

## Pengaruh Diameter Shoulder Pada Friction Stir Welding Aluminum 5083 Terhadap Sifat Mekanis Bahan

Diki Ismail Permana<sup>1</sup>, Ryan Febriansyah<sup>2</sup>, Haipan Salam<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Itenas Bandung  
J1. PHH. Mustafa No.23 Bandung 40124  
Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, Universitas Pendidikan Indonesia  
Jl. Setiabudhi No.299 Bandung 40154  
e-mail : dicky91permana@itenas.ac.id

### Abstrak

Aluminium 5083 memiliki *weldability* yang rendah disbanding dengan material logam baja lain. Teknik pengelasan yang relatif baru di Indonesia untuk mengelas aluminium adalah *friction stir welding* (FSW). *Tool geometry* merupakan parameter yang sangat penting dalam pengelasan FSW. Salah satu parameter tool tersebut adalah diameter shoulder. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh diameter shoulder pada *Friction Stir Welding* (FSW) aluminium 5083 terhadap sifat mekanisnya. Parameter tetap yang digunakan adalah rotation speed 1600 Rpm, welding speed 24 mm/min, shoulder depth plunge 0,2 mm dan bentuk pin segilima (pentagonal). Pengelasan dilakukan dengan menggunakan variasi shoulder diameter 16 mm, 18 mm dan 20 mm. Untuk mengetahui kekuatan mekanik lasan dilakukan pengujian tarik, pengujian kekerasan dan untuk melihat morfologi patahan dilakukan foto mikrostruktur. Kekuatan mekanis terbaik didapat dengan menggunakan shoulder diameter 18 mm. Shoulder diameter 18 mm menghasilkan ultimate tensile strength sebesar 96,45Mpa. Nilai Kekerasan sebesar 39,25 Kgf/mm<sup>2</sup> dihasilkan oleh shoulder diameter 16 mm. Hasil foto mikrostruktur menunjukkan terdapat cacat whormhole sepanjang daerah lasan pada tiap variasi shoulder. Cacat terbesar dihasilkan oleh shoulder diameter 20 mm. Jika dibandingkan dengan Base Material yang memiliki nilai UTS sebesar 298 Mpa, nilai UTS hasil lasan masih sangat jauh perbedaannya.

Kata kunci: Aluminium 5083, *Friction Stir Welding*, shoulder diameter, sifat mekanis

### 1. Pendahuluan

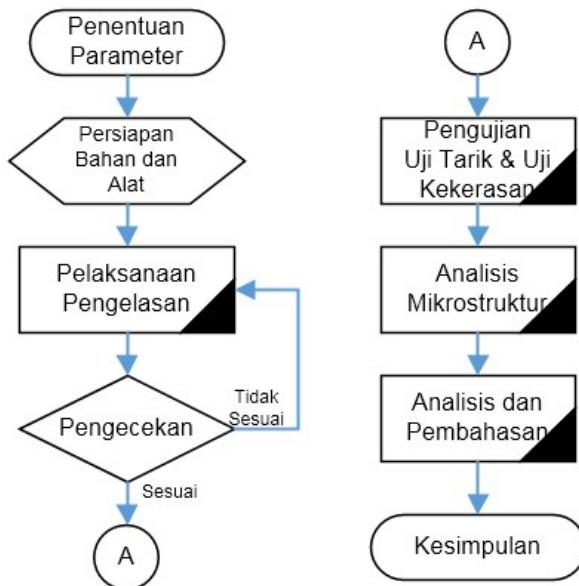
Pada bidang perkapalan, logam aluminium lazim digunakan sebagai bahan konstruksi pada bagian tangki, khususnya tangki air tawar ataupun tangki bahan bakar. Logam ini memiliki mampu las atau *weldability* yang rendah dari pada material logam baja lainnya. Hal tersebut dikarenakan oleh sifat mekanis aluminium, dimana memiliki konduktifitas panas yang tinggi, koefisien muai yang besar, titik lebur yang rendah terhadap temperatur, dan reaktif terhadap udara yang membentuk lapisan aluminium oksidasi.

