

Pengaruh kecepatan *weaving* terhadap lebar manik las dan kekuatan tarik pipa stainless steel 316L pada *tungsten inert gas (TIG) orbital pipe welding* dengan pola pengelasan zig-zag

Eko Prasetyo¹, Tedi Veradino¹, Ario Sunar Baskoro^{1,a},

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok, 16424, Indonesia

^{a)} Corresponding Author: ario@eng.ui.ac.id

ABSTRACT

Welding is essential in the construction, manufacturing, and oil and gas industries. One application of welding technology in the industry is pipe welding. In this study, welding of orbital pipes was carried out with Tungsten Inert Gas (TIG) Welding without filler metal (autogenous) on SS316L type stainless steel pipes with an outer diameter of 114 mm and a thickness of 3 mm. Welding tests were carried out to determine the quality of the weld (bead width) and tensile strength. The welding parameters used are constant current with variations in weaving speed (zigzag) of 0.150 mm/s, 0.154 mm/s, and 0.161 mm/s, as well as four pipe angle positions during welding namely 0°, 90°, 180°, and 270°. The stages of testing carried out include the preparation of tools and specimens, welding of the test material, and testing of the tensile strength and width of the weld bead. The welding tool used is a prototype orbital pipe welding tool with the 5G method with SS316L pipe material. After welding, the tensile test specimens are formed using the standard shape of the test material using the ASTM section 9 standard with the E-8M test method. From the results of measuring the width of the weld bead, the widest result occurs at a welding speed of 0.154 mm/s with a bead width of 12.14 mm at a position 90°. The highest tensile strength test results occurred at a welding speed of 0.150 mm/s with a maximum tensile strength of 571.07 MPa at 180° with a current of 100A.

Kata kunci: *Tungsten inert gas (TIG)*, *orbital pipe welding (OPW)*, kecepatan *weaving*, lebar manik, *tensile stress*

Received 30 September 2023; **Presented** 5 October 2023; **Publication** 27 May 2024

PENDAHULUAN

Pengelasan memiliki peran penting dalam industri konstruksi, manufaktur, serta perminyakan dan gas [1]. Salah satu penerapan teknologi pengelasan dalam industri adalah pengelasan pada pipa [2]. Proses pengelasan pipa digunakan untuk menyambung pipa menjadi sistem perpipaan yang dapat mengalirkan fluida secara efektif, efisien, dan aman.

Seiring dengan perkembangan waktu, pengelasan pipa telah mengalami kemajuan dalam inovasi teknologinya, salah satu inovasi teknologi pada pengelasan pipa yang telah berkembang adalah *orbital pipe welding (OPW)*. Pengelasan OPW dalam pelaksanaannya banyak menggunakan las jenis *Tungsten Inert Gas (TIG)*, yang diharapkan hasil pengelasannya konsisten, akurat, dan memiliki kekuatan serta ketahanan yang tinggi pada sambungan pipa.

Pada umumnya, saat melakukan proses *TIG orbital pipe welding*, garis penyatuan antara dua potongan pipa dibuat secara spiral (*circular*

pattern). Namun demikian, beberapa studi menunjukkan bahwa menggunakan pola pengelasan *weaving (zig-zag)* dapat menghasilkan sambungan las yang lebih kuat dibandingkan dengan metode *circular pattern* [3].

Material pipa stainless steel AISI 304L dan 316L merupakan jenis yang sering digunakan di industri [4]. Material pipa SS 316L banyak digunakan karena memiliki *corrosion-resistant properties* pada temperatur dan tekanan kerja yang tinggi dan memiliki *mechanical properties* yang baik, antara lain kekuatan tarik yang tinggi. Oleh karena itu SS316L menjadi pilihan material yang ideal untuk digunakan dalam sistem perpipaan industri yang membutuhkan performa tinggi dan lingkungan yang korosif.

