

Pengaruh Hasil Pengelasan Listrik dan Asetilin pada Plat Bordes terhadap Kekuatan Tarik, Struktur Mikro, Makro dan NDT (Non Destructive Testing)

Afip Nur Kholis^{1*}, Sunu Arsy Pratomo², Mu'izzaddin Wa'addulloh³, Purwanto⁴

¹⁻⁴ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Maritim AMNI Semarang, Indonesia

Email : Afifnurkholis07@email.com

*Penulis Korespondensi: Afifnurkholis07@email.com

Abstract. *Welding is a metal joining method widely applied in various industrial fields. The quality of welded joints is strongly influenced by the welding method used. This study aims to compare the effect of electric welding and acetylene welding on tread plate in terms of tensile strength, micro-macro structure, and Non-Destructive Testing (NDT) results. The research employed an experimental approach in the laboratory. Tensile testing was conducted to determine yield point and Yield Stress, while macro and microstructural observations were carried out to analyze metallurgical changes. NDT was performed using Magnetic Particle Testing (MPT) and Liquid Penetrant Testing (LPT) to detect possible defects. The results indicate that electric welding produced better joint quality compared to acetylene welding. Specimens welded with electricity showed yield points ranging from 10,045–15,476 N and Yield Stress between 197.663–304.527 MPa, with fewer defects observed. In contrast, acetylene welding produced more varied results with significant defects such as cracks and large porosity, which reduced joint quality. This research demonstrates that electric welding provides superior tensile strength and joint reliability compared to acetylene welding.*

Keywords: *Acetylene Welding, Electric Welding, Micro-Macro Structure, NDT, Tensile Strength.*

Abstrak. Pengelasan merupakan metode penyambungan logam yang banyak digunakan di berbagai bidang industri. Kualitas hasil las sangat dipengaruhi oleh metode pengelasan yang digunakan. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan pengaruh pengelasan listrik dan pengelasan asetilin pada plat bordes terhadap kekuatan tarik, struktur mikro-makro, serta hasil Non Destructive Testing (NDT). Metode penelitian menggunakan pendekatan eksperimen di laboratorium. Spesimen diuji dengan uji tarik untuk memperoleh nilai yield point dan *Yield Stress*, sedangkan pengamatan struktur dilakukan secara makro dan mikro. Pengujian NDT dilakukan menggunakan *Magnetic Particle Testing* (MPT) dan *Liquid Penetrant Testing* (LPT) guna mendeteksi adanya cacat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengelasan listrik menghasilkan sambungan dengan kualitas lebih baik dibandingkan pengelasan asetilin. Spesimen las listrik memiliki yield point 10.045–15.476 N dan *Yield Stress* 197,663–304,527 MPa, serta menunjukkan cacat yang lebih sedikit. Sebaliknya, pengelasan asetilin memperlihatkan variasi hasil dengan kecenderungan cacat signifikan seperti retak dan porositas besar yang menurunkan kualitas sambungan. Penelitian ini membuktikan bahwa pengelasan listrik lebih unggul dalam kekuatan tarik dan kualitas sambungan dibandingkan pengelasan asetilin.

Kata Kunci: Kekuatan Tarik, NDT, Pengelasan Asetilin, Pengelasan Listrik, Struktur Mikro-Makro.

1. LATAR BELAKANG

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK) yang pesat pada era globalisasi saat ini menuntut sumber daya manusia untuk mampu menguasai dan mengaplikasikannya dalam berbagai aspek kehidupan (Hadiyastama et al., 2022). Salah satu wujud penerapan IPTEK dalam bidang industri adalah teknologi pengelasan, yang hingga kini menjadi metode penyambungan logam paling banyak digunakan (Salim et al., 2023).

Pengelasan merupakan proses manufaktur yang memanfaatkan energi panas untuk menyambungkan dua bagian logam atau lebih, sehingga membentuk sambungan yang permanen (BARUS, 2025). Teknologi ini banyak digunakan dalam berbagai industri, seperti otomotif, perkapalan, minyak dan gas, konstruksi bangunan baja, hingga permesinan (Nampira et al., 2025). Keunggulan pengelasan dibanding metode penyambungan lainnya terletak pada kemampuannya menghasilkan konstruksi yang lebih sederhana, efisien, serta memiliki kekuatan sambungan yang tinggi (Anis et al., 2025). Selain itu, pengelasan juga berperan penting dalam perawatan dan reparasi, misalnya untuk memperbaiki keretakan, mengisi lubang coran, atau mempertebal bagian yang aus.

Meskipun demikian, kualitas sambungan las sangat dipengaruhi oleh metode yang digunakan. Dua metode yang umum diaplikasikan adalah las listrik (SMAW) dan las asetilin (OAW). Keduanya memiliki karakteristik berbeda, terutama terkait arus listrik, potensi cacat las, serta tingkat ketangguhan sambungan (Syahrin, 2025). Faktor-faktor tersebut pada akhirnya berpengaruh langsung terhadap keamanan dan keandalan konstruksi.