Teknik pengelasan yang relatif baru di Indonesia adalah teknik *friction stir welding* (FSW). Metode ini menggunakan termomekanik dengan memanfaatkan energi panas yang dihasilkan dari proses gesekan antara pengaduk dengan benda kerja yang di las [5]. Gesekan dan deformasi plastik yang terjadi menghasilkan panas yang cukup untuk melunakan benda kerja yang diperlukan untuk proses pengelasan. Temperatur kerja pada metode pengelasan ini berada pada rentang 70% hingga 90% dari titik lebur aluminium. Jauh lebih rendah dibandingkan dengan pengelasan GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) atau MIG dengan temperatur proses sekitar 660°C. Oleh karena itu, dengan temperatur yang lebih rendah, maka akan menghasilkan daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) yang minim [3]. Permasalahan yang sering terjadi dalam pengelasan FSW adalah terbentuknya cacat *whorehole* atau *incomplete fusion*, yaitu cacat yang terbentuk lubang kecil sepanjang lasan yang terlihat dari hasil pengujian radiografi. Cacat ini disebabkan oleh beberapa parameter, diantaranya adalah *tool geometry*, parameter pengelasan, dan rancangan sambungan. *Tool Geometry* merupakan parameter yang sangat penting dalam pengelasan FSW. Hal ini disebabkan karena *tool* yang digunakan akan bergesekan

langsung dengan benda yang dilas. Penelitian yang mengidentifikasi perbedaan variasi diameter shoulder pengelasan FSW telah dilakukan dengan menggunakan tebal benda lasan 4 mm namun dengan material yang berbeda [5]. Sehingga penelitian ini untuk mengetahui pengaruh perbedaan shoulder terhadap sifat mekanis aluminium 5083 dengan metode FSW.

## 2. Metodologi

Friction Stir Welding (FSW) adalah sebuah metode pengelasan yang termasuk dalam pengelasan gesek, dimana prosesnya tidak memerlukan bahan penambah atau pengisi. Panas yang digunakan untuk meleburkan logam kerja yang dihasilkan dari gesekan antara benda yang berputar (pin) dengan benda kerja yang diam. Pin berputar dengan kecepatan konstan yang disentuhan ke benda kerja yang telah dicekam [2]. Gambar 1 di bawah merupakan alur metode dalam penelitian ini.



Gambar 1 Metode Penelitian

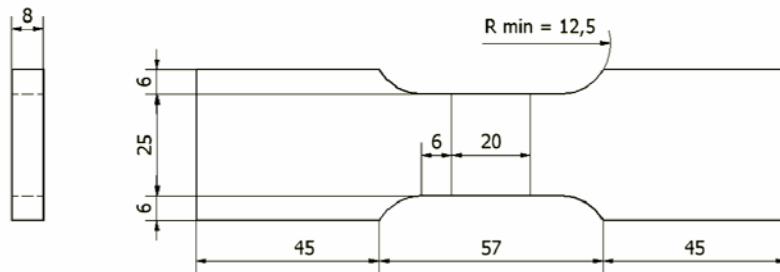
Dalam penelitian ini mesin yang digunakan adalah mesin frais konvensional dengan penentuan parameter kecepatan putar : 1600 rpm, kecepatan pengelasan : 24 mm/menit, *shoulder depth plunge* : 0,2 mm, dan sudut pengelasan : 0°. Sedangkan bahan yang digunakan adalah aluminium 5083 atau paduan Al-Mg dengan ukuran 150 x 37 x 8 mm sebanyak 9 buah spesimen yang akan di las, dimana temperatur HAZ berada di temperatur 250° C.

Sementara itu, shoulder yang dipakai untuk pengelasan berbahan baja karbon lunak (St-40) dengan ukuran diameter yang berbeda, diantaranya : ø16mm, ø18mm, dan ø20mm dengan masing-masing shoulder berjumlah 3 buah, dimana temperatur HAZ berada di temperatur 250° C. Shoulder yang dipakai dalam penelitian ini memiliki *pin profile* pada ujung shoulder dengan diameter pin yang berbeda pula mengikuti besarnya diameter shoulder. Shoulder berfungsi sebagai pengaduk material dan memberikan efek tempa sehingga sambungan pengelasan menjadi lebih kuat dan panas terjadi akibat adanya gesekan antara permukaan ujung shoulder dengan pelat aluminium 5083.

