

Analisis Kekuatan dan Makrostruktur Sambungan Las MIG Aluminium Akibat Variasi Kuat Arus

Talifatim Machfuroh¹, Kris Witono^{2*}, Lisa Agustriyana³, Siti Duratun Nasiqiati Rosady⁴

^{1,2,3,4}Politeknik Negeri Malang, Kota Malang

*Penulis Korespondensi, email: kris.witono@polinema.ac.id

Received: 02/06/2025

Revised: 12/06/2025

Accepted: 12/06/2025

Abstract. Aluminum is a lightweight and rust-resistant material, but the high thermal conductivity of aluminum greatly affects the quality of the weld. Welding parameters greatly affect the strength of the weld joint, this has been proven by several existing studies. In addition, the welding method and type of filler material also affect the strength of the joint. However, welding on aluminum material is rarely done because of the high level of difficulty. The effect of variations in welding current strength on the macroscopic aspects and mechanical strength of aluminum MIG weld joints has not been explored in depth. Therefore, this study was conducted with the aim of analyzing the relationship between welding current strength and macro structure and mechanical performance of the joint, so that it can contribute to the optimization of the MIG welding process on aluminum material. The method used is experimental with tensile testing and macro photography of fracture results. From the tensile test data, an analysis of the effect of current strength on the tensile strength of aluminum joints was then carried out. Based on this study, it was found that variations in current strength significantly affect the tensile strength of aluminum MIG weld joints. The current of 115 A tends to produce more stable and high tensile strength at medium speed (40–50 cm/min), while the combination of current 125 A and high speed (70 cm/min) produces the highest tensile strength in welding, although at low speed it is not too superior. Thus, the selection of the right welding parameters greatly affects the strength of the joint, especially for aluminum joints.

Keywords: MIG, Aluminium, Macrostructure, Welding

Abstrak. Aluminium merupakan material yang ringan dan tahan karat, namun sifat konduktivitas termal yang tinggi dari aluminium sangat mempengaruhi kualitas hasil lasan. Parameter pengelasan sangat mempengaruhi kekuatan sambungan lasan, hal ini sudah dibuktikan oleh beberapa penelitian yang ada. Selain itu metode pengelasan dan jenis material pengisi juga berpengaruh terhadap kekuatan sambungan. Meskipun demikian pengelasan pada material aluminium sangat jarang dilakukan karena tingkat kesulitan yang tinggi. Pengaruh variasi kuat arus pengelasan pada aspek makroskopik dan kekuatan mekanik sambungan las MIG aluminium masih belum banyak dieksplorasi secara mendalam. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis hubungan antara kuat arus pengelasan terhadap struktur makro dan performa mekanik sambungan, sehingga dapat memberikan kontribusi dalam optimalisasi proses pengelasan MIG pada material aluminium. Metode yang digunakan adalah eksperimental dengan pengujian tarik dan foto makro hasil patahan. Dari data uji tarik kemudian dilakukan analisa pengaruh kuat arus terhadap kekuatan tarik sambungan aluminium. Penelitian ini nantinya dapat dijadikan rujukan untuk industri yang memerlukan proses penyambungan aluminium, semisal pada industri pembuatan kapal, manufaktur, struktur bangunan yang membutuhkan konstruksi ringan dan kuat, dan sebagainya. Berdasarkan penelitian ini didapatkan bahwa variasi kuat arus mempengaruhi kekuatan tarik sambungan las MIG aluminium secara signifikan. Arus 115 A cenderung menghasilkan kekuatan tarik yang lebih stabil dan tinggi pada kecepatan sedang (40–50 cm/menit), sementara kombinasi arus 125 A dan kecepatan tinggi (70 cm/menit) menghasilkan kekuatan tarik tertinggi dalam pengelasan, meskipun pada kecepatan rendah justru tidak terlalu unggul. Dengan demikian pemilihan parameter pengelasan yang tepat sangat mempengaruhi kekuatan sambungan, khususnya untuk sambungan aluminium.

Kata Kunci: MIG, Aluminium, Makrostruktur, Pengelasan

I. PENDAHULUAN

Pengelasan Metal Inert Gas (MIG) sangat cocok digunakan untuk mengelas berbagai logam dan banyak digunakan di dunia industri [1]. Hal ini

dikarenakan metode las MIG sangat mudah diterapkan pada berbagai macam logam, selain itu hasil lasannya secara umum cukup baik.

