji tarik

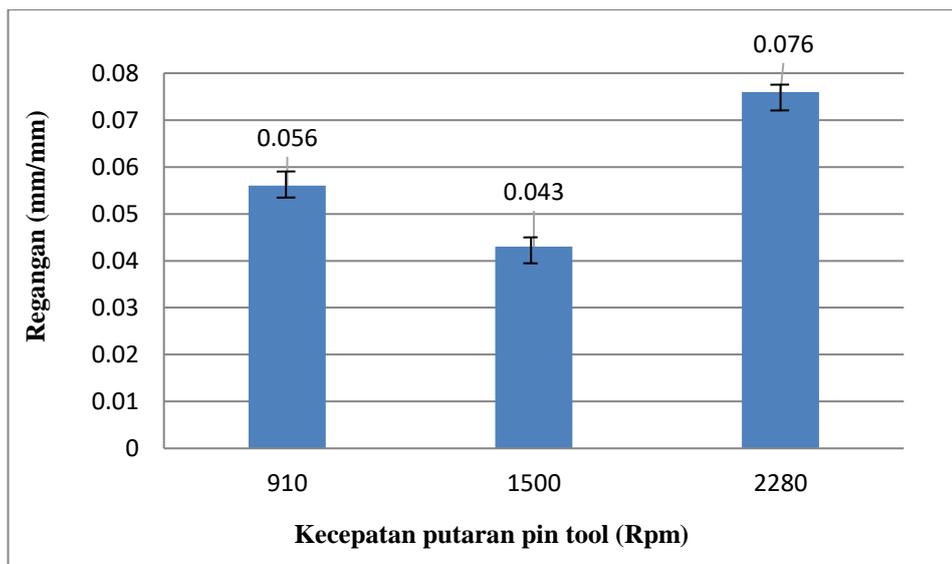
Kecepatan Putar Pin Tool (Rpm)	Luas (mm ²)	Regangan (mm/mm)			Rata-rata (%)	Standar deviasi
		Spesimen I	Spesimen II	Spesimen III		
910	30	0.04	0.07	0.06	0.056	0.015
1500	30	0.04	0.07	0.02	0.043	0.025
2280	30	0.07	0.05	0.11	0.076	0.030

Dari tabel diatas didapat grafik hubungan antara kecepatan putar tool dengan tegangan dan regangan.



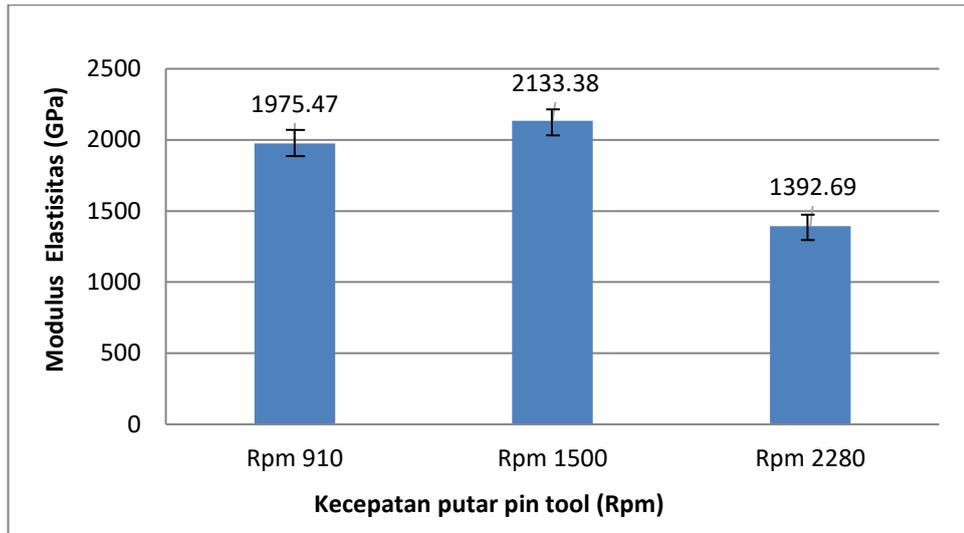
Gambar 10 Pengaruh kecepatan putar terhadap kekuatan tarik

Hasil pengujian tarik pada variasi kecepatan putar dapat diketahui bahwa kekuatan tarik pada kecepatan putar 910 rpm mendapatkan nilai UTS sebesar 111.94 Mpa. Sedangkan nilai tegangan terendah pada kecepatan putar 1500 rpm yaitu sebesar 92.44 Mpa karena disebabkan terdapat rongga yang membentuk butiran kasar pada spesimen sehingga mengalami patahan yang getas.



Gambar 11 Pengaruh kecepatan putar terhadap regangan

Hasil dari pengujian tarik pada variasi kecepatan putar dapat diperoleh nilai regangan tertinggi terdapat pada kecepatan putar 2280 rpm yaitu sebesar 0.076 mm karena disebabkan adanya *nacking* (pengecilan penampang) pada spesimen sehingga mengalami patahan yang ulet. Sedangkan terendah terdapat pada kecepatan putar 1500 yaitu sebesar 0.043 mm.



