



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Pengaruh Perbedaan *Feed Rate* Terhadap Kekuatan Tarik dan Impak Aluminium 6061 Metode Pengelasan *Friction Stir Welding*

Aji Nurhafid¹⁾, Sarjito Jokosisworo¹⁾, Untung Budiarto¹⁾

¹⁾Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Email: ajinurhafid@gmail.com

Abstrak

Friction Stir Welding (FSW) adalah jenis pengelasan yang ditemukan oleh Wayne Thomas di *The Welding Institute* (TWI) pada tahun 1991. Hasil pengelasan yang mudah, cepat, dan ramah lingkungan ini telah banyak diterapkan pada konstruksi kapal, khususnya kapal aluminium. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil kuat impak dan kuat tarik pengelasan *Friction Stir Welding* dengan variasi *feed rate*. Material Aluminium yang digunakan adalah Al 6061. Proses pengelasan menggunakan putaran tool 1500 RPM, dengan *feed rate* 30 mm/min, 70 mm/min, 100 mm/min, dan 200 mm/min. Pengujian yang dilakukan yaitu uji tarik dengan menggunakan standar ASTM E 8M -00b dan uji impak metode charpy dengan standar ASTM E23. Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *feed rate* 70 mm/min menghasilkan nilai kuat tarik maksimal terbaik yaitu sebesar 150, 06 MPa, dan *feed rate* 30 mm/min menghasilkan nilai kuat impak terbaik sebesar 0,21 J/mm².

Kata Kunci : Aluminium 6061, Pengelasan FSW, Feed Rate, Kuat Tarik, Kuat Impak

1. PENDAHULUAN

Aluminium merupakan unsur metal yang berlimpah di dalam kerak bumi. Karena sifatnya yang mudah dibentuk, lentur, dan tahan korosi inilah Aluminium banyak digunakan untuk berbagai aspek industri termasuk di bidang industri perkapalan. Akan tetapi untuk Aluminium murni memiliki kekuatan yang rendah. Hal ini bisa ditingkatkan dengan pepaduan Aluminium dengan komposisi lainnya untuk peningkatan sifat dari Aluminium murni tersebut. Kekuatan tensil aluminium murni adalah 90 MPa, sedangkan aluminium paduan memiliki kekuatan stensil berkisar 200-600 MPa. Aluminium memiliki berat sekitar satu pertiga baja, mudah ditebuk, diperlakukan dengan mesin, dicor, ditarik (*drawing*), dan diekstrusi. Salah satu pepaduan Aluminium adalah pada seri 6061.

Aluminium seri 6061 merupakan Aluminium paduan yang cukup banyak digunakan di dunia perkapalan terutama pada struktur rangka bangunan lepas pantai. AA 6061 merupakan paduan Aluminium dengan Magnesium dan Silikon sebagai komposisi utama yang memiliki

sifat tidak dapat diperlakukan, tetapi memiliki sifat yang baik dalam segi kekuatan dan daya tahan korosi terutama korosi oleh air laut serta sifat mampu las yang sangat baik.

Friction Stir Welding merupakan proses pengelasan yang di promosikan dengan sedikit biaya dan kualitas sambungan yang baik. Hal itu dikarenakan tidak membutuhkan logam pengisi dan bisa menghilangkan atau memperkecil jumlah cacat retak dan porositas. Prinsip FSW menggunakan tools yang berotasi dan bergerak melintas sehingga material terjadi penempaan pada pusat lasan dan akhirnya melebur. Variabel proses pengelasan FSW yaitu paramater tool dan parameter pengelasan. Parameter pengelasan meliputi kecepatan putar, kemiringan tool, kecepatan tempuh, penetrasi shoulder, penetrasi probe, bentuk dan dimensi probe, bentuk dan dimensi shoulder, material tool, dll.

Pada penelitian ini akan dikaji pengaruh *Feed Rate* yang digunakan dalam pengelasan material aluminium paduan 6061 dengan metode las *Friction Stir Welding* (FSW), sehingga dari kajian tersebut dapat diketahui sejauh mana pengaruh

penggunaan *Feed Rate* tersebut terhadap kekuatan impact dan tarik sambungan las dan hasil lasnya (*weld metal*) dengan cara melalui pengujian impact (*impact test*) dan pengujian tarik (*tensile test*).

1.1. Perumusan Masalah

Berdasarkan pokok permasalahan yang terdapat pada latar belakang, maka penelitian ini terdapat rumusan masalah yaitu untuk mengetahui sejauh mana pengaruh *feed rate* terhadap kekuatan impact dan tarik hasil lasan *friction stir welding* dalam pengelasan aluminium paduan 6061.

