

ISSN (ONLINE) 2598-9936



INDONESIAN JOURNAL OF INNOVATION STUDIES
PUBLISHED BY
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SIDOARJO

Table Of Contents

Journal Cover	1
Author[s] Statement	3
Editorial Team	4
Article information	5
Check this article update (crossmark)	5
Check this article impact	5
Cite this article	5
Title page	6
Article Title	6
Author information	6
Abstract	6
Article content	7

Originality Statement

The author[s] declare that this article is their own work and to the best of their knowledge it contains no materials previously published or written by another person, or substantial proportions of material which have been accepted for the published of any other published materials, except where due acknowledgement is made in the article. Any contribution made to the research by others, with whom author[s] have work, is explicitly acknowledged in the article.

Conflict of Interest Statement

The author[s] declare that this article was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Copyright Statement

Copyright © Author(s). This article is published under the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) licence. Anyone may reproduce, distribute, translate and create derivative works of this article (for both commercial and non-commercial purposes), subject to full attribution to the original publication and authors. The full terms of this licence may be seen at <http://creativecommons.org/licences/by/4.0/legalcode>

Indonesian Journal of Innovation Studies

Vol. 27 No. 2 (2026): April
DOI: 10.21070/ijins.v27i2.2044

EDITORIAL TEAM

Editor in Chief

Dr. Hindarto, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Managing Editor

Mochammad Tanzil Multazam, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Editors

Fika Megawati, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Mahardika Darmawan Kusuma Wardana, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Wiwit Wahyu Wijayanti, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Farkhod Abdurakhmonov, Silk Road International Tourism University, Uzbekistan

Bobur Sobirov, Samarkand Institute of Economics and Service, Uzbekistan

Evi Rinata, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

M Faisal Amir, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Dr. Hana Catur Wahyuni, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Complete list of editorial team ([link](#))

Complete list of indexing services for this journal ([link](#))

How to submit to this journal ([link](#))

Article information

Check this article update (crossmark)



Check this article impact ^(*)



Save this article to Mendeley



^(*) Time for indexing process is various, depends on indexing database platform

Rotational Speed Variation Governs Impact Strength in HDPE Friction Stir Welding: Variasai Kecepatan Rotasi Mempengaruhi Kekuatan Dampak pada Pengelasan Gesekan Putar HDPE

Mohammad Hanif Firmansyah, iswanto@umsida.ac.id (*)

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Iswanto, iswanto@umsida.ac.id

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

(*) Corresponding author

Abstract

General Background: Friction Stir Welding is increasingly applied in polymer joining due to its solid-state mechanism and ability to produce stable joints without melting. **Specific Background:** High-Density Polyethylene requires appropriate process parameters to obtain optimal mechanical performance, particularly under impact loading. **Knowledge Gap:** Previous studies have discussed process parameters in metal and polymer welding, yet limited studies specifically address the relationship between rotational speed variation and impact strength characteristics in HDPE joints. **Aims:** This study aims to analyze the effect of spindle rotational speed variation on the impact strength and microstructural characteristics of HDPE joints produced by Friction Stir Welding. **Results:** The experimental findings demonstrate that rotational speed variation significantly alters impact strength values and joint morphology, where certain rotational settings generate more homogeneous structures and higher resistance to impact loading. **Novelty:** The study provides a focused experimental evaluation of rotational speed parameters on HDPE joints using impact testing and metallographic observation within a controlled setup. **Implications:** These findings contribute to parameter optimization strategies in polymer-based Friction Stir Welding and provide practical guidance for improving joint reliability in engineering applications.

Keywords: Friction Stir Welding, High-Density Polyethylene, Rotational Speed, Impact Strength, Microstructure

Key Findings Highlights

Rotational parameter selection determines joint toughness performance.

Homogeneous internal morphology correlates with higher absorbed energy values.

Controlled spindle settings produce more stable polymer joint characteristics.

Published date: 2026-02-25

Pendahuluan

Teknik pengelasan semakin berkembang seiring dengan perkembangan jenis aplikasi dari material, salah satunya Friction Stir Welding (FSW). Metode ini sangat baik untuk pengelasan termoplastik dan logam. Namun saat ini banyak perusahaan manufaktur yang mengganti logam dengan bahan polimer. Hal tersebut disebabkan karena bahan polimer lebih ringan, serta konduktivitas listrik dan termal yang rendah. Bahan polimer juga relatif murah. Salah satu bahan polimer yang sering digunakan dalam industri transportasi, otomotif, tekstil, makanan, dan minuman adalah polyethylene.

