

Pengaruh Parameter Pengelasan Pada Friction Stir Welding Terhadap Sifat Mekanik Polimer Jenis Polyethylene

Muhammad Agam Imam Muslim ¹⁾, Iswanto ^{*2)}

¹⁾Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: iswanto@umsida.ac.id

Abstract. Friction stir welding is a process of joining materials in a solid state condition. The joining process does not require additional materials or fillers. Heat is generated from the friction of the rotating pin with the workpiece. This study aims to determine the effect of parameters on welding polyethylene sheet material with the Friction Stir Welding method on impact strength. This study uses the Taguchi Orthogonal Array method, with the aim of designing and analyzing experimental data, and is used to determine the minimum number of experiments to be obtained and provide information on factors that influence parameters. The results of this study indicate that: (1) FSW welding can be performed on polyethylene sheet material by varying several parameters with good results. From these results the highest impact price was obtained by specimen 16 with variations in the parameters of the spindle speed of 2200 rpm and the feedrate speed of 25 mm/min by using a tool with a cylindrical taper pin model which gets an impact value of 0.81709 joules/mm².; (2) Spindle speed is the most influential parameter on impact strength with a percentage of 46.36%.

Keywords - Friction Stir Welding; Polymer ; Impact Strength

Abstrak. Friction stir welding adalah proses penyambungan material dengan kondisi solid state.. Pada proses penyambungannya tidak memerlukan material tambahan atau bahan pengisi. Panas dihasilkan dari gesekan pin yang berputar dengan benda kerja. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh parameter pada pengelasan material polyethylene sheet dengan metode Friction Stir Welding terhadap kekuatan impact. Penelitian ini menggunakan metode Taguchi Orthogonal Array, dengan tujuan untuk mendesain dan menganalisa data percobaan, dan digunakan untuk menentukan jumlah eksperimen minimal yang didapat dan memberikan informasi pada factor yang mempengaruhi parameter. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa: (1) Pengelasan FSW dapat dilakukan pada material polyethylene sheet dengan memvariasikan beberapa parameter dengan hasil yang baik, Dari hasil tersebut harga impact tertinggi diperoleh oleh spesimen 16 dengan variasi parameter kecepatan spindle 2200 rpm dan kecepatan feedrate 25 mm/min dengan menggunakan tool dengan model pin taper silinder yang mendapatkan harga impact sebesar 0.81709 joule/mm².; (2) Kecepatan putaran mesin (spindle) merupakan parameter yang paling berpengaruh terhadap harga impact strength dengan presentase 46.36%.

Kata Kunci – Friction Stir Welding; Polimer; Uji Impact

I. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan zaman, industry manufaktur menghadapi tantangan perkembangan teknologi yang semakin lama semakin canggih. pada era perkembangan teknologi pengerjaan logam menuntut adanya peningkatan dari segi rancangan struktur yang ringan dan kuat. struktur seperti ini banyak dibutuhkan pada dunia industri otomotif. Pemanfaatan bahan ringan seperti komposit polimer digunakan untuk mengurangi berat produk karena rasio tegangan terhadap berat komposit ditingkatkan. Oleh karena itu, telah dilakukan upaya pengembangan metode pengelasan baru untuk polimer.

Pengelasan menurut definisi DIN (*Deutche Industrie Normen*) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilakukan dalam keadaan lumer atau cair. Proses pengelasan dikelompokkan menjadi dua yaitu LSW (*Liquid State Welding*) dan SSW (*Solid State Welding*). LSW adalah proses pengelasan logam dengan cara mencairkan logam tersebut terlebih dahulu, sedangkan SSW adalah proses pengelasan logam yang dilakukan pada kondisi padat atau logam tidak mencapai titik leburnya pada saat tersambung.

Salah satu metode SSW adalah *Friction Stir Welding* yaitu proses pengelasan dengan memanfaatkan panas yang timbul akibat putaran dari tool yang bergesekan dengan logam induk di bawah tekanan aksial yang besar pada daerah pengelasan. FSW adalah suatu proses pengelasan baru yang ditemukan di TWI (*The Welding Institute*). FSW sering diaplikasikan pada logam aluminium atau pada *dissimilar* logam. Aplikasi *Friction Stir Welding* pada material polimer dapat digunakan [2].