Dalam penelitian ini, material yang digunakan adalah plat bordes, yaitu plat baja dengan tekstur bergelombang yang banyak digunakan pada jembatan, tangga, maupun lantai karena sifatnya yang mampu mengurangi risiko tergelincir (Utomo & Hasan, 2022). Pemilihan plat bordes dilakukan karena material ini memiliki peran penting dalam bidang konstruksi dan memerlukan sambungan las yang berkualitas (Pratama et al., 2025).

Untuk menjamin kualitas sambungan, diperlukan pengujian sifat mekanik dan deteksi cacat. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada analisis pengaruh hasil pengelasan listrik dan asetilin pada plat bordes terhadap kekuatan tarik, struktur mikro-makro, serta pengujian non destruktif (NDT). Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam menentukan metode pengelasan yang lebih efektif, efisien, dan andal untuk diaplikasikan pada konstruksi.

2. KAJIAN TEORITIS

Pengujian Tarik

Pengujian tarik adalah suatu pengukuran terhadap bahan untuk mengetahui keuletan dan ketangguhan suatu bahan terhadap tegangan tertentu serta pertambahan panjang yang dialami oleh bahan tersebut (Fauzi, 2021). Pada uji tarik (*Tensile Test*) kedua ujung benda uji dijepit, salah satu ujung dihubungkan dengan perangkat penegang. Regangan diterapkan melalui kepala silang yang digerakkan motor dan alongasi benda uji, dengan pergerakan relatif dari benda uji (Muqtadir et al., 2022). Beban yang diperlukan untuk mengasilkan regangan tersebut, ditentukan dari

difleksi suatu balok atau proving ring, yang diukur dengan menggunakan metode hidrolik, optik atau elektro mekanik. Uji tarik merupakan salah satu pengujian untuk mengetahui sifat-sifat suatu bahan. Dengan menarik suatu bahan kita akan segera mengetahui bagaimana bahan ini bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang. Alat eksperimen untuk uji tarik ini harus memiliki cengkaman yang kuat dan kekakuan yang tinggi (*highly stiff*).

Pengujian Struktur Mikro

Struktur mikro adalah susunan fasa logam dan ukuran butir yang terbentuk akibat proses pengelasan, yang hanya dapat diamati dengan bantuan mikroskop (Putra & Buqi, 2023). Analisis struktur mikro bertujuan untuk mengetahui perubahan fasa logam pada daerah logam las, daerah terpengaruh panas (HAZ), dan logam induk, serta mengidentifikasi kemungkinan terbentuknya struktur yang bersifat getas seperti martensit (Ramadan dkk, 2023). Parameter yang diperhatikan dalam pengamatan struktur mikro antara lain ukuran butir kristal, jenis fasa yang terbentuk (*ferrite, pearlite, martensite, bainite*, dan sebagainya), serta distribusi dan homogenitas struktur mikro. Perubahan struktur mikro ini sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik dari hasil pengelasan.

Pengujian Struktur Makro

Struktur makro merupakan bentuk geometri sambungan las yang dapat diamati secara langsung atau dengan perbesaran rendah (Sulistiyo et al., 2021). Pemeriksaan struktur makro bertujuan untuk menilai kualitas sambungan berdasarkan penetrasi las, lebar daerah HAZ, serta mendeteksi adanya cacat makro yang mungkin muncul (Nur Alamsyah & Suastianti, 2025). Parameter yang biasa diperhatikan meliputi lebar HAZ, kedalaman penetrasi, bentuk kampuh sambungan, serta adanya cacat seperti retak, porositas, undercut, atau incomplete penetration. Hasil pemeriksaan makro dapat memberikan gambaran awal mengenai kualitas sambungan sebelum dilakukan pengujian lebih lanjut.

Non-Destructive Testing (NDT)

Non-Destructive Testing (NDT) adalah metode pengujian yang digunakan untuk mendeteksi cacat atau ketidaksempurnaan pada sambungan las tanpa merusak benda uji (Alwahidi et al., 2025). Tujuan utama NDT adalah menjamin keamanan dan keandalan sambungan las, sekaligus membandingkan kualitas hasil pengelasan dari metode yang berbeda (Haifan et al., 2024). Parameter yang diamati pada NDT bergantung pada metode yang digunakan, antara lain *Liquid Penetrant Test (LPT)* untuk mendeteksi retakan halus dan pori terbuka, *Magnetic Particle Test (MPT)* untuk cacat permukaan maupun bawah permukaan pada material ferromagnetik, serta *Ultrasonic Test (UT)* untuk mengidentifikasi cacat internal seperti

retakan, porositas dalam, maupun lack of fusion(AZHARI, 2023).

3. METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian merupakan suatu cara ilmiah yang digunakan untuk memperoleh data secara sistematis agar hasil penelitian dapat dipertanggungjawabkan(Pakpahan et al., 2021). Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium, yakni metode yang bertujuan mencari hubungan sebab-akibat dengan memberikan perlakuan tertentu pada objek penelitian(Agustianti et al., 2022). Dalam hal ini, perlakuan yang dimaksud adalah proses pengelasan menggunakan dua jenis metode, yaitu las listrik (*Shielded Metal Arc Welding*/SMAW) dan las asetilin (*Oxy Acetylene Welding*/OAW), yang kemudian diuji untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kekuatan tarik, struktur mikro, struktur makro, serta *Non-Destructive Testing* (NDT).

Bahan utama yang digunakan adalah plat bordes baja karbon rendah dengan ukuran 150 mm × 50 mm × 3 mm sebanyak 24 buah, yang dibagi menjadi dua kelompok, yaitu 12 spesimen untuk pengelasan listrik dan 12 spesimen untuk pengelasan asetilin. Bahan tambahan yang digunakan meliputi elektroda RD 260 AWS A5.1 E6013 dengan ukuran 2,6 × 350 mm untuk las listrik, serta kawat las asetilin St 37 tipe G1 DIN 8554 Ø3 untuk las asetilin. Peralatan yang digunakan antara lain mesin las listrik, mesin las asetilin lengkap dengan tabung oksigen dan asetilin, mesin gerinda, serta alat bantu las seperti palu terak, sikat baja, kedok las, dan sarung tangan las.

Penelitian dilaksanakan pada tanggal 1 Juli 2024 hingga 30 Juli 2024 di dua lokasi, yaitu Laboratorium Pengujian Bahan dan Metrologi Universitas AMNI Semarang serta Laboratorium Teknik Mesin Universitas Diponegoro. Proses pengelasan dilakukan dengan posisi down hand, di mana plat bordes yang telah dipotong sesuai ukuran terlebih dahulu diratakan, disiapkan kampuhnya, lalu dilas sesuai prosedur. Setelah proses pengelasan selesai, terak dibersihkan, permukaan diratakan menggunakan gerinda, dan hasil las diberi kode untuk membedakan antara pengelasan listrik dan asetilin.

Selanjutnya, spesimen dipotong sesuai standar pengujian. Untuk uji tarik digunakan spesimen berukuran 200 mm × 20 mm × 3 mm, untuk uji mikro dan makro diambil potongan melintang pada daerah sambungan, sementara untuk pengujian NDT digunakan sambungan las utuh. Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) untuk memperoleh data mengenai *yield stress*, serta persentase perpanjangan (*elongation*). Uji mikro dilakukan dengan menggunakan mikroskop metalografi setelah spesimen dipoles dan dietsa menggunakan larutan nital 2%, sehingga dapat diamati struktur butir dan fasa yang

terbentuk. Uji makro dilakukan dengan pengamatan visual terhadap penampang las untuk menilai bentuk kampuh, penetrasi, lebar daerah HAZ (*Heat Affected Zone*), dan kemungkinan cacat makro. Selain itu, dilakukan pula pengujian *Non-Destructive Testing* (NDT) untuk mengetahui cacat permukaan dan bawah permukaan sambungan las.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

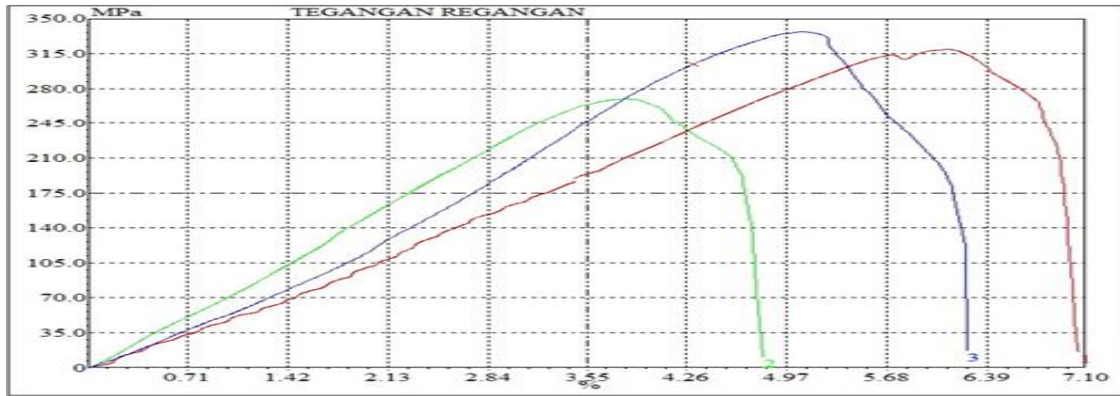
1. Hasil Uji Tarik

Pengujian Uji Tarik dilakukan dengan standard ASTM E8. ASTM E8 (atau ASTM E8/E8M) adalah standar yang dikeluarkan oleh *American Society for Testing and Materials* (ASTM) yang mengatur prosedur untuk pengujian tarik pada bahan logam (Rabbani, 2025). Standar ini mencakup metode uji tarik untuk menentukan sifat mekanik dari logam, seperti kekuatan tarik, *yield stress*, regangan (*elongation*), dan pengurangan luas (*reduction of area*). Pada pengujian tarik ASTM E8, spesimen logam diuji dengan cara diberikan beban tarik hingga mencapai titik patah.

