

Review Pengujian Pengelasan Metode Destructive Test

Aditia Hlkbal^{a,1,*}, M Bayu Nugroho^{b,2}, Ahyarisa Mahfud Bachtiar^{c,3}, Oscar Haris^{d,4}, Rully Arifin^{e,5}

^{a,b,c,d,e} Politeknik Digital Boash Indonesia, Kec Clteureup, Kab.Bogor dan 16810, Indonesia

¹Adityaikbal080@gmail.com; ²Bayu@gmail.com, ³ahyarisa.mahfud@gmail.com, ⁴oscar.haris@pdbi.ac.id, ⁵rully.arifin@pdbi.ac.id

* Penulis Korespondensi

Diterima 03 April 2025; Direvisi 08 April 2025; Diterima 13 April 2025

ABSTRAK

Penelitian ini membahas hasil *Destructive Test* (DT) pada sambungan las melalui tiga jenis pengujian utama, yaitu uji bending, uji tarik, dan uji kekerasan, sebagai parameter untuk mengevaluasi kualitas dan kekuatan sambungan las. Pengelasan merupakan metode penyambungan logam yang banyak digunakan dalam industri manufaktur, konstruksi, dan otomotif. Namun, proses ini dapat memengaruhi sifat mekanik logam, terutama pada daerah las dan *Heat Affected Zone* (HAZ), sehingga perlu dilakukan pengujian untuk memastikan kekuatan dan ketahanan sambungan. Uji bending dilakukan untuk mengevaluasi keuletan sambungan, uji tarik untuk mengetahui kekuatan maksimum terhadap gaya tarik, sedangkan uji kekerasan bertujuan menilai distribusi kekerasan pada logam las, HAZ, dan logam induk. Dari hasil tinjauan jurnal yang dianalisis, ketiga pengujian DT menunjukkan bahwa parameter pengelasan seperti arus, tegangan, kecepatan, dan pemilihan elektroda sangat berpengaruh terhadap hasil akhir sambungan. Hasil DT ini juga memberikan informasi penting mengenai kualitas sambungan las dalam menahan beban statis maupun dinamis. Kesimpulan yang diperoleh dari kajian ini menegaskan bahwa pengujian DT merupakan metode evaluasi yang efektif untuk memastikan sambungan las memiliki standar kekuatan, keuletan, dan kekerasan yang sesuai dengan persyaratan aplikasi industri.

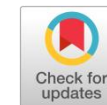


KATA KUNCI

Destructive Test Pengelasan;
Uji Tarik Uji Bending;
Uji Kekerasan HAZ

ABSTRACT

This study reviews the results of *Destructive Testing* (DT) on welded joints through three primary testing methods: bending test, tensile test, and hardness test, as key parameters for evaluating the quality and strength of welds. Welding is a widely used metal joining technique in manufacturing, construction, and automotive industries. However, the process can alter the mechanical properties of the metal, particularly in the weld zone and the *Heat Affected Zone* (HAZ), making testing essential to ensure joint strength and durability. The bending test evaluates ductility, the tensile test measures maximum tensile strength, and the hardness test assesses the hardness distribution across the weld metal, HAZ, and base metal. From the reviewed journals, the results indicate that welding parameters such as current, voltage, travel speed, and electrode selection significantly influence weld quality. These DT results provide critical information on a weld's ability to withstand static and dynamic loads. The review concludes that DT is an effective evaluation method to ensure that welded joints meet the required strength, ductility, and hardness standards for industrial applications.



KEYWORD

Destructive Test welding;
Tensile test bending;
Test hardness tes HAZ



This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license

1. Pendahuluan

Seiring dengan kemajuan teknologi bidang konstruksi pengelasan merupakan bagian dari pengembangan industri, pembangunan konstruksi saat ini banyak menggunakan logam sehingga sering melibatkan proses pengelasan salah satunya pada bidang Las SMAW. Teknologi pengelasan memegang peranan penting dalam pertumbuhan industri karena teknologi pengelasan dapat mempengaruhi hasil dari suatu proses produksi dan khususnya proses dalam rekayasa penyambungan logam, sehingga proses pemesinan yang dipergunakan untuk melakukan perbaikan baik mempertebal bagian yang aus dan macam macam reparasi lainnya (Wiryosumarto dan Okumura, 2004) [1]. Pengertian dari Las adalah salah satu cara untuk menyambung benda padat dengan jalan mencairkannya melalui pemanasan [2].

Pengelasan adalah suatu aktivitas menyambung dua bagian benda atau lebih dengan cara memanaskan atau menekan atau gabungan dari keduanya sedemikian rupa sehingga menyatu seperti benda utuh [3, 4]. Ataupun juga Pengelasan adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan ara

mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tambahan lobang pada coran, membuat lapisan keras pada perkakas, mempertebal bagian-bagian yang sudah aus, dan macam-macam reparasi lainnya [5]. Kualitas sambungan las menentukan daya tahan dan keselamatan struktur secara keseluruhan. Oleh karena itu, diperlukan pengujian untuk memastikan sambungan tersebut sesuai dengan standar mutu yang ditetapkan [6].

Destructive test memberikan gambaran menyeluruh tentang kekuatan sambungan las, ketahanan terhadap beban, serta kemungkinan adanya cacat internal yang tidak terlihat secara visual. Beberapa jenis uji destruktif yang umum digunakan adalah uji tarik (tensile test), uji tekuk (bend test), uji dampak (impact test), dan uji kekerasan (hardness test). Metode-metode ini memiliki standar pelaksanaan yang ditetapkan oleh organisasi internasional seperti American Welding Society (AWS) dan American Society for Testing and Materials (ASTM)[7]. Meski bersifat merusak, pengujian ini dianggap penting karena hasilnya akurat dalam menggambarkan kondisi sambungan sesungguhnya.