Pengaplikasian metode *Friction Stir Welding* (FSW) untuk penyambungan polimer untuk pertama kalinya dilakukan pada tahun 1997[8] dan hingga kini telah banyak penelitian dari berbagai negara yang sudah mempelajari tentang penerapan *Friction Stir Welding* (FSW) pada bahan polimer / Thermoplastik untuk mendapatkan parameter pengelasan yang tepat seperti desain pin, kecepatan putaran *spindle*, kecepatan *feeding* dan masih banyak parameter – parameter lainnya yang berpengaruh pada peningkatan kualitas sambungan pengelasan.

Metode *Friction Stir Welding* merupakan cara yang paling di rekomendasikan untuk penyambungan polimer karena prosesnya sederhana dan biaya yang dibutuhkan relative murah karena tidak membutuhkan bahan tambahan. Proses *Friction Stir Welding* dalam penyambungan bahan polimer merupakan teknik yang menjanjikan karena memiliki beberapa keunggulan dibandingkan teknik penyambungan lainnya, seperti biaya yang dibutuhkan rendah baik itu biaya mesin atau biaya perkakas lainnya[7].

Polimer merupakan salah satu bahan rekayasa non logam yang berperan sangat penting dalam dunia industri. Bahan polimer telah banyak diaplikasikan sebagai bahan pengganti logam karena sifatnya yang ringan, tahan korosi dan kimia, khususnya untuk penggunaan pada temperatur rendah. Hal lain yang menjadi pertimbangan adalah karena daya hantar listrik dan panas yang rendah, kemampuan untuk meredam kebisingan, warna dan tingkat transparansi yang bervariasi sehingga bisa menyesuaikan dengan kebutuhan desain dan manufaktur. Selain itu harga polimer relatif murah. Material polimer banyak digunakan pada industri makanan, minuman, otomotif, dan transportasi. Salah satu jenis polimer yang memiliki ketahanan dan daya leleh yang baik adalah polyethylene (PE). Tetapi material polimer memiliki nilai konduktivitas panas rendah sehingga menjadi kendala dalam proses *Friction Stir Welding*[3].

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan eksperimen mengenai metode pengelasan *Friction Stir Welding* mengenai bentuk variasi pin dan putaran spindle. Penelitian yang menerapkan *Friction Stir Welding* untuk pengelasan material polimer ini diantaranya (Rezaee Hajideh *et al.*, 2017) meneliti tentang penyambungan material polyethylene dan polypropylene menggunakan metode *Friction Stir Welding* tentang pengaruh geometri *tools* menyimpulkan bahwa efek bentuk alat tidak tergantung pada proses pengelasan. Dengan kecepatan putar spindle yang optimal sebesar 1860 rpm dan kecepatan gerak makan pahat 12,5 mm/min, sifat mekanik las terbaik dapat dicapai[6].

Pada penelitian kali ini akan dibahas mengenai pengaruh pengelasan *Friction Stir Welding* pada material polimer jenis polyethylene (PE) dengan ketebalan 10 mm dengan variasi putaran *spindle*, variasi gerak makan dan variasi bentuk jenis pahat. Untuk mengetahui hasil pengelasan metode FSW pada material polyethylene dengan menggunakan *stationery shoulder* dan untuk mengetahui kekuatan uji impak dan melihat perubahan struktur makro pada material *polyethylene* setelah dilakukan pengelasan.

II. METODE

Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode Taguchi Orthogonal Array, dengan tujuan untuk mendesain dan menganalisa data percobaan, dan digunakan untuk menentukan jumlah eksperimen minimal yang didapat dan memberikan informasi pada factor yang mempengaruhi parameter.

