

**LAPORAN AKHIR**  
**PENELITIAN DOSEN JURUSAN TEKNIK MESIN**  
**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS ANDALAS TAHUN 2017**



**KAJI EKSPERIMENTAL KEKUATAN SAMBUNGAN LAS LOGAM SEJENIS**  
**DAN NON SEJENIS DENGAN METODE FRICTION STIR WELDING**

oleh :

**DEVI CHANDRA, MT, Ph.D (KETUA)**  
**RAHMAT FAJAR (MAHASISWA)**  
**HENDRI SILAEN (MAHASISWA)**

**DIBIYAI OLEH DANA PNBP UNIVERSITAS ANDALAS DENGAN SURAT**  
**PERJANJIAN PELAKSANAAN PENUGASAN KEGIATAN PENELITIAN**  
**DOSEN FAKULTAS TEKNIK**  
**NO. 054/UN.16.09.D/PL/2017 TANGGAL 4 JULI 2017**

**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS ANDALAS**  
**2017**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**PENELITIAN DOSEN JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS ANDALAS TAHUN 2017**

Judul : Kaji Eksperimental Kekuatan Sambungan Las Logam Sejenis dan Non Sejenis dengan Metode Friction Stir Welding

Pengusul :  
Nama : Devi Chandra, MT, Ph.D  
NIP : 197207202006041002  
Pangkat/gol : Penata Muda Tk I /III B  
Jabatan : Asisten Ahli

Jangka waktu kegiatan : 6 bulan (Juni s.d November 2017)

Biaya yang diusulkan : Rp.7.500.000,-  
(Tujuh juta lima ratus ribu rupiah)

Limau Manis, 14 Nopember 2017



Ketua Peneliti



Devi Chandra, MT, Ph.D  
NIP. 197207202006041002

## PRAKATA

Laporan akhir penelitian dosen dengan judul “Kaji Eksperimental Kekuatan Sambungan Las Logam Sejenis dan Non Sejenis dengan Metode Friction Stir Welding“ ini disusun untuk diserahkan kepada Dekan Fakultas Teknik Universitas Andalas sesuai dengan surat perjanjian pelaksanaan penugasan kegiatan penelitian dosen Fakultas Teknik No. 054/UN.16.09.D/PL/2017 tanggal 4 Juli 2017. Penelitian ini melibatkan dua orang mahasiswa yang sedang melaksanakan Tugas Akhir di Jurusan Teknik Mesin.

Laporan akhir ini berisi latar belakang penelitian, tujuan penelitian, tinjauan pustaka yang relevan terhadap masalah yang diteliti, uraian metodologi pelaksanaan penelitian serta hasil dan kesimpulan yang didapat dari penelitian. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang dilaksanakan di Universitas Andalas.

# DAFTAR ISI

Halaman Pengesahan	i
Prakata	ii
Daftar Isi	iii
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
I. PENDAHULUAN	1
II. TINJAUAN PUSTAKA	2
III. METODOLOGI	6
IV. HASIL PENELITIAN	7
V. KESIMPULAN	11
VI. REFERENSI	11

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pengelasan merupakan salah satu proses produksi yang cukup banyak digunakan terutama untuk menyambungkan dua atau lebih komponen/part. Secara umum hanya ada dua jenis pengelasan menurut kondisi materialnya ketika dilas yaitu fusion welding dan solid welding. Pada jenis yang pertama, material yang disambung dalam keadaan plastis atau cair, sedangkan jenis yang kedua material yang disambung dalam keadaan padat. Ciri-ciri utama fusi welding adalah temperature kerja yang tinggi dan adanya filler (material pengisi), yang sangat kontras dengan ciri-ciri solid welding. Hal ini pula lah yang menjadikan salah satu kelebihan dari solid welding yaitu tidak bertambahnya berat dari material yang disambung.

