



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Pengaruh RPM dan Diameter Pin Tool Terhadap Kekuatan Tarik, Impak, dan Mikrografi Hasil Pengelasan Friction Stir Welding (FSW) Single Side Pada Aluminium 5083

Muhamad Rizki Riyadi¹⁾, Sarjito Jokosisworo¹⁾, Ahmad Fauzan Zakki¹⁾

¹⁾Laboratorium Pengelasan

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

^{*}e-mail : rizkyriyadi2@gmail.com, jito_sar@yahoo.com, ahmadfzakki@yahoo.com

Abstrak

Dalam dunia perkapalan, Aluminium 5083 pada kapal umumnya digunakan sebagai bahan baku pembuatan kapal aluminium khususnya pada bagian lambung. Pengelasan FSW (Friction Stir Welding) menggunakan prinsip gesekan dari benda kerja yang berputar dengan benda kerja lain yang diam sehingga mampu melelehkan benda kerja yang diam dan akhirnya menyatu ini bertujuan untuk mengetahui hasil dari uji Tarik impak, dan struktur mikrografi dari sambungan las FSW dengan perbedaan diameter pin tools dan pengelasan dua sisi pada Aluminium 5083. Dari penelitian ini dapat diketahui bahwa besarnya diameter berpengaruh terhadap hasil kekuatan dari sambungan las. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tegangan tarik rata-rata sebesar 145,11 Mpa pada diameter pin tool 10, sedangkan regangan rata-rata terbesar sebesar 16,17% pada diameter pin tool 10, Sedangkan modulus elastisitas rata-rata terbesar didapat pada pengelasan diameter 8 mm sebesar 10,18 GPa, dan hasil harga impak rata-rata terbesar didapat pada pengelasan dengan diameter 8 mm sebesar 0,085 J/mm². Pada struktur mikro diameter 8 mm memiliki penyebaran struktur mikro yang lebih rapat pada daerah HAZ (Heat Affected Zone) dan stir zone, dan variasi diameter 9 mm terlihat struktur yang hampir berimbang di daerah Base Metal, HAZ dan stir zone.

Kata Kunci : Pengelasan Friction Stir Welding, Pin Tools, Aluminium 5083, Uji Tarik, Uji Impact, Uji Mikrografi

1. PENDAHULUAN

Dalam rangka meningkatkan akan kualitas dan kuantitas maka dilakukan pengembangan dalam proses pengelasan *Solid State Welding* (SSW) yang dikenal sebagai metode *Friction Stir Welding* (FSW). Efisiensi pengelasan umumnya ditemui dalam kasus FSW, dalam hal ini sangat logis untuk menanyakan apakah penggunaan logam pengisi FSW dapat memiliki efek yang menguntungkan yang sama seperti dalam kasus fusion welding. Namun, karena ketidaksesuaian dalam sifat mekanik filler yang berbeda dengan logam dasar, FSW melibatkan filler logam yang berbeda dapat menimbulkan tantangan tambahan dan bahan bahkan kompromi kelayakan proses penyambungan. Aluminium 5083 merupakan jenis aluminium perpaduan antara magnesium (Mg) 4,5%. paduan seri 5000 adalah tipe paduan aluminium yang tidak dapat diperbaiki sifat

mekaniknya dengan perlakuan panas, sehingga dinamakan *Non Heat Treatable Alloy*. Aluminium paduan seri 5083 adalah jenis aluminium yang banyak digunakan dalam dunia industri perkapalan, karena memiliki sifat mekanik (*Mechanical Properties*) dan ketahanan korosi lebih baik. Pada bidang perkapalan biasanya aluminium dipergunakan untuk konstruksi pada bagian tangki, khususnya tangki air tawar atau tangki bahan bakar. Aluminium merupakan logam yang mempunyai sifat mekanik tahan terhadap korosi dan hantaran listrik yang relatif baik. Logam ini digunakan secara luas bukan saja untuk peralatan rumah tangga, tetapi juga digunakan untuk material pesawat terbang, otomotif, kapal laut, dan konstruksi bangunan [1]

Proses pengelasan dengan FSW terjadi pada kondisi padat (*Solid State Joining*). Proses pengelasan dengan FSW terjadi pada *temperature*

solvus, sehingga tidak terjadi penurunan kekuatan akibat *over aging* dan larutnya endapan koheren. Karena temperature pengelasan tidak terlalu tinggi, maka tegangan sisa yang terbentuk dan distorsi akibat panas juga rendah. [2].

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan kajian tentang “Pengaruh Diameter Pin Terhadap Kekuatan dan Kualitas *Joint Line* Pada Proses *Friction Stir Welding* Aluminium Seri 5083 Untuk *Pre-Fabrication* Panel Bangunan Atas Kapal” [8] dimana pada penelitian tersebut menggunakan diameter pin tools: 5 mm, 6 mm, dan 7 mm. Hasil pengujian tarik diperoleh bahwa rata - rata ultimate strength untuk pengelasan dengan menggunakan diameter pin *tool* 5 mm adalah 252.27 MPa, untuk diameter pin *tool* 6 mm adalah 285.65 Mpa dan pada diameter pin *tool* 7 mm adalah 246.39 Mpa. Dengan hasil ini dapat diketahui bahwa *ultimate strength* yang tertinggi adalah dengan menggunakan diameter pin tool 6 mm. Dan pada uji tekuk, hasil uji tekuk pada bagian *face* pada semua variasi diameter pin tidak terdapat adanya kegagalan, meskipun tertekuk sampai 180°, namun pada bagian *root* diameter pin 6 mm adalah yang paling lemah dengan rata-rata open defect pada sudut 11.5°.

