

EVALUASI MIKROSTRUKTUR DAN SIFAT MEKANIK HASIL PENGELASAN SMAW PADA HOLLOW ST37 UNTUK APLIKASI RANGKA OTOMOTIF

Yusuf Subagyo¹, Sendie Yulianto Margen², Sahal Ahmad Albab³, Baharudin Priwintoko⁴, Nizar Nugroho⁵, Ibnu Rosyid Al Hassany⁶, Arif Syamsudin⁷, Yuris Bahadur Wirawan⁸

^{1,2,3,7}Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang, Semarang, Indonesia.

⁴Teknologi Rekayasa Manufaktur, Akademi Inovasi Indonesia, Salatiga, Indonesia.

⁵Teknik Otomotif, Politeknik Baja Tegal, Indonesia.

⁶Teknologi Rekayasa Perancangan Manufaktur, Politeknik Manufaktur Ceper, Klaten, Indonesia.

Email: yusuf.subagyo@polines.ac.id

Abstrak

Penelitian ini menganalisis hasil pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW) pada baja karbon rendah hollow ST37, yang digunakan sebagai rangka sistem pengisian baterai. Studi ini bertujuan menilai kekerasan las, cacat, dan karakteristik mikrostruktur sambungan las. Pengujian meliputi pengukuran kekerasan Brinell, Liquid Penetrant Testing (LPT), dan foto mikro. Hasil menunjukkan kekerasan rata-rata 66,42 HB, masih dalam kisaran baja karbon rendah, mengindikasikan tidak ada pembentukan martensit yang signifikan. LPT mengidentifikasi cacat permukaan berupa porositas dan undercut. Analisis mikrostruktur menentukan total lebar pengaruh panas 5,4 mm. Zona Terpengaruh Panas (HAZ) menunjukkan pertumbuhan butir akibat efek termal, sementara zona fusi memiliki struktur yang lebih kasar dan getas. Disimpulkan bahwa parameter pengelasan yang digunakan stabil dan sesuai untuk material hollow ST37.

Kata kunci: SMAW, ST37, Brinell, Liquid Penetrant Testing, Struktur Mikro.

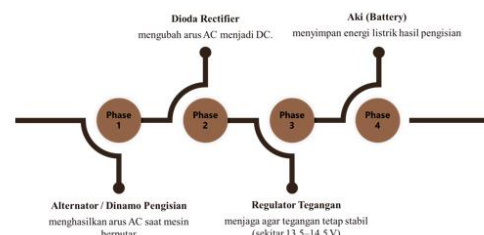
Abstrak

This research analyzes the results of Shielded Metal Arc Welding (SMAW) on ST37 hollow low carbon steel, used as a stand frame for a battery charging system. The study focused on assessing weld hardness, defects, and microstructural characteristics. Testing involved Brinell hardness measurement, Liquid Penetrant Testing (LPT), and microphotography. Results showed an average hardness of 66.42 HB, within the low carbon steel range, indicating no significant martensite formation. LPT identified porosity and undercut surface defects. Microstructural analysis determined a total heat influence width of 5.4 mm. The Heat Affected Zone (HAZ) exhibited grain growth due to thermal effects, while the fusion zone displayed a coarser, brittle structure. In conclusion, the welding parameters utilized are deemed stable and suitable for the ST37 hollow material.

Keywords: SMAW, ST37, Brinell Hardness Test, Liquid Penetrant Testing, Microstructure

I. Pendahuluan

Sistem kendaraan otomotif memerlukan *charging system* untuk mengisi atau mengecaskan aki baterai. Aki baterai tersebut digunakan untuk menyalurkan arus ke berbagai komponen listrik mobil [1]. Komponen kelistrikan sangat penting karena berfungsi sebagai alat utama pengisian mobil, kemudian memastikan bahwa semua piranti yang berhubungan dengan listrik dapat bekerja dengan baik [2]. Aki baterai merupakan komponen yang sangat penting dalam sistem kendaraan, dikarenakan proses start mesin diawali dengan arus listrik yang bersumber dari aki kendaraan [3,4].



