

PENGARUH VARIASI ELEKTRODA E6010 DAN E308-16 TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN NILAI KEKERASAN PENGELASAN DISSIMILAR ASTM A36 DAN SS316

N.P.E. Utami^{1,2*}, Ellyanie¹, Astuti¹, Gustini^{1,2}, A.Sami¹, W.H.Prastyanto¹

¹ Teknik Mesin, Universitas Sriwijaya, Palembang

²Program Studi Doktor Ilmu Teknik, Universitas Sriwijaya, Palembang

Corresponding author: nhparamitha@ft.unsri.ac.id

ABSTRAK: Pengelasan material berbeda memberikan banyak keuntungan dalam reduksi berat dan kebutuhan biaya permesinan. Akan tetapi berbagai kesulitan dihadapi karena adanya perbedaan sifat fisik dan mekaniknya yang jauh berbeda. Oleh karena itu, studi ini bertujuan untuk membandingkan penggunaan elektroda E6010 dan E308-16 terhadap perubahan struktur mikro dan kaitannya dengan nilai kekerasan pengelasan *dissimilar* ASTM A36 dan SS316. Berdasarkan hasil uji kekerasan dan analisis struktur mikro, terdapat peningkatan sangat signifikan pada nilai kekerasan di daerah HAZ yaitu sebesar 373 VHN pada material yang dilas dengan elektroda E6010 karena adanya kehadiran fasa *widmanstätten* yang bersifat keras sehingga meningkatkan nilai kekerasan sekaligus menurunkan keuletan dari produk las pengelasan *dissimilar* ASTM A36 dan SS316.

Kata Kunci: Pengelasan *dissimilar*, ASTM A36, SS 316, Elektroda E6010, Elektroda E308-16

ABSTRACT: *Dissimilar metal welding provides many advantages in reducing weight and machining cost requirements. However, There are various difficulties due to distinctive physical and mechanical properties. The main aim of this research is to analyze the effect of welding current variations in the use of E6010 and E308-16 electrodes on changes in microstructure and its correlation to the welding hardness values of dissimilar metal welding ASTM A36 and SS316. The observations that conducted were hardness testing and microstructure analysis. The observation results show that there is a very significant increase in the hardness value of the HAZ area that is 373 VHN in the material welded with the E6010 electrode due to the presence of the hard Widmanstätten phase. The Presence of this phase promoted to the increasing of hardness value while reducing the ductility of dissimilar ASTM A36 and SS316 welding products.*

Keyword: *Disimilar metal welding, ASTM A36, SS 316, E6010 electrode, E308-16 electrode*

PENDAHULUAN

ASTM A36 yang merupakan baja struktural yang dimanfaatkan secara luas di berbagai aplikasi strategis. Material ini memiliki karakteristik keuletan, kekuatan dan ketangguhan yang baik. Dengan segala keunggulan yang dimiliki serta fleksibilitas penggunaan dalam berbagai kondisi, *The American Society of testing material* menempatkan ASTM A36 kedalam kelas material struktural yang paling komersial di dunia (Pratama et al., 2022).

Stainless steel atau baja tahan karat memiliki koefisien ekspansi termal 50 % lebih besar daripada baja karbon. Peningkatan rentensi panas menyebabkan panas yang terbuang selama proses pengelasan lebih sedikit sehingga energi panas yang dibutuhkan untuk melakukan pengelasan lebih sedikit. Sama halnya dengan baja karbon, stainless steel juga memiliki keunggulan dalam kekuatan mekanik, kinerja pemrosesan, biaya rendah dengan ketahanan akan korosi yang lebih baik. Material ini secara luas telah digunakan pada berbagai aspek industri seperti petroleum, petrokimia, industri bejana tekan dan lain-lain (Li et al., 2020). Pengelasan logam

merupakan salah satu Teknik produksi yang paling banyak digunakan dalam industri manufaktur modern (Althouse et al., 2018). Penggunaan metode pengelasan memiliki ruang lingkup yang luas dimana proses penyambungan ini merupakan metode paling efisien dan praktis dalam pengaplikasian bila dibandingkan teknik pengambungan logam lainnya. Pengelasan banyak diaplikasikan pada dunia industri karena memiliki ketangguhan yang baik dalam menerima beban serta kemudahan dalam pengaplikasiannya dalam proses fabrikasi (Bodude & Momohjimoh, 2015).

