

ANALISA PENGARUH POLARITAS TERHADAP KEKUATAN TARIK SAMBUNGAN PENGELASAN KAMPUH V DENGAN VARIASI ELEKTRODA PADA MATERIAL BAJA ASTM A36

Kholiq Febriansyah¹, Anis Siti Nurrohkayati^{2*}, Agus Mujiyanto³

Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur Jalan. Ir. H. Juanda No 15, Samarinda 75124.

*Email: asn826@umkt.ac.id

Abstrak

Proses pengelasan saat ini sangat banyak dibutuhkan dan masih menjadi suatu pilihan utama dalam proses penyambungan logam. Pengelasan banyak dibutuhkan pada bidang industri yang sampai saat ini semakin maju. Maka dari itu penelitian ini dilakukan untuk menguji seberapa berpengaruh elektroda, polaritas dan arus pengelasan terhadap tegangan dan juga regangan pada pengujian tarik pada material baja ASTM A36 dengan variasi elektroda E7016 dan E6013. Metode yang digunakan adalah metode eksperimen dimana dilakukan variasi elektroda menggunakan pengelasan SMAW material baja ASTM A36, untuk posisi pengelasan menggunakan 1G pengelasan ini dikenal juga dengan posisi datar, pengelasan ini adalah pengelasan yang paling sederhana dan nyaman digunakan. Posisi benda kerja diletakkan secara horizontal dan untuk dimensinya menggunakan kampuh V. Pada penelitian ini pembuatan spesimen benda uji mengikuti standar ASTM E8, Proses pengelasan spesimen menggunakan elektroda E6013 dengan polaritas (DC+) memiliki tegangan tarik dengan perolehan rata-rata yang paling tinggi yaitu sebesar 530,76 MPa, dibandingkan dengan menggunakan elektroda E7016 dengan polaritas yang sama (DC+) dan arus yang sama juga 95 A hanya memperoleh 515,14 MPa. Sedangkan untuk polaritas (DC-) dengan arus yang sama 95 A, untuk elektroda E6013 hanya memperoleh 461,61 MPa sedangkan elektroda E7016 memperoleh 472,61 MPa. Sedangkan proses pengelasan spesimen menggunakan elektroda E7016 dengan polaritas (DC+) dan arus 95 A memiliki regangan tarik dengan perolehan rata-rata yang paling tinggi yaitu sebesar 6,25%. Sedangkan untuk elektroda E6013 dengan polaritas dan arus yang sama memperoleh nilai regangan tarik sebesar 5,71 %. Untuk polaritas (DC-) dengan arus yang sama 95 A, pada elektroda E7016 memiliki regangan tarik sebesar 4,67% dan elektroda E6013 regangan tarik sebesar 5,63%.

Kata kunci: elektroda, polaritas, Baja ASTM A36, Pengelasan SMAW, uji tarik.

1. PENDAHULUAN

Proses pengelasan saat ini sangat banyak dibutuhkan dan masih menjadi suatu pilihan utama dalam proses penyambungan logam. Pengelasan banyak dibutuhkan pada bidang industri yang sampai saat ini semakin maju meliputi otomotif, *aerospace*, pipa saluran, struktur bangunan, kebutuhannya akan rekayasa dan juga pemeliharaan pada logam. Pada zaman modern, pengelasan banyak diperlukan pada bidang permesinan, baja, serta pada pembuatan kapal (Rienaldy Eka Hartanto dkk, 2020). Pengelasan SMAW (*Shield Metal Arc Welding*) proses pengelasan yang menggunakan elektroda yang berlapis yang dilelehkan untuk menghasilkan sambungan logam (Bahdin dkk, 2021).

Seperti yang diketahui bersama pengelasan (*welding*) adalah suatu teknik penyambungan logam baja untuk menggabungkan dua atau lebih logam baja supaya menjadi satu dengan pemberian energi panas (Zakki, dkk 2023). Seiring dengan kemajuan zaman di bidang konstruksi baja, perlu adanya dukungan teknologi yang dapat menunjang dan memadai, dan untuk memperbaiki kualitas dari konstruksi baja tersebut (Rizki Wahyudi dkk, 2019). Hal ini tidak dapat dipisahkan dari proses pengelasan, karena pada sektor industri, konstruksi pada baja ini banyak menggunakan proses pengelasan dalam menghasilkan suatu produk. Luas penggunaan proses penyambungan dengan pengelasan karena biaya yang murah, proses yang relatif lebih cepat, ringan, dan bentuk konstruksi yang lebih variatif (Dony Perdana dkk, 2015).