Pengelasan sendiri merupakan suatu proses menghubungkan atau menyambungkan dua benda kerja dengan energi panas yang dihasilkan dari ukiran pada bagian material yang akan disambung. Menurut DIN (Deutsche Industry Normen), pengelasan adalah proses sambungan pada dua buah material dengan menggunakan energi panas yang dihasilkan dari gesekan benda kerja dalam keadaan mencair atau meleleh melalui penggunaan panas. Teknik pengelasan tidak mampu terlepas dari dunia industri manufaktur karena di waktu ini proses penyambungan menggunakan pengelasan sangat dibutuhkan pada dunia industri seperti manufaktur. Di saat ini pengelasan sangatlah beragam tidak hanya bahan atau material logam saja, melainkan bisa digunakan pada industri yang mengaplikasikan material non logam. Bahkan sekarang ini lebih banyak yang beralih di bahan non-logam mirip material polimer HDPE, dikarenakan material polimer tidak mudah korosi.

Friction Stir Welding (FSW) adalah teknologi penggabungan atau pemrosesan solid state yang kompleks FSW telah banyak diterapkan untuk menggabungkan paduan aluminium, paduan titanium dan bahan lain yang sulit dilas dengan fusion welding atau Pengelasan yang menggunakan kawat las tambahan atau yang tidak menggunakan kawat las tambahan dan proses penyambungannya menggunakan titik leleh benda kerja. Beberapa penelitian menyebut bahwa FSW sangat berpotensi untuk menggabungkan komposit polimer dengan polimer thermoplastik.

Friction Stir Welding (FSW) adalah suatu proses penyambungan dua bahan material padat secara bersama-sama ataupun barang kerja yang tidak meleleh dikala dicoba proses penyambungan. Tata cara ini digunakan untuk melindungi watak logam supaya tidak berganti. Proses FSW yang digunakan dalam pengelasan terdapat juga silinder shoulder serta pin (probe) yang berulir atau tanpa ulir yang kemudian diputar pada kecepatan putar serta kecepatan delapan pengelasan (feeding) yang senantiasa konstan dalam kaitannya dengan garis sambungan yang memisahkan dua barang kerja. Bagian-bagian lembaran pelat yang dijepit ke bidang penopang harus kuat agar dapat mencegah posisi sendi bergeser selama proses penyambungan [1].

Panjang pin (probe) yang dibutuhkan sedikit lebih pendek dari volume las, dan bahu harus bersentuhan langsung dengan benda kerja, kemudian pin tersebut dipindahkan menuju benda kerja atau menjauh dari benda kerja. Selama proses FSW, panas berasal dari gesekan antara benda kerja dengan alat las yaitu shoulder dan pin. Material mengalami interaksi temperatur pelarutan hingga melunak (0,6 hingga 0,8 temperatur leleh) akibat intensitas yang dihasilkan oleh proses pencampuran mekanis dan intensitas yang ada pada material [1].

Polyethylene, yang terbuat dari ethylene monomer, adalah polimer yang paling banyak digunakan. Polyethylene adalah sejenis termoplastik yang dapat dicetak dengan panas secara berulang kali. Polyethylene memiliki warna putih dan titik lelehnya antara 110 hingga 137 derajat Celcius. Polyethylene dibagi menjadi dua kelompok yaitu Low Density Polyethylene (LDPE) dan High Density Polyethylene (HDPE) [1].

Material polyethylene yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah High Density Polyethylene (HDPE). Bentuknya yang linier, bahan ini memiliki sifat yang kuat, rapat, dan struktur yang mudah beradaptasi. Jika dibandingkan dengan LDPE, plastik HDPE memiliki titik leleh yang lebih tinggi. Selain memiliki tingkat molekul yang tinggi, padat dan tahan terhadap cuaca, juga memiliki beberapa karakteristik dan sifat.