Salah satu jenis solid welding adalah *friction stir welding*. Pengelasan ini banyak digunakan pada kontruksi bidang transportasi dan konstruksi ringan seperti penyambungan struktur rangka pesawat terbang yang semula menggunakan sambungan keling dan sambungan baut. Pengelasan jenis friction stir memerlukan komponen tool yang harus sesuai untuk penyambungan material tertentu. Sementara itu kekuatan sambungan las nya juga dipengaruhi oleh parameter proses pengelasan seperti kecepatan putar tool dan kecepatan gerak material yang disambung. Kekuatan las juga mempunyai korelasi dengan struktur mikro yang terbentuk ketika terjadinya proses pengelasan. Oleh karena itu, untuk mengetahui atau mendapatkan kekuatan sambungan las yang optimum perlu dilakukan penelitian secara eksperimen yang meliputi penentuan atau desain bentuk tool dan memvariasikan harga/nilai parameter-parameter pengelasan.

### 1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan sifat-sifat mekanik (kekuatan tarik dan kekuatan geser) sambungan las material sejenis (Aluminium-Aluminium) dan material tak sejenis (Aluminium-Plastik) menggunakan pengelasan friction stir welding dengan berbagai variasi kecepatan pengelasan, kecepatan putar tool dan jumlah laluan pengelasan. Selain itu juga untuk mendapatkan karakteristik struktur mikro ikatan las (weld bond) pada sambungan las friction stir material sejenis dan material tak sejenis.

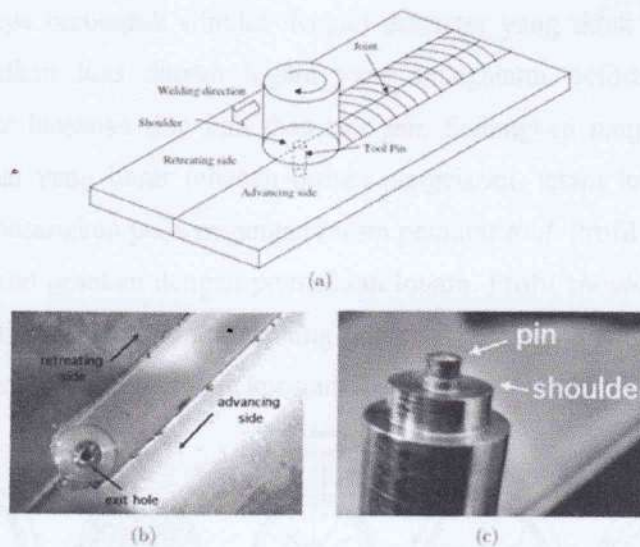
### 1.3 Manfaat

Hasil penelitian dapat digunakan dalam desain dan manufaktur struktur yang proses penyambungan dua material yang berbeda seperti aluminium dan plastic. Juga sebagai penambah wawasan dan khasanah ilmu pengetahuan dan teknologi.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

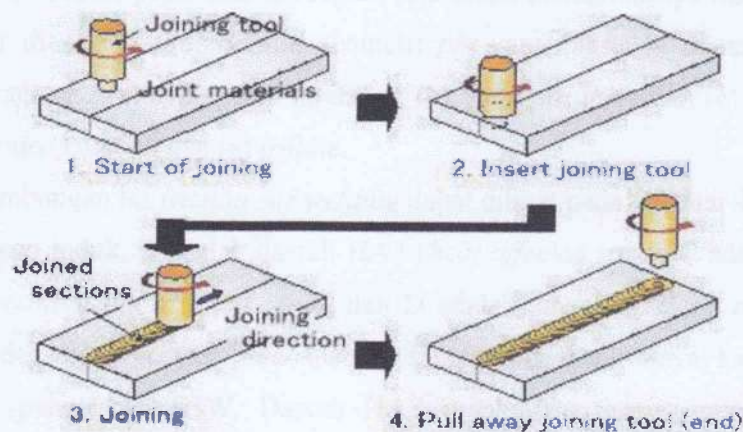
Pengelasan merupakan proses manufaktur yang paling banyak digunakan diberbagai industri baik industri ringan, menengah maupun industri berat. Prinsip dari proses pengelasan adalah penyambungan antara dua atau lebih material dalam keadaan plastis atau cair dengan menggunakan panas atau dengan tekanan atau keduanya [1]. Salah satu jenis pengelasan yang tergolong solid state welding adalah *friction stir welding*. Pengelasan jenis ini banyak digunakan pada konstruksi ringan seperti industri otomotif, industri pesawat yaitu penyambungan struktur rangka pesawat terbang yang semula menggunakan sambungan keling dan sambungan baut. Berbeda dengan jenis pengelasan yang lain, pengelasan jenis ini tidak membutuhkan logam pengisi yang akan menambah bobot struktur sehingga metode ini sangat cocok digunakan pada struktur rangka pesawat terbang atau struktur ringan lainnya.

