

# Pengaruh Bentuk Pin Tool Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Pada Friction Stir Welding Dissimilar Al 5xxx Sebagai Retreating Dan Al 1xxx Sebagai Advancing

Bagas Wiratama<sup>a</sup>, Aris Widyo Nugroho<sup>b</sup>, Muhammad Budi Nur Rahman<sup>c</sup>

<sup>a</sup> UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA

Jl. Brawijaya, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta  
+6285341517082  
e-mail: bagaswiratama26@gmail.com

<sup>b</sup> UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA

Jl. Brawijaya, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta  
+62274 387656  
e-mail: ariswidyo.nugroho@umy.ac.id

---

## Intisari

*Friction stir welding (FSW) adalah proses penyambungan material dengan kondisi solid state atau logam tidak meleleh saat di lakukan penyambungan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh bentuk pin tool terhadap sifat mekanik, struktur makro dan mikro pada sambungan logam tak sejenis (dissimilar) dengan menggunakan paduan aluminium seri 5xxx dan 1xxx dengan dimensi ketebalan 5 mm, lebar 60 mm dan panjang 100 mm.*

*Pengelasan dilakukan dengan kecepatan putaran tool 1500 rpm, kecepatan pengelasan 5 mm/menit, sudut kemiringan tool 0° dan kedalaman pembenaman pin 4,8 mm dengan 4 variasi bentuk pin tool yaitu silinder, silinder berulir, tirus, tirus berulir. Penelitian ini menggunakan empat pengujian yaitu pengujian komposisi aluminium, pengujian struktur makro dan mikro, kekuatan tarik dan kekerasan terhadap hasil lasan.*

*Berdasarkan hasil pengujian mekanik menunjukkan penggunaan bentuk pin tool silinder memiliki nilai kekerasan tertinggi dan kekuatan tarik tertinggi pada bentuk pin tool tirus yaitu sebesar 49,8 VHN dan 84,22 MPa namun masih lebih rendah dari logam induk karena adanya cacat las. Pada pengujian struktur mikro dengan pin berbentuk silinder berulir menghasilkan butiran yang lebih halus dibandingkan dengan menggunakan bentuk pin lainnya, butiran yang halus memiliki struktur yang lebih rapat sehingga ikatan antar atomnya lebih kuat. Berdasarkan hasil penelitian ini masing-masing bentuk pin tool memiliki kekurangan dan kelebihan pada sifat mekanik dan struktur mikro.*

**Keywords:** Pin Tool, Dissimilar, Aluminium 1xxx & 5xxx, Friction Stir Welding

---

## 1. PENDAHULUAN

Aluminium merupakan salah satu logam yang sangat penting dalam dunia industri. Aluminium adalah logam non-ferrous yang memiliki sifat istimewa yaitu tahan terhadap korosi, penghantar listrik dan panas yang baik, mudah dibentuk dan lentur sehingga banyak digunakan dalam proses pembuatan kereta api, pesawat terbang, kapal laut dan otomotif. Seiring dengan berkembangnya jenis material dan aplikasi dari material yang ada saat ini maka teknik penyambungan material juga perlu dikembangkan. Teknik pengelasan yang saat ini banyak dikembangkan adalah teknik pengelasan friction stir welding (FSW). FSW merupakan sebuah metode pengelasan yang telah ditemukan dan dikembangkan oleh Wayne Thomas untuk benda kerja aluminium dan aluminium alloy pada tahun 1991 di TWI (The Welding Institute) Amerika Serikat (Nandan dkk, 2009).

Pengelasan dengan menggunakan dua material yang berbeda peroperties mulai banyak dilakukan untuk meningkatkan efektifitas dan efisiensi produksi, serta untuk meningkatkan kualitas produk. Hal ini mulai menjadi trend di dunia industri seperti pembuatan *tailor welded blanks*, pembuatan *chasis*, panel pesawat dan lain lain. Dimana material yang banyak dieksplorasi saat ini adalah material jenis aluminium. Aluminium mempunyai karakter yang cukup sulit untuk dilakukan pengelasan namun mempunyai keunggulan pada kekuatan yang cukup baik, tahan korosif, dan ringan. Kendala ini dapat diatasi dengan pengelasan metode solid state welding (SSW), salah satunya dengan pengelasan Friction stir welding.

Proses *friction stir welding* adalah proses pengelasan yang dapat menghubungkan logam las dengan suhu rendah di bawah titik leleh material sehingga dapat digunakan untuk menghubungkan aluminium. Namun, ditemukan bahwa bila dibandingkan dengan metode pengelasan seperti pengelasan gas, TIG dan MIG, FSW memiliki perbedaan dalam hal sifat mekanik lasan. Variasi pada alat rotasi, makan dan diameter shoulder atau medan pengelasan gesek di mana pemanasan berlangsung dapat menyebabkan perubahan nilai kekuatan las dan kekerasan. Oleh karena itu, perlu untuk mendapatkan nilai putaran, kecepatan pemakanan dan diameter shoulder untuk menghasilkan sifat mekanik yang baik dalam lasan (Nur, 2017)

Masalah yang timbul pada pengelasan aluminium tersebut bisa diatasi dengan proses *Friction stir welding* (FSW), karena pengelasan ini tidak menggunakan busur las. FSW adalah salah satu metode pengelasan solid state dimana hasil sambungan las terbentuk tanpa melalui pelelehan material. FSW memanfaatkan panas yang dihasilkan dari gesekan antara benda kerja dan tool yang berputar, sedangkan penyambungan material merupakan hasil dari deformasi plastis akibat adukan *pin* di lokasi pengelasan (Khaled, 2005).

Parameter pengelasan yang umum digunakan dalam proses FSW antara lain geometri tool, kecepatan putar tool (rpm), kecepatan translasi tool (mm/min), dan sudut kemiringan tool (Mishra dan Mahoney, 2007). Geometri tool khususnya pada profil *pin* memberikan pengaruh yang besar terhadap pemanasan dan aliran per

indahan material. Desain profil *pin* akan menghasilkan kualitas sambungan yang berbeda, dan perubahan sifat mekanis serta struktur mikro pada hasil sambungan juga akan berbeda (Khaled, 2005).

