

Analisa Pengaruh Variasi Arus pada Pengelasan GTAW ditinjau dari Pengujian Tarik pada Material Plat ASTM A36

Mohammad Shobirin, Mulyadi Mulyadi*

Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Abstrak: *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) merupakan metode pengelasan dimana busur listrik terjadi diantara elektroda yang tidak leleh dengan benda kerja. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan arus ampere untuk mengetahui kuat las pada material plat baja ASTM A36 pada saat dilakukan pengujian tarik. Dari hasil pengujian tarik mendapatkan nilai tarik tertinggi dengan parameter pengelasan 130A, *flowrate* gas 5-10, jenis sambungan V tunggal dengan sudut 60° pada spesimen 2 dengan nilai tarik sebesar 46,58 Kgf/mm². Pada kuat arus 160A mendapatkan nilai tarik tertinggi pada spesimen 3 dengan nilai tarik sebesar 45,64 Kgf/mm² dengan menggunakan *flowrate* gas 5-10, jenis sambungan V tunggal dengan sudut 60°. Sedangkan kuat arus 190A mendapatkan nilai tarik tertinggi pada spesimen 1 dengan nilai tarik sebesar 54,37 Kgf/mm² dengan menggunakan *flowrate* gas 5-10, jenis sambungan V tunggal dengan sudut 60°.

Kata Kunci: *Gas Tungsten Arc Welding*, ASTM A36, Uji Tarik

DOI:

<https://doi.org/10.47134/innovative.v3i1.99>

*Correspondence: Mulyadi

Email: mulyadi@umsida.ac.id

Received: 01-01-2024

Accepted: 15-02-2024

Published: 31-03-2024



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) is a welding method in which an electric arc occurs between the non-melting electrode and the workpiece. This research was conducted by varying the amperage current to determine the weld strength of the ASTM A36 steel plate material during the tensile test. From the results of the tensile test, the highest tensile value was obtained with welding parameters 130A, gas flowrate 5-10, single V connection type with an angle of 60° on specimen 2 with a tensile value of 46.58 Kgf/mm². At a current strength of 160A, the highest tensile value was obtained on specimen 3 with a tensile value of 45.64 Kgf/mm² using a gas flow rate of 5-10, a single V type connection with an angle of 60°. While the 190A current strength obtained the highest tensile value in specimen 1 with a tensile value of 54.37 Kgf/mm² using a gas flowrate of 5-10, a single V connection type with an angle of 60°.

Keywords: *Gas Tungsten Arc Welding*, ASTM A36, Tensile Test

Pendahuluan

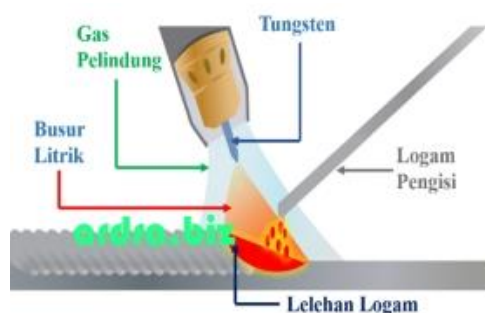
Plat baja ASTM A36 adalah paduan baja struktural umum yang digunakan di amerika serikat dengan standar A36 yang ditetapkan oleh ASTM internasional pada tahun 1960. Berdasarkan Omer plat baja ASTM A36 dapat digunakan untuk berbagai macam aplikasi seperti konstruksi bangunan, tanki, pipa dan juga bisa digunakan untuk bahan pembuatan kapal maupun kereta api (Beziou, 2023; Serindağ, 2023; Shakya, 2023; Blodgett, 2001).

Pada proses pengelasan yang sering dipakai untuk material plat baja paduan rendah ASTM A36 adalah menggunakan mesin las SMAW, GMAW dan GTAW. Menurut Setiawan pengelasan GTAW pada plat baja ASTM A36 banyak digunakan di perusahaan yang membuat alat konstruksi bangunan (Cho, 2023; Darivandpour, 2023; Huang, 2023; Setiawan & Wardana, 2006). Hal ini dapat dipengaruhi hasil lasan jauh lebih bersih dibanding hasil lasan menggunakan lainnya. Sehingga pengamatan untuk mengendalikan logam las ketika pengelasan terhadap material tersebut menjadi lebih mudah.