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan kajian tentang “Analisa Pengaruh Perbedaan Diameter Pin *Tool* Terhadap Kekuatan Tarik, Impak, dan Mikrografi Pada Aluminium 6061 Dengan Metode Pengelasan *Friction Stir Welding* (FSW)”[14]. memiliki tegangan rata-rata 143,17 Mpa dengan presentase kenaikan sebesar 66,84% dari tegangan rata-rata yang di hasilkan oleh diameter pin 6 mm, dan regangan rata-rata 13,71 % pada pada diameter pin 8 mm. Pada diameter pin 7 mm memiliki tegangan rata-rata sebesar 89,90 Mpa dengan presentase kenaikan sebesar 4,76% dari tegangan rata-rata yang dihasilkan oleh diameter pin 6 mm dan regangan rata-rata 11,47 %. Dan tegangan rata-rata 85,82 Mpa dan regangan rata-rata sebesar 10,89 % pada diameter pin 6 mm.

Pada Penelitian sebelumnya telah dilakukan kajian tentang “Pengaruh Kecepatan Putar *Tool* Terhadap Kekuatan Mekanik Sambungan Las Aluminium 1XXX Ketebalan 2 MM dengan Metode *Friction Stir Welding*” [15] Hasil kekuatan tarik dan tegangan luluh tertinggi pada sambungan las FSW dengan putaran tool 980 rpm sebesar 80.7 dan 79.4 MPa yang terendah pada putaran tool 2700 sebesar 68,73 MPa dan 64,5 MPa. Kekuatan tarik sambungan las FSW mencapai 76% dari base metal. Nilai regangan tertinggi pada putaran tool 2300 rpm sebesar 14,1% mengalami patahan ulet dan terendah pada putaran tool 980 rpm.

Oleh karena itu penelitian kali ini akan dilakukan modifikasi lebar pin *tool* berbentuk silinder, dengan variasi lebar pin 8mm, 9mm, dan 10mm. Kecepatan putar juga akan di atur RPM pada nilai tertinggi mesin *milling*. Pemilihan material *tool* adalah baja KNL 110 *Extra* yang dilakukan proses *hardening* sampai dengan 61 HRC. Pengujian yang akan dilakukan pada sambungan las ini yakni penguji tarik (*tensile test*), pengujian impak (*impact test*), dan pengujian mikrografi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan kekuatan kekuatan uji tarik, kekuatan uji impak, dan melihat hasil perubahan struktur mikro pada Aluminium 5083 setelah dilakukan pengelasan FSW dengan perbedaan diameter pin *tool*, sehingga dapat di ketahui pengelasan yang baik jika ditinjau dari kekuatannya.

2. METODE

2.1. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan selama penelitian yaitu:

- Alat yang digunakan yaitu Mesin Gerinda, Mesin Uji Tarik, Mesin Uji Impak, Mesin Mikrografi, Mesin Las FSW, Termometer Gun
- Bahan penelitian yang digunakan yaitu Almunium 5083 dan Baja KNL 110 Extra



Gambar 1. Aluminium 5083

Tabel 1. Material Properti Aluminium 5083

No	Aluminium 5083	
1	Poisson's Ratio	0,33
2	Modulus Of Elasticity	71 GPa
3	Density	2,66 g/cc
4	Yield Stress	228MPa
5	Elongation at Break	16%
6	Fatigue Strength	159 MPa
7	Tensile Strength	317 MPa

2.2. Las Friction Stir Welding (FSW)

Friction Stir Welding (FSW) merupakan proses penyambungan dua material logam maupun non logam tanpa melewati titik lebur benda kerja dan digunakan untuk aplikasi dimana kebutuhan akan perubahan karakteristik dasar dari benda kerja bisa diminimalisir sekecil mungkin. Dalam FSW, tool berputar dan bergerak dengan kecepatan konstan sepanjang jalur sambungan antara dua material yang dilas.

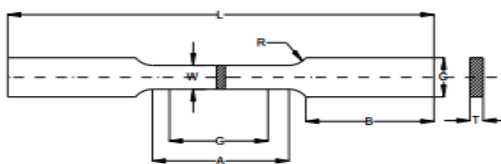
Gesekan panas (*Frictional Heat*) pada FSW dihasilkan dari gesekan anatara pin/probe dan *shoulder welding tool* dengan material benda kerja. Panas ini bersamaan dengan panas yang dihasilkan dari proses pengadukan mekanik (*mechanical mixing*) akan menyebabkan material yang diaduk akan melunak tanpa melewati titik leburnya (*Melting Point*), hal inilah yang memungkinkan tool pengelasan bisa bergerak sepanjang jalur pengelasan.



Gambar 2.. Prinsip *Friction Stir Welding*

2.3. Pengujian Tarik

Pengujian tarik merupakan suatu pembebanan pada benda dengan memberikan gaya yang berlawanan pada benda dengan arah menjauh dari titik tengah, atau dengan memberikan gaya pada salah satu ujung benda dan ujung lainnya diikat. Pengujian ini untuk mengetahui sifat-sifat mekanis suatu logam dan paduannya. Proses terjadinya deformasi pada bahan hingga putus dapat dievaluasi melalui tahapan pembebanan tarik. Hasil pengukuran dari pengujian tarik adalah kurva yang memberikan hubungan gaya yang dipergunakan yang dialami spesimen



Gambar 3. Bentuk Spesimen Uji Tarik (*ASTM E8/E8M-09*) [8]

Keterangan :

<i>Gage length</i> (G)	: 50,0 mm
<i>Length of reduced section</i> (A)	: 57 mm
<i>Width</i> (W)	: 12,5 mm
<i>Thickness</i> (T)	: 10 mm
<i>Radius of fillet</i> (R)	: 12,5 mm
<i>Overall length</i> (L)	: 200 mm
<i>Width of grip section</i> (C)	: 20 mm
<i>Length of grip section</i> (B)	: 50 mm