Peneliti terdahulu telah meneliti tentang pengaruh bentuk *pin* (*probe*) terhadap sifat mekanis dengan proses FSW dari penelitian yang telah dilakukan oleh Tarmizi (2016), menggunakan Aluminium 5052 pada variasi bentuk *pin* silinder ulir, segitiga ulir, kerucut ulir, didapatkan nilai kekuatan tarik dan kekerasan yang tertinggi pada bentuk *pin* silinder ulir sebesar 120.442 MPa dan 38.27 HV.

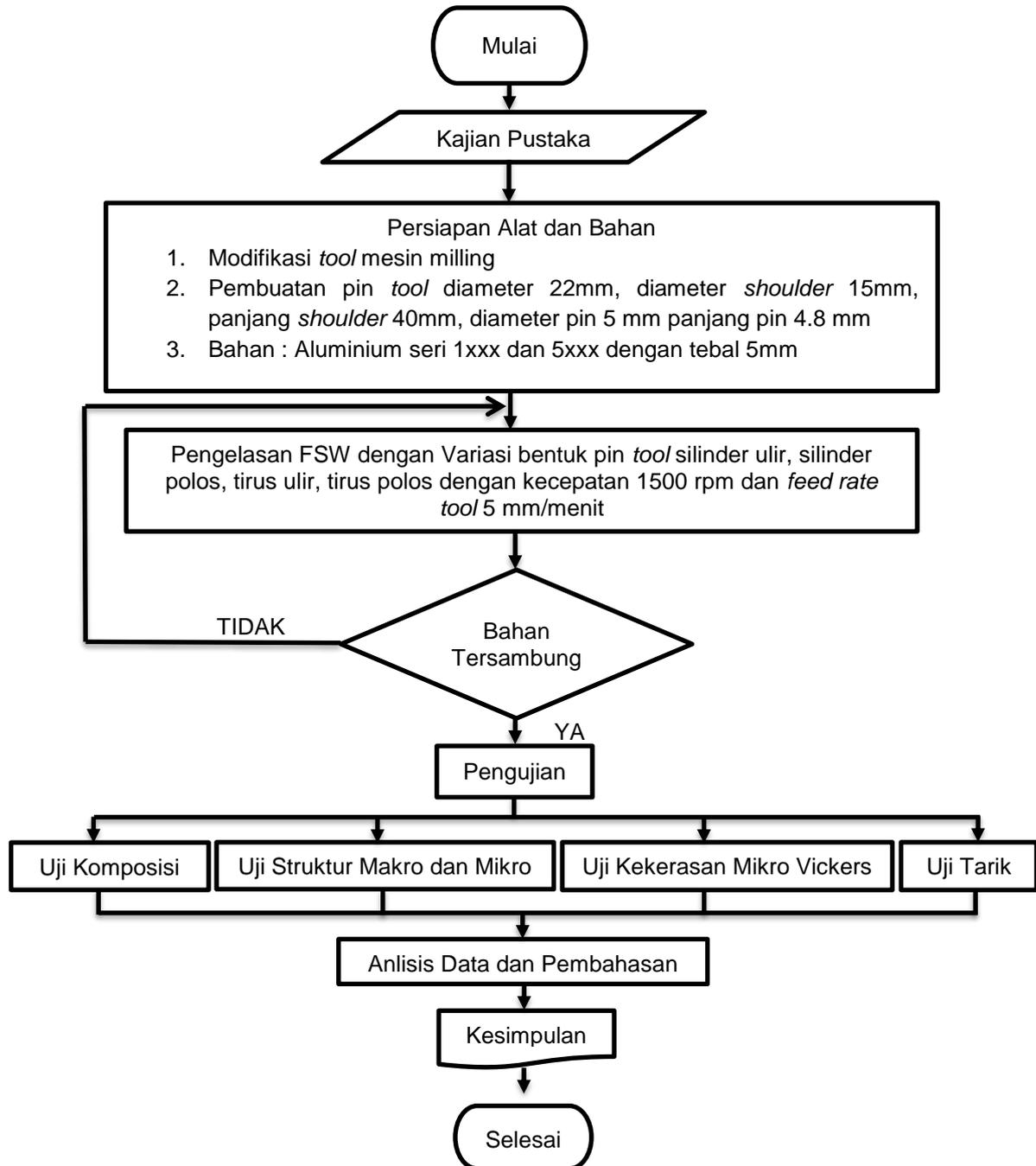
Dari hasil penelitian yang dilakukan Sumarlin (2015), dilakukan tiga pengujian struktur mikro, pengujian tarik, dan kekerasan Brinell. Dari tiga *pin* tool (segitiga, segiempat, bulat) tersebut masing-masing *pin* tool memiliki kekurangan dan kelebihan, *pin* tool yang memiliki kekerasan tertinggi adalah *pin* tool bulat nilai kekerasan 27.9 BHN dari spesimen standarnya (tanpa pengelasan) nilai kekerasan 38.1 BHN. *Pin* tool yang memiliki kekuatan tarik tertinggi adalah segi empat tegangan luluh 46.35 MPa, tegan maksimum 79.28 MPa dan regangan 13.5 dari spesimen standarnya (tanpa pengelasan) tegangan luluh 111.63 MPa, tegangan maksimum 125.30 MPa dan regangan 19.8

Dari hasil beberapa penelitian diatas dapat disimpulkan bahwa bentuk *pin tool* pada proses pengelasan FSW sangat berpengaruh terhadap hasil pengelasan FSW, penggunaan *pin tool* juga berpengaruh terhadap sifat mekanik dan struktur mikro. Pada penelitian ini membahas tentang pengaruh bentuk *pin* (*probe*) suatu *tool* yang dapat digunakan untuk pengelasan dengan proses FSW. Bahan yang digunakan untuk *tool* adalah SS-304 yang memiliki variasi *pin* (*probe*) berbentuk silinder, silinder berulir, tirus, tirus berulir ini akan digunakan pada mesin frais (*milling machine*) sebagai sumber tenaga penggerak. Parameter tetap yang digunakan dalam penelitian ini adalah, RPM, feed rate, dan tekanan *tool*. Sementara yang akan diamati adalah perubahan struktur mikro dan sifat mekanik yang dihasilkan dari variasi bentuk *pin tool*.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Diagram Alir penelitian

