

Pengaruh Variasi Media Pendingin Terhadap Kekerasan Hasil Las MIG Material ST 42

Andreas Giovani Manik¹, Nyoman Arya Wigraha², Ida Bagus Putu Purwadnyana³

¹ Universitas Pendidikan Ganesha; email : andreasgiovani05@gmail.com

² Universitas Pendidikan Ganesha; email : arya.wigraha@undiksha.ac.id

³ Universitas Pendidikan Ganesha; email : lpurwadnyana@undiksha.ac.id

*Penulis korespondensi : Andreas Giovani Manik

Abstract: *ST 42 steel is a low carbon steel widely used in construction and manufacturing due to its good weldability and ductility; however, it has relatively low hardness. One of the factors affecting the hardness of welded joints is the cooling medium applied after the welding process. This study aims to analyze the effect of cooling media variations on the hardness of MIG (Metal Inert Gas) welded ST 42 steel. The research was conducted using an experimental method by performing MIG welding on ST 42 steel specimens, followed by rapid cooling (quenching) using three different cooling media, namely water, seawater, and oil. Hardness testing was carried out using the Vickers method to obtain hardness values for each welded specimen. The experimental data were analyzed using descriptive quantitative analysis by comparing the hardness values resulting from each cooling medium. The results show that variations in cooling media have a significant effect on the hardness of MIG welded ST 42 steel. Seawater cooling produced the highest hardness values, followed by water and oil cooling. The differences in hardness values are influenced by the different cooling rates of each medium. In conclusion, the selection of an appropriate cooling medium plays an important role in improving the hardness of MIG welded ST 42 steel.*

Keywords: *MIG welding; ST 42 steel; cooling media; hardness; Vickers test; quenching.*

Abstrak: Baja ST 42 merupakan baja karbon rendah yang banyak digunakan dalam bidang konstruksi dan manufaktur karena memiliki kemampuan las dan keuletan yang baik, namun tingkat kekerasannya relatif rendah. Salah satu faktor yang memengaruhi kekerasan hasil pengelasan adalah media pendingin yang digunakan setelah proses las. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi media pendingin terhadap kekerasan hasil las MIG (*Metal Inert Gas*) pada material ST 42. Penelitian dilakukan menggunakan metode eksperimen dengan proses pengelasan MIG pada spesimen baja ST 42, kemudian dilakukan pendinginan cepat (*quenching*) menggunakan tiga media pendingin, yaitu air, air laut, dan oli. Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode *Vickers* untuk memperoleh nilai kekerasan dari masing-masing spesimen hasil pengelasan. Data hasil pengujian dianalisis secara deskriptif kuantitatif dengan membandingkan nilai kekerasan yang dihasilkan oleh setiap media pendingin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi media pendingin memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekerasan hasil las MIG baja ST 42. Media pendingin air laut menghasilkan nilai kekerasan tertinggi, diikuti oleh media air dan media oli. Perbedaan nilai kekerasan tersebut dipengaruhi oleh perbedaan laju pendinginan masing-masing media. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa pemilihan media pendingin yang tepat berperan penting dalam meningkatkan kekerasan hasil las MIG pada material ST 42.

Kata kunci: las MIG; baja ST 42; media pendingin; kekerasan; uji Vickers; quenching.

Diterima: Oktober 20, 2025
Direvisi: Oktober 28, 2025
Diterima: Oktober 29, 2025
Diterbitkan: November 24, 2025
Versi sekarang: Januari 12, 2026



Hak cipta: © 2025 oleh penulis.
Diserahkan untuk kemungkinan
publikasi akses terbuka
berdasarkan syarat dan ketentuan
lisensi Creative Commons
Attribution (CC BY SA) (
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

1. Pendahuluan

Pengelasan merupakan proses penyambungan logam yang memiliki peran penting dalam pengembangan teknologi konstruksi dan manufaktur karena mampu menghasilkan sambungan permanen dengan kekuatan tinggi [1]. Salah satu material yang banyak digunakan dalam konstruksi adalah baja karbon rendah ST 42 karena memiliki keuletan yang baik, mudah

dikerjakan, serta biaya yang relatif ekonomis [2]. Namun, kandungan karbon yang rendah menyebabkan baja ST 42 memiliki tingkat kekerasan yang relatif rendah sehingga kurang tahan terhadap keausan pada aplikasi tertentu [3]. Oleh karena itu, peningkatan sifat mekanik, khususnya kekerasan, menjadi aspek penting dalam pengembangan pemanfaatan material ini.