Rumus untuk mendapatkan nilai tegangan adalah:

$$\sigma = P / A_0 \quad (1)$$

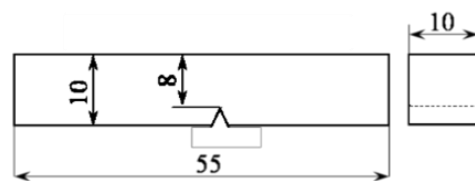
Dan rumus nilai regangan tarik adalah :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100 \% \quad (2)$$

Dimana, P adalah beban (N), A_0 adalah luas penampang awal (mm^2), ΔL adalah selisih pertambahan panjang, L_0 adalah panjang mula-mula

2.4. Pengujian Impak

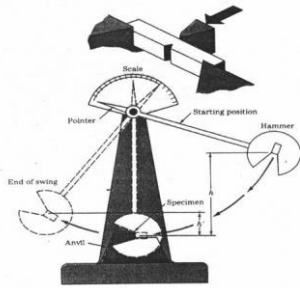
Informasi lain yang dapat dihasilkan dari pengujian *impact* adalah temperatur transisi bahan. Temperatur transisi adalah temperatur yang menunjukkan transisi perubahan jenis perpatahan suatu bahan bila diuji pada temperatur yang berbeda-beda. Pada pengujian dengan temperatur yang berbeda-beda maka akan terlihat bahwa pada temperatur tinggi material akan bersifat ulet (*ductile*) sedangkan pada temperatur rendah material akan bersifat rapuh atau getas (*brittle*).



Gambar 3. Bentuk Spesimen Impak (*ASTM E23*) [10]

Keterangan :

<i>Overall Length</i> (L)	: 55 mm
<i>Width</i> (W)	: 10 mm
<i>Thickness</i> (T)	: 10 mm
sudut <i>Notched Charpy</i>	: 45°



Gambar 5. Ilustrasi Skematis Pengujian Impak Dengan Benda Uji Charpy. [9]

Nilai Impak suatu bahan yang di uji dengan metode charpy diberikan oleh :

$$HI = E / A \quad (3)$$

Dimana, E adalah Energi yang diserap (J), A adalah Luas penampang dibawah takik (mm²)

2.5. Pengujian Mikrografi

Uji Mikrografi adalah suatu proses pengujian yang bertujuan untuk memperoleh gambar yang menunjukkan struktur mikro sebuah logam atau paduan. Pengujian mikrografi dimaksudkan untuk melihat perubahan struktur pada sebuah logam atau paduan setelah dilakukan pengelasan dari logam murni. [7]

2.6. Tahapan Penelitian

Sebelum melakukan pengujian dilakukan tahapan- tahapan yaitu : Pertama pembuatan pin *tools* , pin akan digunakan dalam pengelasan FSW, pin juga harus memenuhi kekuatan sebesar 61 HRC agar ketika terjadi rotasi pin dengan material kerja dapat melelehkan material kerja. Kedua melakukan pengelasan FSW dengan mesin *miling* sebagai motor pemutar pin *tools*. Ketiga melakukan pembuatan spesimen, dimana untuk uji tarik menggunakan ASTM E8, dan uji impak menggunakan ASTM E23, dan uji mikrografi menggunakan spesimen uji impak. Keempat melakukan pengujian tarik, impak, dan struktur mikro pada hasil pengelasan Aluminium 5083.

1.7. Tempat dan Waktu Penelitian

Pada penelitian Tugas Akhir ini, proses pengelasan FSW dilakukan di BPM DIKJUR Jawa Tengah, Semarang, pada tanggal 15-17 Juli 2019. Sedangkan untuk pengujian tarik, impak dan mikrografi pada penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta pada tanggal 28 Juli 2019.

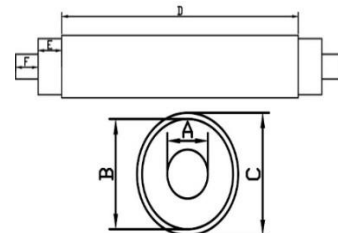
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pembuatan Spesimen Pengelasan

Setelah mendapatkan pelat berbentuk lembaran, kemudian pelat di potong menjadi beberapa bagian sesuai dengan jumlah variasi yakni menjadi 6 bagian dengan rincian 3 lembar untuk spesimen uji Tarik dan 3 lembar untuk specimen uji impact. Dengan ukuran 100 mm x 220mm x 10mm sebanyak 3 lembar untuk spesimen tarik dengan 3 variasi 3 diameter, dan ukuran 50 mm x 60 mm x 10 mm sebanyak 3 lembar untuk specimen impact dengan 3 variasi diameter. 3 buah spesimen mikrografi dengan ukuran 15 mm x 60 mm x 10 mm sebanyak 3 buah.