1.2. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang di atas maka maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui karakteristik Aluminium 6061 setelah terkena pengaruh dari pengelasan.
2. Membandingkan hasil pengelasan yang terbaik dengan variasi kecepatan *feed rate*.
3. Membandingkan nilai kuat tarik dan impact hasil pengelasan dengan standar yang ditetapkan BKI.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Aluminium paduan seri 6061 adalah jenis aluminium yang banyak digunakan dalam dunia industri, khususnya untuk konstruksi perkapalan dan penerbangan. Paduan seri 6xxx adalah tipe paduan aluminium yang dapat diperbaiki sifat mekaniknya dengan perlakuan panas atau dapat diperlakukan panas, sehingga dinamakan *heat treatable alloy*.

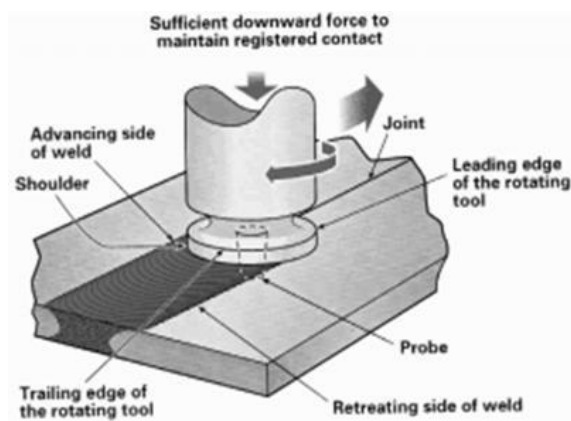
Pengertian Pengelasan menurut DIN (*Deutch Industrie Normen*) las adalah suatu ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat dijabarkan lebih lanjut bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas.

Sedangkan proses pengelasan adalah salah satu proses teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan sambungan yang kontinu.

2.1. Friction Stir Welding

Friction Stir Welding ditemukan oleh Wayne Thomas di *The Welding Institute*, Inggris, pada Desember 1991. *Friction Stir Welding* merupakan proses penyatuan dua logam tanpa mencairkan logam yang disatukan (dalam keadaan padat) selama proses penyatuan. Proses *Friction Stir Welding* beroperasi pada temperatur yang relatif rendah. Panas dihasilkan dari gesekan antara benda

kerja dan *tool* yang berputar, di bawah tekanan aksial yang besar pada daerah pengelasan. Proses ini biasanya digunakan pada aplikasi yang membutuhkan tanpa adanya perubahan karakteristik dari logam dasar. Mencairkan suatu material dapat merusak mikrostruktur dan penyusunan material serta menghilangkan sifat khusus material tersebut. Karena pengelasan dilakukan dibawah titik lebur material maka sangat memungkinkan untuk menghasilkan lasan yang memiliki *Heat Affected Zone* yang sempit, sehingga perubahan karakteristik dari logam dasar di daerah pengelasan dapat diminimalisir, karena itu tegangan sisa dan tegangan punter sangat sedikit. Penggabungan material (hasil lasan) dihasilkan dari kombinasi pergeseran *tool* dan *mechanical deformation* dari material kerja sendiri selama pergeseran *tool*. Gambar 1 menunjukkan prinsip teknik pengelasan FSW.



Gambar 1. Prinsip FSW

2.2. Pengujian Tarik

Uji tarik banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan. Berikut adalah sifat-sifat yang dihasilkan oleh pengujian tarik:

1. Kekuatan tarik maksimum (σ)

Merupakan tegangan maksimum yang dapat ditanggung oleh material sebelum terjadinya perpatahan (*fracture*). Pada bahan yang bersifat getas, dimana tegangan maksimum itu merupakan sekaligus tegangan perpatahan (titik putus). Dirumuskan:

$$\sigma = \frac{P}{A_0}$$

Dimana, σ adalah Tegangan tarik maksimum (MPa, N/mm²), P adalah Beban Maksimum (N) dan A_0 adalah Luas Penampang Mula-mula (mm²).

2. Regangan maksimum (e)

Diukur sebagai penambahan panjang ukur setelah perpatahan terhadap panjang awalnya. Dirumuskan:

$$e = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\%$$

$$e = \frac{L_i - L_0}{L_0} \times 100\%$$

Dimana, L_i adalah Panjang sesudah patah (mm), L_0 adalah Panjang mula-mula (mm), e adalah Regangan (%).

3. Modulus elastisitas (E)

Merupakan ukuran kekakuan suatu material pada grafik tegangan-regangan, modulus kekakuan tersebut dapat dihitung dari slope kemiringan garis elastic yang linier, diberikan oleh:

$$E = \frac{\sigma}{e}$$

Dimana, E adalah Modulus elastisitas (GPa, KN/mm²), σ adalah Tegangan Maksimum (MPa, N/mm²), dan e adalah Regangan (%). [4]

Pengujian tarik dapat menunjukkan beberapa fenomena perpatahan ulet dan getas, perpatahan ini dapat dilihat dengan mata telanjang. Perpatahan getas memiliki ciri-ciri yang berbeda dengan patah ulet, yaitu tidak ada atau sedikit sekali terjadi deformasi plastis pada material. Patahannya merambat sepanjang bidang.