Meskipun demikian pengelasan dengan MIG juga mempunyai kelemahan atau potensi cacat las, diantaranya penetration, porositas, retakan, dan struktur yang kasar [2][3][4][5][6]. Untuk memperbaiki hasil lasan, beberapa penelitian berkaitan dengan pengelasan MIG banyak dikembangkan, diantaranya *Clean MIG* yang merupakan salah satu variasi dari MIG yang menggunakan argon murni sebagai gas pelindung (*shielding gas*). Kelebihan dari *clean MIG* dapat menghasilkan sambungan las yang kuat dan tangguh, karena proses pelindungan dari oksidasi lebih baik, dan hasil pengelasan menjadi lebih bersih (minim kontaminasi) [7]. Namun teknik ini memiliki kekurangan berupa busur yang tidak stabil dan penetrasi yang rendah [2]. Hal ini dikarenakan karena tidak ada campuran gas aktif (seperti CO₂ atau O₂), pembentukan busur listrik bisa menjadi kurang konsisten. Selain itu, metode lain yang dikembangkan yaitu *Pulse-MIG* yang menggunakan gelombang arus berdenyut, tujuannya untuk mengontrol transfer tetesan logam dari kawat ke logam dasar dengan lebih presisi, mengurangi percikan (*spatter*), dan menghasilkan sambungan las yang lebih rapi serta minim cacat [8].

Metode lain yang dikembangkan yaitu *Laser-MIG hybrid welding* yang menggabungkan dua proses yaitu *laser welding* dan *MIG welding*. Gabungan ini bertujuan menghasilkan kualitas las yang tinggi, kekuatan bagus, dan kecepatan pengelasan lebih tinggi [3][9][10][11]. Setiap metode yang dikembangkan memiliki tantangan teknis dan potensi cacatnya masing-masing, sehingga pemilihan metode harus disesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi material.

Aluminium merupakan material yang banyak digunakan di berbagai industri [12][13][14][15]. Hal ini dikarenakan massa jenis aluminium yang rendah sehingga cocok digunakan untuk aplikasi yang memerlukan material yang ringan. Aluminium juga mudah dibentuk tanpa mengalami retak. Selain itu aluminium mempunyai lapisan oksida pelindung yang membuatnya tahan karat dan mudah dibentuk [12][16]. Meskipun demikian,

pengelasan aluminium merupakan pengelasan yang sangat sulit. Hal ini dikarenakan aluminium yang memiliki sifat penghantar panas, sehingga saat dilas panas cepat menyebar ke seluruh bagian logam [16][17]. Oleh karena itu diperlukan metode khusus untuk pengelasan dengan bahan aluminium.

Li, dkk. [18] melakukan studi terhadap perubahan mikrostruktur pada sambungan T pelat aluminium paduan 6061-T6 dan A356-T6 dengan ketebalan 4 mm yang dilas menggunakan teknik *pulse-MIG*. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa area lasan terdiri dari struktur dendritik dan kolumnar. Sementara itu, Huang, dkk. [19] meneliti dampak penggunaan metode pengelasan *hybrid laser-arc* terhadap struktur mikro sambungan paduan aluminium 5083. Metode ini menghasilkan sambungan dengan butiran yang lebih besar serta kekuatan tarik mencapai 269 MPa, peningkatan ini dikaitkan dengan berkurangnya porositas dalam area lasan.

Penelitian lain oleh Yan, dkk. [20] mengkaji pengaruh parameter proses pada mikrostruktur pengelasan *hybrid laser-MIG* antara dua jenis aluminium, yaitu AA5083 dan AA6082. Dalam penelitian ini, material pengisi yang digunakan adalah ER4043 dan ER5356. Mikrostruktur sambungan diamati menggunakan SEM, EDS, dan EBSD. Hasilnya menunjukkan bahwa zona fusi dengan filler ER4043 memiliki butiran yang lebih halus, berukuran antara 49 hingga 63 µm, meskipun porositas yang terbentuk di area tersebut lebih tinggi. Selain itu, Zhao, dkk. [21] juga melaporkan bahwa dalam sambungan paduan aluminium 5A06, ukuran butir di area yang diproses dengan pengelasan *hybrid laser-MIG* lebih halus dibandingkan area yang hanya diproses dengan laser.