3.2. Pembuatan Pin Tools

Tools merupakan bagian penting dari pengelasan FSW (*Friction Stir Welding*) .Material *tools* merupakan baja berbentuk silinder dengan spesifikasi bahan yakni Baja KNL Extra 110 yang dibeli dari PT. Bajasas Semarang. Pin *tools* di desain terlebih dahulu dengan bentuk dan dimensi sebagai berikut :



Gambar 6. Dimensi *Tools*

Keterangan :

Material Pin	: KNL 110 Extra
Kekerasan	: 61 HRC
Diameter Pin (A)	: X, Y, Z mm
Diameter Probe (B)	: 18 mm
Diameter <i>Tools</i> (C)	: 20 mm
Panjang <i>Tools</i> (D)	: 70 mm
Panjang Probe (E)	: 10 mm
Panjang Pin (F)	: 9,6 mm



Gambar 7. Pembuatan pin *tools* dengan mesin bubut

3.3. Hasil Pengelasan

Dari proses pengelasan FSW didapatkan hasil sebagai berikut :



Gambar 8. Hasil Pengelasan

Dari ketiga variasi diameter pin, dilakukan pengukuran suhu tiap-tiap pengelasan di dapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 2. Data Suhu Pengelasan

Variasi Diameter Pin	Awal	Tengah	Akhir
8 mm	151°C	210°C	205°C
9 mm	215°C	232°C	217°C
10 mm	232°C	266°C	259°C

3.4. Hasil Pengujian Tarik

Pengujian dilakukan pada tanggal 28 Juli 2018, dengan standar ASTM E8. Hasil yang didapatkan dari pengujian tarik adalah nilai regangan tarik, regangan tarik, dan modulus elastisitas yang dapat digunakan untuk mengetahui kekuatan tarik dari material aluminium 5083 pasca pengelasan menggunakan las FSW (*Friction Stir Welding*). Dan proses pengujian tarik pada penelitian tugas akhir ini dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin Sekolah Vokasi Universitas Gajah Mada. Mesin yang digunakan untuk pengujian tarik ini adalah mesin "ContraLab France".

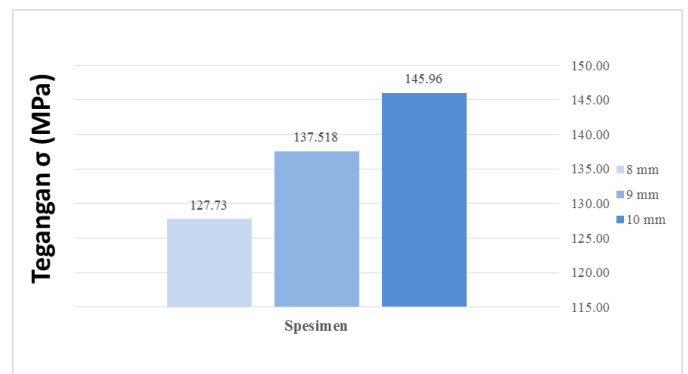
3.4.1. Hasil Pengujian Tegangan Tarik

Dari pengujian yang telah dilakukan, maka didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 3. Data Hasil Pengujian Tegangan Maks.

Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	P Max (N)	Max σ (MPa)	Rata σ (MPa)
Ø8 (R) 1	12.55	9.54	15160	126.62	127.73
Ø8 (R) 2	12.59	9.57	15290	126.90	
Ø8 (R) 3	12.57	9.81	15990	129.67	
Ø9 (R) 1	12.49	9.49	16400	138.36	137.52
Ø9 (R) 2	12.35	9.90	16770	137.16	
Ø9 (R) 3	12.64	9.48	16420	137.03	
Ø10 (R) 1	12.70	10.12	18980	147.68	145.96
Ø10 (R) 2	12.94	9.98	18790	145.50	
Ø10 (R) 3	12.65	10.09	18470	144.71	

Tegangan Tarik



Gambar 9. Diagram Nilai Tegangan Maksimum

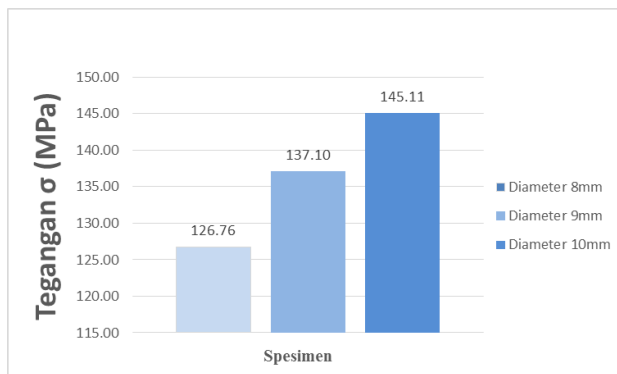
Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan terhadap spesimen tarik, maka dapat dilihat bahwa semakin besar ukuran diameter pin *tool* berpengaruh terhadap nilai kekuatan tarik hasil pengelasan FSW.

Hasil sambungan las aluminium 5083 menggunakan pengelasan FSW (*Friction Stir Welding*) dengan variasi diameter 10 mm menghasilkan nilai yang paling baik yaitu dengan rata-rata **145,96 MPa** dan nilai terbesar yaitu **147,68 MPa**

Tabel 4. Data Hasil Standar Deviasi

Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	P Max (N)	Max σ (MPa)	Rata σ (MPa)
Ø8 (R) 1	12.55	9.54	15160	126.62	126.76
Ø8 (R) 2	12.59	9.57	15290	126.90	
Ø8 (R) 3*	12.57	9.81	15990	129.67	
Ø9 (R) 1*	12.49	9.49	16400	138.36	137.10
Ø9 (R) 2	12.35	9.90	16770	137.16	
Ø9 (R) 3	12.64	9.48	16420	137.03	
Ø10 (R) 1*	12.70	10.12	18980	147.68	145.11
Ø10 (R) 2	12.94	9.98	18790	145.50	
Ø10 (R) 3	12.65	10.09	18470	144.71	

Keterangan : (*) tidak memenuhi nilai standar deviasi



Gambar 10. Diagram Nilai Tegangan Standar Deviasi

Dari perhitungan statistik menggunakan standar deviasi (simpangan baku) didapatkan hasil tegangan tarik yang diperoleh sesuai tabel. Nilai standar deviasi yang memiliki rentang yang kecil sehingga terdapat satu spesimen tiap variasi yang tereliminasi.

