



Pengaruh Metode Pendinginan Air, Oli, dan Udara pada Pengelasan SMAW dengan Material Baja ST 37

Muhammad Yapshi Matondang¹, Fadly Ahmad Kurniawan Nasution²

¹⁻² Universitas Sumatera Utara , Indonesia

email: yaphimatondang@gmail.com¹, fadlie.ahmad@gmail.com²

Article Info :

Received:

17-10-2025

Revised:

18-11-2025

Accepted:

11-12-2025

Abstract

Shielded Metal Arc Welding (SMAW) is widely used on low carbon steels such as ST 37, but the quality of the joint is greatly influenced by post-welding treatment, particularly the cooling method. This study aims to analyze the effect of water, oil, and air cooling media on the mechanical properties and hardness of SMAW welds on ST 37 steel. The method used is quantitative experimental research with fixed welding parameters, namely a current of 85 A and an RB E 6013 electrode, while the cooling media are varied. The tests included tensile testing based on ASTM E8, Vickers hardness testing, and microstructure analysis. The results showed that water cooling produced the highest yield strength and hardness (179 HV), but tended to reduce the ability for further plastic deformation. Oil cooling provided more balanced mechanical properties with the highest strain of 17.40% and relatively high tensile strength. Air quenching produced the highest maximum tensile strength of 425.26 N/mm² with good ductility and a lower risk of cracking. The conclusion of this study indicates that air quenching is the most optimal method for SMAW welding of ST 37 steel because it produces stable, ductile, and reliable joints for structural applications..

Keywords: SMAW, ST 37 steel, cooling medium, tensile strength, Vickers hardness.

Abstrak

Pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW) banyak digunakan pada baja karbon rendah seperti ST 37, namun kualitas sambungan sangat dipengaruhi oleh perlakuan pascapengelasan, khususnya metode pendinginan. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh media pendinginan air, oli, dan udara terhadap sifat mekanik dan kekerasan hasil las SMAW pada baja ST 37. Metode yang digunakan adalah penelitian eksperimental kuantitatif dengan parameter pengelasan tetap, yaitu arus 85 A dan elektroda RB E 6013, sementara media pendinginan divariasikan. Pengujian meliputi uji tarik berdasarkan ASTM E8, uji kekerasan Vickers, serta analisis struktur mikro. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendinginan air menghasilkan kekuatan luluh dan kekerasan tertinggi (179 HV), namun cenderung menurunkan kemampuan deformasi plastis lanjutan. Pendinginan oli memberikan sifat mekanik yang lebih seimbang dengan regangan tertinggi sebesar 17,40% dan kekuatan tarik yang relatif tinggi. Pendinginan udara menghasilkan kekuatan tarik maksimum tertinggi sebesar 425,26 N/mm² dengan keuletan yang baik dan risiko retak yang lebih rendah. Kesimpulan penelitian ini menunjukkan bahwa media pendinginan udara merupakan metode yang paling optimal untuk pengelasan SMAW pada baja ST 37 karena menghasilkan sambungan yang stabil, ulet, dan andal untuk aplikasi struktural.

Kata kunci: SMAW, Baja ST 37, Media Pendinginan, Kekuatan Tarik, Kekerasan Vickers.



©2022 Authors.. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

PENDAHULUAN

Pengelasan merupakan salah satu proses penting dalam industri manufaktur dan konstruksi yang berfungsi menyambung logam secara permanen. Salah satu jenis pengelasan yang umum digunakan adalah *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW), karena metode ini efisien, mudah diaplikasikan, dan cocok untuk berbagai jenis baja, termasuk baja karbon rendah seperti ST 37. Kualitas hasil las sangat dipengaruhi oleh perlakuan pascapengelasan, salah satunya adalah metode pendinginan.

Pendinginan pasca pengelasan berperan penting dalam menentukan struktur mikro dan sifat mekanik logam, seperti kekuatan tarik dan kekerasan. Media pendingin seperti air, oli, dan udara memiliki laju pendinginan yang berbeda, sehingga berdampak pada pembentukan fasa-fasa seperti ferit, perlit, bainit, dan martensit di daerah las dan Heat Affected Zone (HAZ). Pendinginan yang terlalu cepat dapat meningkatkan kekerasan namun berisiko menyebabkan retak, sedangkan pendinginan lambat

dapat menurunkan kekuatan sambungan. Material baja ST 37 dipilih dalam penelitian ini karena memiliki kemampuan las yang baik, murah, dan banyak digunakan dalam struktur teknik. Untuk memastikan hasil las yang optimal, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi media pendingin terhadap sifat mekanik dan struktur mikro hasil las pada baja ST 37.

Pengelasan merupakan proses penyambungan logam yang sangat menentukan kualitas dan keandalan suatu struktur teknik, khususnya pada industri manufaktur dan konstruksi baja. Metode Shielded Metal Arc Welding (SMAW) banyak dipilih karena fleksibilitas penggunaannya di lapangan, kemudahan pengoperasian, serta kompatibilitasnya dengan berbagai jenis baja karbon. Baja ST 37 sebagai baja karbon rendah memiliki kemampuan las yang baik dan tingkat ketersediaan tinggi sehingga sering digunakan pada rangka bangunan, peralatan industri, dan konstruksi umum. Pemilihan metode pengelasan yang tepat harus diikuti dengan pengendalian parameter pascapengelasan agar sambungan yang dihasilkan memenuhi standar kekuatan dan keselamatan (Tyagita & Irawan, 2016; Darma et al., 2017).

Salah satu faktor pascapengelasan yang berpengaruh besar terhadap kualitas sambungan las adalah metode pendinginan. Pendinginan berfungsi mengontrol transformasi fasa logam cair menjadi padat serta menentukan karakteristik mikrostruktur pada daerah logam las dan Heat Affected Zone (HAZ). Perbedaan laju pendinginan akan memengaruhi distribusi fasa ferit, perlit, bainit, hingga martensit yang secara langsung berkaitan dengan sifat mekanik material. Pengendalian pendinginan menjadi krusial karena perubahan mikrostruktur yang tidak terkendali dapat menurunkan ketahanan sambungan terhadap beban statis maupun dinamis (Maulana, 2017).

