

# Pengaruh Bentuk *Pin Tool* Terhadap Kekuatan Sambungan Las Pada Pengelasan *Friction Stir Welding Dissimilar Aluminium* Seri 1xxx Sebagai *Retreating* dan Aluminium Seri 5xxx Sebagai *Advancing*

Eko Ade Hari Wibowo<sup>a</sup>, Aris Widyo Nugroho<sup>b</sup>, Muhammad Budi Nur Rahman<sup>c</sup>

<sup>a</sup> UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA

Jl. Brawijaya, Kasihan, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta  
+62 22 9876 2798

e-mail: ekoade.hariwibowo@yahoo.com

<sup>b</sup> UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA

Jl. Brawijaya, Kasihan, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta  
+62 856 4336 1829

e-mail: ariswn70@gmail.com

---

## Intisari

*Friction Stir Welding* (FSW) merupakan salah satu metode pengelasan *solid state* dimana sambungan las terbentuk tanpa adanya penambahan logam pengisi (*filler metal*). Desain bentuk *pin* pada *welding tool* merupakan parameter yang sangat penting dalam pengelasan FSW. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh bentuk *pin tool* pada pengelasan FSW *dissimilar* aluminium seri 1xxx dan aluminium seri 5xxx.

Proses pengelasan menggunakan variasi bentuk *pin tool* silinder berulir, silinder tidak berulir, tirus berulir dan tirus tidak berulir dengan kecepatan putar *tool* 985 rpm dan *feed rate* 5 mm/min. Material yang digunakan pada penelitian ini adalah plat aluminium seri 1xxx dan aluminium seri 5xxx dengan panjang 100 mm, lebar 60 mm dan tebal 5 mm. Selanjutnya hasil sambungan las dilakukan pengujian struktur makro dan mikro, kekerasan dan uji tarik.

Hasil dari pengujian struktur makro menunjukkan terdapat cacat berupa *incomplete penetration* pada hasil pengelasan di semua variasi bentuk *pin tool*, sedangkan pada pengujian struktur mikro daerah pusat lasan (*stir zone*) mengalami deformasi dan pemanasan selama proses FSW yang menjadikan dimensi dan bentuk butir menjadi halus dan rapat dibandingkan dengan daerah lain. Pada daerah HAZ aluminium seri 1xxx dan seri 5 xxxx di semua hasil lasan terdapat garis hitam memanjang yang merupakan daerah *interface* antara raw material aluminium seri 1xxx dan aluminium seri 5xxx. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan nilai kekerasan tertinggi terdapat pada penggunaan bentuk *pin tool* tirus tidak berulir sebesar 72,7 VHN, sedangkan nilai kekerasan terendah pada penggunaan bentuk *pin tool* silinder tidak berulir sebesar 46 VHN. Untuk hasil pengujian tarik nilai kekuatan tarik tertinggi terdapat pada pengelasan dengan menggunakan bentuk *pin tool* silinder tidak berulir dengan nilai 86,98 mpa atau 79,65% dari raw material aluminium seri 1xxx dan 48,98% dari raw material aluminium seri 5xxx, sedangkan nilai kekuatan tarik terendah terdapat pada pengelasan menggunakan bentuk *pin tool* tirus tidak berulir sebesar 59,57 mpa atau 54,55% dari raw material aluminium seri 1xxx dan 33,54% dari raw material seri 5xxx.

**Keywords:** FSW, Bentuk *Pin Tool*, Uji Struktur Mikro, Kekerasan dan Tarik

---

## 1. PENDAHULUAN

Aluminium dan paduannya merupakan logam ringan yang banyak digunakan dibidang teknik karena mempunyai sifat tahan terhadap karat, kekuatan tinggi, tahan korosi dan mudah dibentuk, serta memiliki sifat mampu las (*weldability*) yang bervariasi tergantung pada jenis paduannya. Selain itu aluminium dan paduannya juga termasuk logam yang baik dalam penghantar listrik. Keunggulan dari aluminium dan paduannya dibandingkan dengan logam lain menyebabkan banyak digunakan secara luas dalam bidang transportasi, kedirgantaraan, otomotif, perkapalan dan lain-lain. Pengelasan merupakan salah satu metode yang sering dijumpai dalam proses penyambungan material aluminium.

Pada umumnya pengelasan aluminium dilakukan dengan menggunakan proses *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) atau *Gas Metal Arc Welding* (GMAW), namun pada kedua metode tersebut terdapat kendala dalam proses pengelasannya adalah aluminium merupakan penghantar panas yang baik, mempunyai titik lebur yang rendah dan adanya lapisan oksida pada permukaan sehingga sangat sulit untuk memanaskan atau mencairkan hanya sebagian kecil dari aluminium tersebut (Wiryosumanto dan Okumura, 2000). Cacat yang sering terjadi pada pengelasan aluminium menggunakan metode GTAW atau GMAW adalah porositas. Faktor yang menyebabkan porositas paling mendasar adalah larutnya udara kedalam logam las selama proses pengelasan berlangsung. Karena porositas adalah cacat jenis lubang yang terbentuk karena adanya gas yang terperangkap selama proses pengelasan yang umumnya disebabkan oleh elektroda basah atau jarak elektroda dengan benda terlalu jauh sehingga fungsi shielding gas pada elektroda tidak efektif (Edward dan Hendropasetyo, 2013). Permasalahan yang timbul pada pengelasan tersebut dapat diatasi dengan proses *Friction Stir Welding* (FSW), karena pengelasan ini tidak menggunakan busur las.

*Friction Stir Welding* (FSW) adalah salah satu metode atau teknik pengelasan *solid state* dimana sambungan las terbentuk tanpa penambahan logam pengisi (*filler metal*). Pengelasan FSW memanfaatkan panas yang dihasilkan dari gaya gesek tool (*pin* dan *shoulder*) yang berputar dan ditekan sepanjang garis sambungan antara dua benda kerja, sehingga logam mengalami pelunakan dan terjadi proses penyambungan yang dihasilkan dari deformasi plastis akibat adukan *pin* di lokasi pengelasan (Terry, 2005). Kelebihan dari pengelasan FSW yaitu dapat menyambung beberapa logam yang berbeda jenis (*dissimilar joint*) seperti aluminium dengan tembaga, aluminium dengan magnesium, aluminium dengan baja dan termasuk menyambung jenis paduan aluminium yang berbeda. Pada aplikasi teknik sambungan las tak sejenis aluminium seri 1xxx dan aluminium seri 5xxx dapat dijumpai di dunia industri seperti pembuatan panel pesawat, *tailor welded blank*, *chasis* dan lain-lain (Triyoko, 2016).

