

Welding Defect Analysis in Low Carbon Steel SMAW Joints Using Visual Inspection and Liquid Penetrant Test as a Basis for Welding Quality Control

Junil Adri^{1*}, Durain Parmanoan¹, Andril Arafat¹, Fadhilah²

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Negeri Padang, INDONESIA

²Department of Mining Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Negeri Padang, INDONESIA

*Corresponding author: juniladri@ft.unp.ac.id

Received June 3th 2026; Revised June 15th 2026; Accepted July 6th 2026

Abstract

This research is motivated by the importance of the ability of D3 Mechanical Engineering students in evaluating the quality of welded joints, because the welding results that appear unified are not necessarily free from surface defects. This study aims to analyze the types of welding defects in low carbon steel Shielded Metal Arc Welding (SMAW) joints using Visual Inspection and Liquid Penetrant Test as the basis for welding quality control in vocational learning. The study used a quantitative descriptive design based on applied laboratories involving 48 D3 Mechanical Engineering students divided into three learning sessions. Each student produced one welded joint specimen, so that the total number of specimens analyzed was 48. Data were collected through visual inspection sheets, Liquid Penetrant Test result sheets, photo documentation, and recapitulation of welding defects, then analyzed using frequency, percentage, and technical interpretation of the causes of defects. The results showed that the most dominant defects were porosity with 17 specimens (35.42%), followed by undercut with 14 specimens (29.17%), excessive spatter with 12 specimens (25.00%), and irregular bead with 11 specimens (22.92%). Liquid Penetrant Test detected 64 defect indications, higher than Visual Inspection which detected 49 defect indications. From the quality category, 24 specimens were accepted, 18 required repair, and 6 were rejected. This study concluded that the combination of Visual Inspection and Liquid Penetrant Test is effective for identifying welding defects more comprehensively and can be the basis for quality control of welding learning that is more objective, systematic, and relevant to industrial needs.

Keywords: Welding defects; SMAW; Low carbon steel; Visual inspection; Liquid penetrant test

Analisis Cacat Las pada Sambungan SMAW Baja Karbon Rendah Menggunakan Visual Inspection dan Liquid Penetrant Test sebagai Dasar Pengendalian Mutu Pengelasan

Abstrak

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh pentingnya kemampuan mahasiswa D3 Teknik Mesin dalam mengevaluasi mutu sambungan las, karena hasil pengelasan yang tampak menyatu belum tentu bebas dari cacat permukaan. Penelitian ini bertujuan menganalisis jenis cacat las pada sambungan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) baja karbon rendah menggunakan *Visual Inspection* dan *Liquid Penetrant Test* sebagai dasar pengendalian mutu pengelasan dalam pembelajaran vokasional. Penelitian menggunakan desain deskriptif kuantitatif berbasis laboratorium terapan dengan melibatkan 48 mahasiswa D3 Teknik Mesin yang terbagi dalam tiga sesi pembelajaran. Setiap mahasiswa menghasilkan satu spesimen sambungan las, sehingga total spesimen yang dianalisis berjumlah 48. Data dikumpulkan melalui lembar inspeksi visual, lembar hasil *Liquid Penetrant Test*, dokumentasi foto, dan rekapitulasi cacat las, kemudian dianalisis menggunakan frekuensi, persentase, dan interpretasi teknis penyebab cacat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa cacat paling dominan adalah *porosity* sebanyak 17 spesimen (35,42%), diikuti *undercut* 14 spesimen (29,17%), *excessive spatter* 12 spesimen (25,00%), dan *irregular bead* 11 spesimen (22,92%). *Liquid Penetrant Test* mendeteksi 64 indikasi cacat, lebih tinggi dibandingkan *Visual Inspection* yang mendeteksi 49 indikasi cacat. Dari kategori mutu, 24 spesimen diterima, 18 memerlukan perbaikan, dan 6 ditolak. Penelitian ini menyimpulkan bahwa kombinasi *Visual Inspection* dan *Liquid Penetrant Test* efektif digunakan untuk mengidentifikasi cacat las secara lebih komprehensif serta dapat menjadi dasar pengendalian mutu pembelajaran pengelasan yang lebih objektif, sistematis, dan relevan dengan kebutuhan industri.

Kata kunci: Cacat las; SMAW; Baja karbon rendah; Visual Inspection; Liquid Penetrant Test

I. PENDAHULUAN

Pengelasan merupakan salah satu proses penyambungan logam yang sangat penting dalam bidang manufaktur, konstruksi, perawatan mesin, reparasi, dan fabrikasi struktur teknik (Hamdani, Azwinur, Adi Saputra Ismy, Usman, & Ir Jufriadi, 2024). Di antara berbagai proses pengelasan busur listrik, *Shielded Metal Arc Welding* atau SMAW masih banyak digunakan karena memiliki peralatan yang sederhana, biaya operasional relatif rendah, fleksibel digunakan di bengkel maupun lapangan, serta sesuai untuk berbagai jenis material baja, termasuk baja karbon rendah (Riyanto, 2026). Dalam praktik keinsinyuran, kualitas sambungan las tidak hanya ditentukan oleh jenis elektroda dan material dasar, tetapi juga oleh keterampilan operator, kestabilan busur, arus pengelasan, sudut elektroda, kecepatan gerak, kebersihan benda kerja, dan kepatuhan terhadap prosedur pengelasan (Pratama, 2025). Oleh karena itu, pengelasan SMAW tetap menjadi salah satu kompetensi penting yang harus dikuasai oleh mahasiswa teknik mesin, khususnya pada jenjang diploma yang berorientasi pada keterampilan terapan dan kesiapan kerja industri.

Pada Program Studi D3 Teknik Mesin, kompetensi pengelasan tidak cukup hanya dipahami sebagai kemampuan menyambung logam, tetapi juga harus mencakup kemampuan mengevaluasi mutu hasil las. Mahasiswa perlu memahami bahwa sambungan las yang tampak menyatu belum tentu memenuhi persyaratan kualitas apabila masih terdapat cacat pada permukaan atau di sekitar daerah las. Dalam mata kuliah Pengujian Mutu Las, mahasiswa diarahkan untuk mengenali, mengidentifikasi, menganalisis, dan mengevaluasi berbagai jenis cacat las sebagai bagian dari proses pengendalian mutu. Hal ini penting karena lulusan diploma teknik mesin diharapkan tidak hanya mampu melakukan proses

fabrikasi, tetapi juga mampu membaca indikasi cacat, memahami penyebabnya, serta memberikan rekomendasi perbaikan proses pengelasan (Suherman & Abdullah, 2021).

