

Paper

## Pengaruh arus listrik terhadap hasil cacat las pada pengelasan SMAW

Rama Widjaya Sikumbang<sup>1,\*</sup>, Mohamad Khoirul Fahri<sup>2</sup>, Haris Abizar<sup>3</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jl. Ciwaru Raya No. 25, Serang-Banten, 42117, Indonesia

### INFORMASI ARTIKEL

#### Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 24 Mei 2022

Revisi Akhir: 10 Juni 2022

Diterbitkan Online: 24 Juni 2022

### KATA KUNCI

Cacat las, pengelasan smaw, pengujian non destructive test

### KORESPONDENSI

E-mail: [2284190019@untirta.ac.id](mailto:2284190019@untirta.ac.id)\*

### A B S T R A C T

Pada pengelasan SMAW dilakukan penyambungan benda atau logam yang dipanaskan dengan tambahan bahan yang sudah lelehkan menggunakan pemanasan elektroda terbungkus. Penggunaan jenis elektroda dan arus pengelasan yang berbeda dari jenis standard pengujian tarik menggunakan elektroda yang sama menghasilkan kekuatan tarik yang berbeda pada hasil lasan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh perbedaan jenis elektroda dan arus pengelasan terhadap kualitas hasil pengelasan dengan menggunakan metode pengujian tidak merusak (NDT Penetrant Test) sebagai dasar dalam menentukan cacat las pada pengelasan SMAW. Pada penelitian ini digunakan material mild steel yang kemudian dilas dengan proses pengelasan SMAW pada posisi 3G butt joint pada pelat dengan dimensi 7,3 cm x 9,7 cm x 0,4 cm, dengan sudut bevel 300 untuk setiap benda uji. Proses pengelasan menggunakan mesin Lakoni 200 dan elektroda rooting LB 52U diameter 2,6 mm, menggunakan arus 80 amp, 90 amp, 100 amp, penelitian dilakukan 13-14 April 2022 di bengkel Kementerian Pendidikan Vokasi Kementerian Teknik Mesin Proses uji penetrant dengan menggunakan MAGNAFLUX SPOTCHECK SKL-SP2,SKD-S2, SKS-S. yaitu Developer, Cleaner, Red Penetrant dengan proses Pengujian Non Destructive Test. Berdasarkan hasil pengujian cacat las dengan arus pengelasan 80, 90, dan 100 Ampere pada benda kerja yang telah diberikan red penetrant terdapat cacat las jenis Over Spatter, Undercut, Porositas, dan Lack of Fusion. Cacat las tersebut ditimbulkan karena ampere yang terlalu tinggi dan jarak elektrode dengan base metal terlalu jauh, terutama cacat overspatter.

## 1. PENDAHULUAN

Pengelasan ialah penggabungan dua logam, terutama baja, untuk menghasilkan struktur mekanis yang didapatkan pada keadaan lumer atau cair [1]. Logam mempunyai berbagai bentuk serta ukuran, serta tidak semuanya dapat dengan praktis dilas [2], [3]. Penyambungan logam merupakan gabungan yang berasal dari 2 (dua) atau lebih komponen logam, baik logam yang sejenis maupun tidak sejenis [4]. Setiap metode penyambungan mempunyai kelebihan serta kekurangan dibandingkan menggunakan metode yang lain [5]. Jenis elektroda yang berbeda dan kriteria uji tarik yang berbeda memberikan kekuatan tarik yang berbeda [6]. Perbedaan arus las bila menggunakan elektroda yang sama juga mempengaruhi kuat tarik las. Selain arus elektroda, arus elektroda juga berpengaruh signifikan terhadap hasil las khususnya pada pengelasan SMAW [7], [8]. Tujuan dari

penelitian ini ialah untuk mengetahui pengaruh jenis elektroda terhadap kekuatan tarik dengan menggunakan pemeriksaan penetran NDT untuk mengetahui kualitas hasil las [9].