Perbedaan metalurgi logam las pada pengelasan material yang berbeda (*dissimilar*) akan mengakibatkan kendala tersendiri dan perlu perhatian khusus. Aluminium seri 1xxx memiliki kadar Aluminium 99% dan mempunyai sifat creep dan kekuatan tarik yang tinggi, sedangkan paduan aluminium seri 5xxx tidak dapat diperlakukan panas, sehingga perbedaan ini akan berpengaruh pada daerah HAZ (*heat affected zone*), TMAZ (*thermomechanically affected zone*) dan WM (*weld metal*) (Griffing, 1972). Oleh karena itu pada saat proses pengelasan parameter yang umum digunakan dalam proses FSW harus benar-benar diperhatikan antara lain geometri tool, kecepatan translasi tool (mm/min), kecepatan putar tool (rpm), dan sudut kemiringan tool (Mishra dan Mahoney, 2007). Agar pada daerah HAZ tidak terjadi perubahan sifat mekanik yang drastis dibanding logam induk, namun pada daerah HAZ struktur mikro akan berbeda dibandingkan logam induknya, hal ini terjadi karena panas terjadi pada saat pengelasan (Taban, 2010). Desain bentuk *pin tool* yang berbeda merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi hasil kualitas sambungan, struktur mikro, dan sifat mekanik pada sambungan las (Terry, 2005). Pada saat merancang tool pemilihan material perlu diperhatikan karena akan menjadi faktor yang menentukan kekuatan dan koefisien gesek tool.

Riswanda dan Ilman (2011), menggunakan paduan aluminium seri 5083 dan 6061-T6 pada variasi putaran 1200, 1400, dan 1600 rpm, didapatkan hasil kekerasan rata-rata tertinggi dilogam las pada spesimen putaran 1400 rpm yaitu 47,98 (kg/mm<sup>2</sup>), sedangkan nilai kekuatan tarik tertinggi adalah dengan menggunakan variasi putaran 1600 rpm yaitu 151 (Mpa).

Wijayanto, dkk (2011), menggunakan paduan aluminium seri 6061 dan 2024 pada putaran mesin 1500 rpm dengan variasi kecepatan pengelasan 50, 100, dan 150 mm/min. Tool untuk FSW yang digunakan adalah tipe EMS 45 *steel* dengan panjang 100 mm, panjang pin tool 3 mm, diameter pin tool 3 mm dan diameter shoulder 20 mm. Dimana hasil uji kekuatan tarik tertinggi adalah dengan menggunakan kecepatan pengelasan 50 mm/min yaitu 109 kg/mm<sup>2</sup>. Kekerasan paduan aluminium seri 2024 lebih tinggi dibanding Al-6061.

Nugroho (2016), menggunakan aluminium dan kuningan pada kecepatan putar tool 1550 rpm dengan *feed rate* pada 20 mm/min. Variasi dalam pengelasan ini adalah

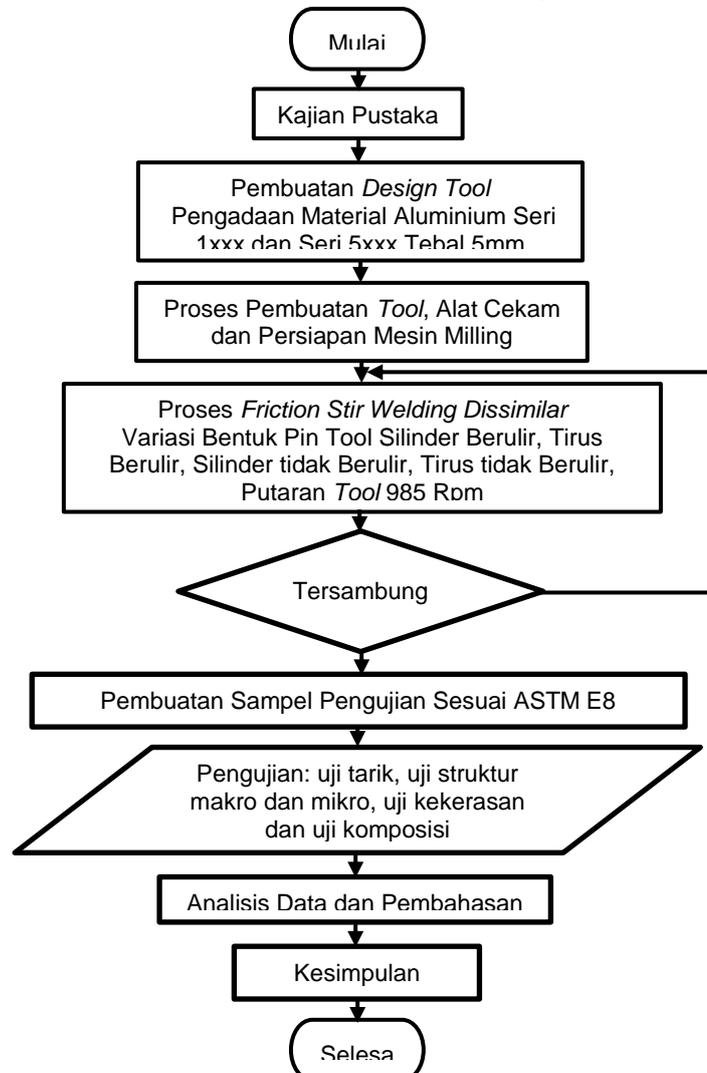
tentang penambahan panas dalam pengelasan sehingga suhu mencapai 300°C . Dimana hasil uji kekerasan tertinggi dengan penambahan panas sebesar 278,4 VHN, sedangkan nilai terendah pada pengelasan dengan perlakuan panas *Artificial Aging* sebesar 237,7 VHN. Untuk uji tarik nilai tertinggi terdapat pada spesimen pengelasan dengan penambahan panas dan perlakuan panas *Artificial Aging* dengan nilai sebesar 50,91 Mpa, sedangkan hasil uji tarik terendah pada pengelasan tanpa perlakuan panas sebesar 12,69 Mpa.