Pengecekan hasil las-an dilakukan secara visual untuk mengetahui sesuai atau tidaknya hasil las-an masuk dalam kriteria pengelasan yang baik dan dapat digunakan. Hasil las-an dikatakan tidak sesuai apabila terjadi cacat, sehingga pengelasan harus dilakukan kembali untuk mendapatkan hasil yang sesuai sehingga layak untuk dilakukan pengujian dan analisis.

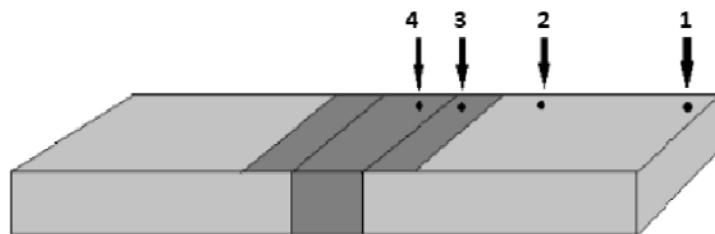
Pengujian dalam penelitian ini menggunakan dua pengujian yang umum untuk menganalisis hasil lassan lebih jauh, diantaranya uji tarik dan uji kekerasan. Spesimen yang diujikan sebanyak 8 buah material, diantaranya 2 buah base material, 2 buah spesimen yang telah di las dengan shoulder ø16mm, 2 buah spesimen yang telah di las dengan shoulder ø18mm, dan 2 buah spesimen yang telah

dilas dengan shoulder  $\phi 20$ mm. Data hasil pengujian akan diambil rata-rata dari tiap spesimen yang diuji, bentuk spesimen yang digunakan dalam pengujian ini adalah standar AWS.B-40.2007 yaitu standar yang digunakan dalam pengujian tarik berdasarkan standar pengelasan amerika [1]. Bentuk spesimen dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2 Ukuran dan bentuk spesimen pengujian

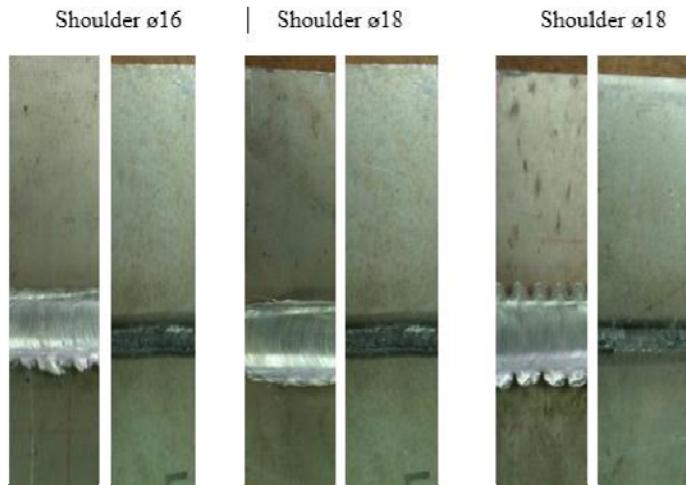
Bahan yang di uji merupakan aluminium 5083 yang termasuk logam *nonferro*. Oleh karena itu, mesin yang digunakan dalam pengujianan kekerasan memakai uji kekerasan Rockwell B (ASTM E18) dengan pembacaan langsung dari angka yang ditunjukkan oleh jarum penunjuk. Ukuran kekerasan Rockwell B didapatkan oleh penekanan bola baja dan dikonversikan ke dalam angka kekerasan Rockwell B. Indentor yang digunakan adalah bola baja dengan ukuran  $1/16$  inch, dengan beban awal 10 kgf kemudian dilanjutkan dengan beban maksimal 100 kgf. Daerah Pengujian dibagi kedalam empat daerah yaitu : *base material* (1), *HAZ* (2), *TMHZ* (3), dan *Stir zone* (4).



