



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Pengaruh Perbedaan *Tool Tilt Angle* terhadap Kekuatan Tarik, Impak, Pada Aluminium 6061 dengan Pengelasan *Double Sided Friction Stir Welding*

Giyanda Vernoval¹⁾, Sarjito Jokosisworo¹⁾, Berlian Arswendo Adietya¹⁾

¹⁾Laboratorium Pengelasan

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

^{*}e-mail : giandavernoal96@gmail.com, jito_sar@yahoo.com, berlian@undip.ac.id

Abstrak

Aluminium 6061 merupakan paduan logam yang banyak digunakan sebagai bahan konstruksi di dalam berbagai bidang industri, salah satunya di dalam bidang industri perkapalan yaitu sebagai rangka konstruksi. Pengelasan *Double Sided Friction Stir Welding* merupakan Teknik pengelasan dimana proses penyambungan menggunakan prinsip gesekan dari benda kerja yang berputar dengan benda kerja lain yang diam sehingga mampu melelehkan benda kerja dan akhirnya tersambung menjadi satu. Penelitian ini bertujuan membandingkan hasil kekuatan Tarik dan impak, dengan menggunakan variasi sudut *Tool Tilt Angle* (3° , 4° , dan 5°). Proses *Double Sided Friction Stir Welding* dilakukan dengan putaran tool 1640 RPM dan feed rate sebesar 10 mm/menit. Hasil penelitian menunjukkan sambungan las *Double Sided Friction Stir Welding* pada sudut *Tool Tilt Angle* 3° memiliki kekuatan uji tarik sebesar 85,96 Mpa dengan regangan sebesar 0,113% dan kekuatan uji impak sebesar 0,14 J/mm². Pada sudut *Tool Tilt Angle* 4° memiliki kekuatan tarik sebesar 57,25 Mpa dengan regangan sebesar 0,087 % dan kekuatan uji impak sebesar 0,11 J/mm². Pada sudut *Tool Tilt Angle* 5° memiliki kekuatan uji tarik sebesar 50,52 Mpa dengan regangan sebesar 0,076% dan kekuatan uji impak sebesar 0,13 J/mm². Berdasarkan hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan pada percobaan pengelasan *Double Sided Friction Stir Welding* dengan variasi *Tool Tilt Angle* yang memiliki kekuatan uji tarik paling besar terdapat pada pengelasan dengan variasi sudut 3° sebesar 85,96 Mpa dan percobaan pengelasan *Double Sided Friction Stir Welding* dengan variasi *Tool Tilt Angle* yang memiliki kekuatan impak paling besar terdapat pada pengelasan dengan variasi sudut 3° sebesar 0,14 J/mm².

Kata Kunci : Aluminium 6061, *Double Sided friction Stir Welding*, *Tool Tilt Angle*, Tarik, Impak

1. PENDAHULUAN

Aluminium adalah logam yang memiliki kekuatan yang relatif rendah dan lunak. Aluminium merupakan logam yang ringan dan memiliki ketahanan korosi yang baik, hantaran listrik yang baik dan sifat-sifat lainnya. Umumnya aluminium dicampur dengan logam lainnya sehingga membentuk aluminium paduan. Aluminium 6061 merupakan jenis aluminium perpaduan antara magnesium dan silikon yang memiliki sifat mekanik yang baik tanpa mengurangi hantaran listrik. Dalam dunia perkapalan, aluminium banyak digunakan untuk konstruksi, seperti pada bagian profil, plat alas,

perpipaan dan tangki seperti 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].

Aluminium termasuk logam nonferro ringan yang memiliki berat jenis yang lebih kecil dari baja. Aluminium memiliki sifat anti korosif yang baik karena aluminium mempunyai lapisan oksida yang melindunginya dari udara luar. [2].

Friction stir welding merupakan proses pengelasan yang dipromosikan 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 parameter 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 [3].