Langkah-langkah utama dalam proses pengelasan dengan metode FSW dapat dilihat pada gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1 Diagram Alir Percobaan FSW Pada Plat Aluminium *dissimilar*

## 2.2 Prosedur Penelitian

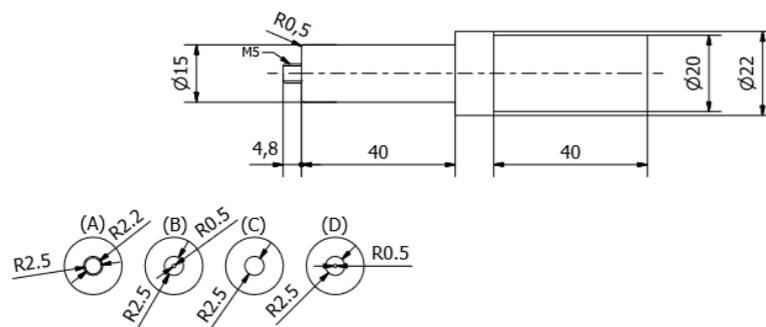
Bahan yang digunakan pada penelitian ini ialah pelat paduan aluminium seri 5xxx dan seri 1xxx. Uji komposisi kimia dari kedua paduan tersebut dilakukan dengan menggunakan spektrometer yang bertujuan untuk mengetahui unsur kimia ditunjukkan pada Tabel 1. Pelat yang yang digunakan dipotong dengan ukuran 60 x 100 mm dan tebal 5 mm menggunakan *water jet*, dimana pengelasan FSW dengan bentuk *butt joint* dilakukan

pada sisi 100 mm dengan posisi AA 1xxx berada pada sisi advancing, sedangkan AA 5xxx berada pada sisi retreating.

**Tabel 1.** Komposisi Kimia Dalam % Pelat Aluminium (ASM Material Data Sheet)

Alloy	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
5052	0.25	0.4	0.1	0.1	2.2-2.8	0.15-0.35	0.1	-	97.36
1100	0.09	0.4	0.05-0.20	0.05	-	-	0.1	-	99.36

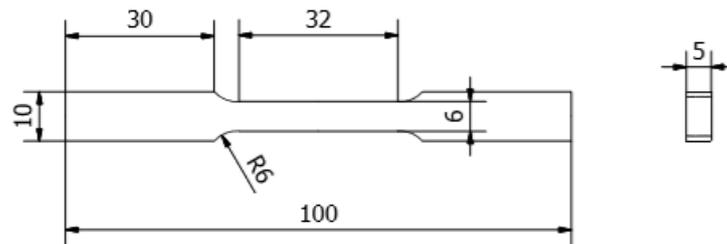
Proses las yang dilakukan dalam penelitian ini adalah FSW (*friction stir welding*) yang dilakukan menggunakan mesin milling, pada penelitian ini parameter pengelasan *friction stir welding* yang digunakan dibuat konstan adalah ; kecepatan putaran spindle dibuat 1500 rpm, kecepatan feed rate 5 mm/menit dan sudut kemiringan *tool* 0°. Penggunaan tool menggunakan baja SS-304 dengan panjang 100 mm, dimensi pin panjang 4.8 mm, diameter pin 5 mm, dan diameter shoulder 20 mm. Tool dibuat dengan empat variasi bentuk berbeda (silinder, tirus, tirus berulir dan silinder berulir) seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Design Tool Pengelasan (a) Silinder Berulir (b) Tirus Berulir (c) Silinder (d) Tirus (Nur dkk, 2017)

Pengamatan struktur makro dan mikro dilakukan untuk melihat zona-zona yang terbentuk dan batasan zona akibat pengelasan FSW dan karakteristik metalurgi. Zona-zona tersebut ialah logam induk, HAZ, TMAZ dan NZ. Spesimen disiapkan melalui tahapan sebagai berikut: pemotongan, pengamplasan, pemolesan (polishing) dan etsa, kemudian diamati dengan mikroskop optik.

Pengamatan juga dilakukan terhadap sifat mekanik hasil lasan seperti kekerasan dan kekuatan tarik. Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode indentasi (Vickers microhardness) untuk mengetahui distribusi kekerasan didaerah *base metal* (unaffected zone), *heat affected zone* (HAZ), *thermomechanically affected zone* (TMAZ) dan *stir zone* (SZ) dari masing-masing hasil proses pengelasan, pengujian Vickers menggunakan beban 100 gr dan untuk pengujian tarik menggunakan mesin BUEHLER Higt Quality Micro Hardness Tester model MM0054. Bentuk spesimen yang digunakan mengikuti standar ASTM E8, seperti pada Gambar 3. Pengujian dilakukan untuk melihat perbandingan antara kekuatan tarik dari material awal (logam induk) dan material setelah proses pengelasan.

