

Pengaruh Media Pendingin Pasca Pengelasan MAG terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Baja SPHC (Effect of MAG Post-Welding Coolant on the Hardness and Microstructure of SPHC Steel)

Arnes Budi Kristanto¹⁾, Prantasi Harmi Tjahjanti^{2)*}, Edi Widodo³⁾, Metatia Intan Mauliana⁴⁾.

^{1,2,3,4)} Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

E-mail: ¹⁾arnesbk30@gmail.com, ²⁾prantasiharmi@umsida.ac.id, ³⁾ediwido@umsida.ac.id,

⁴⁾metatiaintan@umsida.ac.id

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah untuk melihat bagaimana media pendingin pasca pengelasan MAG mempengaruhi kekerasan dan struktur mikro baja SPHC (Plate Steel Hot Rolled Coiled). Pengelasan dilakukan menggunakan metode Metal Active Gas (MAG) dengan media pendingin air, oli, dan udara. Untuk menguji kekerasan, metode Rockwell skala B (HRB) digunakan. Di sisi lain, mikrostruktur diamati pada daerah weld metal, zona panas yang terpengaruh (HAZ), dan base metal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, jika dibandingkan dengan media pendingin oli dan udara, media pendingin air menghasilkan kekerasan tertinggi. Kekerasan diperoleh pada weld metal sebesar 74,99 HRB, area HAZ sebesar 90,12 HRB, dan base metal sebesar 81,39 HRB. Pengamatan mikrostruktur menunjukkan fraksi perlit tertinggi pada media pendingin air, sebesar 75% pada area HAZ dan 69% pada base metal, sementara fraksi ferit turun. Secara keseluruhan, perubahan sifat mekanik dan struktur mikro baja SPHC sangat dipengaruhi oleh variasi media pendingin dan lokasi daerah pengelasan.

Kata Kunci: HAZ, kekerasan, media pendingin, pengelasan MAG, SPHC.

Abstract

The purpose of this study was to observe how the post-welding cooling medium MAG affects the hardness and microstructure of SPHC (Plate Steel Hot Rolled Coiled) steel. Welding was carried out using the Metal Active Gas (MAG) method with water, oil, and air cooling media. To test the hardness, the Rockwell scale B (HRB) method was used. On the other hand, the microstructure was observed in the weld metal, heat affected zone (HAZ), and base metal. The results showed that, when compared with oil and air cooling media, water cooling media produced the highest hardness. The hardness obtained in the weld metal was 74.99 HRB, the HAZ area was 90.12 HRB, and the base metal was 81.39 HRB. Microstructural observations showed the highest pearlite fraction in the water cooling media, at 75% in the HAZ area and 69% in the base metal, while the ferrite fraction decreased. Overall, changes in the mechanical properties and microstructure of SPHC steel were greatly influenced by variations in cooling media and the location of the welding area.

Keyword : HAZ, hardness, cooling medium, MAG welding, SPHC.

1. PENDAHULUAN

Salah satu cara penyambungan logam yang paling umum digunakan dalam industri manufaktur dan konstruksi adalah proses pengelasan. Sifat mekanik dan struktur mikro material dapat berubah sebagai akibat dari siklus termal yang kompleks yang dialami oleh material selama proses pengelasan, terutama di daerah logam las dan *Heat Affected Zone* (HAZ). Laju pendinginan pasca pengelasan, yang ditentukan oleh jenis media pendingin yang digunakan, adalah salah satu komponen penting yang mempengaruhi perubahan tersebut

Studi sebelumnya telah membahas bagaimana sifat mekanik dan struktur mikro material yang dihasilkan dari pengelasan dipengaruhi oleh panas dan media pendingin. Syaiful Anwar dan Mulyadi (2024) melakukan penelitian tentang pengaruh panas pengelasan terhadap kekerasan dan struktur mikro pada material yang dilas menggunakan metode SMAW [1]. Penelitian lain oleh Umar Ramadhan dan Sugeng (2024) melihat bagaimana perbedaan media pendingin berdampak pada sifat mekanik dan struktur mikro sambungan MIG/GMAW pada pelat baja SPHC [2]. Akhyar et al. menunjukkan bahwa media pendingin memengaruhi distribusi kekerasan pada sambungan baja A36 hasil pengelasan MAG [3]. Rodrigues & Loureiro menjelaskan bahwa laju pendinginan yang lebih cepat cenderung menghasilkan peningkatan kekerasan dan perubahan mikrostruktur pada baja austenitic [4]. Zuldesmi Mansjur & Suharto (2024) juga melaporkan variasi media pendingin pasca PWHT memengaruhi karakteristik mekanik dan struktur mikro baja karbon hasil sambungan las SMAW [5]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan media pendingin memiliki dampak yang signifikan terhadap perubahan kekerasan dan struktur mikro[6].