Metode pengelasan *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) adalah dimana busur listrik terjadi diantara elektroda yang tidak meleleh dengan benda kerja. Dikarenakan sekeliling elektrodanya disalurkan *gas inert* yang berfungsi sebagai pelindung terhadap kontaminasi udara dimana gas tersebut tidak bereaksi dengan zat apapun, sehingga setiap pencemaran terhadap pengelasan dapat dihindarkan. Untuk proses pengelasan dapat diamati dengan mudah, asap yang ditimbulkan tidak terlalu banyak. Untuk itu pengelasan GTAW dengan material baja karbon paduan rendah dapat menggunakan *shielding* gas CO₂. Selain lebih murah gas CO₂ juga memiliki tingkat konduktivitas termal lebih tinggi dari pada Ar dan campuran Ar-CO₂ (Singh, 2023; Zhang, 2023; Rahmatika et al., 2019). Namun ada beberapa hal yang dapat mempengaruhi hasil pengelasan. Salah satunya adalah tinggi rendahnya ampere. Bila arus yang digunakan untuk mengelas terlalu tinggi maka bahan elektroda penambah akan cepat mencair, permukaan hasil lasan melebar, penembusan yang dalam, dan rentan akan lubang yang akan mengakibatkan kerapuhan dari hasil pengelasan. Sebaliknya bila arus pengelasan yang dipakai terlalu rendah maka elektroda las akan sukar untuk menyala. Busur listrik akan menjadi tidak stabil, panas yang terjadi tidak cukup untuk melelehkan elektroda penambah, arus las memberikan pengaruh yang terbesar pada penembusan dan penguatan. Maka dari itu porsi ampere dalam proses pengelasan harus sesuai tidak boleh kurang ataupun berlebihan karena dapat mempengaruhi visual lasan dan sifat material hasil lasan tersebut. Sifat material sendiri dapat dilihat melalui beberapa pengujian salah satunya *tensile test* dan *bend test*.

Dalam penelitian ini dilakukan analisa terhadap pengaruh variasi ampere pada pengelasan baja karbon rendah type ASTM A36. Ditinjau dari kekuatan tarik. Melalui proses ini apakah dengan memvariasikan ampere dapat memaksimalkan kekuatan tarik. Untuk mengetahui pengaruh memvariasikan ampere pengelasan terhadap kekuatan tarik pada sambungan las.

Pengelasan merupakan sebuah metode yang umum digunakan untuk menyambungkan bagian-bagian dua atau beberapa logam padat, tanpa menggunakan bahan tambahan namun menggunakan energi panas sebagai pencair bahan yang dilas (Li, 2023; Xie, 2023; Widharto, 2006). Dari sekian banyak jenis pengelasan, pengelasan yang banyak digunakan saat ini adalah pengelasan cair dengan busur dan gas. Adapun jenis-jenis tersebut adalah sebagai berikut: (a) Berdasarkan Arif Marwanto pengelasan SMAW adalah pengelasan yang menggunakan elektroda terbungkus yang ikut mencair dan sekaligus sebagai pengisi dari lasan. Kabel elektroda kutub negatif sebagai kerja dan kabel kutub positif sebagai benda. Panas yang dihasilkan dari adanya busur listrik yang menyebabkan elektroda dan logam dasar melebur secara bersamaan (Marwanto, 2007). (b) Berdasarkan Dadang pengelasan GTAW merupakan proses penyambungan material dengan menggunakan elektroda tungsten dengan sumber energi panasnya yang dihasilkan dari busur listrik yang terbentuk diantara elektroda dengan benda kerja (Direktorat Jendral Peningkatan Mutu Pendidik dan Tenaga Kependidikan, 2013). Pengelasan GTAW banyak digunakan di perusahaan, hal ini dapat dipengaruhi hasil lasan jauh lebih bersih dibanding hasil lasan menggunakan lainnya. Selain lebih bersih, hasil lasan juga lebih kuat karena terdapat penetrasi yang dalam dan ketahanan korosi yang tinggi. untuk kecepatan gerak pengelasan lebih rendah, sehingga pengamatan untuk mengendalikan logam las ketika pengelasan terhadap material tersebut menjadi lebih mudah (Arifin, 1997). (c) Pengelasan Dian Ratnasari GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) adalah salah satu jenis proses Pengelasan bahan logam yang menggunakan sumber panas dari energi listrik yang dirubah menjadi energi panas, pada proses pengelasan GMAW ini menggunakan kawat las *roll* dan menggunakan gas sebagai pelindung logam las yang mencair saat proses pengelasan berlangsung (Ratnasari, 2016).