Sehingga didapatkan hasil bahwa sambungan las Aluminium 5083 menggunakan pengelasan FSW (*Friction Stir Welding*) *single side* dengan variasi diameter pin *tools* 10 mm menghasilkan kualitas yang paling baik yaitu sebesar **145,50 Mpa** dengan nilai rata-rata **145,11 MPa**

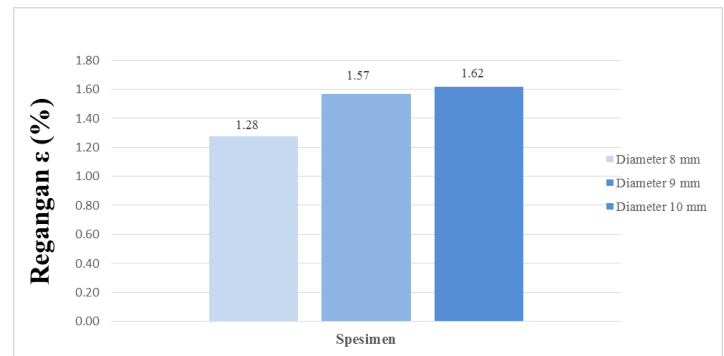
3.4.2. Hasil Regangan Tarik

Dari pengujian yang telah dilakukan, maka didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 5. Data Hasil Pengujian Regangan Tarik

Spesimen	LO (mm)	L1 (mm)	ΔL (mm)	Regangan ϵ (%)	Rata-rata, ϵ (%)
Ø8 (R) 1	50	56.17	6.17	1.23	1.28
Ø8 (R) 2	50	56.28	6.28	1.26	
Ø8 (R) 3	50	56.68	6.68	1.34	
Ø9 (R) 1	50	57.90	7.90	1.58	1.57
Ø9 (R) 2	50	57.95	7.95	1.59	
Ø9 (R) 3	50	57.68	7.68	1.54	
Ø10 (R) 1	50	58.04	8.04	1.61	1.62
Ø10 (R) 2	50	58.09	8.09	1.62	
Ø10 (R) 3	50	58.13	8.13	1.63	

Regangan Tarik



Gambar 11. Diagram Regangan Tarik

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan terhadap spesimen Tarik, maka dapat dilihat bahwa semakin besar ukuran dari diameter pin *tools* berpengaruh terhadap nilai regangan tarik hasil pengelasan FSW *Single Side*.

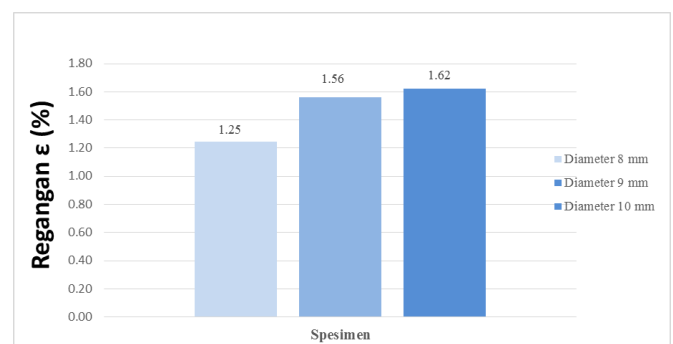
Kenaikan nilai regangan berbanding lurus dengan nilai dari tegangan tarik. Hal ini sesuai dengan teori dari Hukum Hooke.

Nilai tertinggi di dapat pada hasil pengelasan FSW (*Friction Stir Welding*) dengan diameter pin *tools* 10 mm dengan nilai sebesar **1,63 %** dengan nilai terbesar **1,62 %**

Tabel 6. Data Hasil Regangan Standar Deviasi

Spesimen	LO (mm)	L1 (mm)	ΔL (mm)	Regangan ϵ (%)	Rata-rata, ϵ (%)
Ø8 (R) 1	50	56.17	6.17	1.23	1.25
Ø8 (R) 2	50	56.28	6.28	1.26	
Ø8 (R) 3*	50	56.68	6.68	1.34	
Ø9 (R) 1*	50	57.90	7.90	1.58	1.56
Ø9 (R) 2	50	57.95	7.95	1.59	
Ø9 (R) 3	50	57.68	7.68	1.54	
Ø10 (R) 1*	50	58.04	8.04	1.61	1.62
Ø10 (R) 2	50	58.09	8.09	1.62	
Ø10 (R) 3	50	58.13	8.13	1.63	

Keterangan : (*) tidak memenuhi nilai standar deviasi



Gambar 12. Diagram Regangan Tarik Standar Deviasi

Dari perhitungan statistik menggunakan standar deviasi (simpangan baku) didapatkan hasil regangan tarik seperti di tabel. Nilai yang di eliminasi pada nilai regangan tarik akan mengikuti eliminasi pada nilai regangan tarik.