Baja karbon rendah merupakan salah satu material yang banyak digunakan dalam kegiatan praktik pengelasan karena memiliki sifat mampu las yang baik, mudah diperoleh, dan relevan dengan kebutuhan fabrikasi dasar (Gunawan, Endriatno, & Anggara, 2017). Meskipun demikian, hasil pengelasan pada baja karbon rendah tetap berpotensi mengalami cacat apabila proses pengelasan tidak dikendalikan dengan baik. Cacat las yang umum terjadi pada proses SMAW antara lain *porosity*, *undercut*, *overlap*, *slag inclusion*, *incomplete fusion*, *incomplete penetration*, retak permukaan, spatter berlebih, dan ketidakraturan bentuk manik las (Assa & Peginusa, 2025; Dimu & Rerung, 2019). Cacat tersebut dapat menurunkan kekuatan, keandalan, keamanan, dan umur pakai sambungan. Pemeriksaan sambungan las pada baja karbon rendah perlu dilakukan dengan teknik *non-destructive testing* untuk mendeteksi cacat tanpa merusak benda kerja, sehingga hasil pemeriksaan dapat digunakan sebagai dasar penerimaan atau penolakan produk las (Yunianto & Wicaksana, 2023).

Dalam pembelajaran Pengujian Mutu Las, kemampuan mengidentifikasi cacat las menjadi sangat penting karena mahasiswa berada pada tahap pembentukan kompetensi awal sebagai calon tenaga ahli teknik mesin. Mahasiswa yang belum memiliki pengalaman industri yang memadai cenderung menghasilkan variasi kualitas las yang berbeda-beda, baik dari aspek bentuk manik las, kestabilan jalur las, penetrasi, kebersihan hasil pengelasan, maupun kemungkinan munculnya cacat permukaan (Sitorus, 2017). Kondisi ini menjadikan hasil praktik mahasiswa sebagai objek yang relevan untuk dianalisis secara ilmiah. Dengan melibatkan 48 mahasiswa D3 Teknik Mesin yang terbagi dalam tiga sesi pembelajaran, masing-masing berjumlah 16 mahasiswa, penelitian ini dapat memberikan gambaran empiris mengenai jenis cacat las yang dominan muncul dalam praktik SMAW pada lingkungan pembelajaran vokasional teknik mesin.

Salah satu metode paling dasar dalam pemeriksaan hasil las adalah *visual inspection*. Metode ini dilakukan dengan mengamati kondisi permukaan sambungan las, bentuk manik las, keteraturan jalur las, dimensi las, kebersihan hasil las, dan indikasi cacat yang dapat dilihat secara langsung (Alwahidi, Afrizal, & Samudra, 2025; Sunaryo, 2008). ISO 17637:2016 menjelaskan bahwa *visual testing* digunakan untuk pemeriksaan sambungan las fusi pada material logam dan juga dapat diterapkan pada pemeriksaan sambungan sebelum proses pengelasan dilakukan (International Organization for Standardization [ISO], 2016). Dengan demikian, inspeksi visual tidak hanya berfungsi sebagai pemeriksaan akhir, tetapi juga sebagai bagian dari pengendalian mutu sejak tahap persiapan, pelaksanaan, hingga evaluasi hasil pengelasan (Arifin, Purwanto, & Syafaâ, 2017).

Meskipun *visual inspection* memiliki kelebihan karena mudah, cepat, murah, dan dapat dilakukan tanpa merusak benda uji, metode ini memiliki keterbatasan dalam mendeteksi cacat halus yang terbuka ke permukaan tetapi sulit terlihat oleh mata (Akhmadi & Qurohman, 2020). Oleh karena itu, *Liquid Penetrant Test* atau LPT digunakan sebagai metode pelengkap untuk memperjelas indikasi cacat permukaan. ASTM E1417/E1417M-21 menjelaskan bahwa pengujian penetran cair digunakan untuk pemeriksaan komponen logam maupun nonlogam yang tidak berpori, serta dapat mendeteksi diskontinuitas yang terbuka atau terhubung ke permukaan, seperti *lack of fusion*, retak, *laps*, *cold shuts*, dan porositas (ASTM International, 2021). Dengan prinsip penetrasi cairan ke dalam celah atau diskontinuitas permukaan, metode ini memungkinkan cacat halus menjadi lebih mudah diamati setelah proses pembersihan dan aplikasi *developer* (Arifin et al., 2017).

Kombinasi *visual inspection* dan *Liquid Penetrant Test* menjadi pendekatan yang relevan dalam pembelajaran Pengujian Mutu Las karena kedua metode ini sesuai untuk melatih mahasiswa dalam memahami hubungan antara proses pengelasan, indikasi cacat, dan pengendalian mutu. Deepak et al. (2021) menyatakan bahwa *visual inspection* dan *liquid penetration test* termasuk teknik NDT yang umum digunakan untuk memeriksa sambungan las, bersama dengan radiografi, ultrasonik, dan *magnetic particle testing* (Deepak et al., 2021). Dalam konteks pendidikan vokasional, dua metode ini relatif lebih mudah diterapkan karena tidak membutuhkan peralatan yang terlalu kompleks, tetapi tetap

mampu memberikan pengalaman nyata kepada mahasiswa dalam melakukan pemeriksaan hasil las secara sistematis.

Pengendalian mutu pengelasan tidak hanya berkaitan dengan kemampuan menemukan cacat, tetapi juga kemampuan menganalisis penyebab cacat dan menentukan tindakan perbaikan. *American Welding Society* menempatkan kompetensi inspeksi pengelasan sebagai bagian penting dalam memastikan bahwa pekerjaan las memenuhi persyaratan kualitas, standar, dan pengalaman teknis yang relevan (Phillips, 2023). Dalam konteks pembelajaran, kemampuan ini perlu dilatih sejak mahasiswa berada di laboratorium agar mereka terbiasa bekerja dengan prinsip mutu, keselamatan, ketelitian, dan dokumentasi teknis. Oleh karena itu, pembelajaran Pengujian Mutu Las perlu diarahkan tidak hanya pada pelaksanaan pengujian, tetapi juga pada kemampuan mahasiswa dalam menafsirkan hasil inspeksi sebagai dasar pengambilan keputusan teknis.