Destructive test umumnya dilakukan pada spesimen uji (test coupon) yang dilas menggunakan parameter yang sama dengan produk aktual, sehingga hasil uji dapat mewakili kondisi sambungan di lapangan [8]. Sampel ini kemudian dianalisis untuk menentukan apakah sambungan tersebut memenuhi spesifikasi teknis yang dipersyaratkan. Dengan demikian, pemahaman tentang prosedur pelaksanaan, kelebihan, dan keterbatasan masing-masing jenis uji destruktif menjadi hal yang sangat penting bagi teknisi dan insinyur pengelasan dalam menjamin mutu dan keselamatan produk akhir.

Meskipun tidak dapat diterapkan langsung pada semua hasil las karena sifatnya yang merusak, uji destruktif tetap menjadi bagian penting dalam proses kualifikasi prosedur pengelasan (Welding Procedure Specification/WPS) dan kualifikasi welder. Menurut Tarkono [9], Perbedaan penggunaan jenis-jenis elektroda akan mempengaruhi kekuatan tarik hasil pengelasan dan perpanjangan (elongation). Selain sebagai alat kontrol mutu, destructive test juga menjadi bagian dari sistem sertifikasi industri yang menjamin keandalan produk [10]. Oleh karena itu, kajian mendalam mengenai metode dan aplikasinya sangat diperlukan agar pengambilan keputusan teknis dapat dilakukan secara tepat dan berbasis data.

Masalah umum dalam pengelasan lainnya meliputi deformasi termal, inklusi terak, serta ketidaksesuaian antara pengaturan arus dan jenis logam dasar (CHJ), telah melakukan penelitian mengenai pengelasan metode SMAW, FCAW, dan SAW pada material mild steel (ST.42). Metode SMAW kawat las yang digunakan AWS A5.1 E6013 dia. 3,2 mm dan dia. 4mm [11]. Metode SAW digunakan kawat las AWS A5-17 EM 12K dia. 4 mm dengan pelindung fluks. Hasil penelitiannya menunjukkan, pengelasan metode SAW mempunyai kekuatan tarik lebih baik dari metode SMAW. Sedangkan hasil pengujian

Tegangan lentur (bending), menunjukkan bahwa pengelasan dengan metode SMAW mempunyai tegangan lentur atau kekuatan bending lebih baik. Menurut Tarkono (2012), Perbedaan penggunaan jenis-jenis elektroda akan mempengaruhi kekuatan tarik hasil pengelasan dan perpanjangan (elongation) [12]. Peneliti lainnya (syahrani, 2013) melakukan penelitian dengan variasi arus pengelasan terhadap kekuatan tarik dan bending pada baja SM 490 diperoleh perbedaan nilai kekuatan tarik dan bending [13]. Penelitian ini menggunakan perbedaan metode pengelasan, penggunaan arus, dan jenis elektroda. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui kekuatan tarik dan bending sambungan las pada material baja SM 490 dengan Metode Pengelasan SAW (Submerged Arc Welding) dan SMAW (Shielding Metal Arc Welding)

Penelitian ini menyajikan kebaruan melalui tinjauan komprehensif terhadap metode uji destruktif pada sambungan las, dengan membandingkan efektivitas berbagai metode seperti uji tarik, tekuk, dampak, dan kekerasan dalam mendeteksi cacat las spesifik. Kajian ini juga menyoroiti relevansi metode destruktif terhadap perkembangan teknologi pengelasan modern serta potensi integrasinya dengan sistem prediksi berbasis machine learning. Selain itu, review ini membandingkan penerapan metode uji berdasarkan standar internasional seperti AWS, ASME, ISO, dan JIS, guna mengidentifikasi kesenjangan dan peluang harmonisasi standar. Temuan ini diharapkan dapat memperkuat landasan evaluasi kualitas las secara lebih akurat dan adaptif terhadap kemajuan industri.

2. Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka pada penelitian berjudul *“Review Pengujian Pengelasan Metode Destructive Test”* membahas secara menyeluruh mengenai metode pengujian sambungan las yang bersifat merusak (destructive testing), seperti uji tarik (tensile test) dan uji lentur (bending test). Destructive testing digunakan untuk mengetahui kekuatan mekanik sambungan las hingga batas kerusakan material, dan menjadi metode utama dalam mengevaluasi kualitas hasil pengelasan, khususnya pada proses SMAW (Shielded Metal Arc Welding).

Beberapa studi menunjukkan bahwa variasi arus listrik dalam pengelasan sangat memengaruhi hasil uji tarik maupun cacat yang muncul pada sambungan, seperti porositas, undercut, atau slag inclusion. Penelitian juga menunjukkan bahwa media pendingin setelah proses pengelasan turut berperan dalam meminimalkan kecacatan, dengan pendingin air cenderung memberikan hasil terbaik. Selain itu, destructive test kerap dikombinasikan dengan metode non-destruktif seperti uji penetrasi, partikel magnetik, ultrasonik, dan radiografi, yang memungkinkan deteksi cacat tanpa merusak benda uji. Di tengah perkembangan teknologi, pendekatan berbasis kecerdasan buatan seperti deep learning juga mulai digunakan untuk memprediksi kualitas hasil las secara otomatis, sebagai alternatif yang lebih cepat dan efisien dibandingkan pengujian destruktif konvensional. Dengan demikian, destructive testing tetap menjadi bagian penting dalam pengujian kualitas las, namun perlu dikombinasikan dengan metode lain untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dan efisien.