Salah satu metode pengelasan yang umum digunakan pada baja ST 42 adalah pengelasan Metal Inert Gas (MIG). Pengelasan MIG dikenal mampu menghasilkan sambungan yang stabil, bersih, serta memiliki penetrasi yang baik karena menggunakan elektroda kawat kontinu dan gas pelindung inert [4]. Dalam beberapa penelitian sebelumnya, peningkatan sifat mekanik hasil pengelasan dilakukan melalui pengaturan parameter pengelasan seperti variasi arus, yang terbukti memengaruhi nilai kekerasan dan kekuatan tarik sambungan las baja karbon rendah [5]. Metode ini memiliki keunggulan dalam kemudahan pengendalian proses, namun kurang efektif jika tidak diikuti dengan perlakuan pasca-pengelasan yang tepat.

Selain parameter pengelasan, perlakuan panas pasca-pengelasan melalui proses quenching juga banyak digunakan untuk meningkatkan kekerasan material. Proses quenching dilakukan dengan pendinginan cepat menggunakan media tertentu untuk menghasilkan struktur yang lebih keras [6]. Media pendingin seperti air dan oli telah banyak digunakan, namun masing-masing memiliki kelemahan. Pendinginan dengan air menghasilkan laju pendinginan tinggi tetapi berpotensi menimbulkan tegangan sisa, sedangkan oli memberikan pendinginan lebih lambat dengan peningkatan kekerasan yang lebih rendah [7]. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa variasi media pendingin berpengaruh signifikan terhadap kekerasan hasil pengelasan MIG pada baja karbon [8]. Meskipun demikian, kajian mengenai pengaruh variasi media pendingin terhadap kekerasan hasil las MIG pada material ST 42 masih terbatas. Sebagian penelitian sebelumnya menggunakan material selain ST 42 atau hanya memfokuskan pada satu jenis media pendingin [9]. Hal ini menunjukkan adanya permasalahan penelitian berupa kurangnya data komparatif mengenai efektivitas beberapa media pendingin terhadap kekerasan hasil las MIG baja ST 42.

Selain variasi media pendingin, perlakuan awal sebelum pengelasan seperti *pre-heat* juga dilaporkan memengaruhi nilai kekerasan sambungan las MIG pada baja karbon rendah, di mana perlakuan *pre-heat* tertentu menghasilkan kekerasan Vickers yang lebih optimal [10]. Pengaruh parameter pengelasan seperti variasi arus pada proses GMAW juga terbukti berpengaruh terhadap nilai kekerasan hasil las pada baja ST 42 akibat perubahan input panas selama proses pengelasan [11]. Penelitian lain menunjukkan bahwa variasi arus pengelasan pada material ST 42, meskipun menggunakan metode berbeda, tetap memberikan kecenderungan perubahan nilai kekerasan yang signifikan [12]. Selain itu, variasi perlakuan termal dan pendinginan pada proses pengelasan MIG/MAG dilaporkan memengaruhi distribusi kekerasan pada daerah las dan *heat affected zone* (HAZ), sehingga relevan sebagai pembanding dalam penelitian ini [13].

Selain faktor *pre-heat* dan parameter arus, perlakuan pendinginan pasca-pengelasan juga dilaporkan berpengaruh signifikan terhadap nilai kekerasan sambungan las. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa proses quenching dengan variasi media dan temperatur pendinginan pada pengelasan MIG mampu meningkatkan nilai kekerasan material akibat perbedaan laju pelepasan panas selama proses pendinginan [14]. Variasi arus pengelasan pada proses MIG juga dilaporkan memengaruhi distribusi kekerasan pada daerah las dan HAZ karena perbedaan input panas yang dihasilkan [15]. Hasil serupa ditunjukkan pada pengelasan MAG, di mana perbedaan media pendingin memberikan variasi nilai kekerasan yang nyata pada daerah HAZ dan logam las, sehingga memperkuat pentingnya pemilihan media pendingin yang tepat dalam proses pengelasan [16].