2.3. Pengujian Impak

Pengujian impak adalah suatu pengujian yang digunakan untuk menentukan sifat-sifat suatu material yang mendapatkan beban dinamis, sehingga dari pengujian ini dapat diketahui sifat ketangguhan suatu material baik dalam wujud liat maupun ulet serta getas. Dengan catatan bahwa apabila nilai atau harga *impact* semakin tinggi maka material tersebut memiliki keuletan yang tinggi. Dimana material uji dikatakan ulet jika patahan yang terjadi pada bidang patah tidak rata dan tampak berserat-serat. Tetapi apabila material getas, hasil dari patahan tampak tara dan mengkilap. Pada kondisi material ulet dapat mengalami patah getas dengan deformasi plastis yang sangat kecil. Nilai Harga Impak pada suatu specimen adalah energy yang diserap tiap satuan luas penampang lintang specimen uji. Persamaannya sebagai berikut:

$$H = \frac{E}{A}$$

Keterangan:

H= Nilai Impact (Joule,mm²)

E = Energi yang diserap (Joule)

A = Luas penampang bawah takik (mm²)

3. METODOLOGI PENELITIAN

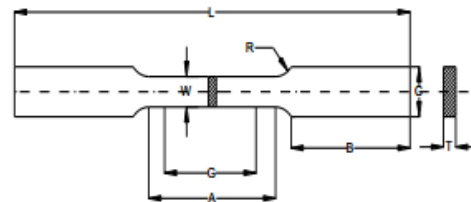
Pengumpulan data diperoleh dari buku-buku, majalah, modul, artikel, jurnal dan melalui internet. Sehingga dapat mempelajari karakteristik

material aluminium 6061, pengelasan FSW, serta mempelajari pengujian Tarik dan impak

3.1. Parameter Penelitian

➤ Parameter tetap

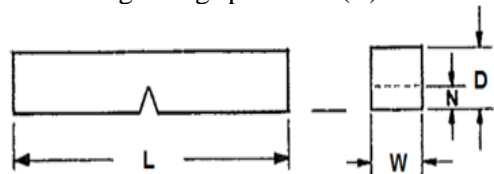
- Spesimen dari Aluminium 6061
Bahan penelitian yang digunakan adalah material Aluminium 6061 dengan ketebalan 5 mm. Adapun *mechanical properties* aluminium 6061 :
 - Modulus elastisitas : 68,9 Gpa
 - Poisson's Ratio: 0,33
 - Density : 2.7 g/cc
 - Tensile strength : 310 Mpa
 - Yield strength : 276 Mpa
 - Regangan : 12 %
- Dimensi ukuran spesimen



Gambar 2. Bentuk Spesimen Uji Tarik

Keterangan :

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



Gambar 3. Bentuk Spesimen Uji Impak

Keterangan :

- Panjang : 8 mm
- Lebar : 5 mm
- Kedalaman takik : 2 mm
- Sudut Takik : 45⁰

- Mesin milling

Pengelasan Friction stir welding menggunakan mesin Milling Universal.

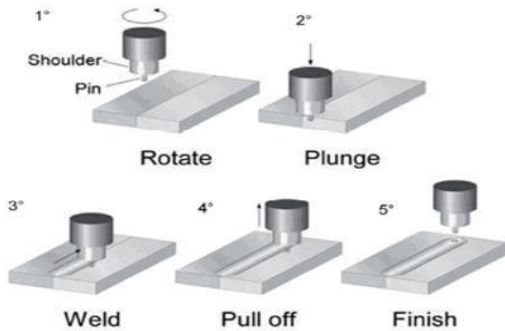
- Tools

Tools yang digunakan pada mesin milling universal ini terbuat dari bahan baja ST 90 dengan kekerasan 77 HRC.

3.2. Proses Pengelasan

Pembentukan tools di lakukan dengan ukuran sebagai berikut:

- Diameter pin 4 mm
- Diameter tool 20 mm
- Panjang tool 200 mm
- Parameter mesin : 1500 RPM, *tilt* 2°, *feed rate* 30 mm/menit, 70 mm/menit, 100 mm/menit, dan 200 mm/menit.
- Proses pengelasan



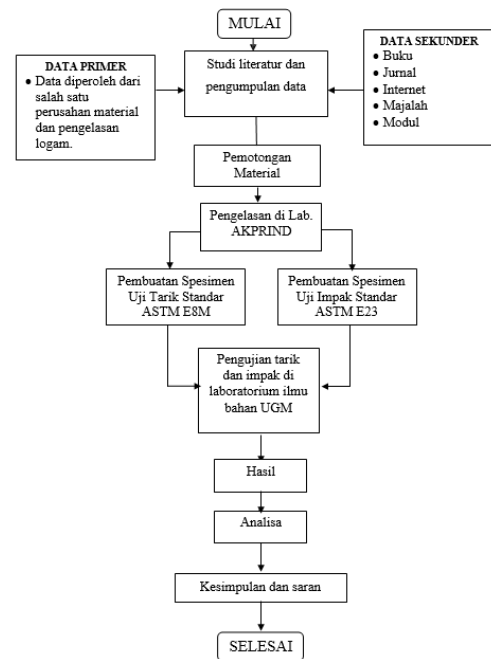
Gambar 4. Proses *Friction Stir Welding*

Mesin berputar dengan kecepatan 1500 RPM. Tools yang dalam keadaan berputar tersebut di tekan hingga bagian tools pin seluruhnya masuk dalam spesimen.