Tabel 1. Hasil Pengujian Tarik Las Listrik 100 Volt.

No	Area (mm ²)	Yield Point (N)	Yield Stress (MPa)	Max. Load (N)	Max. Stress (MPa)	Break (N)	Break (MPa)	Extension (mm)	Elongation (%)
1	50.82	1463	288.02	16217.	319.12	789.80	15.541	5.638	7.047
		7.24	1	816	3	2			
		5							
2	50.82	1004	197.66	13701.	269.60	507.44	9.985	3.838	4.797
		5.24	3	135	1				
		1							
3	50.82	1547	304.52	17126.	336.99	829.32	16.319	5	6.25
		6.04	7	302	9	4			
		8							

Sumber: Penulis



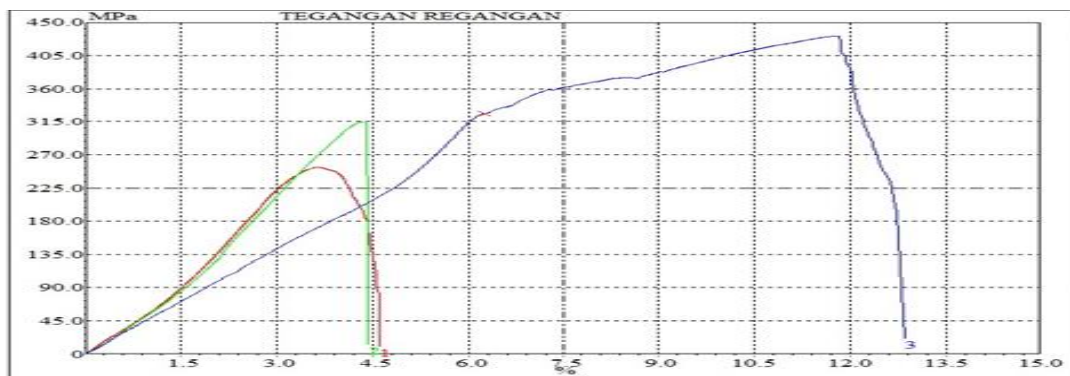
Sumber: Penulis

Gambar 1. Grafik Hasil Pengujian Uji Tarik Las Listrik 100 Volt.

Tabel 2. Hasil Pengujian Tarik Las Asetilin 120 Volt.

No	Area (mm ²)	Yield Point (N)	Yield Stress (MPa)	Max. Load (N)	Max. Stress (MPa)	Break (N)	Break (MPa)	Extension (mm)	Elongation (%)
1	50.82	1163	228.85	12841.	252.67	498.90	9.817	3.688	4.609
		0.50	7	038	7	7			
		9							
2	50.82	1440	283.49	15962.	314.09	642.26	12.638	3.55	4.437
		7.22	5	407	7	7			
		7							
3	50.82	1657	326.21	21927.	431.47	1061.7	20.892	10.275	12.844
		8.31	6	357	1	25			
		6							

Sumber: Penulis

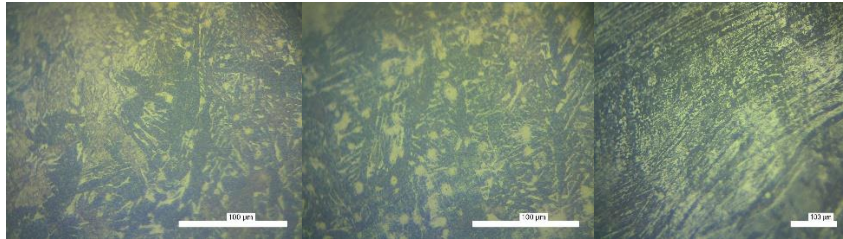


Sumber: Penulis

Gambar 2. Grafik Hasil Pengujian Uji Tarik Las Listrik 100 Volt

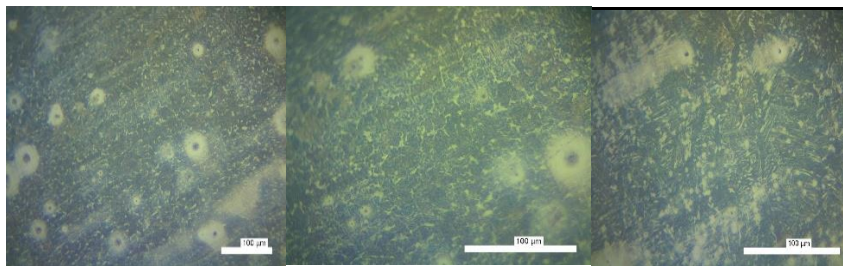
2. Hasil Uji Struktur Mikro

Hasil pengujian Uji Struktur Mikro dapat dilihat sebagai berikut:



Sumber: Penulis

Gambar 3. Foto Hasil Pengujian Uji Struktur Mikro Las Listrik.