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan pendekatan eksperimental dengan membandingkan variasi media pendingin terhadap kekerasan hasil las MIG pada material ST 42 menggunakan metode uji kekerasan Vickers. Kontribusi utama penelitian ini adalah menyediakan data eksperimental mengenai pengaruh media pendingin terhadap kekerasan hasil las MIG baja ST 42 serta memberikan rekomendasi pemilihan media pendingin yang tepat untuk aplikasi industri. Selanjutnya, makalah ini disusun dengan urutan pendahuluan, metode penelitian, hasil dan pembahasan, serta simpulan.

2. Tinjauan Literatur

Beberapa penelitian eksperimen mengenai pengaruh variasi media pendingin terhadap sifat mekanik hasil pengelasan MIG pada baja karbon rendah telah dilakukan sebelumnya. Penelitian-penelitian tersebut memiliki relevansi dengan penelitian yang akan dilakukan saat ini karena sama-sama membahas peningkatan sifat mekanik melalui perlakuan pendinginan setelah proses pengelasan. Penelitian tersebut di antaranya adalah:

- a. (Firman et al., 2016) Penelitian ini menganalisis pengaruh perlakuan panas terhadap kekerasan baja ST 42 dengan menggunakan variasi media pendingin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan media pendingin memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekerasan material, di mana pendinginan dengan laju lebih cepat menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan media pendingin dengan laju lebih lambat.
- b. (Darma et al., 2017) Penelitian ini mengkaji pengaruh media pendinginan terhadap sifat mekanik hasil pengelasan material ST 37. Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi media pendingin menyebabkan perbedaan nilai kekerasan dan kekuatan tarik sambungan las, sehingga media pendingin berperan penting dalam menentukan kualitas hasil pengelasan baja karbon rendah.
- c. (Ramadhan & Sugeng, 2024) Penelitian ini mengevaluasi pengaruh variasi media pendingin terhadap sifat mekanis dan struktur mikro sambungan las MIG pada plat baja SPHC-PO. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada penggunaan media pendingin oli, sedangkan media pendingin lainnya menghasilkan nilai kekerasan yang lebih rendah. Penelitian ini membuktikan bahwa pemilihan media pendingin memengaruhi sifat mekanik hasil las MIG secara signifikan.

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu tersebut, dapat disimpulkan bahwa variasi media pendingin memiliki pengaruh yang nyata terhadap kekerasan hasil pengelasan MIG. Namun, penelitian sebelumnya masih terbatas pada jenis material tertentu dan belum secara khusus membahas baja ST 42 dengan variasi media pendingin yang umum digunakan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk melengkapi penelitian terdahulu dengan mengkaji pengaruh variasi media pendingin terhadap kekerasan hasil las MIG pada material ST 42.

3. Metode

Pada bagian ini, Anda perlu menjelaskan metode yang diusulkan langkah demi langkah. Penjelasan disertai dengan persamaan dan diagram alir sebagai ilustrasi akan memudahkan pembaca memahami penelitian Anda.

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bali, yang berlokasi di Kampus Bukit Jimbaran, Jalan Kampus Bukit Jimbaran, Kuta Selatan, Kabupaten Badung, Bali 80364.

3.2. Bahan dan Alat

3.2.1. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini:

- a. Baja ST 42
- b. Media pendingin air
- c. Media pendingin air laut
- d. Media pendingin oli

3.2.2. Alat yang digunakan dalam penelitian ini:

- a. Mesin gerinda
- b. Mesin las MIG
- c. Mesin skrap
- d. Jangka sorong
- e. Mistar baja
- f. Kamera
- g. Alat bantu dan keselamatan kerja
- h. Alat uji kekerasan Vickers

3.3. Prosedur Penelitian

Adapun tahapan penelitian yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Tahap Persiapan Penelitian

- 1) Melakukan studi literatur yang berkaitan dengan pengelasan MIG, baja ST 42, media pendingin, uji kekerasan, dan struktur mikro.