Sifat fisik dan mekanik	Keterangan
Massa jenis (g/cm ³)	0,94 - 0,96
Temperatur leleh (°C)	137
Temperatur glass (°C)	-90
Kekuatan tarik (kgf/mm ²)	2,1 - 3,8
Perpanjangan (%)	15 - 100
Modulus elastis	0,4 - 1
(kgf/mm ² x 10 ²)	
Kekuatan tekan (kgf/mm ²)	2,2
Kekuatan impact (kgm/mm ²)	0,0042-0,074

Table 1. Tabel 1. Karakteristik HDPE

Keuntungan penggunaan HDPE dalam penelitian ini yakni, ramah lingkungan, biaya terjangkau, tidak mudah berkarat maupun pecah, serta kekuatannya tidak kalah dibandingkan dengan logam, kayu, atau kaca. Namun, disamping itu polyethylene juga memiliki beberapa kekurangan yakni, dapat mengalami deformasi, mudah terbakar dan meleleh sehingga sering kali memicu terjadinya kebakaran.

Pengujian tarik adalah penerapan gaya atau tegangan pada suatu material untuk menentukan resistensi suatu material. Pengujian ini dilakukan dengan menarik benda uji atau bahan menggunakan gaya tarik yang dilakukan secara terus menerus sedemikian rupa sehingga perpanjangan bahan bertambah dan konstan sampai bahan putus. Dengan cara ini, nilai tarik dan jumlah perpanjangan material diketahui. Uji tarik juga menunjukkan fenomena patah getas dan patah ulet. Fraktur

ulet umumnya lebih disukai karena material memiliki keuletan dan ketangguhan yang baik. Sedangkan patah getas berbanding terbalik dengan patah ulet karena patah getas tidak mengalami deformasi plastis pada material uji [2]. Uji Tarik tersebut akan menghasilkan bagaimana hubungan antara tegangan dan regangan yang disebabkan oleh proses penarikan yang dilakukan. Alat eksperimen untuk uji tarik harus mempunyai cengkraman dengan kekuatan yang tinggi.

Menurut [3], pengelasan gesek memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kecepatan putar, kecepatan pengelasan, tool geometry, serta sudut kemiringan tool. Selain itu, temperatur juga berimbas pada peningkatan kualitas sambungan pengelasan [4]. Oleh karena itu, dilakukan penelitian untuk memastikan parameter pengelasan FSW yang optimal untuk polyethylene. Selain itu, permintaan plastik juga meningkat setiap tahunnya meningkat, mengingat kebiasaan hidup kebanyakan orang dimana plastik digunakan sepanjang waktu. Sering terjadi kontak fisik langsung dengan bahan kimia, produk harus tetap tahan terhadap kimia tersebut, hal ini juga menjadi latar belakang dilakukannya penelitian ini.

Penelitian yang dilakukan oleh [5] yang membahas tentang pengaruh rotasi kecepatan dalam pengelasan bahan polimer yaitu material Polyethylene. Dengan memakai metode pengelasan FSW menggunakan variasi kecepatan pahat, feed rate dan bentuk pin pahat. Setelah dilakukan pengelasan selanjutnya dilakukan pengujian kekuatan tarik buat melihat elastisitas kekuatan benda. Variasi parameter yang dipergunakan dalam FSW buat material Polyethylene yaitu kecepatan rotasi pahat 500 rpm, 750 rpm, 1000 rpm dan kecepatan gerak makan 5 mm/min menggunakan pahat threaded cylindrical.

Hal ini sudah terlihat dalam penelitian yang telah dilakukan bahwa kekuatan sambungan spesimen yang memakai pahat threaded cylindrical lebih tinggi daripada bentuk pin pahat yang lainnya. Tool threaded cylindrical memiliki sifat mekanik yang lebih tinggi di masing-masing kecepatan rotasi dan kecepatan gerak makan. Kecepatan rotasi pahat yang rendah menyebabkan panas gesekan yang tidak mencukupi pada daerah lasan akibatnya material yang disambung menghasilkan kekuatan las yang rendah. Semakin bertambahnya kecepatan rotasi panas yang dihasilkan semakin tinggi sehingga kapasitas beban tarik semakin baik dikarenakan melebarnya welding zone [6]. Kecepatan rotasi yang terlalu tinggi menyebabkan masukan panas pengelasan ekstra dan gaya inersia yang terbentuk cacat di daerah pengelasan dan akibatnya mengurangi kekuatan sambungan. Kekuatan Tarik maksimum 63.69 MPa yang diperoleh pada kecepatan rotasi pahat 750 rpm dan kecepatan gerak makan 5 mm/min dengan tool threaded cylindrical.