Besarnya biaya produksi menuntun pelaku industri untuk menekan biaya semaksimal mungkin baik dari segi material maupun operasional dimana biaya pemenuhan material menempati posisi tertinggi dalam keseluruhan biaya produksi total (Mranani et al., 2019; Sugiarti & Eka Pratiwi, 2020). Maka dari itu proses pengelasan dengan menggabungkan dua logam yang berbeda atau *dissimilar metal joint* dinilai mampu mengurangi biaya produksi tanpa adanya pengurangan kualitas bahan yang dapat membahayakan struktur industri yang terpasang (Kah & Jukka Martikainen, 2013).

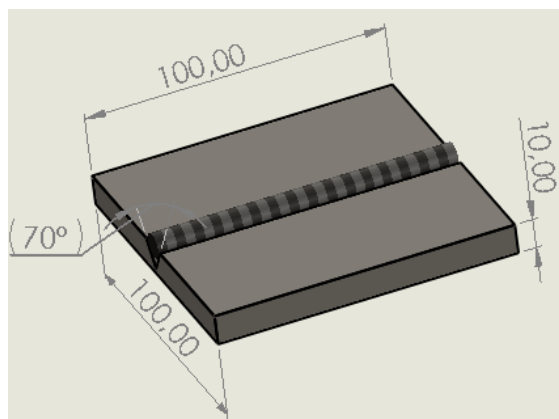
Pengelasan *dissimilar* memungkinkan dilakukannya penyambungan material yang berbeda secara karakteristik fisik dan mekanik menjadi suatu kesatuan struktur yang kokoh, sehingga dapat digunakan dalam berbagai aplikasi sederhana hingga industry strategis. Pengelasan material yang berbeda juga memberikan keuntungan dalam pengurangan berat, meningkatkan kekuatan sambungan sekaligus mengurangi biaya permesinan (Dudeja, 2018).

Akan tetapi ada banyak kesulitan dalam mengelas dua jenis logam dengan sifat fisik dan kimia yang jauh berbeda satu sama lain. Oleh karena itu, kesalahan dalam proses pengelasan akan berdampak pada buruknya kualitas lasan seperti kehadiran porositas yang mengarah pada perambatan retak pada material las.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah menganalisa pengaruh variasi elektroda E6010 dan E308-16 terhadap nilai *bending* serta fenomena struktur mikro yang terbentuk pada pada pengelasan dissimilar ASTM A36 dan *stainless steel* SS304 menggunakan metode *shield metal arc welding* (SMAW) dengan arus 65 Ampere.

METODOLOGI

Material ASTM A36 dan SS 316 dipotong dan dipersiapkan menjadi spesimen uji yang disusun bersebelahan untuk pengelasan *dissimilar* sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 1. Komposisi Kimia utama dari ASTM A36 dan SS 316 ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Karakteristik Mekanik ASTM A36 dan SS 316 ditunjukkan pada Tabel 3 dan 4.



