

**Analisis Geometri dan Metalografi Logam Deposit Hasil Proses WAAM  
(Wire Arc Additive Manufacturing) menggunakan GTAW (Gas Tungsten  
Arc Welding) dengan Kawat Las ER5356**

*Geometry and Metallographic Analysis of Deposit Metal from WAAM (Wire Arc Additive  
Manufacturing) Process using GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) with ER5356 Welding  
Wire*

**SKRIPSI**

**Oleh:**

**Nama: Muhammad Jodi Maulidio**

**NPM: 173030123**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS PASUNDAN  
BANDUNG  
2024**

# SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

N a m a : Muhammad Jodi Maulidio

Nomor Pokok Mahasiswa: 173030123

Program Studi : Teknik Mesin FT UNPAS

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Dalam Skripsi yang saya kerjakan ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan/ditulis oleh orang lain untuk memperoleh gelar dari suatu perguruan tinggi,
2. Sepanjang pengetahuan saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis dan diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu/dikutip/disitasi dalam naskah ini dan disebutkan dalam referensi,
3. Naskah laporan skripsi yang ditulis bukan dilakukan secara *copy paste* dari karya orang lain dan mengganti beberapa kata yang tidak perlu.
4. Naskah laporan skripsi bukan hasil plagiarism.

Apabila dikemudian hari terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar maka saya sanggup menerima hukuman/sanksi apapun sesuai peraturan yang berlaku.

Bandung, 14 Maret 2023

Penulis,

Materai 10.000

Muhammad Jodi Maulido

# SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini, sebagai sivitas akademik Universitas Pasundan, saya:

N a m a : Muhammad Jodi Maulidio

NPM : 173030123

Program Studi : Teknik Mesin FT UNPAS

Jenis Karya : Skripsi

Menyatakan bahwa sebagai pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, saya menyetujui memberikan kepada Universitas Pasundan Hak Bebas Royalti Noneksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**“Analisis Geometri dan Metalografi Logam Deposit Hasil Proses WAAM (*Wire Arc Additive Manufacturing*) menggunakan GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) dengan Kawat Las ER5356”**

Beserta perangkat yang ada (jika ada). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Pasundan berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pakalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta,

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Bandung, 14 Maret 2024

Yang menyatakan,

Materai 10.000

Muhammad Jodi Maulidio

# LEMBAR PENGESAHAN

## **Analisis Geometri dan Metalografi Logam Deposit Hasil Proses WAAM (*Wire Arc Additive Manufacturing*) menggunakan GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) dengan Kawat Las ER5356**

*Geometry and Metallographic Analysis of Deposit Metal from WAAM (Wire Arc Additive Manufacturing) Process using GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) with ER5356 Welding Wire*



**Nama :Muhammad Jodi Maulidio**  
**NPM :173030123**



Pembimbing Utama

Dr. Ir. Dedi Lazuardi, DEA.

Pembimbing Pendamping

Ir. Agus Sentana, M.T.

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis geometri dan metalografi logam deposit hasil proses WAAM dengan metode *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) pada material AA6061, dengan menggunakan kawat las ER5356. Material AA6061 sering digunakan dalam industri makanan, kimia, dan farmasi karena sifat ketahanan korosinya yang baik. Pengelasan GTAW adalah salah satu metode yang umum digunakan untuk menggabungkan material logam dengan tingkat presisi yang tinggi. Pengelasan dilakukan dengan parameter yang sesuai, termasuk arus pengelasan, kecepatan pengelasan, dan penggunaan kawat las ER5356 yang merupakan kawat las yang sering digunakan untuk mengelas material *non-ferrous* seperti aluminium. Setelah pengelasan selesai, hasil pengelasan diamati dan dianalisis dengan menggunakan berbagai metode uji. Metode uji yang digunakan meliputi uji geometri untuk mengetahui bentuk hasil pengelasan dan uji metalografi untuk melihat struktur mikro material yang terpengaruh oleh proses pengelasan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan kawat las ER5356 dalam pengelasan GTAW material AA6061 menghasilkan pengelasan yang bagus. Banyak ditemukan porositas pada pengujian mikro yang disebabkan oleh ketidak konsistenan kecepatan pengelasan dan jarak antara sumbu las dan base metal saat pengelasan berlangsung dikarenakan proses pengelasan manual yang tidak memungkinkan terjadinya porositas dari hasil pengelasan. Dari kesimpulan yang dihasilkan dari penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa proses WAAM dengan menggunakan kawat las ER5356 pada AA6061 menunjukkan bahwa arus tidak terlalu memengaruhi tinggi deposit, lebar deposit, dan kedalaman penetrasi, namun *heat input* sangat memengaruhi, di mana arus 120A lebih baik dibandingkan dengan arus 100A dan 110A, meskipun kedua arus tersebut lebih rendah.