Proses pengelasan *friction stir welding* dikerjakan dengan menggunakan mesin milling *universal 3 axis* merk MATSUURA dengan tipe FVR – 1B. lembaran HDPE warna putih dengan tebal 10 mm digunakan sebagai sampel dalam penelitian ini. Material dipotong dengan ukuran 50 x 150 mm sebanyak 32 buah atau menjadi 16 pasang spesimen penelitian. HDPE dibuat melalui proses polimerisasi ethylene dengan penambahan berbagai metal sehingga menghasilkan polimer polyethylene yang tersusun hampir sebagian besar polimer *linier*[5].



Gambar 1. Proses pengelasan FSW

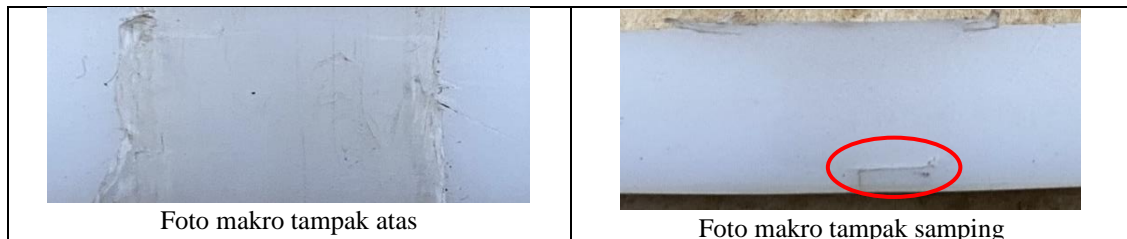
Parameter yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut : (1), Kecepatan spindle (720, 1050, 1525, dan 2200 RPM) 2, Kecepatan pengelasan (25, 42, 70 dan 120 mm/min. 3. Tool geometri.(*Threaded cylindrical, Hexagonal, Square, Tapered cylindrical*).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian dan Pengolahan Data

a. Makrostruktur

Pengamatan makrostruktur dilakukan untuk mengetahui cacat las yang terjadi pada pengelasan dengan metode pengelasan *Friction Stir Welding* (FSW). Pada gambar dibawah ini adalah hasil foto makrostruktur sambungan las material *polyethylene* dengan menggunakan pengelasan *Friction Stir Welding*.



Gambar 2. Foto makrostruktur spesimen 1

Gambar 2 adalah foto makrostruktur sambungan las material *polyethylene sheet* pada variasi kecepatan spindle 720 rpm dan kecepatan *feedrate* 25 mm/min dengan menggunakan tool *Threaded cylindrical*. Pada *root* (garis oval) terdapat cacat las *incomplete fusion* hal ini disebabkan oleh temperatur las yang masih rendah.



Gambar 3 Foto makrostruktur spesimen 2

Gambar 3 adalah foto makrostruktur sambungan las material *polyethylene sheet* pada variasi kecepatan spindle 1050 Rpm dan kecepatan *feedrate* 42 mm/min dengan menggunakan tool *Threaded cylindrical*. Pada bagian *root* (garis oval) terdapat cacat las *incomplete fusion* hal ini disebabkan oleh temperatur las yang masih rendah pada bagian *root*. spesimen 2 ini juga mengalami *distorsi* hal ini disebabkan oleh temperatur las yang terlalu panas pada bagian atas sambungan las yang dihasilkan oleh gesekan *stationery shoulder*.



Gambar 4 Foto makrostruktur spesimen 3

Gambar 4 adalah foto makrostruktur sambungan las material *polyethylene sheet* pada variasi kecepatan spindle 1050 Rpm dan kecepatan *feedrate* 42 mm/min dengan menggunakan tool *Threaded cylindrical*. Pada bagian *root* (garis oval) terdapat cacat las *incomplete fusion* hal ini disebabkan oleh temperatur las yang masih rendah pada bagian *root*. spesimen 2 ini juga mengalami *distorsi* hal ini disebabkan oleh temperatur las yang terlalu panas pada bagian atas sambungan las yang dihasilkan oleh gesekan *stationery shoulder*. *Shoulder* memberikan input panas tambahan, karena luas permukaan yang bergesekan dengan material las lebih besar maka panas yang dihasilkan juga lebih besar[9].