Seiring perkembangan zaman, saat ini semakin banyak jenis material aluminium digunakan dalam berbagai bidang konstruksi, termasuk penggunaan aluminium seri 6061. Hal ini disebabkan karena aluminium seri 6061 merupakan jenis logam paduan antara aluminium dengan magnesium dan silikon memiliki sifat mekanik yang baik, sehingga sangat cocok digunakan untuk bahan konstruksi. Oleh karena itu, perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai karakteristik setiap jenis aluminium setelah dilakukan proses pengelasan, sehingga kedepannya dapat dijadikan arahan serta acuan dalam pemilihan material aluminium dan penggunaan jenis pengelasan yang tepat pada tiap jenis aluminium. [4]

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan kajian tentang “Analisa Pengaruh Perbedaan Diameter Pin Tool Terhadap Kekuatan Tarik, Impak, Dan Mikrografi Pada Aluminium 6061 Terhadap Kekuatan Tarik, Impak, Dan Mikrografi Pada Aluminium 6061 Dengan Metode Pengelasan Friction Stir Welding (FSW)” dimana pada penelitian tersebut menggunakan diameter pin tools berbentuk silinder: 6 mm, 7 mm, dan 8 mm dengan sudut *tool tilt angle* sebesar 2° . Hasil penelitian menunjukkan sambungan las FSW pada diameter 6 mm memiliki kekuatan uji tarik 85,82 MPa, regangan 10,89%, dan kekuatan uji impak 0,37 J. Pada diameter 7 mm memiliki kekuatan uji tarik 89,90 MPa, regangan 11,47%, dan kekuatan uji impak 0,38 J. Pada diameter 8 mm memiliki kekuatan uji tarik 143,17 MPa, regangan 13,71%, dan kekuatan uji impak 0,46 J. [5]

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan kajian tentang “Analisis Kekuatan Tarik, Impak, dan Mikrografi Hasil Pengelasan dengan Proses Friction Stir Welding pada Aluminium 6061 Menggunakan Modifikasi Tool Shoulder” dimana pada penelitian tersebut menunjukkan bahwa proses FSW dengan menggunakan bentuk tool yang

berbeda menyebabkan perbedaan dalam sifat mekanis termasuk kekuatan tarik, impak dan perbedaan dalam struktur mikro. Penggunaan bentuk tool paling optimal yaitu tool dengan bentuk tirus (120°) menghasilkan kekuatan tarik sebesar 56,51 N/mm² serta regangan rata-rata sebesar 6,31%, dan tool dengan bentuk tirus (120°) menghasilkan nilai kuat impak terbaik sebesar 0,21 J/mm². [11]

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan kajian tentang “Analisa Pengaruh Perbedaan Kecepatan Putaran Tool Terhadap Kekuatan Tarik, Impak, Dan Mikrografi Pada Aluminium 6061 Dengan Metode Pengelasan Friction Stir Welding (FSW)” dimana pada penelitian tersebut menunjukkan sambungan las FSW pada kecepatan 1640 rpm memiliki kekuatan uji tarik 83,34 MPa, regangan 5,93%, dan kekuatan uji impak 0,23 J. Pada kecepatan 2620 rpm memiliki kekuatan uji tarik 19,27 MPa, regangan 3,41%, dan kekuatan uji impak 0,13 J. Dan pada kecepatan 3820 rpm memiliki kekuatan uji tarik 45,02 MPa, regangan 3,65%, dan kekuatan uji impak 0,20 J. [12]

Pada penelitian ini akan diteliti perbandingan kekuatan tarik dan impak pada aluminium 6061 menggunakan variasi sudut tool tilt angle, dimana sebelumnya material di las dengan pengelasan *Double Sided Friction Stir Welding* dengan sudut *tool tilt angle* yang berbeda dan di uji dengan pengujian Tarik, dan uji Impak.

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui hasil perbandingan kekuatan uji tarik, dan kekuatan uji impak, pada Aluminium 6061 setelah dilakukan pengelasan *Double Sided Friction Stir Welding* dengan perbedaan variasi sudut *tool tilt angle*.

2. METODE

Tulisan ini disusun berdasarkan hasil percobaan *friction stir welding* dan pengujian dilakukan sesuai urutan/prosedur berikut ini.

2.1. Bahan

Bahan penelitian yang digunakan adalah material Aluminium 6061 yang di dapatkan dari galangan kapal aluminium dengan ketebalan 10 mm.

