

PENGARUH VARIASI PENGELASAN SMAW TERHADAP KARAKTERISTIK MEKANIK PADA BAJA GALVANIS

1,2,3) Program Studi Teknik
Mesin, Universitas Tidar

Tegar Samodro^{1*)}, Xander Salahudin²⁾, Raka Mahendra Sulistyo³⁾

Corresponding email ¹⁾ :
tegarsamodro48@gmail.com

Received: 14.10.2024
Accepted: 30.11.2024
Published: 28.12.2024

©2024 Politala Press
All Rights Reserved

Abstrak. Pertumbuhan industri khususnya besi dan baja berkembang pesat saat ini. Dalam industri ini, pengelasan menjadi aspek penting yang perlu diperhatikan untuk mencapai hasil yang memenuhi standar. Proses pengelasan SMAW sering digunakan untuk meningkatkan kualitas sambungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi pengaruh kombinasi kuat arus dan diameter elektroda terhadap kekerasan dan kekuatan tarik pada baja galvanis yang di las dengan elektroda E6013. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi kuat arus 80 A dan diameter elektroda 2,6 mm menghasilkan nilai kekerasan tertinggi 221,5 VHN dan kekuatan tarik terbesar 358,16 MPa, dengan dominasi ferit dalam struktur mikro.

Kata kunci: Baja Galvanis, SMAW, Kekerasan, kekuatan tarik

Abstract. Industrial growth, especially iron and steel, is growing rapidly today. In this industry, welding is an important aspect that needs to be considered to achieve results that meet standards. The SMAW welding process is often used to improve joint quality. This study aims to explore the effect of the combination of current strength and electrode diameter on the hardness and tensile strength of galvanized steel welded with an E6013 electrode. The results showed that the combination of current strength of 80 A and electrode diameter of 2.6 mm produced the highest hardness value of 221.5 VHN and the largest tensile strength of 358.16 MPa, with ferrite dominance in the microstructure.

Keywords: Galvanised Steel, SMAW, Hardness, tensile strength

To cite this article: <https://doi.org/10.34128/je.v11i2.296>

1. Pendahuluan

Industri manufaktur saat ini mengalami perkembangan yang sangat pesat, termasuk dalam pembuatan produk yang memerlukan kualitas tinggi dan efisiensi, seperti kursi roda. Produk kursi roda membutuhkan standar tertentu, termasuk kekuatan struktur yang baik dan ketahanan terhadap korosi. Untuk memenuhi standar ini, diperlukan riset lebih lanjut mengenai proses manufaktur dan material yang tepat. Industri besi dan baja sebagai industri hulu memiliki peran penting dalam mendukung manufaktur, termasuk dalam penyediaan material utama seperti baja, yang merupakan fondasi utama dari banyak sektor industri di Indonesia[1]. Baja galvanis, salah satu jenis baja yang populer, digunakan karena lapisan pelindung sengnya yang efektif dalam mencegah karat, sehingga meningkatkan masa pakai produk yang dihasilkan [2].

Dalam proses manufaktur modern, pengelasan menjadi salah satu metode yang sangat penting. Pengelasan memungkinkan penyambungan material dengan cara yang efisien dan efektif, serta berperan penting dalam rekayasa dan pembuatan mesin. Salah satu metode pengelasan yang umum digunakan adalah *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)*, yang menawarkan fleksibilitas dan kemudahan dalam proses pelaksanaannya[3]. Teknik ini memungkinkan penyambungan material seperti baja dengan hasil yang kuat dan tahan lama. Baja galvanis yang digunakan dalam pengelasan sering dipilih karena memiliki lapisan pelindung seng yang dapat memperpanjang umur baja dengan melindunginya dari korosi[4].

Pengujian material menjadi bagian krusial dalam memastikan kualitas produk yang dihasilkan. Pengujian seperti uji tarik dan pengujian struktur mikro memberikan informasi yang penting terkait kekuatan dan sifat mekanik material[5]. Dalam konteks pengelasan baja galvanis, penggunaan variasi elektroda dan kuat arus dalam metode pengelasan SMAW sangat berpengaruh terhadap karakteristik hasil pengelasan, seperti kekuatan tarik,

kekerasan, dan ketahanan korosi[6]. Namun, studi mengenai bagaimana variasi elektroda dan kuat arus memengaruhi sifat mekanik dan mikrostruktur baja galvanis masih terbatas, terutama dalam konteks pengelasan untuk aplikasi manufaktur kursi roda.