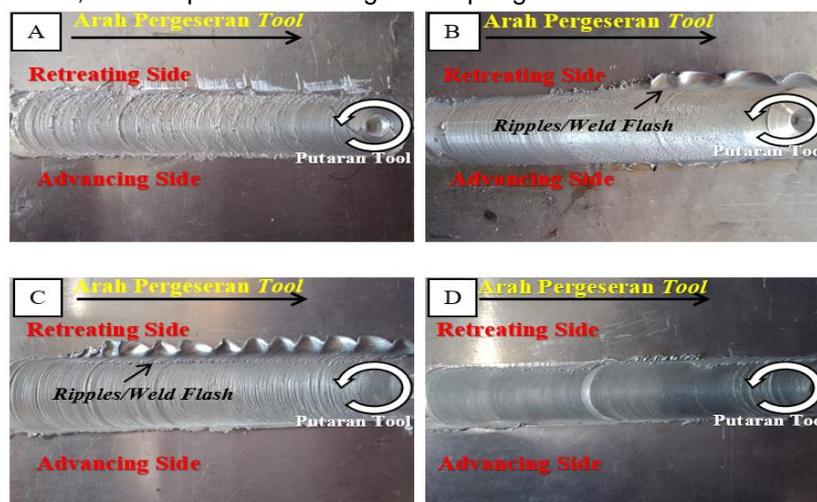


Gambar 3. Spesimen uji tarik berdasarkan ASTM E8

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Analisa Visual Permukaan Lasan

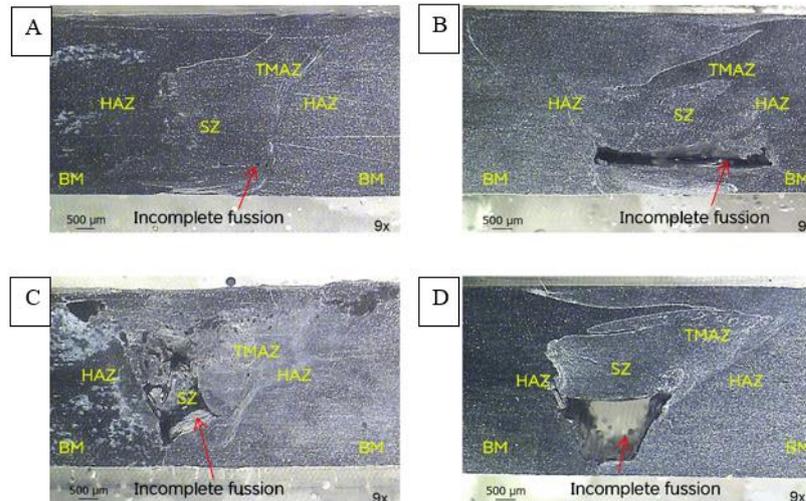
Profil permukaan atas lasan yang dihasilkan dari proses pengelasan dengan variasi bentuk pin tool ditunjukkan pada Gambar 4. Pengaruh bentuk *pin tool* terlihat dari permukaan yang berbeda dimana permukaan lasan masih terlihat adanya *ripples/weld flash* pada bentuk *pin* tirus dan silinder berulir. Akhir lasan terdapat lubang pin dari tool yang digunakan, ini merupakan kekurangan dari pengelasan FSW.



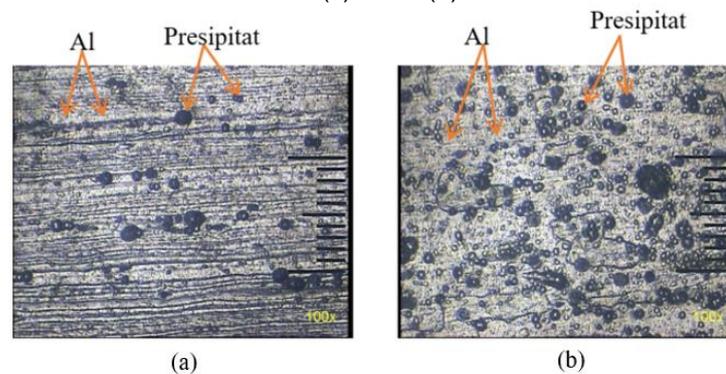
Gambar 4 Hasil Pengelasan FSW Dissimilar Antara Aluminium Seri 1xxx (Advancing) Dengan Aluminium Seri 5xxx (Retreating) Variasi Bentuk *Pin Tool* (a) Tirus Berulir (b) Tirus (c) Silinder Berulir (d) Silinder

#### 3.2 Struktur Makro dan Mikro

Pengamatan makro dilakukan untuk mengetahui dan membedakan daerah hasil lasan yang terdiri dari logam induk, HAZ, TMAZ dan *stir zone* pada hasil pengelasan *friction stir welding*. Setelah diamati pada hasil foto struktur makro dengan pembesaran 9x hasil pengelasan *friction stir welding* terdapat cacat *incomplete fusion* pada setiap variasi bentuk *pin*. Terjadi cacat *incomplete fusion* terbesar pada *pin* silinder berulir, tirus berulir dan tirus. Cacat ini terjadi dikarenakan ujung *pin* mengalami pendinginan dan *heat input* kurang tinggi sehingga material yang berada tepat pada ujung *pin* tidak dapat menyatu dengan sempurna dan terjadi celah pada pusat sambungan pengelasan.

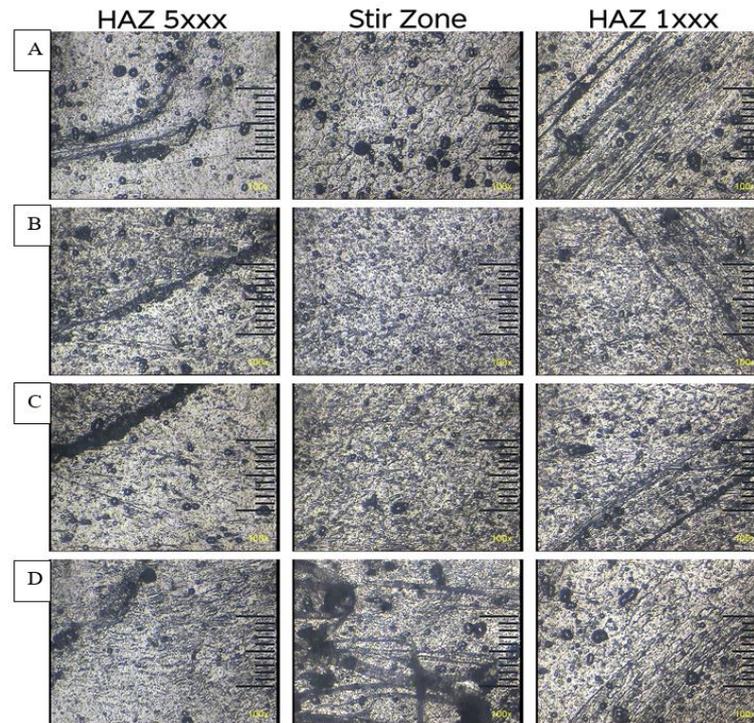


Gambar 5 Struktur Makro Sambungan Las FSW Dengan Variasi Bentuk Pin Tool Terhadap Daerah BM, HAZ dan Stir Zone Dengan Variasi Bentuk Pin Tool (a) Silinder (b) Silinder berulir (c) Tirus (d) Tirus Berulir