Tabel 1. Material Properti Aluminium 6061 [6]

Alumunium 6061	
<i>Poisson's Ratio</i>	0,33
<i>Modulus Of Elasticity</i>	68,9 GPa
<i>Density</i>	2700 kg/m ³
<i>Yield stress</i>	276 MPa
<i>Fatigue Strength</i>	633 MPa
<i>Failure Strain</i>	0,39
<i>Tensile Strength</i>	324 MPa

2.2. Las

Double Sided Friction Stir Welding (FSW)

Friction stir welding (FSW) adalah proses pengelasan solid-state di mana sebuah tool yang berputar dimakamkan sepanjang garis sambungan antara dua benda kerja. Tool yang berputar dan dimakamkan pada garis sambungan tersebut menghasilkan panas serta secara mekanis menggerakkan (stirring; bentuk dasar: stir, sehingga diberi nama friction stir welding) logam untuk membentuk sambungan las. [7]

Prinsip *Double Sided friction stir welding* yang ditunjukkan pada gambar 1, dengan gesekan dua benda pada dua sisi benda kerja yang terus-menerus akan menghasilkan panas, ini menjadi suatu prinsip dasar terciptanya suatu proses pengelasan gesek. Pada proses *Double Sided friction stir welding*, sebuah *tool* yang berputar ditekan pada material yang akan disatukan. Gesekan tool yang berbentuk silindris (*cylindrical shoulder*) yang dilengkapi pin/probe dengan material baja KNL 110 Extra yang dilakukan proses hardening sampai dengan 62 HRC, mengakibatkan pemanasan setempat yang mampu melunakkan bagian tersebut. Tool bergerak pada kecepatan tetap dan bergerak melintang pada jalur pengelasan (*joint line*) dari material yang akan disatukan [8].

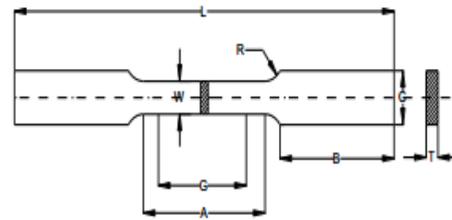
Pada pengelasan dengan metode *Double Sided friction stir welding (FSW)* menggunakan mesin milling dengan variasi sudut *tool tilt angle* 3°, 4°, 5° terhadap sumbu tegak lurus pada permukaan benda kerja dengan kecepatan *feed rate* 10 mm/menit dan kecepatan putar *tool* sebesar 1640 rpm.



Gambar 1. Prinsip *Friction Stir Welding*

2.3. Pengujian Tarik

Pengujian tarik dapat menunjukkan beberapa fenomena perpatahan ulet dan getas, perpatahan ini dapat dilihat dengan mata telanjang. perpatahan ulet umumnya lebih disukai karena bahan ulet dan tangguh dan memberikan peringatan lebih dahulu sebelum terjadinya kerusakan. Sedangkan 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. [9]



Gambar 2. Bentuk Spesimen Uji Tarik (*ASTM E8/E8M-09*) [9]

Keterangan :

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

Rumus untuk mendapatkan nilai tegangan adalah:

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

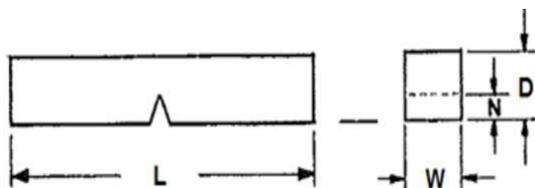
Dan rumus nilai regangan tarik adalah :

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

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

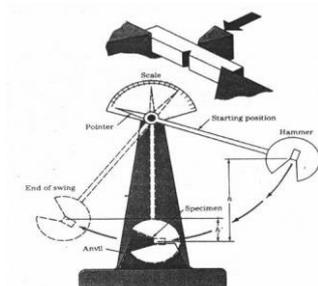
Uji Impact merupakan sebuah proses yang bertujuan untuk melihat ketangguhan dan kedudukan sensitivitas sebuah bahan. Uji Impact biasanya digunakan untuk polimer, keramik dan komposit sektor industri logam. Benda uji berlekuk rusak oleh dampak pendulum berat atau palu jatuh pada kecepatan yang telah ditentukan melalui jarak tepat. Tes ini mengukur energi yang diserap oleh spesimen [10]



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

Keterangan :

Overall length (L)	: 55 mm
Width (W)	: 10 mm
Thickness (T)	: 10 mm
Notched Charpy	: 45°



Gambar 4. Ilustrasi Skematis Pengujian Impak Dengan Benda Uji Charpy. [10]

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 (mm^2)

2.5. Pelaksanaan Penelitian

Metode penelitian menggunakan hasil data yang diperoleh dari pengujian tarik dan impact. Tahapan yang dilakukan untuk memperoleh data yaitu : Pertama melakukan pembuatan pin tools sesuai dengan desain yang sudah direncanakan. Kedua melakukan pengelasan *Double Sided Friction Stir Welding* dengan *milling machine* sebagai penggerak utama, dimana untuk pengelasan dilakukan di BPM DIKJUR Kota Semarang Jawa Tengah. Ketiga melakukan pembuatan spesimen, dimana untuk uji tarik menggunakan ASTM E8, dan uji impact menggunakan ASTM E23. Keempat melakukan pengujian tarik dan impact pada hasil pengelasan Aluminium 6061 di Laboratorium Bahan Teknik Universitas Gadjah Mada.