Berdasarkan uraian diatas, pengkajian terhadap pengelasan FSW pada material tak sejenis (*dissimilar weld*) masih sangat luas cakupannya. Banyak ilmu yang masih bisa digali untuk menjelaskan pengelasan FSW yang beragam, baik dari sisi metode pengelasan, kecepatan putar *tool*, kecepatan pengelasan, sudut kemiringan *tool*, kekerasan *tool*, geometri *tool*, dan meterial yang digunakan. Untuk itu penelitian tentang pengaruh bentuk *pin tool* pada FSW sambungan las tak sejenis (*dissimilar weld*) aluminium seri 1xxx dan 5xxx ini dilakukan, dengan harapan dapat memberikan informasi baru tentang pengelasan FSW variasi bentuk *pin tool* pada sambungan las tak sejenis.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Diagram Alir

Langkah-langkah utama dari pengelasan dengan metode FSW *dissimilar* aluminium seri 1xxx dengan aluminium seri 5xxx dapat dilihat dalam diagram alir pada Gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian FSW *Dissimilar* Aluminium Seri 1xxx dan Aluminium seri 5xxx

## 2.2 Bahan Penelitian

### 2.2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah plat aluminium seri 1xxx dan aluminium seri 5xxx yang memiliki ketebalan 5 mm, lebar 60 mm dan panjang 100 mm seperti pada Gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2 Plat Aluminium seri 1xxx dan aluminium seri 5xxx

Adapun komposisi dari aluminium seri 1xxx dan seri 5xxx dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2 dibawah ini.

Tabel 1 Komposisi aluminium seri 1xxx hasil pengujian di Laboratorium  
Cv. Karya Hidup Sentosa (Quick)

Unsur	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Ni	Pb	Sn	Al
%	0.09	0.40	0.054	0.014	0.011	0.053	0.014	0.0012	0.0003	0.0038	0.0043	99.36

Tabel 2 Komposisi aluminium seri 5xxx hasil pengujian di Laboratorium  
Cv. Karya Hidup Sentosa (Quick)

Unsur	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Ni	Pb	Sn	Al
%	0.09	0.25	0.03	0.04	1.9	0.033	0.02	0.28	0.0003	0.0011	0.004	97.36

### 2.2.2 Baja pejal

Baja yang digunakan ialah SS304 dengan diameter 22 mm dan panjang 100 mm. fungsi baja pejal sebagai bahan baku pembuatan *tool* untuk pengelasan FSW. proses pembuatan *tool* ini dilakukan di laboratorium Proses Produksi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.



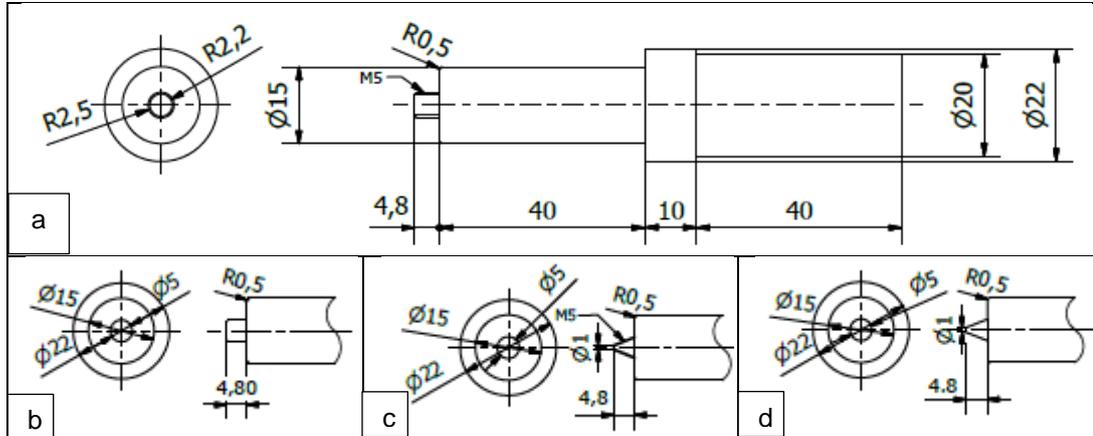
Gambar 3 Bahan Baku *Tool* FSW

## 2.3 Proses Penelitian

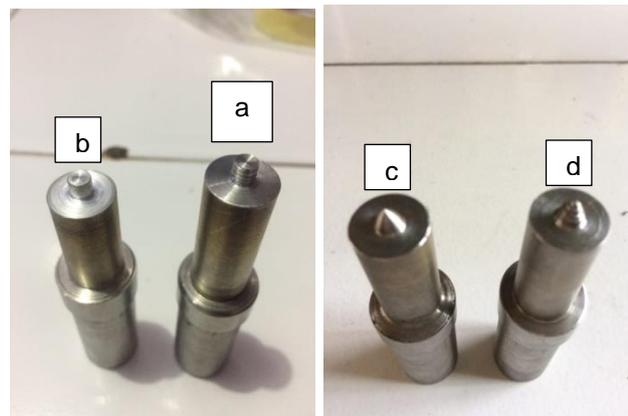
### 2.3.1 Proses Pembuatan Tool

Tool pengelasan dibuat dari baja pejal tipe SS 304 dan pembuatannya dilakukan di Jasatec menggunakan mesin bubut manual. Proses pembuatan *tool* dikerjakan

pengurangan diameter *tool* dari 22 mm menjadi 20 mm, setelah itu dilakukan pengerjaan pembuatan *shoulder* dengan cara memperkecil diameter *tool* dari 20 mm menjadi 15 mm dan membentuk *pin tool* dengan memperkecil diameter *shoulder* dari 15 mm menjadi 5 mm dengan panjang pin 5 mm, dengan panjang keseluruhan *tool* 94,8 mm. Desain dan bentuk *pin tool* pengelasan FSW dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4 Desain *tool* pengelasan FSW a) silinder berulir, b) silinder tidak berulir, c) tirus berulir, d) tirus tidak berulir (Helmi, 2017)



Gambar 5 Bentuk *pin* yang digunakan untuk proses FSW (a) silinder berulir, (b) silinder tidak berulir, (c) tirus berulir, (d) tirus tidak berulir

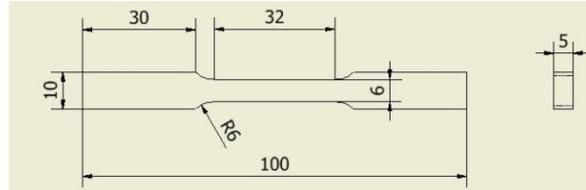
### 2.3.2 Proses Pengelasan

Proses pengelasan pada penelitian ini dilakukan dengan metode *friction stir welding* dengan parameter-parameter yang telah ditentukan seperti kecepatan putar *spindle* 985 rpm, kecepatan *feed rate* 5 mm/min dan variasi bentuk *pin tool* menggunakan bentuk *pin tool* silinder ulir, silinder tidak berulir, tirus berulir dan tirus tidak berulir. Benda kerja dijepit pada alat cekam (*ragum*) yang dipasang pada mesin *milling* kemudian menghidupkan mesin sehingga *tool* berputar dan *pin tool* dapat dimasukkan ke dalam benda kerja untuk mengaduk material aluminium yang panas karena gesekan. Selanjutnya *tool* bergerak secara horizontal dan terjadi proses penyatuan material aluminium seri 1xxx dan 5xxx (*joining process*). Setelah pengelasan sepanjang jalur lasan selesai, *tool* diangkat, matikan mesin dan benda kerja dipindahkan dari mesin *milling*.