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas analisis cacat las menggunakan metode NDT pada sambungan baja karbon rendah. Teknik NDT digunakan untuk mengevaluasi sambungan las tanpa merusak material, sehingga benda kerja tetap dapat dianalisis berdasarkan indikasi cacat yang ditemukan (Pogrebisky, 2016). Penelitian lain tentang hasil pengelasan mahasiswa juga menunjukkan bahwa *Liquid Penetrant Test* dapat digunakan untuk menganalisis hasil pengelasan baja karbon pada lingkungan pendidikan teknik, khususnya untuk mengidentifikasi kualitas hasil praktik mahasiswa (Azari & Kok, 2022). Namun demikian, penelitian yang secara khusus mengaitkan cacat las SMAW baja karbon rendah dengan konteks pembelajaran mata kuliah Pengujian Mutu Las pada mahasiswa D3 Teknik Mesin masih perlu dikembangkan lebih lanjut.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis cacat las pada sambungan SMAW baja karbon rendah menggunakan metode *visual inspection* dan *Liquid Penetrant Test* sebagai dasar pengendalian mutu pengelasan. Penelitian ini melibatkan 48 mahasiswa D3 Teknik Mesin yang mengikuti mata kuliah Pengujian Mutu Las, terdiri atas tiga sesi pembelajaran dengan masing-masing sesi berjumlah 16 mahasiswa. Hasil praktik pengelasan mahasiswa dijadikan sebagai spesimen penelitian untuk mengidentifikasi jenis cacat permukaan, menganalisis kemungkinan penyebab cacat, dan merumuskan rekomendasi pengendalian mutu pengelasan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi peningkatan kualitas pembelajaran pengujian mutu las, penguatan kompetensi inspeksi hasil las mahasiswa, serta penyusunan prosedur evaluasi hasil praktik pengelasan yang lebih sistematis, objektif, dan relevan dengan kebutuhan industri.

II. METODE PENELITIAN

1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain deskriptif kuantitatif berbasis laboratorium terapan (*applied laboratory-based descriptive study*) (Azari & Kok, 2022). Desain ini dipilih karena penelitian bertujuan untuk mengidentifikasi, mengklasifikasikan, dan menganalisis jenis cacat las pada sambungan *Shielded Metal Arc Welding* atau SMAW baja karbon rendah berdasarkan hasil praktik mahasiswa dalam mata kuliah Pengujian Mutu Las. Fokus utama penelitian bukan pada pengujian kekuatan mekanik sambungan, melainkan pada analisis cacat permukaan melalui dua metode pemeriksaan, yaitu *Visual Inspection* dan *Liquid Penetrant Test*.

Pendekatan deskriptif digunakan untuk menggambarkan frekuensi, persentase, pola kemunculan, dan jenis cacat las yang ditemukan pada spesimen hasil pengelasan mahasiswa (Pennekamp & Schtickzelle, 2013). Sementara itu, pendekatan laboratorium terapan digunakan karena seluruh kegiatan pengelasan, inspeksi visual, dan pengujian penetran dilakukan dalam lingkungan laboratorium/bengkel pengelasan dengan prosedur kerja yang dikendalikan. Pemeriksaan visual dalam penelitian ini mengacu pada prinsip *visual testing* sambungan las fusi pada material logam sebagaimana dijelaskan dalam ISO

17637:2016, yaitu standar yang menetapkan pemeriksaan visual pada sambungan las fusi dan juga dapat diterapkan sebelum proses pengelasan.

2. Lokasi dan Konteks Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada mata kuliah Pengujian Mutu Las di Program Studi D3 Teknik Mesin. Mata kuliah ini berorientasi pada penguasaan kompetensi pemeriksaan dan evaluasi kualitas hasil pengelasan, terutama kemampuan mahasiswa dalam mengidentifikasi cacat las, memahami penyebab cacat, dan menyusun rekomendasi pengendalian mutu pengelasan. Konteks penelitian dipilih karena pembelajaran Pengujian Mutu Las memiliki karakteristik yang sesuai dengan kebutuhan penelitian, yaitu adanya kegiatan praktik pengelasan, pemeriksaan hasil las, pencatatan indikasi cacat, dan interpretasi kualitas sambungan. Dengan demikian, hasil praktik mahasiswa dapat dijadikan sebagai objek analisis untuk menggambarkan kualitas hasil pengelasan SMAW pada lingkungan pendidikan vokasional teknik mesin.

3. Partisipan Penelitian

Partisipan penelitian adalah mahasiswa Program Studi D3 Teknik Mesin yang mengikuti mata kuliah Pengujian Mutu Las. Jumlah partisipan sebanyak 48 mahasiswa, yang terdiri atas 3 sesi pembelajaran, dengan masing-masing sesi berjumlah 16 mahasiswa. Teknik pengambilan partisipan menggunakan total sampling, karena seluruh mahasiswa yang mengikuti mata kuliah tersebut dilibatkan dalam kegiatan praktik dan pemeriksaan hasil las. Dalam penelitian ini, mahasiswa berperan sebagai pelaksana praktik pengelasan SMAW dan sebagai sumber data pembelajaran. Namun, unit analisis utama penelitian bukan individu mahasiswa, melainkan spesimen sambungan las yang dihasilkan oleh mahasiswa. Setiap mahasiswa menghasilkan satu spesimen sambungan las, sehingga jumlah total spesimen yang dianalisis adalah 48 spesimen las.

Tabel 1. Partisipan dan Unit Analisis Penelitian

Sesi Pembelajaran	Jumlah Mahasiswa	Jumlah Spesimen Las	Kode Spesimen
Sesi 1	16 mahasiswa	16 spesimen	S1-01 sampai S1-16
Sesi 2	16 mahasiswa	16 spesimen	S2-01 sampai S2-16
Sesi 3	16 mahasiswa	16 spesimen	S3-01 sampai S3-16
Total	48 mahasiswa	48 spesimen	48 kode spesimen

Kriteria inklusi partisipan adalah mahasiswa yang terdaftar pada mata kuliah Pengujian Mutu Las, mengikuti kegiatan praktik pengelasan SMAW, menghasilkan spesimen las, dan mengikuti prosedur inspeksi sesuai instruksi penelitian. Kriteria eksklusi adalah spesimen yang rusak sebelum proses inspeksi, spesimen yang tidak selesai dilas, atau data inspeksi yang tidak terdokumentasi secara lengkap.

4. Material, Peralatan, dan Bahan Penelitian

Material utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah pelat baja karbon rendah. Baja karbon rendah dipilih karena banyak digunakan dalam praktik fabrikasi dasar, memiliki kemampuan las yang baik, dan relevan dengan kompetensi mahasiswa D3 Teknik Mesin. Proses pengelasan dilakukan menggunakan metode SMAW dengan elektroda terbungkus. Pemeriksaan hasil las dilakukan menggunakan dua metode, yaitu *Visual Inspection* dan *Liquid Penetrant Test*.