Sehingga didapatkan hasil bahwa sambungan las aluminium 5083 menggunakan pengelasan FSW (*Friction Stir Welding*) *single side* dengan variasi diameter 10 mm menghasilkan nilai regangan rata-rata **1,62 %** dengan nilai terbesar **1,63 %**

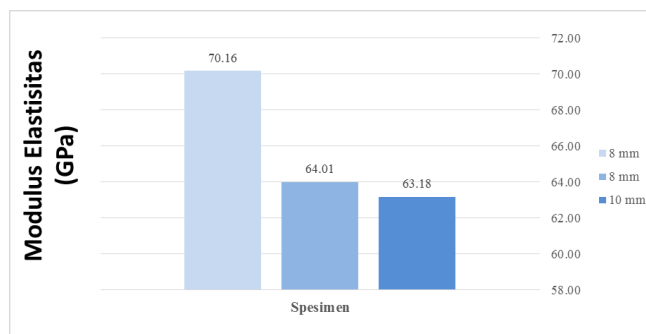
3.4.3. Hasil Modulus Elastisitas

Dari pengujian yang telah dilakukan, maka didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 7. Data Hasil Modulus Elastisitas

Spesimen ^{oo}	Regangan ϵ (%)	P luluh (N)	E (GPa)	E Rata-rata (MPa)	E Rata-rata (GPa)
Ø8 (R) 1	1.23	89	71.827		70.16
Ø8 (R) 2	1.26	89	70.726	70164.94	
Ø8 (R) 3	1.34	91	67.942		
Ø9 (R) 1	1.58	101	63.927		64.01
Ø9 (R) 2	1.59	100	62.973	64008.36	
Ø9 (R) 3	1.54	100	65.125		
Ø10 (R) 1	1.61	103	64.287		63.18
Ø10 (R) 2	1.62	102	62.948	63177.14	
Ø10 (R) 3	1.63	101	62.296		

Modulus Elastisitas



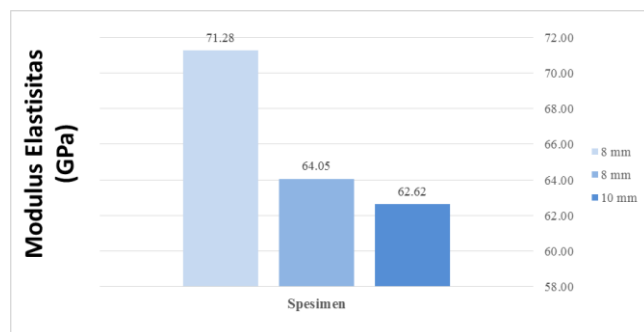
Gambar 13. Diagram Nilai Modulus Elastisitas

Dari grafik diperoleh bahwa semakin tinggi nilai tegangan dan regangan maka nilai modulus semakin kecil, secara fisik modulus mengukur kekuatan bahan terhadap respon pada beban yang bekerja dan menunjukkan sifat tertentu bahan. Bahan yang kaku didefinisikan sebagai sifat bahan yang mampu bertahan. pada tegangan tinggi tanpa terjadi regangan yang besar.

Tabel 8. Data Hasil Modulus Elastisitas Standar Deviasi

Spesimen ^{oo}	Regangan ϵ (%)	P luluh (N)	E (GPa)	E Rata-rata (MPa)	E Rata-rata (GPa)
Ø8 (R) 1	1.23	89	71.827		71.28
Ø8 (R) 2	1.26	89	70.726	71276.61	
Ø8 (R) 3*	1.34	91	67.942		
Ø9 (R) 1*	1.58	101	63.927		64.05
Ø9 (R) 2	1.59	100	62.973	64049.29	
Ø9 (R) 3	1.54	100	65.125		
Ø10 (R) 1*	1.61	103	64.287		62.62
Ø10 (R) 2	1.62	102	62.948	62622.15	
Ø10 (R) 3	1.63	101	62.296		

Keterangan : (*) tidak memenuhi nilai standar deviasi



Gambar 14. Diagram Nilai Modulus Elastisitas Standar Deviasi

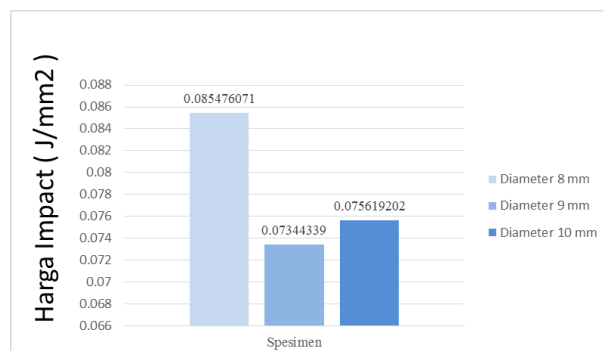
Dari perhitungan statistik menggunakan standar deviasi (simpangan baku) didapatkan hasil nilai rata-rata **71,28 GPa** dan nilai tertinggi **71,82 GPa**

3.5. Hasil Pengujian Impak

Pengujian impak dilakukan pada tanggal 28 Juli 2019, dengan standar ASTM E23. Hasil yang didapatkan dari pengujian impak adalah sebagai berikut:

Tabel 9. Data Hasil Uji Impak

Spesimen	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Energi (J)	Energi Terserap (J)	Harga Impact J/mm^2	Rata-rata J/mm^2
Ø8 (R) 1	10.43	8.27	300	8	0.081	
Ø8 (R) 2	10.46	7.79	300	6	0.074	0.085
Ø8 (R) 3	10.63	8.33	300	9	0.102	
Ø9 (R) 1	10.54	7.52	300	6	0.076	
Ø9 (R) 2	10.70	8.69	300	7	0.075	0.073
Ø9 (R) 3	10.50	8.24	300	6	0.069	
Ø10 (R) 1	10.60	8.09	300	7	0.082	
Ø10 (R) 2	10.40	8.44	300	7	0.080	0.076
Ø10 (R) 3	10.63	8.62	300	6	0.065	



Gambar 15. Diagram Harga Impak

Dari diagram hasil pengujian yang telah dilakukan, harga impact tertinggi pada sambungan las aluminium 5083 terhadap pengelasan FSW (*Friction Stir Welding*) variasi 8 mm memiliki rata-rata impact tertinggi 0,085 J/mm². Lalu pada variasi 9 mm memiliki rata-rata impact tertinggi 0,073 J/mm². Dan pada variasi 10 mm memiliki rata-rata impact 0,076 J/mm².