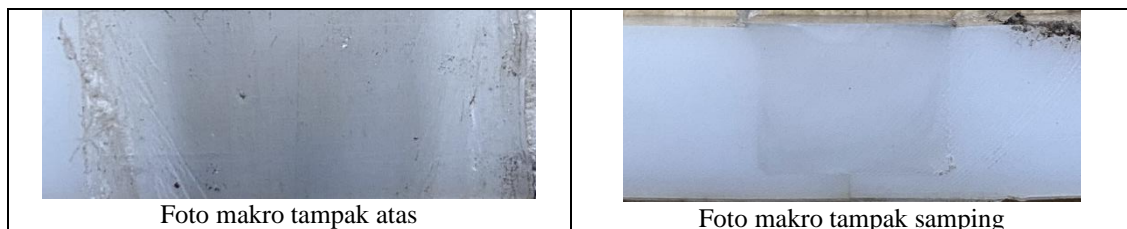
Gambar 5 Foto makrostruktur spesimen 4

Gambar 5 adalah foto makrostruktur sambungan las material *polyethylene sheet* pada variasi kecepatan *spindle* 1525 Rpm dan kecepatan *feedrate* 70 mm/min dengan menggunakan *tool Threaded cylindrical*. Pada bagian atas sambungan las (garis oval) terdapat cacat las *overlap* hal ini disebabkan karena *stationery shoulder* yang tidak menempel pada material induk sehingga las meluber ke atas dan juga terdapat cacat las *cavity* (tanda panah) hal ini bisa disebabkan karena *travel speed* yang terlalu tinggi sehingga tercipta gas hydrogen karena panas las. temperatur tinggi juga dapat menyebabkan terjadinya *cavity* dalam nugget yang dapat melemahkan kekuatan sambungan[10].



Gambar 6 Foto makrostruktur spesimen 5

Gambar 6 adalah foto makrostruktur sambungan las material *polyethylene sheet* pada variasi kecepatan *spindle* 720 Rpm dan kecepatan *feedrate* 42 mm/min dengan menggunakan *tool Hexagonal*. Jika dilihat dari hasil las tampak atas, spesimen 5 ini terlihat baik tetapi ada cacat las *porosity* (garis oval).



Gambar 7 Foto makrostruktur spesimen 6

Gambar 7 adalah foto makrostruktur sambungan las material *polyethylene sheet* pada variasi kecepatan *spindle* 1050 Rpm dan kecepatan *feedrate* 25 mm/min dengan menggunakan *tool Hexagonal*. Hasil sambungan las dengan variasi ini terlihat baik, tidak ada cacat las yang terjadi pada spesimen 6 ini baik pada bagian sambungan las maupun pada bagian hasil las an.



Gambar 8 Foto makrostruktur spesimen 7

Gambar 8 adalah foto makrostruktur sambungan las material *polyethylene sheet* pada variasi kecepatan *spindle* 1525 Rpm dan kecepatan *feedrate* 120 mm/min dengan menggunakan *tool Hexagonal*. Terdapat rongga/*cavity* pada bagian tanda panah yang disebabkan karena *travel speed* yang terlalu cepat. *Cavity* dapat terjadi akibat penyusutan termal, udara yang terperangkap, atau akibat perubahan struktur fisika-kimia. (Oliveira *et al.*, 2010)



Foto makro tampak atas

Foto makro tampak samping

Gambar 9 Foto makrostruktur spesimen 8

Gambar 9 adalah foto makrostruktur sambungan las material *polyethylene sheet* pada variasi kecepatan *spindle* 1525 Rpm dan kecepatan *feedrate* 120 mm/min dengan menggunakan *tool Hexagonal*. Terdapat rongga/*cavity* pada bagian tanda panah yang disebabkan karena *travel speed* yang terlalu cepat. *Cavity* dapat terjadi akibat akibat penyusutan termal, udara yang terperangkap, atau akibat perubahan struktur fisika-kimia[4].



Foto makro tampak atas

Foto makro tampak samping

Gambar 10 Foto makrostruktur spesimen 9

Gambar 10 adalah foto makrostruktur sambungan las material *polyethylene sheet* pada variasi kecepatan *spindle* 720 Rpm dan kecepatan *feedrate* 70 mm/min dengan menggunakan *tool Square*. Terdapat cacat las *underfilling* pada bagian tanda panah dan cacat las *incomplete fusion* yang disebabkan oleh *travel speed* yang cepat.