Penelitian yang dilakukan oleh [7] parameter yang dipilih dalam variasi kecepatan tool, kecepatan pengelasan sangat berbeda - beda. Dengan lima kecepatan rotasi pahat yaitu 500, 710, 1000, 1400, 2000 (rpm), dan tiga kecepatan pengelasan berbeda 20, 40, 63 (mm/menit). Ketika kecepatan rotasi meningkat, kekuatan tarik perlahan meningkat dan kemudian menurun. Dengan kata lain semua kecepatan transversal terdapat kecepatan putar optimum dimana benda uji yang dilas dapat memperoleh nilai kuat tarik tertinggi. Pada kecepatan pengelasan yang lebih tinggi dengan kecepatan pengelasan yang lebih cepat, panas gesekan yang dihasilkan akan berkurang dan tidak cukup untuk mengubah bentuk material secara plastis. Namun untuk kompensasi kekurangan dalam pembangkitan panas diperlukan adanya kecepatan rotasi yang lebih tinggi. Panas ini cukup untuk mencapai kekuatan tarik yang lebih tinggi. Namun, dengan adanya peningkatan dalam kecepatan rotasi lebih banyak panas yang dihasilkan dapat merusak lembaran polyethylene yang dilas dan menurunkan kekuatan tarik.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh [8] tentang pengelasan FSW dengan menggunakan bahan HDPE. Penelitian menggunakan parameter dengan kecepatan putaran 900, 1200, 1500 (rpm) dan kecepatan pengelasan terhadap benda kerja 45, 60 mm/menit dengan standart yang dipakai dalam penelitian ini menggunakan standart ASTM D412, menghasilkan kekuatan tarik yang terjadi memiliki berbagai macam kekuatan tergantung pada parameter yang digunakan. Hasilnya bahwa kekuatan tarik yang tertinggi dihasilkan pada kecepatan putaran 900 (rpm) dan kecepatan pengelasan 45 (mm/menit) dengan nilai kekuatan sebesar 12,8 (Mpa) setelah mendapatkan hasil ditambah dengan parameter hingga 1500 (rpm) dan pemakanan 60 (mm/menit) mengakibatkan penurunan kekuatan dari material HDPE sebesar 8,6 (Mpa) ketika parameter ditambahkan sampai fase akhir mengakibatkan gesekan yang terjadi pada pin tool dengan benda kerja terlalu panas dan melebihi kekuatan maksimal yang diterima pada benda kerja, sehingga membuat kekuatan benda kerja menurun pada kecepatan putar 1500 rpm dengan kecepatan pengelasan 60 mm/menit. Disimpulkan dalam penelitian ini kecepatan spindle 900 (rpm) dengan kecepatan pengelasan 45 (mm/menit) memiliki kekuatan yang baik.

Melihat penelitian yang terdahulu, tentang proses pengelasan Friction Stir Welding (FSW) mempunyai banyak faktor yang bisa dipengaruhi oleh seperti kecepatan putar tool, feed rate, pengaruh plunge depth dan preheat, dan sudut kemiringan tool. Penelitian ini akan membahas tentang bagaimana pengaruh setiap parameter kecepatan rotasi, kecepatan pengelasan, dan tool geometry dalam pengelasan FSW terhadap kekuatan tarik. Penelitian ini juga akan memperhitungkan berapa pengaruh kontribusi parameter kecepatan rotasi, kecepatan pengelasan, dan tool geometry terhadap kekuatan tarik tertinggi. Penelitian ini juga memiliki batasan dimana pengelasan hanya menggunakan material High Density Polyethylene (HDPE) dengan metode Friction Stir Welding (FSW). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh proses FSW pada kekuatan tarik, dan mengetahui pengaruh kontribusi masing-masing parameter terhadap kekuatan tarik.