Di sisi lain, Dewanto dkk. [22] membandingkan kekuatan mekanik sambungan hasil pengelasan metode MIG dan *Friction Stir Welding* (FSW) pada paduan aluminium 5083 dengan kecepatan putar 800 rpm. Sihombing dkk. [23] meneliti efek posisi pengelasan dan bentuk kampuh terhadap kekuatan tarik serta hasil mikrografi pada sambungan las MIG aluminium 6061 yang digunakan sebagai

material kapal. Iswanto, dkk. [24] melakukan perbandingan antara hasil kekuatan las pada proses TIG dan MIG pada paduan aluminium 5083. Terakhir, Kris et al. (2023) menganalisis kekuatan sambungan las bimetal antara baja dan stainless steel menggunakan metode *robotic MIG welding*, dengan variasi parameter kecepatan pengelasan dan panjang *stickout* [24].

Meskipun aluminium memiliki keunggulan ringan dan tahan karat, sifat konduktivitas termal yang tinggi dari aluminium sangat mempengaruhi kualitas hasil lasan. Berdasar penelitian yang sudah ada menunjukkan bahwa kekuatan sambungan las sangat dipengaruhi oleh parameter proses, termasuk metode pengelasan dan jenis material pengisi. Namun, pengaruh variasi kuat arus pengelasan pada aspek makroskopik dan kekuatan mekanik sambungan las MIG aluminium masih belum banyak dieksplorasi secara mendalam. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis hubungan antara kuat arus pengelasan terhadap struktur makro dan performa mekanik sambungan, sehingga dapat memberikan kontribusi dalam optimalisasi proses pengelasan MIG pada material aluminium.

II. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental untuk menganalisis pengaruh variasi kuat arus pengelasan terhadap karakteristik makroskopik dan mekanik sambungan las MIG pada material aluminium. Tahapan penelitian dijelaskan sebagai berikut:

A. Bahan dan peralatan

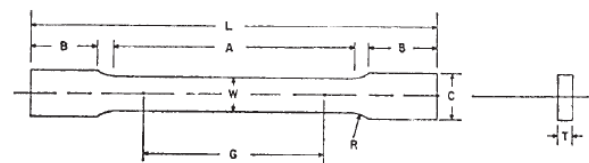
Material dasar yang digunakan adalah aluminium paduan tipe 6061 dengan ketebalan 3 mm. Aluminium 6061 memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang baik, menjadikannya ideal untuk aplikasi struktural [18]. Kawat las ER4043 berdiameter 0,8 mm digunakan sebagai bahan pengisi. Proses pengelasan dilakukan menggunakan mesin las MIG (Metal Inert Gas) tipe inverter DC dengan pengaturan arus dan kuat arus variabel. Gas pelindung yang digunakan adalah gas argon murni dengan laju aliran 15–20 L/min.

B. Variabel Penelitian

Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini yaitu kuat arus pengelasan dengan variasi 110 A, 115 A dan 125 A [25].

C. Pengujian tarik

Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan standar uji tarik ASTM E8M. Setiap sampel ditarik menggunakan mesin uji tarik untuk mengukur *ultimate tensile strength* (UTS) dan elongation. Pengujian ini dilakukan untuk setiap variasi kecepatan pengelasan untuk mendapatkan data tentang pengaruh *travel speed* terhadap kekuatan tarik. Setiap variasi dilakukan pengulangan pengujian sebanyak 3 kali.



Gambar 1. Spesimen uji tarik ASTM E8

D. Pengamatan patahan makro

Setelah dilakukan pengujian tarik, patahan pada setiap sampel diamati secara makroskopik untuk melihat bentuk patahan. Fokus utama adalah mengidentifikasi pola *ductile fracture* (adanya *Necking*, pola *cup and cone*) atau *brittle fracture*.

E. Analisis dan diskusi

Data hasil pengujian makroskopik dianalisis secara deskriptif untuk mengidentifikasi kualitas sambungan berdasarkan bentuk dan cacat makro. Hasil uji tarik dianalisis secara kuantitatif untuk mengetahui pengaruh variasi kuat arus terhadap kekuatan tarik. Grafik hubungan antara kuat arus pengelasan dan kekuatan sambungan ditampilkan untuk mendukung interpretasi data.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji tarik pada pengelasan aluminium dengan kecepatan pengelasan tetap 40 cm/menit pada tabel 1 menunjukkan bahwa variasi kuat arus berpengaruh terhadap kekuatan tarik (δu) dan regangan (ϵ) sambungan las. Material dasar (raw