### 2.3.3 proses pengujian

#### 1. pengujian tarik

Spesimen yang sudah tersambung kemudian dipotong vertikal searah jalur lasan untuk membuat spesimen pengujian tarik sesuai dengan pola standar ASTM E8/E8M-09 seperti pada Gambar 6. Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Material Teknik Universitas Negeri Surakarta dengan mesin UTM (*universal tensile machine*) dengan kecepatan pembebanan adalah 10 mm/menit.



Gambar 6 Skema Pengujian Tarik menurut ASTM E8/E8M-09

2. pengujian struktur mikro dan makro

Pengujian struktur mikro dan makro hasil pengelasan dapat dianalisa dengan pengamatan pada arah vertikal dari jalur lasan. spesimen disiapkan melalui beberapa tahapan, yaitu pemotongan, pengamplasan, pemolesan, etsa (*etching*) menggunakan standar ASTM E407-07 dan pemotretan dengan mikroskop optik pembesaran 100x. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin D3 Universitas Gadjah Madha.

3. pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan ini menggunakan metode *vickers* (VHN) bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam daya tahan material terhadap indenter intan yang cukup kecil dan mempunyai bentuk geometri piramid. Pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin D3 Universitas Gadjah Madha dengan menggunakan mesin SHIMADZU HMV-M3 *Hardness Tester*.

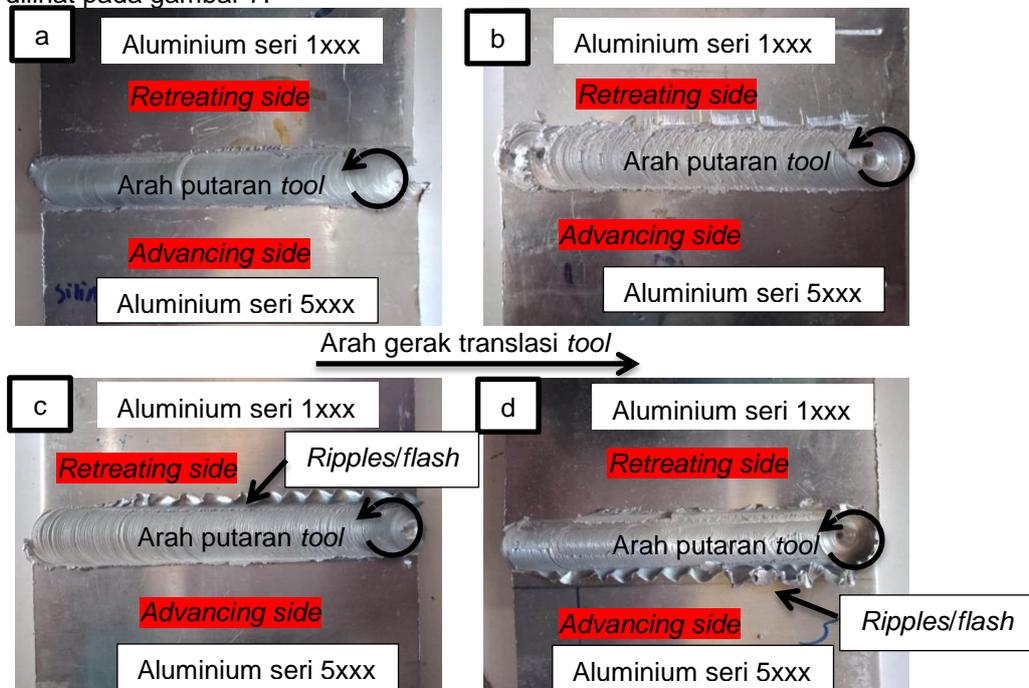
4. pengujian komposisi

Pengujian komposisi logam dilakukan di Laboratorium Logam CV. Karya Hidup Sentosa (Quick). Pengujian komposisi logam bertujuan untuk mengetahui unsur-unsur logam yang terkandung pada material tersebut. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan mesin *spectrometer Type* ARL 3560 sebagai alat pengujinya.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Hasil Pengelasan

Proses pengelasan antara material aluminium seri 1xxx dan aluminium seri 5xxx pada masing-masing variasi bentuk *pin tool* telah berhasil dilakukan. Hasil pengelasan dapat dilihat pada gambar 7.

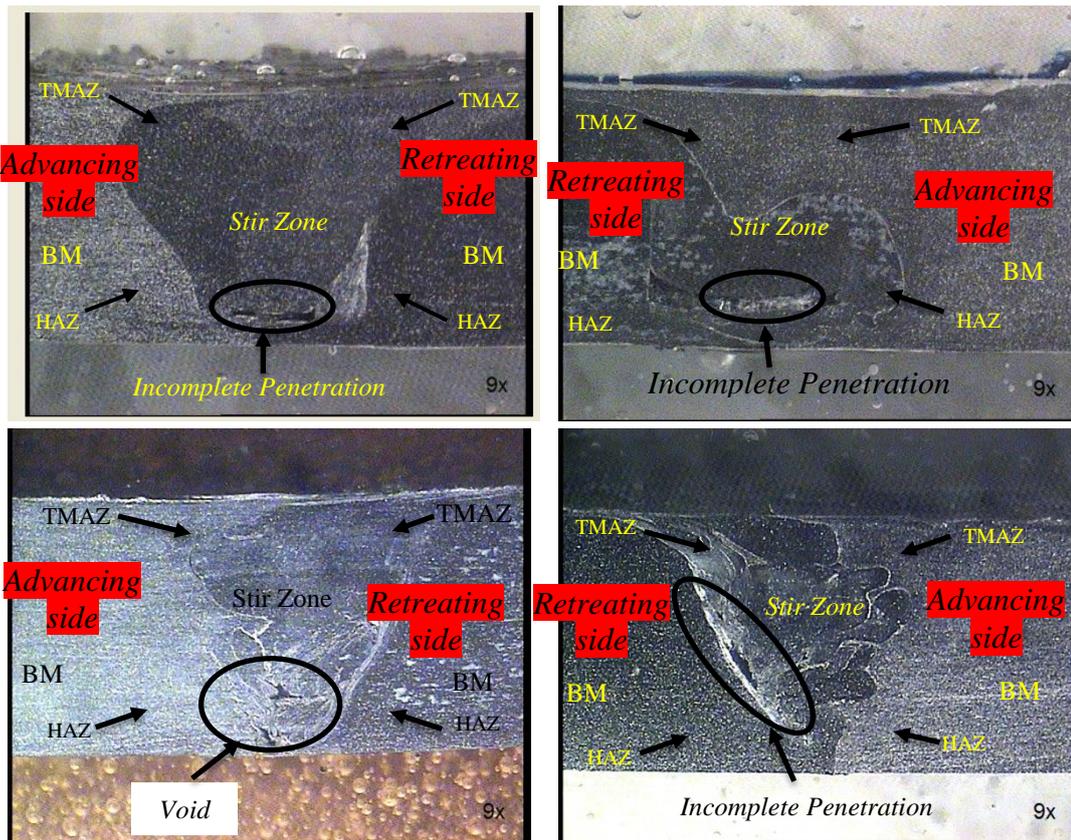


Gambar 7 hasil pengelasan FSW *dissimilar* antara aluminium seri 1xxx dengan aluminium seri 5xxx variasi bentuk *pin tool* (a) silinder berulir, (b) silinder tidak berulir, (c) tirus berulir, (d) tirus tidak berulir.

