

Kaji Eksperimen Manik Las Hasil Proses Pengelasan *Tungsten Inert Gas* (TIG) menggunakan Kawat Las ER 5356 untuk Manufaktur Aditif

Agus Sentana^{1*}, Dedi Lazuardi¹, Muhammad Jodi Maulidio¹, Muhammad Reza Hermawan¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pasundan, Bandung

*Email Corresponding Author: agussentana3@unpas.ac.id

ABSTRAK

Pembuatan produk dengan bahan logam umumnya masih menggunakan proses pengecoran, dimana produk akhir masih memerlukan banyak pengerjaan. Hal ini tentunya membutuhkan tenaga yang lebih besar, biaya produksi yang mahal, dan waktu produksi yang lama. Oleh karena itu diperlukan optimalisasi proses produksi bahan logam meskipun telah banyak penelitian yang salah satunya adalah teknologi manufaktur aditif. Proses pengelasan dapat digunakan dalam pembuatan produk material logam dengan teknologi las busur standar seperti Gas Tungsten Arc Welding (GTAW), Gas Metal Arc Welding (GMAW), dan Plasma Arc Welding (PAW). Dan pembuatan produk seperti itu yang dikenal sebagai Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM). Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM) memiliki keunggulan efisiensi tinggi dan biaya produksi rendah dalam industri skala besar. Pada penelitian ini dikemukakan eksperimen pada proses pengelasan Tungsten Inert Gas (TIG) berbasis WAAM dengan menggunakan kawat las atau filler ER 5356 dan analisis geometri, bentuk, dan makrostruktur logam las atau manik las (bead) sehingga dapat mengetahui kemampuan dalam menyimpan material (kawat las) lapis demi lapis dengan teknologi aditif manufaktur. Dari penelitian ini diperoleh tinggi manik las (bead) rata-rata mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya arus (current), sedangkan lebar manik las rata-rata mengalami kenaikan seiring dengan arus (current) yang digunakan. Untuk struktur mikro manik las (bead) hasil eksperimen pada setiap layer dan arus 100A, 110A, dan 120A masih terdapat cacat porositas, ini terjadi karena sifat material feedstock nya yang rentan terhadap porositas.

Kata kunci: Filler ER5356, Pengelasan *Tungsten Inert Gas* (TIG), *Wire and Arc Additive Manufacturing* (WAAM)

ABSTRACT

Making products using metal materials generally still uses a casting process, where the final product still requires much work. This, of course, requires more power, expensive production costs, and long production time. Therefore, it is necessary to optimize the production process for metal materials, even though there has been much research, one of which is additive manufacturing technology. The welding process can be used in the manufacture of metal material products with standard arc welding technology such as Gas Tungsten Arc Welding (GTAW), Gas Metal Arc Welding (GMAW), and Plasma Arc Welding (PAW). The manufacture of such products is known as Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM). Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM) has the advantages of high efficiency and low production costs in large-scale industries. In this research, experiments are presented on the WAAM-based Tungsten Inert Gas (TIG) welding process using welding wire or filler ER 5356 and analysis of the geometry, shape, and macrostructure of the weld metal or weld bead so that we can determine the ability to store the material (welding wire).) layer by layer with additive manufacturing technology. From this research, it was found that the average weld bead height decreased with increasing current, while the average weld bead width increased with the current used. For the microstructure of the weld bead, the experimental results for each layer and current of 100A, 110A, and 120A still contain porosity defects, and this occurs because the nature of the feedstock material is susceptible to porosity.

Keywords: Filler ER 5356, *Tungsten Inert Gas* (TIG) Welding, *Wire and Arc Additive Manufacturing* (WAAM)