Meskipun penelitian terdahulu telah membahas keunggulan pengelasan SMAW dan penggunaan baja galvanis dalam berbagai aplikasi, masih terdapat kesenjangan pengetahuan dalam memahami secara mendalam bagaimana variasi parameter pengelasan, seperti diameter elektroda dan kuat arus, memengaruhi sifat mekanik dan mikrostruktur baja galvanis. Banyak penelitian yang lebih fokus pada aspek umum dari pengelasan baja, tetapi belum banyak yang meneliti secara spesifik pengaruh parameter pengelasan terhadap kualitas hasil las pada baja galvanis yang digunakan dalam industri manufaktur kursi roda. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menjembatani kesenjangan tersebut dengan mengkaji pengaruh variasi elektroda dan arus pengelasan pada baja galvanis, guna menghasilkan produk yang memenuhi standar kekuatan dan ketahanan korosi.

2. Tinjauan Pustaka

Pengelasan adalah proses penyambungan logam yang melibatkan pencairan sebagian logam induk dan logam pengisi, baik dengan tekanan maupun tanpa tekanan. Menurut standar *DIN (Deutsche Industrie Norm)*, pengelasan merupakan ikatan metalurgi yang terjadi ketika logam atau paduan logam berada dalam keadaan cair. Secara umum, pengelasan menggunakan panas hingga mencapai titik rekristalisasi untuk menyatukan logam, yang dapat dilakukan dengan atau tanpa bahan tambahan, guna menghasilkan ikatan permanen[7].

Proses pengelasan juga melibatkan penggunaan energi panas untuk menyambungkan dua atau lebih bagian logam, yang menyebabkan siklus termal cepat di sekitar area las. Siklus ini mengakibatkan perubahan metalurgi, deformasi, dan tekanan pada logam. Akibatnya, dapat timbul cacat las, retakan, serta masalah lain yang dapat memengaruhi ketangguhan dan keamanan struktur yang di las[8].

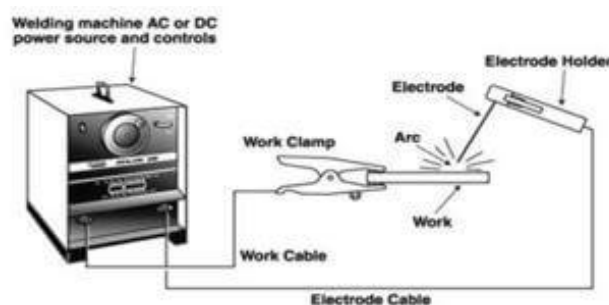
Baja Galvanis

Baja galvanis merupakan material yang populer karena memiliki ketahanan korosi yang baik, bobot yang ringan, serta mudah dibentuk dan di las. Selain itu, baja ini memiliki biaya produksi yang relatif rendah[9]. Baja galvanis adalah baja paduan yang dilapisi dengan seng melalui proses galvanisasi untuk melindunginya dari karat[10].

Las Shielded Metal Arc Welding

Las *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)* adalah metode pengelasan yang menggunakan listrik untuk mengaktifkan elektroda, di mana busur listrik menciptakan panas untuk melelehkan logam induk dan elektroda. Teknik ini praktis dan efisien karena hanya memerlukan peralatan sederhana, sehingga cocok untuk digunakan dalam industri rumah tangga, seperti pembuatan pagar, serta di lingkungan industri. Umumnya, las SMAW digunakan untuk menyambung logam dan pemeliharaan mesin[11].

Dalam proses pengelasan, elektroda berlapis pelindung flux ikut meleleh bersama logam induk dan membeku, membentuk sambungan las yang kuat[7]. SMAW sering dipilih karena kemudahannya dalam pengoperasian, portabilitas, dan biaya peralatan yang rendah.