- 2) Menyiapkan alat dan bahan penelitian serta melakukan pengecekan kondisi alat agar dapat digunakan dengan baik.
- 3) Menyiapkan spesimen baja ST 42 sesuai standar ukuran yang telah ditentukan.

b. Tahap Pengelasan Spesimen

- 1) Melakukan proses pengelasan pada spesimen baja ST 42 menggunakan metode MIG dengan jenis kampuh V.
- 2) Mengatur arus pengelasan sesuai variasi yang ditentukan dalam penelitian.
- 3) Menjaga kecepatan pengelasan agar perlakuan antar spesimen tetap konsisten.
- 4) Setelah proses pengelasan selesai, spesimen didiamkan selama 5–10 detik untuk menstabilkan suhu.

c. Tahap Pendinginan (Quenching)

- 1) Melakukan proses pendinginan dengan mencelupkan spesimen ke dalam media pendingin air.
- 2) Mengulangi proses pendinginan menggunakan media air laut dan oli.
- 3) Setiap spesimen hanya menggunakan satu jenis media pendingin agar hasil pengujian akurat.

d. Tahap Pengujian Kekerasan

- 1) Melakukan pengujian kekerasan pada daerah las menggunakan metode Vickers.
- 2) Mencatat nilai kekerasan hasil pengujian pada setiap spesimen.
- 3) Pengujian dilakukan secara berulang untuk memperoleh data yang konsisten dan dapat diandalkan.

e. Tahap Pengujian Struktur Mikro

- 1) Melakukan pemotongan spesimen pada daerah sambungan las.
- 2) Melakukan proses pengamplasan, pemolesan, dan etsa.
- 3) Mengamati struktur mikro menggunakan mikroskop metalografi.
- 4) Mencatat dan membandingkan struktur mikro hasil pendinginan dengan media yang berbeda.

f. Tahap Pengolahan Data

- 1) Mengolah data hasil uji kekerasan dan struktur mikro.
- 2) Menyajikan data dalam bentuk tabel dan grafik.
- 3) Melakukan analisis pengaruh variasi media pendingin terhadap kekerasan dan struktur mikro hasil las MIG baja ST 42.

3.4. Analisis Data

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi media pendingin terhadap nilai kekerasan hasil pengelasan MIG pada material baja ST 42. Media pendingin yang digunakan dalam penelitian ini meliputi air, air laut, dan oli. Analisis data difokuskan pada perbandingan nilai kekerasan yang dihasilkan oleh masing-masing media pendingin setelah proses pengelasan dan pendinginan cepat (quenching).

Pada penelitian ini, teknik analisis data yang digunakan adalah metode deskriptif kuantitatif. Analisis deskriptif kuantitatif digunakan untuk menggambarkan dan membandingkan data hasil pengujian kekerasan tanpa melakukan generalisasi terhadap populasi yang lebih luas. Data hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik agar lebih mudah dipahami dan diinterpretasikan.

Sebelum dilakukan analisis lebih lanjut, terlebih dahulu dihitung nilai kekerasan dari masing-masing spesimen hasil pengelasan MIG menggunakan metode uji Vickers. Nilai kekerasan diperoleh berdasarkan hasil pengukuran panjang diagonal bekas indentasi pada permukaan spesimen uji. Perhitungan nilai kekerasan Vickers dilakukan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{VHN} = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{L^2} = \frac{1.854 P}{L^2}$$

Keterangan:

P = Beban uji (kgf)

L = Panjang diagonal rata-rata (mm)

θ = Sudut antara permukaan intan yang berlawanan (136°)

Data hasil pengujian kekerasan untuk masing-masing variasi media pendingin (air, air laut, dan oli) disusun dalam bentuk tabel yang memuat nilai diagonal indentasi (d_1 dan d_2), diagonal rata-rata, nilai kekerasan Vickers (VHN), serta nilai rata-rata kekerasan untuk setiap

media pendingin. Penyajian data dalam bentuk tabel bertujuan untuk mempermudah proses analisis dan perbandingan nilai kekerasan antar media pendingin.