Gambar 1. Geometri pengelasan *dissimilar* ASTM A36 dan SS 316

Tabel 1. Komposisi kimia ASTM A36

Unsu	Fe	C	Si	Mn	Cr	Mo
r (%)	<i>balance</i>	0,17	0,24	0,73	0,01	0,002
Unsu	Ni	Al	S	Cu	Nb	Ti
r (%)	0,03	0,01	0,009	0,04	0,002	0,006
Unsu	N	V	P	CE		
r (%)	0,02	0,003	0,015	0,28		

Tabel 2. Komposisi kimia SS 316

Unsu	C	Ni	Mo	Cr	Si	S	P
r (%)	0,03	12,24	2,06	17,94	0,56	0,017	0,021

Tabel 3. Karakteristik Mekanik ASTM A36

Tegangan yield Min, ksi [Mpa]	UTS Ksi [Mpa]	Regangan pada 2 inc [50 mm], min, %
35 [250]	58-80 [400-500]	23

Tabel 4. Karakteristik Mekanik SS 316

Tegangan yield ksi [Mpa]	UTS Ksi [Mpa]	Regangan pada 2 inc [50 mm], min, %
39 [270]	93 [646]	50

Proses pengelasan dilakukan dengan SMAW dengan variasi elektroda yang berbeda yaitu E-6010 dan E308-16. Arus yang digunakan pada proses pengelasan sebesar 65 Ampere. Pengamatan struktur mikro produk las dilakukan menggunakan mikroskop optik menggunakan dua jenis etsa yaitu Nital untuk material ASTM A36 dan Aqua regia untuk SS 316. Karakteristik elektroda E 6010 dan E 308-16 ditunjukkan pada Tabel 5 hingga Tabel 8.

Tabel 5. Komposisi kimia elektroda E 6010

Unsu	C	Cr	Mn	Mo	Ni	Si	V
r (%)	0,1	0,0	0,2	<0,0	0,0	0,1	0,0
	1	2	8	1	2	4	1

Tabel 6. Karakteristik Mekanik E 6010 (Ardin & Nugraha, 2018)

Tegangan yield ksi [Mpa]	UTS Ksi [Mpa]	Regangan pada 2 inc [50 mm], min, %
63 [432]	73 [504]	27

Tabel 7. Komposisi kimia elektroda E 308-16

Unsu	C	Cr	Mn	Mo
r (%)	0,05	23,5	1,65	<0,01
Unsu	S	Ni	Si	P
r (%)	0,02	12,3	0,52	0,21

Tabel 8. Karakteristik Mekanik E 308-16

Tegangan yield ksi [Mpa]	UTS Ksi [Mpa]	Regangan pada 2 inc [50 mm], min, %
66 [455]	89 [613]	44%

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan Vickers dengan standar JIS Z 2244 untuk menganalisa nilai kekerasan yang dipengaruhi oleh variasi penggunaan 2

jenis elektroda yang berbeda. Perhitungan nilai kekerasan diperoleh dengan persamaan I.

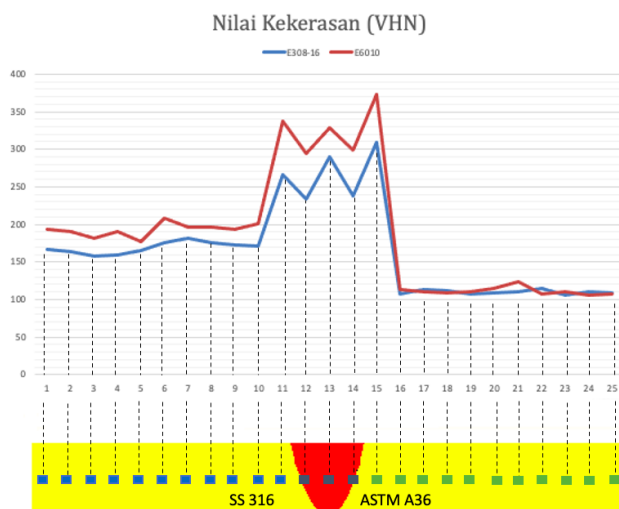
$$VHN = \frac{2P \sin(\theta/2)}{d^2} = \frac{(1,854)P}{d^2} \quad (1)$$

Dimana. P = Gaya tekan, d = diagonal indentasi (mm) dan θ besaran sudut indenter intan sebesar 136° .