Gambar 1. Pengelasan GTAW (Blodgett, 2001)

Baja karbon (*carbon steel*) adalah baja yang mempunyai kadar karbon yang lunak, tetapi ditambah dengan sedikit unsur Paduan (Wirjosumarto, 1996). Penambahan unsur ini untuk meningkatkan kekuatan baja tanpa mengurangi keuletannya. material ini digunakan untuk kapal, jembatan, ketel uap, tangki dan dalam permesinan yang mengandung karbon antara 0,1% - 1,7% (Surdia & Saito, 2006). Untuk proses penelitian ini menggunakan plat ASTM A36 dengan ketebalan plat 8mm. Baja karbon (*carbon steel*) memiliki banyak tipe tergantung dari *alloy* pematunya. Salah satu baja karbon yang sangat

sering digunakan pada aplikasi struktur (konstruksi dan kapal) adalah baja karbon ASTM A36. Baja karbon ini memiliki keuletan dan kekuatan yang baik. Menurut Rahmat Dani karbon dengan konsentrasi maksimum 0.25% - 0.29% merupakan unsur paduan utama dalam baja karbon ASTM A36 (Dani, 2016). Unsur karbon ini memberikan kontribusi pada sifat keras dan kuat, tetapi pada saat yang sama juga menghasilkan sifat getas.

Jenis pengujian pada penelitian ini menggunakan metode uji tarik, menurut Siswanto pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan sambungan yang telah dilas menggunakan mesin las GTAW. Dalam pengujian ini, spesimen uji tarik dibebani dengan kenaikan beban sedikit demi sedikit, sehingga spesimen uji tersebut patah. kemudian sifat-sifat tariknya dapat dihitung dengan persamaan (Siswanto, 2011). Berikut ini sifat mekanis dari material plat ASTM A36 pada tabel 1.

Tabel 1. Sifat Mekanis Plat ASTM A36 (Blodgett, 2001)

Sifat Mekanis Plat ASTM A36	
Kekuatan tarik (MPa)	400-552
Kekuatan hasil (MPa)	281-301
Perpanjangan (%)	31
Modulus young (GPa)	200
Rasio poisson	0.32
Masa jenis (kg/m ³)	7800
Kekerasan, Brinell (HB)	119-159

Metode

Berdasarkan Perdana metodologi penelitian ini digunakan untuk mengetahui pengaruh variasi ampere pada pengelasan GTAW ditinjau dari pengujian tarik material (Perdana, 2016). Berikut *flowchart* alur penelitian yang ditunjukkan pada gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Diagram Alur (Setiawan & Wardana, 2006)

Spesifikasi proses eksperimen ini menggunakan pengelasan GTAW dengan parameter pengelasan 130A, 160A, 190A. dengan menggunakan *flowrate* gas 5-10, jenis sambungan V tunggal dengan sudut 60°.



Gambar 3. Mesin Las GTAW (Rahmatika et al., 2019)

Pada penelitian ini menggunakan arus DCEN (*Direct Current Electrode Negatif*). DCEN (*Direct Current Electrode Negatif*) adalah polaritas terbalik yang dimaksud adalah kabel elektroda dihubungkan ke kutub negatif sedangkan untuk kabel yang terhubung dengan material dihubungkan ke kutub positif (Bintoro, 2000). Hal ini dikarenakan agar tidak terjadi panas yang berlebih pada elektroda tungsten. Material yang digunakan adalah plat baja ASTM A36 dengan dimensi 200mm x 300mm x 8mm.



Gambar 4. Material Eksperimen (Widharto, 2006)

Dalam penelitian ini untuk desain eksperimen menggunakan kampuh V terbuka dengan menggunakan mesin *frais*. Potong bahan menggunakan gerinda tangan, dengan ukuran panjang 300 mm dan lebar 150 mm sebanyak enam buah. Setelah bahan dipotong, kemudian di ukur sudut 30°. Setelah bahan di gambar, bahan dicekam dan dilakukan pengefraisan dengan sudut 30°.

Mesin *milling* yang digunakan dalam eksperimen ini adalah mesin *milling* universal X6322C WEIDA. Mesin ini merupakan mesin *milling* konvensional 3 axis yang telah dilengkapi dengan motor penggerak otomatis untuk meja mesin (Wiryosumarto & Toshie, 2000). Pada eksperimen mesin *milling* digunakan untuk membuat sudut kampuh guna untuk memudahkan pada saat proses pengelasan. Berikut ini adalah gambar mesin *milling* yang digunakan pada proses pembuatan sudut kampuh.