Media pendingin yang umum digunakan dalam pengelasan SMAW meliputi air, oli, dan udara, masing-masing memiliki karakteristik laju pelepasan panas yang berbeda. Air memiliki kemampuan pendinginan paling cepat sehingga cenderung meningkatkan kekerasan namun berpotensi menimbulkan tegangan sisa yang tinggi. Oli memberikan laju pendinginan menengah yang sering dianggap lebih stabil dalam menjaga keseimbangan antara kekuatan dan keuletan. Pendinginan udara berlangsung paling lambat dan biasanya menghasilkan struktur mikro yang lebih lunak namun relatif homogen (Sulton et al., 2019; Niam et al., 2021).

Tabel 1. Ringkasan Hasil Penelitian Pengaruh Media Pendingin terhadap Sifat Mekanik Baja ST 37 Hasil Las SMAW

Penelitian	Media Pendingin	Parameter yang Dianalisis	Hasil Utama
Tyagita & Irawan (2016)	Air	Kekuatan tarik	Terjadi peningkatan kekuatan tarik akibat pendinginan cepat namun berisiko retak mikro
Maulana (2017)	Air, Oli, Udara	Kekuatan tarik	Pendinginan oli menunjukkan kekuatan tarik paling seimbang
Darma et al. (2017)	Air, Oli	Sifat mekanik	Media air meningkatkan kekerasan, oli meningkatkan keuletan
Munawar et al. (2022)	Air, Oli, Udara	Kekuatan tarik	Pendinginan udara menghasilkan kekuatan tarik terendah namun stabil
Nitha et al. (2024)	Air, Oli	Kekerasan	Pendinginan air menghasilkan nilai kekerasan tertinggi pada HAZ

Hasil-hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa variasi media pendingin memberikan pengaruh signifikan terhadap sifat mekanik baja ST 37 hasil pengelasan SMAW. Pendinginan cepat menggunakan air cenderung meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik, namun meningkatkan risiko kerapuhan dan retak las. Pendinginan menggunakan oli memberikan kompromi yang lebih baik antara kekuatan dan keuletan sambungan. Pendinginan udara menghasilkan sifat mekanik yang lebih rendah namun relatif seragam pada seluruh daerah las (Tyagita & Irawan, 2016; Maulana, 2017).

Selain sifat mekanik media pendingin juga berpengaruh langsung terhadap pembentukan struktur mikro. Pendinginan cepat mendorong terbentuknya fasa martensit atau bainit halus yang bersifat keras dan getas. Pendinginan menengah memungkinkan terbentuknya perlit halus yang lebih seimbang antara

kekuatan dan ketangguhan. Pendinginan lambat menghasilkan dominasi ferit dan perlit kasar yang meningkatkan keuletan namun menurunkan kekuatan tarik (Arrochman, 2024; Nitha et al., 2024).

Penelitian lain juga menegaskan bahwa pengaruh media pendingin tidak dapat dipisahkan dari faktor tambahan seperti preheating dan post weld heat treatment (PWHT). Perlakuan panas pascapengelasan mampu menurunkan tegangan sisa dan memperbaiki distribusi mikrostruktur yang terbentuk akibat pendinginan cepat. Kombinasi metode pendinginan dan PWHT terbukti meningkatkan ketangguhan dan kestabilan sifat mekanik baja ST 37. Hal ini menunjukkan bahwa pendinginan harus dipandang sebagai bagian dari sistem pengendalian kualitas pengelasan secara menyeluruh (Irawan & Irawansyah, 2023).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian mengenai pengaruh metode pendinginan air, oli, dan udara pada pengelasan SMAW dengan material baja ST 37 menjadi relevan dan penting untuk dikaji secara sistematis. Kajian ini diharapkan mampu memberikan gambaran komprehensif mengenai hubungan antara laju pendinginan, struktur mikro, dan sifat mekanik sambungan las. Hasil penelitian dapat menjadi acuan teknis bagi praktisi industri dalam menentukan metode pendinginan yang sesuai dengan kebutuhan kekuatan dan ketahanan struktur. Pendekatan ilmiah yang terarah akan mendukung peningkatan kualitas sambungan las sekaligus memperpanjang umur pakai komponen baja ST 37 dalam aplikasi teknik (Saragi et al., 2026).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental kuantitatif yang dilaksanakan pada April hingga Juni 2025 dengan proses pengelasan dan persiapan spesimen dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Politeknik Negeri Medan, serta pengujian kekerasan dan mikrostruktur di Laboratorium Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara. Material yang digunakan berupa pelat baja ST 37 berukuran $100 \times 100 \times 5$ mm yang dilas menggunakan metode SMAW dengan elektroda RB E 6013 berdiameter 2,6 mm, arus las 85 A, kampuh V 45° , dan posisi pengelasan 1G, dengan variasi media pendinginan air, oli SAE 40, dan udara sebagai variabel bebas. Spesimen uji disiapkan sesuai standar, meliputi uji tarik berdasarkan ASTM E8, uji kekerasan Vickers, dan uji mikrostruktur, masing-masing dengan ukuran yang telah ditentukan. Pengujian tarik dilakukan hingga spesimen patah untuk memperoleh data gaya luluh, gaya maksimum, dan regangan, pengujian kekerasan dilakukan melalui pengukuran nilai HV, serta pengamatan mikrostruktur dilakukan setelah proses preparasi dan etsa menggunakan HNO_3 pada pembesaran $100\times$ dan $200\times$. Data hasil pengujian diolah secara kuantitatif menggunakan Microsoft Excel untuk penyajian tabel dan grafik, sedangkan hasil mikrostruktur dianalisis dengan perangkat lunak Rax Vision melalui dokumentasi foto mikro..