Gambar 1. Skema Pengelasan

Elektroda

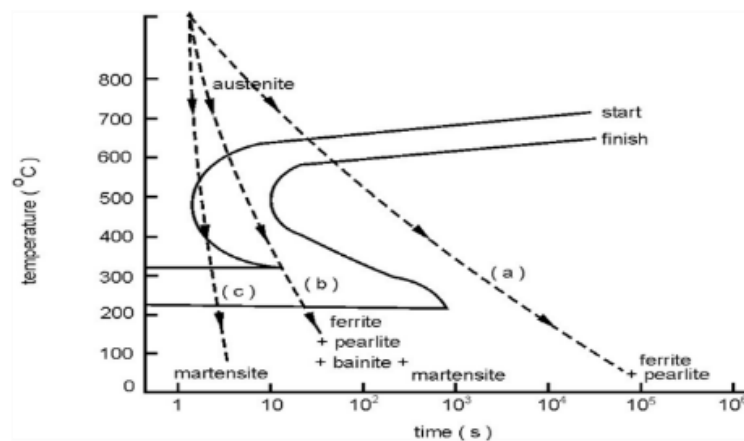
Pemilihan elektroda pengelasan yang tepat sangat penting untuk memastikan hasil las yang berkualitas, karena setiap jenis elektroda memiliki perbedaan dalam tegangan, regangan, dan modulus elastisitas [12]. Elektroda las SMAW umumnya dilapisi dengan flux, yang berfungsi membentuk gas pelindung untuk melindungi logam cair dari kontaminasi udara serta menghasilkan terak yang melindungi logam cair selama pengelasan. Lapisan flux terbuat dari campuran bahan kimia sesuai dengan kebutuhan pengelasan. Menurut *American Welding Society (AWS)*, elektroda dikodekan dengan huruf "E" dan diikuti empat atau lima digit, seperti E 6010, E 6013, dan E 7018[13].

Kuat Arus

Kuat arus pengelasan, yaitu aliran listrik yang dihasilkan oleh mesin las, dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti diameter elektroda, ketebalan benda kerja, jenis elektroda, geometri sambungan, dan posisi pengelasan. Pengaturan arus yang tepat sangat penting untuk menghasilkan las yang baik. Arus yang terlalu rendah dapat menyebabkan busur listrik sulit dinyalakan, tidak stabil, dan tidak cukup panas untuk melelehkan elektroda dan bahan dasar, sehingga menghasilkan las yang tidak rata dan kurang menembus. Sebaliknya, arus yang terlalu tinggi dapat membuat elektroda meleleh terlalu cepat, menghasilkan las yang lebih lebar dengan penembusan dalam, yang dapat mengurangi kekuatan tarik dan meningkatkan kerapuhan sambungan [3].

Diagram Continuous Cooling Transformation

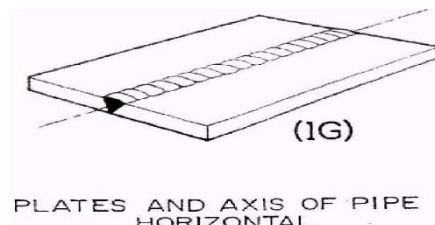
Diagram *Continuous Cooling Transformation (CCT)* digunakan untuk memahami bagaimana laju pendinginan kontinyu mempengaruhi struktur mikro yang terbentuk selama dekomposisi austenite[14].



Gambar 2. Diagram CCT

Posisi Pengelasan

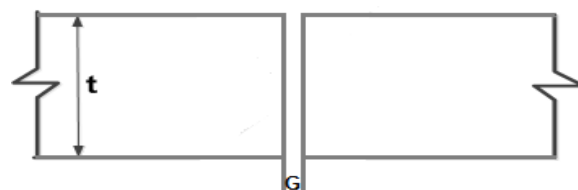
Posisi 1G sering dipilih karena memberikan penetrasi las yang dalam, memungkinkan proses pengelasan berlangsung lebih cepat. Selain itu, daerah *HAZ (Heat-Affected Zone)* menjadi sempit dan panas tidak menyebar secara luas [15].



Gambar 3. Posisi Pengelasan 1G

Kampuh

Kampuh las merupakan salah satu faktor kunci dalam mencapai kualitas sambungan las yang baik, karena berfungsi menampung bahan pengisi dan memastikan material dapat menempel dengan baik pada benda kerja [16]. Salah satu jenis kampuh adalah kampuh I, yang biasanya digunakan untuk logam tipis dan dapat dibuat dalam posisi tertutup atau terbuka.



Gambar 4. Kampuh I

3. Metodologi

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan baja galvanis sebagai bahan baku, untuk menguji pengaruh variasi diameter elektroda dan kuat arus terhadap kekerasan serta kekuatan tarik baja galvanis. Selain itu, penelitian ini juga mengkaji pengaruh variasi tersebut terhadap struktur mikro, kekerasan pada *HAZ*, dan posisi patahan pada sambungan baja galvanis.