Setelah tools melakukan penetrasi pada spesimen, meja kerja bergerak dengan kecepatan 30 mm/menit, 70 mm/menit, 100 mm/menit, dan 200 mm/menit hingga ujung spesimen, lalu tools diangkat.

3.3. Flow Chart Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini, dapat dilihat dalam skema dibawah ini:



4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan ketersediaan bahan dipasaran, pembuatan spesimen pengelasan menggunakan bahan kapal yaitu aluminium 6061 yaitu campuran utama aluminium, magnesium dan silikon. Pelat tersebut biasa digunakan untuk sekat dan panel dek dalam kapal cepat aluminium

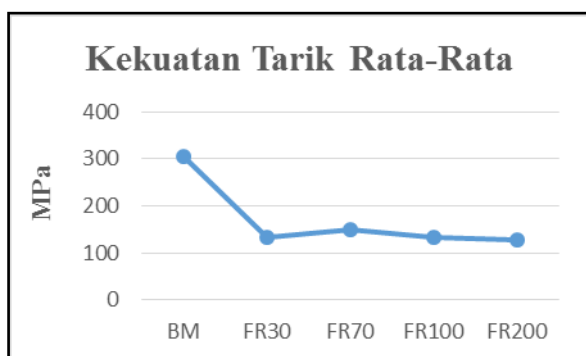
4. 1. Hasil Pengujian Tarik (*Tensile Strength*)

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Tarik *Base Metal*

Spesimen (Aluminium 6061)	tegangan (σ_{max}) (MPa)	Regangan (ϵ) (%)	E (GPa)
Base Metal 1	303,75	10,9	2,78
Base Metal 2	305,26	11,1	2,75
Base Metal 3	304,34	10,9	2,79
	σ Rata-rata 304,45 MPa	ϵ Regangan Rata-rata 10,96 %	E Rata-rata 2,77 GPa

Tabel 2. Data hasil pengujian tarik Pengelasan FSW

Variasi Feed Rate	Spesimen	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas (Ao) (mm)	P Max (N)	σ Max (MPa)	σ Rata-rata (MPa)
30 mm/menit	1	12,5	5	62,5	8023	128,38	134,08
	2	12,5	5	62,5	8683	138,94	
	3	12,5	5	62,5	8433	134,94	
70 mm/menit	1	12,5	5	62,5	9813	157,01	150,06
	2	12,5	5	62,5	9411	150,59	
	3	12,5	5	62,5	8911	142,59	
100 mm/menit	1	12,5	5	62,5	8072	129,16	133,76
	2	12,5	5	62,5	8608	137,74	
	3	12,5	5	62,5	8398	134,38	
200 mm/menit	1	12,5	5	62,5	8514	136,23	128,19
	2	12,5	5	62,5	7672	122,76	
	3	12,5	5	62,5	7849	125,59	



Gambar 6. Grafik Kekuatan Tarik Rata-Rata

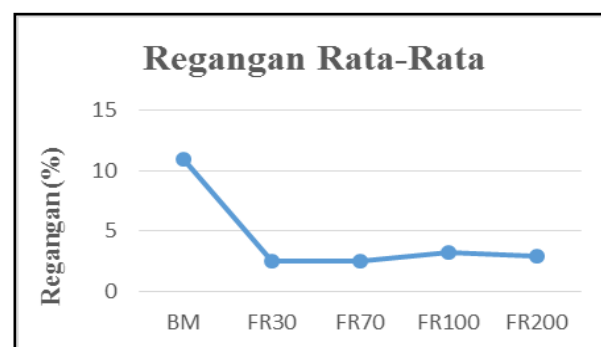
Pada hasil pengujian nilai kuat tarik turun signifikan dibandingkan *base metal*. Nilai kekuatan tarik rata-rata terbesar hasil pengelasan FSW dihasilkan oleh *feed rate* 70 mm/menit yaitu sebesar 150,06 MPa dan nilai kekuatan tarik rata-rata terkecil dihasilkan oleh *feed rate* 200 mm/menit yaitu sebesar 128,19 MPa. Masalah yang sering terjadi pada *Friction Stir Welding* adalah suhu yang terlalu tinggi atau terlalu rendah pada *stir zone*. Karena bila panas yang berlebihan akan merugikan sifat akhir lasan karena adanya perubahan karakteristik logam dasar material. Namun jika material tidak cukup panas maka arus pelunakan tidak akan optimal sehingga dimungkinkan akan terjadi cacat rongga atau cacat lain pada *stir zone* (Wijayanto & Anelis, 2010). *Feed rate* yang rendah dan kecepatan rotasi tools

yang tinggi secara umum menghasilkan kekuatan tarik yang besar disamping faktor lainnya.