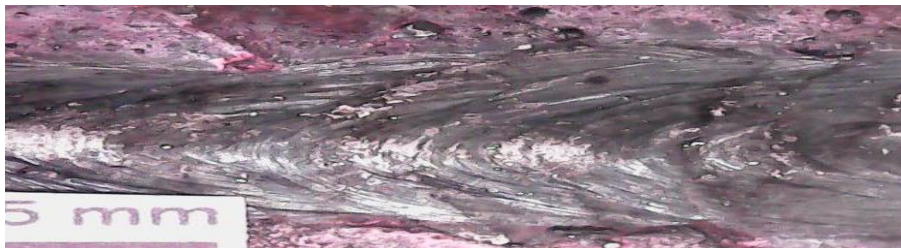


Sumber: Penulis

Gambar 4. Foto Hasil Pengujian Uji Struktur Mikro Las Asetilin.

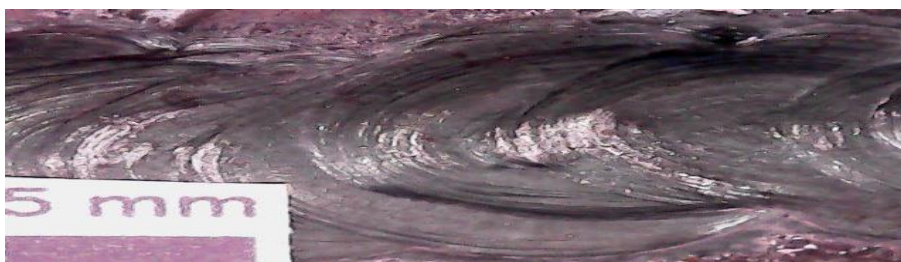
3. Hasil Uji Struktur Makro

Hasil pengujian Uji Struktur Makro dapat dilihat sebagai berikut:



Sumber: Penulis

Gambar 5. Foto Hasil Pengujian Uji Struktur Makro Las Listrik 100 Volt.



Sumber: Penulis

Gambar 6. Foto Hasil Pengujian Uji Struktur Makro Las Asetilin 120 Volt.

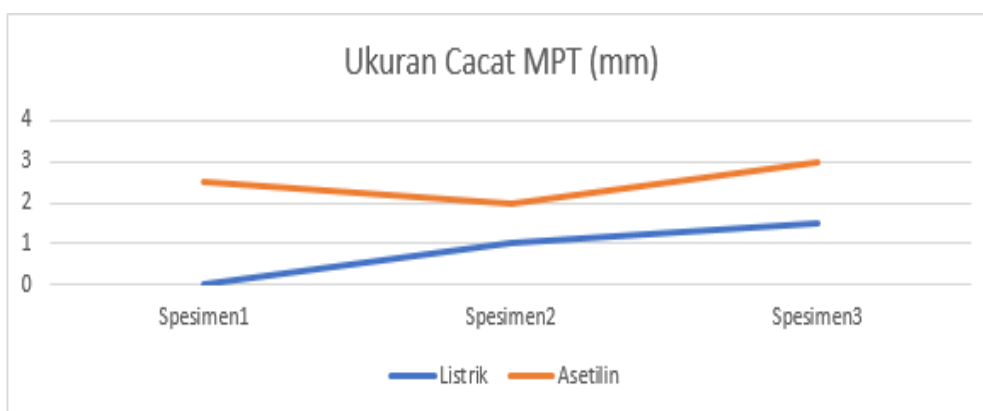
4. Hasil Uji NDT (*Non Destrutive Testing*)

Hasil pengujian Uji NDT (*Non Destrutive Testing*) dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil Pengujian Uji NDT (*Non Destrutive Testing*) Metode *Magnetic Particle Testing*.