Foto makro tampak atas

Foto makro tampak samping

Gambar 11 Foto makrostruktur spesimen 10

Gambar 11 adalah foto makrostruktur sambungan las material *polyethylene sheet* pada variasi kecepatan *spindle* 1050 Rpm dan kecepatan *feedrate* 120 mm/min dengan menggunakan *tool square*. Terdapat cacat las *underfilling* pada bagian yang ditunjuk tanda panah hal ini disebabkan oleh *travel speed* yang cepat.



Foto makro tampak atas

Foto makro tampak samping

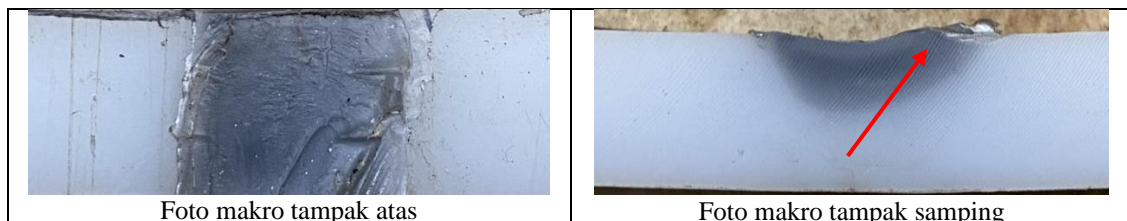
Gambar 12 Foto makrostruktur spesimen 11

Gambar 12 adalah foto makrostruktur sambungan las material *polyethylene sheet* pada variasi kecepatan *spindle* 1050 Rpm dan kecepatan *feedrate* 120 mm/min dengan menggunakan *tool square*. Pada sambungan las terlihat hasil las baik tetapi terdapat cacat las *underfilling* pada bagian yang ditunjuk tanda panah hal ini disebabkan oleh *travel speed* yang cepat.



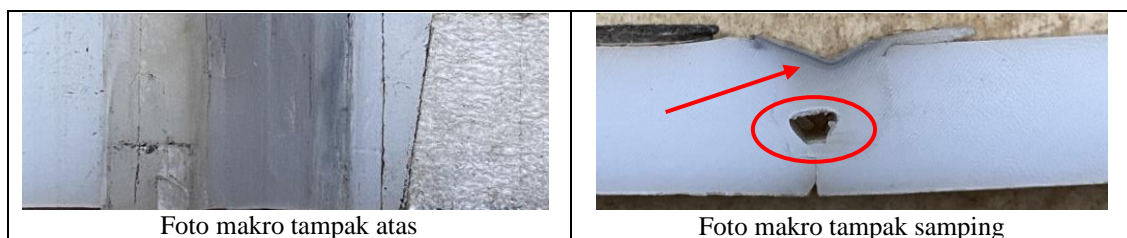
Gambar 13 Foto makrostruktur spesimen 12

Gambar 13 adalah foto makrostruktur sambungan las material *polyethylene sheet* pada variasi kecepatan *spindle* 2200 Rpm dan kecepatan *feedrate* 42 mm/min dengan menggunakan *tool square*. Dilihat dari foto makro tampak atas sambungan las spesimen 12 ini sangat baik tetapi terdapat cacat las *porosity* (garis oval).



Gambar 14 Foto makrostruktur spesimen 13

Gambar 14 adalah foto makrostruktur sambungan las material *polyethylene sheet* pada variasi kecepatan *spindle* 720 Rpm dan kecepatan *feedrate* 70 mm/min dengan menggunakan *tool tapered cylindrical*. Terdapat cacat las *overlap* pada bagian yang ditunjuk tanda panah.