*Friction stir welding* (FSW) ditemukan pada tahun 1991 oleh The Welding Institute (TWI) di Cambridge, Inggris. FSW merupakan pengembangan dari *friction welding* pada *solid-state welding*, dimana proses pengelasannya menggunakan *tool* yang berputar dan bergesekan pada daerah yang akan disambung seperti terlihat pada Gambar 1 (a). Panas dari gesekan menyebabkan logam dalam keadaan plastis dimana logam melunak tetapi tidak sampai cair. Sedangkan perputaran *tool* digunakan untuk mengaduk logam yang lunak tersebut supaya tersambung. Setelah itu *tool* digerakan sepanjang daerah sambungan. Salah satu bentuk hasil pengelasan dengan *friction stir welding* ditunjukkan pada Gambar 1 (b). Pada gambar ini, sisi *advancing* adalah bagian pelat logam yang arah rotasi sama dengan pengelasan, sedangkan bagian pelat logam yang arah rotasi berlawanan dengan pengelasan disebut sisi *retreating*. Komponen utama pada proses *friction stir welding* adalah *tool* yang terdiri dari *shoulder* dan *pin* seperti terlihat pada Gambar 1 (c). *Shoulder* adalah bagian yang bergesekan pada permukaan logam sehingga terbentuk panas untuk melunakkan logam pada daerah sambungan. Sedangkan *Pin* adalah bagian yang digunakan untuk melakukan penetrasi pada daerah sambungan dan mengaduk logam yang sudah lunak.



Gambar 1. Skema, hasil las, dan *tool* pengelasan FSW [2]

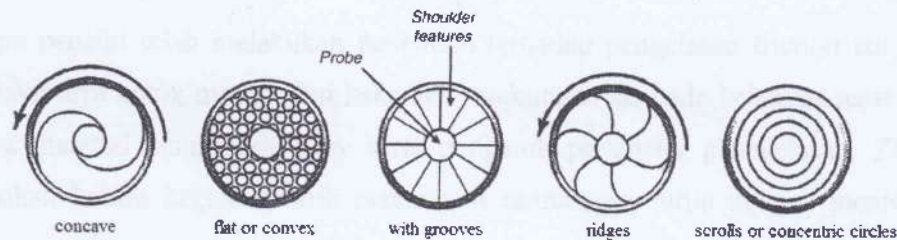
Tahapan-tahapan pengelasan FSW dapat dilihat pada Gambar 2 yang terdiri dari (1) *tool* diputar dahulu sebelum dilakukan penetrasi pada daerah sambungan; (2) *pin tool* melakukan penetrasi sampai *shoulder tool* bergesekan dengan daerah sambungan; (3) setelah terbentuk daerah panas maka *tool* dijalankan sepanjang garis pengelasan; dan (4) *tool* diangkat dari benda kerja menghasilkan lubang (*exit hole*) pada sambungan las.



Gambar 2. Tahapan-tahapan pengelasan FSW [3]

Secara umum *tool* terdiri dari dua bagian yaitu *shoulder* dan *pin*. *Shoulder* adalah bagian yang bergesekan pada permukaan logam sehingga terbentuk panas untuk melunakkan logam pada daerah sambungan. *Pin* adalah bagian yang digunakan untuk melakukan penetrasi pada daerah sambungan dan mengaduk logam yang sudah lunak.

*Shoulder* umumnya berbentuk silinder dengan diameter yang tidak boleh terlalu besar untuk meminimalkan luas daerah logam yang mengalami deformasi plastis. Besar diameter *shoulder* biasanya dua kali diameter *pin*. Sedangkan panjang *shoulder* tidak memiliki pengaruh yang besar terhadap proses pengelasan, tetapi harus cukup panjang supaya mudah dipasangkan pada pegangan mesin pemutar *tool*. Profil *shoulder* dirancang untuk meningkatkan gesekan dengan permukaan logam. Profil *shoulder* dapat berbentuk cekung (*concave*), datar (*flat*) atau cembung (*convex*), dengan alur (*grooves*), punggung (*ridges*), dan gulungan atau lingkaran konsentris yang dapat dilihat pada Gambar 3.