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Tarik Dengan Media Pendingin Air

Arus las 85 A diberikan dengan menggunakan elektroda RB E 6013. Regangan rata-rata sebesar 16,69 diperoleh dengan menghitung gaya luluh total rata-rata gaya ultimit (Tu), yang masing-masing sebesar $420,45 \text{ N/mm}^2$. Hasil uji tarik menunjukkan adanya patahan di luar las spesimen uji. Tiga pengujian harus dilakukan untuk mendapatkan hasil yang andal dan valid. Adapun rincian kekuatan tarik dengan penginginan air pada tabel dibawah:

Tabel 2. Hasil Kekuatan Tarik dengan Media Pendingin Air

	Media Pendingin	W mm	T mm	A mm^2	Lo mm	L mm	ΔL mm	F _u N	T _u N/mm^2	ϵ %	Ket
1	AIR	12.24	5.00	61.200	65.00	75.90	10.90	26100	426.47	16.77	Putus
2	AIR	12.88	5.00	64.400	65.00	76.13	11.13	26500	411.49	17.12	Diluar
3	AIR	12.66	5.00	63.300	65.00	75.51	10.51	26800	423.38	16.17	Lasan
Nilai Rata-Rata									420.45	16.69	

Sumber: Data Olahan Penulis, 2025

Keterangan dari tabel di atas adalah W: Lebar Spesimen (mm), T: Tebal Spesimen (mm) A: Luas Spesimen (mm^2) Lo: Panjang Awal Spesimen (mm), L: Panjang Akhir Spesimen (mm), ΔL : Perubahan Panjang Spesimen (mm). Hasil uji tarik pada spesimen las baja ST 37 dengan media pendingin air menunjukkan performa mekanik yang relatif tinggi dibandingkan karakteristik baja karbon rendah pada umumnya. Pengelasan dilakukan dengan arus 85 A menggunakan elektroda RB E 6013, menghasilkan nilai kekuatan tarik ultimit rata-rata sebesar $420,45 \text{ N/mm}^2$ dengan regangan rata-rata 16,69%. Nilai ini mencerminkan bahwa laju pendinginan cepat dari media air mampu meningkatkan kekuatan tarik sambungan las. Fenomena serupa juga dilaporkan pada penelitian sebelumnya yang menyebutkan bahwa pendinginan air memberikan peningkatan kekuatan tarik akibat terbentuknya struktur mikro yang lebih halus pada daerah las dan HAZ (Tyagita & Irawan, 2016).

Data pada Tabel 2 memperlihatkan variasi kecil nilai kekuatan tarik antarspesimen, yang menunjukkan konsistensi hasil pengelasan dan pengujian. Spesimen pertama menghasilkan kekuatan tarik sebesar $426,47 \text{ N/mm}^2$ dengan regangan 16,77%, sedangkan spesimen kedua dan ketiga masing-masing mencapai $411,49 \text{ N/mm}^2$ dan $423,38 \text{ N/mm}^2$. Perbedaan ini masih berada dalam rentang wajar dan dapat dipengaruhi oleh variasi minor pada dimensi spesimen, distribusi panas, serta homogenitas struktur mikro. Konsistensi tersebut menguatkan bahwa metode pendinginan air memberikan hasil yang cukup stabil untuk sambungan las baja ST 37 (Munawar et al., 2022).

Lokasi patahan yang terjadi di luar daerah las menjadi indikator penting dalam evaluasi kualitas sambungan. Patahan di luar las menandakan bahwa kekuatan daerah las dan HAZ lebih tinggi dibandingkan logam induk. Kondisi ini menunjukkan keberhasilan proses pengelasan dan pendinginan dalam menghasilkan ikatan metallurgi yang baik. Temuan ini sejalan dengan laporan Darma et al. (2017) dan Sulton et al. (2019) yang menyatakan bahwa pendinginan air dapat menghasilkan sambungan las dengan kekuatan melebihi logam induk pada baja ST 37.

Regangan rata-rata sebesar 16,69% menunjukkan bahwa sambungan las masih mempertahankan tingkat keuletan yang memadai meskipun mengalami pendinginan cepat. Nilai regangan yang relatif tinggi ini menunjukkan bahwa material tidak sepenuhnya bersifat getas. Pendinginan air memang cenderung meningkatkan kekerasan, namun pada baja karbon rendah seperti ST 37, peningkatan tersebut masih berada dalam batas aman sehingga keuletan tetap terjaga. Hasil ini sejalan dengan temuan Ruchiyat (2018) dan Zakaria et al. (2025) yang melaporkan bahwa pendinginan air pada baja ST 37 mampu meningkatkan kekuatan tanpa menurunkan regangan secara drastis.

Dari sudut pandang struktur mikro, pendinginan air berpotensi menghasilkan perlit halus dan sebagian bainit pada daerah las dan HAZ. Struktur ini berkontribusi terhadap peningkatan kekuatan tarik yang tercatat pada hasil pengujian. Walaupun pendinginan cepat berisiko membentuk martensit keras dan getas, kandungan karbon rendah pada ST 37 membatasi pembentukan fasa tersebut. Kondisi ini memperkuat pendapat bahwa baja ST 37 relatif toleran terhadap pendinginan cepat dibandingkan baja karbon menengah atau tinggi (Pasek & Widayana, 2017; Nitha et al., 2024).

Hasil uji tarik dengan media pendingin air menunjukkan bahwa metode ini efektif dalam meningkatkan kekuatan tarik sambungan las SMAW pada baja ST 37. Nilai kekuatan tarik yang tinggi, regangan yang masih memadai, serta lokasi patahan di luar las menandakan kualitas sambungan yang baik. Meskipun demikian, penggunaan pendinginan air tetap memerlukan pengendalian parameter pengelasan untuk mencegah potensi tegangan sisa dan retak mikro. Temuan ini konsisten dengan berbagai penelitian terdahulu yang menempatkan pendinginan air sebagai media yang unggul dari sisi kekuatan tarik, namun perlu dipertimbangkan bersama aspek kekerasan dan ketangguhan material (Arrochman, 2024; Zulkifli et al., 2019; Pandapotan & Mulyadi, 2024).

Hasil Uji Tarik Dengan Media Pendingin Oli

Dengan menggunakan elektroda RB E 6013, pengelasan dilakukan dalam pengujian ini dengan arus pengelasan yang sama, yaitu 85 A. Regangan rata-rata yang terjadi adalah 17,40 karena nilai rata-rata Gaya Ultimate (Tu) masing-masing sebesar $424,19 \text{ N/mm}^2$. Berdasarkan hasil uji tarik, spesimen uji putus di luar area las. Diperlukan tiga kali pengujian ulang untuk mendapatkan hasil yang andal dan valid. Tabel 3 di bawah ini menunjukkan detail kekuatan tarik menggunakan pendingin oli SAE 40:

Tabel 3. Hasil Kekuatan Tarik Dengan Media Pendingin Oli

No	Media Pendingin	W	T	A	Lo	L	ΔL	Fu	Tu	ε	Ket
		mm	mm	mm ²	mm	mm	mm	N	N/mm ²	%	
1	OLI	12.90	5.00	64.500	65.00	75.89	10.89	27100	420.16	16.75	Putus
2	OLI	12.98	5.00	64.900	65.00	76.44	11.44	2800	431.43	17.60	Diluar
3	OLI	12.78	5.00	63.900	65.00	76.60	11.60	26900	420.97	17.85	Lasan
Nilai Rata-Rata											424.19 17.40

Sumber: Data Olahan Penulis, 2025.