Gambar 3 Daerah pengujian spesimen

### 3. Analisis dan Pembahasan

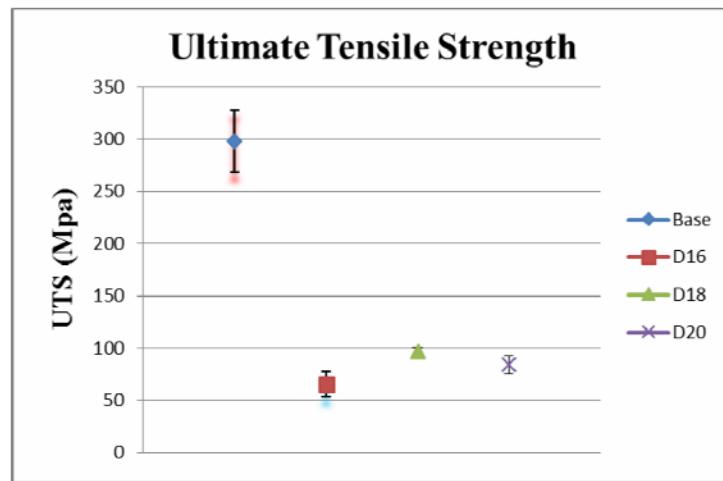
Hasil pengelasan *friction stir welding* (FSW) berdasarkan variasi shoulder ( $\phi 16$  mm,  $\phi 18$  mm, dan  $\phi 20$  mm) dengan menggunakan parameter yang sama pada tiap shoulder dapat dilihat pada gambar 4. Jika dilihat secara visual ketiga spesimen yang telah di las FSW tidak terlihat cacat baik tampak depan maupun tampak belakang pada daerah las-an. Tidak terdapatnya cacat pada daerah las-an mengindikasikan bahwa spesimen yang telah di-las FSW memungkinkan memiliki kekuatan mekanik yang setara dengan spesimen yang tidak dilakukan pengelasan FSW. Kemudian hasil dari pengujian tarik dan kekerasan pada spesimen yang telas dilas FSW dibandingkan dengan spesimen base material untuk mengetahui besar kekuatan mekanik dari kedua spesimen tersebut.



Gambar 4 Hasil pengelasan FSW tampak depan dan belakang dengan ukuran shoulder yang berbeda

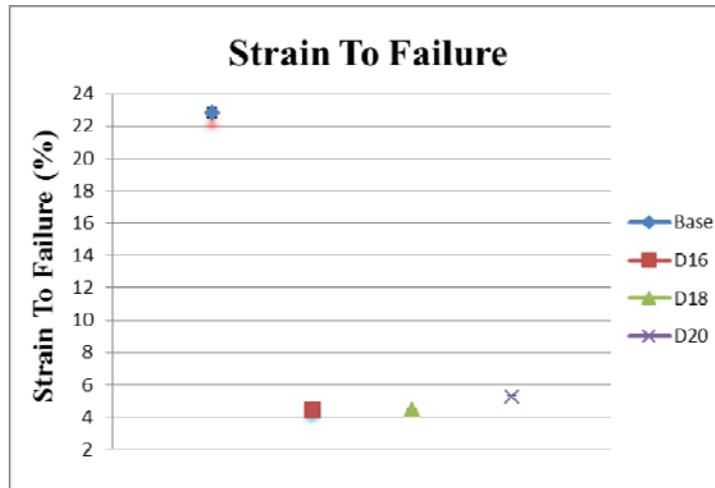
### 3.1 Hasil Pengujian Tarik

Hasil dari pengujian tarik berupa data mentah yang berbentuk diagram alur patahan pengujian tarik. Data tersebut diolah dan dibuat dalam bentuk grafik. Data pengujian tarik yang ditampilkan hanya data *Ultimate Tensile Strength*, *Strain to Failure* dan *Modulus Elasticity*. Gambar 5 berikut adalah grafik hasil pengujian tarik.