3. Metodologi

Penelitian ini dilakukan melalui studi literatur terhadap jurnal-jurnal ilmiah yang membahas uji destruktif (Destructive Testing/DI) pada proses pengelasan. Data dikumpulkan dari basis data kredibel seperti ScienceDirect, SpringerLink, Google Scholar, dan lainnya, dengan fokus pada metode uji tarik, uji dampak, uji kekerasan, dan uji lentur. Setiap literatur dianalisis dari segi metode uji, jenis logam, parameter pengelasan, dan hasil evaluasi kualitas sambungan.

3.1 Penentuan Ruang Lingkup Kajian

Langkah awal adalah penentuan **kata kunci yang relevan**, seperti "*tensile test*," "*impact test*," "*hardness test*," dan lainnya, yang dikombinasikan dengan istilah tambahan untuk mempersempit hasil pencarian. Literatur dicari melalui **basis data internasional dan nasional** (misal: Garuda, Neliti), dengan mempertimbangkan **validitas ilmiah dan keterkinian** (5–10 tahun terakhir).

3.2 Strategi Pencarian Literatur

Strategi pencarian dilakukan secara sistematis dan terarah, menggunakan kombinasi kata kunci serta operator Boolean (AND, OR, NOT). Literatur yang relevan disaring berdasarkan judul, abstrak, dan kata kunci, lalu dianalisis secara mendalam untuk melihat metode, hasil, serta relevansi terhadap standar teknis. Pengelolaan referensi dilakukan dengan aplikasi manajemen referensi seperti Mendeley atau Zotero.

3.3 Kriteria Seleksi Literatur

Kriteria seleksi meliputi:

- 1) Kesesuaian topik (fokus pada metode DI)
- 2) Kedalaman isi (penjelasan prosedur, parameter, hasil)
- 3) Kredibilitas sumber (jurnal terindeks, dokumen standar)
- 4) Tahun terbit (5–10 tahun terakhir, kecuali teori dasar)
- 5) Bahasa publikasi (Inggris dan Indonesia relevan akademik)
- 6) Tingkat sitasi (sebagai indikator kualitas ilmiah)

3.4 Klasifikasi dan Analisis Data

Data diklasifikasikan berdasarkan jenis pengujian (tarik, dampak, kekerasan, lentur) dan variabel pengujian (material, perlakuan, dimensi, dll). Analisis dilakukan secara **statistik deskriptif** (rata-rata, deviasi, dll) dan **komparatif** terhadap standar teknis. Hasilnya digunakan untuk menilai performa material dan memberikan rekomendasi teknik.

3.5 Perbandingan dan Sintesis Temuan

Perbandingan dilakukan antara data hasil pengujian dan standar teknis atau literatur sebelumnya. Sintesis bertujuan membangun kesimpulan ilmiah yang utuh, menjelaskan tren, dan merumuskan rekomendasi teknis atau penelitian lanjutan.

3.6 Penyusunan dan Penyajian Review

Review disusun dengan struktur logis mulai dari definisi, metode, hasil, hingga sintesis. Penyajian diperkuat dengan tabel, grafik, dan ilustrasi teknis agar mudah dipahami. Penu[14]lisan menggunakan

bahasa akademik, disertai sitasi yang konsisten sesuai gaya (APA, IEEE, dll), dan ditutup dengan kesimpulan serta rekomendasi.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil

Proses pengelasan menghasilkan sambungan yang memiliki karakteristik mekanik berbeda dari material induk karena adanya daerah las dan HAZ (Heat Affected Zone). Perubahan ini terjadi akibat pemanasan tinggi yang diikuti pendinginan cepat, yang dapat memengaruhi kekuatan, keuletan, serta kekerasan material [15], [16]. Untuk mengetahui kualitas sambungan las, dilakukan serangkaian Destructive Test (DT) seperti uji bending, uji tarik, dan uji kekerasan, yang memberikan gambaran nyata mengenai sifat mekanik sambungan (ASTM E190-14, 2014; ASTM E8/E8M-13a, 2013) [17], [18].

Pada uji bending, sambungan las diuji untuk mengetahui keuletan dan kemampuan material menahan deformasi plastis. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa sambungan las tidak mengalami retakan atau kerusakan signifikan selama pembengkokan, menunjukkan penetrasi las yang baik dan sifat keuletan yang memadai [19].

Sedangkan uji tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan maksimum sambungan dalam menahan beban tarik. Patahan yang terjadi di logam induk menunjukkan bahwa sambungan las memiliki kekuatan yang setara atau lebih tinggi dibanding material dasar, selama parameter pengelasan telah diatur dengan tepat [20], [21].

Pada uji kekerasan, terdapat variasi nilai antara logam las, HAZ, dan logam induk. Kekerasan tertinggi umumnya berada di logam las akibat pendinginan cepat, sementara HAZ menunjukkan transisi kekerasan akibat perubahan struktur mikro [22], [23]. Hasil ini menjadi acuan penting dalam menilai kestabilan dan integritas sambungan secara menyeluruh.

4.2 Pembahasan

1). Bending

Uji bending atau uji tekuk adalah salah satu jenis uji destruktif yang digunakan untuk mengetahui seberapa kuat hasil pengelasan saat diberikan tekanan lentur. Uji ini biasanya digunakan untuk melihat apakah hasil pengelasan memiliki cacat seperti retakan, porositas, atau sambungan yang kurang sempurna. Menurut Djufri et al. (2024), pengelasan pada baja AISI 4140 dengan tegangan tinggi bisa menyebabkan munculnya retakan mikro dan menurunnya kekuatan tekuk [24]. Faridzi dan Ponidi (2024) menjelaskan bahwa pemilihan jenis elektroda juga memengaruhi kekuatan bending, di mana elektroda E7016 menunjukkan hasil lebih kuat dibandingkan E6013[25]. Selain itu, Mirza et al. (2018) menambahkan bahwa media pendingin seperti oli atau air garam juga bisa memengaruhi kekuatan tekuk logam yang dilas[26].