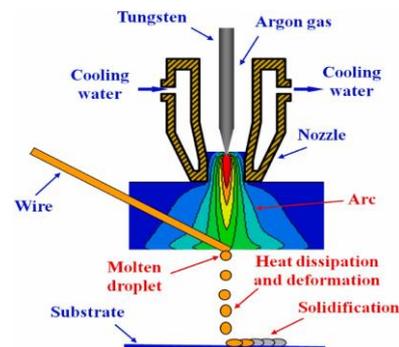
PENDAHULUAN

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi ini berdampak pada peningkatan permintaan teknologi pengelasan untuk memenuhi kebutuhan industri saat ini. Pengelasan logam merupakan salah satu proses manufaktur yang sangat penting dalam perkembangan dunia industri. Beberapa penelitian terdahulu telah mengoptimalkan proses produksi logam, salah satunya adalah teknologi manufaktur aditif. Manufaktur aditif (AM) dikenal sebagai pencetakan 3D dan dianggap sebagai inovasi signifikan dalam teknologi manufaktur di abad ke-20, yang sangat dihargai oleh banyak negara [1]. Manufaktur aditif ini mengintegrasikan banyak teknologi terdepan, seperti teknologi pemodelan digital, teknologi pemrosesan material, teknologi permesinan, dan teknik metalurgi. Proses manufaktur aditif dapat dilakukan dengan teknologi berbasis pengelasan dan memiliki potensi untuk memproduksi komponen logam 3D fungsional dengan yang efektif. Proses manufaktur aditif *wire arc and additive manufacturing* (WAAM) merupakan bagian dari manufaktur *Direct Energy Deposition* (DED) yang pada tahun 2020 mewakili 16 % manufaktur aditif yang digunakan di pasar [2]. Proses pengelasan yang dapat digunakan dalam pembuatan produk atau komponen logam dengan teknologi pengelasan busur yang umum yaitu *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW), *Gas Metal Arc Welding* (GMAW), dan *Plasma Arc Welding* (PAW). Pembuatan produk seperti itu dikenal dengan nama *Wire Arc Additive Manufacturing* (WAAM). Secara umum proses pengelasan paduan aluminium dapat dilakukan dengan menggunakan *tungsten inert gas* (TIG) atau *metal inert gas* (MIG). Sedangkan pengelasan MIG tidak direkomendasikan untuk penyambungan paduan aluminium tipis karena masukan panas yang berlebihan yang dapat menyebabkan distorsi atau lelehan, oleh karena itu, pengelasan TIG lebih dianjurkan daripada MIG. Paduan aluminium memiliki banyak kelemahan yang terkait dengan proses pengelasan TIG, seperti konduktivitas termal yang tinggi dan koefisien muai panas, adanya lapisan oksida di permukaan aluminium, penyusutan solidifikasi, dan kelarutan yang tinggi dari aluminium. hidrogen dan oksigen dalam keadaan cair. Pada saat paduan aluminium ini dilas menggunakan pengelasan TIG, mereka lebih rentan terhadap retak solidifikasi di zona fusi dan kehilangan kekuatan dan keuletan pada zona terpengaruh panas (HAZ). Seri 6000 paduan aluminium yang mengandung magnesium lebih dari 1 hingga 3% sensitif dan rentan terhadap solidification cracking jika filler metal menggunakan posisi komposit yang sama dengan

base metal. Namun, retaknya bisa dicegah dengan menggunakan filler metal sebagai cladding yang mengandung lebih dari 3,5% magnesium (mis. ER5356) [3]. Arus dan polaritas merupakan parameter yang mempengaruhi pembentukan manik las. Chen Shen dkk. menunjukkan bahwa pengendapan kawat las dipengaruhi oleh arus dan merupakan faktor dominan terhadap ukuran butir penumpukan dinding manik las [4]. Pada penelitian yang akan dilakukan kaji eksperimen bagaimana pengelasan TIG tersebut dapat digunakan untuk membuat produk aluminium dengan teknologi manufaktur aditif (AM). Selain itu akan dioptimasi parameter pengelasan dan metode pengelasan seperti heat input, temperatur, arus, dan kecepatan wire feeder dengan wire filler nya ER5356. Untuk mengetahui kualitas lasan layer by layer dilakukan pengujian sifat mekanik, makrostruktur, mikrostruktur dan pengukuran geometri manik las (*weld bead*).

METODE PENELITIAN

Pada sistem perangkat keras WAAM proses fabrikasi secara spesifik memiliki peran penting terhadap kualitas produk aditif. Sistem ini melibatkan fenomena multi fisik dan multi disiplin yang sangat kompleks, dan dibutuhkan upaya yang luar biasa untuk membuat pemahaman penuh tentang mekanisme fisik teknologi dan mewujudkan kontrol yang tepat dari proses produksi. **Error! Reference source not found.**1. menunjukkan serangkaian proses fisik pada WAAM termasuk perpindahan panas dari busur ke kawat, peleburan kawat, pembentukan tetesan, tumbukan dengan *substrate*, pemadatan, dan lainnya. Setiap proses dapat menyebabkan dampak yang cukup besar pada akurasi dimensi akhir dan kinerja produk [1].