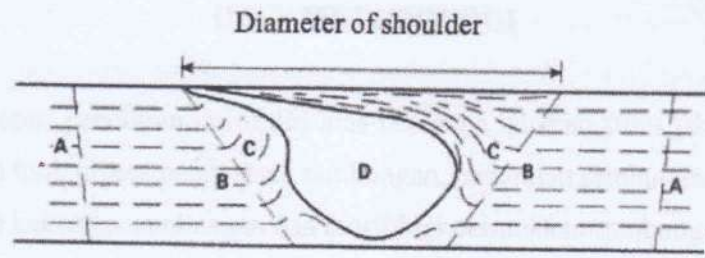


Gambar 3. Profil *shoulder* [4]

*Pin* biasanya berbentuk silinder dan besar diameter sama dengan ketebalan logam yang akan dilas. Kepala *pin* dibuat cukup kecil untuk memudahkan penetrasi pada logam. Sedangkan panjang *pin* harus sedikit lebih pendek dari ketebalan logam sehingga *pin* hanya melakukan penetrasi pada satu sisi logam saja tanpa menembusnya dan memaksa material mengalir di sekitar *pin*. Bentuk geometri *pin* yang biasanya digunakan pada pengelasan FSW adalah : (a) *cylindrical threaded*, (b) *three flat threaded*, (c) *triangular*, (d) *trivex*, (e) *threaded conical*, dan (e) *triflute*.

Daerah-daerah sambungan las *friction stir welding* dapat dilihat pada Gambar 4 dimana A adalah daerah logam induk, B adalah daerah HAZ (*heat affected zone*), C adalah daerah TMAZ (*thermomechanically affected zone*), dan D adalah daerah SZ (*stir zone*). Pada daerah logam induk tidak terjadi perubahan pada struktur materialnya karena tidak terpengaruh oleh pengelasan FSW. Daerah HAZ mengalami proses termal dimana temperatur mengalami perubahan yang mempengaruhi struktur mikro dari material. Daerah TMAZ mengalami dua tahap perlakuan pada logam meliputi proses termal dan mekanik. Pada proses mekanik terjadi deformasi plastis. Daerah SZ disebut juga sebagai NZ (*mugget zone*) merupakan daerah logam yang diaduk oleh *pin*.





Gambar 4. Daerah sambungan las FSW [2]

Beberapa peneliti telah melakukan penelitian terhadap pengelasan friction stir welding ini. Diantaranya untuk mengetahui kekuatan sambungan las pada beberapa jenis material terutama material aluminium alloy serta pengaruh parameter penegelasan. Zhang [5] menemukan bahwa kekuatan tarik maksimum sambungan turun dengan meningkatnya kecepatan putar tool. Moshwan [6] meneliti pengaruh kecepatan putar tool terhadap mikrostruktur nugget zone dan sifat mekanik sambungan las. Rao [7] menyimpulkan salah satu yang mempengaruhi sifat mekanik sambungan las aluminium-magnesium adalah lebar stir zone. Yan [10] meneliti pengaruh parameter friction stir welding terhadap morfologi dan kekuatan tarik sambungan polyethylene menggunakan double-pin tool. Mereka menyimpulkan bahwa kekuatan sambungan las meningkat dengan meningkatnya kecepatan putar tool dan turunnya kecepatan pengelasan. Ji [11] meneliti sambungan las friction stir welding antara aluminum alloy 6061 dan AZ31 magnesium alloy yang dibantu dengan proses ultrasonic. Bozkurt [12] telah meneliti pengaruh jenis material tool terhadap kualitas sambungan friction stir welding pada AA2124-T4 Alloy Matrix MMC. Dawson [13] meneliti pengaruh friction stir welding terhadap mikrostruktur dari baja ODS. Mereka menyimpulkan bahwa peningkatan kecepatan putaran tool menyebabkan penurunan ukuran partikel fraksi.