Hasil analisis data kekerasan selanjutnya digunakan untuk mengetahui media pendingin yang memberikan nilai kekerasan tertinggi dan terendah pada hasil las MIG baja ST 42, serta untuk menarik kesimpulan mengenai pengaruh variasi media pendingin terhadap sifat mekanik material berupa kekerasan.

4. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan Vickers yang telah dilakukan pada spesimen baja ST 42 hasil pengelasan MIG dengan variasi media pendingin air laut, air, dan oli, diperoleh data nilai kekerasan pada tiga daerah utama, yaitu base metal, heat affected zone (HAZ), dan weld metal. Pengujian dilakukan pada lima spesimen untuk setiap media pendingin, sehingga data yang diperoleh dapat dirata-ratakan untuk dianalisis lebih lanjut.

4.1 . Hasil Pengujian Kekerasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kekerasan pada setiap daerah las mengalami perbedaan yang cukup signifikan akibat pengaruh variasi media pendingin. Rata-rata nilai kekerasan hasil pengujian terhadap media pendingin air laut, air, dan oli disajikan pada tabel di bawah ini

Tabel 1. Rata-Rata Pengujian Spesimen Terhadap Air Laut

Percobaan	Base Metal	HAZ	Weld
1	11699,09	18920,52	14783,16
2	10250,83	16819,95	20897,85
3	15694,39	9461,22	18655,77
4	13431,60	9822,68	17581,77
5	9639,41	13161,40	16166,82
Rata-Rata	12143,06	13637,15	17617,07

Tabel 2. Rata-Rata Pengujian Spesimen Terhadap Air

Percobaan	Base Metal	HAZ	Weld
1	10642,79	11588,37	14344,40
2	15325,62	19708,79	17479,50
3	10805,90	10483,35	14652,05
4	11143,56	12060,35	13454,49
5	11091,91	10327,47	26281,18
Rata-Rata	11801,96	12833,67	17242,32

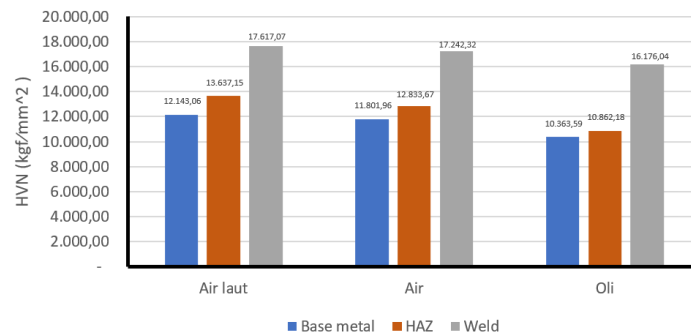
Tabel 3. Rata-Rata Pengujian Spesimen Terhadap Oli

Percobaan	Base Metal	HAZ	Weld
1	8699,57	13546,64	14144,66
2	10872,19	14021,93	14600,09
3	9314,28	9340,74	20721,50
4	12665,80	8581,61	14269,01
5	10266,09	8819,98	17144,97
Rata-Rata	10363,59	10862,18	16176,04

Berdasarkan data rata-rata, pendinginan menggunakan air laut menghasilkan nilai kekerasan tertinggi pada seluruh daerah pengujian, khususnya pada daerah weld metal. Nilai kekerasan rata-rata untuk media air laut pada daerah base metal sebesar 12.143,06 kgf/mm², pada HAZ sebesar 13.637,15 kgf/mm², dan pada daerah weld metal mencapai 17.617,07 kgf/mm². Pada spesimen yang didinginkan menggunakan air, nilai kekerasan rata-rata pada base metal sebesar 11.801,96 kgf/mm², meningkat pada daerah HAZ menjadi 12.833,67 kgf/mm², dan mencapai 17.242,32 kgf/mm² pada daerah weld metal. Nilai ini lebih rendah dibandingkan media air laut, namun masih lebih tinggi dibandingkan media oli. Sementara itu, spesimen

yang didinginkan menggunakan oli menunjukkan nilai kekerasan paling rendah dibandingkan dua media lainnya. Nilai kekerasan rata-rata pada base metal sebesar 10.363,59 kgf/mm², pada HAZ sebesar 10.862,18 kgf/mm², dan pada daerah weld metal sebesar 16.176,04 kgf/mm².