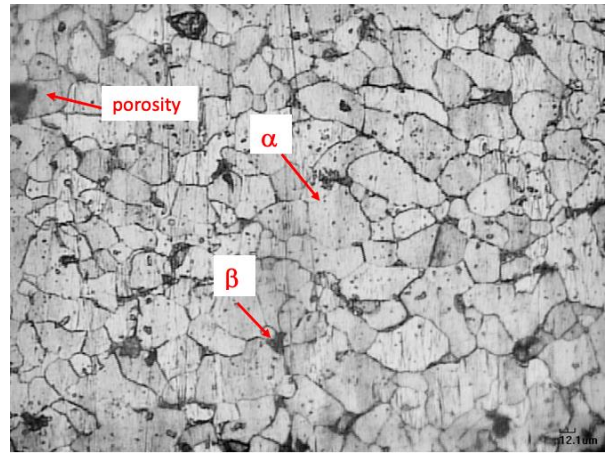
HASIL PENGUJIAN

Perhitungan nilai kekerasan ditunjukkan pada Gambar 2. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan nilai kekerasan daerah *based metal* tertinggi berada pada material SS 316 yaitu sebesar 373 VHN. Hal ini sejalan dengan Tabel 4 yang menunjukkan nilai tegangan tarik SS316 cukup tinggi bila dibandingkan dengan nilai tegangan tarik ASTM A36. Menurut (Re et al., 2019) hubungan antara nilai kekuatan tarik linear dengan nilai kekerasan pada suatu material. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada daerah HAZ disisi dekat ASTM A36 pada elektroda E 6010. Hal ini terjadi akibat adanya proses pengerasan di daerah HAZ yang diakibatkan karena adanya proses pemanasan dan pendinginan saat proses pengelasan yang berdampak pada nilai kekerasan material (Jeong et al., 2019).

Nilai kekerasan yang tinggi dikarenakan elektroda E6010 merupakan *fast freeze electrode* yang memiliki sifat penetrasi yang dalam sehingga berpengaruh dalam peningkatan sifat mekanis terutama nilai kekerasan pada produk las (Feng et al., 2022). Sedangkan Elektroda E 308-16 memiliki sifat *slow freezing* yang berpengaruh pada lamanya waktu pendinginan dan berdampak langsung pada nilai kekerasan dari produk las.



Gambar 2. Grafik Pengujian kekerasan pengelasan dissimilar metal ASTM A36 dan SS 316



(a)



(b)

Gambar 3. Logam induk (a) ASTM A36 (b) SS 136

Foto hasil pengamatan stuktur mikro pada logam induk ASTM A36 dan logam induk SS 316 ditunjukkan pada Gambar 3. Pengamatan struktur mikro untuk daerah HAZ pada pengelasan *dissimilar* metal ASTM A36 dan SS 316 menggunakan elektroda E 6010 dan E 308-16 ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5. Sedangkan pengamatan struktur mikro pada daerah las pengelasan *dissimilar* ASTM A36 dan SS 316 menggunakan 2 (dua) jenis elektroda berbeda ditunjukkan pada Gambar 6.

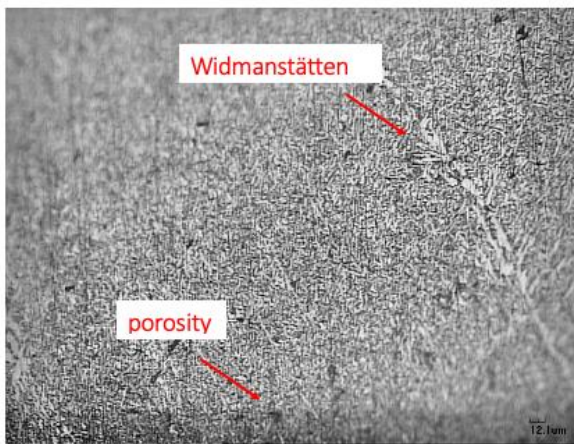


(a)



(b)