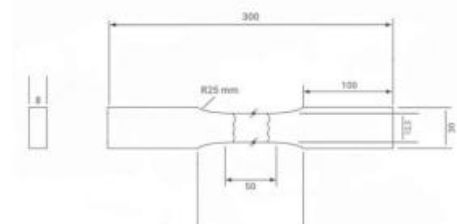
Gambar 5. Mesin Milling (Marwanto, 2007)

Setelah dilakukan proses pembuatan sudut kampuh v dilanjutkan dengan proses pengelasan menggunakan metode pengelasan GTAW dengan menggunakan kawat las ER70S. Proses pengelasan dilakukan sebanyak 4 kali dengan variasi arus listrik yaitu, 130A, 160A, 190A. Posisi pengelasan menggunakan *butt joint*.



Gambar 6. Proses Pengelasan (Direktorat Jendral Peningkatan Mutu Pendidik dan Tenaga Kependidikan, 2013)

Sebelum lanjut proses pengujian, terlebih dahulu membuat spesimen pengujian tarik pada material plat ASTM A36 yang sudah dilas sebelumnya.



Gambar 7. Spesimen Uji Tarik (Arifin, 1997)

Pada proses pengujian tarik ini dilakukan di balai standarisasi dan pelayanan jasa industri Surabaya. Pengujian dilakukan dengan alat uji tarik dengan *Loadcell capacity* 10000 N.



Gambar 8. Proses Pengujian Tarik (Ratnasari, 2016)

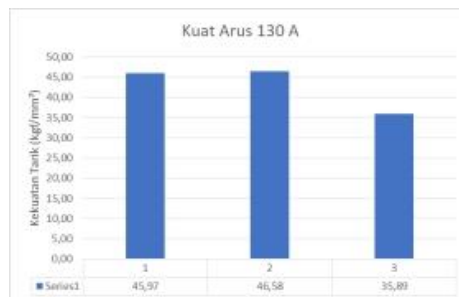
Hasil dan Pembahasan

Berikut adalah nilai hasil data dari uji tarik spesimen pengelasan GTAW dapat dilihat pada tabel 2 dibawah ini:

Tabel 2. Hasil Uji Tarik 9 Spesimen (Setiawan & Wardana, 2006)

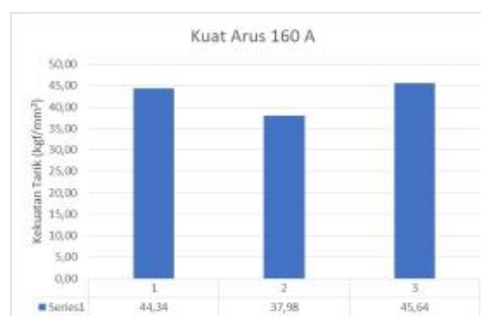
Ampere	Sampel	(kgf)	(kgf/mm ²)	L ₀ (mm)	L ₁ (mm)	(ΔL)	e
130A	1	4521,5	45,97	30	30,5	0,5	0,02
	2	4435,8	46,58	30	31,5	1,5	0,05
	3	3589,4	35,89	30	30	1	0,03
160A	1	4433,9	44,34	34	34	1	0,02
	2	3742,9	37,98	34	34,5	0,5	0,01
	3	4524,3	45,64	34	34,3	0,3	0,01
190A	1	5178,1	54,37	30	31,5	1,5	0,05
	2	4396,6	45,14	30	30,8	0,8	0,03
	3	4545,6	47,43	30	31,3	1,3	0,04

Hasil dari pengujian tarik dari 9 spesimen yang ditunjukkan pada tabel 3 mendapatkan hasil yang dituangkan dalam bentuk grafik kuat arus dari masing-masing spesimen. Hasil yang didapatkan dari hasil uji tarik berbeda-beda dari masing-masing spesimen. Dimana data masing-masing diagram akan ditunjukkan pada gambar 5, 6, dan 7 dibawah ini:



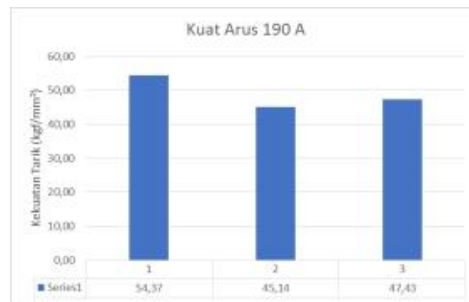
Gambar 9. Diagram Kuat Arus 130A (Wiryo Sumarto, 1996)

Pada kuat arus yang dilihat pada gambar 5 mendapatkan hasil dimana nilai kekuatan tarik pada 130A tertinggi terdapat pada spesimen 2 yaitu sebesar 46,58 Kgf/mm². Kekuatan tarik terendah terdapat pada spesimen 3 yaitu sebesar 35,89 Kgf/mm².