Sample ID	Tipe Pengelasan	Jenis Cacat MPT	Lokasi Cacat MPT	Ukuran Cacat MPT (mm)	Kondisi Sambungan MPT
L001	Listrik	Tidak ada cacat	N/A	0	Sambungan sangat baik
L002	Listrik	Retak permukaan kecil	Tengah	1	Sambungan baik
L003	Listrik	Porositas halus	Tepi las	1.5	Sambungan stabil
A001	Asetilin	Retak mikro	Area las	2.5	Sambungan lemah
A002	Asetilin	Porositas	Sepanjang las	2	Cacat signifikan
A003	Asetilin	Retak besar	Tepi las	3	Sambungan cacat

Sumber: Penulis



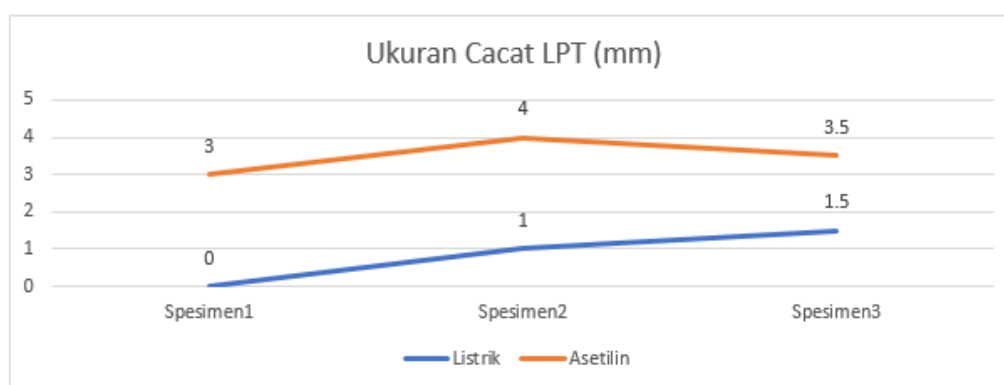
Sumber: Penulis

Gambar 7. Grafik Hasil Pengujian Uji NDT (*Non Destrutive Testing*) Metode *Magnetic Particle Testing*.

Tabel 4. Hasil Pengujian Uji NDT (*Non Destrutive Testing*) *Liquid Penetrant Testing*.

Sample ID	Tipe Pengelasan	Jenis Cacat LPT	Lokasi Cacat LPT	Ukuran Cacat LPT (mm)	Kondisi Sambungan LPT
L001	Listrik	Tidak ada cacat	N/A	0	Sambungan sangat baik
L002	Listrik	Retak halus	Area las	1	Sambungan baik
L003	Listrik	Porositas halus	Tepi las	1.5	Sambungan stabil
A001	Asetilin	Retak besar	Area las	3	Sambungan lemah
A002	Asetilin	Porositas besar	Sepanjang las	4	Cacat signifikan
A003	Asetilin	Retak besar	Tengah	3.5	Sambungan cacat

Sumber: Penulis



Sumber: Penulis

Gambar 8. Grafik Hasil Pengujian Uji NDT (*Non Destrutive Testing*) *Liquid Penetrant Testing*.

Pembahasan

1. Uji Tarik

Hasil uji tarik menunjukkan perbedaan signifikan antara pengelasan listrik dan asetilin. Pada las listrik, *Yield Stress* berada pada kisaran 197–304 MPa, tegangan maksimum 269–336 MPa, dengan elongasi 4,8–7%. Sedangkan pada las asetilin, *Yield Stress* lebih

bervariasi (228–326 MPa), tegangan maksimum mencapai 431 MPa, dan elongasi lebih tinggi pada salah satu spesimen hingga 12,8%. Hal ini menunjukkan bahwa las listrik menghasilkan kekuatan tarik yang lebih konsisten, sementara las asetilin memberikan keuletan lebih baik pada beberapa kondisi. Kualitas sambungan las listrik juga dipengaruhi oleh penetrasi yang lebih dalam dan kontrol parameter pengelasan yang lebih presisi.

2. Uji Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro memperlihatkan bahwa las listrik menghasilkan butiran lebih halus dan seragam akibat pendinginan yang cepat, sehingga meningkatkan kekuatan mekanik sambungan. Sebaliknya, las asetilin menghasilkan butiran lebih besar dan tidak seragam akibat pendinginan yang lebih lambat, yang menurunkan kekuatan namun meningkatkan keuletan.

3. Uji Struktur Makro

Hasil uji makro menunjukkan bahwa sambungan las listrik memiliki pola aliran material yang halus, teratur, dan bebas cacat besar, menandakan kontrol panas yang baik. Sebaliknya, las asetilin memperlihatkan aliran material yang lebih kasar, tidak merata, serta potensi cacat seperti porositas, akibat distribusi panas yang kurang stabil.