Gambar 4. Daerah HAZ elektroda E 6010 (a) ASTM A36 (b) SS 316



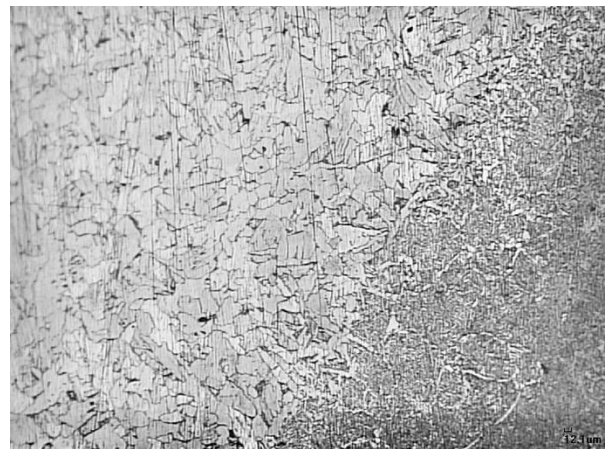
Gambar 5. Daerah las dengan elektroda E6010

Berdasarkan pengamatan struktur mikro yang telah dilakukan, terdapat kehadiran fasa ferit dan perlit pada logam induk ASTM A36. Material ini termasuk dalam kategori *mild steel* dengan persentase karbon hanya sebesar 0,17 %. Rendahnya kadar karbon berdampak pada nilai kekerasan yang lebih rendah ASTM A36 bila dibandingkan dengan nilai kekerasan logam induk SS 316 dengan kadar molybdenum yang bertindak sebagai karbida bersifat keras sebesar 2,06%.

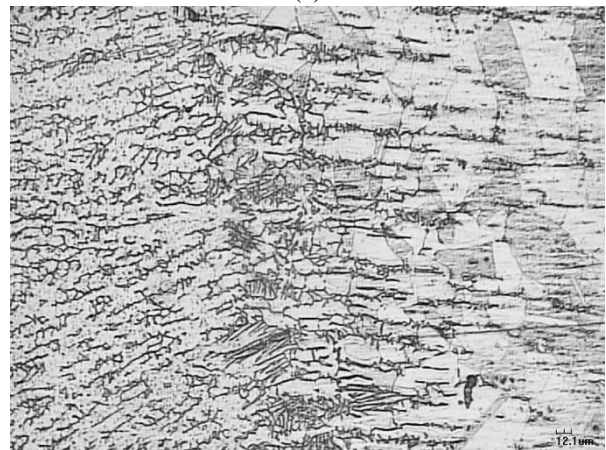
Pada daerah HAZ ASTM A36 yang ditunjukkan Gambar 4(a) terlihat kehadiran fasa *widmanstätten* karena adanya paparan panas yang tinggi. Kehadiran fasa ini bersifat meningkatkan nilai kekerasan sekaligus kerapuhan pada material (Todorov & Khristov, 2004). Hal ini dibuktikan dengan peningkatan nilai kekerasan yang cukup signifikan di daerah HAZ ASTM A36 pada produk pengelasan dissimilar metal ASTM A36 dan SS 316 menggunakan elektroda E 6010. Kehadiran fasa *widmanstätten* juga terlihat pada daerah HAZ SS 316 pada produk pengelasan dissimilar metal ASTM A36 dan SS 316 menggunakan elektroda E 6010 karena elektroda

E 6010 memiliki kandungan karbon yang cukup tinggi yaitu sebesar 0,11 %.

Terlihat adanya porositas di daerah las pada produk pengelasan *dissimilar* metal ASTM A36 dan SS 316 menggunakan elektroda E 6010 yang mengindikasikan adanya gas yang terperangkap dan tidak sempat keluar dari logam cair saat proses solidifikasi (B. Vijaya kumar et al., 2021). Fasa *widmanstätten* juga terlihat hadir memanjang di daerah las pada produk pengelasan *dissimilar* metal ASTM A36 dan SS 316 menggunakan elektroda E 6010. Jika melihat persentase kandungan kromium sebesar 0,02 % maka dapat disimpulkan bahwa Elektroda 6010 dinilai lebih cocok untuk pengelasan baja karbon dibandingkan untuk pengelasan SS 316.