Untuk memenuhi kebutuhan industri akan performa sistem yang tinggi dan lingkungan yang korosif, maka dibutuhkan hasil pengelasan yang berkualitas baik. Kualitas hasil pengelasan dipengaruhi oleh beberapa parameter salah satunya adalah kecepatan pengelasan dan kecepatan zig-zag.

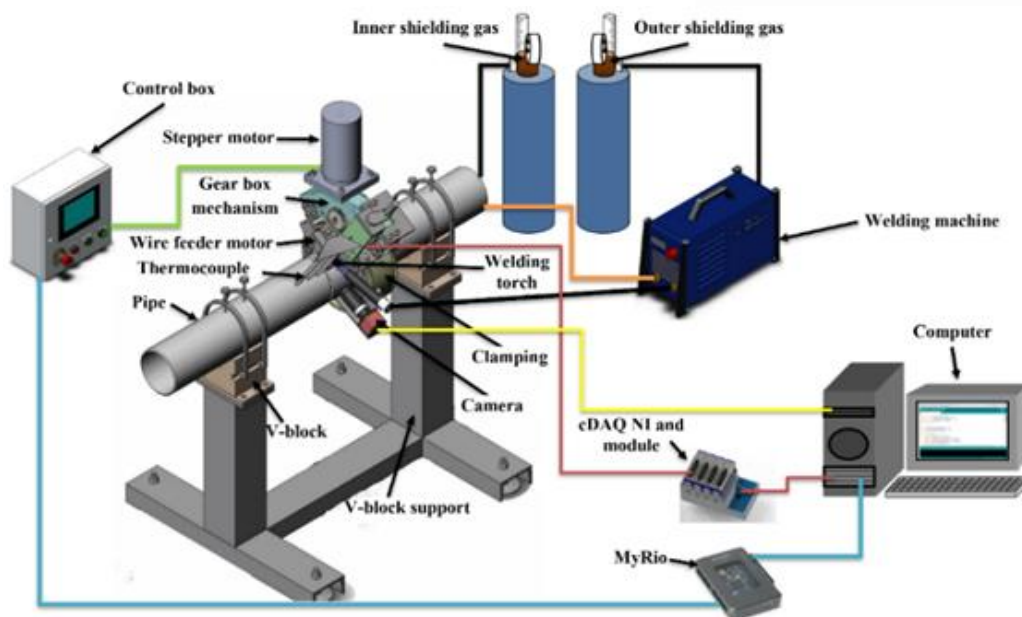
Beberapa parameter dapat dipertimbangkan untuk menentukan kualitas hasil pengelasan yang baik, diantaranya adalah lebar manik las dan kekuatan tarik hasil sambungan las [5]. Lebar manik las dapat diketahui melalui proses pengukuran dengan dinolite, sedangkan kekuatan tarik dapat diketahui melalui proses pengujian tarik.

Berdasarkan penelitian ini, belum banyak literatur yang mempelajari bagaimana metode pola gerakan zig-zag berdampak pada lebar manik las dan kekuatan tarik pada hasil pengelasan pipa orbital TIG dengan material SS 316L. Oleh karena itu, penelitian ini fokus pada pengaruh variasi