Gambar 1. Proses *charging system* aki kendaraan

Charging system ini juga dapat difungsikan sebagai pengisian ulang aki baterai saat dilepas pada komponen mobil. Akan tetapi diperlukan sebuah *stand frame* yang dapat mempermudah proses *charging*. *Stand frame* yang dirancang biasanya menggunakan material besi hollow yang dirakit dan disambung dengan metode las.

Stand frame didesain khusus dengan material yang mampu menopang getaran dan menahan panas pada saat pengisian berlangsung [5].

Material hollow ST37 sering digunakan karena sifat duktilitas yang tinggi (mudah dibentuk tanpa retak). Material tersebut diklasifikasikan sebagai baja karbon menengah (mild steel) yang setara dengan AISI 1045, dengan komposisi kimia berupa 0,2% karbon, 0,7% mangan, 0,3% silikon, serta unsur-unsur tambahan lainnya [6]. Namun demikian, beberapa sumber juga mengelompokkan ST37 sebagai baja karbon rendah karena kadar karbonnya yang relatif rendah, yakni di bawah 0,3%. Oleh karena itu, baja ini sering disebut sebagai baja ringan (*mild steel*) atau baja perkakas [7].

Pada penelitian kali ini akan membahas mengenai hasil fabrikasi *stand frame charging system* aki baterai mobil dengan metode penyambungan las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*). Metode SMAW sering dipilih karena memiliki perlengkapan yang sederhana dan mobilitas yang tinggi [8]. Lebih ekonomis untuk produksi kecil dan struktur sederhana, kemudian fleksibel dalam penggunaannya baik di lokasi *indoor* ataupun *outdoor* [9]. Penelitian Haryadi & Arsy (2023) menunjukkan bahwa pengelasan SMAW cocok untuk besi dengan kandungan carbon rendah dan pengelasan struktur rangka [9].

Pada penelitian kali ini akan membahas kekuatan hasil pengelasan SMAW pada *stand frame charging system* aki baterai mobil dengan material hollow ST37. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kekerasan hasil pengelasan dan *defect* pada hasil pengelasan. Kemudian akan dilakukan identifikasi cacat pengelasan dari *stand frame* hollow ST37.

Penelitian yang dilakukan Wan Mohd Nazre et al. (2024) menunjukkan bahwa pada pengelasan SMAW baja karbon rendah (ST37) hubungan antara porositas, arus

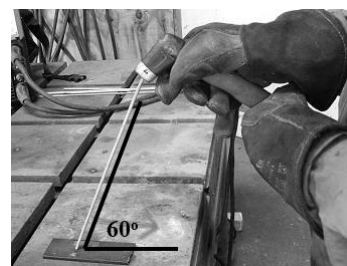
pengelasan, dan ketebalan sampel menunjukkan bahwa arus pengelasan yang lebih tinggi yang diterapkan pada sampel yang lebih tebal menghasilkan lebih sedikit cacat porositas [10]. Kemudian pada arus pengelasan tertinggi pada sampel dengan ketebalan yang lebih rendah akan menghasilkan lebih banyak cacat porositas. Penelitian Refdinal et al., (2018) menunjukkan bahwa pengelasan baja karbon rendah ST 37 menggunakan elektroda tipe RB memiliki rata-rata kuat tarik sebesar 29,86 kg/mm² dengan kuat tarik spesimen terbesar sebesar 34,51 kg/mm² dan kuat tarik spesimen terendah sebesar 25,00 kg/mm² [11].

II. Material dan Metode

Material yang digunakan adalah hollow ST37 dengan dimensi 20x40mm dan ketebalan 2mm, Material hollow ST37 memiliki mekanikal propertis seperti yang ditunjukkan pada table 1. Metode pengelasan dengan metode SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dengan sudut pengelasan 60°. Material elektroda yang digunakan adalah RB, material elektroda tersebut tepat untuk pengelasan material ST37 yang tergolong dalam mild steel [12]. Tegangan yang digunakan sebesar 100A [13]. Kekerasan material, porositas dan foto mikro adalah variable yang dicari dalam penelitian ini .