Gambar 15 Foto makrostruktur spesimen 14

Gambar 15 adalah foto makrostruktur sambungan las material *polyethylene sheet* pada variasi kecepatan *spindle* 1050 Rpm dan kecepatan *feedrate* 120 mm/min dengan menggunakan *tool tapered cylindrical*. Terdapat cacat las *underfill* pada bagian yang ditunjuk tanda panah, dan cacat las *incomplete fusion* yang cukup besar pada bagian *root* (garis oval) yang disebabkan oleh rendahnya temperatur pada saat pengelasan. Hal ini mempengaruhi hasil *impak strength*, dapat dilihat pada gambar 18 (grafik nilai *impak strength*) yang menunjukkan hasil *impak strength* yang paling kecil.



Gambar 16 Foto makrostruktur spesimen 15

Gambar 16 adalah foto makrostruktur sambungan las material *polyethylene sheet* pada variasi kecepatan *spindle* 1525 Rpm dan kecepatan *feedrate* 42 mm/min dengan menggunakan *tool tapered cylindrical*. Terdapat rongga/cavity pada bagian yang ditunjuk tanda panah.



Gambar 17 Foto makrostruktur spesimen 16

Gambar 17 adalah foto makrostruktur sambungan las material *polyethylene sheet* pada variasi kecepatan *spindle* 2200 Rpm dan kecepatan *feedrate* 25 mm/min dengan menggunakan *tool tapered cylindrical*. Terdapat cacat las *porosity* (garis oval) dan spesimen mengalami *distorsi*. Putaran *spindle* yang tinggi dan kecepatan *travel speed* yang rendah mengakibatkan temperatur terlalu panas sehingga daerah lasan menjadi lebih lebar daripada spesimen yang lainnya. Hal ini menjadikan spesimen ini mempunyai nilai *impak strength* yang paling tinggi daripada spesimen yang lain dapat dilihat pada gambar 18 (grafik nilai *impak strength*).

b. Uji Impak

Pada proses ini bertujuan untuk membahas hasil dari proses pengelasan FSW, dan juga telah dilakukan uji impak dengan menggunakan standar ASTM E 23 yang mempunyai luas penampang melintang berupa bujur sangkar (10 x 10 mm) dan memiliki notch V-45°, dengan jari-jari dasar 0.25 mm dan kedalaman 2 mm[1], sehingga dapat diketahui harga uji impak. Setelah dilakukan proses pengujian uji impak maka diperoleh data sebagai berikut. Sebelum mencari harga impact terlebih dahulu menghitung energi yang dibutuhkan untuk mematahkan spesimen dengan rumus

$$EP = m \times g \times h (\sin \alpha + \cos \beta)$$

Kemudian mencari Impact Strength dengan rumus Energi Potensial (EP) dibagi dengan luasan spesimen tanpa area bertakik (A)

Keterangan :

EP	: Energi Potensial yang dibutuhkan pendulum
m	: Massa bandul / pendulum
g	: Besar gravitasi
l	: Lengan pendulum
sin α	: Sudut awal start pendulum
cos β	: Sudut yang dicapai pendulum setelah mematahkan sampel

Setelah dilakukan pengujian impak dan mendapatkan data yang diharapkan kemudian dilakukan perhitungan untuk mencari nilai *impak strength*, berikut adalah contoh perhitungan nilai impak pada spesimen 1:

Diketahui :

$$\begin{aligned} m &= 8.1 \text{ Kg} \\ g &= 9.81 \text{ kg/dt}^2 \\ h &= 0.62 \text{ m} \\ \sin \alpha &= 20^\circ \end{aligned}$$

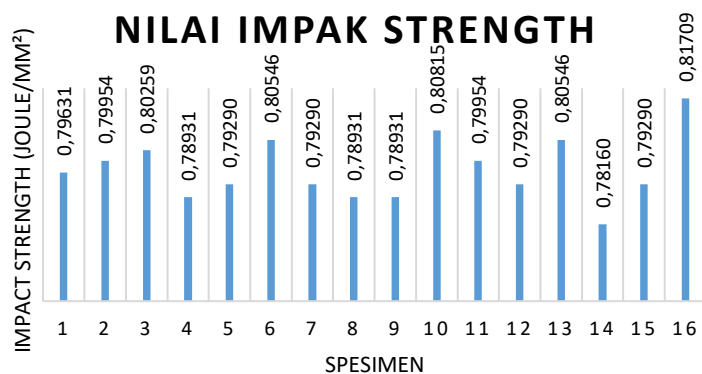
Jawab :

$$\begin{aligned} EP &= m \cdot g \cdot h (\sin \alpha + \cos \beta) \\ &= 8,1 \cdot 9,81 \cdot 0,62 (\sin 20 + \cos 18) \\ &= 49,26582 (0,342 + 0,951) \\ &= 49,26582 (1,293) \\ &= 63.69318 \text{ joule} \end{aligned}$$