### III. METODOLOGI

Secara garis besar, penelitian ini terdiri atas beberapa tahapan yaitu tahap perancangan dan pembuatan tool, proses pengelasan sambungan, pengujian sambungan las dan analisa hasil pengujian kekuatan sambungan dan morfologi permukaan sambungan las.

#### 1. Perancangan dan pembuatan *tool*

Perancangan tool dibagi berdasarkan bagian-bagian penting yang ada pada *tool* tersebut yaitu *shoulder*, *pin*, dan *probe*.

##### a. *Shoulder*

Meliputi perancangan profil *shoulder*, diameter dan panjang *shoulder*.

##### b. *Pin*

Meliputi perancangan bentuk geometri *pin*, diameter dan panjang *pin*.

##### c. *Probe*

Meliputi perancangan bentuk *probe* dan ukuran *pitch* ulir.

Pembuatan tool dilakukan dengan proses permesinan menggunakan mesin bubut. Ada dua jenis proses yang diperlukan yaitu bubut silindris untuk menghasilkan geometri badan, *shoulder* dan *pin*, dan bubut ulir untuk menghasilkan geometri *probe*.

#### 2. Proses pengelasan dan pengujian sambungan las

##### a. Pengelasan

Prosedur dalam melakukan pengelasan adalah sebagai berikut.

- Spesimen berupa dua buah pelat dijepitkan pada landasan mesin frais.
- Pasang *tool* pada pencengkram (*holder*) mesin freis.
- Putar *tool* dengan kecepatan 900 rpm untuk sambungan material sejenis Al-Al dan 1200 rpm untuk sambungan Al-akrilik, dan lakukan penetrasi pada daerah yang akan disambung.
- Biarkan *tool* bergesekan dengan material untuk beberapa waktu supaya material menjadi lunak.
- Jalankan landasan mesin frais dengan kecepatan 100 mm/menit sehingga *tool* berjalan di sepanjang daerah sambungan.
- Pada pengelasan dilakukan variasi laluan pengelasan sebagai berikut.
  - i) *Tool* dijalankan satu kali di satu sisi daerah sambungan.
  - ii) *Tool* dijalankan satu kali di kedua sisi daerah sambungan.

iii) *Tool* dijalankan dua kali (bolak-balik) di satu sisi daerah sambungan.

iv) *Tool* dijalankan dua kali (bolak-balik) di kedua sisi daerah sambungan.

#### b. Pengamatan Morfologi Sambungan las

Prosedur dalam melakukan pengamatan morfologi sambungan las adalah sebagai berikut:

- Letakkan spesimen pada *sample chamber*.
- Lihat hasil pembesaran mikroskop optik pada layar komputer.
- Atur pembesaran sesuai dengan kebutuhan.
- Setelah itu pengambilan foto dapat dilakukan.

#### c. Pengujian kekuatan sambungan las

Ada dua jenis pengujian kekuatan sambungan las yang dilakukan yaitu :

- Pengujian kekuatan tarik pada sambungan *butt* join pada material sejenis (Aluminium-Aluminium). Pengujian ini menggunakan universal testing machine.
- Pengujian kekuatan geser pada sambungan *lap* join pada material tidak sejenis (Aluminium-Plastik) menggunakan universal testing machine.

### 3. Analisa hasil pengujian

Dilakukan untuk mengetahui kekuatan sambungan las dan pengaruh dari parameter pengelasan terhadap kekuatan sambungan las.