Tabel 1. *Mechanical properties* ST37

No	Elemen	Nilai
1	Carbon (C)	0,2%
2	Silikon (Si)	0,15-0,35%
3	Mangan (Mn)	0,35-0,75%
4	Fosfor (P)	0,05%
5	Sulfur (S)	0,05%
6	Nitrogen (N)	0,01%
7	Tensile Strength	360-460 Mpa
8	Yield Strength	235 Mpa
9	Elongation	35%



Gambar 2. Sudut dalam pengelasana. *Uji kekerasan Brinell*

Pengujian kekerasan brinell bertujuan untuk mengukur kekerasan suatu material terhadap bola baja (indenter) yang ditekan pada permukaan spesimen [14]. Pengujian brinell idealnya dilakukan pada material dengan permukaan kasar dengan kekuatan uji antara 500 dan 3000 kilogram. Pengujian dilakukan di UPTD Laboratorium Perindustrian LIK TAKARU Kabupaten Tegal, laboratorium uji bahan dan metrologi, jurusan Teknik Mesin. Pengujian dilakukan dengan 3 sampel yang sama, hasil akhir diambil dari rata-rata nilai pengujian.

**Gambar 3.** Alat uji brinell**Gambar 4.** Alur pengujian kekerasanb. *Uji Liquid Penestran Testing (LPT)*

Liquid penestran testing merupakan suatu metode NDT (*Non Destructive Test*) pengujian ini bertujuan untuk mengetahui secara visual cacat pengelasan [15,16]. Hasil pengujian ini tidak merusak sampel material [17,18]. Pengujian ini juga dapat mendeteksi diskontinuitas hasil pengelasan [16,19]. Sistematika pengujian ini adalah dengan menyemprotkan cairan dan terdeteksi dengan cairan yang muncul di permukaan [18]. Peralatan yang digunakan adalah cairan *penetrant*, *developer*, *cleaner*, asam sulfat, gerinda senter dan kamera. Cairan yang

digunakan adalah Magnaflux Spotcheck SKD-S2.

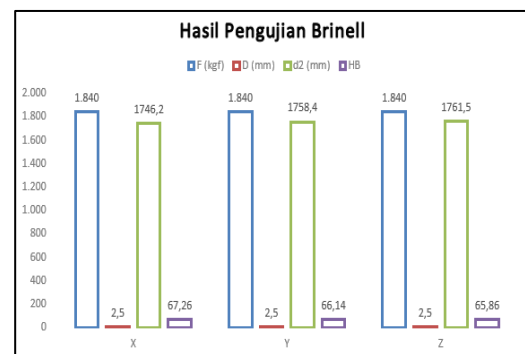
c. *Foto Mikro*

Pengujian struktur mikro dilakukan untuk mengetahui defect dan porositas pada hasil pengelasan. Sebelum pengujian, perlu diberikan perlakuan polishing dan larutan etsa pada permukaan specimen. Foto mikro dari zona pengelasan diambil menggunakan mikroskop setelah persiapan (pemotongan, pengamplasan, pemolesan dan etsa) hal ini bertujuan untuk mengevaluasi evolusi struktur mikro, ukuran butir dan distribusi fasa pada daerah logam las, *zone* terpengaruh panas (HAZ) dan logam induk. Proses foto mikro dilakukan dengan perbesaran 5x dengan etsa HCl + H₃O (1:1).

III. Hasil dan Pembahasana. *Uji kekerasan brinell*

Tabel 2 menunjukkan data hasil pengujian kekerasan brinell pada 3 sampel pengujian, nilai kekerasan HB diperoleh melalui sebuah persamaan 1.

$$HB = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \dots \dots (\text{persamaan 1})$$

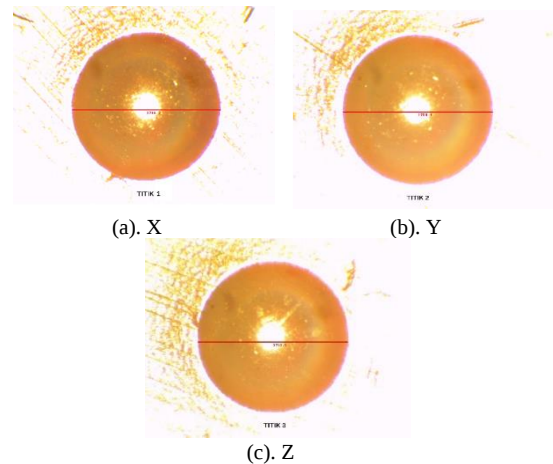
**Gambar 5.** Grafik hasil pengujian Brinell**Tabel 2.** Hasil pengujian brinell