Baja karbon rendah yang didefinisikan dalam standar JIS G 3131 dengan nama SPHC (*Steel Plate Hot Rolled Coiled*), memiliki kandungan karbon di bawah 0,3% dan memiliki sifat keuletan dan ketangguhan yang luar biasa, sehingga banyak digunakan sebagai bahan baku untuk komponen mobil, konstruksi, dan bagian tambahan alat berat. Namun, proses manufaktur tambahan, seperti pengelasan dan perlakuan panas pasca pengelasan, sangat memengaruhi sifat mekanik material SPHC[6].

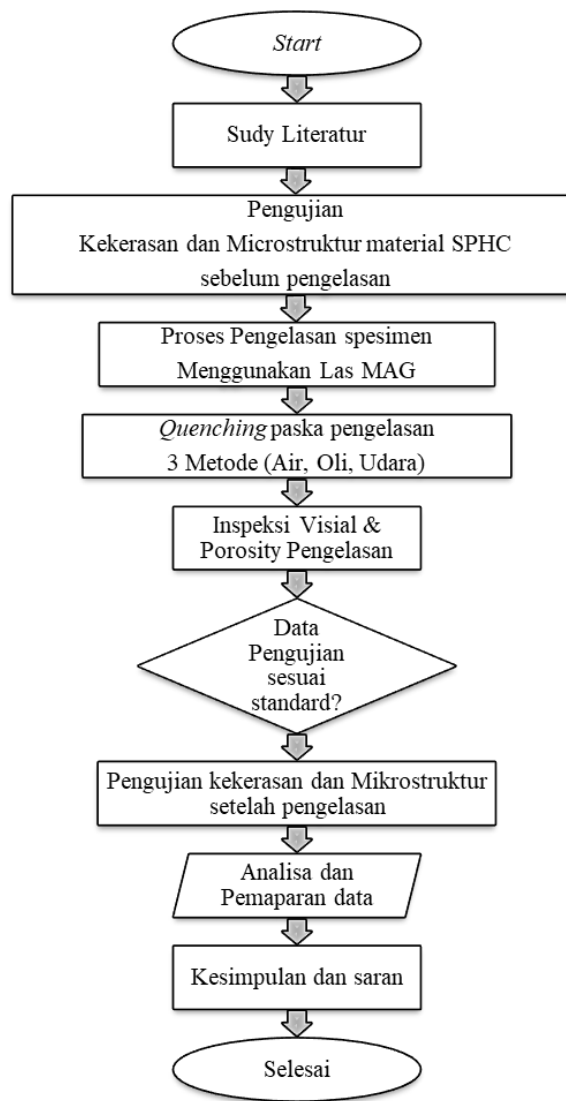
Proses quenching, yaitu pendinginan cepat dari temperatur tinggi menggunakan media tertentu seperti air, oli, atau udara, adalah salah satu metode perlakuan panas pasca pengelasan [7][8]. Laju pendinginan bervariasi karena perbedaan sifat fisik media pendingin, seperti densitas dan viskositas. Laju pendinginan yang lebih cepat biasanya menghasilkan struktur mikro yang lebih keras, terutama fraksi ferit dan perlit [9][10].

Penelitian ini bertujuan untuk melihat bagaimana variasi media pendingin pasca pengelasan MAG berdampak pada kekerasan dan struktur mikro baja SPHC karena penelitian sebelumnya hanya membahas beberapa penelitian yang secara khusus membahas efek media pendingin pasca pengelasan MAG terhadap distribusi kekerasan dan struktur mikro pada material SPHC dengan mempertimbangkan berbagai daerah pengelasan, seperti logam las, HAZ, dan base metal.

Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efek media pendingin pasca pengelasan MAG terhadap kekerasan dan struktur mikro baja SPHC. Selain itu, penelitian ini juga akan melihat perubahan sifat material pada daerah logam las, HAZ, dan base metal.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dengan studi literatur tentang pengelasan baja karbon rendah, perlakuan panas pasca pengelasan, dan pengaruh media pendingin terhadap sifat mekanik dan struktur mikro material, penelitian ini dilakukan untuk membuat dasar teori dan menentukan parameter penelitian.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

a. Bahan dan alat penelitian

Baja karbon rendah SPHC (*Steel Plate Hot Rolled Coiled*), yang mengacu pada standar JIS G 3131 dengan ketebalan 4,5 mm, digunakan dalam penelitian ini. Baja SPHC biasanya digunakan sebagai bahan baku untuk komponen industri dan memiliki kandungan karbon maksimum 0,15%. Untuk melakukan pengelasan, metode *Metal Active Gas* (MAG) menggunakan gas pelindung CO₂ digunakan. Peralatan utama yang digunakan untuk proses ini termasuk mesin las MAG, kawat las, mesin pemotong