Dari hasil diatas menunjukkan bahwa pada variasi 8 mm memiliki nilai impact tertinggi yaitu 0,085 J/mm². Nilai tertinggi di dapat pada hasil pengelasan FSW (*Friction Stir Welding*) dengan diameter pin tools 8 mm.

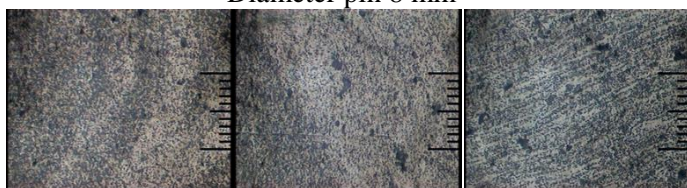
3.6. Hasil Pengujian Mikrografi

Untuk proses pengerjaan pengujian mikrografi, tahapan yang harus dilakukan sebelum hasil dapat dilihat struktur mikro dan makronya terlebih dahulu material di amplas dengan amplas nomer 100, 200, 400, 600 dan 1000. Setelah proses pengamplasan hingga halus maka material harus di *autosol* hingga material yang sudah di amplas mengkilap. Lalu proses dilanjutkan dengan pengetsaan. Untuk material aluminium standart etsa yang di gunakan adalah larutan NaOH 50%.



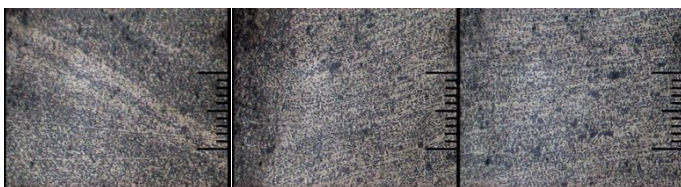
a) Daerah Las b) Daerah HAZ c) Daerah Base Metal

Gambar 16. Struktur Mikro Hasil Las FSW Diameter pin 8 mm



a) Daerah Las b) Daerah HAZ c) Daerah Base Metal

Gambar 17. Struktur Mikro Hasil Las FSW Diameter pin 9 mm



a) Daerah Las b) Daerah HAZ c) Daerah Base Metal

Gambar 18. Struktur Mikro Hasil Las FSW Diameter pin 10 mm

Fasa yang bisa dilihat dari ketiga foto di atas adalah fasa yang berwarna putih (*alfa*) dan yang berwarna hitam (*beta*). Fasa putih merupakan fasa yang memiliki kekuatan rendah namun memiliki keuletan yang baik. Fasa gelap merupakan fasa yang memiliki kekuatan yang kuat dan cukup keras.

Pada daerah *base metal* memiliki butiran hitam yang cenderung merata dan masih menyebar. Dan pada daerah HAZ, butiran partikel putih mengalami perubahan bentuk dan pertambahan jumlah yang lebih banyak di bandingkan pada *base metal*. Dan pada daerah *stir zone* mengalami perubahan bentuk dan ukuran partikel terlihat lebih besar daripada ukuran partikel yang ada di HAZ dan *base metal*. Hal ini disebabkan oleh suhu dan pergerakan rotasi dari *tool* pada saat pengelasan disekitar *stir zone*. Di tandai juga dengan penyebaran ferrite sesuai dengan daerah putaran *stir zone*. Pada daerah *base metal* memiliki ukuran butir yang kecil, karena pada daerah *base metal* tidak terkena pengaruh efek panas akibat dari pengelasan [12].

Hasil pengamatan struktur mikro dapat diambil kesimpulan bahwa penyebaran dan perubahan struktur memiliki kesamaan pada tiap-tiap bagian. Pada variasi 8 mm memiliki kekerasan yang lebih baik diantara semua variasi. Pada variasi 10 mm memiliki keuletan yang lebih baik dari semua variasi. Dan pada variasi 9 mm lebih terlihat struktur yang hampir berimbang baik di daerah BM, HAZ maupun daerah *stir zone*.

3.7. Perbandingan Hasil Uji dengan Standar BKI

Pada hasil pengujian yang telah dilakukan, nilai kekuatan tarik pada sambungan las aluminium 5083 menggunakan *Friction Stir Welding*, belum ada yang memenuhi standar nilai kuat tarik BKI. Menurut BKI pada “*Rules For The Classification and Construction, Part 1 Vol VI: Rules for Welding, Section 5: Welding Consumables and Auxilliary Materials*”, aluminium 5083 harus mempunyai standar nilai kuat tarik (*Tensile Strength*) ≥ 275 MPa [18]. Nilai kekuatan tarik yang dihasilkan pada pengujian yang dilakukan pada sambungan las aluminium 5083 pada variasi diameter 8 mm memiliki rata rata kekuatan tarik sebesar 142,75 MPa. Begitu juga pada variasi 9 mm memiliki rata rata kekuatan tarik yang dihasilkan sebesar 155,03 MPa. Pada variasi 10 mm memiliki rata rata kekuatan tarik yang dihasilkan sebesar 161,23 MPa.

Penurunan nilai kekuatan tarik pada sambungan las aluminium 5083 dibandingkan dengan standar BKI dapat diakibatkan karena

kualitas pengelasan yang dihasilkan ketika proses pengelasan kurang maksimal. Ada pun beberapa faktor diantaranya penetrasi pin yang belum optimal saat pengelasan, heat input yang kurang maksimal, dan juga diameter pin yang belum sesuai. Oleh karena itu diperlukan ketelitian yang lebih, serta pengembangan penelitian tentang pengelasan Friction Stir Welding (FSW) yang lebih baik agar hasil yang didapatkan bisa lebih maksimal.