Variabel Penelitian

Penelitian ini melibatkan beberapa variabel sebagai berikut:

a) Variabel bebas

Variabel ini disebut sebagai variabel pengaruh karena fungsinya untuk mempengaruhi variabel lainnya. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah kuat arus dan diameter elektroda yang diterapkan.

b) Variabel terikat

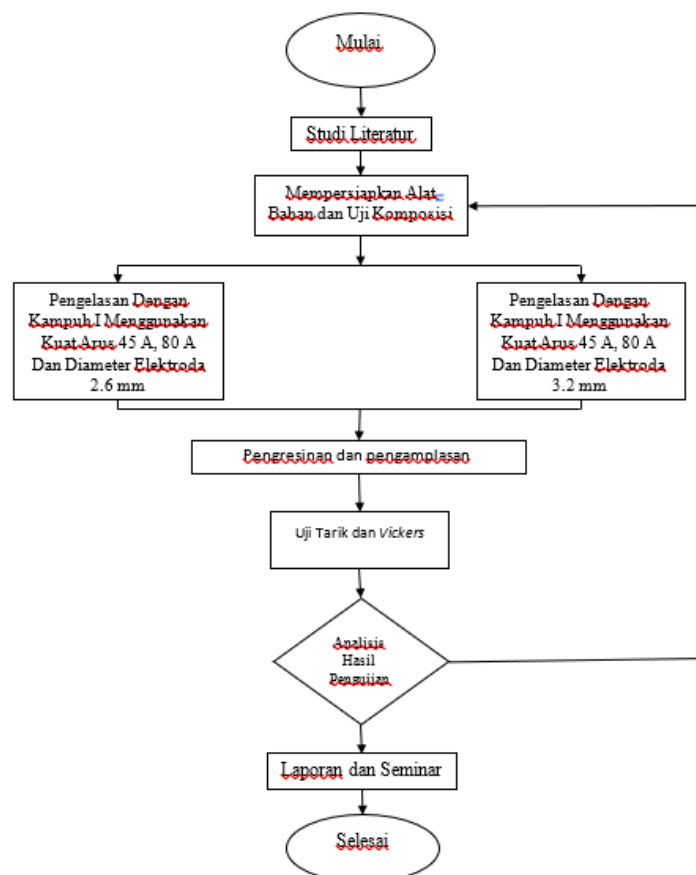
Variabel ini dipengaruhi oleh variabel lain, sehingga juga dikenal sebagai variabel terpengaruh atau variabel yang dipengaruhi. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah struktur mikro, kekerasan dan kekuatan tarik baja galvanis setelah pengelasan, yang diuji melalui mikroskop untuk struktur mikro, alat uji vickers untuk kekerasan, dan universal testing machine untuk kekuatan tarik.

c) Variabel kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang membatasi atau mempengaruhi variabel moderator. Variabel ini berfungsi sebagai pembanding dalam hasil penelitian eksperimen yang dilakukan. Dalam penelitian ini, variabel kontrol adalah:

1. Material : Baja Galvanis
2. Jenis pengelasan : *Shield Metal Arc Welding (SMAW)*
3. Jenis Elektroda : E6013
4. Kampuh Las : I
5. Posisi pengelasan : 1G

Tahap Penelitian



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

Tahapan pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Pengujian Komposisi

Siapkan spesimen baja galvanis dan bersihkan permukaannya untuk menghilangkan kotoran atau minyak. Identifikasi dan label sampel dengan informasi penting, lalu haluskan dan ratakan permukaannya menggunakan kikir. Setelah itu, *set up* alat las dan mulai proses pengelasan.

2. Pengujian Kekerasan Vickers

Uji kekerasan Vickers dimulai dengan menyiapkan spesimen yang permukaannya rata dan bersih. Indenter berbentuk prisma berlian kemudian diletakkan di atas spesimen, dan beban 10 kgf diterapkan selama 10 detik. Setelah beban diangkat, bekas indentasi yang terbentuk diukur dengan mikroskop, dan nilai kekerasan Vickers dihitung berdasarkan panjang diagonal indentasi serta beban yang digunakan.

3. Pengujian Tarik

Proses pengujian spesimen dimulai dengan menandai spesimen untuk mencegah kebingungan, diikuti dengan pengukuran panjang dan lebar benda. Setelah menyalakan saklar utama, posisi handle kontrol beban diperiksa dan parameter seperti kecepatan penarikan dan beban maksimum diatur. Selama pengujian, jarum indikator beban akan bergerak hingga mencapai titik maksimum sebelum benda uji putus. Setelah itu, spesimen dilepaskan dari tempat pencekam.

4. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini membahas hasil pengujian spesimen baja galvanis setelah proses pengelasan menggunakan elektroda E 6013, dengan variasi kuat arus 45 A dan 80 A serta diameter elektroda 2,6 mm dan 3,2 mm. Metode pengelasan yang digunakan adalah Shielded Metal Arc Welding (SMAW), dan posisi pengelasan yang diterapkan adalah 1G dengan bentuk kampuh I.

Uji Komposisi

Pengujian komposisi kimia dilaksanakan di laboratorium Politeknik Manufaktur Ceper dengan mengikuti prosedur yang ditetapkan dalam standar ASTM E 415-08, dan hasil dari pengujian ini kemudian disajikan secara rinci dalam Tabel 1.

Tabel 1. Uji Komposisi

Unsur	Kandungan (%)
C	0,039
Si	<0,0100
Mn	0,147
P	0,026
S	0,018
Cr	<0,0100
Mo	<0,0100
Ni	0,020
Cu	0,0086
Al	0,040
Co	<0,0050
Mg	<0,0050
Nb	0,021
Ti	<0,0030
V	<0,0050
W	<0,100
Fe	99,66

Berdasarkan tabel diatas dapat diketahui bahwa material ini termasuk baja karbon rendah sesuai standar ASTM E 415-08 dikarenakan mempunyai unsur utama Fe (besi) dengan nilai 99,66% dan juga kandungan karbon dibawah angka 0,25% yaitu di angka 0,039 %. Ini sesuai untuk aplikasi yang memerlukan kemampuan fabrikasi dan pengelasan yang sangat baik dikarenakan duktilitas dan ketangguhan baja ini sangat baik karena kadar karbonnya sangat rendah, tetapi tidak cocok untuk aplikasi yang memerlukan kekuatan tarik yang lebih tinggi.

Uji Kekerasan Vickers

Pengambilan data kekerasan ini diambil dengan metode pengujian kekerasan micro Vickers. Uji kekerasan Vickers dilakukan di laboratorium logam Universitas Sanata Dharma. Pengujian ini menggunakan penekanan selama 10 detik dengan beban 10 kgf. Untuk data D1 dan D2 dapat dilihat pada Tabel 1.

Dimana: I = Spesimen kuat arus 80 A dengan diameter elektroda 3,2 mm

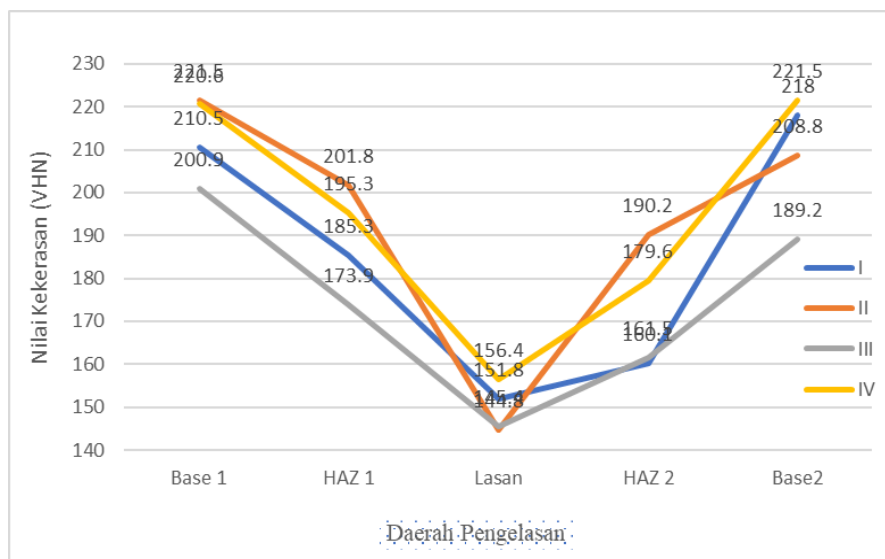
- II = Spesimen kuat arus 80 A dengan diameter elektroda 2,6 mm
 III = Spesimen kuat arus 45 A dengan diameter elektroda 3,2 mm
 IV = Spesimen kuat arus 45 A dengan diameter elektroda 2,6 mm

Tabel 2. Hasil D1 dan D2

Titik Uji	SPESIMEN							
	I		II		III		IV	
D	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2
Base 1	299,64	293,76	292,44	286,06	279,4	332,16	287,88	291,72
HAZ 1	313,2	319,2	303,0	303,0	354,0	298,8	308,04	308,04
Lasan	347,88	350,88	354,84	360,0	378,84	335,16	344,88	343,56
HAZ 2	341,64	338,88	312,12	312,12	300,0	377,52	321,24	321,24
Base 2	290,52	292,56	302,76	293,16	343,92	282,0	292,44	285,96