4.2. Regangan

Tabel 3. Data regangan Pengelasan FSW

Variasi Feed Rate	Spesimen	Lo (mm)	Li (mm)	ΔL (mm)	Regangan (%)	Regangan Rata-rata (%)
30 mm/menit	1	50,27	51,69	1,42	2,8	2,56
	2	49,69	50,82	1,13	2,3	
	3	50,63	51,94	1,31	2,6	
70 mm/menit	1	49,96	51,73	1,77	3,5	2,56
	2	49,53	50,75	1,22	2,5	
	3	50,26	51,12	0,86	1,7	
100 mm/menit	1	50,31	51,54	1,23	2,4	3,2
	2	50,14	51,71	1,57	3,1	
	3	49,69	51,74	2,05	4,1	
200 mm/menit	1	49,96	50,94	0,98	2,00	2,93
	2	50,09	52,37	2,28	4,6	
	3	50,55	51,67	1,12	2,2	



Gambar 7. Grafik Regangan Rata-Rata

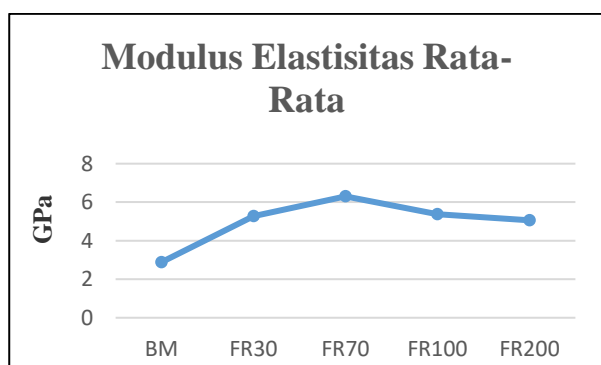
Dari diagram hasil regangan, terlihat pada pengelasan FSW dengan menggunakan *feed rate* 30 mm/menit menghasilkan regangan rata-rata sebesar 2,56%, *feed rate* 70 mm/menit sebesar 2,56%, *feed rate* 100 mm/menit sebesar 3,2%, dan *feed rate* 200 mm/menit sebesar 2,93%. Hal ini menunjukkan pengelasan FSW dengan *feed rate* 100 mm/menit memiliki regangan rata-rata yang paling besar dibandingkan dengan variasi *feed rate* lainnya.

4.3. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas sering disebut Modulus Young yang merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan aksial dalam deformasi yang elastis. Modulus elastisitas merupakan ukuran kekakuan suatu material, jika rata-rata nilai dari modulus elastisitas besar, maka semakin kecil regangan elastis yang terjadi atau semakin kaku.

Tabel 4. Data Modulus Elastitas Pengelasan FSW

Variasi Feed Rate	Spesimen	σ Max (MPa)	Regangan (%)	E (MPa)	E (GPa)	E Rata-rata (GPa)
30 mm/menit	1	128,38	2,8	4585,00	4,59	5,27
	2	138,94	2,3	6040,87	6,04	
	3	134,94	2,6	5190,00	5,19	
70 mm/menit	1	157,01	3,5	4486,00	4,49	6,3
	2	150,59	2,5	6023,60	6,02	
	3	142,59	1,7	8387,65	8,39	
100 mm/menit	1	129,16	2,4	5381,67	5,38	4,36
	2	137,74	3,1	4443,23	4,44	
	3	134,38	4,1	3277,56	3,28	
200 mm/menit	1	136,23	2,00	6811,50	6,81	5,06
	2	122,76	4,6	2668,70	2,67	
	3	125,59	2,2	5708,64	5,71	



Gambar 8. Grafik Modulus Elastisitas Rata-Rata

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa, pengelasan metode *friction stir welding* dengan *feed rate* 70 mm/menit mempunyai modulus elastisitas terbesar dibandingkan lainnya yaitu sebesar 6,3 GPa dan *feed rate* 100 mm/menit mempunyai modulus elastisitas terendah sebesar 4,36 GPa. Hasil yang di dapatkan dalam pengujian

bahwa nilai modulus elastisitas sesuai dengan nilai kuat tarik, semakin tinggi nilai kuat tarik semakin besar modulus elastisitasnya, sehingga semakin kaku material tersebut.