Parameter lain seperti arus listrik, posisi pengelasan, dan jenis proses las juga berpengaruh besar terhadap hasil uji bending. Veronika et al. (2023) menemukan bahwa proses pengelasan GMAW pada baja ASTM A36 memberikan kekuatan tekuk terbaik saat menggunakan arus 94–106 A dan tegangan 23–25 V [26]. Dalam penelitian lain, Anggraeni et al. (2017) membandingkan pengelasan di darat dan di bawah air, dan hasilnya menunjukkan bahwa pengelasan di bawah air menghasilkan lebih banyak cacat[27]. Wahyu et al. (2019) juga membuktikan bahwa variasi arus dan arah gerakan pengelasan mempengaruhi hasil uji tekuk, dengan nilai tertinggi didapat saat menggunakan arus 90 A dan gerakan mundur[28].

Selain faktor proses, perlakuan panas setelah pengelasan juga berpengaruh. Marulam (2019) menjelaskan bahwa panas masuk yang besar tanpa proses normalizing bisa meningkatkan kekuatan tekuk[29]. Haq et al. (2019) menyarankan penggunaan arus 135 A karena menghasilkan nilai tekuk yang lebih tinggi dibandingkan arus 165 A [30]. Farhan et al. (2019) juga menemukan bahwa perbedaan suhu normalizing memberikan pengaruh terhadap kekuatan sambungan. Menurut standar seperti ASME dan AWS, hasil uji bending dianggap gagal jika terdapat retakan pada sisi luar lebih dari 3 mm (Detech, n.d.). Dengan demikian, uji bending sangat penting untuk menjamin bahwa sambungan las aman, kuat, dan sesuai dengan standar industri.

2). Uji Tarik

Uji tarik adalah salah satu jenis uji destruktif yang paling sering digunakan untuk mengetahui kekuatan sambungan hasil pengelasan. Uji ini dilakukan dengan menarik spesimen hingga putus, lalu diukur berapa besar gaya yang dibutuhkan. Dari hasil berbagai jurnal, ditemukan bahwa hasil uji tarik

sangat dipengaruhi oleh jenis elektroda, jenis logam, dan parameter pengelasan seperti arus dan tegangan. Faridzi dan Ponidi (2024) melaporkan bahwa pada baja ASTM A36, elektroda E7016 memberikan nilai kekuatan tarik lebih tinggi daripada E6013[31]. Djufri et al. (2024) juga menjelaskan bahwa tegangan pengelasan titik yang tinggi dapat menurunkan kekuatan tarik karena menimbulkan cacat mikro[32]. Sementara itu, Marulam (2019) membuktikan bahwa panas masuk tinggi pada proses FCAW tanpa normalisasi menghasilkan kekuatan tarik terbaik pada baja SS400[33].

Parameter seperti posisi pengelasan dan media pendingin juga sangat berpengaruh. Wahyu et al. (2019) menunjukkan bahwa variasi arus dan arah gerakan pengelasan dapat mengubah nilai kekuatan tarik secara signifikan[34]. Pengelasan dengan arus 90 A dan gerakan mundur menghasilkan nilai tarik tertinggi, sedangkan arus terlalu rendah atau tinggi menghasilkan nilai yang lebih rendah. Mirza et al. (2018) juga menemukan bahwa media pendingin seperti air garam atau oli dapat menurunkan kekuatan tarik dibandingkan tanpa pendinginan[35]. Haq et al. meneliti variasi arus listrik pada posisi 3G dan mendapati bahwa arus 135 A lebih ideal dibanding 165 A karena menghasilkan nilai kekuatan tarik lebih tinggi dan struktur mikro lebih baik[36].

Perlakuan panas seperti proses normalizing serta standar uji yang digunakan juga memengaruhi hasil akhir. Farhan et al. (2019) menyebutkan bahwa perlakuan panas dengan suhu 900 °C memberikan nilai tarik yang lebih stabil dibandingkan suhu 975 °C. Selain itu, pemilihan metode pengelasan seperti GMAW dan FCAW juga memengaruhi distribusi kekuatan di daerah HAZ (heat-affected zone) dan logam las [37]. Veronika et al. (2023) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa pengelasan GMAW dengan parameter tepat menghasilkan kekuatan tarik yang tinggi sesuai standar AWS [38]. Dengan demikian, uji tarik memberikan informasi penting mengenai kekuatan sambungan dan membantu memastikan apakah pengelasan memenuhi standar teknis industri, seperti ASME dan AWS (ASME, 2019; AWS, 2020) [39].

3). Uji Kekerasan

Uji kekerasan adalah metode pengujian untuk mengetahui ketahanan material terhadap penetrasi, goresan, dan deformasi plastis saat diberi beban, yang sangat penting dalam menentukan kualitas dan ketahanan suatu material [40]. Dalam industri, terutama industri kapal, diperlukan material dengan sifat mekanik yang baik, termasuk kekerasan tinggi, untuk memenuhi kebutuhan operasional [41].

Kekerasan berkaitan erat dengan umur lelah material, dan meskipun perlakuan panas dapat meningkatkan kekerasan, hal ini tidak selalu sejalan dengan peningkatan daya tahan material (Sumiyanto [42]). Kontrol kualitas, seperti proses tempering, diperlukan untuk menyesuaikan spesifikasi produk dengan standar industri [43].

Untuk meningkatkan akurasi pengujian, dilakukan pengkajian menggunakan metode *Design of Experiment* (DOE), seperti *Full Factorial*, guna mengevaluasi pengaruh parameter seperti variasi diameter terhadap hasil kekerasan [44]. Uji kekerasan juga berguna dalam menilai efek perlakuan panas, cold working, dan hot working terhadap material [45].