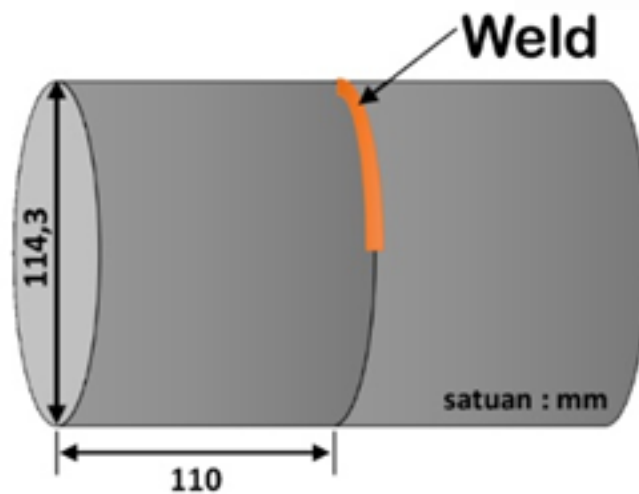
kecepatan zig-zag terhadap lebar manik las dan kekuatan tarik pada material SS316L dengan proses TIG *orbital pipe welding*. Diharapkan penelitian ini dapat bermanfaat dan menambah pengetahuan tentang proses pengelasan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental, diawali dengan langkah persiapan dengan mempersiapkan material uji berupa potongan pipa SS316 berukuran 110mm, diameter luar 4 inci, tebal 3mm dan mesin yang digunakan adalah mesin las prototipe *orbital pipe welding* seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Setup Alat OPW [2]



Gambar 2. Skema Spesimen Pipa 316L [2]

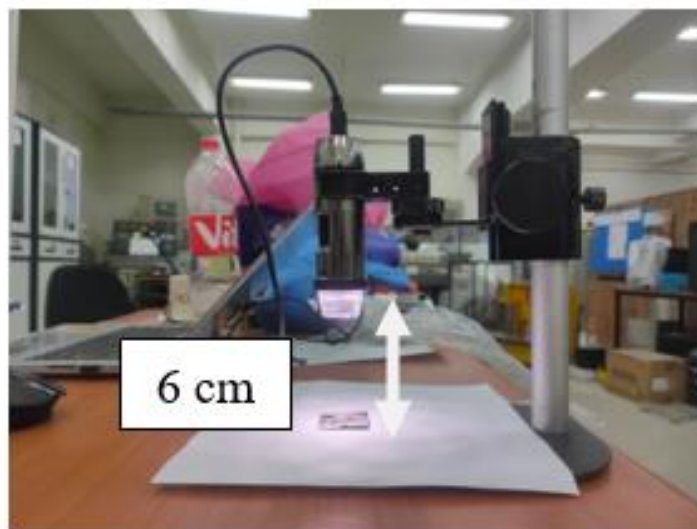
Selanjutnya dilakukan pengelasan dengan variasi pengelasan zig-zag dimulai dengan kecepatan 0,150 mm/s, 0,154 mm/s, dan 0,161 mm/s. Proses pengelasan OPW diprogram secara otomatis dengan menggunakan program LabView dan menggunakan mesin TIG dengan tangsten tipe EWCe-2 dengan spesimen pipa SS316 berjumlah tiga spesimen uji. Gas pelindung argon pada *flowrate* konstan sebesar 11 l/menit, kecepatan orbital motor 1,4 mm/s. Langkah selanjutnya melakukan pengukuran lebar manik las dengan mikroskop digital dinolite dan uji tarik terhadap dua belas sampel dari tiga spesimen uji.

Pada tahap pengukuran lebar manik las, terlebih dahulu dilakukan *set-up* peralatan pengukuran untuk mengurangi kesalahan saat pengambilan gambar dan pengukuran lebar manik lasan. Untuk *set-up* yang dilakukan antara lain pengaturan jarak dari *front-cap* ke permukaan spesimen diatur berjarak 60 mm, rasio pembesaran atau *magnification rate* diatur sebesar 16,3 kali, resolusi