## IV. HASIL PENELITIAN

### 1. *Tool* Friction Stir Welding

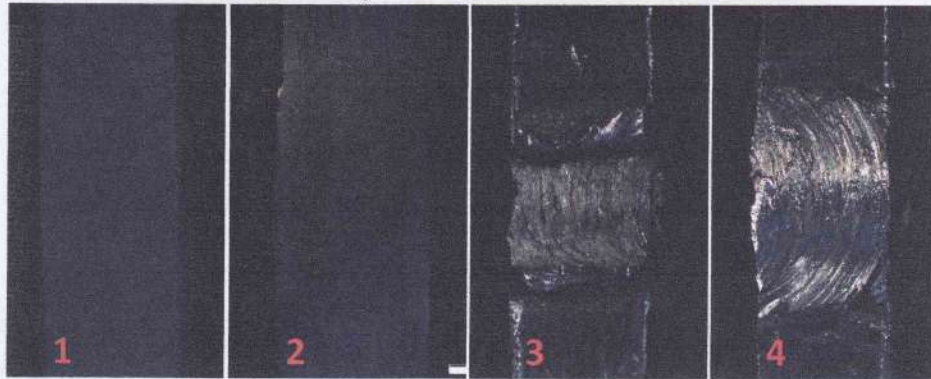
Gambar rancangan *tool* untuk pengelasan FSW ditunjukkan pada Gambar 5. *Tool* terbuat dari material baja ST 37. Ukuran *shoulder* adalah panjang dan diameter masing-masing 85 mm dan 15 mm. *Pin* berbentuk silindris dengan panjang dan diameter masing-masing 4,7 mm dan 5 mm. Sedangkan *probe* berbentuk ulir luar pada bagian *pin* dari *shoulder* sampai ujung *pin* dengan jarak *pitch* ulir 0,5 mm.



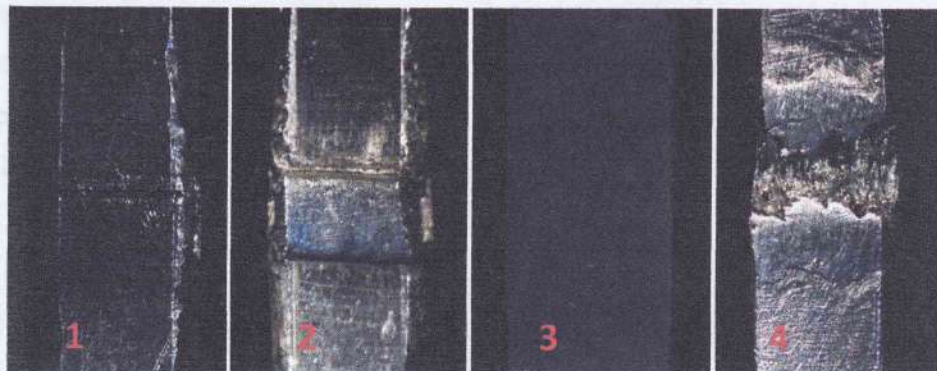
Gambar 5. Bentuk *tool* las yang dibuat

## 2. Morfologi Permukaan Sambungan

Bentuk permukaan sambungan las logam sejenis (Al-Al) pada sisi atas dan bawah diamati menggunakan mikroskop optik. Hasil pengamatan ditunjukkan pada Gambar 6 dan 7. Pada keempat spesimen terlihat bahwa pada sisi atasnya mengalami penyambungan dengan baik, sedangkan permukaan sambungan sisi bawah pada speimen 4 (dua laluan atas bawah) pengelasan dua laluan sisi bawah menyebabkan sambungan menjadi rusak.