Seiring perkembangan teknologi, material komposit serat alam mulai banyak digunakan karena menawarkan keunggulan seperti bobot ringan, tahan korosi, ramah lingkungan, dan biaya produksi rendah. Komposit ini terdiri dari serat alam sebagai penguat dan matriks sebagai pengikat, serta memiliki potensi sebagai pengganti material logam [46], [47].

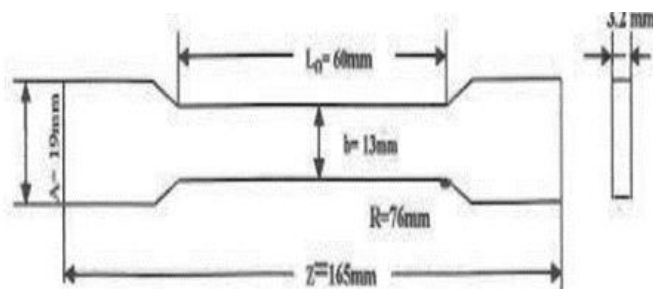
Untuk memahami ketahanan material terhadap deformasi plastis, digunakan uji kekerasan seperti Rockwell, yang hasilnya ditentukan berdasarkan kombinasi beban dan jenis indenter yang digunakan, masing-masing dengan skala tertentu [48].

Spesimen	Lebar (b) (mm)	Tebal (d) (mm)	Luas $A_0 = b \times d$ (mm ²)	Beban Tarik Max (P) (Kg)	Kekuatan Tarik Max ($\sigma = P/A_0$) (N/mm ²)	Rata-rata Tegangan Tarik Max (N/mm ²)
110	1	12,5	6	75	2727,40	356,38
	2	12,5	6	75	2793,20	364,97
	3	12,5	6	75	2826,80	369,36
	4	12,5	6	75	2922,40	381,86
	5	12,5	6	75	2939,20	384,05
120	1	12,5	6	75	2885,80	377,07
	2	12,5	6	75	2847,60	372,08
	3	12,5	6	75	2913,60	380,71
	4	12,5	6	75	2820,40	368,53
	5	12,5	6	75	2983,00	389,77
130	1	12,5	6	75	2991,20	390,85
	2	12,5	6	75	2975,40	388,78
	3	12,5	6	75	2996,00	391,47
	4	12,5	6	75	2963,60	387,24
	5	12,5	6	75	2960,00	386,77

Gambar 1. Pengaruh Variasi Arus Pengelasan Pada Sambungan Las Baja Astm A36 Terhadap Kekuatan Tarik Dan Bending Dengan Menggunakan Metode Eksperimental [14]

Tabel 1. Hasil uji raw naterial tarik dan bending

Spesimen	Uji Tarik		Uji Bending	
	σ (Mpa)	ϵ (%)	P_{max} (kgf)	Y_{max} (mm)
Normal	94.73	3.71	25.44	32.12



Gambar 2. Analisis Kekuatan Bending dan Tarik Pada Pengelasan Oxy- Acetelyne Menggunakan Garam Kuning.[10]

No	Pendingin	Lebar (mm)	Tebal (mm)	P_{max} (KN)	ΔL	Tegangan	Regangan (%)
1	Oli	12.9	5.72	33.17	15.29	449.53	30.58
	Oli	13.52	5.74	35.05	16.8	451.65	33.6
	Oli	13.04	5.72	32.46	14.42	435.19	28.84
2	Air Garam	12.38	5.44	34.15	11.83	507.07	23.66
	Air Garam	13.9	5.36	36.23	11.37	486.28	22.74
	Air Garam	12.38	5.52	32.62	15.23	477.34	30.46
3	Dromus	13.26	5.6	34.13	15.29	459.63	30.58
	Dromus	13.82	5.54	36.19	17.6	472.68	35.2
	Dromus	13.54	5.64	34.94	17.13	457.54	34.26
4	Udara Bebas	13.78	5.64	36.24	18.34	466.29	36.68
	Udara Bebas	14.04	5.42	36.17	18.7	475.32	37.4
	Udara Bebas	14.88	5.62	36.11	16.14	431.81	32.28

Gambar 3. Spesimen pengujian Tarik (standar ASTM D 638-02)[36]

5. Penutup

5.1 Kesimpulan

Uji Bending menunjukkan bahwa sambungan las memiliki tingkat keuletan yang baik apabila tidak terdapat retakan atau cacat pada daerah las saat proses pembengkokan. Hasil ini menandakan kualitas penetrasi las yang optimal dan ketahanan sambungan terhadap deformasi plastis.

Uji Tarik membuktikan kekuatan tarik sambungan las mendekati atau melebihi kekuatan material dasar apabila proses pengelasan dilakukan dengan parameter yang tepat. Kegagalan patah yang terjadi umumnya berada di daerah logam induk, yang menandakan sambungan las memiliki kekuatan yang cukup tinggi.

Uji Kekerasan mengindikasikan distribusi kekerasan yang berbeda antara logam las, HAZ (Heat Affected Zone), dan logam induk. Nilai kekerasan yang lebih tinggi di area las menunjukkan efek pemanasan dan pendinginan cepat, sementara area HAZ memiliki transisi kekerasan yang menandakan perubahan struktur mikro akibat pengelasan.