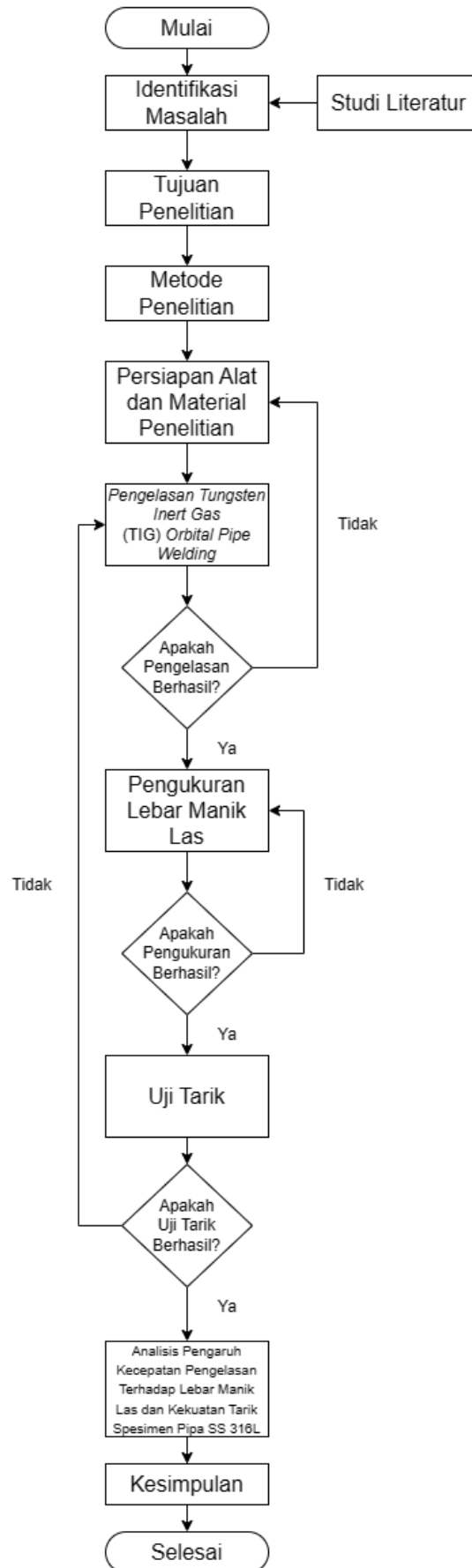
gambar diatur dengan ukuran 1280 x 1024 pixel dan kerapatan gambarnya sebesar 96 dpi. Selain itu untuk mendapatkan hasil pengukuran yang akurat, maka diperlukan kalibrasi alat ukur dengan satuan/unit pixel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

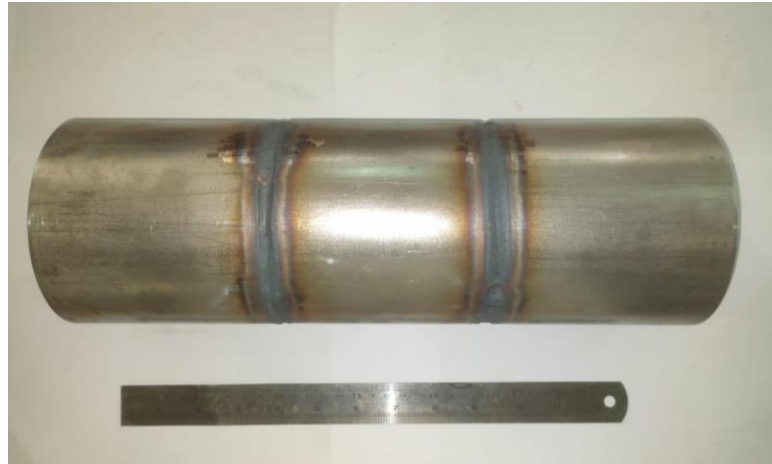
Pengukuran specimen uji lebar manik las dan uji tarik dilakukan terhadap hasil lasan pada empat titik yaitu sudut 0°, 90°, 180°, 270° untuk masing-masing spesimen. Spesimen uji lebar manik las diukur dengan menggunakan alat bantu dinolite mikroskop, sedangkan untuk uji kekuatan tariknya menggunakan mesin uji tarik. Pengukuran lebar manik las dilakukan pengambilan data sebanyak 10 kali pengukuran untuk tiap-tiap specimen dan tiap kecepatan weavingnya yang nantinya akan dirata-ratakan mewakili ukuran tiap titik sudutnya seperti terlihat pada tabel 2, 3 dan 4. Adapun hasil pengelasan pipa orbital dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 3. Set up peralatan pengukuran