Mesin las SMAW (*Shield Metal Arc Welding*) merupakan salah satu jenis mesin las yang paling umum digunakan dalam industri pengelasan. Mesin las SMAW ini menggunakan elektroda yang dilapisi dengan bahan yang dilelehkan sebagai sumber logam penyambung, yang dimana ketika arus listrik melewati elektroda, lapisan pelindung dilelehkan dan membentuk lapisan gas yang melindungi

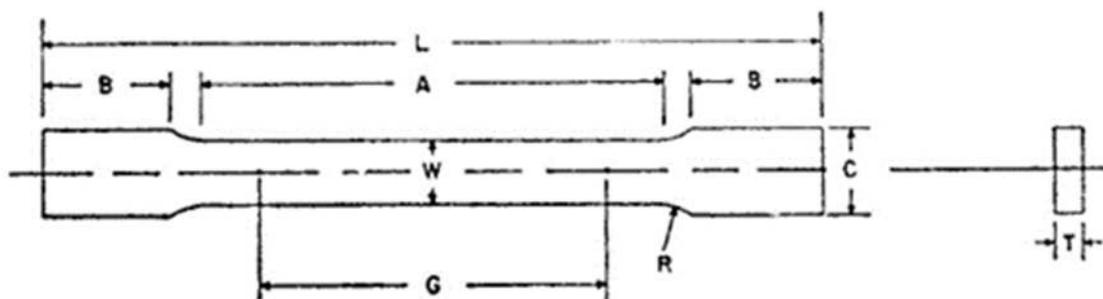
daerah pengelasan dari kontaminasi atmosfer (Alexander Sebayang dkk, 2021). Penelitian ini menggunakan baja karbon ASTM A36, baja karbon ASTM A36 adalah salah satu spesifikasi baja karbon yang paling umum digunakan di dunia industri, contoh baja ASTM A36 yang dimana merupakan baja karbon rendah dengan kadar karbon kurang dari 0,3%, baja ASTM A36 ini biasanya digunakan untuk pembuatan konstruksi kapal terutama pada lambung kapal (Manalu dkk, 2022). Baja ASTM A36 sering digunakan untuk rangka konstruksi karena mempunyai sifat yang mudah untuk dibentuk, termasuk rangka konstruksi pada kapal, maka dari itu baja ini biasa digunakan pada konstruksi lambung kapal (Dikwan dkk, 2019).

Logam baja karbon dalam penelitian ini adalah jenis baja yang terkandung karbon yang relatif lebih rendah. Karbon adalah unsur penting dalam baja karena meningkatkan kekerasan dan kekuatan material, tetapi terlalu banyak karbon dapat menyebabkan baja menjadi rapuh dan sulit untuk dibentuk (Arifin dkk, 2017). Baja karbon juga memiliki kekuatan yang cukup untuk digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti konstruksi bangunan, otomotif, dan lain sebagainya (Hari dkk, 2023). Baja karbon juga merupakan suatu jenis logam yang paling banyak digunakan pada berbagai bidang contohnya pada bidang teknik yang dimana digunakan untuk keperluan industri pengelasan. Pemakaian jenis logam ini tidak terlepas dari sifat-sifat yang dimiliki diantaranya mudah diperoleh di pasaran, mudah dibentuk, harganya yang relatif lebih murah dan kualitas pengelasan dengan logam ini cukup baik tergantung pada beberapa faktor (Jaenal dkk, 2017).

Oleh sebab itu penelitian ini dibuat untuk mengetahui seberapa kuat tegangan dan juga regangan yang dihasilkan pada spesimen uji tarik yang menggunakan elektroda E7016 dan E6013 dengan dua pengaruh polaritas, terhadap hasil kekuatan dari material baja ASTM A36 variasi elektroda. Metode yang digunakan adalah metode eksperimen dimana dilakukan variasi elektroda menggunakan pengelasan SMAW pada material baja ASTM A36, dengan posisi pengelasan 1G pengelasan ini dikenal juga dengan posisi datar, pengelasan ini adalah pengelasan yang paling sederhana dan nyaman digunakan. Posisi benda kerja diletakkan secara horizontal dan untuk dimensinya menggunakan kampuh V.