Gambar 6 (a) Struktur Mikro *Base Metal* Aluminium 5xxx dan (b) Aluminium 1xxx Setelah Pengujian Mikrostruktur Dengan Pembesaran 100x

Pada Gambar 6 menunjukkan struktur mikro daerah *base material* (BM) aluminium seri 1xxx dan seri 5xxx. Daerah *base metal* adalah daerah *unaffected* yang terletak jauh dari pusat lasan, sehingga material tidak mengalami deformasi dan perubahan struktur mikro maupun *mechanical properties*.



Gambar 7 Struktur Mikro Pengaruh Bentuk Pin Tool Terhadap HAZ dan Stir Zone Dengan Variasi Bentuk Pin (A), Silinder, (B) Silinder Berulir, (c) Tirus Berulir, dan (D) Tirus

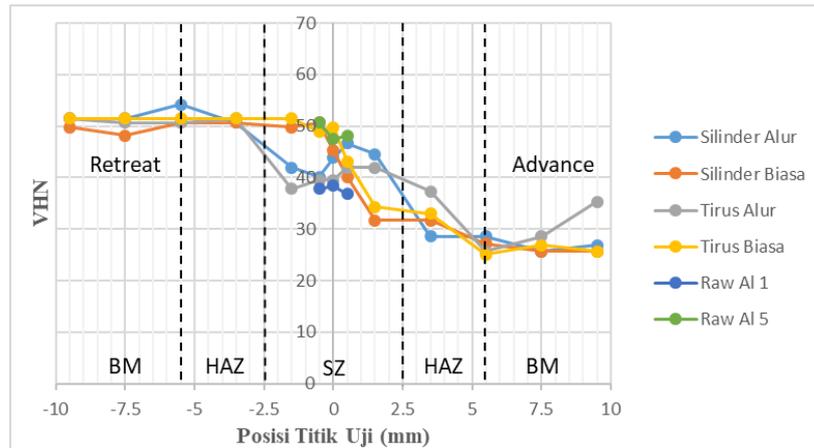
Pada Gambar 7 menunjukkan struktur mikro daerah *Heat affected zone (HAZ)* Aluminium 1xxx dan Aluminium 5xxx. HAZ berada diluar zona TMAZ seperti gambar 5 Butir pada daerah HAZ mengalami perubahan bentuk dan ukuran menjadi lebih besar dibandingkan daerah *base material*, dimana ukurannya tergantung dari karakteristik material, suhu, dan lama pengelasan.

Pada daerah *stir zone* butir berubah bentuk menjadi *fine equiaxed* yaitu mempunyai besar yang sama. Jika dibandingkan dengan butir pada HAZ, ukuran butir *stir zone* lebih halus dan rapat karena dideformasi oleh adukan tool. Proses *Friction Stir Welding* menggunakan *tool* dengan *pin* berbentuk silinder berulir dan tirus berulir menghasilkan struktur mikro yang lebih halus dibandingkan dengan menggunakan *pin* berbentuk silinder atau tirus. Butiran yang halus memiliki struktur yang lebih rapat sehingga ikatan antar atomnya lebih kuat, pada *stir zone* pengelasan FSW terlihat butiran Aluminium 1xxx (*advancing*) dan Aluminium 5xxx (*retreating*) bercampur, ini menunjukkan bahwa terjadi deformasi plastis selama pengelasan FSW.

### 3.3 Sifat Mekanik Pengelasan

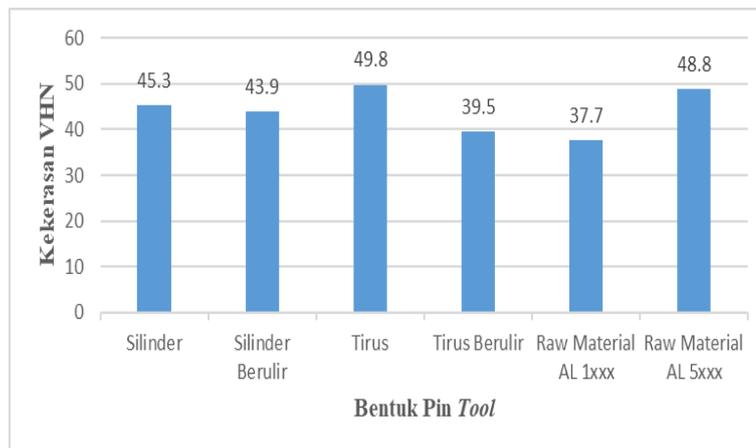
#### 3.3.1 Uji kekerasan

Pengujian kekerasan ini dilakukan pada tiap spesimen hasil pengelasan dengan variasi Feed rate pengujian kekerasan dengan menggunakan uji kekerasan mikro *Vicker*.



Gambar 8 Grafik Distribusi Kekerasan Dari Pusat Las

Dari Gambar 8 memperlihatkan grafik hasil uji kekerasan dari pusat las, HAZ dan logam induk. Secara umum terlihat perbedaan distribusi kekerasan pada kedua lasan akibat sifat metalurgi bahan yang berbeda. Data kekerasan menunjukkan pada bagian sisi *retreat* cenderung lebih tinggi bila dibandingkan dengan bagian sisi *advance*.