Pada gambar 7 hasil pengelasan pada masing-masing variasi bentuk *pin tool* dapat dilihat dari perbedaan bentuk dan kehalusan permukaan sambungan las dengan menggunakan metode FSW pada kecepatan putar 985 rpm dan *feed rate* 5 mm/min. pada gambar 7(a) hasil pengelasan dengan menggunakan *pin tool* berbentuk silinder berulir. Sambungan las menyatu dengan baik, bentuk dan kehalusan permukaan las terlihat rapi dan tidak terdapat *ripples/flash*. Hal tersebut dikarenakan panas yang dihasilkan oleh gesekan *shoulder* dengan benda kerja pada saat proses pengelasan cukup dan konstan hingga akhir pengelasan. Gambar 7 (b) menunjukkan hasil pengelasan menggunakan *pin tool* berbentuk silinder tidak berulir. Pada awal proses pengelasan sambungan las tidak menyatu dengan sempurna dan permukaan lasan terlihat kasar. hal tersebut dikarenakan gerakan translasi *tool* sudah dimulai tetapi temperatur pada benda kerja belum mencapai suhu rekristalisasi yaitu diatas 80°C sehingga ketika awal proses pengelasan temperatur yang terjadi belum berada pada kisaran suhu 88°-210°C. Pada Gambar 7(c) adalah hasil dari pengelasan menggunakan *pin tool* berbentuk tirus berulir. Permukaan hasil las terlihat halus dan sambungan menyatu dengan baik. Walaupun masih terdapat *ripples/flash* di sepanjang jalur lasan. *Ripples/flash* disebabkan oleh terlalu dalamnya penetrasi dari *welding tool* terhadap benda kerja pada saat proses pengelasan. Gambar 7 (d) pada permukaan hasil lasan terlihat retak disepanjang jalur las yang disebabkan kurangnya temperatur pada proses pengelasan. Terdapat juga *ripples/flash* pada hasil lasan yang disebabkan oleh terlalu dalamnya penetrasi dari *welding tool*.

### 3.2 Hasil foto makro dan mikro

#### 3.2.1 hasil foto makro



Pada Gambar 8 foto struktur makro hasil pengelasan FSW dissimilar aluminium seri 1xxx dan seri 5xxx dengan variasi bentuk *pin tool* pada (a) silinder berulir, (b) silinder tidak berulir, (c) tirus berulir, (d) tirus tidak berulir.

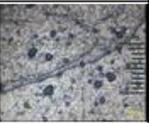
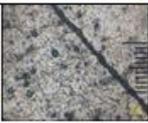
Perubahan yang terjadi pada daerah *stir zone* (daerah yang bersentuhan langsung dengan *welding tool* dan *shoulder*) merupakan efek dari deformasi pada temperatur tinggi akibat gerakan rotasi dan longitudinal dari *welding tool* dan *shoulder* yang mengakibatkan

butiran-butiran pada daerah *stir zone* menjadi lebih kecil dari butiran pada raw materialnya. Menurut (Wijayanto, 2011) ciri-ciri dari daerah *stir zone* adalah daerah beberapa lingkaran konsentris yang disebut sebagai struktur *onion ring* (lingkaran seperti bawang). Pada penelitian tentang pengujian struktur makro hasil lasan FSW *dissimilar* sebelumnya telah dilakukan oleh Wijayanto (2011). Hasilnya bentuk struktur mikro pada daerah *stir zone* butir mengalami distorsi sehingga nampak seperti *onion ring* dan masih terdapat cacat *incomplete penetration* dan cacat *void*. Hasil penelitian ini pun sama bahwa pada daerah tersebut masih terdapat cacat *incomplete penetration* karena panas yang dihasilkan akibat gesekan tidak cukup mampu melunakan dan mengalirkan material benda kerja sampai ke bawah permukaan material benda kerja (Maryati, 2016).

3.2.2 hasil foto mikro

Pengamatan foto mikro bertujuan untuk mengetahui perubahan struktur mikro yang terjadi akibat adanya proses pengelasan dengan metode FSW. pengujian ini menggunakan pembesaran 100x. Hasil pengujian struktur mikro dapat dilihat pada Tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Pengelasan FSW Dissimilar Aluminium Seri 1xxx dan Aluminium Seri 5xxx dengan Variasi Bentuk *Pin Tool*

Variasi Bentuk <i>Pin Tool</i>	Struktur mikro <i>Base Metal</i> Aluminium Seri 1xxx	Struktur mikro Daerah HAZ Aluminium Seri 1xxx	Struktur mikro Daerah <i>Stir Zone</i>	Struktur mikro Daerah HAZ Aluminium Seri 5xxx	Struktur mikro <i>Base Metal</i> Aluminium Seri 5xxx
Silinder Berulir					
Silinder tidak Berulir					
Tirus Berulir					
Tirus tidak Berulir					