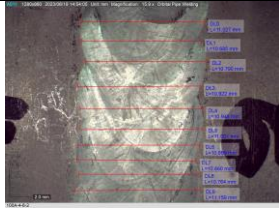


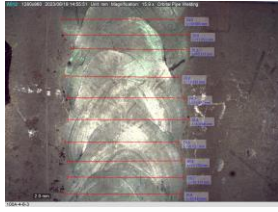
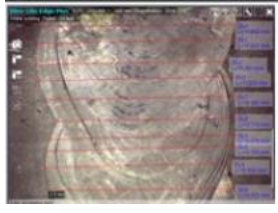
Gambar 4. Diagram Alir Penelitian



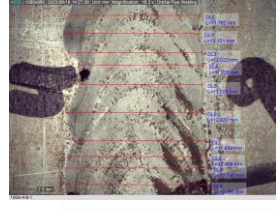
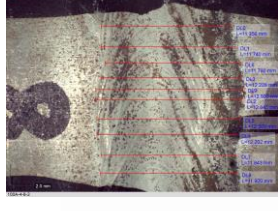
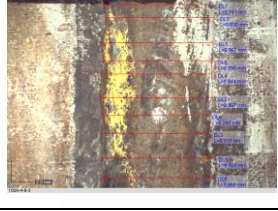
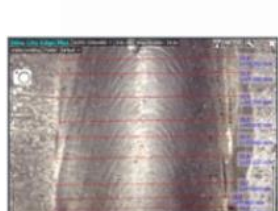
Gambar 6. Hasil pengelasan pipa orbital

Tabel 2. Hasil pengukuran lebar manik las pada kecepatan zig-zag 0,150 mm/s


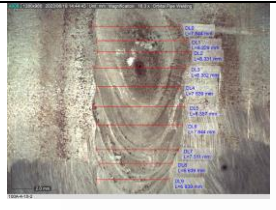
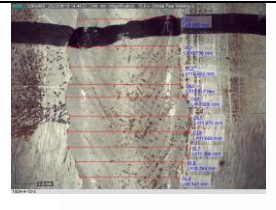
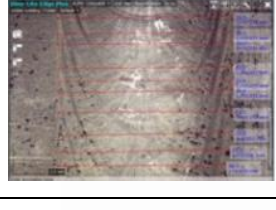
No	Parameter				Foto Hasil Pengukuran	Lebar Manik (mm)
	Arus (A)	Set Kecepatan Motor Utama (mm/s)	Set Kecepatan Motor Weaving (mm/s)	Sudut (Derajat)		
1	100	1,4	0,150	0		9,91
				90		10,88