Tabel 2. Material, Peralatan, dan Bahan Penelitian

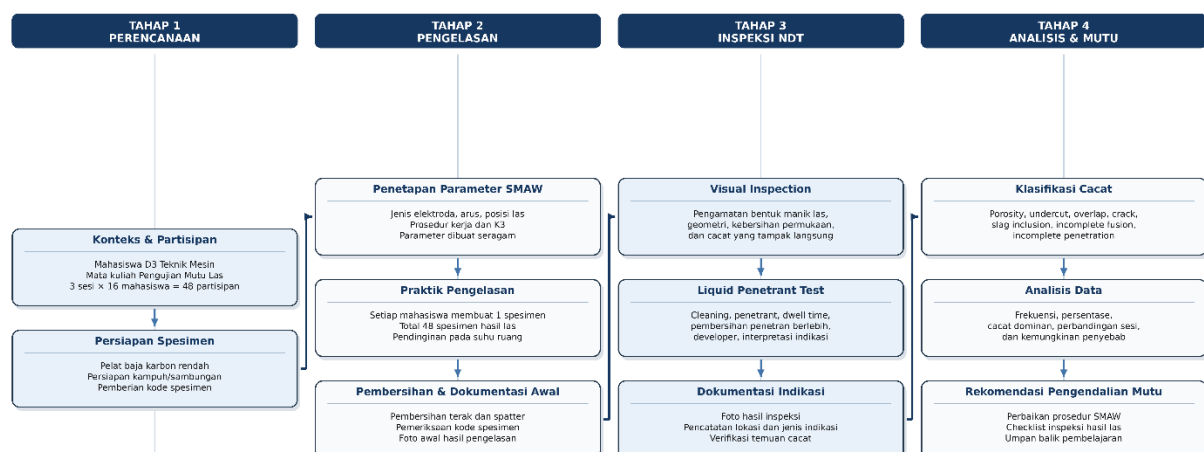
Komponen	Spesifikasi yang Digunakan	Fungsi dalam Penelitian
Material dasar	Pelat baja karbon rendah	Benda kerja/spesimen pengelasan
Proses pengelasan	SMAW	Proses pembuatan sambungan las

Elektroda	E6013 atau E7018, diameter 2,6–3,2 mm	Logam pengisi pada proses pengelasan
Mesin las	Mesin las SMAW AC/DC	Sumber panas dan arus pengelasan
Alat bantu pengelasan	Palu terak, sikat baja, penjepit, meja las	Persiapan dan pembersihan hasil las
Alat inspeksi visual	Lampu penerangan, penggaris baja, welding gauge, kaca pembesar bila tersedia	Pemeriksaan bentuk dan cacat permukaan
Bahan LPT	Cleaner/remover, red penetrant, developer	Deteksi diskontinuitas permukaan
Dokumentasi	Kamera/telepon genggam, lembar observasi	Dokumentasi visual dan pencatatan data
APD	Helm las, sarung tangan, apron, sepatu keselamatan	Keselamatan kerja selama praktik

Catatan: jenis elektroda, diameter elektroda, ukuran pelat, dan arus pengelasan harus disesuaikan dengan kondisi aktual laboratorium. Untuk naskah akhir, parameter yang ditulis harus sama dengan parameter yang benar-benar digunakan dalam praktik.

5. Prosedur Penelitian

rosedur penelitian dilaksanakan melalui beberapa tahap, yaitu persiapan pembelajaran dan spesimen, pelaksanaan praktik pengelasan SMAW, inspeksi visual, pengujian penetran cair, klasifikasi cacat, analisis data, dan penyusunan rekomendasi pengendalian mutu. Alur penelitian ditampilkan pada gambar berikut.



Gambar 1. Alur Prosedur Penelitian

Alur pelaksanaan penelitian ini disusun untuk menggambarkan tahapan sistematis dalam menganalisis cacat las pada sambungan SMAW baja karbon rendah menggunakan metode *Visual Inspection* dan *Liquid Penetrant Test*. Secara umum, penelitian dilaksanakan melalui empat tahap utama, yaitu tahap perencanaan, tahap pengelasan, tahap inspeksi NDT, serta tahap analisis dan pengendalian mutu. Setiap tahap saling berhubungan dan dirancang agar proses pengumpulan data, pemeriksaan cacat, serta interpretasi hasil dapat dilakukan secara terarah, objektif, dan terdokumentasi.

6. Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian terdiri atas lembar pemeriksaan visual, lembar hasil Liquid Penetrant Test, dokumentasi foto, dan format rekapitulasi data cacat las. Instrumen disusun untuk mencatat jenis cacat, jumlah kemunculan, posisi cacat, metode deteksi, dan kemungkinan penyebab cacat.

Tabel 3. Instrumen dan Sumber Data Penelitian

Instrumen	Data yang Dikumpulkan	Sumber Data
Lembar inspeksi visual	Jenis cacat yang tampak, bentuk manik, kebersihan permukaan	Spesimen hasil las
Lembar hasil LPT	Indikasi cacat permukaan setelah penetrant test	Spesimen hasil las
Dokumentasi foto	Bukti visual cacat sebelum dan sesudah LPT	Foto spesimen
Welding parameter sheet	Arus, elektroda, posisi, jenis material	Catatan praktik
Rekapitulasi cacat	Frekuensi dan persentase cacat	Hasil VI dan LPT
Lembar analisis penyebab	Kemungkinan penyebab cacat dan rekomendasi perbaikan	Interpretasi teknis

7. Teknik Analisis Data

Data dianalisis secara deskriptif kuantitatif. Setiap jenis cacat yang ditemukan pada spesimen dicatat, dihitung frekuensinya, kemudian dikonversi ke dalam persentase. Analisis dilakukan untuk mengetahui jenis cacat yang paling dominan, perbandingan cacat antar sesi pembelajaran, dan hubungan antara indikasi cacat dengan kemungkinan penyebab teknis. Rumus yang digunakan untuk menghitung persentase cacat adalah:

$$P = \frac{f}{N} \times 100\%$$

Keterangan:

P = persentase jenis cacat

f = frekuensi kemunculan jenis cacat tertentu

N = jumlah total spesimen yang diperiksa

Selain analisis frekuensi dan persentase, data juga dianalisis secara interpretatif untuk menentukan kemungkinan penyebab cacat dan rekomendasi pengendalian mutu. Rekomendasi pengendalian mutu disusun berdasarkan pola cacat dominan, tahapan proses pengelasan, dan aspek keterampilan mahasiswa yang perlu diperbaiki.