material) memiliki kekuatan tarik rata-rata sebesar 94,03 MPa dan regangan 13,62%, yang merupakan nilai tertinggi di antara semua spesimen, karena belum mengalami perubahan akibat proses pengelasan. Pada spesimen hasil pengelasan dengan kuat arus 110 A, kekuatan tarik rata-rata sebesar 77,76 MPa dan regangan 11,86%, menunjukkan penurunan sifat mekanik namun masih dalam batas yang relatif stabil. Sementara itu, arus 115 A menghasilkan kekuatan tarik rata-rata 75,15 MPa dengan regangan tertinggi di antara semua spesimen las, yaitu 13,18%. Hal ini menunjukkan bahwa pada arus ini terjadi peningkatan keuletan sambungan meskipun kekuatan tarik sedikit menurun. Pada arus tertinggi, yaitu 125 A, kekuatan tarik tetap berada di angka 75,15 MPa namun regangan menurun menjadi 11,42%, yang kemungkinan disebabkan oleh input panas yang berlebih sehingga menyebabkan pelemahan pada struktur mikro las. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa peningkatan arus pengelasan tidak selalu meningkatkan kekuatan sambungan, dan pemilihan arus yang tepat menjadi faktor penting untuk mendapatkan keseimbangan antara kekuatan dan keuletan sambungan las.

Tabel 1. Hasil pengujian tarik pada TS 40 cm/menit

TS 40 cm/menit				
Spesimen	δu (Mpa)	Rata-rata (Mpa)	ϵ (%)	Rata-rata (%)
Raw Material	93.4297	94.0267	12.92%	13.62%
	94.0237		13.72%	
	94.6267		14.22%	
Kuat Arus 110 A	77.9600	77.7600	12.64%	11.86%
	78.3600		11.86%	
	76.9600		11.08%	
Kuat Arus 115 A	75.8057	75.1467	12.18%	13.18%
	74.1497		14.18%	
	75.4847		13.18%	
Kuat Arus 125 A	76.1447	75.1467	12.22%	11.42%
	73.6687		10.40%	
	75.6267		11.64%	

Pengujian tarik pada sambungan las aluminium dengan kecepatan pengelasan 50 cm/menit pada tabel 2 menunjukkan bahwa variasi kuat arus

memberikan pengaruh terhadap kekuatan tarik dan regangan sambungan. Nilai kekuatan tarik rata-rata bahan dasar (raw material) adalah 94,03 MPa dengan regangan rata-rata 13,62%, yang menunjukkan karakteristik mekanik tertinggi karena tidak terpengaruh oleh proses termal pengelasan. Pada arus 110 A, kekuatan tarik rata-rata tercatat sebesar 72,05 MPa dan regangan sebesar 11,86%, menunjukkan adanya penurunan dibandingkan material dasar, namun hasilnya masih konsisten. Ketika arus dinaikkan menjadi 115 A, terjadi peningkatan kekuatan tarik rata-rata menjadi 74,03 MPa dan regangan juga meningkat menjadi 13,18%, mendekati nilai regangan bahan dasar. Hal ini menunjukkan bahwa arus 115 A memberikan kombinasi terbaik antara kekuatan dan keuletan pada kondisi kecepatan pengelasan ini. Sementara itu, pada arus 125 A, kekuatan tarik sedikit menurun menjadi 73,92 MPa dan regangan turun menjadi 11,42%. Penurunan ini kemungkinan disebabkan oleh akumulasi panas yang lebih tinggi, yang dapat memengaruhi struktur mikro dan menyebabkan penurunan plastisitas material. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pada kecepatan pengelasan 50 cm/menit, arus 115 A memberikan hasil mekanik paling optimal di antara variasi arus yang diuji.

Tabel 2. Hasil pengujian tarik TS 50 cm/menit

TS 50 cm/menit				
Spesimen	δu (Mpa)	Rata-rata (Mpa)	ϵ (%)	Rata-rata (%)
Raw Material	93.4297	94.0267	12.92%	13.62%
	94.0237		13.72%	
	94.6267		14.22%	
Kuat Arus 110 A	72.5633	72.0533	12.64%	11.86%
	71.5833		11.86%	
	72.0133		11.08%	
Kuat Arus 115 A	73.0287	74.0267	12.18%	13.18%
	74.0469		14.18%	
	75.0047		13.18%	
Kuat Arus 125 A	74.0600	73.9200	12.22%	11.42%
	72.8800		10.40%	
	74.8200		11.64%	