Kode	No	F	π	D	d	HB
X	Sampel 1	1.840 kgf	3,14	2,5 mm	1746,2 mm	67,26
Y	Sampel 2	1.840 kgf	3,14	2,5 mm	1758,4 mm	66,14
Z	Sampel 3	1.840 kgf	3,14	2,5 mm	1761,5 mm	65,86
Rata-rata					1755,4 mm	66,42

Berdasarkan Tabel 2 dan Gambar 5, nilai kekerasan Brinell (HB) pada tiga sampel hasil pengelasan hollow ST37 diperoleh rata-rata sebesar 66,42 HB. Nilai kekerasan tiap sampel menunjukkan sedikit variasi, nilai tertinggi sebesar 67,26 HB, pada sampel X, dan nilai kekerasan terendah sebesar 65,86 HB pada sampel Y. Perbedaan nilai kekerasan ini relatif kecil ($<2\%$), yang mengindikasikan bahwa proses pengelasan dilakukan dengan cukup stabil dan homogen. Nilai rata-rata 66,42 HB masih berada dalam kisaran kekerasan baja karbon rendah (*low carbon steel*) seperti ST37, yang umumnya memiliki kekerasan antara 60–80 HB dalam kondisi normal tanpa perlakuan panas [20,21].

Kekerasan Brinell yang diperoleh menggambarkan kemampuan material menahan deformasi plastis akibat beban indentasi. Pada material hasil las, nilai kekerasan dipengaruhi oleh, panas masukan (*heat input*) selama pengelasan, kecepatan pendinginan dan perubahan mikrostruktur pada daerah las (*weld metal*, *HAZ*, dan *base metal*) [22].

Dalam pengelasan hollow ST37, pendinginan yang tidak terlalu cepat menyebabkan terbentuknya struktur mikro berupa *ferrite* dan *pearlite* halus. Tidak terdeteksi adanya peningkatan kekerasan signifikan menandakan tidak terjadi pembentukan *martensit* akibat pendinginan cepat hal ini ditunjukkan dengan nilai rata-rata hasil pengujian brinell sebesar 66,42 HB [22,23]. Sehingga dapat disimpulkan hasil pengelasan dengan parameter yang digunakan sangat sesuai untuk material hollow ST37 yang tergolong dalam kategori baja karbon rendah.

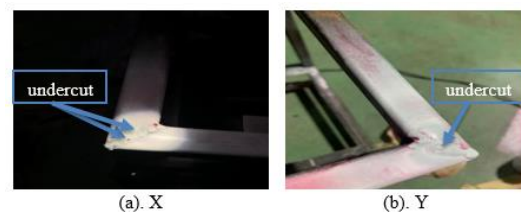


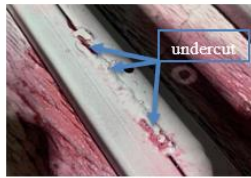
Gambar 6. Hasil pengujian kekerasan brinell

Merujuk dari persamaan 1 dan hasil perhitungan pada table 2 menunjukkan bahwa semakin besar nilai diameter jejak indenter maka semakin kecil nilai kekerasan benda. Hal ini disebabkan besarnya diameter jejak dipengaruhi oleh tingkat kekerasan material yang diuji [24]. Merujuk pada persamaan 1 nilai diameter jejak adalah faktor pembagi untuk menghitung nilai kekerasan HB. Sehingga tingkat kekerasan pengujian brinell (HB) dipengaruhi seberapa besar nilai diameter jejak.

b. Uji *Liquid Penestran Testing (LPT)*

Pengujian *liquid* penestran menggunakan cairan spray Magnaflux Spotcheck SKD-S2, tujuan pengujian ini adalah untuk melihat tipe cacat pengelasan, selain itu untuk mengetahui diskontinuitas halus pada sebuah permukaan retak, berlubang atau kebocoran [15,17]. Gambar 7 menunjukkan hasil pengujian LPT.