Gambar 10. Diagram Kuat Arus 160A (Surdia & Saito, 2006)

Pada kuat arus yang dilihat pada gambar 6 mendapatkan hasil dimana nilai kekuatan tarik pada 160A tertinggi terdapat pada spesimen 3 yaitu sebesar 45,64 Kgf/mm². Kekuatan tarik terendah terdapat pada spesimen 2 yaitu sebesar 37,98 Kgf/mm².



Gambar 11. Diagram Kuat Arus 190A (Dani, 2016)

Pada kuat arus yang dilihat pada gambar 7 mendapatkan hasil dimana nilai kekuatan tarik pada 190A tertinggi terdapat pada spesimen 1 yaitu sebesar 54,37 Kgf/mm². Kekuatan tarik terendah terdapat pada spesimen 2 yaitu sebesar 45,14 Kgf/mm².



Gambar 12. Perbandingan Kekuatan Tarik Dengan Kuat Arus (Siswanto, 2011)

Pada gambar 8 di atas merupakan gambar hasil dari perbandingan kekuatan tarik dengan variasi kuat arus dengan menggunakan *flowrate* gas 5-10, jenis sambungan V tunggal dengan sudut 60°.

Simpulan

Dari hasil pengujian tarik pada material plat ASTM A36, Pengelasan GTAW dapat dilakukan pada material plat ASTM A36 ataupun material lainnya dengan memvariasikan beberapa parameter pengelasan bertujuan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik setelah dilakukan pengujian tarik.

Berdasarkan hasil pengujian tarik pada ampere 130A, 160A, 190A tersebut pada kuat arus 130A mendapatkan nilai tarik tertinggi pada spesimen 2 dengan nilai tarik sebesar 46,58 Kgf/mm². Kuat arus 160A mendapatkan nilai tarik tertinggi pada spesimen 3 dengan nilai tarik sebesar 45,64 Kgf/mm². Kuat arus 190A mendapatkan nilai tarik tertinggi pada spesimen 1 dengan nilai tarik sebesar 54,37 Kgf/mm².

Sedangkan hasil pengujian tarik pada ampere 130A, 160A, 190A tersebut pada kuat arus 130A mendapatkan nilai tarik terendah pada spesimen 3 dengan nilai tarik sebesar 35,89 Kgf/mm². Kuat arus 160A mendapatkan nilai tarik terendah pada spesimen 2 dengan nilai tarik sebesar 37,98 Kgf/mm². Kuat arus 190A mendapatkan nilai tarik terendah pada spesimen 2 dengan nilai tarik sebesar 45,14 Kgf/mm².