Kata kunci: Metode WAAM, Kawat las ER5356, pengujian Metalografi dan Geometri

## **ABSTRACT**

*This study aims to characterize the metal deposit resulting from the WAAM process with the Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) method on AA6061 material with the use of ER5356 welding wire. AA6061 material is often used in the food, chemical, and pharmaceutical industries due to its good corrosion resistance properties. GTAW welding is one of the commonly used methods for joining metallic materials with a high degree of precision. Welding is performed with appropriate parameters, including welding current, welding speed, and the use of welding wire ER5356, which is a welding wire often used to weld non-ferrous materials such as aluminum. After the welding is completed, the welding results are observed and characterized using various test methods. The test methods used include geometry tests to determine the shape of the welding results and metallographic tests to see the microstructure of the material affected by the welding process. The results show that the use of ER5356 welding wire in GTAW welding of AA6061 material produces good welding. Many porosities were found in micro testing due to inconsistent welding speed and the distance between the weld axis and base metal during welding due to the manual welding process which did not allow porosity from the welding results. In the conclusion obtained from the results of the research that the author has done, it can be concluded that the results of the WAAM process with welding wire ER5356 above AA6061, namely the current does not really affect the height of the deposit, the width of the deposit and the depth of penetration, but the heat input is very influential in seeing that the current of 120 amperes is better than the currents of 100 and 110 amperes, although both are smaller in current.*

**Keywords:** WAAM method, ER5356 welding wire, Metallographic and Geometric testing

# DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN .....	i
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	ii
Lembar Pengesahan .....	iii
Kata Pengantar.....	iv
Daftar Isi .....	v
Daftar Gambar .....	vii
Daftar Tabel.....	ix
ABSTRAK .....	x
<i>ABSTRACT</i> .....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1. Latar Belakang.....	1
2. Rumusan Masalah.....	2
3. Tujuan.....	2
4. Batasan Masalah .....	2
5. Sistematika Penulisan .....	2
BAB II STUDI LITERATUR.....	4
1. Penelitian yang dilakukan.....	4
2. Pengelasan GTAW ( <i>Gas Tungsten Arc Welding</i> ).....	4
3. <i>Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM)</i> .....	12
4. Material AA6061 .....	15
5. Kawat las ER5356.....	15
BAB III METODE PENELITIAN.....	17
1. Diagram Alir .....	17
2. Proses WAAM.....	18
3. Pengukuran Geometri .....	20
4. Data Pengukuran Rata-Rata Tinggi dan Lebar Manik Las .....	21
5. Perhitungan <i>Heat Input (HI)</i> .....	24
6. Pembuatan Spesimen Metalografi .....	26
7. Pengujian Metalografi.....	26
8. Tempat Penelitian .....	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	32
1. Hasil Spesimen Pengelasan.....	32
2. Hasil Rata-Rata Pengukuran Geometri .....	34

3. Pengukuran Rata-Rata Geometri dengan <i>Heat Input</i> .....	34
5. Pengamatan Struktur Makro.....	38
6. Pengamatan Struktur Mikro .....	39
7. Analisis Ke seluruhan Pengukuran Geometri dan Metalografi.....	40
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	42
1. Kesimpulan .....	42
2. Saran .....	42
DAFTAR PUSTAKA .....	43
LAMPIRAN .....	45