2. METODOLOGI

Metode yang digunakan adalah metode eksperimen dimana dilakukan variasi elektroda menggunakan pengelasan SMAW material baja ASTM A36, dengan posisi pengelasan 1G, dengan dimensi kampuh V. Adapun beberapa variabel yang digunakan yang pertama ada variabel independen yaitu polaritas (DC+ dan DC-) dan jenis elektroda (E7016 dan E6013). Kedua ada variabel dependen yaitu Kekuatan tarik maksimum tegangan dan regangan, variabel diukur dan dianalisis untuk menilai seberapa kuat sambungan pengelasan dengan dua elektroda dan arus pengelasan yang berbeda. Dengan proses pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*). Dan yang ke tiga ada variabel kontrol yaitu Material plat baja ASTM A36 dengan ketebalan 5 mm, Dimensi spesimen, proses pengelasan menggunakan elektroda E7016 dan E6013, parameter pengelasan, operator pengelasan dilakukan oleh orang yang sudah berpengalaman di BLKI bidang pengelasan dan posisi pengelasan (1G), dan pembuatan spesimen benda uji standar ASTM E8. Pada penelitian ini pembuatan spesimen benda uji mengikuti standar ASTM E8 (Rizki Wahyudi dkk 2019) seperti terlihat pada gambar 1 dan tabel 1.



Gambar 1 Standar ASTM E8 (Leo Van Gunawan dkk 2024).

Tabel 1 Dimensi bahan uji tarik spesimen ASTM E8

Kode	Keterangan	nilai
G	Panjang Pengukur	50 mm
W	Lebar	14 mm
T	Ketebalan	5 mm
R	Jari-jari	12,5 mm
L	Panjang Keseluruhan	190 mm
A	Panjang Bagian Pengukur	57 mm
B	Panjang Bagian Peregangan	50 mm
C	Lebar Bagian Peregangan	30 mm

Tegangan tarik maksimum dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Leo Van Gunawan dkk 2024).

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (1)$$

Simbol σ menyatakan tegangan tarik maksimum yang diukur dalam satuan mega Pascal (MPa). Tegangan ini diperoleh dengan membagi beban tarik (F) yang diberikan pada spesimen, diukur dalam satuan newton (N), dengan luas penampang awal spesimen (A_0) yang diukur dalam satuan milimeter persegi (mm^2). Sementara itu, untuk mencari regangan maksimum, dapat digunakan persamaan yang telah disampaikan oleh Leo Van Gunawan dkk pada tahun 2024.

$$e = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (2)$$

$$e = \frac{L_i - L_0}{L_0} \times 100\%$$

Simbol e menyatakan regangan yang dinyatakan dalam persentase (%). Regangan ini dihitung berdasarkan perubahan panjang spesimen, yaitu selisih antara panjang setelah patahan (L_i) dan panjang awal sebelum patahan (L_0), dengan L_0 diukur dalam milimeter (mm).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengambilan data dilakukan di dua tempat yang berbeda. Untuk pembuatan spesimen uji tarik dan pengelasan dilakukan di BLKI Bontang Lestari pada tanggal 6-9 Mei 2024, dan untuk pengujian tarik dan pengambilan data dengan mesin uji tarik dilaksanakan pada tanggal 21 Mei sampai 13 Juni 2024 di laboratorium Teknik Mesin Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur yang berada di kota Samarinda.

Pada gambar 2,3, dan 4 menampilkan spesimen plat baja ASTM A36 yang sudah dilakukan proses pengelasan, pemotongan pembuatan spesimen dan setelah dilakukan pengujian tarik.