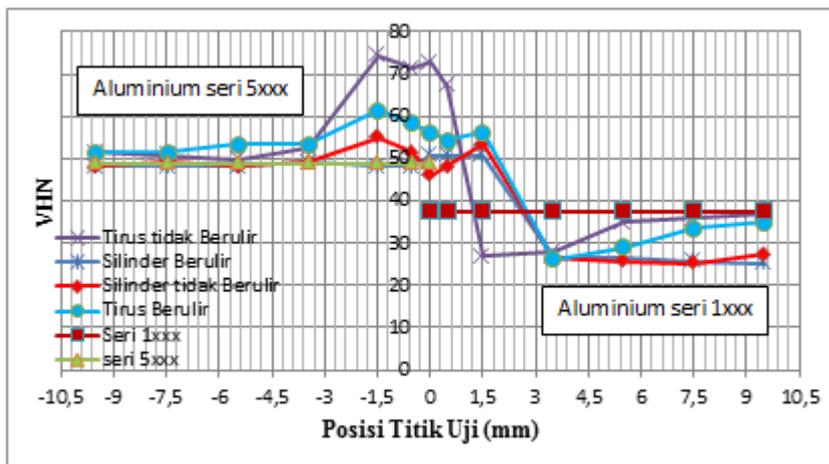
Pada Tabel 3 adalah foto hasil pengamatan struktur mikro spesimen uji setelah dilakukan proses etsa. Pada tabel tersebut menunjukkan terjadinya perubahan struktur mikro pada masing-masing daerah pengelasan. Hal ini dikarenakan panas yang diterima pada masing-masing daerah lasan berbeda-beda. Pada daerah *base metal* aluminium seri 1xxx dan 5xxx menunjukkan daerah tersebut tidak terpengaruh oleh panas yang dihasilkan oleh proses pengelasan, dapat dilihat bahwa bentuk butir dan dimensi struktur mikro yang tampak pada *base metal* berbentuk pipih dan memanjang searah *roll*. Pada daerah HAZ aluminium seri 1xxx dan aluminium seri 5xxx disemua hasil lasan terdapat garis hitam memanjang yang merupakan daerah *interface* antara raw material aluminium seri 1xxx dan aluminium seri 5xxx. Hal ini dikarenakan perbedaan metalurgi logam las pada proses pengelasan tak sejenis yang mengakibatkan daerah tersebut terlihat jelas dan menandakan bahwa sambungan antar material menyatu dengan baik.

Pada daerah *stir zone* adalah daerah yang mengalami deformasi dan pemanasan selama proses FSW berlangsung sehingga menghasilkan rekristalisasi yang merubah dimensi dan bentuk butir menjadi halus. Proses FSW menggunakan *welding tool* dengan *pin tool* berbentuk tirus tidak berulir menghasilkan struktur mikro yang lebih halus dan

rapat dibandingkan menggunakan bentuk *pin tool* lainnya. Hal ini akan berpengaruh pada sifat mekanik seperti kekuatan tarik dan kekerasan dari hasil sambungan las tersebut.

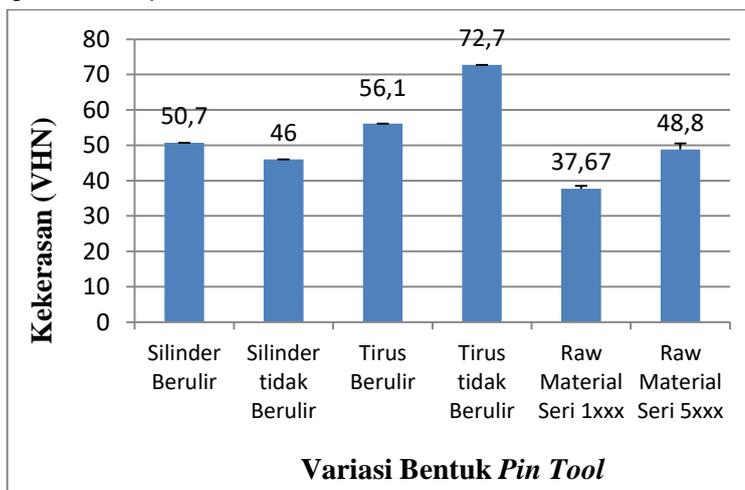
### 3.3 hasil pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan ini menggunakan metode uji *micro vickers* dengan beban yang digunakan 100 gf selama 5 detik. Hasil pengujian kekerasan pada sambungan *dissimilar* aluminium seri 1xxx dan aluminium seri 5xxx ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9 Grafik distribusi kekerasan pengelasan FSW *dissimilar* aluminium seri 1xxx dan seri 5xxx dari semua variasi bentuk *pin tool*

Dari Gambar 9 grafik distribusi nilai kekerasan pada spesimen uji dari hasil pengelasan FSW dengan variasi bentuk *pin tool*. Nilai kekerasan diperoleh dari pengujian dengan metode *Micro Vickers Hardness* dimana terdapat nilai yang berbeda pada setiap titik uji. Spesimen diuji sebanyak 13 titik dari pusat lasan (*stir zone*), HAZ, dan *base metal*. Pada daerah *stir zone* nilai kekerasan mengalami penurunan dan lebih rendah dibandingkan pada daerah HAZ. Penurunan nilai kekerasan pada daerah *stir zone* disebabkan karena perbedaan kekerasan dari *base metal* aluminium seri 1xxx dan aluminium seri 5xxx sehingga proses penyambungan kedua material tersebut relatif sulit jika tidak menerima masukan panas yang cukup pada saat proses pengelasan. Pada beberapa titik pengujian kekerasan baik dibagian aluminium seri 1xxx atau dibagian seri 5xxx nilai kekerasan yang diperoleh rata-rata melebihi dari raw material aluminium seri 1xxx ataupun aluminium seri 5xxx. Pada grafik distribusi nilai kekerasan tersebut juga terlihat nilai kekerasan tertinggi terdapat pada pengelasan dengan bentuk *pin tool* tirus tidak berulir dititik uji 0 sebesar 72,7 VHN dan nilai kekerasan terendah terdapat pada pengelasan dengan bentuk *pin tool* silinder tidak berulir sebesar 46 VHN.

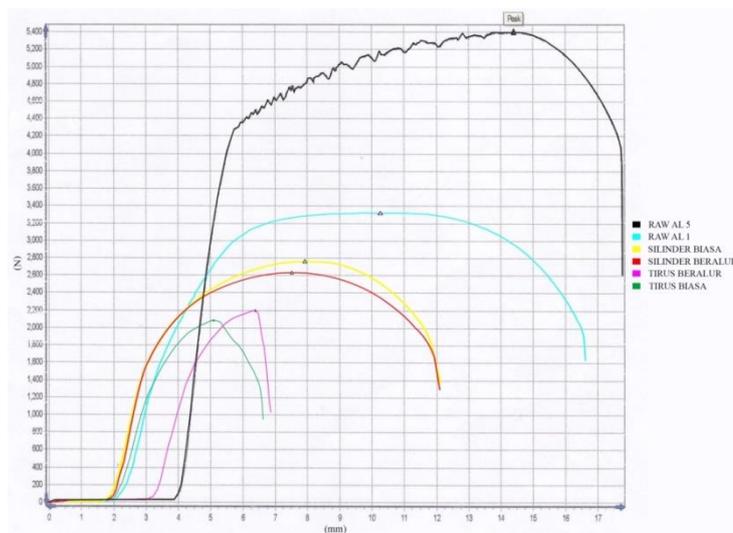


Gambar 10 Grafik pengaruh variasi bentuk *pin tool* terhadap kekerasan pada daerah sambungan las (titik 0)