Tabel 4. Teknik Analisis Data

Jenis Data	Teknik Analisis	Output Analisis
Jumlah cacat pada setiap spesimen	Tabulasi frekuensi	Jumlah cacat per spesimen
Jenis cacat	Persentase	Cacat dominan
Cacat per sesi pembelajaran	Perbandingan deskriptif	Pola cacat antarsesi
Hasil VI dan LPT	Triangulasi metode	Kesesuaian/ketidaksesuaian temuan
Kemungkinan penyebab cacat	Analisis teknis	Faktor penyebab utama
Rekomendasi mutu	Sintesis hasil inspeksi	Tindakan perbaikan proses pengelasan

III. HASIL PENELITIAN

1. Karakteristik Spesimen Hasil Pengelasan

Penelitian ini melibatkan 48 spesimen sambungan las SMAW baja karbon rendah yang dihasilkan oleh mahasiswa D3 Teknik Mesin pada mata kuliah Pengujian Mutu Las. Spesimen berasal dari tiga sesi

pembelajaran, masing-masing terdiri atas 16 mahasiswa. Setiap mahasiswa menghasilkan satu spesimen sambungan las yang kemudian diperiksa menggunakan dua metode, yaitu *Visual Inspection* dan *Liquid Penetrant Test*. Pemeriksaan dilakukan untuk mengidentifikasi cacat permukaan, mengklasifikasikan jenis cacat, dan menentukan rekomendasi pengendalian mutu pengelasan. Secara umum, hasil pengamatan menunjukkan bahwa kualitas sambungan las yang dihasilkan mahasiswa cukup bervariasi. Variasi tersebut tampak pada bentuk manik las, kestabilan jalur las, kebersihan permukaan, serta munculnya indikasi cacat seperti *porosity*, *undercut*, *overlap*, *excessive spatter*, dan ketidakaturan bentuk manik las. Kondisi ini menunjukkan bahwa pada praktik pengelasan SMAW, keterampilan operator, kestabilan gerakan elektroda, pengaturan arus, sudut elektroda, dan kebersihan benda kerja memiliki peran penting dalam menghasilkan sambungan las yang memenuhi persyaratan mutu.

Tabel 5. Rekapitulasi Spesimen Penelitian

Sesi Pembelajaran	Jumlah Mahasiswa	Jumlah Spesimen	Metode Pemeriksaan
Sesi 1	16	16	Visual Inspection dan Liquid Penetrant Test
Sesi 2	16	16	Visual Inspection dan Liquid Penetrant Test
Sesi 3	16	16	Visual Inspection dan Liquid Penetrant Test
Total	48	48	VI dan LPT

2. Hasil Pemeriksaan Visual Inspection

Pemeriksaan visual dilakukan sebagai tahap awal untuk mengidentifikasi kondisi permukaan hasil las. Aspek yang diamati meliputi bentuk manik las, keteraturan jalur las, lebar dan tinggi manik, kebersihan permukaan, adanya spatter, serta indikasi cacat permukaan yang terlihat langsung. Berdasarkan hasil pemeriksaan visual, ditemukan beberapa jenis cacat yang dominan, yaitu *porosity*, *undercut*, *excessive spatter*, *irregular bead*, dan *overlap*.

Cacat *porosity* ditemukan dalam bentuk lubang-lubang kecil pada permukaan manik las. Cacat ini umumnya berkaitan dengan adanya gas yang terperangkap selama proses pembekuan logam las. Kemungkinan penyebabnya adalah elektroda lembap, permukaan benda kerja kurang bersih, atau kestabilan busur yang kurang baik. Cacat *undercut* ditemukan pada tepi manik las dalam bentuk alur memanjang yang mengurangi ketebalan logam induk di sekitar daerah las. Cacat ini kemungkinan disebabkan oleh arus pengelasan yang terlalu tinggi, kecepatan gerak elektroda yang terlalu cepat, atau sudut elektroda yang kurang tepat.

Selain itu, ditemukan pula *excessive spatter* dan *irregular bead*. *Excessive spatter* terlihat dari banyaknya percikan logam yang menempel di sekitar area las. Cacat ini menunjukkan bahwa proses pengelasan belum stabil, baik dari aspek panjang busur, arus, maupun teknik ayunan elektroda. Sementara itu, *irregular bead* terlihat dari bentuk manik las yang tidak seragam, tidak lurus, atau memiliki tinggi dan lebar yang tidak konsisten. Indikasi ini menunjukkan bahwa sebagian mahasiswa masih mengalami kesulitan dalam menjaga kestabilan gerakan tangan selama proses pengelasan.

3. Hasil Liquid Penetrant Test

Setelah pemeriksaan visual, seluruh spesimen diuji menggunakan *Liquid Penetrant Test*. Pengujian ini bertujuan untuk mendeteksi diskontinuitas permukaan yang terbuka tetapi tidak selalu tampak jelas pada pemeriksaan visual. Proses LPT dilakukan melalui tahapan pembersihan permukaan, aplikasi penetran, waktu tinggal penetran, pembersihan penetran berlebih, aplikasi *developer*, dan interpretasi indikasi. Hasil LPT menunjukkan bahwa beberapa cacat yang sebelumnya tidak terlihat jelas melalui pemeriksaan visual menjadi lebih mudah diamati setelah aplikasi *developer*. Indikasi yang muncul umumnya berbentuk titik, garis pendek, atau pola tidak beraturan pada permukaan sambungan las. Indikasi titik umumnya berkaitan dengan *porosity*, sedangkan indikasi garis dapat mengarah pada retak halus atau diskontinuitas permukaan memanjang. Dengan demikian, LPT terbukti memberikan

informasi tambahan terhadap hasil pemeriksaan visual, terutama dalam memperjelas keberadaan cacat permukaan berukuran kecil.

Tabel 6. Perbandingan Temuan Visual Inspection dan Liquid Penetrant Test

Metode Inspeksi	Jumlah Indikasi Terdeteksi	Jenis Cacat yang Dominan Terdeteksi	Keterangan
Visual Inspection	49 indikasi	Undercut, spatter, irregular bead, porosity terbuka	Efektif untuk cacat yang tampak langsung
Liquid Penetrant Test	64 indikasi	Porosity halus, crack halus, incomplete fusion terbuka	Lebih sensitif untuk diskontinuitas permukaan
Selisih Temuan	15 indikasi tambahan	Terutama cacat halus	LPT memperkuat hasil inspeksi visual

Berdasarkan tersebut, jumlah indikasi cacat yang terdeteksi melalui LPT lebih tinggi dibandingkan pemeriksaan visual. Hal ini menunjukkan bahwa *Liquid Penetrant Test* berperan penting sebagai metode pelengkap dalam inspeksi hasil las, khususnya untuk mendeteksi cacat permukaan halus yang sulit diamati secara langsung.

4. Distribusi Jenis Cacat Las

Hasil klasifikasi cacat menunjukkan bahwa *porosity* merupakan cacat yang paling banyak ditemukan, yaitu pada 17 spesimen atau 35,42% dari total spesimen. Cacat berikutnya adalah *undercut* sebanyak 14 spesimen atau 29,17%, diikuti oleh *excessive spatter* sebanyak 12 spesimen atau 25,00%, dan *irregular bead* sebanyak 11 spesimen atau 22,92%. Temuan ini menunjukkan bahwa masalah utama pada hasil pengelasan mahasiswa berkaitan dengan kestabilan proses pengelasan, kebersihan material, pengaturan parameter, serta keterampilan dasar dalam mengendalikan elektroda.