Gambar 2 Hasil pengelasan pada baja



Gambar 3 Pembuatan spesimen setelah dilas



Gambar 4 Spesimen yang sudah diuji tarik

Pada gambar 2,3 dan 4, pengelasan dilakukan oleh orang yang sudah berpengalaman pada bidang pengelasan. Pada penelitian ini hanya menggunakan 2 elektroda yaitu E7016 dan E6013, dengan 2 polaritas DC+ dan DC-, dengan arus 95 A. dan selanjutnya dilakukan pengujian tarik untuk mendapatkan hasil rata-rata dari tegangan (MPa) dan juga regangan (%). Pada penelitian yang dilakukan didapatkan hasil dan data dari pengujian tarik yang dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2 Data Hasil Pengujian Tarik

NO	Spesimen	Lebar (mm)	Tebal Plat (mm)	Pmax (KN)	ΔL (mm)	Tegangan (MPa)	Regangan (%)
1	E7016 (DC+)	14	5	39.39	12,2	562,71	6,42
2	E7016 (DC+)	14	5	39.39	12,2	562,71	6,42
3	E7016 (DC+)	14	5	29.40	11,2	420	5,9
	Rata-Rata					515,14	6,25
1	E7016 (DC-)	14	5	32.10	10,6	458,57	5,58
2	E7016 (DC-)	14	5	39.16	9	559,42	4,74
3	E7016 (DC-)	14	5	27.99	7	399,85	3,68
	Rata-Rata					472,61	4,67
1	E6013 (DC+)	14	5	34.88	10	498,28	5,26
2	E6013 (DC+)	14	5	34.88	10	498,28	5,26
3	E6013 (DC+)	14	5	41.70	12,55	595,71	6,61
	Rata-Rata					530,76	5,71
1	E6013 (DC-)	14	5	32.44	13	463,42	6,84
2	E6013 (DC-)	14	5	31.89	11,9	455,57	6,26
3	E6013 (DC-)	14	5	32.61	7,2	465,85	3,8
	Rata-Rata					461,61	5,63



Gambar 5 Diagram rata-rata Tegangan

Gambar 6 Diagram regangan

Pada tabel 2 menunjukkan data hasil rata-rata pengujian tarik spesimen menggunakan mesin uji tarik, untuk Elektroda yang digunakan ada 2 jenis yaitu E7016 dan E6013, polaritas DC+ dan DC, dengan lebar spesimen uji 14 mm dan tebal plat 5mm dengan arus yang sama 95 A, dimana pada percobaan pertama melakukan pengujian pengelasan kampuh V dengan menggunakan elektroda E7016 dengan polaritas (DC+) dan arus 95 A dari 3 uji tarik diperoleh rata-rata tegangan 515,14 MPa dan mengalami regangan sebesar 6,25%. pada percobaan ke 2 menggunakan elektroda yang sama E7016 dengan polaritas yang berbeda (DC-) dengan arus yang sama juga 95 A dari 3 pengujian tarik diperoleh nilai rata-rata tegangan tarik sebesar 472,61 MPa dan mengalami regangan sebesar 4,67 %. Pada percobaan ke 3 menggunakan elektroda yang berbeda E6013 dengan polaritas (DC+) dan arus 95 A, dari 3 uji tarik diperoleh rata-rata tegangan tarik 530,76 MPa dan mengalami regangan sebesar 5,71 %. Pada percobaan ke 4 menggunakan elektroda yang sama E6013 dengan polaritas yang berbeda (DC-) dengan arus yang sama 95 A dari 3 pengujian tarik diperoleh nilai rata-rata tegangan tarik sebesar 461,61 MPa dan mengalami regangan sebesar 5,63 %.

Dapat dilihat karakteristik dan penetrasi dari elektroda E7016 DC+ dapat menghasilkan pengelasan dengan kekuatan yang tinggi dan regangan yang cukup baik, sementara pada elektroda E7016 DC- menghasilkan penetrasi yang lebih dangkal, sehingga kekuatan pengelasan menurun dibandingkan dengan polaritas DC+. Untuk karakteristik E7016 tetap memberikan kekuatan yang baik, hanya saja lebih rendah dari pada penggunaan DC+. Meskipun elektroda E6013 biasanya memiliki penetrasi yang lebih dangkal, dengan menggunakan polaritas DC+ membantu meningkatkan penetrasi dan juga kekuatan las, juga menghasilkan tegangan tarik yang lebih tinggi dengan regangan yang baik. Pada polaritas DC- elektroda E6013 ini menghasilkan penetrasi yang lebih dangkal dan kekuatan tarik las yang lebih rendah dibandingkan dengan polaritas DC+. Namun, untuk regangan yang dihasilkan tetap cukup baik karena sifat elektroda E6013 cenderung menghasilkan las yang lunak dan juga fleksibel.