Keterangan untuk tabel di atas adalah W: Lebar Spesimen (mm), T: Tebal Spesimen (mm), A: Luas Spesimen (mm²), Lo: Panjang Awal Spesimen (mm), L: Panjang Akhir Spesimen (mm), ΔL : Perubahan Panjang Spesimen (mm).

Pengujian tarik dengan media pendingin oli SAE 40 dilakukan menggunakan parameter pengelasan yang seragam, yaitu elektroda RB E 6013 dan arus las 85 A, untuk memastikan bahwa perbedaan hasil yang diperoleh benar-benar dipengaruhi oleh variasi media pendingin. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik ultimate (Tu) berada pada kisaran 420,16–431,43 N/mm² dengan nilai rata-rata sebesar 424,19 N/mm², sedangkan regangan rata-rata tercatat sebesar 17,40%. Nilai ini menunjukkan bahwa pendinginan oli mampu menghasilkan sambungan las dengan kombinasi kekuatan dan keuletan yang relatif baik. Temuan ini sejalan dengan laporan Tyagita dan Irawan (2016) serta Maulana (2017) yang menyatakan bahwa media pendingin cair dengan laju pendinginan menengah cenderung menghasilkan sifat mekanik yang lebih stabil.

Hasil pengamatan terhadap lokasi patahan menunjukkan bahwa seluruh spesimen uji mengalami putus di luar daerah las, yang mengindikasikan kualitas sambungan las lebih kuat dibandingkan logam induknya. Kondisi ini mencerminkan terjadinya ikatan metallurgi yang baik pada daerah las dan HAZ sehingga mampu menahan beban tarik hingga melampaui kekuatan logam dasar. Pola patahan semacam ini sering dijadikan indikator keberhasilan proses pengelasan dalam pengujian tarik. Hasil serupa juga dilaporkan oleh Darma et al. (2017) dan Munawar et al. (2022) yang menemukan bahwa pendinginan oli pada baja ST 37 cenderung menghasilkan patahan di luar daerah las.

Variasi nilai Tu antarspesimen yang relatif kecil menunjukkan tingkat konsistensi hasil pengelasan dan pendinginan yang baik. Selisih kekuatan tarik antarspesimen dipengaruhi oleh perbedaan kecil pada luas penampang efektif dan perubahan panjang spesimen setelah pengujian. Regangan yang berada pada rentang 16,75–17,85% mencerminkan bahwa material masih memiliki kemampuan deformasi plastis yang cukup sebelum patah. Karakteristik ini sesuai dengan sifat baja karbon rendah yang dikenal memiliki keuletan tinggi, sebagaimana dijelaskan oleh Syarieff (2017) dan Niam et al. (2021).

Media pendingin oli SAE 40 memberikan laju pendinginan yang lebih lambat dibandingkan air, namun lebih cepat dibandingkan udara, sehingga mampu menekan pembentukan fasa martensit yang bersifat getas. Kondisi ini mendorong terbentuknya struktur mikro yang didominasi oleh ferit dan perlite halus, yang berkontribusi terhadap peningkatan keuletan tanpa mengorbankan kekuatan tarik secara signifikan. Hubungan antara laju pendinginan menengah dan sifat mekanik yang seimbang juga ditegaskan oleh Sultoni et al. (2019) serta Ruchiyat (2018). Oleh sebab itu, pendinginan oli sering direkomendasikan untuk aplikasi struktural yang memerlukan ketahanan tarik dan deformasi yang baik.

Apabila dibandingkan dengan hasil penelitian lain yang menggunakan media pendingin air, nilai kekuatan tarik pada pendinginan oli cenderung sedikit lebih rendah namun memiliki regangan yang lebih tinggi. Pendinginan air memang mampu meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik, namun sering diikuti oleh penurunan keuletan akibat pembentukan struktur mikro yang lebih keras. Pendekatan menggunakan oli memberikan kompromi yang lebih aman terhadap risiko retak dan kerapuhan sambungan las. Pola ini konsisten dengan temuan Saragi et al. (2026), Ridwan et al. (2021), dan Zakaria et al. (2025) yang menekankan pentingnya keseimbangan antara kekuatan dan keuletan.

Hasil uji tarik dengan media pendingin oli SAE 40 menunjukkan performa mekanik yang stabil dan dapat diandalkan untuk sambungan las baja ST 37. Kekuatan tarik rata-rata yang tinggi disertai regangan yang memadai menandakan bahwa sambungan mampu menahan beban tarik tanpa kegagalan dini. Hasil ini memperkuat pandangan bahwa pemilihan media pendingin berperan strategis dalam pengendalian kualitas hasil pengelasan SMAW. Temuan penelitian ini sejalan dengan berbagai kajian sebelumnya yang menempatkan pendinginan oli sebagai alternatif yang efektif untuk meningkatkan kinerja mekanik sambungan las baja karbon rendah (Arrochman, 2024; Irawan & Irawansyah, 2023; Zulkifli et al., 2019).

Hasil Uji Tarik Dengan Media Pendingin Udara

Elektroda RB E 6013 digunakan untuk pengelasan dalam pengujian ini, dan semuanya terpapar arus pengelasan 85A yang identik. Regangan rata-rata sebesar 14,08 diperoleh dengan merata-ratakan Gaya Ultimate (Tu), yang masing-masing sebesar 425,75 N/mm². Berdasarkan hasil uji tarik, spesimen uji putus di luar area las. Tiga kali pengujian ulang diperlukan untuk menghasilkan hasil yang andal dan bermakna. Tabel 4 di bawah ini menunjukkan spesifikasi kekuatan tarik menggunakan pendingin udara.