Perbandingan nilai kekerasan rata-rata ketiga media pendingin ditunjukkan pada Gambar dibawah ini, yang memperlihatkan bahwa daerah weld metal selalu memiliki nilai kekerasan tertinggi dibandingkan base metal dan HAZ untuk semua variasi media pendingin.



Gambar 2. Data Rata-rata Perbandingan Spesimen Terhadap Air Laut, Air, dan Oli

4.2. Hasil Pengujian Kekerasan

Perbedaan nilai kekerasan yang dihasilkan oleh masing-masing media pendingin menunjukkan bahwa laju pendinginan memiliki pengaruh signifikan terhadap sifat mekanik baja ST 42 hasil pengelasan MIG. Media pendingin air laut menghasilkan nilai kekerasan tertinggi karena memiliki kemampuan menyerap panas lebih cepat dibandingkan air tawar dan oli. Kandungan garam (NaCl) pada air laut meningkatkan laju perpindahan panas sehingga proses pendinginan berlangsung lebih cepat.

Pendinginan yang cepat menyebabkan terhambatnya difusi karbon dan memperbesar kemungkinan terbentuknya struktur yang lebih keras pada daerah las, khususnya di daerah weld metal. Hal ini terlihat dari tingginya nilai kekerasan pada daerah weld dibandingkan daerah HAZ dan base metal. Daerah weld mengalami proses peleburan dan pembekuan ulang, sehingga paling sensitif terhadap perubahan laju pendinginan. Media pendingin air memiliki laju pendinginan yang lebih rendah dibandingkan air laut, sehingga nilai kekerasan yang dihasilkan juga lebih rendah. Sementara itu, media pendingin oli memiliki viskositas yang tinggi dan kemampuan perpindahan panas yang lebih lambat, sehingga menghasilkan laju pendinginan paling rendah dan berdampak pada nilai kekerasan yang lebih kecil dibandingkan media lainnya.

Hasil penelitian ini menunjukkan kecenderungan yang konsisten, yaitu semakin cepat laju pendinginan, semakin tinggi nilai kekerasan yang dihasilkan, khususnya pada daerah weld metal. Temuan ini sejalan dengan prinsip dasar proses quenching, di mana pendinginan cepat akan meningkatkan sifat keras material hasil perlakuan panas. Secara keseluruhan, hasil pengujian membuktikan bahwa media pendingin air laut merupakan media pendingin paling efektif dalam meningkatkan kekerasan hasil las MIG pada baja ST 42, diikuti oleh media air dan media oli.

5. Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi media pendingin terhadap nilai kekerasan hasil las MIG pada baja ST 42. Berdasarkan hasil pengujian kekerasan Vickers, dapat disimpulkan bahwa variasi media pendingin memberikan pengaruh yang berbeda terhadap nilai kekerasan material hasil pengelasan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa media pendingin air laut menghasilkan nilai kekerasan tertinggi, diikuti oleh air, sedangkan oli menghasilkan nilai kekerasan terendah. Perbedaan ini dipengaruhi oleh laju pendinginan masing-masing media, di mana pendinginan yang lebih cepat cenderung menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi. Selain itu, daerah weld metal menunjukkan nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan daerah HAZ dan base metal pada seluruh variasi media pendingin. Temuan ini menunjukkan bahwa pemilihan media pendingin yang tepat berperan penting dalam meningkatkan sifat mekanik hasil las MIG pada baja ST 42. Penelitian ini masih terbatas pada pengujian kekerasan, sehingga penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji sifat mekanik lainnya guna memperoleh hasil yang lebih komprehensif.