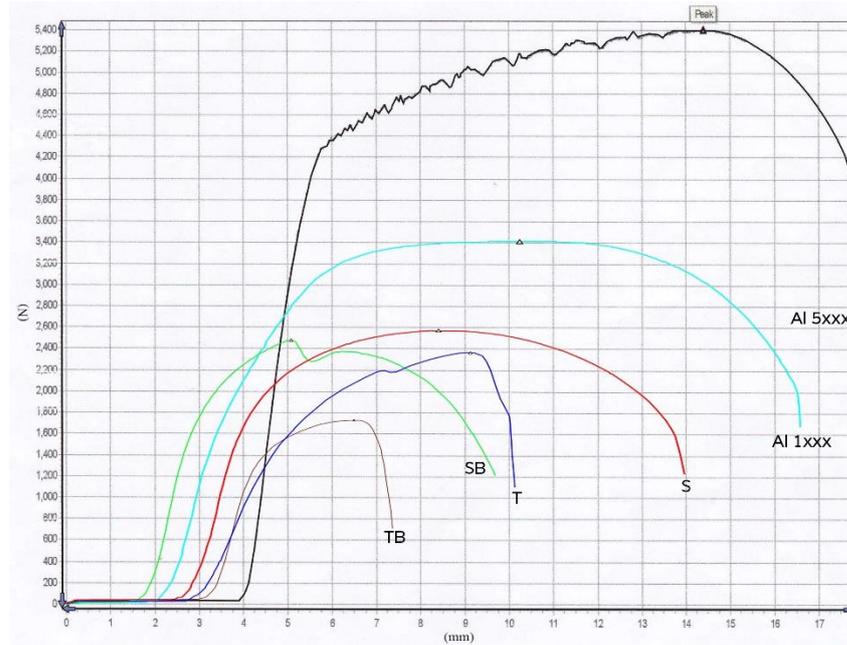


Gambar 9 Grafik Pengaruh Bentuk *Pin Tool* Terhadap Kekerasan Pada Daerah Sambungan Las

Pada gambar 9 terlihat nilai kekerasan tertinggi terdapat pada bentuk *pin tool* tirus dipusat las sebesar 49,8 VHN sedangkan Kekerasan yang rendah di pusat las pada bentuk *pin tool* tirus berulir sebesar 39,5 VHN ini terjadi karena pada pengelasan FSW *dissimilar* membutuhkan gaya deformasi yang tinggi untuk menghasilkan pengelasan tanpa cacat. Gaya deformasi ini tergantung dari pemilihan kecepatan putar dan desain *pin*. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Manohar dkk, (2016) dengan menggunakan material AA5083 dan AA6061 pada proses FSW menghasilkan nilai kekerasan tertinggi pada bentuk *pin tool taper with threaded* dengan putaran 710rpm dan kecepatan pengelasan 31,5 mm /menit yaitu 82,13 VHN menurut Riswanda, (2012) semakin tinggi kecepatan putaran *tool* maka nilai kekerasan semakin menurun.

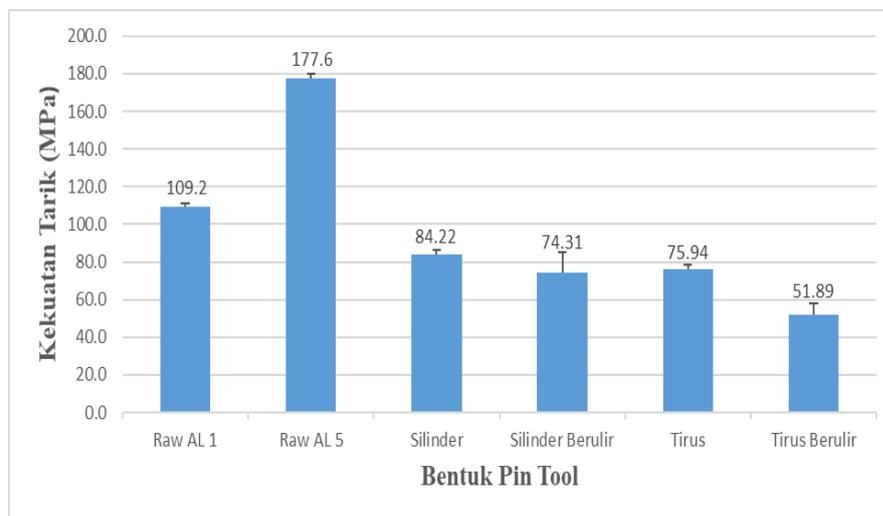
### 3.3.2 Uji Tarik

Pengujian uji tarik dilakukan pada material hasil sambungan Al 5xxx dengan Al 1xxx pada logam hasil pengelasan. Dimensi spesimen uji tarik untuk material pengelasan menggunakan standar ASTM E8. Gambar 10. menunjukkan hasil proses uji tarik dari sambungan material Al 5xxx dan Al 1xxx dengan cara FSW dan mendapatkan hasil berupa nilai tegangan dan regangan yang akan dibandingkan dengan nilai tegangan dan regangan *raw material*.



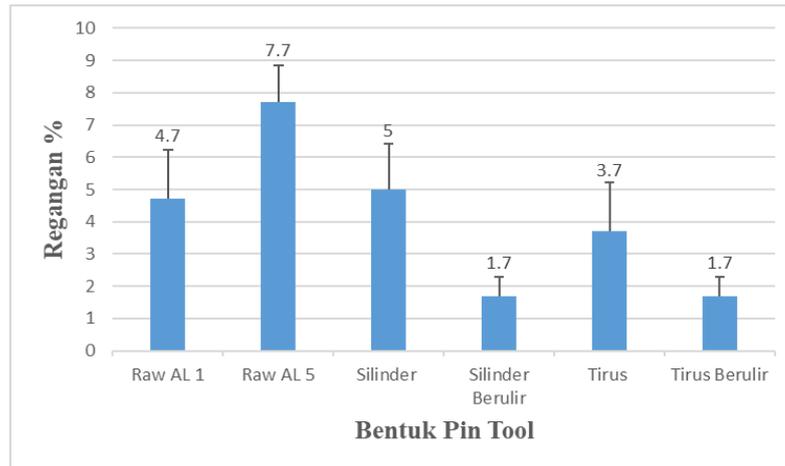
Gambar 10 Grafik Uji Tarik Hasil FSW *dissimilar* Pada Variasi Bentuk *Pin Tool*

Dalam sambungan las sifat tarik dipengaruhi oleh sifat-sifat logam induk. Sifat-sifat logam induk adalah sifat-sifat logam secara umum yang meliputi sifat fisik, sifat mekanik maupun sifat kimianya. Gambar 10 menunjukkan bahwa antara logam induk Al 1xxx dan Al 5xxx dengan logam yang sudah dilas memiliki perbedaan tegangan tarik yang sangat signifikan.