Tabel 4. Hasil Kekuatan Tarik Dengan Media Pendingin Udara

No	Media Pendingin	W mm	T mm	A mm ²	Lo mm	L mm	ΔL mm	Fu N	Tu N/mm ²	ε %	Ket
1	UDARA	12.38	5.00	61.900	65.00	75.57	10.57	26600	429.73	16.26	Putus
2	UDARA	13.06	5.00	65.300	65.00	74.78	9.78	28100	430.32	15.05	Diluar
3	UDARA	12.70	5.00	63.500	65.00	72.11	7.11	26400	415.75	10.94	Lasan
Nilai Rata-Rata									425.26	14.08	

Sumber: Data Olahan Penulis, 2025

Keterangan dari tabel tersebut di atas adalah W: Lebar Spesimen (mm), T: Tebal Spesimen (mm), A: Luas Spesimen (mm²), Lo: Panjang Awal Spesimen (mm), L: Panjang Akhir Spesimen (mm), ΔL: Perubahan Panjang Spesimen (mm).

Pengujian tarik dengan media pendingin udara menunjukkan bahwa seluruh spesimen yang dilas menggunakan elektroda RB E 6013 pada arus 85 A memiliki perilaku mekanik yang relatif konsisten. Nilai kekuatan tarik ultimate (Tu) yang diperoleh berada pada kisaran 415,75–430,32 N/mm² dengan nilai rata-rata sebesar 425,26 N/mm², sedangkan regangan rata-rata mencapai 14,08%. Nilai ini menggambarkan bahwa pendinginan udara mampu mempertahankan keleutan material tanpa meningkatkan kekerasan secara berlebihan. Karakteristik tersebut sejalan dengan temuan Darma et al. (2017) dan Munawar et al. (2022) yang menyatakan bahwa pendinginan lambat cenderung menghasilkan sambungan las yang lebih ulet.

Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa seluruh spesimen mengalami patah di luar daerah las, yang menandakan kualitas sambungan las lebih kuat dibandingkan logam induknya. Fenomena ini mengindikasikan bahwa proses pengelasan dan parameter yang digunakan telah menghasilkan fusi dan penetrasi yang baik pada daerah las. Pendinginan udara memungkinkan pelepasan panas berlangsung bertahap sehingga tegangan sisa yang terbentuk relatif rendah. Kondisi tersebut memperkecil potensi terjadinya konsentrasi tegangan pada daerah HAZ yang sering menjadi lokasi awal kegagalan material (Maulana, 2017; Saragi et al., 2026).

Perbedaan nilai regangan antarspesimen, yang berkisar antara 10,94% hingga 16,26%, dipengaruhi oleh variasi kecil pada dimensi efektif spesimen dan distribusi mikrostruktur pascapengelasan. Pendinginan udara cenderung menghasilkan struktur ferit-perlit yang lebih kasar namun homogen, sehingga material mampu mengalami deformasi plastis lebih besar sebelum patah. Struktur ini memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan kemampuan regangan dibandingkan pendinginan cepat. Temuan ini konsisten dengan hasil penelitian Sulton et al. (2019) dan

Niam et al. (2021) yang menegaskan hubungan erat antara laju pendinginan dan keuletan sambungan las.

Jika dibandingkan dengan media pendingin cair seperti air atau oli, pendinginan udara menghasilkan kekuatan tarik yang sedikit lebih rendah namun stabil dan merata. Pendinginan cepat menggunakan air umumnya meningkatkan kekuatan dan kekerasan, namun sering diikuti oleh peningkatan risiko kerapuhan dan retak mikro. Pendinginan oli memberikan nilai transisi antara air dan udara, tetapi masih menyisakan tegangan sisa yang lebih tinggi dibandingkan udara. Oleh sebab itu, pendinginan udara dapat dipandang sebagai metode yang aman untuk aplikasi yang memprioritaskan keuletan dan ketahanan terhadap beban dinamis (Tyagita & Irawan, 2016; Ruchiyat, 2018).

Korelasi antara hasil uji tarik dan struktur mikro juga diperkuat oleh penelitian lain yang menunjukkan bahwa pendinginan lambat mendukung terbentuknya fasa ferit dominan dengan perlite kasar. Struktur tersebut tidak memberikan kekerasan maksimum, namun mampu mendistribusikan tegangan secara lebih merata saat pembebahan tarik. Kondisi ini sangat relevan untuk komponen struktural yang bekerja dalam kondisi fluktuatif. Temuan serupa dilaporkan oleh Pasek dan Widayana (2017), Arrochman (2024), serta Wiratmaja et al. (2025) pada material baja karbon rendah hasil pengelasan.

Hasil uji tarik dengan media pendingin udara menunjukkan bahwa metode ini mampu menghasilkan sambungan las baja ST 37 dengan keseimbangan yang baik antara kekuatan dan keuletan. Nilai kekuatan tarik yang mendekati atau bahkan melampaui standar baja ST 37 menunjukkan bahwa pendinginan udara layak diterapkan pada konstruksi yang menuntut deformasi plastis sebelum kegagalan. Konsistensi hasil pengujian ulang juga memperlihatkan stabilitas proses pengelasan yang digunakan. Temuan ini memperkuat kesimpulan berbagai penelitian sebelumnya bahwa pemilihan media pendingin harus disesuaikan dengan kebutuhan sifat mekanik akhir dari sambungan las (Syarieff, 2017; Zakaria et al., 2025; Pandapotan & Mulyadi, 2024)

Analisis Hasil Pengujian Kekerasan Vickers

Hasil analisis uji tarik menunjukkan bahwa variasi media pendingin memberikan pengaruh nyata terhadap respons mekanik baja ST 37 hasil pengelasan SMAW pada arus 85 A. Pendinginan menggunakan air menghasilkan nilai kekuatan luluh tertinggi sebesar 307,81 N/mm², yang mencerminkan ketahanan material yang lebih besar terhadap deformasi plastis awal. Kondisi ini berkaitan erat dengan laju pendinginan yang cepat sehingga mendorong terbentuknya struktur mikro yang lebih keras. Namun, karakter keras tersebut tidak selalu diikuti oleh kemampuan deformasi lanjutan yang baik ketika spesimen menerima beban tarik yang meningkat.

Pada media pendingin oli, nilai kekuatan luluh tercatat sebesar 287,26 N/mm², lebih rendah dibandingkan air namun masih menunjukkan ketahanan yang cukup baik terhadap awal deformasi. Pendinginan oli berlangsung lebih lambat sehingga struktur mikro yang terbentuk cenderung lebih seimbang antara fasa keras dan ulet. Kombinasi ini memberikan respons mekanik yang relatif stabil ketika material memasuki daerah plastis. Perilaku tersebut mencerminkan karakter kompromi yang sering diharapkan dalam aplikasi struktural yang memerlukan kekuatan sekaligus keuletan.