(a)

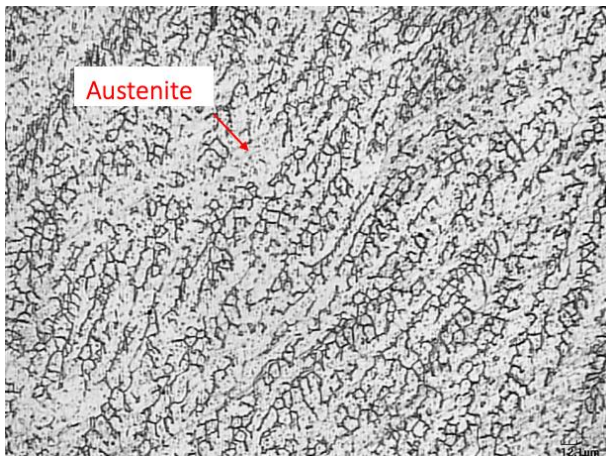


(b)

Gambar 6. Daerah HAZ elektroda E 308-16 (a) ASTM A36 (b) SS 316

Material SS 316 masuk kedalam kelas *austenitic stainless steel* yang memiliki persentase nikel dan kromium yang tinggi. Hal ini membuat material ini selain memiliki resistensi korosi yang baik tetapi juga mampu bekerja dalam temperatur tinggi (Nikulin et al., 2010). Pada daerah las dengan elektroda E 308-16 pada produk las pengelasan *dissimilar* metal ASTM A36 dan SS 316 didapatkan adanya dominasi fasa *austenite* dan ferit yang

dipengaruhi oleh persentase nilai kromium pada elektroda E 308-16 yang cukup tinggi yaitu sebesar 23,5%.



Gambar 7. Daerah las dengan elektroda E308-16

Terlihat tidak adanya indikasi retak didaerah HAZ dan bila dilihat dari Gambar 6 (b) ikatan yang terbentuk di daerah HAZ cukup baik. Korelasi antara pengamatan struktur mikro dan komposisi kimia dari E 308-16 menunjukkan bahwa elektroda ini lebih cocok untuk pengelasan stainless steel.

KESIMPULAN

Terjadi peningkatan nilai kekerasan yang sangat signifikan pada daerah HAZ yaitu sebesar 373 VHN di sisi ASTM A36 pada produk pengelasan dissimilar metal ASTM A36 dan SS316 dengan elektroda E6010 karena adanya dominasi kehadiran fasa *widmanstätten*. Berdasarkan pengamatan struktur mikro dan analisis komposisi kimia didapatkan hasil bahwa elektroda E6010 lebih cocok untuk pengelasan pada ASTM A36 sedangkan E308-16 yang memiliki kandungan nikel sebesar 23,5% lebih cocok untuk digunakan pada SS316. Terdapat kehadiran porositas di daerah las yang mengindikasikan adanya udara yang terperangkap di dalam logam cair saat proses solidifikasi

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian/publikasi artikel ini dibiayai oleh PNBPFakultas Teknik pada DIPA Badan Layanan Umum (BLU) Universitas Sriwijaya Tahun Anggaran 2023. SP DIPA-023.17.2.677515/2023 tanggal 30 November 2022". Surat Keputusan Rektor Universitas Sriwijaya nomor : 0601/UN9.FT/TU.SK/2023, tanggal 07 Juli 2023.