Secara keseluruhan, hasil ketiga uji tersebut menegaskan bahwa kualitas sambungan las sangat dipengaruhi oleh teknik pengelasan, pemilihan elektroda, serta parameter proses seperti arus, tegangan, dan kecepatan pengelasan. Kombinasi hasil uji bending, tarik, dan kekerasan dapat digunakan sebagai acuan untuk menilai kelayakan dan kekuatan sambungan dalam aplikasi industri.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil pengujian Destructive Test (DT), ada beberapa hal yang bisa disarankan untuk memastikan kualitas sambungan las tetap terjaga. Pertama, penting bagi operator las untuk benar-benar memperhatikan parameter pengelasan, seperti arus, tegangan, kecepatan, dan jenis elektroda yang digunakan, karena hal-hal ini sangat memengaruhi kekuatan dan keuletan hasil las. Jika pengelasan dilakukan dengan teknik yang benar dan konsisten, sambungan las bisa memiliki kekuatan yang bahkan mendekati atau melebihi material dasarnya. Selain itu, memahami bagaimana struktur logam berubah akibat proses pemanasan dan pendinginan (terutama di area HAZ) juga penting, karena hal ini bisa memengaruhi tingkat kekerasan dan daya tahan sambungan terhadap beban. Untuk itu, pelatihan dan pengawasan yang baik di lapangan sangat dibutuhkan. Terakhir, hasil dari uji bending, tarik, dan kekerasan sebaiknya tidak dilihat secara terpisah, melainkan dijadikan satu kesatuan dalam menilai apakah sambungan las sudah layak digunakan dalam aplikasi industri atau tidak.

Daftar Pustaka

- [1] Y. Amalia and S. Rahmatillah, "Analisis Sambungan Las Baja S355 J2 Sebagai Penyusun Welding Procedure Specification di PT Industri Kereta Api," *JUSTER J. Sains dan Terap.*, vol. 1, no. 2, pp. 1–6, 2022, doi: 10.55784/juster.v1i2.62.
- [2] Sukarno, H. Asiri, and Mardin, "Analisis Kekuatan Tarik dan Bending Dari Beberapa Jenis Kampuh V,X,I pada Pengelasan SMAW terhadap Baja Karbon Medium," *J. Technol. Process*, vol. 2, no. 1, pp. 22–32, 2022, [Online]. Available: <https://pasca-umi.ac.id/index.php/process/article/view/1028/1173>
- [3] A. Hermanto and I. Iswanto, "Pengaruh Flux Elektroda AWS 5.1 E 6013 Dichelup Oli pada Pengelasan Besi Cor Kelabu FC-25 Terhadap Kekuatan Tarik," *R.E.M. (Rekayasa Energi Manufaktur) J.*, vol. 3, no. 2, p. 57, 2019, doi: 10.21070/r.e.m.v3i2.1857.
- [4] S. Dharma, S. Suherman, S. Sarjianto, R. Sebayang, and H. B. Kurniyanto, "Pengaruh Kuat Arus terhadap Sifat Mekanis pada Aluminium Al-Si-Fe dengan Filler Er 4043 Metode Pengelasan GTAW," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 17, no. 1, p. 103, 2022, doi: 10.32497/jrm.v17i1.3068.
- [5] K. Witono, A. Setiawan, and S. H. Susilo, "Analisis Temperatur Pelat Landasan Hot-Gas Welding Dan Bentuk Bevel Terhadap Kekuatan Tarik Lasan Hdpe," *J. Energi dan Teknol. Manufaktur*, vol. 5, no. 02, pp. 11–14, 2022, doi: 10.33795/jetm.v5i02.137.
- [6] B. Prabandono, A. P. Kartika Santosa, D. P. Ardani, A. Kurniawan, and M. Yusuf, "Analisis Pengujian Tarik dan Sebaran unsur pada Pengelasan Aluminium – Mild Steel menggunakan Metode Cold Metal," *Quantum Tek. J. Tek. Mesin Terap.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–6, 2022, doi: 10.18196/jqt.v4i1.16092.
- [7] Sutrimo, S. Sutjipto, and N. Pratomo, "Pengaruh Variasi Arus Proses Pengelasan Gtaw Pada Material Aisi 1015," *Sigma-Mu*, vol. 13, no. 1, pp. 1–6, 2021, doi: 10.35313/sigmamu.v13i1.3647.
- [8] A. F. Al Faridzi and Ponidi, "Ketahanan Baja Astm a36 Terhadap Pengujian Tarik Dan Bending Dengan Proses Pengelasan Smaw Dan Metalografi," *Rekayasa Sist. Energi dan Manufaktur*, vol. 2, no. 2, pp. 109–118, 2024, doi: 10.30651/resem.v2i2.21911.
- [9] G. Nugraha, E. Asep, R. Setiawan, and M. Sc, "Gtaw Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Pada Sambungan Las Antara Pelat Astm a36," 2023.
- [10] Aulia Arif, "Pengaruh Masukan Panas Pada Pengelasan Autogeneous Tig (Tungsten Inert Gas) Terhadap Kekuatan Tarik Dan Kekerasan Serta Struktur Mikro Pelat Ss304 Tebal 2mm," *Ilm. Mhs. Pendidik. Seji.*, vol. 8, no. 3, pp. 1722–1739, 2023, [Online]. Available: <https://jim.usk.ac.id/sejar>
- [11] M. R. Bailusi, P. Studi, T. Mesin, F. Teknik, and U. M. Surakarta, "KEKUATAN TARIK DAN SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM) PADA PENGELASAN PLAT LOGAM AI 5083 MENGGUNAKAN PENGELASAN GMAW," 2023.
- [12] M. Anis, A. Irsyadi, and D. Ferdian, "STUDI LAPISAN INTERMETALIK Cu3Sn PADA UJUNG ELEKTRODA DALAM PENGELASAN TITIK BAJA GALVANIS," *MAKARA Technol. Ser.*, vol. 13, no. 2, pp. 91–95, 2010, doi: 10.7454/mst.v13i2.485.
- [13] S. E. Prasetyo, "Pengaruh Kuat Arus Listrik Dan Laju Alir Gas Pelindung Terhadap Struktur Mikro Dan Kekuatan Tarik-Geser Sambungan Las Tig Logam Tak Sejenis Alumunium Paduan 5052-Baja Galvanis Dengan Filer Al-Si 404. Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret," *Mekanika*, vol. 15, p. 1, 2016.
- [14] M. S. Hidayatullah and N. S. Drastiawati, "Pengaruh Variasi Arus Pengelasan Pada Sambungan Las Baja ASTM A36 Terhadap Kekuatan Tarik dan Bending Dengan Menggunakan Metode Eksperimental," *Jtm*, vol. 13, no. 01, pp. 61–66, 2024, [Online]. Available: <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jtm-unesa/article/view/63089>
- [15] Abdurahman, Sukarman, Apang Djafar Shieddieque, Safril, Dibyo Setiawan, and Nana Rahdiana, "Evaluasi Kekuatan Uji Tarik Pada Proses Pengelasan Busur Listrik Beda Material Sphe Dan S30-C," *J. Tek. Mesin Mech. Xplore*, vol. 1, no. 2, pp. 29–37, 2021, doi: 10.36805/jtmmx.v1i2.1395.