(*cutting*), mesin *mounting*, *grinding*, dan *polishing*. Pada proses *quenching* pasca pengelasan, air, oli, dan udara digunakan sebagai media pendingin. Uji kekerasan dilakukan menggunakan mesin uji *Rockwell* dengan skala B (HRB), dan pengamatan mikrostruktur dilakukan menggunakan mikroskop optik Olympus BX51M dengan perbesaran 500 $\times$.

b. Langkah-langkah untuk Pengelasan dan Pendinginan

Untuk menyambungkan dua pelat baja SPHC, proses pengelasan MAG menggunakan kampuh V dilakukan. Setelah selesai, spesimen didinginkan menggunakan metode *quenching* isothermal menggunakan tiga jenis media pendingin, yaitu:

- 1) Air dengan waktu pendinginan 5 menit
- 2) Oli dengan waktu pendinginan 10 menit
- 3) Udara dengan waktu pendinginan 20 menit

Perbedaan waktu pendinginan disesuaikan dengan fitur masing-masing media untuk mencapai laju pendinginan yang berbeda.

c. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode *Rockwell* skala B (HRB). Pengujian dilakukan pada tiga daerah hasil pengelasan, yaitu *weld metal*, *Heat Affected Zone* (HAZ), dan *base metal*. Nilai kekerasan diperoleh dari hasil rata-rata pengujian pada setiap daerah dan setiap variasi media pendingin.

d. Pengujian Mikrostruktur

Pengujian mikrostruktur dilakukan untuk mengamati perubahan struktur mikro material akibat proses pengelasan dan pendinginan. Spesimen dipersiapkan melalui proses pemotongan, *mounting*, *grinding*, dan *polishing*, kemudian dilakukan etsa menggunakan larutan nital. Pengamatan mikrostruktur dilakukan pada daerah *weld metal*, *HAZ*, dan *base metal* untuk mengidentifikasi perubahan fraksi ferit dan perlit pada masing-masing media pendingin.

3. HASIL PEMBAHASAN

a. Uji kekerasan dan Mikrostruktur sebelum proses pengelasan

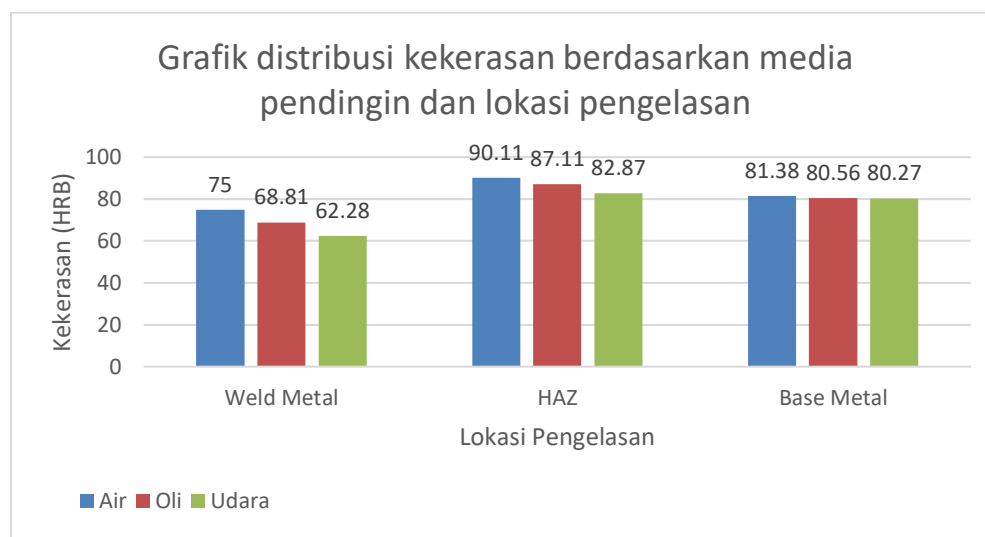
Hasil pengujian kekerasan material SPHC sebelum proses pengelasan menunjukkan nilai kekerasan rata-rata HRB 80,99. Nilai ini sesuai dengan sifat baja karbon yang rendah yang memiliki sifat keuletan dan ketangguhan yang baik, sehingga biasanya digunakan untuk aplikasi struktural ringan. Pengamatan mikrostruktur material SPHC sebelum pengelasan menunjukkan bahwa struktur dominan terdiri dari ferit dan perlit, dengan komposisi 55% ferit dan 45% perlit. Struktur ini adalah ciri khas baja karbon rendah yang dibuat melalui proses canai panas, yang memberikan keseimbangan antara kekuatan dan keuletan.