Pengaruh jenis elektroda terhadap tegangan tarik dan regangan pada penelitian ini adalah sebagai berikut, polaritas DC+ dimana tegangan tarik rata-rata untuk elektroda E7016 adalah 515,14 MPa, sedangkan untuk E6013 adalah 530,76 MPa. Ini menunjukkan bahwa elektroda E6013 dengan polaritas DC+ menghasilkan tegangan tarik yang lebih tinggi sebesar 15,62 MPa dibandingkan dengan E7016.

Untuk regangan elektroda E7016 adalah 6,25%, sedangkan untuk E6013 adalah 5,71%. Ini membuktikan bahwa elektroda E7016 dengan polaritas DC+ menghasilkan regangan yang lebih tinggi dibandingkan yang lain. Polaritas DC- dimana tegangan tarik rata-rata untuk elektroda E7016 adalah 472,61 MPa, sedangkan untuk E6013 adalah 461,61 MPa. Ini menunjukkan bahwa elektroda E7016 dengan polaritas DC- menghasilkan tegangan tarik yang lebih tinggi sebesar 11 MPa dibandingkan dengan elektroda E6013. Untuk regangan elektroda E7016 adalah 4,67%, sedangkan untuk E6013 adalah 5,63%. Ini menunjukkan bahwa elektroda E6013 dengan polaritas DC- menghasilkan regangan yang lebih tinggi.

Sedangkan Pengaruh polaritas terhadap tegangan tarik dan regangan pada elektroda E7016, DC+ dan DC-, dimana tegangan tarik dengan polaritas DC+ adalah 515,14 MPa, sedangkan dengan polaritas DC- adalah 472,61 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan polaritas DC+ meningkatkan kekuatan tarik sebesar 42,53 MPa. Sedangkan untuk regangan dengan polaritas DC+ adalah 6,25% sementara dengan polaritas DC- adalah 4,67%. Dari data yang didapat menunjukkan bahwa polaritas DC+ menghasilkan regangan yang lebih tinggi dibandingkan DC- untuk elektroda E6013, DC+ dan DC- dimana tegangan tarik dengan polaritas DC+ adalah 530,76 MPa, sedangkan dengan polaritas DC- adalah 461,61 MPa. Ini menunjukkan bahwa penggunaan polaritas DC+ meningkatkan kekuatan tarik sebesar 69,15 MPa. Regangan dengan polaritas DC+ adalah 5,71% sementara dengan polaritas DC- adalah 5,63%. Dapat dilihat bahwa polaritas DC+ menghasilkan regangan yang lebih sedikit dibandingkan dengan DC-.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan diatas dapat diambil kesimpulan secara keseluruhan, penggunaan polaritas DC+ pada kedua elektroda yang digunakan E7016 dan E6013 menghasilkan penetrasi yang lebih dalam dan kekuatan las yang lebih tinggi dibandingkan dengan polaritas DC-, akan tetapi tetap memberikan regangan yang baik terutama pada elektroda E6013 yang sifatnya lebih lunak dan fleksibel.

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan juga dapat disimpulkan pada penggunaan elektroda E6013 (DC+) memiliki kekuatan tegangan tarik yang paling tinggi dibandingkan dengan elektroda lainnya. Sedangkan untuk regangan tarik elektroda E7016 (DC+) memiliki regangan tarik yang paling tinggi dibandingkan dengan elektroda lainnya.

Untuk kesesuaian pada aplikasi tertentu elektroda dan polaritas, pada aplikasi yang memerlukan kekuatan tarik tinggi, penggunaan elektroda E6013 dengan polaritas DC+ lebih disarankan, untuk yang memerlukan kombinasi kekuatan tarik dan regangan yang seimbang, penggunaan elektroda E7016 dengan polaritas DC+ merupakan pilihan yang disarankan.