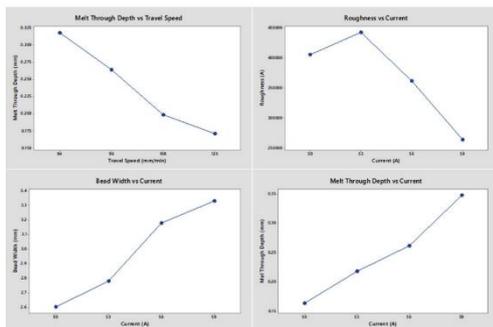
Gambar 1 Proses fisik Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM)

Parameter yang berpengaruh terhadap proses pengelasan TIG berbasis WAAM pada teknologi manufaktur aditif antara lain adalah kecepatan

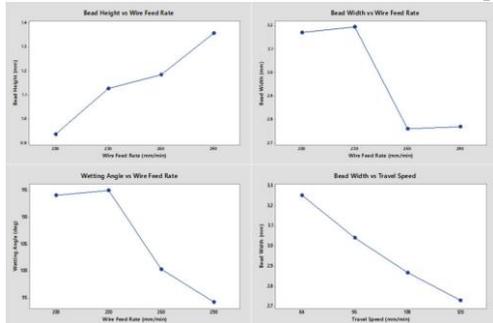
umpan *welding wire*, arus (*current*), *heat input*, dan kecepatan pengelasan (*travel speed*). Parameter konfigurasi dipengaruhi oleh kecepatan pengelasan, kecepatan *feeding* kawat, *feeding time*, dan waktu tunda [5]. Pengumpanan kawat sudut tinggi telah dibuktikan sebagai cara yang efektif untuk mendapatkan deposisi yang seragam di segala arah pengumpanan kawat [6].

Malcolm Dinovitzer *et al.*, tinggi manik meningkat secara linier seiring dengan meningkatnya laju pengumpanan kawat dan lebar manik berkurang hanya pada laju pengumpanan kedua. Karena laju pengumpanan kawat yang lebih tinggi menghasilkan manik yang lebih tinggi dan manik yang lebih sempit, rasio aspek meningkat dan *wetting angle* menurun [7].

Pada Gambar 2 menunjukkan bahwa lebar manik mengalami penurunan dengan adanya kenaikan *travel speed* (kecepatan pengelasan) sedangkan tinggi manik (*bead*) tidak bervariasi secara signifikan. Sedangkan lebar manik terbukti bertambah seiring dengan kenaikan arus dan tinggi manik (*bead*) meningkat tidak bervariasi secara signifikan seperti pada Gambar 3.



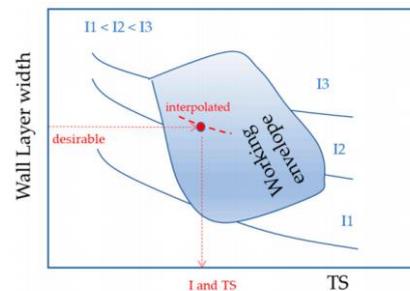
Gambar 2 Korelasi lebar manik dan travel speed



Gambar 3 Korelasi tinggi manik dan arus/current.

Pada penelitian ini dikemukakan mengenai geometri dan struktur mikro manik las bagaimana hasil eksperimen pengelasan *Tungsten Inert Gas* (TIG) dengan pengaruh penerapan parameter proses pengelasan. Produk yang dihasilkan dengan metode manufaktur aditif berbasis pengelasan

Tungsten Inert Gas (TIG) merupakan produk dengan cara mengendapkan atau mendepositkan logam las pada plat pendukung atau *base metal* dengan beberapa layer. Keberhasilan produk akan dipengaruhi beberapa parameter proses pengelasan yaitu arus (*current*), kecepatan pengelasan (*travel speed*), dan laju aliran (*flow rate*) gas Argon. Subham Dahat *et al.*, mengemukakan cara kerja ini akan menjadi sarana untuk memilih arus rata-rata (I_m) dan kecepatan perjalanan (TS) untuk lebar lapisan target (LW) tertentu, seperti yang disarankan pada Gambar 4 [8].



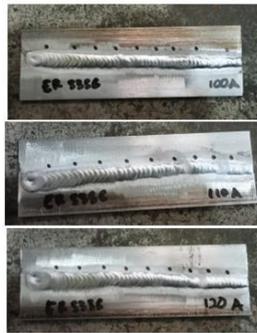
Gambar 4 Peta operasional sebagai sarana untuk memilih kumpulan parametrik (arus, I_m , dan kecepatan perjalanan, TS) untuk target lebar lapisan (LW).