(c). Z

Gambar 7. Hasil pengujian LPT

Berdasarkan hasil inspeksi *liquid penetrant testing* pada ketiga sampel (Gambar 7), terdeteksi indikasi cacat las berupa *porosity* dan diskontinuitas (*undercut*) permukaan yang tampak sebagai titik-titik merah muda pada permukaan logam las. Indikasi tersebut menandakan adanya cacat terbuka ke permukaan yang berhasil diidentifikasi melalui penyebaran zat penetran dan penyerapan oleh developer.

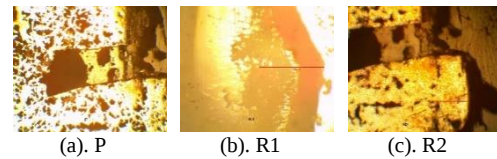
Hasil pengamatan menunjukkan bahwa sebagian besar cacat muncul di area tepi las (*toe weld*), yang mengindikasikan potensi masalah pada teknik pengelasan dan pembersihan permukaan. Cacat berbentuk bulat kecil (*porosity*) umumnya muncul akibat gas yang terperangkap dalam kolam las selama proses solidifikasi atau karena permukaan logam yang terkontaminasi minyak, karat, atau kelembapan elektroda [25].

Secara metalurgi, *porosity* yang muncul pada hasil las ST37 tidak dapat meningkatkan kekerasan, tetapi dapat menjadi titik konsentrasi tegangan (*stress concentration*) yang berpotensi menurunkan kekuatan fatigue (*fatigue strength*) dari sambungan las [26]. Pengujian LPT hanya menunjukkan lokasi dan ukuran indikasi permukaan, untuk mengetahui apakah ada *porosity* volumetrik atau ukuran internal yang signifikan, perlu pemeriksaan radiografi (RT) atau ultrasonik (UT).

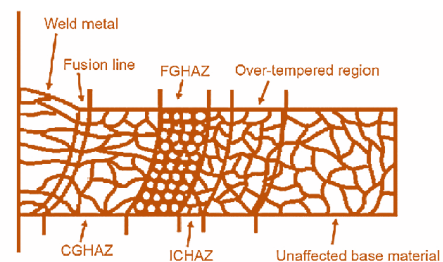
c. Hasil Foto Mikro

Foto mikro digunakan untuk menganalisa hasil pengelasan meliputi porositas, distribusi fasa pada daerah logam las dan zone terpengaruh panas

(HAZ) [27]. Gambar 8 merupakan hasil dari foto mikro.

**Gambar 8.** Hasil foto mikro

Hasil uji foto mikro menunjukkan bahwa nilai P (*Base Metal*) : 2 mm, R1 (*Heat Affected Zone / HAZ*) = 1,4 mm dan R2 (*Weld Metal / Fusion Zone*) = 2 mm. Total lebar pengaruh panas adalah 5,4 mm. Pada gambar 8 (a) menunjukkan bahwa grain baja masih seragam dan tergolong halus, dapat dikatakan area tersebut tidak mengalami transformasi termal akibat proses pengelasan sehingga kekuatan material pada area ini sama dengan kekuatan material awal. Hal ini sesuai dengan beberapa penelitian yang menyebutkan bahwa proses pengelasan pada baja karbon rendah tidak mempengaruhi banyak pada pertumbuhan butir atau fasa baru pada temperature rendah. Umumnya pada baja karbon rendah terjadi fasa *ferrite* atau *pearlite*, namun tidak sampai *austenite* [28].

**Gambar 9.** Efek pengelasan terhadap struktur mikro material

Zona R1 merupakan area yang sangat terpengaruh saat proses pengelasan, hal tersebut dapat dilihat adanya perubahan ukuran butir (*grain coarsening*) material ST37. Warna dan tekstur terlihat terang dan kasar, dimana hal tersebut dapat menandakan terjadinya transformasi fasa akibat efek termal proses pengelasan. Fasa yang

terbentuk bias *ferrite* atau *pearlite* sesuai dengan ukuran butir struktur material. Hasil itu sesuai dengan penelitian Boumerzoug et al. (2010) yang menunjukkan bahwa proses pengelasan mendorong terjadinya perubahan fasa material karena faktor temperature saat proses pengelasan [29].