4. Uji NDT (*Non Destructive Testing*)

Pengujian NDT dengan metode *Magnetic Particle Testing* (MPT) dan *Liquid Penetrant Testing* (LPT) menunjukkan bahwa sebagian besar spesimen las listrik relatif bebas dari cacat besar, hanya ditemukan porositas kecil dan retak mikro. Sebaliknya, pada las asetilin lebih sering ditemukan retakan dan porositas yang lebih besar, menandakan kualitas sambungan yang lebih rendah dan rentan cacat.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian terhadap pengelasan listrik dan asetilin serta pengujian bahan yang dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan. Pada pengelasan listrik, spesimen dengan area 50,820 mm² menunjukkan Yield Point yang berkisar antara 10.045 N hingga 15.476 N dan Yield Stress antara 197,663 MPa hingga 304,527 MPa. Beban maksimum yang diterima spesimen berada dalam rentang 13.701 N hingga 17.126 N dengan tegangan maksimum antara 269,601 MPa hingga 336,999 MPa. Pada titik patah, beban berkisar dari 507,440 N hingga 829,324 N dengan elongasi mencapai 4,797% hingga 7,047%. Pada pengelasan asetilin, spesimen dengan area yang sama menghasilkan Yield Point yang lebih rendah pada dua spesimen pertama (11.630 N hingga 14.407 N), tetapi lebih tinggi pada spesimen ketiga (16.578 N). Yield Stress berkisar dari 228,857 MPa hingga 326,216 MPa.

Beban maksimum yang diterima spesimen berkisar antara 12.841 N hingga 21.927 N dengan tegangan maksimum antara 252,677 MPa hingga 431,471 MPa. Pada saat patah, beban yang diterima berada dalam kisaran 498,907 N hingga 1.061,725 N, dengan elongasi pada spesimen ketiga mencapai angka yang jauh lebih tinggi, yaitu 12,844%.

Berdasarkan hasil pengujian *Magnetic Particle Testing* (MPT), pada spesimen pengelasan listrik, seperti L001, tidak ditemukan cacat dengan kondisi sambungan yang sangat baik, sementara L002 dan L003 menunjukkan cacat kecil, masing-masing berupa retak permukaan 1 mm dan porositas halus 1,5 mm, namun sambungan tetap dinilai baik hingga stabil. Sebaliknya, pengelasan asetilin memperlihatkan cacat yang lebih besar dan kondisi sambungan yang lebih lemah. Contohnya, spesimen A001 memiliki retak mikro 2,5 mm dengan kondisi sambungan lemah, A002 menunjukkan porositas 2 mm yang menyebabkan cacat signifikan, dan A003 mengandung retak besar 3 mm di tepi las sehingga sambungannya sangat cacat. Selanjutnya, hasil pengujian *Liquid Penetrant Testing* (LPT) juga memperlihatkan bahwa pengelasan listrik menghasilkan sambungan dengan kualitas lebih baik dan ukuran cacat yang lebih kecil dibandingkan dengan pengelasan asetilin. Pada spesimen pengelasan listrik, seperti L001, tidak ditemukan cacat dengan kondisi sambungan yang sangat baik, sementara L002 menunjukkan retak halus sebesar 1 mm di area las, dan L003 memiliki porositas halus 1,5 mm di tepi las; keduanya tetap menghasilkan sambungan yang dinilai baik hingga stabil. Sebaliknya, pengelasan asetilin menghasilkan cacat yang lebih besar dan kondisi sambungan yang lebih lemah. Pada spesimen A001, terdapat retak besar sebesar 3 mm di area las yang menyebabkan sambungan dinilai lemah, sedangkan A002 memperlihatkan porositas besar sepanjang las dengan ukuran 4 mm sehingga menghasilkan cacat signifikan. Spesimen A003 juga menunjukkan retak besar 3,5 mm di tengah las yang menyebabkan sambungan sangat cacat.

Dalam penelitian selanjutnya, disarankan untuk melakukan perbandingan antara pengelasan listrik dan asetilin dengan metode pengelasan lainnya, seperti pengelasan MIG (*Metal Inert Gas*) atau TIG (*Tungsten Inert Gas*), guna memperoleh wawasan yang lebih komprehensif mengenai kualitas sambungan yang dihasilkan. Penelitian mendatang juga dapat mempertimbangkan penggunaan berbagai jenis material plat bordes untuk mengevaluasi kinerja masing-masing metode pengelasan dalam konteks material yang berbeda, termasuk material dengan sifat mekanik yang bervariasi. Selain itu, penelitian lebih lanjut dapat diarahkan pada penerapan teknologi modern, seperti pemantauan berbasis sensor dan analisis data, dalam proses pengelasan untuk meningkatkan kontrol kualitas dan efisiensi produksi.