Referensi

- [1] Syaripuddin, "Karakteristik hasil pengelasan oxy welding (OAW)," *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur*, vol. 4, no. 1, pp. 20–24, 2017.
- [2] Amanto, *Baja Karbon*, Bab II. 1991.
- [3] M. Firman, F. Herlina, and M. H. Martadinata, "Analisis kekerasan baja ST 42 dengan perlakuan panas menggunakan metode Taguchi," *Jurnal Teknik Mesin UNISKA*, vol. 1, no. 22, pp. 1–9, 2016.
- [4] Djuanda, Nurlela, A. Adam, and M. Syahril, "Analisis pengaruh media pendingin terhadap sambungan pengelasan baja AISI 1045 pada proses las MIG," *Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Negeri Makassar*, pp. 1–16, 2021.
- [5] P. Nugroho, Mustafa, and Sudarno, "Analisa pengaruh variasi arus pengelasan terhadap kekuatan tarik dan kekerasan pada material baja karbon rendah ST 42," in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan*, 2019, pp. 477–482.
- [6] N. H. Sari, "Perlakuan panas pada baja karbon: Efek media pendinginan terhadap sifat mekanik dan struktur mikro," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 6, no. 4, p. 263, 2017, doi: 10.22441/jtm.v6i4.2091.
- [7] D. Imawan, "Pengaruh variasi pendinginan pada proses quenching terhadap nilai kekerasan dan ketangguhan hasil pengecoran aluminium limbah piston," 2017.
- [8] U. Ramadhan and M. Sugeng, "Analisis pengaruh variasi media pendingin terhadap sifat mekanis sambungan las MIG GMAW plat baja SPHC-PO," *Jurnal*, vol. 6, pp. 904–912, Mar. 2024, doi: 10.5281/zenodo.10656939.
- [9] K. B. S. Darma, G. Widayana, and I. N. P. Nugraha, "Pengaruh media pendinginan terhadap sifat mekanik hasil pengelasan material ST 37," *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, vol. 5, no. 1, 2017.
- [10] M. Taufiq, W. Wartono, and D. Sugati, "Pengaruh preheat terhadap kekuatan tarik dan kekerasan Vickers sambungan MIG pada baja karbon rendah," *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, vol. 15, no. 1, 2020.
[Online]. Available: <https://www.jurnal.bkstm.org/index.php/jtmi/article/view/151>
- [11] M. Syaifudin and W. Soedarmadji, "Pengaruh arus pengelasan GMAW pada plat baja ST42 terhadap uji kekerasan dan mikrostruktur," *Jurnal Teknik Mesin Cakram*, vol. 6, no. 2, 2023.
[Online]. Available: <https://openjournal.unpam.ac.id/index.php/JTC/article/view/40071>
- [12] H. Kadir, R. Riswanda, A. S. Alfauzi, and B. Sumiyarso, "Pengaruh kondisi parameter pengelasan MAG terhadap kekerasan daerah HAZ," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 16, no. 3, pp. 457–466, Dec. 2021, doi: 10.32497/jrm.v16i3.3080.
- [13] I. R. Fariski, H. Hanif, and A. Al Fathier, "Analisa variasi arus pengelasan SMAW terhadap sifat mekanik baja ST42," *Jurnal Mesin Sains Terapan*, vol. 8, no. 1, Mar. 2024. [Online]. Available: <https://e-jurnal.pnl.ac.id/mesinsainsterapan/article/view/5075>
- [14] A. S. Nugroho, A. R. Pratama, and D. S. Putra, "Pengaruh proses quenching media air dengan variasi temperatur terhadap kekerasan las MIG baja Keylos 50," *Jurnal Teknik Mesin (JTM) UNESA*, 2022. [Online]. Available: <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jtm-unesa/article/view/48898/40717>
- [15] A. A. Pratama and S. Wahyudi, "Pengaruh variasi arus MIG welding terhadap kekerasan dan struktur mikro baja ST37," *ROTOR: Jurnal Teknik Mesin, Universitas Jember*, 2021.
[Online]. Available: <https://rotor.jurnal.unej.ac.id/index.php/RTR/article/view/53688>
- [16] R. A. Putra, M. H. Alim, and A. Setiawan, "Pengaruh quenching media terhadap kekerasan dan struktur mikro sambungan las baja SPHC (MAG welding)," *Jurnal Mesin Nusantara*, 2023.
[Online]. Available: <https://ojs.unpkediri.ac.id/index.php/JMN/article/download/25241/4982/69353>