Lebar HAZ yang terbentuk sepanjang 1,4 mm tergolong cukup sempit, menunjukkan bahwa perubahan struktur material akibat termal pengelasan tidak begitu besar. Namun perubahan fasa yang tergolong sempit ini tetap merubah sifat kekuatan material yang semakin keras tapi keuletan berkurang [29, 30]. Area ini juga berpotensi menjadi lokasi kritis terhadap beban yang menyebabkan retak atau kerusakan material.

Area R2 (*Weld Metal / Fusion Zone*) sebesar 2 mm, lebar 2 mm menunjukkan fusi cukup baik, namun perlu pemeriksaan retak mikro untuk memastikan adanya cacat pada batas sambungan. Zona R2 (*fusion zone / line*) merupakan zona terdekat pada proses pengelasan (*fililer*) bila merujuk gambar 9. Pada zona R2 logam dasar dan logam las melebur dan membentuk struktur baru hasil solidifikasi. Pembentukan struktur baru ini dapat meningkatkan kekerasan pada zona R2, akan tetapi zona ini relatif getas (*low toughness*), sehingga mudah menjadi lokasi awal retak jika beban dinamis diberikan [31, 32].

Pada pengujian foto mikro ini masih diperlukan foto mikro dengan perbesaran yang lebih tinggi guna identifikasi perubahan fasa dan pengamatan porositas yang terjadi pada material ST37.

IV. Kesimpulan

Pengelasan menggunakan metode SMAW pada material hollow ST37

menghasilkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 66,42 HB, yang menunjukkan bahwa material masih berada pada kisaran kekerasan baja karbon rendah dan tidak mengalami pembentukan martensit. Hasil pengujian *Liquid Penetrant Testing* (LPT) menunjukkan adanya cacat permukaan berupa *porosity* dan *undercut* yang sebagian besar muncul pada area tepi las (*toe weld*), menandakan perlunya peningkatan teknik pengelasan dan pembersihan permukaan sebelum pengelasan.

Analisis foto mikro memperlihatkan pembagian zona mikrostruktur dengan lebar $P = 2$ mm (*base metal*), $R1 = 1,4$ mm (HAZ), dan $R2 = 2$ mm (*fusion zone*). Zona HAZ menunjukkan perubahan ukuran butir (*grain coarsening*), sedangkan zona R2 memperlihatkan struktur hasil fusi dengan tekstur lebih kasar dan getas. Total lebar daerah terpengaruh panas sebesar 5,4 mm menunjukkan input panas yang moderat dan proses pengelasan yang stabil. Berdasarkan hasil pengujian kekerasan, LPT, dan foto mikro, dapat disimpulkan bahwa parameter pengelasan yang digunakan sesuai untuk material hollow ST37 dan menghasilkan sambungan dengan kualitas cukup baik, meskipun masih perlu evaluasi lanjutan terhadap cacat mikro dan ketangguhan area las.

Daftar Pustaka:

- [1] Welim, Y. Y., T.W., W., & Firmansyah, R. (2015). Pengembangan Sistem Informasi Service Kendaraan Pada Bengkel Kfmp. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 6(1), 17. <https://doi.org/10.24176/simet.v6i1.232>
- [2] Meissner, E., & Richter, G. (2003). Battery Monitoring and Electrical Energy Management precondition for future vehicle electric power systems. *Journal of Power Sources*, 116(1–2), 79–98. [https://doi.org/10.1016/S0378-7753\(02\)00713-9](https://doi.org/10.1016/S0378-7753(02)00713-9)
- [3] Nadal, M., & Barbir, F. (1996).