Kurangnya pengetahuan tentang cacat-cacat las internal dan metode mendeteksinya oleh para mahasiswa jurusan teknik mesin khususnya program studi Pendidikan Vokasional Teknik Mesin, dikhawatirkan tidak bisa berkompetisi dengan tenaga kerja lain dan mengisi pekerjaan yang masih membutuhkan tenaga terampil untuk menguji tanpa merusak material / non destructive test (NDT). Seperti yang dilakukan peneliti peneliti terdahulu yaitu menguji hasil las-lasan dengan beberapa metode terhadap cacat las internal, tetapi disini tidak diketahui lama (waktu) pendeteksian terhadap metode yang digunakan dan metode apa yang digunakan sesuai dengan jenis cacat yang ada. Untuk mengefektifkan dan mengefisiensikan pemeriksaan cacat las diperlukan pengetahuan jenis cacat las sehingga dapat dipilih

jenis metode yang digunakan [10]. Oleh sebab itu perlu adanya penelitian tentang : analisis cacat las dengan metode pengujian tidak merusak sebagai dasar dalam menentukan cacat las pada pengelasan SMAW.

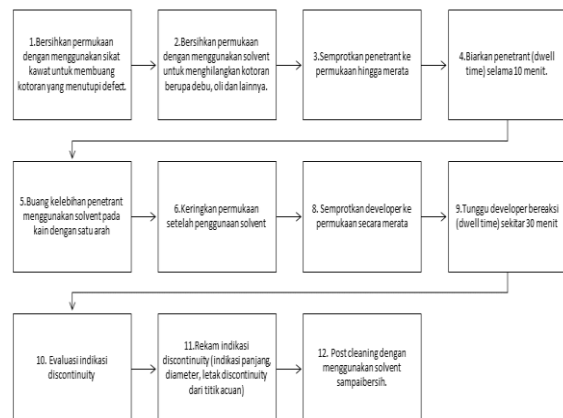
Pengelasan didefinisikan sebagai penyambungan dua logam dengan penambahan bahan cair, seperti elektroda, menggunakan pemanasan [11]. Pengelasan juga dapat didefinisikan sebagai pemanasan suatu benda atau pembentukan ikatan logam yang permanen. Shielded Metal Arc Welding (SMAW), juga dikenal sebagai Manual Metal Arc Welding (MMAW), adalah proses penyambungan dua atau lebih potongan logam menjadi suatu sambungan dengan menggunakan sumber panas listrik dan bahan tambahan/pengisi berupa elektroda terbungkus untuk imobilisasi [12]. Elektroda adalah suatu peralatan yang digunakan untuk melakukan pekerjaan pengelasan listrik. Elektroda berfungsi sebagai pembakar, menyebabkan busur menyala [13]. Secara umum, elektroda diklasifikasikan menjadi tiga jenis: elektroda tidak dilapisi (fluks) elektroda berlapis tipis dan elektroda berlapis tebal, elektroda tidak dilapisi tidak lagi digunakan untuk pengelasan SMAW karena sulit digunakan dan menghasilkan hasil pengelasan yang buruk. Elektroda berlapis tebal paling umum digunakan dalam bidang ini, ketika busur las dinyalakan, elektroda berlapis tebal berubah menjadi gas yang menetralkan atau mengurangi gas karbon monoksida (CO) atau hidrogen (H<sub>2</sub>). Aliran atau besarnya arus yang mengalir dari mesin las disebut sebagai arus las, besarnya arus las dapat diatur dengan mengatur arus pada mesin las. Arus las harus disesuaikan dengan jenis bahan dan diameter elektroda las. Besarnya arus las yang dibutuhkan ditentukan oleh diameter elektroda, ketebalan bahan yang dilas, jenis elektroda yang digunakan, geometri sambungan, diameter inti elektroda, dan lokasi las. Karena area pengelasan memiliki kapasitas panas yang tinggi, diperlukan arus yang tinggi [14].