Media pendingin udara menghasilkan nilai kekuatan luluh terendah, yaitu 274,28 N/mm², yang menunjukkan bahwa material lebih mudah mengalami deformasi plastis awal. Pendinginan yang berlangsung lambat memungkinkan terbentuknya struktur ferit dan perlite yang lebih dominan. Struktur ini memiliki kekerasan yang lebih rendah, namun mampu mendistribusikan tegangan secara lebih merata. Kondisi tersebut berpengaruh pada kemampuan material untuk menahan regangan yang cukup besar sebelum terjadinya kegagalan.

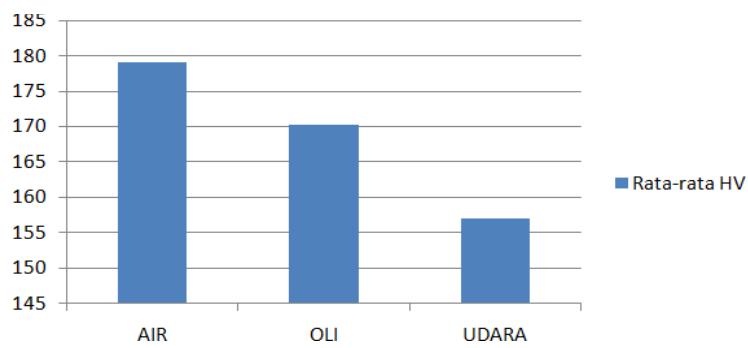
Perbandingan nilai kekuatan tarik maksimum memperlihatkan kecenderungan yang berbeda dengan kekuatan luluh. Pendinginan udara justru menghasilkan nilai kekuatan tarik tertinggi sebesar 425,26 N/mm², meskipun kekuatan luluhnya paling rendah. Hal ini menunjukkan bahwa keuletan material memainkan peran penting dalam menahan beban tarik hingga mencapai titik patah. Pada pendinginan air, kekuatan tarik maksimum tercatat paling rendah, yaitu 420,45 N/mm², yang mengindikasikan bahwa sifat getas akibat struktur mikro yang sangat keras membatasi kemampuan deformasi plastis lanjutan setelah melewati batas luluh.

Hasil uji kekerasan Vickers memperkuat temuan pada pengujian tarik, di mana pendinginan air menghasilkan nilai kekerasan rata-rata tertinggi sebesar 179 HV. Nilai ini mencerminkan terbentuknya struktur mikro yang lebih padat dan keras akibat laju pendinginan yang cepat. Pendinginan oli

menghasilkan kekerasan rata-rata sebesar 157 HV, menunjukkan struktur yang lebih lunak dibandingkan air namun masih cukup tahan terhadap penetrasi. Sementara itu, pendinginan udara memberikan nilai kekerasan rata-rata 170,3 HV, berada di antara air dan oli, yang menandakan adanya keseimbangan antara kekerasan dan keuletan.

Korelasi antara hasil uji tarik dan uji kekerasan menunjukkan bahwa peningkatan kekerasan tidak selalu sejalan dengan peningkatan kekuatan tarik maksimum. Pendinginan air meningkatkan ketahanan terhadap deformasi plastis awal, namun membatasi kemampuan regangan lanjutan akibat sifat getas material. Pendinginan udara memberikan kekuatan tarik maksimum yang lebih tinggi karena struktur mikro yang lebih kuat mampu menahan beban hingga regangan yang lebih besar. Pendinginan oli berada di antara keduanya, menghasilkan sifat mekanik yang relatif seimbang, sehingga dapat dipertimbangkan sebagai alternatif yang sesuai untuk aplikasi yang menuntut kombinasi kekuatan, keuletan, dan stabilitas sambungan las.

Dengan mendapatkan nilai rata-rata HV, pendinginan menggunakan air menghasilkan nilai kekerasan tertinggi. Hal ini disebabkan oleh laju pendinginan yang sangat cepat dari air, yang memicu terbentuknya struktur martensit pada logam. Sedangkan pendinginan oli menghasilkan kekerasan yang sedang (lebih tinggi dari udara tetapi lebih rendah dari air) laju pendinginan yang lebih lambat dibandingkan air kemungkinan menghasilkan struktur yang lebih seimbang antara kekerasan dan keuletan seperti perlit. Dan pendinginan dengan udara menghasilkan nilai kekerasan terendah diantara ketiganya. udara memiliki laju pendinginan yang lebih lambat dibandingkan air dan oli, sehingga kemungkinan terbentuk struktur perlit kasar atau ferit. Analisis yang didapat yaitu semakin cepat laju pendinginan suatu material, maka semakin keras material tersebut. Adapun grafik yang dihasilkan pada uji kekerasan vickers yaitu:



Sumber: Data Olahan Penulis

Gambar 1. Grafik Nilai Rata-Rata Pada Pengujian Vickers

Hasil dan pembahasan pada penelitian ini menunjukkan bahwa variasi media pendinginan memberikan pengaruh yang nyata terhadap sifat mekanik baja ST 37 hasil pengelasan SMAW, baik pada parameter kekuatan tarik maupun kekerasan. Seluruh spesimen dilas dengan parameter yang sama, yaitu arus 85 A dan elektroda RB E 6013, sehingga perbedaan karakter mekanik yang muncul dapat dikaitkan langsung dengan perbedaan laju pendinginan. Pendekatan ini memperkuat validitas analisis karena meminimalkan pengaruh variabel lain di luar media pendingin. Temuan ini sejalan dengan pandangan bahwa pendinginan merupakan faktor kunci dalam pengendalian kualitas sambungan las baja karbon rendah (Tyagita & Irawan, 2016).

Analisis uji tarik memperlihatkan bahwa pendinginan air menghasilkan nilai kekuatan luluh tertinggi sebesar 307,81 N/mm², yang menunjukkan ketahanan paling besar terhadap deformasi plastis awal. Laju pendinginan yang sangat cepat mendorong terbentuknya struktur mikro keras yang mampu menahan tegangan lebih tinggi sebelum mengalami luluh. Karakter ini umum dijumpai pada material yang mengalami quenching karena peningkatan kepadatan dislokasi dan perubahan fasa yang signifikan. Hasil tersebut konsisten dengan laporan Maulana (2017) dan Zakaria et al. (2025) yang menyatakan bahwa pendinginan cepat meningkatkan kekuatan luluh baja ST 37.