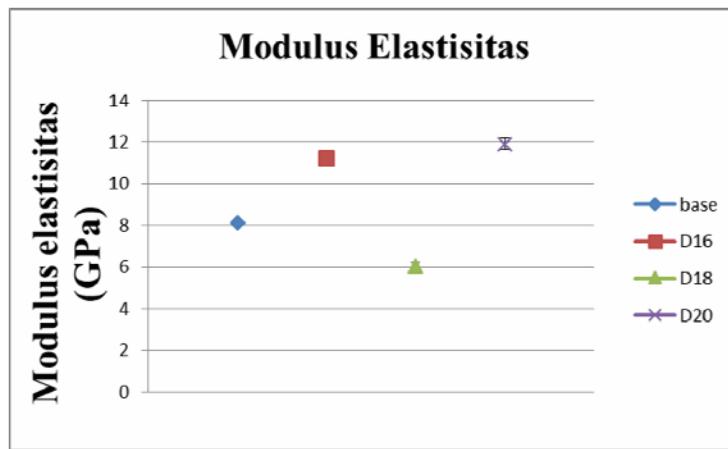
Gambar 5 Grafik nilai *Ultimate Tensile Strength* dari tiap shoulder yang berbeda

Berdasarkan gambar 5, dapat diketahui bahwa nilai *ultimate tensile strength* tertinggi terdapat pada hasil las-an FSW dengan menggunakan ukuran shoulder  $\phi$  18 mm dengan nilai sebesar 96,45 Mpa. Akan tetapi, nilai tersebut masih sangat jauh dibandingkan dengan nilai *Ultimate tensile strength* base material sebesar 300 Mpa. Hal ini dapat disebabkan hasil las-an yang terdapat cacat *wormhole* yang tidak terlihat secara visual sepanjang daerah las-an. Sedangkan untuk base material tidak terdapat cacat sama sekali. Hasil tersebut diperkuat oleh hasil foto makrostruktur antara patahan *base material* dan patahan hasil pengelasan FSW.



Gambar 6 Grafik nilai *Strain to failure* dari tiap shoulder yang berbeda

Berdasarkan gambar 6, dapat dilihat hasil pengujian tarik yang memiliki nilai persentase perpanjangan tertinggi dimiliki oleh spesimen yang di las FSW menggunakan menggunakan diameter shoulder ukuran  $\phi 20$  mm dengan nilai persentase sebesar 5,3%. Namun nilai tersebut jika dibandingkan dengan besar persentase base material yang masih sangat jauh yaitu sebesar 22,85%. Hal ini menunjukan bahwa base material lebih elastis dibandingkan dengan spesimen hasil pengelasan FSW.

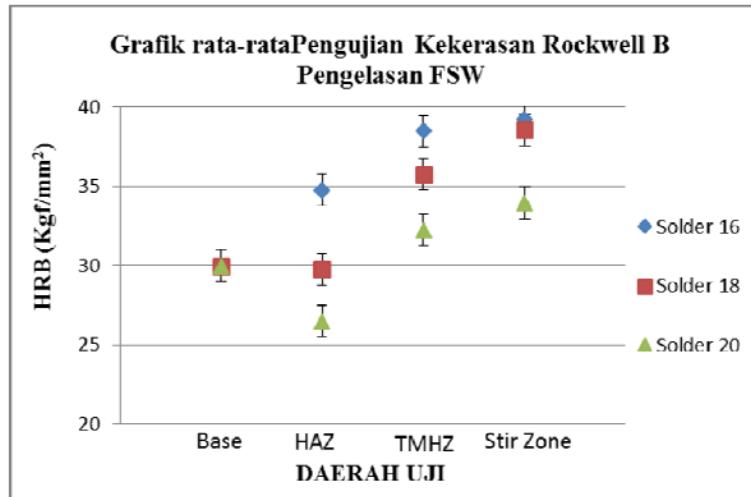


Gambar 7 Grafik Modulus Elastis dari setiap shoulder

Berdasarkan grafik modulus elastisitas, dapat dilihat bahwa modulus elastisitas terkecil di dapat dari diameter shoulder 18 mm dengan nilai sebesar 6,077 Gpa. Sedangkan base material mempunyai nilai modulus elastis sebesar 8,144 Gpa. Suatu material dikatakan ulet apabila nilai *strain to failure* nya tinggi dan nilai *modulus elastis* nya kecil. Oleh karena itu, base material dapat dikatakan sebagai material ulet dibandingkan dengan spesimen yang telah di-las FSW. Dapat dikatakan sifat material pada spesimen berubah menjadi material getas setelah mengalami pengelasan. Adanya perubahan sifat material yang dimiliki oleh spesimen disebabkan oleh proses pengelasan. Faktornya adalah perlakuan panas akibat gesekan antara shoulder dan pin terhadap spesimen, sehingga membuat properties pada material berubah, terutama di daerah HAZ.