Gambar 11 Pengaruh Bentuk *Pin Tool* Terhadap Kekuatan Tarik

Pada Gambar 11 menunjukan kekuatan tarik untuk semua bentuk *pin tool* lebih rendah dari kekuatan tarik dan kekuatan luluh material induk (BM). Dari data pengujian diperoleh hasil bahwa variasi bentuk *pin tool* silinder memiliki kekuatan tarik tertinggi yaitu sebesar 84,22 MPa, sedangkan yang terendah pada bentuk *pin tool* tirus berulir sebesar 51,89 MPa. Kekuatan tarik tertinggi jika dibandingkan dengan kekuatan base material Al 1xxx sebesar 77% Sedangkan jika dibandingkan dengan kekuatan base material Al 5xxx, yakni sebesar 47,4%. Hal ini dikarenakan masih terdapat cacat *incomplete fusion* pada daerah lasan, seperti terlihat pada Gambar 5, sehingga menyebabkan kekuatan tarik untuk semua bentuk *pin tool* lebih rendah dari kekuatan tarik *base material* (BM).

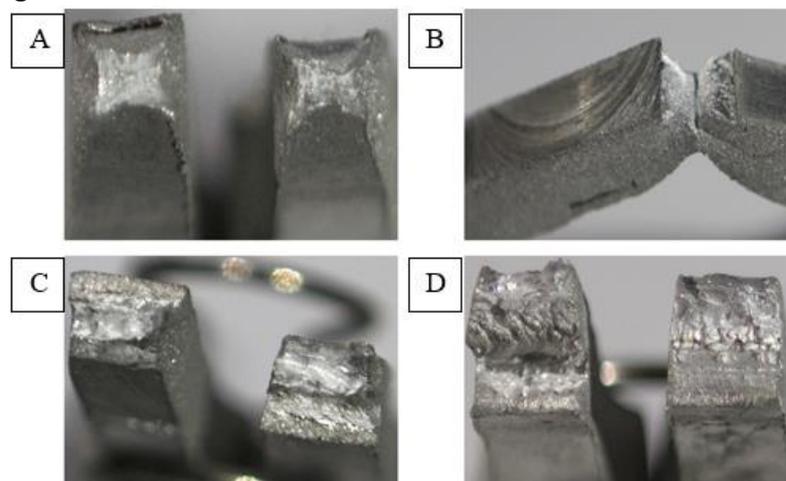


Gambar 12 Pengaruh Bentuk *Pin Tool* Terhadap Regangan

Untuk regangan pada gambar 12 yang terjadi pada pengujian tarik ini regangan terbesar terjadi pada bentuk *pin tool* silinder sebesar 5%, dan yang terendah pada bentuk *pin tool* silinder berulir dan tirus berulir sebesar 1,7%. Pada hasil pengujian tarik tersebut nilai regangan tertinggi pada bentuk *pin tool* silinder disebabkan pada hasil las tidak terlihat retak maupun rongga seperti bentuk *pin tool* lainnya.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Hariyanto, (2010) yang menggunakan material Al 1100 dan Al 2024-T3 pada proses FSW *dissimilar* menghasilkan kekuatan tarik tertinggi pada putaran *tool* 1850 dengan menggunakan standar JIZ Z2201 patahan terjadi pada daerah HAZ AL 1100. Hal ini menunjukkan bahwa sambungan menyatu dengan baik tidak terjadi cacat las. Pada penelitian kali ini dengan menggunakan material Al 1xxx dan 5xxx menghasilkan kekuatan tarik tertinggi pada bentuk *pin tool* tirus dan patahan terjadi didaerah *stir zone* kemungkinan disebabkan cacat *incomplete fusion* seperti terlihat pada gambar 5 sehingga sambungan tidak menyatu dengan sempurna. Hal ini menunjukkan bahwa proses las FSW masih perlu pengkajian ulang guna memperbaiki kualitas hasil las dan sifat mekanik.

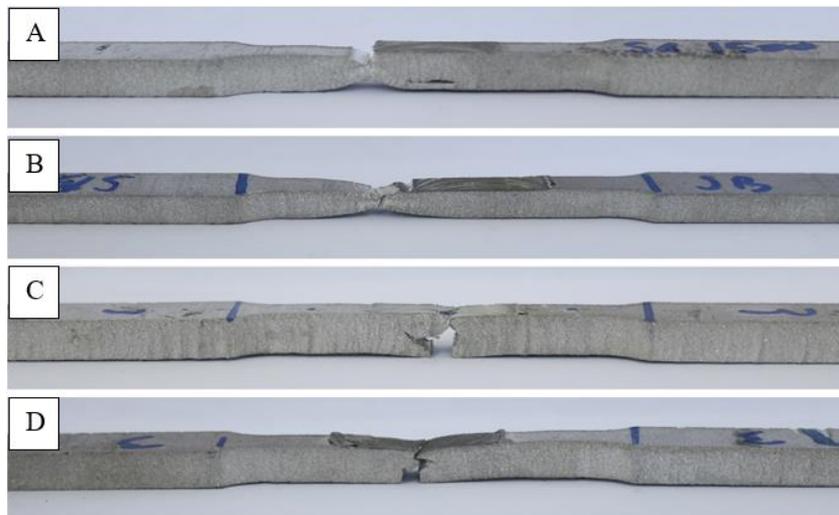
### 3.4 Fraktografi



Gambar 13 Patahan Uji Spesimen Tarik Tampak Dengan Variasi Bentuk *Pin Tool* (a) Silinder (b) Silinder berulir (c) Tirus (d) Tirus Berulir

Setelah melakukan pengujian tarik pada hasil pengelasan FSW dapat dilihat pada gambar 13 penampang daerah patahan hasil pengelasan yang runcing dan tidak rata. Patah biasanya terjadi atas beberapa tingkatan, yaitu *necking* (pengecilan penampang), terbentuknya rongga-rongga kecil, pembesaran rongga menjadi satu rongga besar atau terjadi retak tegak lurus gaya yang bekerja dan pada akhirnya retak menjaral sampai

terjadinya patahan. Proses pengelasan FSW *dissimilar* menghasilkan sambungan las yang bersifat ulet yang ditandai dengan adanya necking pada patahan spesimen uji.