Pada media pendingin oli, nilai kekuatan luluh tercatat sebesar 287,26 N/mm², berada di bawah pendinginan air namun tetap menunjukkan performa mekanik yang cukup baik. Pendinginan oli berlangsung lebih lambat sehingga transformasi mikrostruktur terjadi secara lebih terkendali. Struktur yang terbentuk cenderung lebih seimbang antara kekerasan dan keuletan. Karakteristik ini menjadikan

pendinginan oli relevan untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan deformasi awal tanpa mengorbankan sifat ulet material (Niam et al., 2021).

Pendinginan udara menghasilkan kekuatan luluh terendah, yaitu 274,28 N/mm², yang mencerminkan bahwa material lebih mudah memasuki daerah plastis. Laju pendinginan yang lambat memungkinkan difusi karbon berlangsung lebih sempurna sehingga struktur ferit dan perlit mendominasi. Struktur ini tidak memberikan ketahanan luluh setinggi pendinginan cepat, namun mampu mendistribusikan tegangan secara lebih merata. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Saragi et al. (2026) dan Syarief (2017) pada baja karbon rendah hasil pengelasan.

Perilaku yang berbeda terlihat pada parameter kekuatan tarik maksimum, di mana pendinginan udara justru menghasilkan nilai tertinggi sebesar 425,26 N/mm². Kondisi ini menunjukkan bahwa kekuatan tarik maksimum tidak hanya dipengaruhi oleh kekuatan luluh, tetapi juga oleh kemampuan material menahan deformasi plastis lanjut. Struktur mikro yang lebih ulet memungkinkan spesimen menahan beban lebih besar sebelum terjadi patah. Fenomena serupa juga dilaporkan oleh Munawar et al. (2022) dan Pandapotan dan Mulyadi (2024).

Sebaliknya, pendinginan air menghasilkan kekuatan tarik maksimum terendah sebesar 420,45 N/mm² meskipun memiliki kekuatan luluh tertinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa struktur mikro yang sangat keras cenderung bersifat getas sehingga kemampuan deformasi plastis setelah melewati titik luluh menjadi terbatas. Material mengalami patah lebih cepat ketika mendekati beban maksimum. Pola ini banyak dijelaskan dalam kajian pengelasan baja karbon yang mengalami pendinginan cepat tanpa perlakuan panas lanjutan (Ruchiyat, 2018; Arrochman, 2024).

Hasil uji kekerasan Vickers memperkuat interpretasi dari uji tarik, di mana pendinginan air menghasilkan nilai kekerasan rata-rata tertinggi sebesar 179 HV. Nilai ini mencerminkan terbentuknya struktur mikro yang lebih keras akibat laju pendinginan yang tinggi. Pendinginan oli menghasilkan kekerasan rata-rata 157 HV, yang menunjukkan kondisi menengah antara air dan udara. Sementara itu, pendinginan udara memberikan kekerasan rata-rata 170,3 HV, menandakan struktur yang relatif lebih lunak namun tidak ekstrem (Nitha et al., 2024).

Grafik nilai rata-rata kekerasan Vickers memperlihatkan hubungan yang jelas antara laju pendinginan dan tingkat kekerasan material. Semakin cepat proses pendinginan, semakin tinggi nilai kekerasan yang dihasilkan pada daerah uji. Pola ini mendukung teori transformasi fasa pada baja karbon rendah yang sangat dipengaruhi oleh kecepatan pelepasan panas. Hasil serupa juga dilaporkan pada berbagai penelitian pengelasan dan perlakuan panas baja karbon dengan media pendingin berbeda (Ridwan et al., 2021; Wiratmaja et al., 2025).