### 3.2 Hasil Pengujian Kekerasan Rockwell B

Hasil pengujian kekerasan Rockwell B dibuat dalam bentuk grafik yang dibagi dalam 4 daerah uji, yaitu : *Base*, *HAZ*, *TMHZ*, dan *stir zone* dimana data setiap shoulder merupakan data rata-rata dan data standar deviasinya.



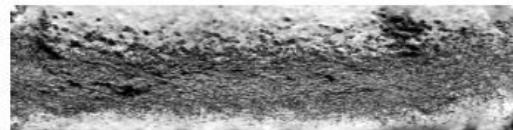
Gambar 8 Grafik kekerasan Rockwell B

Dari gambar 8, dapat dilihat bahwa pengelasan FSW dengan shoulder  $\phi 16$  mm memiliki kekerasan tertinggi sebesar  $39,25 \text{ Kgf/mm}^2$  dibandingkan dengan shoulder  $\phi 18$  mm sebesar  $38,55 \text{ Kgf/mm}^2$  dan  $\phi 20$  mm sebesar  $33,95 \text{ Kgf/mm}^2$  pada daerah *stir zone*. Pada produk hasil las-an, nilai kekerasan naik secara signifikan dari daerah material yang tidak mengalami pemanasan hingga ke daerah yang teraduk dengan shoulder. Pada daerah *TMHZ*, spesimen dengan pemanasan shoulder  $\phi 18$  mm dan  $\phi 20$  mm mengalami penurunan dibandingkan dengan *base material*. Sedangkan, pada daerah *stir zone* nilai kekerasan pada spesimen yang telah di-las dengan kedua shoulder  $\phi 16$  mm dan  $\phi 18$  mm tidak terpaut jauh dengan perbedaan nilai sebesar  $0,7 \text{ kgf/mm}^2$ . Dapat dikatakan spesimen yang telah di-las dengan shoulder  $\phi 16$  mm dan  $\phi 18$  mm memiliki nilai kekerasan tertinggi dibandingkan dengan spesimen yang telah di-las dengan shoulder  $\phi 20$  mm. Hal tersebut terjadi karena panas masuk yang besar dapat menghasilkan bentuk grain yang kecil. Semakin besar shoulder yang dipakai semakin besar juga panas masuk yang diperlukan untuk membentuk grain yang kecil sehingga menyebabkan nilai kekerasan yang tinggi pada pengelasan FSW.

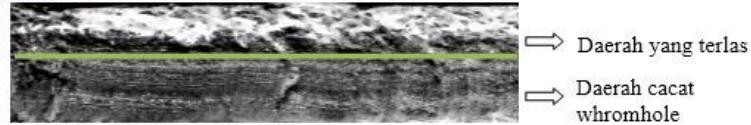
### 3.3 Analisis Foto Makrostruktur

Hasil foto dari setiap spesimen didapatkan setelah pengujian tarik dilakukan. Patahan tersebut di ambil dengan menggunakan kamera digital khusus untuk mendapatkan gambar struktur permukaan yang telah patah. Tujuan dari foto makrostruktur adalah memperkuat hasil analisis awal mula terjadinya patahan dan cacat akibat proses pengelasan FSW.