Pada kecepatan pengelasan 60 cm/menit, hasil uji tarik menunjukkan bahwa kekuatan tarik dan regangan spesimen las mengalami penurunan dibandingkan dengan material dasar. Bahan dasar (raw material) memiliki kekuatan tarik rata-rata sebesar 94,03 MPa dan regangan rata-rata 13,62%, yang mencerminkan sifat mekanik optimum karena tidak mengalami efek termal dari proses pengelasan. Untuk spesimen dengan kuat arus 110 A, kekuatan tarik rata-rata tercatat sebesar 70,93 MPa dan regangan sebesar 11,86%, menunjukkan penurunan yang cukup signifikan dari bahan dasar. Saat kuat arus dinaikkan menjadi 115 A, kekuatan tarik sedikit meningkat menjadi 71,15 MPa, dengan regangan meningkat menjadi 13,18%, mendekati nilai regangan bahan dasar. Ini menunjukkan bahwa meskipun kekuatan tarik tidak mengalami peningkatan besar, keuletan material mengalami perbaikan. Pada arus 125 A, kekuatan tarik rata-rata mencapai 71,79 MPa, namun regangan menurun menjadi 11,42%. Penurunan nilai regangan ini dapat disebabkan oleh akumulasi panas yang lebih cepat akibat kecepatan pengelasan tinggi, yang memperkecil waktu pendinginan dan dapat menurunkan plastisitas logam. Secara umum, pada *travel speed* 60 cm/menit, tidak terjadi peningkatan signifikan pada kekuatan tarik, namun arus 115 A masih menunjukkan regangan yang relatif baik dan mendekati karakteristik bahan dasar.

Tabel 3. Hasil pengujian tarik TS 60 cm/menit

TS 60 cm/menit				
Spesimen	δu (Mpa)	Rata-rata (Mpa)	ϵ (%)	Rata-rata (%)
Raw Material	93.4297	94.0267	12.92%	13.62%
	94.0237		13.72%	
	94.6267		14.22%	
Kuat Arus 110 A	71.4133	70.9333	12.64%	11.86%
	70.3503		11.86%	
	71.0363		11.08%	
Kuat Arus 115 A	71.4467	71.1467	12.18%	13.18%
	70.6867		14.18%	
	71.3067		13.18%	
Kuat Arus 125 A	71.9967	71.7867	12.22%	11.42%
	70.9767		10.40%	

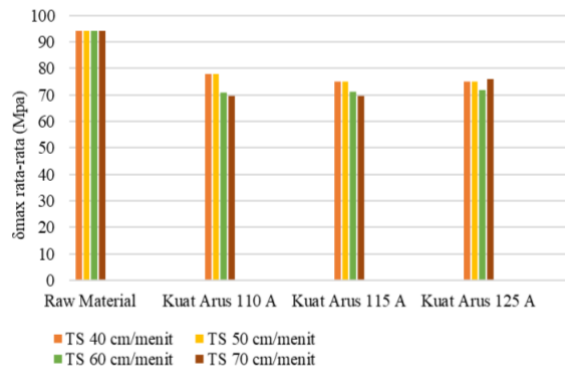
	72.3867		11.64%	
--	---------	--	--------	--

Tabel 4. Hasil pengujian tarik TS 70 cm/menit

TS 70 cm/menit				
Spesimen	δu (Mpa)	Rata-rata (Mpa)	ϵ (%)	Rata-rata (%)
Raw Material	93.4297	94.0267	12.92%	13.62%
	94.0237		13.72%	
	94.6267		14.22%	
Kuat Arus 110 A	70.1933	69.4933	12.64%	11.86%
	69.0903		11.86%	
	69.1963		11.08%	
Kuat Arus 115 A	69.2000	69.6000	12.18%	13.18%
	70.7000		14.18%	
	68.9000		13.18%	
Kuat Arus 125 A	76.1067	76.1067	12.22%	11.42%
	75.1567		10.40%	
	77.0567		11.64%	