Tabel 3. Hasil VHN

Titik Pengujian	Variasi spesimen dan nilai kekerasan Vickers (VHN 10 kgf Dwell 10 s)			
	I	II	III	IV
Base metal 1	210,5	221,5	200,9	220,6
HAZ 1	185,3	201,8	173,9	195,3
Daerah Lasan	151,8	144,8	145,4	156,4
HAZ 2	160,1	190,2	161,5	179,6
Base metal 2	218,0	208,8	189,2	221,5



Gambar 6. Grafik Pengaruh Daerah Pengelasan Terhadap Nilai Kekerasan (VHN)

Berdasarkan uji kekerasan Vickers, ditemukan bahwa nilai kekerasan tertinggi terdapat pada *base metal* spesimen IV, yaitu 221,5 VHN. Selain itu, spesimen IV juga menunjukkan nilai kekerasan tertinggi pada titik las, yakni 156,4 VHN. Di sisi lain, nilai kekerasan tertinggi pada *Heat Affected Zone (HAZ)* dicatat pada spesimen II dengan nilai 201,8 VHN, sedangkan nilai terendah pada daerah las spesimen II adalah 144,8 VHN. Hal ini menunjukkan bahwa spesimen dengan kuat arus 80 A (spesimen I dan II) umumnya memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen yang menggunakan kuat arus 45 A (spesimen III dan IV) di semua titik pengujian, baik di base metal, *HAZ*, maupun daerah las.

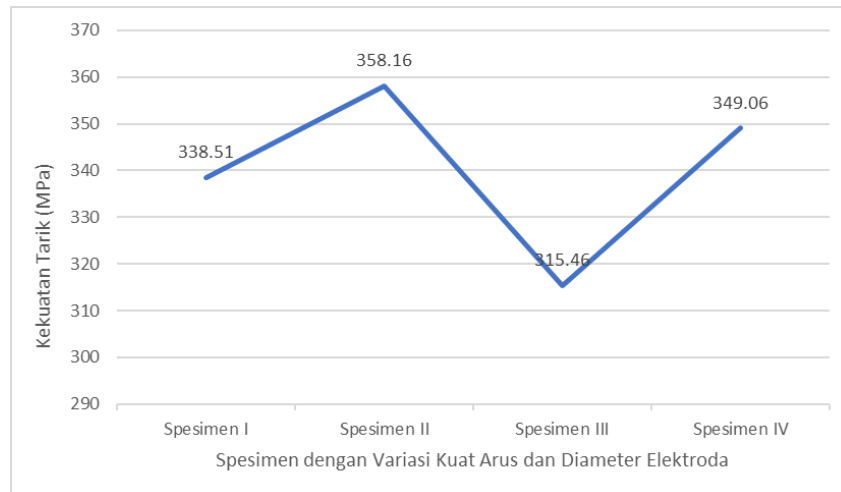
Ditemukan juga bahwa nilai kekerasan pada material dasar (*base metal*) lebih tinggi dibandingkan dengan nilai kekerasan pada area *HAZ* dan las. Selain kuat arus, diameter elektroda juga berpengaruh terhadap hasil uji kekerasan. Elektroda dengan diameter lebih kecil (2,6 mm, seperti pada spesimen II dan IV) menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi, terutama di daerah *HAZ*, dibandingkan dengan elektroda yang memiliki diameter lebih besar (3,2 mm). Pendapat ini sejalan dengan temuan dari [17], yang menyatakan bahwa semakin tinggi kuat arus yang digunakan, semakin tinggi pula nilai kekerasan yang dihasilkan.