Kemudian hasil dari energy potensial dibagi dengan luasan specimen (A)

$$\begin{aligned} IS &= EP/A \\ &= \frac{63.69318 \text{ joule}}{80 \text{ mm}^2} \\ &= 0.796165 \text{ joule/mm}^2 \end{aligned}$$

Selanjutnya untuk hasil perhitungan EP dan IS dapat dilihat pada gambar 18



Gambar 18. Grafik nilai *impact strength*

Dari hasil perhitungan menggunakan rumus tersebut dapat diketahui bahwa spesimen nomor 16 memiliki harga impact tertinggi yaitu sebesar 0,81709 joule/mm². Sedangkan untuk nilai terendah yaitu spesimen 14 dengan nilai impact sebesar 0,7816 joule/mm². Dan untuk rata – rata harga impact dari 16 spesimen adalah 0,796711 joule/mm².

Setelah dilakukan perhitungan harga impact strength, data yang sudah didapat kemudian diolah menggunakan metode One Way Anova untuk mengetahui kontribusi dari masing – masing factor terhadap hasil *impact strength*. Berikut adalah hasil pengolahan data menggunakan aplikasi minitab.

Tabel 1. One Way Anova Tool Vs *Impact Strength*
Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
TOOL	3	0.000172	18.37%	0.000172	0.000057	0.90	0.470
Error	12	0.000766	81.63%	0.000766	0.000064		
Total	15	0.000939	100.00%				

Dari tabel 1 dapat diketahui bahwa factor *tool* berpengaruh sebesar 18.37% terhadap hasil *impact strength*

Tabel 2. One Way Anova kecepatan *Spindle* Vs *Impact Strength*
Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
SPINDLE	3	0.000435	46.36%	0.000435	0.000145	3.46	0.051
Error	12	0.000503	53.64%	0.000503	0.000042		
Total	15	0.000939	100.00%				

Dari tabel 2 dapat diketahui bahwa factor kecepatan putaran mesin berpengaruh sebesar 46.36% terhadap hasil *impact strength*

Tabel 3. One Way Anova kecepatan gerak makan (*feedrate*) VS *impact strength*
Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
FEEDRATE	3	0.000223	23.73%	0.000223	0.000074	1.24	0.337
Error	12	0.000716	76.27%	0.000716	0.000060		
Total	15	0.000939	100.00%				

Dari tabel 3 dapat diketahui bahwa faktor kecepatan gerak makan berpengaruh sebesar 23.73% hasil *impact strength*

Dari hasil pengujian Anova menggunakan bantuan minitab didapatkan parameter yang berkontribusi paling banyak yaitu kecepatan putaran mesin (*spindle*) yang memberikan kontribusi sebesar 46.36%. Dapat dilihat dari spesimen 16 yang menggunakan kecepatan spindle 2200 rpm, dimana putaran mesin sangat berpengaruh terhadap hasil pengelasan dimana kecepatan spindle yang semakin cepat menghasilkan temperatur panas yang ditimbulkan akibat gesekan yang tinggi. Faktor ini didukung dengan kecepatan gerak makan (*feedrate*) yang menggunakan kecepatan *feedrate* dengan kecepatan yang paling rendah yaitu 25 mm/min, kemudian menggunakan *tool* dengan model pin *taper silinder* yang bisa mengaduk diarea pengelasan dengan lebih optimum.