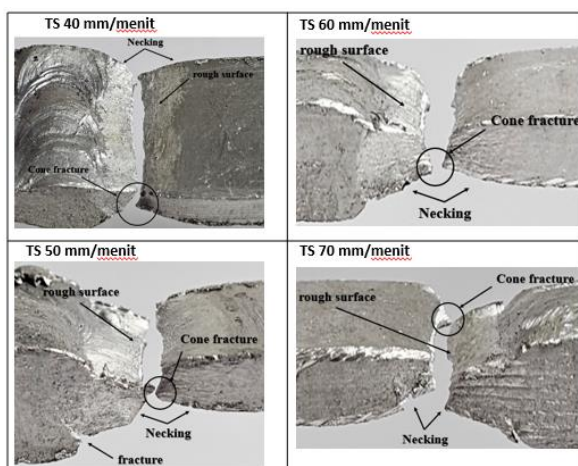
Pada kecepatan pengelasan 70 cm/menit, hasil uji tarik menunjukkan adanya variasi respons mekanik sambungan las terhadap perubahan kuat arus. Material dasar memiliki kekuatan tarik rata-rata sebesar 94,03 MPa dan regangan sebesar 13,62%, yang tetap menjadi acuan tertinggi karena belum mengalami pengaruh termal dari proses pengelasan. Ketika arus pengelasan disetel pada 110 A, kekuatan tarik rata-rata menurun menjadi 69,49 MPa dengan regangan sebesar 11,86%, mencerminkan penurunan sifat mekanik akibat energi panas yang terbatas untuk membentuk sambungan yang optimal. Pada arus 115 A, kekuatan tarik sedikit meningkat menjadi 69,60 MPa dan regangan meningkat menjadi 13,18%, menunjukkan bahwa meskipun kekuatan tarik belum meningkat secara signifikan, keuletan sambungan mengalami perbaikan. Sementara itu, pada arus 125 A, terjadi peningkatan kekuatan tarik yang cukup signifikan menjadi 76,11 MPa, nilai tertinggi di antara semua variasi arus pada kecepatan ini. Namun, regangan justru turun menjadi 11,42%, menunjukkan bahwa meskipun sambungan menjadi lebih kuat, tingkat keuletannya menurun. Penurunan regangan ini kemungkinan disebabkan oleh pembentukan struktur mikro yang

lebih kasar atau adanya potensi cacat mikro akibat input panas berlebih. Secara keseluruhan, pada *travel speed* 70 cm/menit, arus 125 A memberikan kekuatan tarik terbaik, namun dengan kompromi terhadap regangan sambungan.

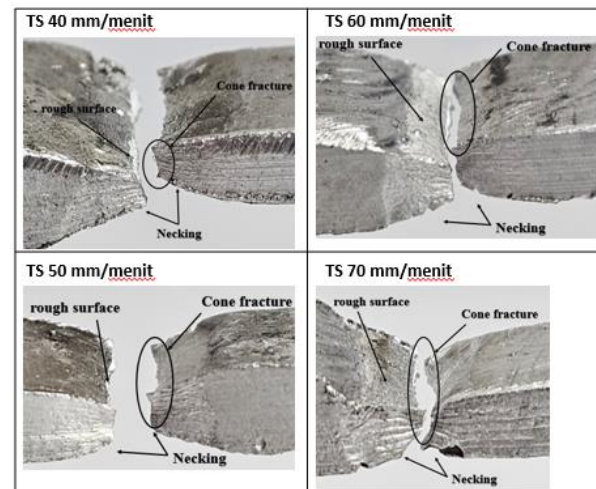


Gambar 2. Grafik hubungan kekuatan tarik terhadap variasi kuat arus

Berdasarkan hasil penelitian, pengaruh variasi kuat arus terhadap kekuatan tarik dapat lebih jelas terlihat pada hasil foto makro patahan yang diambil dari sambungan las tersebut pada gambar 3. Pada arus 115 A, pola patahan pada setiap variasi kecepatan *travel speed* memperlihatkan karakteristik patahan duktile, yang ditandai dengan adanya *Necking*—penyempitan lokal pada area patahan. *Necking* ini menunjukkan deformasi plastik yang cukup sebelum patah, yang secara umum berkorelasi dengan kekuatan tarik yang baik dan daya tahan sambungan las.



Gambar 3. Foto makro patahan hasil lasan pada kuat arus 115 A



Gambar 4. Foto makro patahan hasil lasan pada kuat arus 125 A

Pada arus 125 A, pola yang terlihat pada foto makro serupa, di mana peningkatan kecepatan *travel speed* juga menyebabkan *Necking* menjadi kurang jelas dan patahan mulai mengarah ke getas [1]. Ini menunjukkan bahwa pada arus yang lebih tinggi, input panas dan waktu eksposur yang lebih singkat pada kecepatan tinggi menghasilkan struktur sambungan yang lebih kuat tapi kurang plastis [25].

Secara keseluruhan, pemilihan parameter pengelasan seperti arus dan kecepatan harus seimbang. Input panas yang tepat dan durasi waktu pemanasan mempengaruhi makrostruktur dan sifat mekanik sambungan las [26]. Hal ini menentukan kualitas kekuatan dan keuletan dari sambungan las [27].