Uji Tarik

Uji tarik merupakan salah satu *destructive test* yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan bahan terhadap gaya tarik. Pengujian tarik dilakukan di laboratorium Logam Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma. Spesimen mempunyai tebal 2,3 mm dan panjang 200 mm. Hasil pengujian tarik disajikan dalam Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Hasil Uji Tarik

Diameter elektroda	Kuat arus	Gaya maksimal	Elongasi	Tegangan
2,6 mm	80 A	998,92 kgf	7,92 %	358,16 MPa
	45 A	879,83 kgf	5,99 %	349,06 MPa
3,2 mm	80 A	944,10 kgf	7,97 %	338,51 MPa
	45A	973,54 kgf	8,41 %	315,46 MPa



Gambar 7. Grafik Pengaruh variasi Kuat Arus dan Diameter Elektroda terhadap Kekuatan Tarik (MPa)

- Dimana: I = Spesimen kuat arus 80 A dengan diameter elektroda 3,2 mm
 II = Spesimen kuat arus 80 A dengan diameter elektroda 2,6 mm
 III = Spesimen kuat arus 45 A dengan diameter elektroda 3,2 mm
 IV = Spesimen kuat arus 45 A dengan diameter elektroda 2,6 mm

Berdasarkan hasil uji, nilai tegangan tertinggi diperoleh dari spesimen dengan variasi diameter elektroda 2,6 mm dan kuat arus 80 A, yang mencapai 358,16 MPa. Sebaliknya, spesimen dengan diameter elektroda 3,2 mm dan kuat arus 45 A menunjukkan nilai tegangan terendah sebesar 315,46 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa spesimen dengan kuat arus 80 A (Spesimen I dan II) memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen yang menggunakan kuat arus 45 A (Spesimen III dan IV). Peningkatan kuat arus cenderung meningkatkan kekuatan tarik material, yang berarti bahwa arus yang lebih tinggi menghasilkan sambungan yang lebih kuat karena menghasilkan panas yang lebih besar, memungkinkan peleburan logam yang lebih optimal. Temuan ini sejalan dengan pendapat [18] yang menyatakan bahwa semakin tinggi kuat arus yang digunakan, semakin besar pula nilai kekuatan tarik yang dihasilkan.

Pada kuat arus yang sama (baik 80 A maupun 45 A), spesimen dengan diameter elektroda 2,6 mm (Spesimen II dan IV) menunjukkan kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen yang menggunakan diameter elektroda 3,2 mm (Spesimen I dan III). Hal ini disebabkan oleh konsentrasi panas yang lebih terfokus pada area yang lebih kecil, sehingga menghasilkan sambungan las yang lebih kuat. Dari pengujian ini dapat disimpulkan bahwa untuk mendapatkan hasil las yang optimal, tidak hanya perlu meningkatkan kuat arus atau memperbesar diameter elektroda, tetapi juga penting untuk memperhatikan kecocokan antara kuat arus dan diameter elektroda yang digunakan.

5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa variasi kuat arus dan diameter elektroda pada proses pengelasan *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)* memiliki pengaruh signifikan terhadap karakteristik mekanik dan mikrostruktur baja galvanis. Kuat arus yang lebih tinggi (80 A) menghasilkan kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan arus yang lebih rendah (45 A), sedangkan elektroda dengan diameter lebih kecil (2,6 mm) memberikan hasil kekerasan dan kekuatan tarik yang lebih baik dibandingkan elektroda berdiameter lebih besar (3,2 mm). Selain itu, kombinasi kuat arus 80 A dan elektroda 2,6 mm menghasilkan struktur mikro yang lebih seragam dan butiran yang lebih halus pada daerah lasan, yang berkontribusi pada peningkatan kualitas

pengelasan. Oleh karena itu, kombinasi tersebut direkomendasikan sebagai parameter optimal untuk menghasilkan sambungan las baja galvanis yang kuat dan tahan korosi.