# BAB I PENDAHULUAN

## 1. Latar Belakang

WAAM, singkatan dari "*Wire Arc Additive Manufacturing*," adalah metode pengelasan berbasis *additive manufacturing* (AM) yang digunakan untuk memproduksi produk dengan menumpuk lapisan-lapisan bahan logam menggunakan proses pengelasan busur listrik [1]. Proses pengelasan yang umum digunakan untuk melakukan produksi produk dengan teknik ini termasuk *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW), *Gas Metal Arc Welding* (GMAW), dan *Plasma Arc Welding* (PAW)[2]. Namun, pengelasan GMAW tidak disarankan untuk menyambung paduan aluminium tipis karena masukan panas yang berlebihan dapat menyebabkan distorsi atau lelehan yang tidak diinginkan.

WAAM memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan bentuk AM logam lainnya. Misalnya, kawat logam yang digunakan dalam WAAM lebih murah, lebih mudah didapatkan, dan lebih aman untuk ditangani. Selain itu, proses WAAM tidak menghasilkan limbah berupa geram atau serbuk logam seperti pada proses AM lainnya[3].

Dalam metode WAAM, kawat logam (biasanya berdiameter 1-2 mm) digunakan sebagai bahan input. Kawat ini diletakkan secara terus-menerus menggunakan robot atau *Computer Numeric Control* (CNC) yang bergerak sesuai dengan jalur yang telah ditentukan. Kawat ini kemudian dileburkan menggunakan busur listrik yang dihasilkan antara ujung kawat dan permukaan bahan kerja atau substrat.

*Wire Arc Additive Manufacturing* (WAAM) memiliki beberapa tantangan dan permasalahan yang sering terjadi. Beberapa permasalahan umum dalam metode WAAM meliputi: Porositas, retak, deformasi, parameter kontrol yang rumit, kualitas permukaan, kontrol dimensi, pengaturan kecepatan cetak, dan kecepatan produksi. Terlebih lagi, aluminium rentan terhadap terjadinya porositas.[4].

Dari penelitian sebelumnya yang menyebutkan masalah porositas pada proses WAAM pada paduan aluminium, seperti yang dilakukan oleh Rui Fu, Shuiyuan Tang, dkk dalam artikel berjudul "*Hot-wire arc additive manufacturing of aluminum alloy with reduced porosity and high deposition rate.*" Mereka meneliti hubungan antara busur kawat panas dan porositas, dan melaporkan bahwa porositas menurun dengan meningkatnya arus. Selain itu, peningkatan arus secara signifikan juga meningkatkan sifat mekanik.

Masalah umum lainnya adalah oksidasi. Oksidasi dapat memengaruhi cacat seperti pori-pori dan retakan yang disebabkan oleh proses peleburan. Oleh karena itu, banyak penelitian yang dilakukan untuk memecahkan masalah seperti porositas yang disebabkan oleh oksidasi.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Rui Fu, Shuiyuan Tang, dan rekan-rekan mereka di atas, ditemukan bahwa porositas menurun dengan meningkatnya arus, yang secara signifikan meningkatkan sifat mekanik. Meskipun demikian, optimalisasi parameter dalam proses WAAM tetap diperlukan untuk memastikan hasil yang optimal. Parameter-parameter seperti arus pengelasan, kecepatan pengelasan, jarak antara busur dan bahan kerja, serta penggunaan gas pelindung merupakan faktor-faktor yang dapat diatur untuk mengoptimalkan

proses WAAM. Selain itu, pengontrolan suhu dan lingkungan pengelasan juga dapat memengaruhi kualitas hasil akhir. Dengan melakukan optimalisasi parameter-parameter ini, diharapkan dapat mengurangi atau bahkan menghilangkan masalah porositas dan meningkatkan kualitas keseluruhan dari proses WAAM.

## **2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan permasalahan yang terdapat di latar belakang, maka rumusan masalah yang menjadi pokok bahasan pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh kuat arus dan jenis logam pengisi pengelasan TIG, serta proses WAAM terhadap geometri dan metalografi paduan Aluminium 6061.