Tabel 7. Distribusi Jenis Cacat Las pada Spesimen SMAW

No.	Jenis Cacat Las	Jumlah Spesimen Terindikasi	Persentase dari 48 Spesimen
1	Porosity	17	35,42%
2	Undercut	14	29,17%
3	Excessive spatter	12	25,00%
4	Irregular bead	11	22,92%
5	Overlap	8	16,67%
6	Slag inclusion	7	14,58%
7	Incomplete fusion	5	10,42%
8	Incomplete penetration	4	8,33%
9	Crack	2	4,17%

Catatan: satu spesimen dapat memiliki lebih dari satu jenis cacat, sehingga total kemunculan cacat tidak harus sama dengan jumlah spesimen.

Berdasarkan tabel tersebut, cacat dengan frekuensi tertinggi adalah *porosity* dan *undercut*. Kedua jenis cacat ini perlu menjadi perhatian utama dalam pengendalian mutu pembelajaran pengelasan SMAW. *Porosity* dapat menunjukkan adanya masalah pada kebersihan permukaan, kondisi elektroda, atau kestabilan busur. Sementara itu, *undercut* menunjukkan bahwa mahasiswa perlu memperbaiki pengaturan arus, kecepatan gerak, sudut elektroda, dan kestabilan lintasan pengelasan.

5. Perbandingan Hasil Pemeriksaan Antarsesi Pembelajaran

Analisis antarsesi dilakukan untuk melihat apakah terdapat perbedaan kecenderungan mutu hasil pengelasan pada tiga sesi pembelajaran. Berdasarkan hasil rekapitulasi, Sesi 1 menunjukkan jumlah spesimen diterima yang lebih tinggi dibandingkan Sesi 2 dan Sesi 3. Sesi 3 memiliki jumlah spesimen yang memerlukan perbaikan lebih tinggi. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh variasi keterampilan

awal mahasiswa, tingkat pemahaman terhadap instruksi kerja, kondisi praktik, serta kestabilan pelaksanaan prosedur pengelasan.

Tabel 8. Rekapitulasi Kategori Mutu Spesimen Berdasarkan Sesi

Sesi Pembelajaran	Jumlah Spesimen	Diterima	Perlu Perbaikan	Ditolak
Sesi 1	16	9	5	2
Sesi 2	16	8	6	2
Sesi 3	16	7	7	2
Total	48	24	18	6

Berdasarkan Tabel 8, terdapat 24 spesimen atau 50,00% yang masuk kategori diterima, 18 spesimen atau 37,50% memerlukan perbaikan, dan 6 spesimen atau 12,50% masuk kategori ditolak. Spesimen yang masuk kategori diterima umumnya memiliki bentuk manik las cukup seragam, cacat permukaan minimal, dan tidak menunjukkan indikasi cacat kritis pada LPT. Spesimen yang memerlukan perbaikan umumnya memiliki cacat minor hingga sedang, seperti *spatter*, *irregular bead*, *undercut* ringan, atau *porosity* terbatas. Sementara itu, spesimen yang ditolak memiliki indikasi cacat serius, seperti retak, *incomplete fusion*, atau *incomplete penetration* yang berpotensi menurunkan kualitas sambungan.

6. Interpretasi Penyebab Cacat Las

Hasil penelitian menunjukkan bahwa cacat las yang muncul dapat dikaitkan dengan beberapa faktor teknis dalam proses SMAW. Cacat *porosity* kemungkinan besar disebabkan oleh adanya kontaminasi pada permukaan benda kerja, elektroda yang lembap, atau panjang busur yang tidak stabil. Cacat *undercut* cenderung berkaitan dengan arus pengelasan yang terlalu tinggi, kecepatan gerak yang terlalu cepat, atau sudut elektroda yang kurang sesuai. Cacat *overlap* dapat disebabkan oleh arus yang terlalu rendah, gerak elektroda yang terlalu lambat, atau logam cair yang tidak menyatu sempurna dengan logam induk.

Cacat *slag inclusion* menunjukkan bahwa pembersihan terak belum dilakukan secara optimal, terutama apabila pengelasan dilakukan lebih dari satu lintasan. *Incomplete fusion* dan *incomplete penetration* menunjukkan bahwa panas masukan belum mencukupi atau teknik pengelasan belum mampu menghasilkan peleburan yang sempurna. Sementara itu, retak meskipun ditemukan dalam jumlah kecil tetap harus menjadi perhatian utama karena termasuk cacat yang berisiko terhadap keandalan sambungan.

Tabel 9. Interpretasi Penyebab Cacat dan Rekomendasi Pengendalian Mutu

Jenis Cacat	Kemungkinan Penyebab	Rekomendasi Pengendalian Mutu
Porosity	Elektroda lembap, permukaan kotor, busur tidak stabil	Mengeringkan elektroda, membersihkan permukaan, mengontrol panjang busur
Undercut	Arus terlalu tinggi, gerak terlalu cepat, sudut elektroda tidak tepat	Mengatur arus sesuai diameter elektroda, melatih kestabilan gerak, memperbaiki sudut elektroda
Excessive spatter	Arus tidak stabil, busur terlalu panjang, elektroda kurang sesuai	Menyesuaikan arus, menjaga panjang busur, memastikan jenis elektroda sesuai
Irregular bead	Kecepatan gerak tidak konstan, tangan tidak stabil	Latihan jalur pengelasan, penggunaan garis panduan, supervisi teknik gerak
Overlap	Arus terlalu rendah, gerak terlalu lambat, logam cair tidak menyatu	Mengatur arus, memperbaiki sudut elektroda, menjaga kecepatan pengelasan
Slag inclusion	Pembersihan terak kurang baik, teknik ayunan tidak tepat	Membersihkan terak sebelum lintasan berikutnya, memperbaiki teknik ayunan
Incomplete fusion	Panas kurang, sudut elektroda salah, permukaan kurang bersih	Meningkatkan kontrol panas, memperbaiki posisi elektroda, membersihkan area las

Incomplete penetration	Root gap tidak sesuai, arus rendah, teknik kurang tepat	Mengatur celah akar, menyesuaikan arus, memperbaiki teknik penetrasi
Crack	Tegangan sisa, pendinginan tidak tepat, prosedur buruk	Mengontrol prosedur pengelasan, menghindari pendinginan ekstrem, melakukan inspeksi ulang

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa kombinasi *Visual Inspection* dan *Liquid Penetrant Test* memberikan hasil pemeriksaan yang lebih komprehensif dibandingkan hanya menggunakan satu metode. *Visual Inspection* efektif digunakan sebagai pemeriksaan awal karena dapat mengidentifikasi bentuk manik las, ketidakraturan permukaan, *undercut*, *overlap*, spatter, dan cacat yang tampak langsung. Namun, metode ini memiliki keterbatasan dalam mendeteksi cacat halus.