Hasil pengujian kekerasan pada daerah sambungan pengelasan metode FSW *dissimilar* aluminium seri 1xxx dan aluminium seri 5xxx dengan variasi bentuk *pin tool* didapatkan nilai kekerasan yang ditunjukkan pada Gambar 10. Variasi bentuk *pin tool* tirus tidak berulir mendapatkan nilai tertinggi yaitu sebesar 72,7 VHN, kemudian nilai kekerasan selanjutnya terdapat pada variasi bentuk *pin tool* tirus berulir dengan nilai 56,1 VHN, pada pengelasan dengan bentuk *pin tool* silinder ulir diperoleh nilai kekerasan sebesar 50,7 VHN dan pengelasan menggunakan bentuk *pin tool* silinder tidak berulir diperoleh nilai sebesar 46 VHN. Dari hasil pengelasan FSW variasi bentuk *pin tool* tersebut nilai kekerasan yang diperoleh melebihi dari RAW Aluminium seri 5xxx sebesar 47,5 VHN dan melebihi 2 kali lipat dari nilai kekerasan RAW Aluminium seri 1xxx yang bernilai 38,4 VHN. Hal ini menunjukkan bahwa pada saat proses pengelasan *friction stir welding* berlangsung dengan baik yaitu dapat meningkatkan sifat mekanik khususnya pada kekerasan material. Perubahan dimensi dan bentuk butir pada daerah *stir zone* akan berpengaruh pada nilai kekerasan. Daerah *stir zone* dengan bentuk butir yang halus dan rapat akan mempunyai nilai kekerasan yang tinggi dibandingkan daerah sekitarnya karena semakin halus butir yang dihasilkan maka nilai kekerasan akan semakin tinggi (Biswajit dkk, 2011).

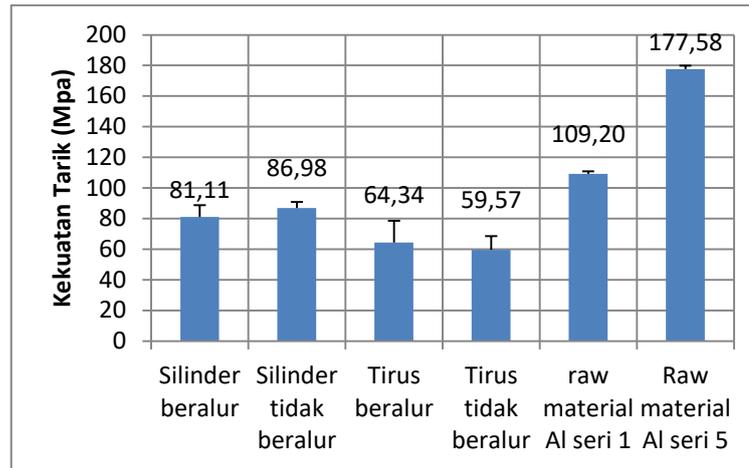
### 3.4 hasil uji tarik

Pengujian uji tarik dilakukan pada spesimen hasil pengelasan FSW *dissimilar* aluminium seri 1xxx dengan seri 5xxx. Dimensi spesimen untuk pengujian tarik menggunakan standar ASTM E08. Hasil yang diperoleh dari pengujian tarik berupa nilai tegangan dan regangan dari hasil pengelasan yang akan dibandingkan dengan nilai tegangan dan regangan dari *raw material*. Hasil uji tarik pada sambungan *dissimilar* aluminium seri 1xxx dan aluminium seri 5xxx ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 11 Grafik Uji Tarik hasil FSW *Dissimilar* antara Aluminium Seri 1xxx dengan Seri 5xxx

Gambar 11 menunjukkan bahwa antara logam raw material aluminium seri 1xxx dan seri 5xxx dengan logam yang sudah mengalami proses pengelasan dengan metode FSW memiliki perbedaan tegangan tarik yang signifikan, yaitu mencapai 81,49% pada aluminium seri 1xxx dan 49,89% pada aluminium seri 5xxx. Hal ini dikarenakan pada daerah las (*stir zone*) mengalami perubahan struktur mikro akibat proses pengelasan. Pada raw material aluminium seri 1xxx dan seri 5xxx mengalami patahan ulet dimana terjadi perpanjangan material yang cukup panjang sebelum akhirnya spesimen tersebut patah.



Gambar 12 Grafik pengaruh bentuk pin tool terhadap kekuatan tarik hasil las FSW dissimilar aluminium seri 1xxx dengan aluminium seri 5xxx

Pada Gambar 12 menunjukkan bahwa kekuatan tarik maksimum dari sambungan FSW *dissimilar* terdapat pada pengelasan menggunakan *pin* silinder yaitu sebesar 86,98 MPa atau 79,65% dari raw material aluminium seri 1xxx dan 48,98% dari raw material aluminium seri 5xxx. Hal ini terjadi karena pengadukan material benda kerja yang merata sesuai dengan bentuk *pin tool* yang digunakan. Sedangkan nilai kekuatan tarik yang paling rendah terdapat pada pengelasan FSW menggunakan bentuk pin tool tirus tidak berulir dengan nilai sebesar 59,57 MPa atau 54,55% dari raw material aluminium seri 1xxx dan 33,54% dari raw material seri 5xxx. Hal yang menyebabkan kekuatan tarik menjadi rendah karena pengadukan material benda kerja yang tidak merata sehingga adanya cacat pada sambungan las yang akan mengurangi nilai kekuatannya. Untuk variasi bentuk *pin tool* silinder berulir kekuatan tarik sebesar 81,11 MPa atau 74,27% dari raw material aluminium seri 1xxx dan 45,67% dari raw material seri 5xxx dan variasi bentuk *pin tool* tirus berulir kekuatan tarik sebesar 64,34 MPa atau 58,91% dari raw material aluminium seri 1xxx dan 36,23% dari raw material seri 5xxx.

Menurunnya nilai kekuatan tarik hasil pengelasan dengan metode FSW variasi bentuk *pin tool* di bandingkan dengan kekuatan tarik dari raw material dapat terjadi karena beberapa faktor, diantaranya adalah kedalaman penetrasi/pembendaman *welding tool* pada saat proses pengelasan berlangsung. Semakin dalam penetrasi *welding tool* menyebabkan keluarnya *ripples/flash* disepanjang jalur lasan sehingga mengakibatkan ketebalan dari hasil lasan material berkurang yang dapat menurunkan nilai kekuatan tarik. Pada Gambar 7 memperlihatkan adanya *ripples/flash* di sepanjang jalur lasan yang diduga menjadi penyebab tinggi rendahnya nilai kekuatan uji tarik pada pengelasan FSW *dissimilar* ini, semakin banyak *ripples/flash* di sepanjang jalur lasan maka semakin berkurang juga nilai kekuatan tariknya. Bentuk dan dimensi dari cacat lasan juga menjadi penyebab menurunnya nilai kekuatan tarik dari spesimen uji. Semakin besar cacat yang terjadi pada hasil lasan maka semakin besar juga nilai kekuatan tarik menurun.