Daftar Pustaka

- [1] B. Azizah, S. N., dan Budiasih, "Mampukah Proses Produksi Perusahaan Besar Industri Besi dan Baja Dasar di Indonesia Mencapai Tingkat Efisiensi Maksimal?," pp. 363–372, 2023.
- [2] M. E. S. M Fadhil., Muhammad Adnan and., & Ir Wijianto, S.T., "Pengaruh Variasi Arus Dan Waktu Pengelasan Spot Welding Terhadap Kekuatan Sambungan Pada Baja Galvanis," p. 1, Nov. 2023.
- [3] H. Munawar Muthia, I. Gusniar Nugraha, and R. Hanafi, "Pengaruh Jenis Elektroda Las SMAW Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro," *J. Pendidik. Tek. Mesin Undiksha*, vol. 11, no. 1, pp. 93–110, 2023, [Online]. Available: <http://10.0.93.79/jptm.v11i1.56007>.
- [4] M. S. E. S. Wahyuningsih Tri, "ANALISIS PROSES PENGELASAN PADA MATERIAL PIPA GALVANIS DENGAN TYPE PENGELASAN SHIELDED METAL ARC," *Encycl. Volcanoes*, 2022.
- [5] A. S. Muktar Sinaga, "Pengujian Kuat Tarik dan Uji Lengkung Baja Tulangan Sirip 280 Pada SNI 2052," 2023.
- [6] M. A. Putra, R. D., & Buqi, "Analisa Pengaruh Heat Treatment dan Variasi Kecepatan Putaran Pada Pengelasan Gesek Baja AISI 1045 Terhadap Kekuatan Tarik Struktur Mikro dan Kekerasan.," *Angew. Chemie Int. Ed.*, pp. 5–24, 2023.
- [7] R. Y. Pratama, M. Basuki, and E. Pranata, "PENGARUH VARIASI ARUS PENGELASAN SMAW UNTUK POSISI PENGELASAN 1G PADA MATERIAL BAJA KAPAL SS 400 TERHADAP CACAT PENGELASAN," *J. Sumberd. Bumi Berkelanjutan*, vol. 2, no. 1, pp. 1–7, 2020.
- [8] F. Rahangmetan, K. A., Wullur, C. W., & Sariman, "Effect Variations and Types of Smaw Welding Electrodes on A36 Steel to Tensile Test," *J. Phys. Conf. Ser.*, 2020.
- [9] R. Bintarto, M. S. Ma'arif, D. Widhiyanuriyawan, T. D. Widodo, R. Raharjo, and N. A. Purnomo, "Pengaruh Laju Alir Tungsten in-Ert Gas Terhadap Kekuatan Tarik Dan Kejut Pada Sambungan Las Tig Baja Galvanis Dan Alu-Minium 5052 Dengan Filler Al-Si 4043," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 14, no. 1, pp. 1–12, 2023, doi: 10.21776/jrm.v14i1.656.
- [10] A. Pratiwi, P., & Fachrurrozi, "Experimental Study of Wet Cells HHO Generator using Galvanized Steel Plate Electrodes," *J. Tek. Mesin*, pp. 66–72, 2020.
- [11] A. R. Fachrudin, F. Andika, F. Astuti, M. E. Martawati, A. Hanif, and I. N. Malang, "KELURAHAN TEMAS KECAMATAN BATU KOTA BATU," vol. 02, no. 01, pp. 14–19, 2021.
- [12] Y. Winardi, F. Fadelan, M. Munaji, and W. N. Krisdiantoro, "Pengaruh Elektroda Pengelasan Pada Baja AISI 1045 Dan SS 202 Terhadap Struktur Mikro Dan Kekuatan Tarik," *J. Pendidik. Tek. Mesin Undiksha*, vol. 8, no. 2, p. 86, 2020, doi: 10.23887/jptm.v8i2.27772.
- [13] L. Harahap, J., Wahyudin, Hasnita, "Analisis Eksperimental Dan Numerik Uji Tarik Hasil Pengelasan Smaw Pada Baja Karbon Rendah Dengan Variasi Jenis Elektroda Terhadap Sifat Mekanis.," *Vocat. Educ. Technol. J.*, pp. 8–17, 2022.
- [14] T. B. Rohmah, M., Irawan, D., Utama, D. P., & Romijarso, "The development of a588 modified laterite steel using thermomechanical and low-temperature tempering process for weather resistant steel.," pp. 149–159, 2021.
- [15] Utomo dan Yunus, "Pengaruh posisi pengelasan terhadap kekuatan tarik dan tekuk pada sambungan Las Baja ST 41," *J. Tek. Mesin UNESA*, vol. 9, no. 2, pp. 1–4, 2021, [Online]. Available: <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jtm-unesa/article/view/39923>
- [16] M. Ardi, M., Asri, H., "Analisis Pengaruh Variasi Bentuk Sambungan Terhadap Karakteristik Mekanis Baja Karbon Rendah Hasil Pengelasan SMAW Dan GTAW.," 2024.
- [17] H. Helanianto, H., Epriyandi, E., & Rahmadi, "Pengaruh Variasi Arus Pengelasan Smaw Terhadap Kekerasan Logam Induk Dan Logam Las.," *Elem. J. Tek. Mesin*, pp. 138–147, 2020.
- [18] Alexander Nawiko, Rosehan, M. Sobron, and Y. Lubis, "Pengaruh Variasi Kuat Arus Pengelasan SMAW Terhadap Uji Tarik Sambungan Bahan ASTM A36," *J. Syntax Transform.*, vol. 3, no. 05, pp. 802–808, 2022, doi: 10.46799/jst.v3i5.567.