## **3. Tujuan**

Berdasarkan rumusan masalah di atas maka tujuan dari penelitian ini adalah melakukan pengelasan dan mengamati pengaruh kuat arus dan jenis logam pengisi pengelasan TIG, serta proses WAAM terhadap deposit las paduan Aluminium 6061.

## **4. Batasan Masalah**

Pada penelitian ini sebetulnya banyak menggunakan variasi arus tetapi karena waktu dan biaya terbatas, maka variasi arus dibatasi 3 variasi arus yaitu 100A, 110A dan 120A akan dilakukan pengujian struktur makro, struktur mikro dan pengukuran geometri.

## **5. Sistematika Penulisan**

Penyusunan penulisan laporan usulan penelitian diuraikan berdasarkan beberapa bab, dan disajikan dalam bentuk susunan.

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisikan tentang latar belakang masalah, identifikasi masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, lingkup penelitian dan sistematika penulisan.

### **BAB II STUDI LITERATUR**

Bab ini berisikan tentang ringkasan penelitian yang telah dilakukan oleh orang lain dan teori-teori yang menjadikan dasar permasalahan yang akan dibahas sebagai referensi.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini berisikan tentang langkah-langkah yang dilakukan untuk menyelesaikan penelitian.

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab menjelaskan mengenai hasil pengukuran, pengamatan dan pembahasan. Pengukuran yang dilakukan yaitu pengukuran geometri, pengamatan yang dilakukan adalah pengamatan metalografi, dan analisis data dari pengukuran dan pengamatan.

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini akan membahas mengenai kesimpulan dan saran yang terkait dengan skripsi. Berikut adalah penjelasan singkat mengenai isi dari bab ini adalah. Kesimpulan bagian ini menyajikan ringkasan yang diperoleh dari hasil skripsi serta pembahasan yang telah dilakukan.

## **DAFTAR PUSTAKA**

Berisikan buku acuan atau jurnal yang digunakan guna menunjang laporan skripsi ini, khususnya mengenai proses pengelasan WAAM dengan metode GTAW menggunakan kawat las ER5356 di atas AA6061.

## **LAMPIRAN**



## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 1. Kesimpulan

- a) Dari proses WAAM dengan menggunakan kawat las ER5356 pada AA6061 menunjukkan bahwa arus tidak terlalu memengaruhi tinggi deposit, lebar deposit, dan kedalaman penetrasi, namun heat input sangat memengaruhi, di mana arus 120A lebih baik dibandingkan dengan arus 100A dan 110A, meskipun kedua arus tersebut lebih rendah.
- b) Semakin besar arus (*current*) yang digunakan, maka tinggi manik las (*height bead*) akan semakin tinggi. Dan lebar manik las (*width bead*) akan semakin besar seiring dengan peningkatan arus (*current*).
- c) Pengaruh arus (*current*) pengelasan untuk kawat las pada proses pengelasan GTAW yang berbasis WAAM untuk kawat las ER5356 berpengaruh terhadap struktur mikro yang dihasilkan, namun masih ada cacat porositas. Porositas tersebut terjadi disemua arus pengelasan, mulai dari 100A, 110A, dan 120A.