Metode

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah kuantitatif, dan yang menjadi objek penelitian adalah parameter pengelasan FSW pada HDPE. Data yang digunakan diperoleh dan dikumpulkan dari hasil eksperimen yang dilakukan oleh peneliti. Teknik pengumpulan data pada penelitian ini menggunakan metode studi literasi dan eksperimen laboratorium. Eksperimen yang dilakukan akan menggunakan desain taguchi orthogonal array. Sebelum itu, peneliti juga akan mempersiapkan alat dan bahan yakni, polyethylene, tool pengelasan, dan mesin milling atau frais.

Polyethylene adalah polimer yang terdiri dari rantai panjang monomer etilen. Dalam industri polimer, Polyethylene ditulis dengan singkatan PE, perlakuan yang sama dilakukan oleh Polystyrene (PS) dan Polypropylene (PP). Molekul etilen C_2H_4 adalah $CH_2=CH_2$. Dua gugus CH_2 bergabung dengan ikatan ganda.

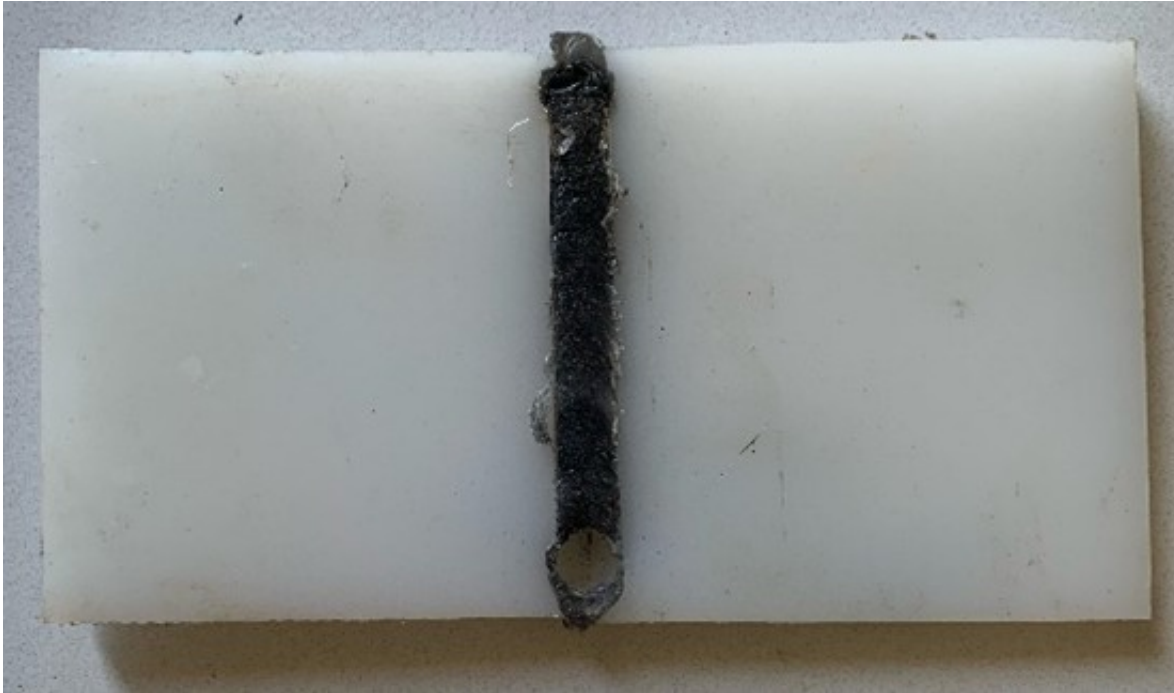


Figure 1. Gambar 1. Polyethylene

Tool yang akan digunakan dalam pengelasan ada 3 variasi yaitu Tapered Cylindrical, Squared, Threaded Cylindrical Tool yang masing-masing dibantu dengan adanya stationery shoulder yang digunakan untuk menghantarkan panas ke bidang polyethylene. Penelitian ini menggunakan material baja S45c yang memiliki sifat konduktifitas thermal dan kekuatan mekanik yang tinggi. Menggunakan kombinasi tool dan stationery shoulder memberikan permukaan panas yang dapat memperlambat laju pendinginan lava, agar pengelasan memberikan panas yang maksimal [9]. Material stationery shoulder menggunakan bahan material aluminum. Sedangkan mesin milling atau frais yang digunakan pada penelitian ini adalah alat Mesin Frais Universal X6332C Weida.