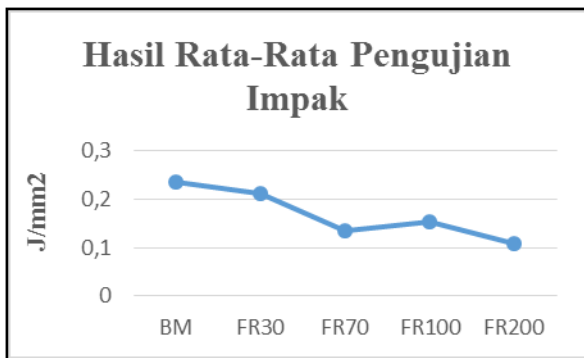
4.4. Hasil Pengujian Impak (*Impact Test*)

Tabel 5. Data Hasil Pengujian Impak *Base Metal*

No	t_0 (mm)	b_0 (mm)	A (mm ²)	P patah Joule	Nilai Impak Joule/mm ²
Base Metal 1	4,57	8,27	37,79	9,2	0,243
Base Metal 2	4,57	8,20	37,47	8,4	0,224
Base Metal 3	4,55	8,25	37,54	8,9	0,236
Rata-rata					0,23

Tabel 6. Data Hasil Pengujian Impak Hasil Pengelasan FSW

No	t_0 (mm)	b_0 (mm)	A (mm ²)	P patah Joule	Nilai Impak Joule/mm ²
FR.30.1	4,89	8,12	39,71	8,9	0,224
FR.30.2	4,87	8,16	39,74	8,1	0,203
FR.30.3	4,81	8,05	38,72	8,1	0,209
Rata-rata					0,212
FR.70.1	4,84	8,30	40,17	5,0	0,124
FR.70.2	4,78	8,21	39,24	5,1	0,131
FR.70.3	4,70	8,39	39,43	5,8	0,146
Rata-rata					0,133
FR.100.1	4,71	8,26	38,90	6,5	0,168
FR.100.2	4,66	8,11	37,79	5,4	0,144
FR.100.3	4,76	8,28	39,41	5,8	0,146
Rata-rata					0,152
FR.200.1	4,91	8,37	41,10	5,0	0,122
FR.200.2	5,01	8,24	41,28	4,3	0,103
FR.200.3	5,07	8,38	42,49	4,3	0,100
Rata-rata					0,108



Gambar 9. Grafik Hasil Uji Impak Rata-Rata

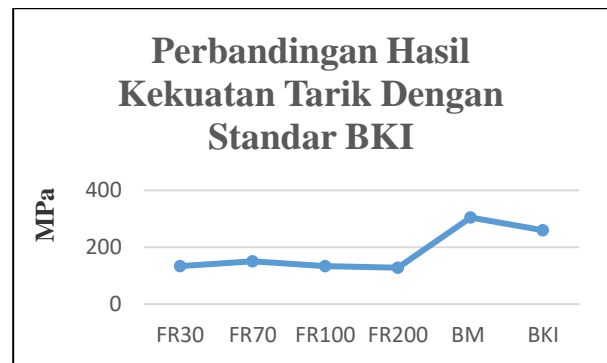
Hasil Pengujian kuat impak aluminium 6061 dengan metode pengelasan *Friction Stir Welding* (FSW) variasi *feed rate* 30 mm/menit, *feed rate* 70 mm/menit, *feed rate* 100 mm/menit dan, *feed rate* 200 mm/menit menghasilkan kuat impak yang berbeda. Harga impak rata-rata tertinggi dihasilkan *feed rate* 30 mm/menit sebesar 0,21 J/mm². Sedangkan untuk harga impak terendah dihasilkan *feed rate* 200 mm/menit sebesar 0,1 J/mm².

4.5. Perbandingan Hasil Pengujian Dengan Standar BKI

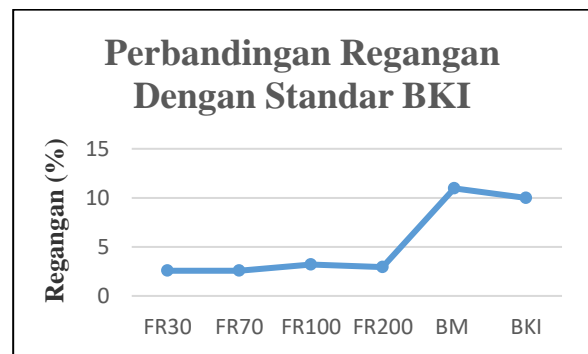
Pada “*Rules of Classification and Construction, Part 1 Vol V: Rules for Materials, Section 10: Aluminium Alloys*”, aluminium 6061 harus mempunyai standar nilai kuat tarik ≥ 260 dan Regangan $\geq 10\%$. Mengacu pada hasil rata – rata kuat tarik dan regangan dari keempat variasi *Feed Rate* sebagai berikut:

Tabel 7. Perbandingan Hasil Pengelasan FSW dengan Standar BKI

variasi	Kuat Tarik (MPa)	Regangan (%)
<i>Feed Rate</i> 30 mm/menit	134,08	2,56
<i>Feed Rate</i> 70 mm/menit	150,06	2,56
<i>Feed Rate</i> 100 mm/menit	133,76	3,2
<i>Feed Rate</i> 200 mm/menit	128,19	2,93
<i>Base Metal</i>	304,45	10,96
BKI	≥ 260	≥ 10



Gambar 10. Grafik Perbandingan Hasil Kuat Tarik dengan Standar BKI



Gambar 11. Grafik Perbandingan Regangan dengan Standar BKI

Mengacu pada persyaratan BKI di atas dan membandingkan nilai kuat tarik dan regangan dari masing – masing variasi *feed rate* dapat dilihat bahwa semuanya tidak memenuhi standar persyaratan yang ditetapkan Biro Klasifikasi Indonesia. Sehingga material aluminium 6061 dengan variasi *feed rate* pada hasil percobaan belum bisa digunakan pada bagian komponen konstruksi dari kapal.