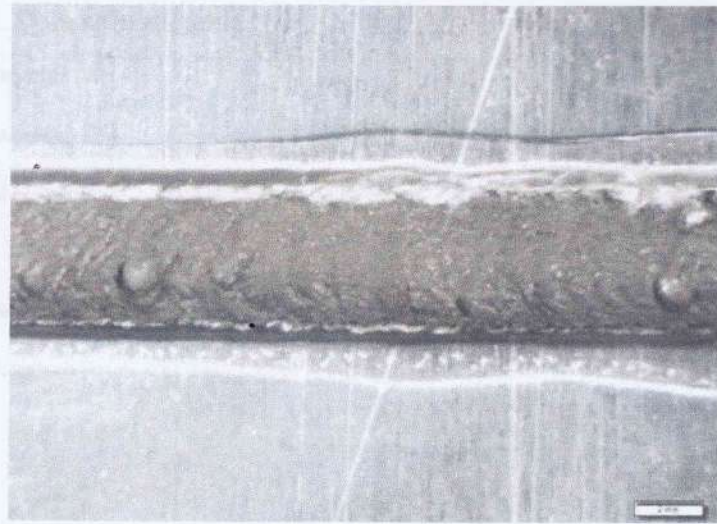


Gambar 6 Sisi atas spesimen perbesaran 0,63x



Gambar 7. Sisi bawah spesimen perbesaran 0,63x

Hasil pengamatan bentuk permukaan sambungan las material tak sejenis (AA1100-akrilik) dengan perbesaran 0,63x dari sisi akrilik ditunjukkan pada Gambar 8. Seluruh daerah/zona lasan terlihat dengan jelas. A adalah daerah material induk (aluminium dan akrilik), B adalah daerah HAZ (*heat affected zone*), C adalah daerah TMAZ (*thermomechanically affected zone*), dan D adalah daerah SZ (*stir zone*).



Gambar 8. Daerah sambungan las AA1100-akrilik perbesaran 0,63x

### 3. Kekuatan Sambungan Las

Data hasil pengujian kekuatan tarik sambungan las *butt joint* AA5052-AA5052 dengan variasi laluan pengelasan dapat dilihat pada Tabel 1. Sedangkan hasil pengujian kekuatan geser sambungan lap joint (AA1100-Akriklik) dapat dilihat pada Tabel 2. Dari tabel 1 dan 2 dapat disimpulkan bahwa nilai kekuatan tarik sambungan las lebih rendah daripada nilai kekuatan tarik logam induk. Berdasarkan data hasil uji tarik pada tabel 1 dapat disimpulkan bahwa kekuatan las logam sejenis AA5052-5052 dipengaruhi oleh laluan pengelasan. Berdasarkan pada laluan pengelasan, kekuatan tarik rata-rata diurut dari yang paling tinggi adalah dua laluan bolak-balik-sisi atas, satu laluan-sisi atas dan bawah, satu laluan-sisi atas, dan dua laluan bolak-balik-sisi atas dan bawah. Ketebalan pelat AA5052 adalah 5 mm dan kedalaman makan *pin tool* adalah 4,8 mm sehingga terdapat daerah ketebalan 0,2 mm pelat yang tidak mengalami pengelasan FSW. Pada variasi dua laluan bolak-balik-sisi atas daerah ini mengalami proses kenaikan temperatur yang menyebabkan terjadinya penyambungan. Sedangkan variasi satu laluan-sisi atas karena hanya satu kali laluan pengelasan maka kenaikan temperatur menyebabkan sambungan yang dihasilkan pada daerah ketebalan 0,2 mm pelat tidak kuat dibandingkan dengan variasi dua laluan bolak-balik-sisi atas yang dilakukan dua kali laluan pengelasan. Pada variasi satu laluan-sisi atas dan bawah karena pengelasan dilakukan pada kedua sisi maka daerah AA5052 setebal 5 mm mengalami pengelasan FSW. Sedangkan variasi dua laluan bolak-balik-sisi atas dan bawah menjadi terendah nilai kekuatannya karena terlalu banyaknya jumlah laluan yang dilakukan menyebabkan banyaknya volume AA5052 yang selama proses pengelasan.

Tabel 1. Data hasil uji tarik

Material dan Parameter Tool	Variasi Laluan Pengelasan	Kode Spesimen	Kekuatan Tarik (MPa)
AA5052 – AA5052, putaran 900 rpm, kecepatan makan 100 mm/min	Satu laluan – sisi atas	1a	68,47
		1b	92,84
		1c	74,20
		<b>Rata-rata</b>	<b>78,50</b>
	Dua laluan bolak-balik – sisi atas	2a	106,86
		2b	135,20
		2c	172,30
		<b>Rata-rata</b>	<b>138,12</b>
	Satu laluan – sisi atas dan bawah	3a	92,44
		3b	103,76
		3c	110,05
		<b>Rata-rata</b>	<b>102,08</b>
	Dua laluan bolak-balik – sisi atas dan bawah	4a	68,13
		4b	49,05
		4c	88,90
		<b>Rata-rata</b>	<b>68,69</b>