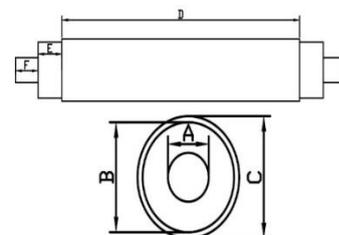
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pembuatan Spesimen

Pembuatan spesimen dimulai dengan pemotongan plat aluminium 6061 yang akan dilas dan digunakan sebagai spesimen uji. Lembaran plat aluminium 6061 dipotong menggunakan mesin potong menjadi beberapa ukuran sesuai dengan dimensi ukuran jumlah spesimen yang akan dilas dan diuji. Lembaran plat aluminium 6061 di potong menjadi dimensi ukuran 150 x 100 mm sebanyak 6 lembar untuk spesimen uji tarik dan 95 x 30 mm sebanyak 6 lembar untuk spesimen uji impact. Lembaran plat pada masing-masing uji dipotong menjadi 3 pasang untuk selanjutnya dilas menggunakan pengelasan *Double Sided Friction Stir Welding* dengan variasi perbedaan sudut *tool tilt angle* pada tiap pasang lembarnya.

3.2. Pembuatan Pin Tool

Material *toos* adalah KNL extra 110. Material tersebut dibentuk berdasarkan rancangan yang telah dibuat dengan proses bubut dan dilanjutkan dengan melakukan *heat treatment* untuk mendapatkan kekerasan yang diinginkan (62 HRC).



Gambar 5. Dimensi Tools

Keterangan :

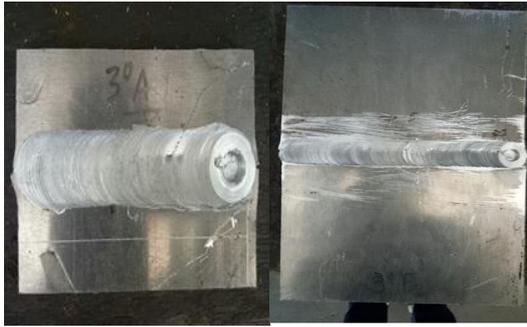
Material Pin	: KNL 110 Extra
Kekerasan	: 62 HRC
Diameter Pin (A)	: 8 mm

- Diameter Probe (B) : 18 mm
- Diameter Tools (C) : 20 mm
- Panjang Tools (D) : 70 mm
- Panjang Probe (E) : 10 mm
- Panjang Pin (F) : 5 mm

3.3. Hasil Pengelasan

Dari proses pengelasan FSW didapatkan hasil sebagai berikut :

a. Variasi *tool tilt angle* 3°



Gambar 6. Hasil Pengelasan Variasi *tool tilt angle* 3°

Pengelasan untuk *tool tilt angle* 3° di kedua sisi cukup baik dan stabil dan permukaan pengelasan terlihat halus dan rata.

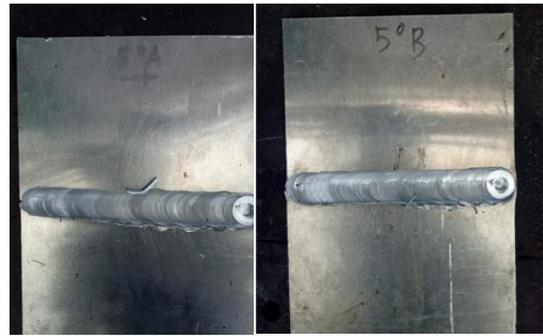
b. Variasi *tool tilt angle* 4°



Gambar 7. Hasil Pengelasan Variasi *tool tilt angle* 4°

Pengelasan variasi 4° terlihat adanya *weld flash* yang terdapat pada *retreating area* pengelasan. Permukaan pada daerah pengelasan juga terlihat tidak rata dan terlihat lebih menjorok kedalam.

c. Variasi *tool tilt angle* 5°



Gambar 8. Hasil Pengelasan Variasi *tool tilt angle* 5°

Pengelasan variasi 5° terdapat *weld flash* di *advancing* dan *retreating* area. Permukaan pada wilayah pengelasan tidak rata dan menjorok ke dalam. Ini disebabkan karena semakin miring sudut *tool tilt angle* akan menyebabkan ujung dari *tool shoulder* menekan semakin dalam pada benda kerja. Sehingga material yang terkelupas keluar pada saat proses pengelasan/*weld flash* akan semakin banyak.