4.6. Analisa Hasil Pengujian Aluminium 6061 dan Standar BKI

• Kekuatan Tarik

Nilai kuat tarik tertinggi untuk pengelasan FSW adalah variasi *feed rate* 70 mm/menit sebesar 133,35 MPa, untuk *base metal* sebesar 304,26 MPa, dan standar yang ditetapkan BKI sebesar ≥ 260 . Dapat diketahui dari hasil pengujian bahwa *base metal* aluminium 6061 mempunyai nilai kuat tarik yang memenuhi standar BKI. Namun pada pengelasan FSW tidak ada yang memenuhi standar BKI. Nilai kuat tarik pengelasan FSW menurun drastis dibandingkan dengan *base metal*. Hal ini dapat dikarenakan *feed rate* yang digunakan belum optimal, karena dalam penggunaan *feed rate* harus diperhatikan kecepatannya, jika terlalu lambat material dan *tools* akan mengalami panas yang berlebih dan memungkinkan terjadinya macet pada mesin las, bagian material yang dilakukan pengelasan mengalami deformasi plastis berlebih

akibat panas dari gesekan dan tekanan, dan partikel material yang teraduk di *stir zone* tidak terdistribusi dengan rata, sehingga dapat menurunkan kekuatan tarik material hasil pengelasan. Begitupun jika kecepatan *feed rate* yang tinggi dapat menyebabkan hasil pengelasan tidak menyatu dengan sempurna, karena panas dari gesekan dan tekanan tidak cukup untuk membuat bagian material yang dilakukan pengelasan mengalami deformasi plastis dan lumer. Disamping itu masih banyak faktor lain yang diperhatikan seperti ukuran tools yang sesuai, bentuk dan panjang pin yang digunakan, kemiringan tools saat pengelasan, putaran tools, dan *dwell time*. Untuk meningkatkan nilai kuat tarik material dari hasil pengelasan FSW dapat dilakukan *post weld heat treatment*.

- **Regangan**

Nilai Regangan tertinggi untuk pengelasan FSW adalah variasi *feed rate* 200 mm/menit sebesar 3,5%, base metal sebesar 10,68% dan standar BKI sebesar ≥ 10 . Nilai regangan hasil pengelasan FSW menurun drastis dibandingkan base metal. Dari hasil pengujian diketahui bahwa semakin cepat laju *feed rate* pada pengelasan maka semakin besar nilai regangan yang didapat. Untuk base metal aluminium 6061 memenuhi standar BKI, namun dari hasil pengelasan FSW tidak ada yang memenuhi standar BKI.

5. KESIMPULAN

Setelah dilakukan hasil uji kekuatan tarik dan uji impak pada aluminium 6061 hasil pengelasan FSW yang dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Universitas Gajah Mada Yogyakarta, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil Pengujian tarik dan impak mempunyai kecenderungan semakin kecil *feed rate* yang digunakan maka semakin besar nilai kuat tarik dan impak yang diperoleh. *Feed rate* yang rendah menghasilkan panas yang cukup sepanjang jalur pengelasan sehingga mengalami deformasi plastis secara merata. Perpatahan yang terjadi pada pengujian impak dengan semakin besarnya *feed rate* adalah perpatahan campuran, yaitu gabungan perpatahan getas dan liat dikarenakan material yang dilakukan pengelasan tidak tersambung secara baik dan kurangnya kedalaman penetrasi pin dalam proses pengelasan.
2. Hasil Pengujian kuat tarik dan regangan mengalami penurunan yang signifikan dibandingkan logam induknya. Hal ini dikarenakan patahan terjadi tepat pada daerah lasan, yang merupakan daerah yang paling banyak mengalami perlakuan teknik,

sehingga pada daerah tersebut kekuatan materialnya berbeda. Nilai kekuatan tarik rata-rata terbesar dihasilkan oleh *feed rate* 70 mm/menit yaitu sebesar 150,06 MPa dan nilai kekuatan tarik rata-rata terkecil dihasilkan oleh *feed rate* 200 mm/menit yaitu sebesar 128,19 MPa. Regangan rata-rata terbesar dihasilkan pada *feed rate* 200 mm/menit yaitu sebesar 4%, dan regangan rata-rata terkecil dihasilkan pada *feed rate* 30 mm/menit yaitu sebesar 2,56%. Pada pengujian ini diketahui bahwa semakin tinggi *feed rate* menghasilkan regangan yang semakin besar. Hasil Pengujian kuat impak mengalami penurunan dibandingkan logam induknya. Harga impak rata-rata tertinggi dihasilkan *feed rate* 30 mm/menit sebesar 0,21 J/mm². Sedangkan untuk harga impak terendah dihasilkan *feed rate* 200 mm/menit sebesar 0,1 J/mm².