Sebaliknya, LPT mampu memperjelas indikasi cacat permukaan yang tidak mudah terlihat pada pemeriksaan visual. Pada penelitian ini, LPT mendeteksi lebih banyak indikasi cacat dibandingkan inspeksi visual. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan LPT sangat penting dalam pengendalian mutu hasil las, terutama untuk memastikan bahwa sambungan tidak memiliki diskontinuitas permukaan yang berpotensi berkembang menjadi kegagalan sambungan.

IV. PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa cacat las pada sambungan SMAW baja karbon rendah hasil praktik mahasiswa D3 Teknik Mesin didominasi oleh cacat permukaan yang berkaitan dengan kestabilan proses pengelasan, kebersihan material, pengaturan parameter, dan keterampilan operator. Cacat yang paling banyak ditemukan adalah porosity sebanyak 17 spesimen atau 35,42%, diikuti oleh undercut sebanyak 14 spesimen atau 29,17%, excessive spatter sebanyak 12 spesimen atau 25,00%, dan irregular bead sebanyak 11 spesimen atau 22,92%. Temuan ini menunjukkan bahwa kualitas hasil pengelasan mahasiswa belum sepenuhnya stabil dan masih memerlukan penguatan pada aspek teknik dasar pengelasan.

Dominannya cacat porosity mengindikasikan adanya masalah pada kebersihan permukaan benda kerja, kondisi elektroda, dan kestabilan busur. Porosity umumnya terjadi karena gas terperangkap dalam logam las saat proses pembekuan. Dalam konteks pembelajaran, temuan ini menunjukkan bahwa mahasiswa perlu lebih dilatih dalam tahap persiapan material, pengeringan elektroda, serta pengendalian panjang busur selama proses pengelasan. Dengan demikian, porosity tidak hanya menjadi indikator cacat hasil las, tetapi juga mencerminkan kelemahan pada prosedur awal dan keterampilan operasional mahasiswa. Cacat undercut yang juga banyak ditemukan menunjukkan bahwa sebagian mahasiswa masih mengalami kesulitan dalam mengatur arus, sudut elektroda, dan kecepatan gerak. Undercut dapat menurunkan mutu sambungan karena mengurangi ketebalan logam induk di sekitar daerah las. Temuan ini memperlihatkan bahwa keterampilan mahasiswa dalam mengendalikan panas dan gerakan elektroda perlu diperkuat melalui latihan yang lebih terarah. Sementara itu, munculnya excessive spatter dan irregular bead menunjukkan bahwa kestabilan tangan, jarak busur, serta konsistensi gerakan elektroda belum sepenuhnya dikuasai.

Perbandingan hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa Liquid Penetrant Test mampu mendeteksi lebih banyak indikasi cacat dibandingkan Visual Inspection. Visual Inspection mendeteksi 49 indikasi, sedangkan LPT mendeteksi 64 indikasi, sehingga terdapat 15 indikasi tambahan yang teridentifikasi melalui LPT. Hal ini membuktikan bahwa inspeksi visual efektif sebagai pemeriksaan awal untuk melihat bentuk manik, spatter, undercut, overlap, dan cacat yang tampak langsung. Namun, LPT lebih sensitif untuk mendeteksi diskontinuitas halus yang terbuka ke permukaan, seperti porosity halus, retak halus, dan indikasi incomplete fusion.

Temuan ini memperkuat pentingnya penggunaan kombinasi Visual Inspection dan Liquid Penetrant Test dalam pengendalian mutu hasil las. Visual Inspection memiliki keunggulan karena mudah, cepat, murah, dan dapat dilakukan sebagai pemeriksaan awal. Akan tetapi, metode ini memiliki keterbatasan untuk mendeteksi cacat halus (Senthil Kumar, Natarajan, & Ananthan, 2012). Sebaliknya, LPT mampu memperjelas indikasi cacat permukaan yang tidak terlihat secara langsung (Li, Hu, & Wang, 2020). Oleh karena itu, kombinasi kedua metode ini memberikan hasil pemeriksaan yang lebih komprehensif dan relevan untuk pembelajaran Pengujian Mutu Las.

Hasil kategori mutu menunjukkan bahwa dari 48 spesimen, sebanyak 24 spesimen atau 50,00% masuk kategori diterima, 18 spesimen atau 37,50% memerlukan perbaikan, dan 6 spesimen atau 12,50% ditolak. Data ini menunjukkan bahwa sebagian mahasiswa telah mampu menghasilkan sambungan las dengan kualitas yang cukup baik, tetapi masih terdapat jumlah yang cukup besar yang membutuhkan perbaikan. Perbedaan hasil antarsesi juga menunjukkan adanya variasi kemampuan mahasiswa, pemahaman instruksi kerja, kondisi praktik, dan tingkat penguasaan teknik pengelasan.

Secara teoritis, hasil penelitian ini menegaskan bahwa mutu sambungan las merupakan hasil interaksi antara material, parameter pengelasan, keterampilan operator, prosedur kerja, dan sistem inspeksi (Feng et al., 2016; Yang, Fan, Huo, & Liu, 2021). Dalam konteks pendidikan vokasional, mahasiswa tidak cukup hanya dilatih untuk melakukan pengelasan, tetapi juga perlu dibiasakan melakukan pemeriksaan, menganalisis penyebab cacat, dan merumuskan tindakan perbaikan (Pambudi & Harjanto, 2020; Ubihatun, Aliyya, Wira, Ardhelia, & Radianto, 2024). Oleh karena itu, pembelajaran pengelasan perlu diarahkan pada siklus welding, inspection, diagnosis, improvement, yaitu mahasiswa melakukan pengelasan, memeriksa hasil las, menganalisis cacat, lalu memperbaiki teknik pengelasan berdasarkan hasil inspeksi. Dengan demikian, penelitian ini menjawab permasalahan bahwa cacat las pada sambungan SMAW baja karbon rendah dapat diidentifikasi secara lebih baik melalui kombinasi Visual Inspection dan Liquid Penetrant Test. Cacat dominan berupa porosity, undercut, excessive spatter, dan irregular bead menunjukkan perlunya penguatan pembelajaran pada aspek kebersihan material, pengaturan arus, sudut elektroda, panjang busur, dan kestabilan gerakan. Hasil penelitian ini dapat menjadi dasar pengendalian mutu pembelajaran pengelasan agar evaluasi praktik mahasiswa lebih objektif, sistematis, dan sesuai dengan kebutuhan kompetensi industri.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa cacat las pada sambungan SMAW baja karbon rendah hasil praktik mahasiswa paling dominan adalah porosity sebesar 35,42%, diikuti undercut sebesar 29,17%, excessive spatter sebesar 25,00%, dan irregular bead sebesar 22,92%. Cacat tersebut menunjukkan bahwa kualitas hasil las mahasiswa masih dipengaruhi oleh kebersihan material, kestabilan busur, pengaturan arus, sudut elektroda, kecepatan gerak, dan keterampilan operator. Kombinasi Visual Inspection dan Liquid Penetrant Test terbukti efektif untuk mengidentifikasi cacat las secara lebih komprehensif. Visual Inspection mampu mendeteksi cacat yang tampak langsung, sedangkan Liquid Penetrant Test lebih sensitif dalam menemukan cacat permukaan halus yang sulit terlihat secara visual. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari 48 spesimen, 24 spesimen dinyatakan diterima, 18 spesimen memerlukan perbaikan, dan 6 spesimen ditolak. Dengan demikian, penggunaan kedua metode inspeksi ini dapat dijadikan dasar pengendalian mutu pengelasan dalam pembelajaran vokasional. Hasil penelitian ini juga menegaskan pentingnya penguatan latihan praktik, inspeksi hasil las, analisis penyebab cacat, dan tindakan perbaikan agar kompetensi mahasiswa lebih sesuai dengan kebutuhan industri.