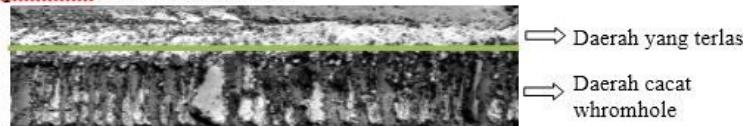
a. Base material



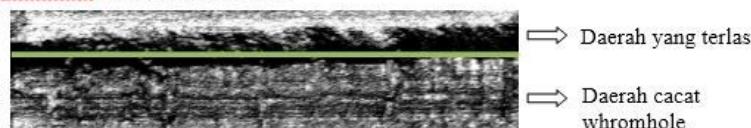
b. Spesimen shoulder ø16mm



c. Spesimen shoulder ø18mm



d. Spesimen shoulder ø20mm



Gambar 9 Hasil patahan uji tarik untuk spesimen : (a) Base material, (b) ø16, (c) ø18, (d) ø20

Berdasarkan hasil foto makrostruktur untuk setiap spesimen hasil pengelasan FSW memiliki perbedaan yang sangat signifikan baik dari segi bentuk ataupun dari sifat mekaniknya. Gambar 9 menunjukan setiap spesimen terdapat cacat berupa *wormhole* atau *incomplete fusion*. Cacat *wormhole* yang terbentuk berupa lubang kecil sepanjang lasan [3]. Cacat *wormhole* terbesar terlihat pada spesimen dengan penggunaan shoulder ø20 mm. Cacat tersebut terjadi akibat material yang teraduk hanya sepertiga dari seluruh material yang di-las. Terlihat dari Gambar 9 dimana setiap spesimen adanya batas antara material yang menyatu dan tidak. Patahan yang terjadi diakibatkan lubang kecil yang menimbulkan retakan-retakan kecil dan menyebar sepanjang las-an. Dengan kata lain material menjadi getas dan patah karena adukan dari pin yang tidak sempurna. Hal tersebut yang menyebabkan nilai kekuatan tarik dari setiap spesimen jauh lebih kecil dibandingkan dengan *base material*.

Salah satu faktor yang menyebabkan rendahnya nilai hasil uji kekerasan yang didapat oleh spesimen pengelasan FSW adalah rendahnya panas yang masuk pada spesimen. Putaran tool yang hanya mencapai 1600 rpm tidak cukup memberikan panas yang dibutuhkan akibat gesekan antara spesimen dan shoulder yang mencapai titik temperatur lebur Aluminium 5083 atau sekitar 450°-650°C. Sedangkan dengan pengukuran Thermocouple Temperaturnya hanya mencapai 350°C pada pengelasan dengan putaran tool 1600 rpm.

#### 4. Kesimpulan

Dari Penelitian di atas dapat disimpulkan:

1. Spesimen dengan shoulder 18mm memiliki UTS tertinggi sebesar 96,45 Mpa, nilai tersebut masih rendah dibandingkan dengan *base material* yang memiliki nilai UTS sebesar 298 Mpa.
2. Nilai Modulus Elastis dan *Strain to Failure* tertinggi didapat oleh spesimen dengan shoulder 20 mm dengan nilai masing-masing sebesar 5,3% dan 11,905 Gpa.
3. Nilai kekerasan tertinggi pada hasil las-an spesimen dengan shoulder 16 mm, dengan nilai kekerasan sebesar 38,9 kgf/mm<sup>2</sup>.
4. Hasil foto makrostruktur menunjukan cacat terbesar didapat oleh spesimen dengan shoulder 20mm

## Daftar Pustaka

- [1] American Welding Society. 2007. *Standard Methods for Mechanical Testing of Welds*. Approved by the American National Standards Institute.
- [2] Elangovan, K dan V.Balasubramanian. 2007. *Influences of Tool Pin Profile and Tool Shoulder Diameter on the Formation of Friction Stir Processing Zone in AA6061 Aluminium Alloy*. India: Annamalai University, Tamil Nadu.
- [3] Megantoro, Luky Tardi dan Hendroprasetyo. 2008. *Pengaruh Pengelasan Aluminium 5083 dan Biaya Pengelasan Pada Friction Stir Welding (FSW)*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember November
- [4] M. Grujicic, G. Arakere, H.V. Yalavarthy, T. He, C.-F. Yen, and B.A. Cheeseman. 2010. *Modeling of AA5083 Material-Microstructure Evolution During Butt Friction-Stir Welding*. ASM International, Journal of Materials Engineering and Performance.
- [5] Mishra, Rajiv S. Murray W, Mahoney. 2007. *Friction Stir Welding and Processing*. Ohio: ASM International.