Figure 2. Gambar 2. Alat Penghantar Panas



Figure 3. Gambar 3. Tool Geometry



Figure 4. Gambar 4. Mesin frais

Metode taguchi adalah pendekatan baru untuk rekayasa. Pendekatan ini bertujuan untuk mengurangi biaya dan sumber daya sesedikit mungkin sekaligus meningkatkan kualitas produk dan proses. Robust design adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan pendekatan ini, yang memiliki banyak tujuan, satu di antaranya adalah membuat produk kedap suara. Taguchi mendefinisikan kualitas sebagai kerugian publik yang terjadi sejak produk dikirim. Pengendalian kualitas preventif sebagai desain produk atau proses sebelum mencapai tingkat pemasaran adalah apa yang dikendalikan oleh metode taguchi itu sendiri.

Orthogonal Array (OA) merupakan salah satu kontribusi yang diberikan ketika menggunakan metode taguchi. Dimana dapat digunakan untuk merancang eksperimen yang efektif dan menganalisis data eksperimen yang akan digunakan. Selain itu, OA digunakan untuk menentukan jumlah minimum percobaan yang dapat memberikan informasi sebanyak mungkin tentang semua faktor yang mempengaruhi parameter. Pemilihan kombinasi level untuk setiap variabel adalah bagian terpenting dari OA. Baris dan kolom digunakan untuk mengatur elemen. Kolom adalah faktor yang dapat diubah selama percobaan, sedangkan baris adalah status faktor.

Dalam penelitian ini, benda uji yang digunakan polyethylene (HDPE) yang berbentuk persegi panjang dengan dimensi panjang 70 mm, lebar 65 mm, dan tebal 10 mm Dengan parameter yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Kecepatan spindel
 - a. 1200 rpm
 - b. 1583 rpm
 - c. 1900 rpm
2. Kecepatan pengelasan
 - a. 15 mm/menit
 - b. 24 mm/menit

c. 43 mm/menit

3. Tool geometri

a. Threaded Cylindrical

b. Tapered Cylindrical

c. Squared

Pengujian dilakukan dalam eksperimen ini adalah menggunakan uji tarik, dengan variasi kecepatan rotasi tool yakni 1200, 1583, dan 1900 (rpm), serta kecepatan pengelasan yakni 12, 24, dan 43 (mm/menit), sehingga bisa diketahui spesimen yang memiliki keuletan dan kekuatan yang baik daripada yang lain. Setelah pengelasan, spesimen yang telah dilas akan diuji menggunakan uji tarik, pengujian ini dilakukan pada hasil pengelasan menggunakan metode FSW sesuai standar yang digunakan dalam pengujian ini adalah standar yang telah ditentukan ASTM D638 (American Society for Testing and Materials) type IV, untuk mengetahui kekuatan bahan atau spesimen yang akan di uji tarik.



Figure 5. Gambar 5. Mesin Uji Tarik

Pengujian tarik dilakukan di Balai Latihan Kerja Indonesia (BLKI) Surabaya menggunakan mesin dengan spesifikasi sebagai berikut:

Loadcell Capacity: 10.000 N

Weight: 155 Kg

Max Stroke Length: 50 mm

Frame Stiffness: 50 kn/mm

Speed Range: 0,00005 mm/s – 500 mm/ms

Height: 1260 mm

Width: 750 mm

Depth: 310 mm

Berikut Ini hubungan antara tegangan (stress) dan regangan (strain) :

1. Tegangan (stress)

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (1)$$

Keterangan :

P = Beban (Kgf)

A₀ = Luas Penampang awal (mm²)

σ = Tegangan (Kgf/mm²)

Figure 6.

2. Regangan (strain)

Dengan Rumus berikut :

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

Keterangan :

ΔL = Selisih pertambahan panjang

L₀ = Panjang awal

ε = Regangan (%)

3. Modulus Elastis

Dengan persamaan berikut :

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (3)$$

Keterangan :

σ = Tegangan (Kgf/mm²)

ε = Regangan (%)

Figure 7.

Pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan hasil penelitian dilakukan dengan menggunakan metode Analysis of Variance (ANOVA). Uji tes yang digunakan adalah General Linear Model untuk mengetahui kontribusi setiap parameter terhadap nilai uji tarik. Tujuan uji ANOVA digunakan untuk mengetahui signifikansi parameter proses yang mempengaruhi respon yang berbeda dari sambungan FSW [10]. Setelah data berhasil didapatkan, yang dilakukan selanjutnya adalah analisis dan pembahasan mengenai data - data tersebut. Pembahasan data tersebut mengacu pada rumus yang telah ditetapkan pada pengujian tarik. Tujuannya agar pembahasan ini mendapatkan hasil yang optimal dari pengujian tersebut.

Hasil dan Pembahasan

A. Desain Taguchi Orthogonal Array

No	Tool Geometry	Kecepatan spindle (rpm)	Kecepatan (mm/menit)	Pengelasan
1.	Squared	1200	15	
2.	Squared	1583	24	
3.	Squared	1900	43	
4.	Threaded Cylindrical	1200	24	
5.	Threaded Cylindrical	1583	43	
6.	Threaded Cylindrical	1900	15	
7.	Tapered Cylindrical	1200	43	
8.	Tapered Cylindrical	1583	15	

9. Tapered Cylindrical 1900 24

Table 2. Tabel 2. Desain Eksperimen

Pada Tabel 2, desain eksperimen menggunakan metode taguchi ortogonal array yang bertujuan untuk mendesain percobaan dan menganalisa data percobaan, serta digunakan untuk menentukan jumlah minimum eksperimen yang didapat dan memberikan informasi pada faktor yang mempengaruhi parameter.

B. Proses Pengelasan

Proses pengelasan dilakukan menggunakan metode Friction Stir Welding (FSW) pada material HDPE, dimana penyambungan atau pengelasan terjadi karena panas gesekan akibat perputaran tool, serta dibantu oleh stationary shoulder. Tool yang digunakan ada 3 variasi yaitu Tapered Cylindrical, Squared, Threaded Cylindrical (gambar 3). Material stationery shoulder menggunakan bahan material aluminum (gambar 2). Sedangkan mesin milling atau frais yang digunakan adalah Mesin Frais Universal X6332C Weida (gambar 4).

Figure 8. Gambar 6. Proses Pengelasan

Pada Gambar 6, alat yang berputar ditekan terhadap meterial yang perlu disambung. Ketika pin alat yang berbentuk silinder bersentuhan dengan material akan menyebabkan gesekan yang memanaskan material dan dapat menyebabkan beberapa bagian menjadi lebih lunak. Tool bergerak melintasi bahan yang akan disambung garis las (joint line) dengan kecepatan konstan. Untuk menjaga suhu pada titik pengelasan kedua tindakan harus digabungkan agar menghasilkan pengelasan yang baik[11].

Figure 9. Tabel 3. Detail Hasil Pengelasan

Tabel 3 merupakan detail hasil pengelasan yang dilakukan sebanyak sembilan percobaan dengan sembilan desain tool dan kecepatan yang berbeda.

C. Uji Kerataan

Figure 10. Gambar 7. Pengujian Kerataan

Proses pengujian kerataan menggunakan Dial Gauge Mitutoyo 2046S pada mesin Frais Universal X6332C Weida (Gambar 7). Pengujian dilakukan dengan mengukur 3 titik pada root weld untuk setiap spesimen. Hal ini dikarenakan pada daerah face weld terdapat cekungan ciri khas pengelasan FSW sebesar $\pm 0,1\text{mm}$ [12].

Figure 11. Gambar 8. Titik Pengukuran Kerataan

Berikut merupakan titik pengukuran kerataan pada spesimen setelah dilakukan pengelasan. Pengujian dilakukan dengan mengukur 3 titik pada root weld untuk setiap spesimen. Hal ini dikarenakan pada daerah face weld terdapat cekungan ciri khas pengelasan FSW sebesar $\pm 0,1\text{mm}$ [13]. Titik A merupakan jalur pengelasan, titik B merupakan titik pengukuran kemiringan sisi kiri pengelasan dengan panjang 6cm, titik C merupakan titik pengukuran kemiringan sisi kanan pengelasan

dengan panjang 6cm. Titik-titik tersebut dibagi lagi menjadi 3 bagian. Titik A1, B1, C1 merupakan titik pengukuran pada awal pengelasan. Titik A2, B2, C2 merupakan titik pengukuran pada bagian tengah pengelasan. Titik A3, B3, C3 merupakan titik pengukuran pada akhir pengelasan. Jarak antar titik adalah 3 cm. Kemudian peneliti mencatat hasil tiap spesimennya.