3. Hasil kuat tarik dan regangan yang dihasilkan pada aluminium 6061 dengan pengelasan *Friction Stir Welding* (FSW) variasi *feed rate* 30 mm/menit, *feed rate* 70 mm/menit, *feed rate* 100 mm/menit dan, *feed rate* 200 mm/menit tidak memenuhi standar yang ditetapkan oleh BKI dalam *Rules of Classification and Construction, Part 1 Vol V: Rules for Materials, Section 10: Aluminium Alloys*.

5.1. Saran

Selanjutnya dari pembahasan penelitian ini, dapat dirangkum beberapa saran yang berkaitan dengan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pada proses pengelasan *Friction Stir Welding* (FSW) harus diperhatikan ukuran tools yang sesuai, bentuk dan panjang pin yang digunakan, kemiringan tools saat pengelasan, *feed rate* pengelasan, putaran tools, dan *dwell time*. Permukaan material yang hendak dilakukan pengelasan dan plat alas harus dipastikan halus dan rata.
2. Untuk penelitian selanjutnya dapat ditambahkan uji foto makro dan mikro untuk mengetahui ada atau tidaknya cacat las.
3. Untuk penelitian selanjutnya dapat ditambahkan *double side welding* dan *post weld heat treatment* sehingga dapat menambah kekuatan pada material.

DAFTAR PUSTAKA

1. Adamowski J. dan Szkodo M., 2006, "*Friction Stir Welds (FSW) of Aluminium Alloy AW 6082-T6*", *Journals of Achievement in Materials and Manufacturing Engineering*, Vol. 20, ISSUES.

2. Anelis A., 2010, "*Pengaruh Feed Rate Terhadap Sifat Mekanik Pengelasan Friction Stir Welding Aluminium 6110*", Skripsi Teknik Mesin, Yogyakarta: IST AKPRIND.
3. ASM, 2007, "*Friction Stir Welding And Processing*".
4. ASTM Volume 9, 2001, "*Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*".
5. Biro Klasifikasi Indonesia, 2014, "*Rules for the Classification and Construction: Volume V Rules for Materials*", Jakarta.
6. Carter, Bob, "*Introduction to Friction Stir Welding (FSW)*", NASA Glenn Research Center Advanced Metallics Branch.
7. Delany, Fred dkk, 2007, "*Friction Stir Welding of Aluminium Ships*", China: TWI China.
8. Edward, Zulkifli dan Wing Hendropasetyo, 2013, "*Pengaruh Bentuk Probe Pada Tool Shoulder Terhadap Metalurgi Aluminium Seri 5083 Dengan Proses Friction Stir Welding*", Surabaya: Jurnal Teknik POMITS Vol. 2, No. 1.
9. Fitroh, Ratnaning dan Dony Setyawan, 2013, "*Studi Perbandingan Sifat Mekanik Pada Pengelasan Satu Sisi dan Dua Sisi Friction Stir Welding Aluminium 5083 Kapal Katamaran*", Surabaya.
10. Mishra, R.S dan Ma Z.Y., 2005, "*Friction Stir Welding And Processing*", Materials Science and Engineering R 50.
11. Pamungkas, A.S.F dkk, 2012, "*Analisis Sifat Mekanik Hasil Pengelasan Aluminium AA 1100 Dengan Metode Friction Stir Wwlding (FSW)*", Jurnal ROTOR Volume 5 Nomor 1.
12. Prabu Dewanto, Anggoro, 2016, "*Analisa Kekuatan Mekanik Sambungan Las Metode MIG(Metal Inert Gas) Dan Metode FSW(Friction Stir Welding) 800 RPM Pada Alumunium Tipe 5083*", Skripsi Teknik Perkapalan, Semarang: Universitas Diponegoro.
13. Rai, R. dkk, 2011, "*Review: Friction Stir Welding Tools*", Science And Technology of Welding And Joining Vol. 16 No. 4.
14. Threadgill, P.L. dkk, 2009, "*Friction Stir Welding of Aluminium Alloys*", Paper presented at International Material Reviews Vol.54.
15. Wijayanto, Jarot, 2012, "*Pengaruh Feed Rate Terhadap Sifat Mekanik Pada Friction Stir Welding Aluminium*", Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST) Periode III.
16. Wijayanto, Jarot dkk, "*Friction Stir Welding/FSW pada Paduan Aluminium Seri 6061 dan 2024*", Yogyakarta: IST AKPRIND.