Tabel 2. Data hasil uji geser

Material dan Parameter Tool	Variasi Laluan Pengelasan	Kode Spesimen	Kekuatan Geser (MPa)
AA1100 – Akrilik, putaran 1200 rpm, kecepatan makan	Satu laluan – sisi AA1100	s1	2,02
		s2	2,72
		s3	0,92
		<b>Rata-rata</b>	<b>1,89</b>

Dari tabel 2 dapat disimpulkan bahwa nilai kekuatan geser sambungan las lebih rendah daripada nilai kekuatan geser logam induk. Pada pengelasan AA1100-akrilik hanya variasi satu laluan–sisi aluminium yang mengalami penyambungan dengan nilai rata-rata kekuatan gesernya adalah 1,89 MPa, sedangkan pada variasi dua laluan bolak-balik–sisi aluminium tidak terjadi penyambungan.

## V. KESIMPULAN

Dari analisa hasil pengujian sambungan las dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengaruh varfasi laluan terhadap kekuatan tarik sambungan las AA5052-AA5052 dari nilai tertinggi adalah variasi dua laluan bolak-balik-sisi atas 138,12 MPa, variasi satu laluan-sisi atas dan bawah 102,08 MPa, variasi satu laluan-sisi atas 78,50 MPa, dan variasi dua laluan bolak-balik-sisi atas dan bawah 68,69 MPa.
2. Pada pengelasan material tak sejenis AA1100-akrilik, sambungan las hanya terbentuk pada satu laluan-sisi alumunium saja dengan nilai rata-rata kekuatan geser sebesar 1,89 MPa.
3. Dari pengamatan permukaan sambungan dengan mikroskop optic, daerah lasan berupa HAZ, TMAZ, dan SZ lebih mudah terlihat pada pengelasan AA1100-akrilik dibandingkan dengan pengelasan AA5052-AA5052.

## VI. REFERENSI

- [1] British Standards Institution, 1983.
- [2] Nandan, R., dkk. 2008. *Recent Advances in Friction Stir Welding -- Process, Weldment Structure and Properties*. Progress in Materials Science, vol. 53, pp. 980-1023.
- [3] Singh, Bharat Raj. 2012. *A Handbook on Friction Stir Welding*. India: Lambert Academic Publishing.
- [4] Mohan, D. 2014. *Friction Stir Welding Tools and Overview*. International Journal of IT, Engineering and Applied Sciences Research (IJEASR), vol. 3, No. 4, pp. 11-15.
- [5] Zhang, F, et.al. *Effect of welding parameter on microstructures and mechanical properties of friction welded joint of a super high strength Al-Mg alloy*. Materials and Design (2015) 67, 483-491.
- [6] Moshwan, R., et.al. *Effect of rotational speed on force generation, microstructure and mechanical properties of friction stir welded Al-Mg-Cr-Mn (AA 5052-O) alloy*, Materials and Design (2015) 66, 118-128.
- [7] Rao, H.M., et.al. *Effect of process parameters on mechanical properties of friction stir spot welded magnesium to aluminium allots*. Material and Design (2015) 66, 235-245.

- [8] Swapp, Susan. (10 November 2016) Scanning Electron Microscopy (SEM).[http://serc.carleton.edu/research\\_education/geochemsheets/techniques/SEM.html](http://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/techniques/SEM.html).
- [9] Universal Testing Machines Mechanical. (10 November 2016).  
[http://www.fuelinstrument.com/universal\\_testing\\_machine\\_mechanical.html](http://www.fuelinstrument.com/universal_testing_machine_mechanical.html).
- [10] Yan, Y, Shen Y. Influences of friction stir welding parameters on morphology and tensile strength of high density polyethylene lap joints produced by double-pin tool, *Journal of Manufacturing Processes* (2017) 28, 33-40
- [11] Ji, S., et.al. Dissimilar friction stir welding of 6061 aluminum alloy and AZ31 magnesium alloy assisted with ultrasonic, *Material Letters* ((2017) 201, 173-176
- [12] Bozkurt Y, and Boumerzoug Z., Tool material effect on the friction stir butt welding of AA2124-T4 Alloy Matrix MMC, *Journal of Material Research and Technology* (2017)
- [13] Dawson H., et. Al , Impact of friction stir welding on the microstructure of ODS steel, *Journal of Nuclear Materials* (2017) 486, 129-137.