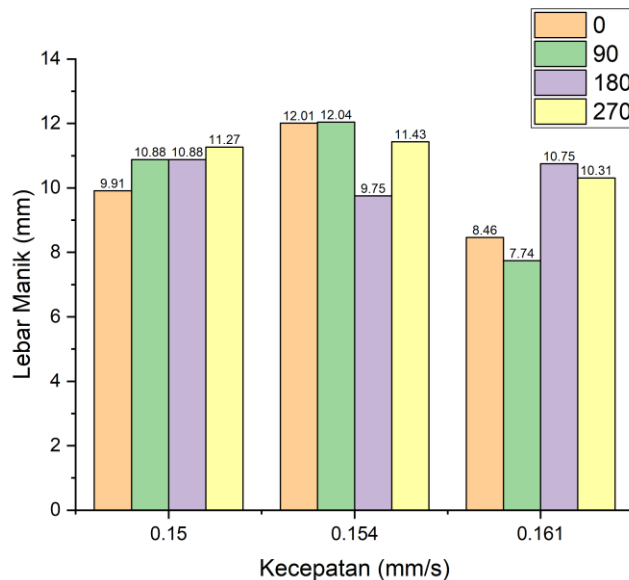
				180		10,88
				270		11,27

Tabel 3. Hasil pengukuran lebar manik las pada kecepatan zig-zag 0,154 mm/s

2	100	1,4	0,154	0		12,01
				90		12,14
				180		9,75
				270		11,43

Tabel 4. Hasil Pengukuran Kecepatan zig-zag 0,161 mm/s

3	100	4	0,161	0		8,46
				90		7,74
				180		10,75
				270		10,31



Gambar 7. Grafik kecepatan zig-zag terhadap lebar manik las

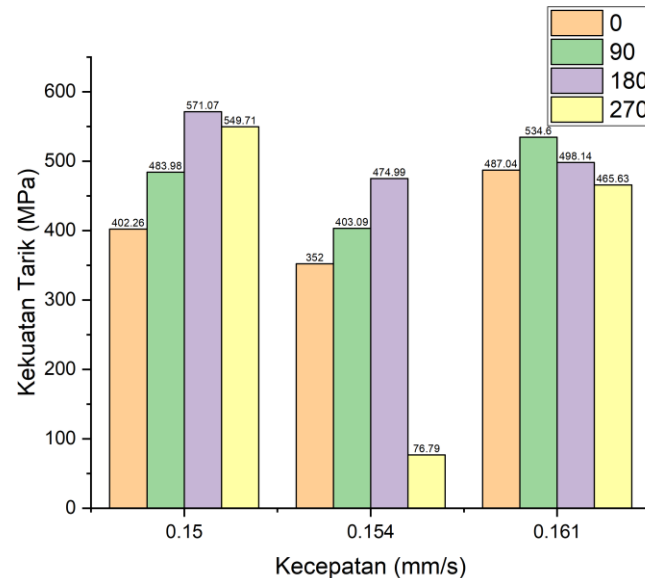
Gambar 7 menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan zig-zag maka tingkat kerapatan antar *weld pool* akan semakin rapat, hal ini menyebabkan penumpukan *weld pool* pada titik tertentu sehingga mengakibatkan lebar manik las semakin pendek. Dibuktikan pada kecepatan 0,161 mm/s

lebar manik las cenderung lebih pendek dibanding kecepatan 0,150 mm/s dan 0,154 mm/s

Gambar 8 menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan zig-zag maka kekuatan tarik akan semakin turun, hal ini terlihat besarnya kekuatan tarik pada kecepatan 0,161 mm/s memiliki

kekuatan tarik yang lebih rendah dibandingkan dengan kekuatan tarik pada kecepatan zig-zag yang lebih rendah. Hasil pengukuran lebar manik las didapat rata-rata lebar manik pada kecepatan 0,150 mm/s, 0,154 mm/s, 0,161 mm/s adalah 10,74 mm, 11,33 mm, dan 10,31 mm. s.

Manik las paling lebar terjadi pada kecepatan pengelasan 0,154 mm/s, posisi 90° dengan lebar manik 12,14 mm. Sedangkan lebar manik yang paling pendek yaitu 7,74 mm terjadi pada kecepatan pengelasan 0,164 mm/s posisi 90°.



Gambar 8. Grafik kecepatan terhadap kekuatan tarik maksimum

Hasil kekuatan tarik maksimum pada masing-masing posisi sudut pipa (a) 0°, (b) 90°, (c) 180° dan (d) 270° dapat dilihat pada gambar 9. Dimana pengelasan dengan kecepatan 0,150 mm/s menghasilkan kekuatan tarik terbesar yaitu 571,07 MPa pada posisi pipa 180°. Sedangkan kekuatan tarik terkecil adalah 76,79 MPa pada posisi pipa 180° dengan 0,150 mm/s. Penurunan terkecil dan terbesar pada kekuatan tarik maksimum terhadap logam dasar adalah sebesar 16,87% dan 88,82%.