Pada penelitian ini menggunakan *base metal* atau pelat pendukung yang digunakan pada penelitian ini adalah material pelat pelat Aluminium AA1100 dengan ketebalan 5 mm, panjang 150 mm, dan lebar 50 mm dengan menggunakan bahan pengisi logam ER-5356 (AlMg5Cr). Tahap awal adalah persiapan bahan & peralatan dan perlengkapan lainnya untuk proses pengelasan. Kawat las atau *filler* ER5356 dengan diameter 1,2 mm, dan elektrodanya menggunakan tipe EWCe dengan ujung berwarna abu-abu. Pemilihan dan penentuan parameter proses pengelasan terlebih dahulu antara kain arus (*current*) dan laju aliran (*flow rate*) gas Argon. Masalah yang mungkin timbul pada manik las multilayer adalah retak dan delaminasi. Hal ini tidak dapat diperbaiki dengan perlakuan pasca-pemrosesan, jadi perlakuan pra-pemrosesan, seperti pemanasan awal substrat [9].

HASIL DAN PEMAHASAN

Pada eksperimen pembentukan logam las atau manik las dengan metoda *Wire and Arc Additive Manufacturing* (WAAM) pada penelitian ini dilakukan secara manual. Pengaturan kecepatan pengelasan (*travel speed*) yang dilakukan secara manual memungkinkan geometri manik las yang terbentuk tidak seragam (*uniform*) dan konsisten.

Parameter proses pengelasan dalam penelitian ini menggunakan arus mulai dari 100A, 110A, dan 120A dengan *flow rate* gas Argon sebesar 11 lt/min. Data yang diambil dari eksperimen ini adalah geometri, struktur makro dan struktur mikro manik las. Berikut ini adalah hasil eksperimen pengelasan TIG sebagai dasar pembuatan produk manufaktur aditif seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Manik las TIG dengan filler ER 5356 arus 100A,110A, dan 120A-Layer1

Dari hasil pengelasan manik las pada lapisan kesatu (layer1) menunjukkan bahwa manik las terjadi diskontinyu pada arus 110A dan 120A dan relatif tidak seragam terutama pada arus 120A. Sedangkan manik las yang bagus dan relatif seragam terjadi pada arus 100A.

Geometri manik las (*weld bead*)

Untuk mengukur geometri manik las digunakan mikroskop Dino-Lite dan jangka sorong digital. Berikut Tabel 3 data tinggi manik las (*height bead*) hasil eksperimen nya untuk arus 100A, 110A, dan 120A pada beberapa layer.



Gambar 6 Manik las TIG dengan filler ER 5356 arus 100A,110A, dan 120A- Layer2



Gambar 7 Manik las TIG dengan filler ER 5356 arus 100A,110A, dan 120A- Layer3

Pada lapisan kedua (layer2) dan ketiga (layer3) manik las yang terbentuk kontinyu dan relatif seragam, hanya saja karena dilakukan secara manual lajur untuk arus 110A dan 120A tidak lurus. Untuk data hasil pengukuran tinggi manik las (*bead*) rata-rata ditunjukkan pada Tabel 3, dan data lebar manik las (*bead*) rata-rata pada Tabel 4.

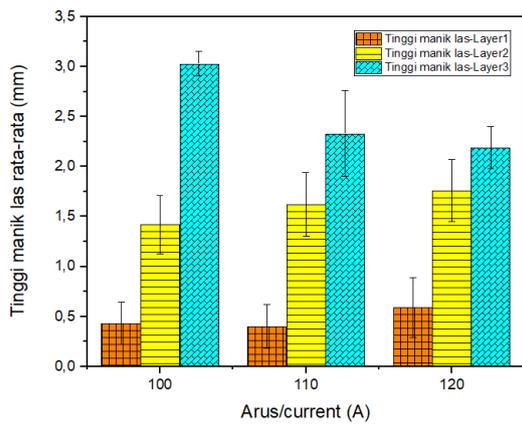
Tabel 1 Data hasil pengukuran **tinggi** manik las Filler ER 5356

Filler ER-5356 Polaritas AC			
ARUS (CURRENT)	LAYER1 (mm)	LAYER2 (mm)	LAYER3 (mm)
100A	0,43	1,42	3,03
110A	0,4	1,62	2,33
120A	0,59	1,76	2,19