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini didapatkan bahwa variasi kuat arus mempengaruhi kekuatan tarik sambungan las MIG aluminium secara signifikan. Arus 115 A cenderung menghasilkan kekuatan tarik yang lebih stabil dan tinggi pada kecepatan sedang (40–50 cm/menit), sementara kombinasi arus 125 A dan kecepatan tinggi (70 cm/menit) menghasilkan kekuatan tarik tertinggi dalam pengelasan, meskipun pada kecepatan rendah justru tidak terlalu unggul. Dengan demikian, pemilihan parameter pengelasan harus mempertimbangkan keseimbangan antara

input panas dan waktu eksposur agar sambungan las memiliki sifat mekanik yang optimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada P2M Politeknik Negeri Malang yang telah mensupport penelitian ini, sehingga tulisan ini terwujud.

REFERENSI

- [1] K. Witono, T. Machfuroh, S. Sarjiyana, and E. Faizal, "Pengaruh Variasi *Travel speed* Terhadap Kekuatan Tarik Pada Pengelasan Disimilar Metal Dengan Mig Robotic *Welding*," *Otopro*, vol. 19, no. 1, pp. 34–39, 2023, doi: 10.26740/otopro.v19n1.p34-39.
- [2] S. Singh, V. Kumar, S. Kumar, and A. Kumar, "Variant of MIG *welding* of similar and dissimilar metals: A review," *Mater. Today Proc.*, vol. 56, pp. 3550–3555, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.287>.
- [3] L. Shi, C. S. Wu, and X. C. Liu, "Modeling the effects of ultrasonic vibration on friction stir *welding*," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 222, pp. 91–102, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2015.03.002>.
- [4] C. Hagenlocher, P. Stritt, R. Weber, and T. Graf, "Strain signatures associated to the formation of hot cracks during laser beam *welding* of aluminum alloys," *Opt. Lasers Eng.*, vol. 100, pp. 131–140, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2017.08.007>.
- [5] M. Mazar Atabaki, M. Nikodinovski, P. Chenier, J. Ma, W. Liu, and R. Kovacevic, "Experimental and numerical investigations of *hybrid* laser arc *welding* of aluminum alloys in the thick T-joint configuration," *Opt. Laser Technol.*, vol. 59, pp. 68–92, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2013.12.008>.
- [6] J. Verma and R. V. Taiwade, "Effect of *welding* processes and conditions on the microstructure, mechanical properties and corrosion resistance of duplex stainless steel weldments—A review," *J. Manuf. Process.*, vol. 25, pp. 134–152, Jan. 2017, doi: 10.1016/J.JMAPRO.2016.11.003.
- [7] A. Aoki, S. Tashiro, H. Kurokawa, and M. Tanaka, "Development of novel MIG *welding* process with duplex current feeding," *J. Manuf. Process.*, vol. 47, pp. 74–82, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2019.09.009>.
- [8] S. Jaypuria, T. R. Mahapatra, S. Sahoo, and O. Jaypuria, "Effect of arc length trim and adaptive pulsed-MIG process parameters on bead profile of stainless steel with synergic power source," *Mater. Today Proc.*, vol. 26, pp. 787–795, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.01.027>.
- [9] X. Yang, H. Chen, Z. Zhu, C. Cai, and C. Zhang, "Effect of shielding gas flow on *welding* process of laser-arc *hybrid welding* and MIG *welding*," *J. Manuf. Process.*, vol. 38, pp. 530–542, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2019.01.045>.
- [10] J. Liu, H. Zhu, Z. Li, W. Cui, and Y. Shi, "Effect of ultrasonic power on porosity, microstructure, mechanical properties of the aluminum alloy joint by ultrasonic assisted laser-MIG *hybrid welding*," *Opt. Laser Technol.*, vol. 119, p. 105619, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2019.105619>.
- [11] C. Cai, S. He, H. Chen, and W. Zhang, "The influences of Ar-He shielding gas mixture on *welding* characteristics of fiber laser-MIG *hybrid welding* of aluminum alloy," *Opt. Laser Technol.*, vol. 113, pp. 37–45, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2018.12.011>.
- [12] E. Georgantzia, M. Gkantou, and G. S. Kamaris, "Aluminium alloys as structural material: A review of research," *Eng. Struct.*, vol. 227, p. 111372, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111372>.
- [13] J. HIRSCH, "Recent development in aluminium for automotive applications," *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, vol. 24, no. 7, pp. 1995–2002, 2014, doi: [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(14\)63305-7](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(14)63305-7).