VI. REFERENSI

- Akhmadi, A. N., & Qurohman, M. T. (2020). Analisa Hasil Pengelasan 2g Dan 3g Dengan Bahan Plat Besi St 40 Ketebalan 10 mm Dan Voltase 20-35 Menggunakan Mesin Las Mig. *Nozzle*, 9(2), 25-30.
- Alwahidi, M. N., Afrizal, B., & Samudra, S. G. (2025). Review Pengujian Pengelasan Metode Non-Destructive Test. *Jurnal Mema (Jurnal Mesin dan Manufaktur)*, 2(1), 30-42.
- Arifin, J., Purwanto, H., & Syafaâ, I. (2017). Pengaruh jenis elektroda terhadap sifat mekanik hasil pengelasan smaw baja ASTM A36. *Majalah Ilmiah MOMENTUM*, 13(1).
- Assa, V. A., & Peginusa, S. S. (2025). *Praktik Kerja Baja: Switly Peginusa*.
- Azari, H., & Kok, R. (2022). Implementation of American Association of State Highway and Transportation Officials/American Welding Society D1. 5 Phased Array Ultrasonic Weld Inspection Programs. *Transportation Research Record*, 2676(10), 486-494.
- Deepak, P., Kim, W., Paley, M. A., Yang, M., Carvidi, A. B., Demissie, E. G., . . . Kinnett, B. (2021). Effect of immunosuppression on the immunogenicity of mRNA vaccines to SARS-CoV-2: a prospective cohort study. *Annals of internal medicine*, 174(11), 1572-1585.
- Dimu, R. J., & Rerung, O. D. (2019). Analisa Pengaruh Variasi Arus Listrik Terhadap Kekerasan Material Baja Karbon Rendah Pada Daerah Lasan TIG dan MIG. *Jurnal Teknik Mesin*, 2(1), 12-19.
- Feng, Q., Li, R., Nie, B., Liu, S., Zhao, L., & Zhang, H. (2016). Literature review: Theory and application of in-line inspection technologies for oil and gas pipeline girth weld defection. *Sensors*, 17(1), 50.
- Gunawan, Y., Endriatno, N., & Anggara, B. H. (2017). Analisa pengaruh pengelasan listrik terhadap sifat mekanik baja karbon rendah dan baja karbon tinggi. *Enthalpy-Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin*, 2(1), 1-12.
- Hamdani, S., Azwinur, S., Adi Saputra Ismy, S., Usman, S., & Ir Jufriadi, M. (2024). *STANDAR PENGELASAN KONSTRUKSI*: Penerbit Andi.
- Li, Y., Hu, M., & Wang, T. (2020). Visual inspection of weld surface quality. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 39(4), 5075-5084.
- Pambudi, N. A., & Harjanto, B. (2020). Vocational education in Indonesia: History, development, opportunities, and challenges. *Children and Youth Services Review*, 115, 105092.
- Pennekamp, F., & Schtickzelle, N. (2013). Implementing image analysis in laboratory-based experimental systems for ecology and evolution: a hands-on guide. *Methods in Ecology and Evolution*, 4(5), 483-492.
- Phillips, D. H. (2023). *Welding engineering: an introduction*: John Wiley & Sons.
- Pogrebisky, D. M. (2016). *Welding of metals: Classification, brief history, development* (Vol. 2016): Insty Prints.
- Pratama, Y. (2025). *PERBANDINGAN KUALITAS HASIL LAS ANTARA METODE LAS SHIELDED METALARC WELDING (SMAW) DAN GAS METAL ARC WELDING (GMAW) PADA BAJA STAINLESS STEEL 304*. Fakultas Teknik, Universitas Islam Sumatera Utara.
- Riyanto, S. F. (2026). Welding Current Variation Determines Tensile Strength of Low Carbon Steel: Variasi Arus Las Menentukan Kekuatan Tarik Baja Karbon Rendah. *Indonesian Journal of Innovation Studies*, 27(1), 10.21070/ijins. v21027i21071. 22084-21010.21070/ijins. v21027i21071. 22084.

- Senthil Kumar, G., Natarajan, U., & Ananthan, S. (2012). Vision inspection system for the identification and classification of defects in MIG welding joints. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 61(9), 923-933.
- Sitorus, M. B. H. (2017). Inspeksi NDT Hasil Pengelasan GMAW Tingkat 1 Mahasiswa Semester 6 Prodi Teknik Mesin Konsentrasi Teknik Produksi Polmed. *Jurnal Teknik Mesin Mercu Buana*, 6(3), 182-186.
- Suherman, S., & Abdullah, I. I. (2021). *TEKNIK PENGELASAN: (Cara Menghindari Cacat Las)*: umsu press.
- Sunaryo, H. (2008). Teknik Pengelasan Kapal. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Ubihatun, R., Aliyya, A. I., Wira, F., Ardhelia, V. I., & Radianto, D. O. (2024). Tantangan dan prospek pendidikan vokasi di era digital: Tinjauan literatur. *Abstrak: Jurnal Kajian Ilmu seni, Media dan Desain*, 1(3), 01-11.
- Yang, L., Fan, J., Huo, B., & Liu, Y. (2021). Inspection of welding defect based on multi-feature fusion and a convolutional network. *Journal of Nondestructive Evaluation*, 40(4), 90.
- Yunianto, B., & Wicaksana, P. (2023). Analisis cacat hasil pengelasan pada pipa ASTM A106 Grade B menggunakan magnetic particle test dan liquid penetrant test di Workshop Las dan Inspeksi PPSDM Migas Cepu. *ROTASI*, 25(2), 54-60.