- [16] L. Gebrehwet, A. Chimdo, W. Melaku, and E. Tesfaye, "A Review of Common Aerospace Composite Defects Detection Methodologies," *Int. J. Res. Publ. Rev. J. homepage www.ijrpr.com*, vol. 4, no. 8, pp. 1829–1846, 2023, [Online]. Available: www.ijrpr.com
- [17] M. Z. Bawazir, Sariyusda, and Darmein, "Analisa hasil pengelasan SMAW pada sistem sambungan pipa Aisi C-1020 steam H2O2 (boiler) secara DT dan NDT pada PT. Pupuk Iskandar Muda," *J. Mesin Sains Terap.*, vol. 6, no. 2, pp. 104–109, 2022.
- [18] E. Prasetyo, H. Hariri, R. Hermawan, and M. R. A. Putra, "Analisis Kekuatan Las Pada Sambungan Bejana Tekan Decolorizer," *Teknobiz J. Ilm. Progr. Stud. Magister Tek. Mesin*, vol. 13, no. 2, pp. 130–136, 2023, doi: 10.35814/teknobiz.v13i2.5293.
- [19] I. Surya and N. Praba, "Analisis Kekuatan Sambungan Las Tabung Gas Kapasitas 3 Kg Dengan Menggunakan Metode Uji Tekan, Uji Komposisi Unsur Kimia Dan Uji Mikro," *J. Tek. Mesin*, pp. 1–11, 2021, [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.31219/osf.io/bq9jp>
- [20] S. P. Collins *et al.*, "No Title 済無No Title No Title No Title," pp. 57–66, 2021.
- [21] P. Y. Nugraha AR, Rahman A, "Penelitian Stainless Steel 304 Terhadap Pengaruh Pengelasan (Gas Tungsten Arc Welding (Gtaw) Untuk Variasi Arus 50 a, 100 a Dan 160 a Dengan Uji Komposisi Kimia, Uji Struktur Mikro, Uji Kekerasan Dan Uji Impact," *PPI KIM Ke-40*, pp. 217–230, 2017.
- [22] W. A. Almuzikri, Usman, and Bukhari, "Analisis pengaruh variasi arus terhadap kekuatan tarik dan kekerasan pada pengelasan material SM 400 B Analysis of the effect of current variations on tensile strength and hardness in welding SM 400 B material," *J. Weld. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 34–40, 2021.
- [23] R. Rinaldi, R. Usman, and A. Fathier, "Studi Eksperimental Kekuatan Tarik dan Kekerasan Pada Sambungan Pipa ASTM A 106 Grade B dengan Pengelasan SMAW," *J. Weld. Technol.*, vol. 1, no. 2, pp. 36–42, 2019.
- [24] Y. R. Pratiwi and S. S. Wibowo, "Pengaruh Jenis Elektroda Dan Jumlah Pass Terhadap Uji Kekerasan Hasil Pengelasan Dan Struktur Mikro Pada Proses Pengelasan Shielded Metal Arch Welding," *Briliant J. Ris. dan Konseptual*, vol. 4, no. 2, p. 159, 2019, doi: 10.28926/briliant.v4i2.287.
- [25] A. Azwinur, S. A. Jalil, and A. Husna, "Pengaruh variasi arus pengelasan terhadap sifat mekanik pada proses pengelasan SMAW," *J. POLIMESIN*, vol. 15, no. 2, p. 36, 2017, doi: 10.30811/jpl.v15i2.372.
- [26] A. Basit *et al.*, "Enhancing TIG Welding Parameters For Direct Tensile Load (DT-load) On Various Steel Thicknesses," *J. Polimesin*, vol. 22, no. 1, pp. 112–119, 2024, [Online]. Available: <http://ejournal.pnl.ac.id/polimesin>
- [27] M. Idzani and N. Irawan, "Analisa mikrostruktur dan uji kekerasan brinell pada aluminium scrap dengan menggunakan media pendingin air santan pada temperatur berbeda," *J. Jieom*, vol. 2, no. 1, pp. 1–4, 2019, [Online]. Available: <https://media.neliti.com/media/publications/347433-analisa-mikrostruktur-dan-uji-kekerasan-785d683d.pdf>
- [28] F. Herlina, M. Firman, and M. Najib, "Analisa Uji Kekerasan Baja karbon sedang S45C Pada Poros Baling-Baling Pisau Mesin Crusher," *J. Tek. Mesin UNISKA*, vol. 01, no. 02, pp. 26–32, 2016.
- [29] N. A. Manurung and S. Aisyah, "Analisa Uji Kekerasan Roll Bearing Nomor 22224 dan Taper Bearing Nomor 29420 pada Mesin Screw Press Pabrik Kelapa Sawit A-131 A-132," vol. 8, no. 1, pp. 131–136, 2025.
- [30] Ko41..., "No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title," *BMC Public Health*, vol. 5, no. 1, pp. 1–8, 2017, [Online]. Available: <https://ejournal.poltektegal.ac.id/index.php/siklus/article/view/298%0Ahttp://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.jana.2015.10.005%0Ahttp://www.biomedcentral.com/1471-2458/12/58%0Ahttp://ovidsp.ovid.com/ovidweb.cgi?T=JS&P>
- [31] D. A. N. Pembakaran *et al.*, "Tugas Sarjana," 2020.
- [32] I. Afrianto Rabbi, "Analisa Pengaruh Gerakan Elektroda pada Pengelasan SMAW terhadap Uji Kekerasan dan Kekuatan Bending Baja ST 37," *Semin. Nas. Ind. dan Teknol.*, pp. 131–149, 2018