3.4. Hasil Pengujian Tarik

Plat aluminium 6061 yang telah dilas FSW dibentuk spesimen sesuai standar ASTM E8. Proses pengujian tarik pada penelitian tugas akhir ini dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin Sekolah Vokasi Universitas Gajah Mada. Sebelum melakukan pengujian tarik pada tiap-tiap spesimen, terlebih dahulu dilakukan pengambilan data edngan cara mengukur panjang dan lebar pada tiap-tiap spesimen menggunakan jangka sorong. Data tersebut akan digunakan untuk mengetahui luas permukaan awal pada tiap-tiap spesimen sebelum dilakukan uji tarik. 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 2. Data Hasil Pengujian Tarik Sudut 3°

Spesimen	Teg	Teg	Regangan	Regangan
	Luluh (Mpa)	Max (Mpa)	Max (%)	luluh (%)
3°1	112,89	142,41	17,6	0,20
3°2	86,80	108,93	13,18	0,15
3°3	62,55	67,62	9,28	0,11
3°4	74,26	81,33	10,9	0,13

3°5	54,08	64,89	6,6	0,09
Rata-rata	74,54	85,96	11,12	0,13

Ket : Spesimen 1 dan 5 tidak masuk dalam perhitungan rata-rata karena memiliki simpangan yang terlalu besar/terlalu kecil

Berdasarkan tabel 2, maka dapat diketahui nilai modulus elastisitas adalah sebagai berikut :

$$E = \frac{\text{Tegangan}}{\text{Regangan}}$$

$$E = \frac{74,54}{0,001337}$$

$$E = 55,751 \text{ Gpa}$$

Tabel 3. Data Hasil Pengujian Tarik Sudut 4°

Spesimen	Teg Luluh (Mpa)	Teg Max (Mpa)	Regangan Max (%)	Regangan luluh (%)
4°1	67,96	69,7	11,32	0,11
4°2	49,63	51,4	6,86	0,08
4°3	54,53	59,98	9,32	0,09
4°4	48,18	56,49	13,8	0,08
4°5	50,25	55,27	10,36	0,08
Rata-rata	50,99	57,25	10,33	0,08

Ket : Spesimen 1 dan 2 tidak masuk dalam perhitungan rata-rata karena memiliki simpangan yang terlalu besar/terlalu kecil

Berdasarkan tabel 3, maka dapat diketahui nilai modulus elastisitas adalah sebagai berikut :

$$E = \frac{\text{Tegangan}}{\text{Regangan}}$$

$$E = \frac{50,99}{0,000871}$$

$$E = 58,541 \text{ Gpa}$$

Tabel 4. Data Hasil Pengujian Tarik Sudut 5°

Spesimen	Teg Luluh (Mpa)	Teg Max (Mpa)	Regangan Max (%)	Regangan luluh (%)
5°1	54,61	59,81	9,94	0,09
5°2	51,61	56,95	7,02	0,08
5°3	41,60	43,41	6,28	0,06
5°4	40,27	42,02	5	0,06
5°5	45,72	51,21	7,46	0,07
Rata-rata	46,31	50,52	6,92	0,07

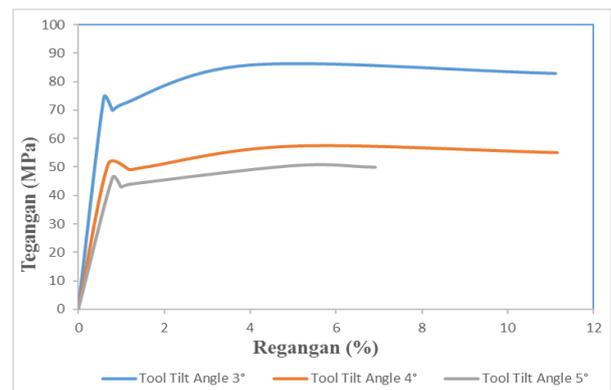
Ket : Spesimen 1 dan 4 tidak masuk dalam perhitungan rata-rata karena memiliki simpangan yang terlalu besar/terlalu kecil