Tabel 4 Data hasil pengukuran **lebar** manik las Filler ER 5356

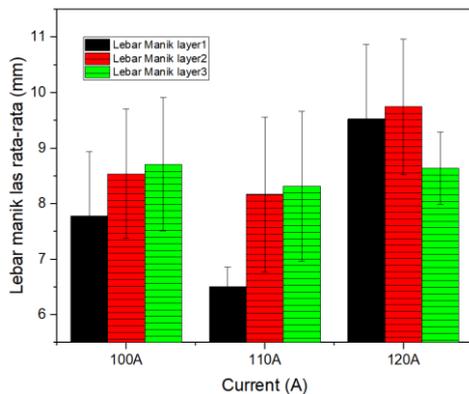
Filler ER-5356 Polaritas AC			
ARUS (CURRENT)	LAYER 1 (mm)	LAYER 2 (mm)	LAYER3 (mm)
100A	7,78	8,54	8,71
110A	6,51	8,17	8,32
120A	9,53	9,75	8,64

Tinggi manik hasil pengelasan untuk variasi arus dari 100A, 110A, dan 120A terlihat bahwa semakin besar arus yang diberikan, maka tinggi manik las yang terbentuk semakin rendah seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8 Korelasi dan perbandingan tinggi manik (*bead*) las dengan arus (*current*) untuk berbagai lapisan

Sedangkan semakin besar arus yang diterapkan, maka semakin besar pula lebar manik las yang terbentuknya seperti ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9 Korelasi dan perbandingan lebar manik (*bead*) manik (*bead*) las untuk berbagai lapisan

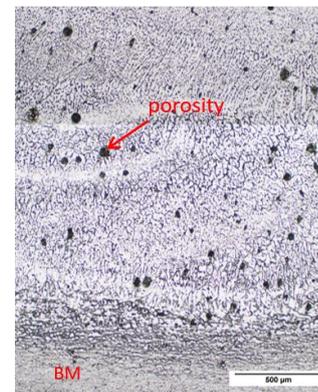
Struktur mikro manik las

Struktur mikro suatu bahan (seperti logam , polimer , keramik , atau komposit) dapat sangat mempengaruhi sifat fisik seperti kekuatan, ketangguhan, keuletan, kekerasan, ketahanan terhadap korosi, perilaku suhu tinggi/rendah, atau ketahanan aus. Dari hasil eksperimen bahwa struktur mikro manik las dapat memberikan informasi karakteristik nya. Dalam struktur mikro dari semua paduan yang diuji, banyak endapan dengan jarak yang sama dengan ukuran dari beberapa nanometer hingga beberapa mikron diamati [10]. Variasi struktur mikro yang dipadatkan ini disebabkan oleh kondisi pembekuan komponen yang berbeda. Laju pertumbuhan pemadatan lokal, R, dan gradien suhu, G, pada antarmuka padat-cair adalah parameter terpenting yang mempengaruhi pola pembekuan. Rasio

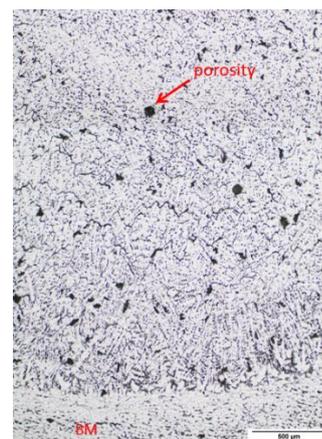
parameter G/R mempengaruhi morfologi struktur solidifikasi dan $G \times R$ laju pendinginan mempunyai kontribusi yang signifikan terhadap skala struktur mikro [11].



Gambar 10 Struktur mikro manik las (*bead*) dengan Arus 100A



Gambar 11 Struktur mikro manik las (*bead*) dengan Arus 110A



Gambar 12 Struktur mikro manik las (*bead*) dengan Arus 120A

Dari gambar struktur mikro untuk ketiga variasi arus, manik las masih terlihat adanya porositas dan

terjadi sepetinya ada presipitasi. Paduan Aluminium tidak sekuat kebanyakan paduan 2xxx dan 7xxx, namun memiliki sifat mampu bentuk, ketahanan korosi, kualitas permukaan, sifat pengelasan dan permesinan yang baik, yang memenuhi berbagai tujuan struktural. Baik untuk Al-Mg-Si maupun Al-Mg-Cr, presipitasi yang memberi kekuatan adalah bentuk jarum, batang atau bilah, sepanjang <100> Al [12].