Gambar 14 Patahan Uji Tarik Tampak Samping Dengan Variasi Bentuk *Pin Tool* (a) Silinder berulir, (b) silinder, (c) Tirus berulir, (d) Tirus

Pada gambar 14 (a) dan (b) patahan terletak pada sisi *advancing* (AA 1xxx), pada daerah di sekitar nilai kekerasan yang terendah, hal ini disebabkan hasil las menyatu dengan baik, pada gambar 14 (a) terdapat cacat *incomplete fusion* pada hasil las FSW, hal ini disebabkan *heat input* terlalu rendah. Patahan pada gambar 14 (c) dan (d) terletak pada daerah *nugget zone*, hal ini disebabkan karena hasil las tidak menyatu dengan baik dan terdapat cacat *incomplete fusion* pada daerah pengelasan. Sesuai dengan hasil uji kekerasan mikro. Hal ini membuktikan bahwa kekuatan tarik sangat berhubungan dengan nilai kekerasan.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa :

1. Hasil foto makro terdapat cacat *incomplete fusion*, pada setiap variasi pengelasan. *incomplete fusion* terbesar terjadi pada bentuk *pin tool* tirus berulir. Cacat ini terjadi dikarenakan ujung *pin* mengalami pendinginan dan *heat input* kurang tinggi sehingga material yang berada tepat pada ujung *pin* tidak dapat menyatu dengan sempurna dan terjadi celah pada pusat sambungan pengelasan. Hasil foto mikro dengan menggunakan *tool* dengan *pin* berbentuk silinder berulir dan tirus berulir menghasilkan struktur mikro yang lebih halus dibandingkan dengan menggunakan *pin* berbentuk silinder atau tirus.
2. nilai kekerasan tertinggi terdapat pada bentuk *pin tool* tirus dipusat las sebesar 49,8 VHN sedangkan Kekerasan yang rendah di pusat las pada bentuk *pin tool* tirus berulir sebesar 39,5 VHN ini terjadi karena pada pengelasan FSW *dissimilar* membutuhkan gaya deformasi yang tinggi untuk menghasilkan pengelasan tanpa cacat. Gaya deformasi ini tergantung dari pemilihan kecepatan putar dan desain *pin*.
3. Hasil kekuatan tarik pada bentuk *pin tool* tirus memiliki kekuatan tarik tertinggi yaitu sebesar 84,22 MPa, sedangkan yang terendah pada bentuk *pin tool* tirus berulir sebesar 51,89 MPa. Kekuatan tarik tertinggi jika dibandingkan dengan kekuatan base material Al 1xxx sebesar 77%. Sedangkan jika dibandingkan dengan kekuatan base material Al 5xxx, yakni sebesar 47,4%. Nilai regangan terbesar terjadi pada bentuk *pin tool* silinder sebesar 5% dan yang terendah pada bentuk *pin tool* silinder berulir dan tirus berulir sebesar 1,7%. Bentuk *pin tool* pada proses pengelasan FSW sangat berpengaruh terhadap hasil pengelasan FSW, penggunaan *pin tool* juga berpengaruh terhadap sifat mekanik dan struktur mikro.

## DAFTAR PUSTAKA

- Astm. (2010). *Standard Test Methods For Tension Testing Of Metallic Materials*, Astm E8/E8m – 09.
- Hariyanto. (2010). *Pengaruh Putaran Dan Kecepatan Tool Terhadap Sifat Mekanik Sambungan Tumpul Las Fsw Tak Sejenis Antara Al 2024-T3 Dengan Al 1100*. Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi .
- Khaled, T. (2005). *An Outsider Looks At Friction Stir Welding*. Report#:Anm-112n-05-06, Federal Aviation Administration .
- Manohar, B., P, S., & Devaraju, A. (2016). *Effect Of Microstructure And Mechanical Properties Of Friction Stir Welded Dissimilar Aa5083-Aa6061 Aluminium Alloy Joints*. Ijret: International Journal Of Research In Engineering And Technology.
- Nandan, R., Debroy, T., & Bhadeshia, H. (2008). *Recent Advances In Friction-Stir Welding – Process. Weldment Structure And Properties*. Science Direct.
- Nur, R., Sultan, A. Z., & Suyuti, M. A. (2017). *Mechanical Properties On Friction Stir Welding Of Aluminum Alloy 5052*. Arpn Journal Of Engineering And Applied Sciences.
- Riswanda, & Ilman, M. N. (2012). *Studi Komparasi Sambungan Las Dissimilar Aa5083aa6061-T6 Antara Tig Dan Fsw*. Industrial Research Workshop And National Seminar.
- Sumarlin, M. (2015). *Pengaruh Penggunaan Pin Tool Terhadap Sifat Mekanik Pengelasan Friction Stir Welding Almunium (Al)*. Skripsi S1 Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Tarmizi, & Prayoga, B. (2016). *Analisa Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Pada Proses Friction Stir Welding Alumunium 5052* . Jurnal Riset Industri Vol. 10 No. 2, Hal. 70-82.
- Wahyudianto, F., Ilman , M., Iswanto, P., & Kusmono. (2015). *Pengaruh Kecepatan Putaran Tool Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan Dan Kekuatan Tarik Pada Sambungan Las Fsw Tak Sejenis Antara Aa5083 Dan Aa6061-T6*. Prosiding Seminar Nasional Material Dan Metalurgi (Senamm Viii) .