Gambar 12 Grafik modulus elastisitas

Pada gambar 4.11 kecepatan putar 910 rpm didapat nilai modulus elastisitas 1975.47 GPa, pada kecepatan putar 1500 rpm didapat nilai modulus elastisitas 2133.38 GPa, dan pada kecepatan putar 2280 rpm didapat nilai modulus elastisitas 1392.69 GPa. Nilai modulus elastisitas terendah terdapat pada variasi 2800 rpm yang disebabkan *heat input* belum cukup untuk melelehkan material sehingga menghasilkan sambungan yang solid. Sedangkan nilai modulus elastisitas tertinggi pada variasi 1500 rpm karena *heat input* cukup untuk melelehkan material sehingga didapat sambungan yang kuat.

3.5 Fraktografi

Analisa fraktografi dilakukan setelah melakukan pengujian tarik selesai maka akan mendapatkan hasil berupa kekuatan tarik dari pengelasan FSW. Proses pengambilan gambar dengan menggunakan alat mikroskop makro pengambilan gambar dengan meletakkan benda uji ditempat yang presisi agar dapat menghasilkan gambar yang maksimal.



Gambar 13 Permukaan patahan uji tarik
(A) Rpm 910 (B) Rpm 1500 dan (C) Rpm 2280

Setelah melakukan pengujian tarik pada hasil pengelasan FSW maka akan mendapatkan hasil patahan seperti pada gambar 4.12 menunjukkan bahwa daerah permukaan patahan hasil pengelasan yang runcing dan tidak rata. Patahan biasanya terjadi atas beberapa macam, yaitu *necking* (pengecilan penampang), terbentuknya rongga-rongga kecil, pembesaran rongga besar atau terjadi retak tegak lurus gaya yang berkerja dan pada akhirnya retak menjalar sampai terjadinya patahan. Proses pengelasan *Friction Stir Welding* dua sisi dengan aluminium seri 1xxx dan aluminium seri 5xxx menghasilkan sambungan las yang bersifat ulet yang ditandai dengan adanya *necking* pada patahan spesimen uji. Pada gambar 4.12 (b) mengalami patahan getas karena adanya cacat *incomplete fusion*. Cacat *incomplete fusion* yang terbentuk berupa lubang kecil yang terjadi pada bagian las dan tidak begitu menyatu dengan *specimen* yang dilas, hal tersebut membuktikan bahwa nilai kekuatan tarik berhungan dengan nilai kekerasan.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian tentang pengaruh kecepatan putar tool pada pangelasan *Friction Stir Welding* dua sisi material aluminium 1xxx dan 5xxx disimpulkan bahwa:

1. Hasil foto makro pada setiap variasi terdapat cacat *incomplete fusion*, cacat terbesar terjadi pada variasi 910 rpm dikarenakan pada saat proses pengelasan terjadi hambatan yaitu adanya slip yang dikarenakan *heat input* kurang tinggi sehingga penyambungan material tidak menyatu dengan sempurna dan mengakibatkan terjadinya celah pada pusat sambungan las. Hasil foto mikro dengan menggunakan kecepatan putar 1500 rpm menghasilkan butiran paling banyak sehingga makin keras.
2. Nilai kekerasan pada daerah retreating sebesar 66.8 VHN lebih tinggi dari pada daerah advancing sebesar 38.7 VHN karena menggunakan bahan aluminium yang berbeda dan pada tiap kecepatan putar terlihat nilainya naik turun didaerah Stir Zone dan HAZ hal ini disebabkan karena pada proses pengujian salah satu titik spesimen yang terlihat dari gambar struktur mikro terdapat rongga/ pori- pori sehingga mengakibatkan naik turunnya nilai kekerasan.
3. Nilai kekuatan tarik pada kecepatan putar 910 rpm mendapatkan nilai UTS sebesar 111.94 Mpa. Sedangkan nilai tegangan terendah pada kecepatan putar 1500 rpm yaitu sebesar 92.44 Mpa karena disebabkan terdapat rongga yang membentuk butiran kasar pada spesimen sehingga mengalami pahatan yang getas.

5. Daftar Pustaka

- Astm. (2010). *Standard Test Methods For Tension Testing Of Metallic Materials, Astm E8/E8m – 09*.
- Baihaqi , T., & Santosa, B. (2013). "Analisis Pengaruh Sisi Pengelasan Terhadap Sifat Mekanik Hasil Pengelasan Dua Sisi Friction Stir Welding Aluminium 5083 Pada Kapal Katamaran. *Tugas Akhir Teknik Perkapalan FTK*, 1-6.
- Prasetyana, D., (2016). "Pengaruh Kedalaman Pin (*Depth Plunge*) Terhadap Kekuatan Sambungan Las Pada Pengelasan Adukan Gesek Sisi Ganda (*Double Sided Friction Stir Welding*) Aluminium Seri 5083". *Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya*.
- Rahayu, D., (2012). Analisa Proses Friction Stir Welding Pada Plat Tipis Alumunium. *Tugas Akhir S-1 Universitas Indonesia*.
- Sudrajat, A., (2012). "Analisis Sifat Mekanik Hasil Pengelasan Aluminium 1100 Dengan Metode Friction Stir Welding (FSW)". *Universitas Jember, Jember*.