Kecepatan zig-zag mempengaruhi kekuatan tarik karena mempengaruhi daerah heat affected zone. Dimana makin cepat pengelasan maka *weld pool* yang terbentuk akan menumpuk yang mengakibatkan *pattern* zig-zag yang terbentuk akan semakin rapat jarak antar *pitch*-nya. Selain itu distribusi panas saat pengelasan sangat berpengaruh terhadap kekuatan tarik. Distribusi yang tidak merata menyebabkan struktur material yang terbentuk menjadi tidak sempurna, sehingga menyebabkan menurun kekuatan tariknya

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal, sebagai berikut:

1. Hasil pengukuran lebar manik las didapat rata-rata lebar manik pada kecepatan 0,150 mm/s, 0,154 mm/s, 0,161 mm/s adalah 10,74 mm, 11,33 mm, dan 10,31 mm. Manik las paling lebar terjadi pada kecepatan pengelasan 0,154 mm/s, posisi 90° dengan lebar manik 12,14 mm. Sedangkan lebar manik yang paling sempit yaitu 7,74 mm terjadi pada kecepatan pengelasan 0,164 mm/s posisi 90°.
2. Pada kecepatan zig-zag 0,150 mm/s menghasilkan kekuatan tarik terbesar yaitu 571,07 MPa pada posisi pipa 180°. Sedangkan kekuatan tarik terkecil adalah 76,79 MPa pada posisi pipa 180° dengan 0,150 mm/s.
3. Semakin tinggi kecepatan zig-zag maka tingkat kerapatan antar *weld pool* akan

semakin rapat, hal ini disebabkan adanya penumpukan *weld pool* pada titik tertentu sehingga menyebabkan lebar manik las semakin pendek. Dibuktikan pada kecepatan 0,161 mm/s lebar manik las cenderung lebih pendek dibanding kecepatan 0,150 mm/s dan 0,154 mm/s.