Integrasi hasil uji tarik dan uji kekerasan menunjukkan bahwa setiap media pendingin menghasilkan karakter mekanik yang berbeda dan saling melengkapi. Pendinginan air memberikan ketahanan tertinggi terhadap deformasi plastis awal namun cenderung menghasilkan material yang lebih getas. Pendinginan udara menghasilkan material yang lebih ulet dan mampu menahan beban tarik lebih besar sebelum patah, sedangkan pendinginan oli menunjukkan sifat mekanik yang relatif seimbang. Temuan ini menegaskan bahwa pemilihan media pendingin harus disesuaikan dengan kebutuhan fungsional sambungan las pada aplikasi teknik yang spesifik (Rahman et al., 2022; Zulkifli et al., 2019; Yulisa & Razali, 2019).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan, adapun yang menjadi kesimpulan pada penelitian ini sebagai berikutini. Media pendingin air memiliki rata-rata kuat tarik maksimum (Tu) terendah, yaitu 420,45 N/mm², sementara media pendingin udara memiliki rata-rata kuat luluh (Tu) tertinggi, yaitu 425,26 N/mm², diikuti oleh media pendingin oli sebesar 424,19 N/mm². Dan hasil rata-rata nilai regangan tertinggi terletak pada media pendingin Oli yaitu 17,40% , setelah itu media pendingin Air yaitu 16,69%, dan nilai regangan terendah pada media pendingin Udara yaitu 14,08%. Media berpendingin air memiliki nilai HV tertinggi (179 HV) dalam uji kekerasan Vickers, diikuti oleh media berpendingin oli (170,3 HV), dan media berpendingin udara (157 HV) memiliki nilai HV terendah. Media berpendingin air menghasilkan struktur mikro martensit dengan kekerasan maksimum, media berpendingin oli menghasilkan struktur mikro perlit dengan kekerasan sedang, dan media berpendingin udara menghasilkan struktur mikro ferit. Karena pendinginan udara mengurangi risiko retak, memaksimalkan stabilitas sambungan, dan sesuai dengan sifat ulet baja ST37, teknik pendinginan ini merupakan teknik pendinginan yang optimal untuk pengelasan SMAW pada material ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arrochman, A. F. (2024). Pengaruh Variasi Media Pendingin Setelah Pwht Pengelasan Smaw Baja St37 Terhadap Ketangguhan Dan Struktur Mikro. *Jurnal Teknik Mesin*, 13(02), 75-82. <https://doi.org/10.26740/jtm.v13n02.p75-82>.
- Darma, K. B. S., Widayana, G., & Nugraha, I. N. P. (2017). Pengaruh Media Pendinginan Terhadap Sifat Mekanik Hasil Pengelasan Material ST 37. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 5(1). <https://doi.org/10.23887/jitm.v5i1.9770>.
- Irawan, D., & Irawansyah, H. (2023). Pengaruh Pwht (Post Weld Heat Treatment) Pada Pengelasan Smaw Terhadap Kekerasan Dan Kekuatan Tekan Baja ST 37. *Jtam Rotary*, 6(1), 27-40. https://doi.org/10.20527/jtam_rotary.v6i1.9340.
- Maulana, Y. (2017). Analisis Kekuatan Tarik Baja St37 Pasca Pengelasan Dengan Variasi Media Pendingin Menggunakan Smaw. *Al-Jazari Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 1(2). <https://doi.org/10.61132/mars.v3i3.842>.
- Munawar, H. M., Gusniar, I. N., & Anjani, R. D. (2022). Analisis Pengaruh Variasi Media Pendingin Pengelasan SMAW Terhadap Kekuatan Tarik Baja ST 37. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 8(22), 481-488. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7350361>.
- Niam, M. S., Mashudi, M., & Dika, J. W. (2021). Analisa Pengaruh Variasi Media Pendingin Oli Bekas dan Coolant Engine Terhadap Uji Tarik Pada Sambungan Las Baja ST37. *Journal of Science Nusantara*, 1(1), 65-76..
- Nitha, N., Sangkung, J., Fikran, F., Pasae, N., Bontong, Y., & Sampelawang, P. (2024). Korelasi Media Pendingin pada Pengelasan SMAW Terhadap Kekerasan Material ST 37 Post Preheating. *Innovative: Journal Of Social Science Research*, 4(6), 9466-9474. <https://doi.org/10.31004/innovative.v4i6.18004>.
- Pandapotan, U., & Mulyadi, M. (2024). Pengaruh Media Pendingin terhadap Porositas dan Kekuatan Tarik menggunakan Pengelasan SMAW DCSP pada Material Pipa Baja Karbon SCH40. *Innovative Technologica: Methodical Research Journal*, 3(3), 8-8. <https://doi.org/10.47134/innovative.v3i3.108>.
- Pasek, M. A. P. I. N., & Widayana, N. G. (2017). Pengaruh Media Pendinginan Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Hasil Pengelasan Oxy Acetylene Pada Material Baja St-37. *Jurnal Jurusan Pendidikan Teknik Mesin (JJPTM)*, 8(2). <https://doi.org/10.23887/jitm.v5i2.10397>.
- Rahman, M. F., Naubnome, V., & Hanifi, R. (2022). Analisis Pengaruh Variasi Media Pendingin Terhadap Sifat Mekanik dan Laju Korosi Pada Hasil Sambungan Las TIG Baja ST 37. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 8(21), 46-52. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7272775>.
- Ridwan, A., Irzal, I., Waskito, W., & Mulyadi, R. (2021). Pengaruh Jenis Media Pendingin Air Garam, Air Sumur, Oli Terhadap Hardness Pada Hasil Pengelasan Baja S45c Menggunakan Las SMAW. *Jurnal Vokasi Mekanika (VoMek)*, 3(2), 34-40. <https://doi.org/10.24036/vomek.v3i2.201>.
- Ruchiyat, A. A. (2018). Pengaruh Pendinginan Media Air dan Oli pada Heattreatment Sambungan Las Metode Smaw terhadap Kekuatan Logam yang Dihasilkan. *Jurnal Inovtek Polbeng*, 8(2), 196-204. <https://doi.org/10.35314/ip.v8i2.732>.
- Saragi, J. F. H., Boangmanalu, E. P. D., Sinaga, F. T. H., Bahri, N., & Marbun, A. A. S. (2026). Pengaruh Media dan Jeda Pendinginan Las SMAW terhadap Kekuatan Tarik ST37. *Teknika*, 20(1), 117-128. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17732355>.
- Sulton, S., Finahari, N., & Sahbana, M. A. (2019). Analisa Pengaruh Variasi Media Pendingin Air Dan Oli Pada Sambungan Lap Joint Terhadap Sifat Mekanik Menggunakan Las Smaw (Dc). *Proton: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Mesin*, 11(1), 35-42. <https://doi.org/10.31328/jp.v11i1.1230>.
- Syarief, A. (2017). Kekuatan Tarik Baja St 37 pada Proses Las Oksi-Asetilen. *INFO-TEKNIK*, 5(1), 26-37. <https://dx.doi.org/10.20527/infotek.v5i1.652>.
- Tyagita, D. A., & Irawan, A. (2016). Kekuatan Tarik Hasil Pengelasan Smaw Plat Baja St 37 Dengan Pendingin Liquid. *Jurnal Ilmiah Inovasi*, 16(3). <https://doi.org/10.25047/jii.v16i3.308>.
- Wiratmaja, I. G., Nugraha, I. N. P., & Mahayoga, I. K. A. (2025). Analisis Pengaruh Variasi Pendinginan Terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro Baja ST 42 Hasil Pengelasan SMAW. *Nusantara of Engineering (NOE)*, 8(01), 250-257. <https://doi.org/10.29407/noe.v8i01.23190>.

- Yulisa, Y., & Razali, R. (2019, December). Analisa Pengaruh Waktu Dan Media Pendingin Terhadap Hasil Hasil Pengelasan SmaW Berdasarkan Uji Penetran Dan Kekerasan. In *Seminar Nasional Industri dan Teknologi* (pp. 185-190).
- Zakaria, Y., Anjarwati, P. P., Pradani, Y. F., & Agasta, D. D. (2025). Pengaruh Quenching Menggunakan Air Mineral dan Air Cucian Terhadap Kekuatan Tarik Baja ST 37. *Metrotech (Journal of Mechanical and Electrical Technology)*, 4(3), 277-285. <https://doi.org/10.70609/metrotech.v4i3.7609>.
- Zulkifli, Z., Dahlan, B., & Fatimah, N. (2019). Analisa pengaruh variasi media pendingin terhadap kekuatan mekanik pada hasil pengelasan metode SMAW material baja ST 52. *Journal of Welding Technology*, 1(2), 48-51. <http://dx.doi.org/10.30811/jowt.v1i2.1592>.