Berdasarkan tabel 4, maka dapat diketahui nilai modulus elastisitas adalah sebagai berikut :

$$E = \frac{\text{Tegangan}}{\text{Regangan}}$$

$$E = \frac{46,31}{0,000764}$$

$$E = 60,615 \text{ Gpa}$$



Gambar 10. Grafik Tegangan Regangan

Berdasarkan hasil pengujian tarik, nilai rata-rata kekuatan tarik terbesar dari hasil pengelasan *Double Sided Friction Stir Welding* dihasilkan oleh pengelasan dengan variasi *Tool Tilt Angle* 3° yaitu sebesar 85.96 Mpa, dan nilai rata-rata kekuatan tarik terkecil dihasilkan oleh pengelasan dengan variasi *Tool Tilt Angle* 5° yaitu sebesar 50.52 Mpa.

Dari hasil pengujian tarik didapatkan juga nilai modulus elastisitas dari Aluminium 6061 dengan variasi *Tool Tilt Angle* 3° sebesar 55.751 Gpa, variasi *Tool Tilt Angle* 4° sebesar 58.541 Gpa, variasi *Tool Tilt Angle* 5° sebesar 60.615 Gpa

3.5. Hasil Pengujian Impak

Plat aluminium 6061 yang telah dilas FSW dibentuk spesimen sesuai dengan standar uji impak ASTM E23 di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin Sekolah Vokasi Universitas Gajah Mada, Yogyakarta. Mesin yang digunakan untuk melakukan pengujian impak pada penelitian tugas akhir ini adalah mesin uji impak "Frank" dengan *notched* impak charpy.

Hasil yang diperoleh dari pengujian impak pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

Tabel 5. Data Hasil Uji Impak

Variabel	Spesimen	Kuat Impact	Rata-rata
----------	----------	-------------	-----------

		(J/mm ²)	Kuat Impact (J/mm ²)
Tool Tilt Angle 3°	3°1	0,14	0,14
	3°2	0,14	
	3°3	0,14	
	3°4	0,11	
	3°5	0,12	
Tool Tilt Angle 4°	4°1	0,09	0,11
	4°2	0,07	
	4°3	0,11	
	4°4	0,10	
	4°5	0,12	
Tool Tilt Angle 5°	5°1	0,12	0,13
	5°2	0,15	
	5°3	0,12	
	5°4	0,16	
	5°5	0,18	

Ket : Spesimen 3°4, 3°5, 4°2, 4°4, 5°4 dan 5°5 tidak masuk dalam perhitungan rata-rata karena memiliki simpangan yang terlalu besar/terlalu kecil



Gambar 12. Diagram Kuat Impak

Dari teori uji impact makin keras benda maka akan mendapatkan nilai impact yang makin keras pula. Pengaruh variasi sudut *tool tilt angle* terhadap kekuatan impact. Hasil pengujian dengan metode pengelasan *Double Sided Friction Stir Welding* menggunakan variasi sudut *tool tilt angle* menghasilkan kekuatan impact yang berbeda. Harga impact rata-rata tertinggi dihasilkan oleh spesimen yang dilas dengan variasi sudut *tool tilt angle* (3°) sebesar 0,14 J/mm², sedangkan untuk harga impact terendah dihasilkan oleh spesimen yang dilas dengan variasi sudut *tool tilt angle* (4°) yaitu 0,11 J

KESIMPULAN

Hasil pengujian kekuatan tarik aluminium 6061 hasil pengelasan *Double Sided Friction Stir Welding* menggunakan variasi *tool tilt angle* menghasilkan kekuatan tarik yang berbeda. Nilai kuat tarik rata-rata terbesar dihasilkan dengan