DAFTAR PUSTAKA

- Althouse, A. D., Turnquist, C. H., Bowditch, W. A., Bowditch, K. E., & Bowditch, M. A. (2018). *Modern Welding* (12th ed.). Goodheart-Willcox.
- Ardin, M. B., & Nugraha, A. (2018). Tensile Strength And Violent Connection Las Steel St 40 With Employing Variations Electrotechnics And Variations Of Current Vanos Journal Of Mechanical Engineering Education. *111 | VANOS Journal Of Mechanical Engineering Education*, 3(2),111–118. <http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/vanos>
- B. Vijaya kumar, R. Pranay Kumar, R. Sai Vardhan, & V. Rajeshwar Reddy. (2021). Porosity and Its Consequences on Weld Quality. *International Journal for Research in Engineering Application & Management*, 7(02), 358–360.
- Bodude, M. A., & Momohjimoh, I. (2015). Studies on Effects of Welding Parameters on the Mechanical Properties of Welded Low-Carbon Steel. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 03(03), 142–153. <https://doi.org/10.4236/jmmce.2015.33017>
- Dudeja, J. P. (2018). Analysis and Advantages of Welding Dissimilar Metals by Fiber Lasers. *IJASTEMS*, 4(8). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29042.35524>
- Feng, M., Weng, H., Yao, M., Jiang, J., Chen, C., & Lian, G. (2022). *Welding Penetration and Mechanical Properties of Welded Joints of V-shaped Surface Grooves*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1937301/v1>
- Jeong, S., Park, G., Kim, B., Moon, J., Park, S.-J., & Lee, C. (2019). Precipitation behavior and its effect on mechanical properties in weld heat-affected zone in age hardened FeMnAlC lightweight steels. *Materials Science and Engineering: A*, 742, 61–68. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2018.10.125>
- Kah, P., & Jukka Martikainen, M. S. (2013). Trends in joining dissimilar metals by welding. *Applied Mechanics and Materials*, 440, 269–276. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.440.269>
- Li, C., Qin, G., Tang, Y., Zhang, B., Lin, S., & Geng, P. (2020). Microstructures and mechanical properties of stainless steel clad plate joint with diverse filler metals. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(2), 2522–2534. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.12.083>
- Mranani, N. A., Lastianti, S. D., & Pratiwi, Y. E. (2019). Analysis of Calculation of Cost of Production Based on Orders by the Full Costing Method on the CV. Citra Karya Media. *Journal of Economy, Accounting and Management Science*, 1(1), 45–54. <http://wastu.unmerbaya.ac.id/index.php/wastu/index>
- Nikulin, I., Kaibyshev, R., & Skorobogatykh, V. (2010). High temperature properties of an austenitic stainless steel. *Journal of Physics: Conference*

Series, 240, 012071. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/240/1/012071>

- Pratama, R. G. P., Pratiwi, D. K., & Utami, N. P. E. (2022). THE EFFECT OF TIME VARIATION ON CORROSION BEHAVIOUR OF ASTM A36 IN SEAWATER FROM WEST BANGKA OF BANGKA BELITUNG ISLANDS, INDONESIA. *Journal of Mechanical Science and Engineering*, 8(2), 019–023. <https://doi.org/10.36706/jmse.v8i2.69>
- Re, N., Ocheri C, Jc, O., & Ps, N. (2019). *Empirical Relationship between Hardness and Tensile Strength for Medium Carbon Steel Quenched in Different Media*.
- Sugiarti, J., & Eka Pratiwi, Y. (2020). ANALYSIS OF THE CALCULATION OF PRODUCTION COSTS AND SELLING PRICES IN UD. BINA USAHA BAGUSARI. *Assets : Jurnal Ilmiah Ilmu Akuntansi, Keuangan Dan Pajak*, 4(2), 57. <http://ejournal.stiewidyagamalumajang.ac.id/index.php/asset>
- Todorov, R. P., & Khristov, Kh. G. (2004). Widmanstatten Structure of Carbon Steels. *Metal Science and Heat Treatment*, 46(1/2), 49–53. <https://doi.org/10.1023/B:MSAT.0000029601.58461.bd>