4. KESIMPULAN

Setelah melakukan analisa terhadap hasil pengujian tarik, impak, dan mikrografi pada sambungan las aluminium 5083 pasca pengelasan FSW dengan variasi perbedaan diameter pin *tools*, menghasilkan kekuatan yang berbeda. maka dapat diambil kesimpulan yaitu:

Kekuatan tarik rata-rata dari masing-masing variasi yaitu, untuk variasi diameter pin 8 mm 127,73 MPa, diameter 9 mm sebesar 137,52 MPa, dan diameter 10 mm sebesar 145,96 MPa.

Harga impak rata-rata dari masing-masing variasi yaitu, untuk diameter 8 mm sebesar 0,085 J/mm², untuk diameter 9 mm sebesar 0,073 J/mm², dan untuk variasi 10 mm sebesar 0,076 J/mm².

Hasil pengamatan struktur mikro dapat diambil kesimpulan bahwa penyebaran dan perubahan struktur memiliki kesamaan pada tiap-tiap bagian. Pada variasi 8 mm memiliki kekerasan yang lebih baik diantara semua variasi. Pada variasi 10 mm memiliki keuletan yang lebih baik dari semua variasi. Dan pada variasi 9 mm lebih terlihat struktur yang hampir berimbang baik di daerah BM, HAZ maupun daerah *stir zone*.

Untuk penelitian selanjutnya agar dapat memperhatikan proses pengelasan, dalam melakukan pengelasan pencengkraman pada sisi plat aluminium harus benar-benar menekan plat, dan penetrasi pin juga harus diperhatikan karena berpengaruh pada hasil pengelasan. Serta selanjutnya diharapkan melakukan kajian tentang variasi terhadap diameter pin yang lebih besar dan sudut pin dari pengelasan FSW, karena hal itu juga sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Orang Tua dan Keluarga yang selalu mendukung dan mendoakan penulis, Bapak Sugeng Dermawan S.Pd selaku Kepala Lab Program Mesin BPM DIKJUR Jawa Tengah, dan Bapak Lilik Dwi Setyana ST, MT selaku Kepala

Sub Bagian Lab Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin Sekolah Vokasi UGM, serta teman-teman yang sudah membantu dalam mengerjakan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Surdia and Shinroku, "Pengetahuan Bahan Teknik," Jakarta: Pradnya Paramita, 1992.
- [2] R. Nandan, T. Debroy, and B. H.K.D.H, "Recent advances in friction-stir welding – Process, weldment structure and properties, *Progress in Materials Science* 53," pp. 980–1023, 2008.
- [3] ASM, *Friction Stir Welding And Processing*. 2007.
- [4] J. M and Dkk, *Optimization of process parameters for friction stir welding of cast aluminium alloy A319 by Taguchi method*, Journal of Scientific & Industrial Research. 2009.
- [5] Wiryosumarto, H dan Okumura, Thoshie. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*, Jakarta :PT. Pradnya Paramita.
- [6] V. Malau, Pengaruh Perlakuan Panas *Quench* Dan Temper Terhadap Laju Keausan, Ketangguhan Impak, Kekuatan Tarik, dan Kekerasan Baja XW 42, *Jurnal Media Teknik*, 2008.
- [7] ASM, "Metallography and Microstructure," vol. 9, 2004.
- [8] Purwanto A. Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, "Pengaruh Diameter Pin Terhadap Kekuatan dan Kualitas *Joint Line* Pada Proses *Friction Stir welding* Aluminium Seri 5083 Untuk *Pre-Fabrication Panel* Bangunan Atas Kapal," pp. 1-6, 2013.
- [9] Aljufri. 2008. Pengaruh Variasi Sudut Kampuh V Tunggal dan Kuat Arus Pada Sambungan Logam Aluminium-Mg 5083 Terhadap Kekuatan Tarik Hasil Pengelasan TIG. Universitas Sumatra Utara.
- [10] Jones D(n.d). 2015 .Pengertian Pengelasan. Retrieved from:<http://www.pengelasan.com/2014/06/pengertianpengelasanadalah.html>(Accessed: 27 Maret 2019)
- [11] A. Sudrajat, "Analisis sifat mekanik hasil pengelasan aluminium AA 1100 dengan metode *Friction Stir Welding* (FSW)," *Jember*, 2012.
- [12] R. Setiaji, *Pengujian Tarik*. Jakarta: Laboratorium Metalurgi Fisik FTUI, 2009.

- [13] F. W. Wibowo, Pengaruh *Holding Time Annealing* Pada Sambungan Smaw Terhadap Ketangguhan Las Baja K945 EMS45. Semarang: Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang, 2013.
- [14] Azhari, Rizka, “Analisa Pengaruh Perbedaan Diameter Pin *Tool* Terhadap Kekuatan Tarik, Impak, dan Mikrografi Pada Aluminium 6061 Dengan Metode Pengelasan *Friction Stir Welding* ”.
- [15] Romadhoni, M. Haris, “Pengaruh Kecepatan Putar Tool Terhadap Kekuatan Mekanik Sambungan Las Aluminium 1XXX Ketebalan 2 MM dengan Metode *Friction Stir Welding* ”
- [16] Setiawan, Andri. “Analisa Pengaruh Kecepatan Putar Spindel 800 RPM dan 1250 RPM pada sambungan Fe-Al dengan Metode *Friction Stir Welding* (FSW)”
- [17] Tispanto, Vikky. Rosyad dkk. “Pengaruh Variasi Diameter Ketirisan Pin dan *Feed Motion* terhadap kekuatan tarik sambungan hasil *Friction Stir Welding* pada Aluminium”
- [18] Biro Klasifikasi Indonesia, “ *Rules for the Classification and Construction: Volume VI Rules for Welding* ”