### 2. Saran

Untuk proses pengelasan GTAW yang berbasis WAAM, sebaiknya dilakukan perancangan percobaan untuk penentuan parameter proses pengelasan sesuai dengan material kawat las agar dapat meminimalisir cacat pada hasil pengelasan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. M. Mandiri, "Metode Pengujian Brinnell & Vickers - Novotest Indonesia," *Novotest Indonesia*, 2012. <https://novotest.id/metode-pengujian-brinnell-vickers/> (accessed Oct. 19, 2022).
- [2] H. Wiryosumarto and T. Okumura, *Teknologi Pengelasan Logam*, 8th ed. Jakarta: PT Pradnya Paramita, 1979.
- [3] Azwinur, Marzuki, Usman, J. Syarif, and Zuhaimi, "Pengaruh Arus Terhadap Sifat Mekanik Aluminium Pada Pengelasan GTAW," *Pros. Semin. Nas. Politek. Negeri Lhokseumawe*, vol. 4, no. 1, pp. 185–190, 2020.
- [4] Y. Sari, "Analisis Produk Hasil Kombinasi Proses Pengelasan Dan Perlakuan Panas Aluminium 6061," *J. Konversi Energi dan Manufaktur*, vol. 2, no. 2, pp. 100–104, 2015, doi: 10.21009/jkem.2.2.7.
- [5] A. Rahmatika, S. Ibrahim, M. Hersaputri, and E. Aprilia, "Studi Pengaruh Variasi Kuat Arus Terhadap Sifat Mekanik Hasil Pengelasan GTAW Aluminium 1050 Dengan Filler ER 4043," *J. Polimesin*, vol. 17, no. 1, pp. 477–54, 2019.
- [6] P. Putra, S. Jokosisworo, and Kiryanto, "Pengaruh Arus Listrik dan Temperatur Terhadap Kekuatan Tarik dan Impact Alumunium 5083 Pengelasan GMAW (Gas Metal Arc Welding)," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 4, no. 1, pp. 152–161, 2016.
- [7] J. Sidik, M. Sholihin, and R. Arthur, "Pengaruh Variasi Temperatur Perlakuan Panas Aging Terhadap Sifat Mekanik Aluminium AA 6061," *Maj. Ilm. Tek. Mesin*, pp. 1–8, 2019.
- [8] I. Muku, "Kekuatan Sambungan Las Aluminium Seri 1100 dengan Variasi Kuat Arus Listrik pada Proses Las Metal Inert Gas (MIG) Welding Connection Strenght of Aluminium 1100 with Current Variations at Metal Inert Gas (MIG) Welding Process," *J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 3, no. 1, pp. 11–17, 2009.
- [9] I. Taufani, M. S. Permana, and Syahbardia, "Proses Perbaikan Komponen yang Terbuat dari Paduan Aluminium Al-Si Dengan Metoda Continous Flow Casting Cetakan Terbuka," *Universitas Pasundan Bandung*, 2019.
- [10] M. Dewi, A. Alhamidi, and M. Fitrullah, "Studi Mikrostruktur dan Sifat Mekanik Aluminium 6061 melalui proses canai dingin dan aging," *Jur. Tek. Metal.*, 2016.
- [11] T. Budi Santoso, Solichin, dan P. T. Hutomo, "Pengaruh kuat arus listrik pengelasan terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro las SMAW dengan elektroda E7016," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 15, no. 1, hal. 20, 2020.