Daftar Pustaka

- Arifin, S. (1997). *Las Listrik dan Otogen*. Jakarta: Ghalia Indonesia.
- Beziou, O. (2023). Effect of heat treatment on the welded joint of X70 steel joined to duplex stainless steel by gas tungsten arc welding. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 127(5), 2799–2814. <https://doi.org/10.1007/s00170-023-11675-9>
- Bintoro, G. A. (2000). *Dasar-dasar Pekerjaan Las*. Yogyakarta: Kanisius.
- Blodgett, O. W. (2001). *Structural Welding Code-Steel*. Florida: American Welding Society.
- Cho, D. M. (2023). Corrosion behaviors according to the welding process of superduplex stainless steel welded tubes: Gas tungsten arc welding vs. laser beam welding. *Corrosion Science*, 216. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2023.111108>
- Darivandpour, M. (2023). Selecting the Appropriate Filler Metal to Join HSLA-100 Steel by Gas Tungsten Arc Welding Process. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 32(23), 10503–10513. <https://doi.org/10.1007/s11665-023-07887-5>
- Dani, R. (2016). *Pengaruh Variasi Kecepatan Pengelasan Tungsten Inert Gas (TIG) Terhadap Kekuatan Tarik Hasil Sambungan Las Pada Baja Karbon Rendah (ST 41)*. Lampung: Universitas Lampung.
- Direktorat Jendral Peningkatan Mutu Pendidik dan Tenaga Kependidikan. (2013). *Teknik Las GTAW*. Jakarta.
- Huang, S. (2023). Microstructure and mechanical properties of the Nb<inf>37.7</inf>Mo<inf>14.5</inf>Ta<inf>12.6</inf>Ni<inf>28.16</inf>Cr<inf>7.04</inf> multi-principal alloys fabricated by gas tungsten wire arc welding additive manufacturing. *Vacuum*, 210. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2023.111900>
- Li, Z. (2023). Dissimilar gas tungsten arc welding of TC4 titanium to 304 stainless steel using CuSi3 filler wire. *Welding in the World*, 67(3), 593–605. <https://doi.org/10.1007/s40194-022-01402-5>
- Marwanto, A. (2007). *Shield Metal Arc Welding*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Pahleviannur, M. R. (2022). *Penentuan Prioritas Pilar Satuan Pendidikan Aman Bencana (SPAB) menggunakan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP)*. Pena Persada.
- Pahleviannur, M. R., Ayuni, I. K., Widiastuti, A. S., Umaroh, R., Aisyah, H. R., Afiah, Z., Azzahra, I., Chairani, M. S., Dhafita, N. A., & Rohmah, N. L. (2023). Kerentanan Sosial Ekonomi terhadap Bencana Banjir di Hilir DAS Citanduy Bagian Barat Kabupaten Pangandaran Jawa Barat. *Media Komunikasi Geografi*, 24(2), 189–205.
- Perdana, D. (2016). *Analisa Pengaruh Variasi Arus Pengelasan GTAW pada Material Plat SS 400 Disambung dengan Material Plat SUS 304 Terhadap Sifat Mekanis*. Sidoarjo: Universitas Maarif Hasyim Latif.

- Rahmatika, A., Ibrahim, S., Hersaputri, M., & Aprilia, E. (2019). Studi Pengaruh Variasi Kuat Arus Terhadap Sifat Mekanik Hasil Pengelasan GTAW Alumunium 1050 dengan Filler ER 4043. *J. Polimesin*, 17(1), 47-54.
- Ratnasari, D. (2016). *Pengaruh Voltage pada Gas Metal Arc Welding (SMAW) terhadap Struktur Mikro dan Tegangan Lentur (Face and Root) EMS 45 dengan Sambungan Kapuh V*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Serindağ, H. T. (2023). Characterizations of Microstructure and Properties of Dissimilar AISI 316L/9Ni Low-Alloy Cryogenic Steel Joints Fabricated by Gas Tungsten Arc Welding. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 32(15), 7039–7049. <https://doi.org/10.1007/s11665-022-07601-x>
- Setiawan, A., & Wardana, Y. A. Y. (2006). Analisa Ketangguhan dan Struktur Mikro pada Daerah Las dan HAZ Hasil Pengelasan Sumerged Arc Welding pada Baja SM 490. *JURNAL TEKNIK MESIN*, 8(2), 57-63.
- Shakya, P. (2023). Influence of Magnets on Arc Shape and Bead Geometry in Gas Tungsten Arc Welding. *Materials and Manufacturing Processes*, 38(4), 401–408. <https://doi.org/10.1080/10426914.2022.2075890>
- Singh, B. K. (2023). Experimental investigation of welding parameters to enhance the impact strength using gas tungsten arc welding. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*. <https://doi.org/10.1007/s12008-023-01264-1>
- Siswanto. (2011). *Konsep Dasar Teknik Las (Teori dan Praktik)*. Jakarta: PT. Prestasi Pustakarya.
- Surdia, T., & Saito, S. (2006). *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Widharto, S. (2006). *Petunjuk Kerja Las*. Jakarta: Penebar Swadnya.
- Wiryosumarto, H. (1996). *Teknik Pengelasan Logam* (7th ed.). Jakarta: PT. Pradya Paramitha.
- Wiryosumarto, H., & Toshie, O. (2000). *Teknologi Pengelasan Logam* (8th ed.). Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Xie, W. (2023). Comparison of welding temperature fields, residual stress distributions and deformations of Gas Tungsten Arc (GTA) and ultrasonic–wave–assisted gas tungsten pulsed arc (U–GTPA) welded DP780 steel joints. *International Journal of Thermal Sciences*, 184. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2022.108009>
- Zhang, P. (2023). Welding Dissimilar Alloys of CoCrFeMnNi High-Entropy Alloy and 304 Stainless Steel Using Gas Tungsten Arc Welding. *Journal of Materials Engineering and Performance*. <https://doi.org/10.1007/s11665-023-08229-1>