Baja menjadi salah satu paduan logam besi (Fe) serta karbon (C). Oleh karena itu, baja berbeda dari besi logam murni (Fe), aluminium (Al), seng (Zn), tembaga (Cu) serta titanium (Ti) yang berasal dari logam murni. Dalam senyawa antara besi serta karbon (unsur non-logam), besi merupakan unsur paling dominan dibandingkan dengan karbon. Tergantung pada varietasnya, kandungan karbon artinya 0,2-2,1% dari berat baja [15]. Non-destructive testing (NDT) dengan dye penetrant menjadi salah satu metode pemeriksaan fisik suatu bahan atau benda uji untuk menemukan cacat pada benda uji tanpa merusak atau menghancurkan benda uji. Pengujian non-destruktif digunakan untuk mendeteksi cacat pada objek dengan meminta operator melakukan langkah-langkah tertentu. Tujuan dari pada pengujian NDT ialah untuk menemukan cacat las yang di hasilkan dari pengelasan terlebih dahulu sesuai standarisasi dan prosedur yang ada [16].

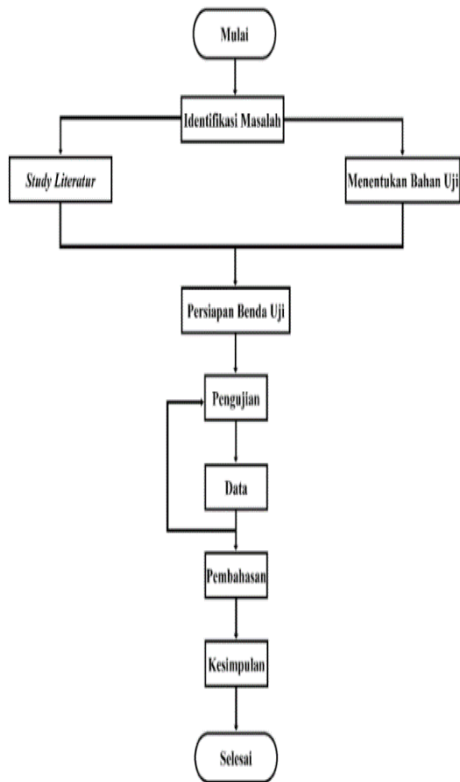
## 2. METODE

Pada Penelitian ini menggunakan jenis metode eksperimen merupakan suatu cara yang memungkinkan untuk mencari relasi di antara setiap bahan yang diuji. Pengujian dilaksanakan di laboratorium yang siap digunakan dengan seluruh kondisi dan untuk mendapatkan informasi tentang ciri-ciri cacat dalam pengelasan butt joint dengan situasi siap pakai dan perangkat untuk memperoleh informasi dengan versi arus pengelasan dan

jenis elektroda yang telah ditentukan. Penelitian ini menggunakan material baja mild steel yang kemudian dilas dengan proses SMAW pada posisi butt joint 3G pada material mild steel dengan dimensi 7,3 cm x 9,7 cm x 0,4 cm dan beveled 300 pada setiap spesimen [17]. Proses pengelasan menggunakan mesin lakoni 200 dengan elektroda rooting LB 52U dengan diameter 2,6 mm dan arus 80 Ampere, 90 Amper, 100 Amper, penelitian di lakukan di Workshop jurusan Pendidikan Vokasional Teknik Mesin pada tanggal 13-14 April 2022. Dye penetrant menjadi metode pengujian bahan hasil pengelasan jenis NDT yang relatif mudah dan sederhana. Pengujian NDT Dye penetrant digunakan untuk mengidentifikasi cacat las halus seperti retakan, lubang atau kebocoran pada permukaan las. Pada prinsipnya, metode pengujian NDT Dye penetrant menggunakan daya kapilaritas. Cairan penetran merah menembus diskontinuitas, kemudian cairan penetran dikeluarkan dari diskontinuitas menggunakan cairan (pengembang) yang berwarna kontras dengan cairan penetran (putih). Cacat las terdeteksi dengan munculnya titik-titik merah pada spesimen (penetran cair) pada diskontinuitas. Proses uji penetrant dengan menggunakan MAGNAFLUX SPOTCHECK SKL-SP2,SKD-S2, SKS-S. yaitu Developer, Cleaner, Red Penetrant dengan proses Pengujian Non Destructive Test. Proses pengujian dye penetrant ini dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:



Gambar 1. Bagan proses pengujian



**Gambar 2.** Bagan alir penelitian

Penelitian ini adalah sebuah penelitian dengan pendekatan analisis deskriptif kualitatif. Pada penelitian ini, kami selaku penulis menggunakan pendekatan secara *systematic review* karena tulisan ini dibuat berlandaskan kepada referensi artikel yang telah dipublikasi yang kredibel [18], [19]. Artikel ini akan membahas perihal apa yang dimaksud dengan manajemen kurikulum, ruang lingkup, prinsip atau asas manajemen kurikulum, fungsi atau manfaat, serta upaya sebuah manajemen kurikulum digital dalam meningkatkan kualitas dan mutu pendidikan di sekolah.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari proses pengujian yang telah dilakukan, didapat hasil yang sebelumnya telah dilakukan uji dimensi pada logam dan lasan yang akan di uji terlebih dahulu [20] berikut adalah dimensi pada Logam dan Las pada benda hasil uji :

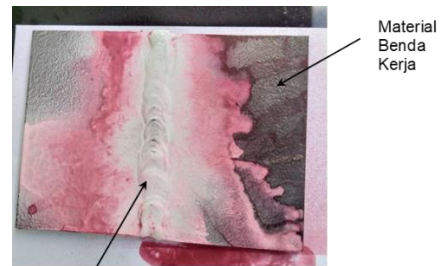
**Tabel 1.** Dimensi Logam dan Las Pada Penampang

Panjang Material (cm)	Lebar Material (cm)	Tebal Material (cm)
7,3	9,7	0,4

Untuk mempermudah menganalisis Objek/benda uji terdapat gambar hasil pengelasan untuk mempermudah inspeksi dan tidak tertukar antara cacat 1 dan cacat yang lain.