DAFTAR REFERENSI

- Agustianti, R., Nussifera, L., Angelianawati, L., Meliana, I., Sidik, E. A., Nurlaila, Q., Simarmata, N., Himawan, I. S., Pawan, E., Ikham, F., & others. (2022). Metode penelitian kuantitatif dan kualitatif. Tohar Media.
- Al Muqtadir, A., Hadjon, Y. R. G., & Samkakai, F. (2022). Alat Uji Tarik Serat Tunggal Digital. Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Alwahidi, M. N., Afrizal, B., & others. (2025). Review Pengujian Pengelasan Metode Non-Destructive Test. *Jurnal Mema (Jurnal Mesin dan Manufaktur)*, 2(1), 30-42.
- Anis, I. M., Met, M., & Winarto, I. (2025). LAS MATERIAL: Proses penyambungan dan permasalahan yang ditimbulkan. PT. Rayyana Komunikasindo.
- AZHARI, M. H. (2023). Pengaruh Kuat Arus Las Listrik SMAW Terhadap Cacat Permukaan Dengan Teknik Uji Penetrant Test Pada Baja ASTM A36. Fakultas Teknik, Universitas Islam Sumatera Utara.
- BARUS, R. A. (2025). Analisis Pengaruh Variasi Arus Listrik Pada Sambungan Las SMAW Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Daerah HAZ Pada Baja Karbon Sedang. Fakultas Teknik, Universitas Islam Sumatera Utara.
- Fauzi, A. (2021). Uji tarik kekuatan sambungan pengelasan las gesek baja ST 41. DIII Teknik mesin Politeknik Harapan Bersama.
- Hadiyastama, M. F., Nurwahidin, M., & Yulianti, D. (2022). Peran teknologi pendidikan dalam pembelajaran abad 21. *Jurnal Pengembangan Profesi Pendidik Indonesia*, 2(1), 11-18.
- Haifan, M., Makosim, S., & Utomo, D. (2024). Analisis Non Destructive Test (NDT) Pada Pengelasan Sambungan Instalasi Pipa Dengan Metode Radiography: Studi Kasus Di Proyek Refinery Development Master Plan (RDMP) Balikpapan.
- Nampira, A. A., Sepriano, S., & Judijanto, L. (2025). Teknik Mesin: Teori dan Implementasinya. PT. Green Pustaka Indonesia.
- Nur Alamsyah, B., & Suastianti, D. (2025). Analisis Kerusakan Produk Pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW) Berbasis Material Plat Baja Astm A36 Untuk Aplikasi Body Kapal. Institut Teknologi Indonesia.
- Pakpahan, A. F., Prasetio, A., Negara, E. S., Gurning, K., Situmorang, R. F. R., Tasnim, T., Sipayung, P. D., Sesilia, A. P., Rahayu, P. P., Purba, B., & others. (2021). Metodologi penelitian ilmiah. Yayasan Kita Menulis.
- Pratama, H. S. Y., Prianto, K., & Purwatama, A. (2025). Studi Komparasi Konstruksi Baja Dengan Konstruksi Beton Bertulang Ditinjau Dari Segi Struktur Dan Biaya. *SISTEM Jurnal Ilmu Ilmu Teknik*, 21(1), 35-43. <https://doi.org/10.37303/sistem.v21i1.308>
- Putra, R. D., & Buqi, M. A. (2023). Analisa Pengaruh Heat Treatment dan Variasi Kecepatan Putaran Pada Pengelasan Gesek Baja AISI 1045 Terhadap Kekuatan Tarik Struktur Mikro dan Kekerasan. Institut Teknologi Nasional Malang.

- Ramadan, R., & others. (2023). Analisa Kekuatan Impak Dan Struktur Mikro Pengelasan Logam Berbeda ASTM A36 dan AISI 316L Setelah PWHT. Universitas Hasanuddin.
- Salim, A. T. A., Aminudin, A., Yuwono, I., Wicaksono, D. A., Siregar, I., Pradana, K. B., Puspita, D. W., Setiani, R. D., Prasetya, R. G. E., Fadilla, F. I., & others. (2023). Terapan Iptek Kewirausahaan Hasil Produk Pengelasan SMAW Untuk Meningkatkan Keterampilan Santri Pondok Pesantren Miftahul Huda Doho, Dolopo. DIKEMAS (Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat), 7(2).
- Senopati Rabbani, D. (2025). Analisis Laju Korosi Dan Sifat Mekanik Pada Material Baja ASTM A36 Untuk Rotor Bezier-Savonius Dengan Media Air Laut. Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Sulistiyo, B., Purwanto, H., & Syafa'at, I. (2021). Analisis Pengaruh Arus Pengelasan GMAW Terhadap Struktur Makro, Mikro dan Sifat Mekanik Pada Material Baja Karbon ASTM A36. Momentum, 17(1), 36-42. <https://doi.org/10.36499/mim.v17i1.4346>
- SYAHRIN, A. (2025). Studi Eksperimental Perbandingan Ketangguhan Antara Las Listrik Dengan Las Asitelin Terhadap Baja SS400. Fakultas Teknik, Universitas Islam Sumatera Utara.
- Utomo, W. B., & Hasan, B. (2022). Penentuan Laju Korosi Baja Konstruksi Menggunakan Metode Tafel Analisis. Seminar Nasional Hasil Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat (SNP2M), 7, 19-24.