Figure 12. Tabel 4. Hasil Pengukuran Kerataan Pengelasan

Hasil kerataan terbaik (Tabel 4) didapatkan dari kecepatan perputaran 1200 rpm dan kecepatan pengelasan 15 mm/menit pada tool tapered Cylindrical dengan nilai rata-rata 0,69 mm. Untuk Hasil kerataan dengan simpangan terbesar yaitu pada kecepatan perputaran 1900 rpm dan kecepatan pengelasan 43mm/menit pada tool threaded cylindrical dengan nilai rata-rata 1,2 mm.

Figure 13. Gambar 9. Hasil Uji Tarik

D. Uji Tarik

Uji tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan sambung dari pengelasan. Pengujian tarik dilakukan terhadap delapan belas spesimen (gambar 8), dimana setiap spesimen diuji sebanyak dua titik atau dua kali. Pengujian pertama dilakukan pada titik awal pengelasan, pengujian kedua dilakukan pada titik akhir pengelasan[14]. Hal ini dilakukan untuk mengetahui tingkat penyambungan secara maksimal. Kemudian data yang diambil adalah rata-rata dari dua hasil pengujian tersebut.

Figure 14. Tabel 5. Hasil Uji Tarik

Figure 15. Tabel 5. Hasil Uji Tarik

TEGANGAN TARIK (Kgf/mm²)

Figure 16. Gambar 10. Diagram Nilai Tegangan Tarik

Nilai tegangan tarik yang tertinggi sebesar 7,17 Kgf/mm² terdapat pada spesimen 8 dengan tool tapered cylindrical dengan kecepatan putar 1583 rpm dan kecepatan pengelasan 15 mm/menit. Sedangkan tegangan tarik terendah sebesar 6,84 Kgf/mm² terdapat pada spesimen 1 dengan tool squared dengan kecepatan putar 1200 rpm dan kecepatan pengelasan 15 mm/menit.

NILAI REGANGAN (%)

Figure 17. Gambar 11. Diagram Nilai Regangan

Nilai regangan tertinggi sebesar 45,16% pada spesimen 2 dengan tool squared dengan kecepatan putar 1583 rpm dan kecepatan pengelasan 24 mm/menit. Sedangkan nilai regangan terendah sebesar 16,75% pada spesimen 8 dengan tool tapered cylindrical dengan kecepatan putar 1583 rpm dan kecepatan pengelasan 15 mm/menit.

MODULUS ELASTIS (Kgf/mm²)

Figure 18. Gambar 12. Diagram Nilai Modulus Elastis

Nilai modulus elastis tertinggi sebesar 0,44 Kgf/mm² pada spesimen 8 dengan tool tapered cylindrical dengan kecepatan 1583 rpm dan kecepatan pengelasan 15 mm/menit. Sedangkan nilai modulus elastis terendah sebesar 0,15 Kgf/mm² pada spesimen 2 dengan tool squared dengan kecepatan putar 1583 rpm dan kecepatan pengelasan 24 mm/menit.

E. Analysis of Varian (ANOVA)

Analisis data menggunakan metode Analysis of Varian (ANOVA) dengan uji tes General Linear Model, sehingga dapat diketahui kontribusi setiap parameter terhadap nilai kekuatan tarik[15].

Figure 19. Tabel 6. Faktor dan Respon Uji Tes General Linear Model

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Tool Geometry	2	0,043800	57,78%	0,043800	0,021900	4,44	0,184
Kecepatan	2	0,013867	18,29%	0,013867	0,006933	1,41	0,416
Spindle							
Kecepatan	2	0,008267	10,91%	0,008267	0,004133	0,84	0,544
Pengelasan							
Error	2	0,009867	13,02%	0,009867	0,004933		