- Development of a hybrid fuel cell/battery powered electric vehicle. *International Journal of Hydrogen Energy*, 21(6), 497–505. [https://doi.org/10.1016/0360-3199\(95\)00102-6](https://doi.org/10.1016/0360-3199(95)00102-6)
- [4] Zhuravsky, B. V., Zanin, A. V., & Kvasov, I. N. (2020). Simulation of the electric starter system of the internal combustion engine start-up to study the impact on its operation of the pre-start battery discharge. *Journal of Physics: Conference Series*, 1441(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1441/1/012030>
- [5] Muresanu, A. D., Dulescu, M. C., & Tica, D. (2024). Study on the Crashworthiness of a Battery Frame Design for an Electric Vehicle Using FEM. *World Electric Vehicle Journal*, 15(11), 534. <https://doi.org/10.3390/wvj15110534>
- [6] Wildiy, Y. A., & Istiqlaliyah, H. (2025). Analisis Faktor Keamanan Rangka Mesin Chopper Bertenaga Diesel Kapasitas Produksi 60 Kg / Menit. *Prosding SEMNAS INOTEK*, 9, 697–703.
- [7] Insani, M. N. (2019). ANALISIS STRUKTUR MICRO MATERIAL BAJA KARBON RENDAH (ST 37) SNI AKIBAT PROSES BENDING Melati. *St 37*.
- [8] Rusnaldy, Arianto, & Paryanto, P. (2021). Inspeksi Kualitas Hasil Las Proses Pengelasan SMAW dengan Menggunakan Jig Sebagai Alat Bantu. *Rotasi*, 23(2), 43–49.
- [9] Haryadi, S., & Arsy, S. (2023). Studi Kelayakan Proses Pengelasan Smaw Dan Fcaw Di Pt . Dok Jmi Semarang. 2(2).
- [10] Wan Mohd Nazre, W. M. H., M Amin, S. Y., Kamisan, M. N. F., & Mohd Rizal, M. S. K. (2024). Porosity Scale Evaluation of Shielded Metal Arc Welding (SMAW) Specimen using Dye Penetrant Testing. *Journal of Advanced Mechanical Engineering Applications*, 5(2). <https://doi.org/10.30880/jamea.2024.05.02.001>
- [11] Refdinal, R., Ramli, R., & Andesko, R. (2018). Differences Strength of Low Carbon Stainless Steel St 37 with Electrical Welding Compound V Use Materials Add Electrode of Type-RB and Type -RD. *Teknomekanik*, 1(1), 12-17.
- [12] Ubaidillah, A., Rosadi, M. M., Pramitasari, R. E., & Hadi, F. S. (2024). Pengaruh Variasi Elektroda dan Media Pendingin Terhadap Uji Tarik Pada Baja ST37 Menggunakan Las SMAW. *Jurnal Multidisiplin Ilmu Akademik*, 1(6), 112–117.
- [13] Qulfaj, A., Rizki, M. N., Islami, N., & Isra, M. (2025). Analysis of the Mechanical Properties of SMAW Welded Joints on ST 37 Plate Material after PWHT as a Case Study in Welding Engineering Education. 6(2), 991–999.
- [14] Irvani, P., Putra, H. S., & Akuan, A. (2024). Perancangan Dan Pembuatan Alat Uji Keras Pin Brinell Portabel ASTM E10 Serta Percobaan Pengujian Kekerasan Pelat Baja SS400. 4(3), 88–95.
- [15] Jl, A., Rahman, A., No, H., Ngasem, K., & Sukolilo, K. (2025). PADA POROS PROPELLER KAPAL DENGAN MENGGUNAKAN METODE NDT (NON DESTRUCTIVE TESTING) PADA KAPAL TB . GROGOL 02. 25, 285–300. <https://doi.org/10.33556/jstm>
- [16] Umam, S., & Industri, F. T. (2018). DENGAN VARIASI PENDINGINAN OLI DAN UDARA PADA MATERIAL ASTM A36 DENGAN PENGUJIAN NDT (NON DESTRUCTIVE TEST). 14, 131–138.
- [17] Arista, A. (2018). IDENTIFIKASI FAKTOR PENYEBAB KERETAKAN PADA PLATFORM MODULE (H-BEAM) MENGGUNAKAN METODE NDT (NON DESTRUCTIVE TEST) DI PT MULTI GUNUNG MAS BATAM *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*. 4(1), 40–49.
- [18] Pambudi, F., Athallah, H., Abizar, H.,