- [33] W. Weriono, R. Rinaldi, and S. Sepfitrah, "Evaluasi Pengujian Kekerasan Material Aisi 4140 Menggunakan Full Factorial Design Of Experiment," *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 3, no. 1, pp. 23–28, 2020, doi: 10.30596/rmme.v3i1.4525.
- [34] D. L. Fay, "濟無No Title No Title No Title," *Angew. Chemie Int. Ed.* 6(11), 951–952., pp. 269–277, 1967.
- [35] Edi Widodo and W. nugroho Wistyo nugroho, "Studi kekuatan kekerasan dan kekuatan impact pada komposit diperkuat serat sansevieria dengan variasi penambahan amilum 6%-10%," *J. Tek. Mesin Indones.*, vol. 20, no. 1, pp. 164–174, 2025, doi: 10.36289/jtmi.v20i1.847.
- [36] Z. M. M. I. Purnama, B. Junipitoyo, and D. Hariyanto, "Pengaruh Susunan Serat Bambu Pada Komposit Terhadap Uji Tarik Dan Uji Kekerasan Vicker," *Semin. nasionalinovasi Teknol. penerbangan*, pp. 1–9, 2021.
- [37] A. Surahman, N. A. Mufarida, and ..., "Pengaruh Variasi Arus Las SMAW Terhadap Uji Tarik dan Uji Kekerasan Serta Struktur Mikro Pada Bahan ST 37," *J. Eng. ...*, vol. 1, no. 3, pp. 129–137, 2023, [Online]. Available: <https://jesty.pubmedia.id/index.php/jesty/article/view/21%0Ahttps://jesty.pubmedia.id/index.php/jesty/article/download/21/18>
- [38] W. Warso, T. N. Wibowo, and Y. D. Pratiwi, "Pengaruh Variasi Colling pada Pengelasan GMAW Terhadap Uji Tarik dan Uji Kekerasan pada Baja ST 60," *Accurate J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 2, no. 1, pp. 22–26, 2021, doi: 10.35970/accurate.v2i1.578.
- [39] J. Of, M. Engineering, T. Kerusakan, M. Pisau, and P. Bambu, "(THE EFFECT OF VARIATIONS IN HARDNESS WITH DIFFERENT COOLANTS," vol. 4, no. 1, pp. 365–370, 2025.
- [40] D. Banne, "Disolusi dan Pelepasan Obat In-vitro," *Uji Kekerasan, Keregasan, Dan Waktu Hancur Obat*, vol. 2, p. 115, 2013.
- [41] A. Admin, S. Sehono, and F. Setiawan, "Analisis Waktu Pelapisan Nikel Pada Aluminium Alloy 2024 Terhadap Uji Kekerasan Vickers Dengan Menggunakan Proses Elektroplating," *Tek. STTKD J. Tek. Elektron. Engine*, vol. 8, no. 1, pp. 180–185, 2022, doi: 10.56521/teknika.v8i1.620.
- [42] R. Siswanto, Ma'ruf, and G. Aprianto, "UJI KEKERASAN PADUAN Al-6,7% Cu DENGAN VARIASI TEMPERATUR TUANG DAN TEKANAN HASIL PROSES SQUEEZE CASTING," *Sci. J. Mech. Eng. Kinemat.*, vol. 6, no. 2, pp. 174–181, 2021, doi: 10.20527/sjmekinematika.v6i2.198.
- [43] G. V. Kozlov and Y. G. Yanovskii, "- Microhardness," *Fractal Mech. Polym.*, vol. 5, pp. 256–265, 2014, doi: 10.1201/b17730-17.
- [44] J. Hanson, "Testing methods for detection of insulation damage in aerospace harness," pp. 1–9, 2013.
- [45] B. Sood, M. E. Wusk, E. Burke, D. Dawicke, S. Lehair, and G. Slenski, "Analysis of a Dynamic Flexed Flat Cable Harness".
- [46] Q. Wang, W. Jiao, P. Wang, and Y. Zhang, "Digital Twin for Human-Robot Interactive Welding and Welder Behavior Analysis," *IEEE/CAA J. Autom. Sin.*, vol. 8, no. 2, pp. 334–343, 2021, doi: 10.1109/JAS.2020.1003518.
- [47] K. Baszczyński and M. Jachowicz, "The effect of the use of full body harnesses on their protective properties," *Int. J. Occup. Saf. Ergon.*, vol. 15, no. 4, pp. 435–446, 2009, doi: 10.1080/10803548.2009.11076823.
- [48] R. Luo, S. Zhou, L. Nie, and B. Dong, "Quality prediction method for automotive body resistance spot welding based on digital twin technology," *Sci. Rep.*, vol. 15, no. 1, pp. 1–16, 2025, doi: 10.1038/s41598-025-09959-z.