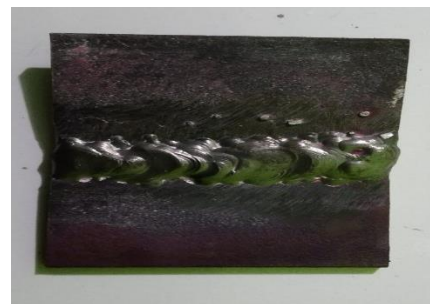


**Gambar 3.** Hasil Pengelasan 80 Ampere



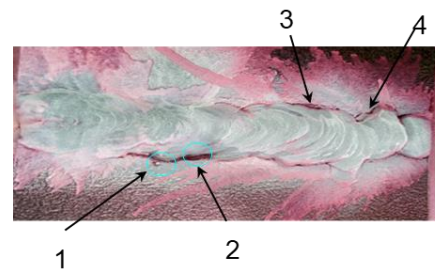
Hasil Pengelasan

**Gambar 4.** Hasil Pengelasan 90 Ampere

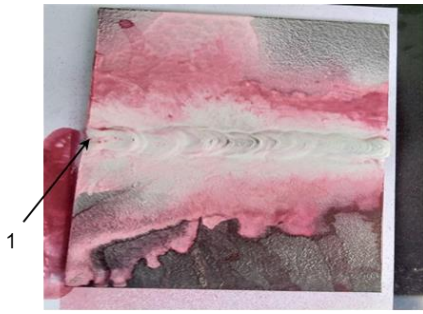


**Gambar 5.** Hasil Pengelasan 100 Ampere

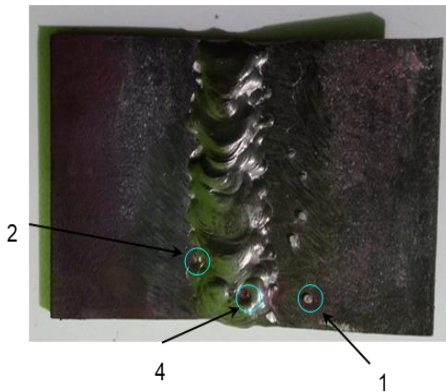
Berdasarkan hasil pengelasan menggunakan besaran arus yang berbeda-beda, terdapat beberapa cacat las yang dapat dilihat ketika benda kerja telah diberikan red penetrant. Berikut ini cacat las yang terdapat pada pengujian hasil pengelasan 80, 90, dan 100 Ampere, yaitu:



**Gambar 6.** Identifikasi Cacat Pengelasan dengan Arus 80 Ampere



**Gambar 7.** Identifikasi Cacat Pengelasan dengan Arus 90 Ampere



**Gambar 8.** Identifikasi Cacat Pengelasan dengan Arus 100 Ampere

Berikut ini hasil identifikasi dari cacat las yang terdapat pada pengujian hasil pengelasan 80, 90, dan 100 Ampere, yaitu:

1. Terdapat cacat las jenis Over Spatter, cacat ini berupa percikan las yang disebabkan oleh penggunaan Ampere yang terlalu tinggi dan jarak elektrode dengan base metal terlalu jauh, atau elektroda yang digunakan dalam keadaan lembab. Untuk mencegah terjadinya cacat pengelasan ini adalah dengan menurunkannya arus sesuai dengan rekomendasi dan ketentuan, lalu panjang busur ( $1,5 \times$  diameter Elektroda) dan elektroda dioven sesuai dengan handbook (khususnya kawat las low hidrogen) [21].
2. Terdapat cacat las tipe undercut, yaitu cacat las permukaan atau akar dengan bentuk overhang yang terjadi pada logam dasar atau logam induk dan terjadi pada semua sambungan las, termasuk fillet, butt, lap, corner, dan edge joint. Cacat pengelasan ini disebabkan oleh arus pengelasan yang tinggi dan kecepatan perpindahan elektroda yang cepat. Busur pengelasan terlalu panjang, dan posisi elektroda salah, serta ayunan tangan kurang merata, yaitu waktu ayunan pada saat disamping terlalu cepat. Untuk mencegah terjadinya cacat pengelasan ini adalah dengan menyesuaikan arus pengelasan yang direkomendasikan di bungkus elektroda atau wps (Welding Procedure Specification), kecepatan las diturunkan, panjang busur diperpendek atau setinggi  $1,5 \times$  diameter elektroda, sudut kemiringan  $70-80$  derajat (menyesuaikan posisi). dan lebih sering berlatih untuk mengayunkan las yang sesuai dengan kemampuan.
3. Terdapat cacat las jenis Porositas disamping hasil dari pengelasan seperti yang ada di gambar 4 tersebut. Untuk menangani jenis cacat porositas ini biasanya dengan

memastikan elektroda yang digunakan sudah dioven (dikeringkan) karena elektroda merupakan bagian yang sangat penting untuk membuat kualitas pengelasan yang berkualitas, elektroda yang tidak disimpan dengan baik bisa bereaksi dengan uap air di udara, mengakibatkan bertambahnya kadar hidrogen ( $H_2$ ) yang terkandung di dalam elektroda tersebut. Kandungan hidrogen yang berlebihan di elektroda akan mengurangi umur penggunaan dan mengurangi kekuatan tarik, kemudian ampere yang dipakai menyesuaikan dengan prosedur atau rekomendasi dari pabrik pembuat elektroda yang sesuai berdasarkan ASME IX [22].