4. Semakin tinggi kecepatan zig-zag maka kekuatan tarik akan semakin turun, hal ini dapat dilihat korelasi lebar manik las pada kecepatan 0,161 mm/s memiliki kekuatan tarik yang lebih rendah dibandingkan dengan lebar manik las dan kekuatan tarik pada kecepatan zig-zag yang lebih rendah.
5. Distribusi panas saat pengelasan sangat berpengaruh terhadap kekuatan tarik. Distribusi panas yang tidak merata menyebabkan struktur material yang terbentuk menjadi tidak beraturan, sehingga menyebabkan menurunnya kekuatan tarik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Riset dan Pengembangan Universitas Indonesia melalui pendanaan riset PUTI Q2 tahun 2023 dengan surat kontrak nomor NKB-680/UN2.RST/HKP.05.00/2022. dan seluruh pihak-pihak yang telah membantu dan memberikan support untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. N. Iman, "Inovasi Teknologi Pengelasan untuk Menunjang Industri Manufaktur di Indonesia," pp. 1–26, 2015.
- [2] M. Panji, A. S. Baskoro, and A. Widyianto, "Effect of Welding Current and Welding Speed on Weld Geometry and Distortion in TIG Welding of A36 Mild Steel Pipe with V-Groove Joint," IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng., vol. 694, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/694/1/012026.
- [3] Saefuloh, I. Setiawan, H. Istiqlaliyah, W. Wijoyo, and A. B. Ulum, "Analisa pengaruh pola gerak elektroda dan kuat arus terhadap kekuatan tarik, kekerasan, dan struktur mikro baja SS400," Tek. J. Sains dan Teknol., vol. 15, no. 2, p. 143, 2019, doi: 10.36055/tjst.v15i2.6972.
- [3] J. A. Alcock and B. Baufeld, "Diode laser welding of stainless steel 304L," J. Mater. Process. Technol., vol. 240, pp. 138–144, 2017, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2016.09.019.
- [4] A. Rahmatika, S. Ibrahim, M. Hersaputri, and E. Aprilia, "Studi Pengaruh Variasi Kuat Arus terhadap Sifat Mekanik Hasil Pengelasan GTAW Alumunium 1050 dengan Filler ER 4043," J. Polimesin, vol. 17, no. 1, pp. 47–54, 2019.
- [5] A. Widyianto, "Pengembangan Sistem Monitoring Dan Sistem Kontrol Real Time Pada Pengelasan Pipa Orbital Gas Tungsten Arc Welding (Gtaw) Menggunakan Machine Vision Dan Neural Network," Universitas Indonesia, 2021.
- [6] Pengelasan.net, "Pengertian Las GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) TIG Adalah," 2020. <https://www.pengelasan.net/las-gtaw/>.
- [7] J. Lukkari, "Orbital-TIG—a great way to join pipes," ESAB Weld. Cut. J., vol. 60(01), pp. 3–6, 2005.
- [8] H. Latifi, "Advanced Orbital Pipe Welding," p. 126, 2012.
- [9] P. Sagues, "Adaptive control techniques advance automatic welding," weld. J. (Miami, Fla), vol. 89, no. 8, pp. 26–28, 2010.
- [10] M. Kimura, M. Kusaka, K. Kaizu, K. Nakata, and K. Nagatsuka, "Friction welding technique and joint properties of thin-walled pipe friction-welded joint between type 6063 aluminum alloy and AISI 304 austenitic stainless steel," Int. J. Adv. Manuf. Technol., vol. 82, no. 1–4, pp. 489–499, 2016, doi: 10.1007/s00170-015-7384-8.
- [11] T. Tadavi, B. Jogi, S. Dhende, S. Banait, and P. Wagh, "Microscopic Analysis of Heat Affected Zone (HAZ) of Submerged Arc Welding (saw) Joint for 1018 Mild Steel Sheet," vol. 137, pp. 194–199, 2017, doi: 10.2991/iccasp-16.2017.32.
- [12] R. W. Messler, *Joining of Materials and Structures: From Pragmatic Process to Enabling Technology*. 2004.
- [13] V. Kumar, "Modeling of weld bead geometry and shape relationships in submerged arc welding using developed fluxes," Jordan J. Mech. Ind. Eng., vol. 5, no. 5, pp. 461–470, 2011.
- [14] W. D. Callister Jr, *Materials Science and Engineering - An Introduction* (5th ed.), vol. 47, no. 1. 2000.

- [15] ASTM E8, “ASTM E8/E8M standard test methods for tension testing of metallic materials 1,” Annu. B. ASTM Stand. 4, no. C, pp. 1–27, 2010, doi: 10.1520/E0008.
- [16] K. W.H, “Welding Process-Arc and Gas Welding and Cutting, Brazing, and Solderin,” in AWS Welding Book Seventh Edition, Volume 2., Miami, Florida: AWS, 1978, p. 78.
- [17] M. Fakhri Andika, “pengembangan digital measurement software untuk pengukuran lebar manik las berbasis image processing,” Universitas Indonesia, 2022.
- [18] Y. Liu and Y. Zhang, “Weld penetration control in gas tungsten arc welding (GTAW) process,” IECON 2013 - 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2013. doi:10.1109/iecon.2013.6699748
- [19] H.-K. Lee and K.-S. Bang, “Optimization of GTAW parameters for horizontal welding of a STS316L pipe,” Journal of Welding and Joining, vol. 33, no. 5, pp. 47–52, 2015. doi:10.5781/jwj.2015.33.5.47
- [20] H. Soltan and M. Omar, “A roadmap for selection of Metal Welding Process: A Review and proposals,” Welding in the World, vol. 66, no. 12, pp. 2639–2675, 2022. doi:10.1007/s40194-022-01379-1