KESIMPULAN

Dari hasil eksperimen dan pembahasan penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dari hasil pengelasan manik las pada lapisan kesatu (layer1) menunjukkan bahwa manik las yang dengan geometri yang relatif seragam dan rapih terjadi pada 100A, sedangkan pada 110A dan 120A manik las terbentuk terputus atau diskontinyu.
2. Semakin besar arus (*current*) yang digunakan maka tinggi manik las (*height bead*) semakin rendah. Dan lebar manik las (*width bead*) las akan semakin besar seiring dengan peningkatan arus (*current*).
3. Struktur mikro manik las (*bead*) hasil eksperimen pada setiap layer dan arus 100A, 110A, dan 120A masih terdapat cacat porositas. Hal ini terjadi karena sifat material *feedstock* nya rentan terhadap sifat tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Li, C. Su, and J. Zhu, "Comprehensive review of wire arc additive manufacturing: Hardware system, physical process, monitoring, property characterization, application and future prospects," *Results Eng.*, vol. 13, p. 100330, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.rineng.2021.100330.
- [2] A. Vafadar, F. Guzzomi, A. Rassau, and K. Hayward, "Advances in metal additive manufacturing: A review of common processes, industrial applications, and current challenges," *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 3, pp. 1–33, 2021, doi: 10.3390/app11031213.
- [3] A. S. Baskoro, M. A. Amat, A. I. Pratama, G. Kiswanto, and W. Winarto, "Effects of tungsten inert gas (TIG) welding parameters on macrostructure, microstructure, and mechanical properties of AA6063-T5 using the controlled intermittent wire feeding method," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 105, no. 5–6, pp. 2237–2251, 2019, doi: 10.1007/s00170-019-04400-y.
- [4] C. Shen, Z. Pan, D. Cuiuri, D. Ding, and H. Li, "Influences of deposition current and interpass temperature to the Fe3Al-based iron aluminide fabricated using wire-arc additive manufacturing process," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 88, no. 5–8, pp. 2009–2018, 2017, doi: 10.1007/s00170-016-8935-3.
- [5] M. R. U. Ahsan *et al.*, "Effects of process parameters on bead shape, microstructure, and mechanical properties in wire + arc additive manufacturing of Al0.1CoCrFeNi high-entropy alloy," *J. Manuf. Process.*, vol. 68, no. PA, pp. 1314–1327, 2021, doi: 10.1016/j.jmapro.2021.06.047.
- [6] Q. Wu *et al.*, "Obtaining uniform deposition with variable wire feeding direction during wire-feed additive manufacturing," *Mater. Manuf. Process.*, vol. 32, no. 16, pp. 1881–1886, 2017, doi: 10.1080/10426914.2017.1364860.
- [7] M. Dinovitzer, X. Chen, J. Laliberte, X. Huang, and H. Frei, "Effect of wire and arc additive manufacturing (WAAM) process parameters on bead geometry and microstructure," *Addit. Manuf.*, vol. 26, pp. 138–146, 2019, doi: 10.1016/j.addma.2018.12.013.
- [8] S. Dahat, K. Hurtig, J. Andersson, and A. Scotti, "A methodology to parameterize wire + arc additive manufacturing: A case study for wall quality analysis," *J. Manuf. Mater. Process.*, vol. 4, no. 1, 2020, doi: 10.3390/jmmp4010014.
- [9] B. Wu *et al.*, "A review of the wire arc additive manufacturing of metals: properties, defects and quality improvement," *J. Manuf. Process.*, vol. 35, no. February, pp. 127–139, 2018, doi: 10.1016/j.jmapro.2018.08.001.
- [10] B. Leszczyńska-Madej, M. Richert, A. Wąsik, and A. Szafron, "Analysis of the microstructure and selected properties of the aluminium alloys used in automotive air-conditioning systems," *Metals (Basel)*, vol. 8, no. 1, 2018, doi: 10.3390/met8010010.
- [11] A. Sarmast and S. Serajzadeh, "The influence of welding polarity on mechanical properties, microstructure and residual stresses of gas tungsten arc welded AA5052," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 105, no. 7–8, pp. 3397–3409, 2019, doi: 10.1007/s00170-019-04580-7.
- [12] S. J. Andersen, C. D. Marioara, J. Friis, S. Wenner, and R. Holmestad, "Precipitates in aluminium alloys," *Adv. Phys. X*, vol. 3, no. 1, pp. 790–814, 2018, doi: 10.1080/23746149.2018.1479984.