4. Terdapat cacat las jenis Lack of Fusion, cacat las jenis ini merupakan cacat las yang tidak ikut mencair dan mengakibatkan tidak bersatunya logam induk dengan logam tambah dan biasanya terjadi disamping lasan. Cacat las ini disebabkan oleh posisi sudut elektroda salah, ampere terlalu rendah, sudut kampuh terlalu rendah, lalu permukaan kampuh terdapat kotoran, dan kecepatan perpindahan elektroda terlalu tinggi. Untuk mencegah terjadinya cacat pengelasan ini adalah dengan sesuaikan sudut elektroda, naikan arus listrik sesuai dengan WPS atau ampere yang direkomendasikan, dan sesuaikan sudut kampuh sesuai dengan WPS. Lakukan persiapan pengelasan yang benar, bersihkan semua kotoran, dan sesuaikan kecepatan perpindahan elektroda sesuai kebutuhan.

Mempersiapkan pengelasan dengan benar dan memastikan tidak ada kotoran menempel material benda kerja karena dapat mengakibatkan kurang maksimalnya hasil pengelasan, serta pada material tertentu panas tidak boleh terlalu tinggi [23]. karena dapat berakibat pada terbaknya gas-gas udara di dalam welding yang akan menimbulkan lubang-lubang kecil, juga jangan terlalu rendah karena dapat menimbulkan retak ketika telah dingin atau pun kurang maksimalnya penegelasan [22]

Dalam memperbaiki (repair) welding yang telah terindikasi cacat maka dilakukan kembali proses pengelasan yang sebelumnya bahan/objek uji yang telah ditentukan lokasi cacat tersebut tanpa harus melakukan pengelasan ulang (perbaikan Las) pada seluruh lasan. Dalam proses pengelasan ini welder dituntut untuk memiliki pengetahuan yang cukup untuk melakukan proses pengelasan sesuai dengan prosedur acuan ASME Section IX (sembilan) yang membahas tentang kualifikasi Juru las (welder). Dalam penentuan cacat logam, NDT dapat pula dilakukan dengan menggunakan Radiography Test untuk mendapatkan data yang lebih spesifik [24]

#### 4. KESIMPULAN

Manajemen merupakan langkah kerja sama yang dilakukan secara individu maupun kelompok serta melibatkan komponen lainnya untuk mencapai sebuah tujuan organisasi sebagai sebuah kegiatan yang sifatnya mejerial. Ruang lingkup pada sebuah manajemen kurikulum ini mencakup perencanaan, pengelolaan atau pengorganisasian, pelaksanaan serta evaluasi kurikulum yang digunakans sebagai pedoman. Adapun 6 (enam) manfaat/fungsi dari manajemen kurikulum: peningkatan efisiensi penggunaan sumber daya kurikuler, meningkatkan pemerataan

dan meningkatkan relevansi dan efektifitas pembelajaran sesuai kebutuhan siswa dan lingkungan siswa, meningkatkan kinerja guru dan efektifitas aktivitas siswa dalam mencapai tujuan pembelajaran, serta efisiensi dan efektivitas proses belajar mengajar, meningkatkan partisipasi masyarakat untuk menyempurnakan dan mendukung rancangan Kurikulum. Pengelasan adalah proses pengelasan dua logam terutama baja untuk membuat suatu bahan konstruksi dalam keadaan lumer atau cair. Perbedaan arus las saat menggunakan sebuah elektroda yang sama dapat mempengaruhi tensile strength dalam pengelasan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi arus terhadap hasil pengelasan dan untuk mengkonfirmasi kualitas hasil pengelasan dan kecacatan las menggunakan uji penetrasi NDT [25].