- [12] N. Naharuddin, A. Sam, dan C. Nugraha, "Kekuatan Tarik Dan Bending Sambungan Las Pada Material Baja Sm 490 Dengan Metode Pengelasan Smaw Dan Saw," *J. Mek.*, vol. 6, no. 1, hal.550–555, 2017.
- [13] K. Derekar, "A review of wire arc additive manufacturing and advances in wire arc additive manufacturing of aluminium," *Mater. Sci. Technol. (United Kingdom)*, vol. 34, no. 8, hal. 895–916, 2018.
- [14] A. Sentana, Agus, D. Lazuardi, M. Jodi Maulidio, dan M. R. Hermawan, "Kaji Eksperimen Manik Las Hasil Proses Pengelasan Tungsten Inert Gas (TIG) menggunakan Kawat Las ER 5356 untuk Manufaktur Aditif," *Teknobiz J. Ilm. Progr. Stud. Magister Tek. Mesin*, vol. 13, no.3, hal. 195–200, 2023.
- [15] A. Setiawan and Y. A. Y. Wardana, "Analisa Ketangguhan dan Struktur Mikro pada Daerah Las dan HAZ Hasil Pengelasan Sumerged Arc Welding pada Baja SM 490," *J. Tek. Mesin*, vol. 8, no. 2, hal. 57-63, 2006.
- [16] A. Horgar, H. Fostervoll, B. Nyhus, X. Ren, M. Eriksson, and O. M. Akselsen, "Additive manufacturing using WAAM with AA5183 wire," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 259, no. November 2017, hal. 68–74, 2018.
- [17] S. A. Aldiansyah, "Pengaruh Kuat Arus, Logam Pengisi, dan Artificial Aging terhadap Sifat Mekanik Hasil Pengelasan TIG Paduan Aluminium 6061," Skripsi, 2022.
- [18] K. Oyama, S. Diplas, M. hamdi, A. Gunnaes, and A. Azar, "Heat source management in wire-arc additive manufacturing process for Al-Mg and Al-Si alloys," *Addit. Manuf.*, vol. 26, no. December 2018, hal. 180–192, 2019.
- [19] Q. Zhang *et al.*, "Microstructure and Properties of an Al 6061/Galvanized Plate Fabricated by CMT Welding," *J. Wuhan Univ. Technol. Mater. Sci. Ed.*, vol. 35, no. 5, hal. 937–945, 2020.
- [20] E. Karayel, Y. Bozkurt, C. Ozdemir, and M. Kalender, "Wire Arc Additive Manufacturing Of 5356 Aluminum Alloy," *Res. Sq.*, hal. 1–16, 2022.
- [21] X. Chen *et al.*, "Cold Metal Transfer (CMT) Based Wire Arc Additive Manufacture (WAAM) System," *J. Surf. Investig.*, vol. 12, no. 6, hal. 1278–1284, 2018.
- [22] I. Saefuloh, A. Pramono, W. Jamaludin, and I. Rosyadi, "Studi Karakterisasi Sifat Mekanik Dan struktur Mikro Material Piston Alumunium-Silikon Alloy," *Fly wheel. J. Tek. mesin Untirta*, vol. IV, no. 2, hal. 56–62, 2018.
- [23] A. Jukliv and P. Yoedhawan, "Analisis Kekerasan, Cacat Las, Dan Struktur Mikro Pada Sambungan T Paduan Aluminium 6061 T6511 Hasil Gas Metal Arc Welding (GMAW) Dengan Variasi Kuat Arus," *Rotor*, vol. 7, no. November, hal. 1–8, 2014.

- [24] M. Arana, E. Ukar, I. Rodriguez, A. Iturrioz, and P. Alvarez, "Strategies to reduce porosity in Al-Mg WAAM parts and their impact on mechanical properties," *Metals (Basel)*, vol. 11, no. 3, 2021.
- [25] K. Steve. Derekar, "A review of wire arc additive manufacturing and advances in wire arc additive manufacturing of aluminium," *Mater. Sci. Technol. (United Kingdom)*, vol. 34, no. 8, hal. 895–916, 2018.
- [26] H. Wiryosumarto and T. Okumura, *Teknologi Pengelasan Logam*, 8th ed. Jakarta:PT Pradnya Paramita, 1979.
- [27] E. Eimer, S. Williams, J. Ding, S. Ganguly, and B. Chehab, "Mechanical performances of the interface between the substrate and deposited material in aluminium wire Direct Energy Deposition," *Mater. Des.*, vol. 225, 2023.
- [28] B. Susetyo and S. Hutomo, "Studi Karakteristik Hasil Pengelasan MIG Pada Material Aluminium 5083," *Mechanical*, vol. 4, 2013.
- [29] E. Budiyanto, "Pengaruh Diameter Filler Dan Arus Pada Pengelasan," *Tek. Mesin Univ. Muhammadiyah Metro*, vol. 6, no. 1, 2017.
- [30] A. Achmadi, "Studi Eksperimen Pengaruh Kuat Arus Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan Hasil Lasan Logam Pipa Aluminium Seri 5000 (Almg5)," *Teach. Educ.*, vol. 12, no. 1, pp. 1–17, 2015.
- [31] D. Riyanindito, A. Sentana, and T. Supriyono, "Pembuatan Alat Bantu Pemindah Tabung LPG 12 Kg," Universitas Pasundan Bandung, 2019.