VII. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan tentang eksperimen friction stir welding diuji dengan uji impact dan dianalisa dengan anova, maka kesimpulan yang didapat adalah sebagai berikut : (1), Pengelasan FSW dapat dilakukan pada material *polyethylene sheet* dengan memvariasikan beberapa parameter dengan hasil yang baik, terbukti dengan dilakukannya uji impact dan menghasilkan hasil nilai harga impact yang berbeda. Dari hasil tersebut harga impact tertinggi diperoleh oleh spesimen 16 dengan variasi parameter kecepatan *spindle* 2200 rpm dan kecepatan *feedrate* 25 mm/min dengan menggunakan *tool* dengan model pin *taper silinder* yang mendapatkan harga impact sebesar 0.81709 joule/mm². Sedangkan harga impact terendah pada spesimen 14 dengan variasi kecepatan *spindle* 1050 rpm dan kecepatan *feedrate* 120 mm/min dengan menggunakan *tool* dengan model pin *taper silinder*, dimana spesimen mengalami cacat pengelasan *incomplete fusion* yang cukup besar yang disebabkan oleh kurangnya temperatur panas karena kecepatan pengelasan yang tinggi sehingga base material dan weld material belum menyatu dengan sempurna. (2), Kecepatan putaran mesin (*spindle*) merupakan parameter yang paling berpengaruh terhadap harga impact strength dengan presentase 46.36%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta karunia, sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya. Dan juga terima kasih kepada orangtua yang selalu mendukung dan mendoakan sehingga dapat mempermudah langkah atau jalan dalam menyelesaikan skripsi. Dan juga terima kasih kepada dosen pembimbing, saudara/saudari, teman-teman bahwa penulis menyadari tanpa adanya bantuan dan dorongan dari berbagai pihak, penyelesaian skripsi ini tidak akan terwujud.

REFERENSI

- [1] Aji Nurhafid, Sarjito Jokosisworo, U. B. (2017) 'Analisa Pengaruh Perbedaan Feed Rate Terhadap Kekuatan Tarik Dan Impact Aluminium 6061 Metode Pengelasan Friction Stir Welding', Jurnal Teknik Perkapalan, 5(2), pp. 473–481.
- [2] Kiss, Z. and Czigány, T. (2007) 'Applicability of friction stir welding in polymeric materials', Periodica Polytechnica Mechanical Engineering, 51(1), pp. 15–18. doi: 10.3311/pp.me.2007-1.02.
- [3] Mustafa, K., & Ahmet, I. (2011). Effect Of Welding Prameters On Friction Stir Spot Welding Of High Density Polyethylene Sheets.
- [4] Oliveira, P. H. F. et al. (2010) 'Preliminary study on the feasibility of friction spot welding in PMMA', Materials Letters, 64(19)
- [5] Putra, R. W. et al. (2019) 'Jom FTeknik Volume 6 Edisi 2 Juli s / d Desember 2019 Jom FTeknik Volume 6 Edisi 2 Juli s / d Desember 2019', 6, pp. 1–9.
- [6] Rezaee Hajideh, M. et al. (2017) 'Investigation on the effects of tool geometry on the microstructure and the mechanical properties of dissimilar friction stir welded Polyethylene and polypropylene sheets', Journal of Manufacturing Processes, 26, pp. 269–279. doi: 10.1016/j.jmapro.2017.02.018.
- [7] Squeo, E. A. et al. (2009) 'Friction stir welding of Polyethylene sheets', Friction stir welding of Polyethylene sheets, pp. 241–146.
- [8] Strand, S. R., Sorensen, C. D. and Nelson, T. W. (2012) 'Effects of friction stir welding on polymer microstructure', Annual Technical Conference - ANTEC, Conference Proceedings, 1, pp. 1078–1082.
- [9] Wijayanto, J. (2012) 'Pengaruh Feed Rate Terhadap Sifat Mekanik Pada Friction Stir Welding Aluminium', Snast Iii, (November), pp. 325–331.
- [10] Yan, Y., Shen, Y., Zhang, W., & Hou, W. (2018). Friction stir spot welding ABS using triflute-pin tool: Effect of process parameters on joint morphology, dimension and mechanical property. Journal of Manufacturing Processes, 269-279. [10] Yukler, A.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.