Berdasarkan data yang telah diperoleh, beberapa kesimpulan dapat ditarik. Setelah pengujian dengan metode NDT Penetrant Test dapat dilihat secara langsung perbandingan antara hasil pengelasan yang memiliki banyak cacat las seperti yang ada pada gambar 8 yaitu banyak spatter yang memiliki dampak yang ditimbulkan karena Ampere yang terlalu tinggi dan jarak elektrode dengan base metal terlalu jauh, terutama cacat overspatter. Pada hasil pengujian spesimen pada gambar 4, terdapat porositas yang terjadi di luar standar yang telah ditetapkan dan dinyatakan ditolak, sedangkan pada pengujian spesimen gambar 7 juga terdapat cacat porositas yang terjadi, namun cacat yang terjadi masih dalam batas standar dan hasil pengelasan dapat diterima. Untuk cacat pengelasan, hasil yang ditolak masih dapat diperbaiki dengan mengecilkan cacat yang terjadi dan dapat dilas lagi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Hamid, "Analisa pengaruh arus pengelasan SMAW pada material baja karbon rendah terhadap kekuatan material hasil sambungan," *J. Teknol. Elektro*, 2016.
- [2] N. A. Handoyono and R. Rabiman, "Peningkatan Motivasi Belajar dan Hasil Belajar Las Lanjut dengan Menerapkan Metode Project-Based Learning," *Jurnal Taman Vokasi*, vol. 5, no. 2, pp. 184–195, 2017, [Online]. Available: [https://scholar.google.com/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=en&user=BHrmCpoAAAAJ&pagesize=100&citation\\_for\\_view=BHrmCpoAAAAJ:LkGwnXOMwfcC](https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=BHrmCpoAAAAJ&pagesize=100&citation_for_view=BHrmCpoAAAAJ:LkGwnXOMwfcC).
- [3] H. Febnesia, M. Nurtanto, I. Ikhsanudin, and H. Abdillah, "Pengaruh Model Pembelajaran Hybrid Learning Dengan Metode Tutor Sebaya Terhadap Hasil Pengelasan Pada Siswa SMKS Yabhinka," *Res. Dev. J. Educ.*, vol. 7, no. 2, p. 532, 2021, doi: 10.30998/rdje.v7i2.11265.
- [4] R. Wahyudi, N. Nurdin, and S. Saifuddin, "Analisa pengaruh jenis elektroda pada pengelasan SMAW penyambungan baja karbon rendah dengan baja karbon sedang terhadap tensile strenght," *J. Weld. ....*, 2019.
- [5] A. Aditia, N. Nurdin, and A. S. Ismy, "Analisa kekuatan sambungan material AISI 1050 dengan ASTM A36 dengan variasi arus pada proses pengelasan SMAW," *J. Weld. Technol.*, 2019.
- [6] A. A. Soleh, H. Purwanto, and ..., "Analisa pengaruh kuat arus terhadap struktur mikro, kekerasan, kekuatan tarik pada baja karbon rendah dengan Las SMAW menggunakan jenis Elektroda ...," *CENDEKIA ....*, 2017.
- [7] T. R. Sitompul, *Analisa Perbandingan Laju Korosi Pada Pengelasan Dengan Menggunakan Elektroda Yang Mengandung Mn (Manganese) Dan Elektroda Yang Mengandung Cr ....* repository.its.ac.id, 2000.
- [8] H. Febnesia, M. Nurtanto, I. Ikhsanudin, and H. Abdillah, "Pengaruh Model Pembelajaran Hybrid Learning Dengan Metode Tutor Sebaya Terhadap Hasil Pengelasan Pada Siswa SMKS Yabhinka," *Res. Dev. J. Educ.*, vol. 7, no. 2, pp. 532–543, 2021.
- [9] R. Alfahmi, S. Saifuddin, and M. Mawardi, "Analisa kekuatan sambungan kampuh V pengelasan carbon steel dengan stainless steel menggunakan elektroda E 309 terhadap kekuatan impact," *J. Weld. ....*, 2021.