#### 4. KESIMPULAN

Hasil penelitian tentang pengaruh variasi bentuk *pin tool* terhadap sambungan las *dissimilar* aluminium seri 1xxx dan aluminium seri 5xxx ketebalan 5mm dengan metode pengelasan *friction stir welding* menggunakan kecepatan putar 985 rpm dan kecepatan pengelasan 5 mm/min, dapat disimpulkan sebagaimana berikut:

1. Pada pengelasan *dissimilar* aluminium seri 1xxx dan aluminium seri 5xxx dengan metode FSW variasi bentuk *pin tool* telah berhasil dilakukan. Hasil sambungan las penggunaan bentuk *pin tool* silinder berulir dan silinder tidak berulir menyatu dengan baik, bentuk dan kehalusan permukaan las terlihat rapi dan tidak terdapat *ripples/flash* di sepanjang jalur lasan. sedangkan pada penggunaan bentuk *pin tool* tirus berulir dan tirus tidak berulir permukaan hasil lasan terlihat halus dan sambungan menyatu dengan baik tetapi masih terdapat *ripples/flash* disepanjang jalur lasan.

2. Variasi bentuk *pin tool* pada pengelasan FSW memiliki pengaruh terhadap struktur makro dan mikro. Pada hasil foto makro menunjukkan hampir semua hasil lasan masih terdapat cacat berupa *incomplete penetration* dan cacat *void*. Hasil pengamatan mikro menunjukkan pada daerah pusat lasan (*stir zone*) mengalami deformasi dan pemanasan selama proses FSW berlangsung sehingga menghasilkan rekristalisasi yang merubah dimensi dan bentuk butir menjadi halus. Penggunaan bentuk *pin tool* tirus tidak berulir menghasilkan struktur mikro yang lebih halus dan rapat dibandingkan menggunakan bentuk *pin tool* lainnya. Pada daerah HAZ aluminium seri 1xxx disemua hasil lasan terdapat garis hitam memanjang yang merupakan daerah *interface* antara raw material aluminium dengan daerah *stir zone*. Hal ini dikarenakan perbedaan metalurgi logam las pada prose pengelasan tak sejenis yang mengakibatkan daerah tersebut jelas dan menandakan bahwa sambungan antara 2 material menyatu dengan baik.
3. Pada pengujian kekerasan bentuk *pin tool* tirus tidak berulir mempunyai nilai kekerasan yang paling tinggi dibandingkan bentuk *pin tool* lainnya, nilai kekerasan sebesar 72,7 VHN, sedangkan nilai kekerasan terendah didapatkan pada penggunaan bentuk *pin tool* silinder tidak berulir, yaitu sebesar 46 VHN.
4. Hasil pengujian tarik diperoleh nilai rata-rata kekuatan tarik untuk masing-masing spesimen hasil pengelasan FSW *dissimilar* aluminium seri 1xxx dan aluminium seri 5xxx dengan variasi bentuk *pin tool*. Nilai kekuatan tarik tertinggi terdapat pada pengelasan dengan menggunakan bentuk *pin tool* silinder tidak berulir dengan nilai 86,98 MPa atau 79,65% dari raw material aluminium seri 1xxx dan 48,98% dari raw material aluminium seri 5xxx. Sedangkan untuk nilai terendah dari pengujian tarik terdapat pada pengelasan dengan menggunakan bentuk *pin tool* tirus tidak berulir sebesar 59,57 MPa atau 54,55% dari raw material aluminium seri 1xxx dan 33,54% dari raw material seri 5xxx.

## DAFTAR PUSTAKA

- ASTM, 2010. Standard test methods for tension testing of metallic materials, ASTM E8/E8M-09
- ASTM, 2011. Standard practice for microetching metals and alloys, ASTM E407-07
- Biswajit, P., Sukhomay, Pal., Pankaj, B., M M Mohapatra., Sujoy, T., 2011. Mechanical and Micro-struktural study of friction stir welding of AL-aloy. International journal of mechanical engineering (IJARME), ISSN: 2231-5950 vol 1(2).
- Edward, Z & Hendroprasetyo, W., 2013. Pengaruh bentuk probe pada tool shoulder terhadap metalurgi aluminium seri 5083 dengan proses friction stir welding. jurnal teknik pomit, vol 2(1), pp.112-115
- Griffin, L., 1972. "Welding book" 6 ed. Published by American welding society, 2501 N.W. 7<sup>th</sup> street miami, Florida 33125
- Helmi, I & Tarmizi., 2017. Pengaruh bentuk pin terhadap sifat mekanik aluminium 5083-H112 hasil proses friction stri welding. jurnal riset teknologi industri, vol 11(1), pp. 31-42.
- Maryati., 2016. Pengaruh kecepatan putaran tool terhadap sifat mekanik dan struktur mikro hasil pengelasan metode friction stir welding pada aluminium 5083-7075. Tesis pascasarjana universitas indonesia, depok
- Mishra, R & Mahoney M., 2007. Friction stir welding and processing, ASM internasional
- Nugroho, P. A., 2016. Pengaruh perlakuan panas terhadap kekuatan sambungan las dissimilar aluminium seri 1xxx dan kuningan dengan metode friction stir welding. Yogyakarta, skripsi jurusan teknik mesin fakultas teknik universitas muhammadiyah yogyakarta.
- Riswanda & Ilham M, N., 2011. Pengaruh variasi putaran terhadap struktur mikro dan sifat mekanik sambungan las tak sejenis pada aluminium 5083 dan 6061-T6 pada proses las FSW. industrial research and national seminar, pp. 34-39
- Taban, E., Gould, J. E., Lippold, J. C., 2010. Dissimilar friction stir welding of 6061-T6 aluminium and AISI 1018 steel: Properties and microstructural characterization,

- Terry, K., 2005. An outsider looks at friction stir welding, repport #: anm-112N-05-06, federal aviation administration
- Wijayanto, J., Mujiarto, S., Rustianto, T., 2011. Friction Stir Welding/FSW pada paduan aluminium seri 6061 dan 2024.
- Wiryasumanto & Okumura, T., 2000. Teknologi Pengelasan Logam, Jakarta, PT. Pradnya Paramita