- Vokasional, P., Mesin, T., Sultan, U., & Tirtayasa, A. (2022). *ANALISIS PENGUJIAN NON DESTRUCTIVE TEST TERHADAP HASIL CACAT LAS SMAW MENGGUNAKAN METODE VISUAL TEST*. 1(1), 23–32.
- [19] Alwahidi, M. N., F. S. N., & Afrizal, B. (2025). *Review Pengujian Pengelasan Metode Non-Destructive Test*. 2(1), 30–42.
- [20] Nugroho, D. P., & Setiawan, A. (2020). Pengaruh Arus Pengelasan terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro pada Sambungan Baja Karbon Rendah ST37 Menggunakan Elektroda E6013. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 2(15), 87–94.
- [21] Tambing, E., Pagasis, T., Ranteallo, O. T., Mangallo, D., Siregar, S. P., & Agustinus, A. (2024). Analisis Pengaruh Arus Listrik dan Elektroda Terhadap Kekuatan dan Kekerasan pada Proses Pengelasan SMAW Baja Karbon Rendah. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 8(2), 878–886. <https://doi.org/10.33379/gtech.v8i2.4070>
- [22] Mini, M., Hutahaean, R., & Kambu, A. (2019). Analisa Kekerasan Dan Struktur Mikro Pada Proses Pengelasan Baja Tahan Karat Aisi 304 (Stainles Steel) Dengan Variasi Media *Jurnal Teknik Mesin*, 304. <https://ojs.ustj.ac.id/mesin/article/view/648>
- [23] Toni Okviyanto, Dibyo Setiawan, Gugun Nugraha, Sutrimo, D. M. (2023). ANALISIS STRUKTUR MIKRO TERHADAP HASIL EKPERIMENTAL SAMBUNGAN LAS SMAW PADA BAJA KARBON ST 37. *MACHINERY JURNAL TEKNOLOGI TERAPAN*, 4(2), 82–90.
- [24] Nemes, R. (2021). *Static Hardness Testing of Cement Mortars Containing Different Types of Recycled Construction Waste Powders*. 331–340.
- [25] Garcia-Guerrero, J. C., Curiel-López, F. F., López-Morelos, V. H., Taha-Tijerina, J. J., Sánchez-Cruz, T. J., Ramirez-Lopez, M. del C., Cortes-Carillo, E., & Quinones-Salinas, M. A. (2024). Impact of Welding Parameters in the Porosity of a Dissimilar Welded Lap Joint of CP800-XPf1000 Steel Weldment by GMAW-P. *Metals*, 14(3), 309. <https://doi.org/10.3390/met14030309>
- [26] Chandra, P. A. (2013). *Pengaruh tegangan listrik dan waktu pengelasan terhadap karakteristik fisik dan mekanik sambungan las*.
- [27] Irelin, A., Remon, S., Shaleh, M. A., Bahiy, O. K., & Alfin, M. (2024). *VARIASI KAMPUH TERHADAP UJI TARIK DAN STRUKTUR MIKRO PADA BAJA SS 304*. 172–178.
- [28] Aladenika, A. K. (2024). *Microstructural and Mechanical Properties of Heat-Treated Low Carbon Steel Welded with Varied Joint Designs*. 5(2), 116–135.
- [29] Boumerzoug, Z., Derfouf, C., & Thierry Baudin. (2010). *Effect of Welding on Microstructure and Mechanical Properties of an Industrial Low Carbon Steel*. 2010(July), 502–506. <https://doi.org/10.4236/eng.2010.27066>
- [30] Tadavi, T., Jogi, B., Dhende, S., Banait, S., & Wagh, P. (2017). *Microscopic Analysis of Heat Affected Zone (HAZ) of Submerged Arc Welding (SAW) Joint for 1018 Mild Steel Sheet*. 137, 194–199.
- [31] Balasubramanian, V. V. V, Vijay, S. M., & Shweta, P. (2020). Establishing relationship between fusion zone hardness and grain size of gas tungsten constricted arc welded thin sheets of titanium alloy. *SN Applied Sciences*, 2(1), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1844-y>
- [32] Ilić, A., Miletić, I., Nikolić, R. R., Marjanović, V., Ulewicz, R., & Stojanović, B. (2020). *applied*

*sciences Analysis of Influence of the
Welding Procedure on Impact
Toughness of Welded Joints of the.*