Untuk pengaruh arus las, menggunakan arus yang sama pada semua percobaan yaitu 95 A. sehingga perbedaan dari hasil pengujian ini banyak disebabkan oleh jenis elektroda dan polaritas yang digunakan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, J., Purwanto, H., & Syafa'at, I. (2017). Pengaruh Jenis Elektroda Terhadap Sifat Mekanik Hasil Pengelasan. *Momentum*, 13(1), 27–31.
- Dikwan, M., Jokosisworo, S., & Zakki, A. F. (2019). JURNAL TEKNIK PERKAPALAN Pengaruh Normalizing Terhadap Kekuatan Tarik, Impak, dan Mikrografi Pada Sambungan Las Baja A36 Akibat Pengelasan Shielded-Metal Arc Welding (SMAW) dengan Variasi 2 waktu Pemanasan. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 7(4), 440–448. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- Hartanto, R. E., Yulianto, S., & Sugiri, M. (2020). Analisis Pengaruh Kuat Arus Listrik Terhadap Hasil Pengelasan SMAW Material St 37 Dengan Elektroda Low Hidrogen Pada Pengujian Visual, Radiografi, Struktur Makro Dan Mikro. *SNITT-Politeknik Negeri Balikpapan*, 7.
- Maylano, G. D., Budiarto, U., & Santosa, A. W. B. (2022). Analisis Pengaruh Variasi Sudut Kumpul Double V Pada Sambungan Las SMAW (Shield Metal Arc Welding) Baja St 37 Terhadap Kekuatan Tarik, Tekuk dan Impact. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 5(4), 785. <http://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- Perdana, D., & Syarif, A. B. (2015). Analisa Pengaruh Jenis Pengelasan SMAW Dan FCAW Terhadap Sifat Mekanis Baja ASTM a36 Pada Konstruksi Landside Upper Leg. *ReTII*, 1–9. <https://journal.itny.ac.id/index.php/ReTII/article/view/346>
- Putra, A. R. T., & Wulandari, D. (2017). Pengaruh Polaritas Pengelasan Dan Jenis Elektroda Terhadap Kekuatan Tarik Dan Ketangguhan Las SMAW (Shielded Metal Arc Welding). *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin UNESA*, 6(01), 250958.
- Saputra, H., Ivanto, M., & Lubis, G. S. (2023). Pengaruh Hasil Pengelasan Model SMAW terhadap Kekuatan Tarik Baja ST 37 dan ASTM A36. *Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin*

- (*JTRAIN*), 4(1), 55–64.
- Saputro, B. H., & Drastiawati, N. S. (2023). Pengaruh Variasi Media Pendingin Pada Proses Pengelasan SMAW Untuk Material Baja ASTM a36 Terhadap Kekuatan Tarik *Jurnal Teknik Mesin*. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jtm-unesa/article/view/57487/45132>
- Sebayang, A., Tarigan, E., & Siahaan, S. (2021). Analisa Perbandingan Kekuatan Tarik Hasil Pengelasan Baja ST 37 dengan Menggunakan Metode Pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW) dan Metal Inert Gas (MIG) Menggunakan Arus 140 A dan 120 A. *Jurnal Ilmiah Core It*, 9(6), 7.
- Wahyudi, R., Nurdin., dan S. (2019). Analisa Pengaruh Jenis Elektroda Pada Pengelasan SMAW Penyambungan Baja Karbon Rendah Dengan Baja Karbon Sedang Terhadap Tensile Strenght. *Journal of Welding Technology*, 1(2), 43–47.
- Wiriosumarto, H. d. (2000). *Teknologi Pengelasan Logam*.
- Zakki Anggara, A. S. (2023). Analisa Pengaruh Polaritas terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Pengelasan Kampuh V dengan Variasi Elektroda dan Variasi Pendingin pada material baja ASTM A36. Samarinda: dspace.umkt.ac.id
- Gunawan, L. Van, Andika, P. S., Endramawan, T., & ... (2024). Analisis Pengaruh Variasi Suhu Tempering Pada Sifat Mekanik Baja ASTM A36 Setelah Pengelasan SMAW Menggunakan Elektroda E 7016. ..., 15(01), 187–193. <https://doi.org/10.35970/infotekmesin.v15i1.2144>
- Badia, B. A., Asiri, M. H., Husen, M., Program, M., Teknik, M., Indonesia, U. M., Jurusan, D., Mesin, T., Indonesia, U. M., Makassar, K., Selatan, S., Elektroda, G., & Movement, E. (2021). *Analisa variasi gerakan elektroda pada hasil las material baja karbon rendah ST37 terhadap kekuatan bending dan kekerasan Analysis of variations in electrode motion on the welding results of low carbon steel ST37 on bending strength and hardness*. 19, 53–60.