- [14] P. Rambabu, N. Eswara Prasad, V. V Kutumbarao, and R. J. H. Wanhill, "Aluminium Alloys for Aerospace Applications BT - Aerospace Materials and Material Technologies : Volume 1: Aerospace Materials," N. E. Prasad and R. J. H. Wanhill, Eds. Singapore: Springer Singapore, 2017, pp. 29–52. doi: 10.1007/978-981-10-2134-3_2.
- [15] N. E. Udoe, A. O. Inegbenebor, and O. S. I. Fayomi, "The Study on Improvement of Aluminium Alloy for Engineering Application: A Review," *Int. J. Mech. Eng. Technol.*, vol. 10, no. 3, pp. 380–385, 2019, [Online]. Available: <http://www.iaeme.com/IJMET/index.asp380http://www.iaeme.com/ijmet/issues.asp?JType=IJMET&VType=10&ITYPE=3http://www.iaeme.com/IJMET/issues.asp?JType=IJMET&VType=10&ITYPE=3>
- [16] D. Varshney and K. Kumar, "Application and use of different aluminium alloys with respect to workability, strength and *welding* parameter optimization," *Ain Shams Eng. J.*, vol. 12, no. 1, pp. 1143–1152, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.05.013>.
- [17] R. D. Ardika, T. Triyono, N. Muhayat, and Triyono, "A review porosity in aluminum *welding*," *Procedia Struct. Integr.*, vol. 33, pp. 171–180, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2021.10.021>.
- [18] P. Li, F. Nie, H. Dong, S. Li, G. Yang, and H. Zhang, "Pulse MIG *Welding* of 6061-T6/A356-T6 Aluminum Alloy Dissimilar T-joint," *J. Mater. Eng. Perform.*, vol. 27, no. 9, pp. 4760–4769, 2018, doi: 10.1007/s11665-018-3528-y.
- [19] L. Huang *et al.*, "Effect of the *welding* direction on the microstructural characterization in fiber laser-GMAW *hybrid welding* of 5083 aluminum alloy," *J. Manuf. Process.*, vol. 31, pp. 514–522, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2017.12.010>.
- [20] S. Yan, C. Ma, and H. Chen, "Modifying microstructures and mechanical properties of laser-arc welded joints of dissimilar advanced aluminum alloys," *Mater. Charact.*, vol. 164, p. 110331, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2020.110331>.
- [21] B. Yang *et al.*, "Influence of ultrasonic peening on microstructure and surface performance of laser-arc *hybrid* welded 5A06 aluminum alloy joint," *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 9, no. 5, pp. 9576–9587, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.06.057>.
- [22] A. P. Dewanto, W. Amirudin, and H. Yudo, "Analisa Kekuatan Mekanik Sambungan Las Metode Mig(Metal Inert Gas) Dan Metode Fsw(Friction Stir *Welding*) 800 Rpm Pada Alumunium Tipe 5083," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 4, no. 3, pp. 613–621, 2016.
- [23] I. N. I. Sihombing, U. Budiarno, and A. F. Zakki, "Pengaruh Posisi Pengelasan dan Bentuk Kampuh Terhadap Kekuatan Tarik dan Mikrografi Sambungan Las Metal Inert Gas (MIG) Pada Aluminium 6061 Sebagai Bahan Material Kapal," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 7, no. 4, p. 303, 2019, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- [24] I. Iswanto, N. Noerdianto, A. Fachruddin, and M. Mulyadi, "Analisa perbandingan kekuatan hasil pengelasan TIG dan pengelasan MIG pada Aluminium 5083," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 1, pp. 87–92, 2020, doi: 10.24127/trb.v9i1.1166.
- [25] Sarjiyana, Subagiyo, and L. Agustriyana, "Kekuatan Tarik Pada Pengelasan Bimetal Plat Baja Karbon Rendah Dan Stainless Steel 304 Dengan Las Gmaw," vol. 4, no. 2, pp. 7–12, 2021.
- [26] T. Machfuroh, K. Witono, S. Riskitasari, and Etik Puspitasari 4, "INFLUENCE OF MIG *WELDING* PROCESS PARAMETERS ON THE STRENGTH OF BIMETAL JOINTS : STUDY OF GAS FLOW RATE AND," vol. 24, no. 3, pp. 141–149, 2024.
- [27] M. Z. Mubarak and T. Machfuroh, "Pengendalian Kualitas Pengelasan Baja SS400 untuk Ducting pada PT. XYZ dengan Metode SQC," *G-Tech J. Teknol. Terap.*, vol. 4, no. 8, pp. 2178–2189, 2024.