- [10] D. A. Kifta, *analisis defect rate pengelasan dan penanggulangannya dengan metode six sigma di pt. profab indonesia*. osf.io, 2018.
- [11] H. Saputro, *Pengaruh Pemberian Panas Awal Dengan Pengelasan Smaw (Shielded Metal Arc Welding) Terhadap Ketangguhan Impak Baja Keylos 50*. digilib.uns.ac.id, 2011.
- [12] M. Siddiq, N. Nurdin, I. Amalia, and ..., "Analisa Pengaruh Kampuh Pengelasan SMAW Pada Penyambungan Baja Karbon Rendah dan Karbon Sedang Terhadap Uji Ketangguhan," *J. Mesin Sains ....*, 2021.
- [13] R. Agustian and I. Imran, "Analisa Besar Arus Pengelasan terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan pada Sambungan Plat Baja Karbon ST 40 dengan Menggunakan Pengelasan SMAW," *Semin. Nas. Ind. dan Teknol.*, 2018.
- [14] B. K. Ramadi, *Analisa Kekuatan Mekanis Pada Posisi Pengelasan Fillet Kampuh T Dengan Metode Pengelasan Smaw*. repository.upstegal.ac.id, 2021.
- [15] M. E. Efendi, *Aluminium Alloy 6061 Analysis Reinforced Iron Powder With Cooling Media Variations And Aging Temperature To The Hardness And Strength Of Tensile Material ....* repository.untag-sby.ac.id, 2019.
- [16] T. Endramawan, E. Haris, Y. Prika, and ..., "Analisa Hasil Pengelasan SMAW 3G Butt Joint Menggunakan Non Destructive Test Penetrant Testing (NDT-PT) Berdasarkan Standar ASME," ... *Work. Natl. ....*, 2017.
- [17] Y. D. Anda, *Analisa Hasil Sambungan Las Smaw Pada Material Baja Astm A36 Dengan Variasi Arus Dan Jarak Kampuh Las*. repository.uir.ac.id, 2021.
- [18] B. Kitchenham and S. Charters, "Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering," 2007.
- [19] M. Nurtanto, N. Kholifah, E. Ahdhianto, A. Samsudin, and F. D. Isnantyo, "A Review of Gamification Impact on Student Behavioral and Learning Outcomes," *Int. J. Interact. Mob. Technol.*, vol. 15, no. 21, pp. 22–36, Nov. 2021, doi: 10.3991/ijim.v15i21.24381.
- [20] F. Pammungkas, *Analisa Perbandingan Hasil Pengelasan Menggunakan Metode SMAW Dan Metode GMAW Terhadap Ketahanan Bending Pada Sambungan Aluminium Seri 5083*. repository.its.ac.id, 2016.
- [21] P. O. P. Pandapotan, "Pengaruh variasi arus dan jenis elektroda terhadap cacat las pada baja st 60 hasil proses pengelasan SMAW (Shiled Metal Arc Welding)," pp. 33–34, 2019.
- [22] N. I. Sumardani, N. I. Setiawan, B. W. Nuryadin, and D. Sumardani, "The Defect Analysis of Carbonsteel Pipe Welding Connections Using Non-Destructive Testing with the Penetrant Test Method," *Risenologi J. Sains, Teknol. Sos. Pendidikan, dan Bhs.*, vol. 5, no. 1, pp. 38–47, 2020, doi: 10.47028/j.risenologi.2020.51.72.
- [23] M. A. Fhaizal, "Analysis of Corrosion Rate of Carbon Steel Galvanized by Weight Loss Method to Thickness and Micro Structure of Steel," *VANOS J. Mech. Eng. ....*, vol. 6, no. 1, pp. 48–57, 2021.
- [24] S. M. Senthil, R. Parameshwaran, S. R. Nathan, and S. Karthi, "Non-Destructive Testing and Evaluation of Friction Stir Welded AA6063 Circularly Butted Pipes," *Russ. J. Nondestruct. Test.*, vol. 55, no. 12, pp. 957–966, 2019, doi: 10.1134/S1061830919120106.
- [25] S. Susilawati, M. B. Ardin, and R. A. Syarif, "Material Screw Testing ON Tail Rotor Drive Using 'D' Penetrant Testing Method," *VANOS J. Mech. ....*, 2021.