menggunakan *tool tilt angle* (3°) yaitu sebesar 85.96 N/mm² dan nilai kuat tarik rata-rata terkecil dihasilkan oleh *tool tilt angle* (5°) yaitu sebesar 50.52 N/mm². Hasil pengujian impact aluminium 6061 hasil pengelasan *Double Sided Friction Stir Welding* menggunakan variasi *tool tilt angle* menghasilkan harga impact yang berbeda. Harga impact rata-rata terbesar dihasilkan dengan menggunakan *tool tilt angle* (3°) yaitu sebesar 0,14 J/mm² dan harga impact rata-rata terkecil dihasilkan oleh *tool tilt angle* (4°) yaitu sebesar 0,11 J/mm². Berdasarkan hasil penelitian tersebut dapat kita peroleh *tool tilt angle* yang paling optimal. Untuk uji kekuatan tarik ini dengan menggunakan *tool tilt angle* (3°) memberikan kekuatan tarik terbesar yaitu 85.96 N/mm² dan harga regangan 11,12 %. Dari uji impact pengelasan dengan *tool tilt angle* (3°) menghasilkan harga impact optimal yaitu sebesar 0,14 J/mm². Pada pengelasan dengan variasi *tool tilt angle* (3°) menghasilkan permukaan yang datar dan rata. Pada pengelasan dengan variasi *tool tilt angle* (4°) menghasilkan *weldflash* pada wilayah *retreating*. Pada pengelasan dengan *tool tilt angle* (5°) menghasilkan *weldflash* pada wilayah *advancing* dan *retreating* serta permukaan yang terlihat menjorok kedalam. Berdasarkan hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin besar sudut *tool tilt angle* semakin dalam *tool shoulder* menyentuh benda kerja saat proses pengelasan dan menyebabkan material yang terdorong keluar (*weldflash*) lebih banyak. Sehingga mempengaruhi sifat mekanik material tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih Penulis sampaikan kepada Orang Tua dan Keluarga yang selalu memberi dukungan dan doa untuk Penulis, Kepada dosen pembimbing 1 dan pembimbing 2 yang telah memberikan petunjuk, bantuan, serta dukungan dalam menyelesaikan Artikel ini. Bapak Sugeng selaku Kepala Lab Mesin BPM DIKJUR Kota Semarang, dan Bapak Lilik selaku Kepala Lab Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin Sekolah Vokasi UGM, serta teman-teman yang sudah membantu dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. S. a. Shinroku, "Pengetahuan Bahan Teknik," 1992.
- [2] A. Sudrajat, "Analisis sifat mekanik hasil pengelasan aluminium AA 1100 dengan metode friction stir welding (FSW)," Jember, 2012

- [3] A. Nurhafid, "Analisa Pengaruh Perbedaan Feed Rate Terhadap Kekuatan Tarik dan Impak Aluminium 6061 Metode Pengelasan Friction Stir Welding," 2017.
- [4] G. M. Habibie, "Analisis Perbandingan Kekuatan Tarik, Impak, dan Mikrografi Hasil Pengelasan dengan Proses Friction Stir Welding pada Alumunium 6061 Menggunakan Modifikasi Tool Shoulder," 2018.
- [5] R. A. Y. Faruq, "Analisa Pengaruh Perbedaan Diameter Pin Tool Terhadap Kekuatan Tarik, Impak, dan Mikrografi Pada Aluminium 6061 Dengan Metode Pengelasan Friction Stir Welding (FSW)," 2019.
- [6] ASM Aerospace Specification Metals Inc, "ASM Material Data Sheet," 2018. [Online]. Available: <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=ma6061t6>. [Accessed: 26-Jul-2018].
- [7] Younggi, D. (2015, May Tuesday). *Teknik Mesin Manufaktur*. Retrieved from Friction Stir Welding: <http://teknikmesinmanufaktur.blogspot.com/2015/05/friction-stir-welding-fsw.html>
- [8] 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.
- [9] R. Setiaji, *Pengujian Tarik*. Jakarta: Laboratorium Metalurgi Fisik FTUI, 2009.
- [10] A. H. Yuwono, *Buku Panduan Praktikum Karakterisasi Material 1 Pengujian Merusak (Destructive Testing)*. Jakarta: Departemen Metalurgi Dan Material Fakultas Teknik UI, 2009.
- [11] G. M. Habibie, "Analisis Perbandingan Kekuatan Tarik, Impak, dan Mikrografi Hasil Pengelasan dengan Proses Friction Stir Welding pada Alumunium 6061 Menggunakan Modifikasi Tool Shoulder," 2018.
- [12] A. Majid, S. Sisworo, and A. Santosa, "Analisa Pengaruh Perbedaan Kecepatan Putaran Tool Terhadap Kekuatan Tarik, Impak, Dan Mikrografi Pada Aluminium 6061 Dengan Metode Pengelasan Friction Stir Welding (FSW)," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 6, no. 4, Jul. 2018.