b. Prosedur Pengelasan Bahan SPHC

Metode *Metal Active Gas* (MAG) digunakan untuk menyambungkan bahan uji. Parameter pengelasan arus 110 A dan tegangan 20 V digunakan untuk memastikan penetrasi las yang stabil dan mengurangi cacat las pada material SPHC.

c. Pengaturan Pendinginan Setelah Pengelasan

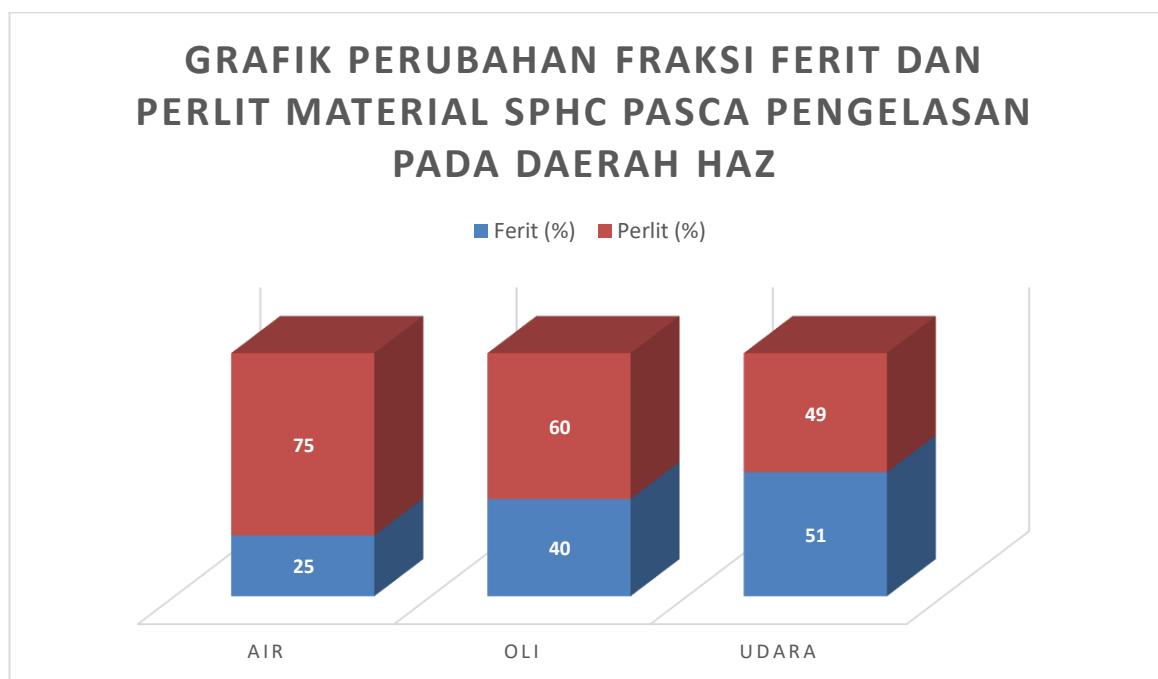
Setelah pengelasan, spesimen dipanaskan secara isothermal menggunakan tiga media pendinginan: air, oli, dan udara. Gambar 3.x menunjukkan distribusi nilai kekerasan pada daerah *weld metal*, *HAZ*, dan *base metal* untuk setiap variasi media pendingin.



Gambar 2. Grafik distribusi kekerasan berdasarkan media pendingin

d. Hasil Uji Kekerasan Paska Pengelasan

Hasil pengujian kekerasan paska pengelasan menunjukkan bahwa media pendingin memengaruhi nilai kekerasan material SPHC secara signifikan, terutama pada daerah yang terkena panas (HAZ)[11][12]. Media pendingin air memiliki nilai kekerasan tertinggi, terutama pada daerah HAZ dengan HRB 91,33. Media pendingin oli dan udara memiliki nilai kekerasan yang lebih rendah. Dalam kebanyakan kasus, distribusi kekerasan pada seluruh sampel menunjukkan pola berikut: HAZ > Metal Base > Weld Metal.



Gambar 3. Grafik perubahan fraksi ferit dan perlit material SPHC paska pengelasan pada daerah HAZ

Karena siklus termal yang tinggi selama pengelasan tanpa pencairan, wilayah HAZ mengalami kekerasan tertinggi. Pendinginan cepat, terutama pada media air, menghasilkan pembentukan struktur mikro yang lebih halus, yang meningkatkan kekerasan. Sebaliknya, kekerasan *weld metal* lebih rendah daripada *base metal* dan *HAZ*. Hal ini disebabkan oleh proses pencairan dan pembekuan ulang logam las yang menghasilkan struktur butir lebih kasar serta pengaruh logam pengisi.

e. Hasil Uji Mikrostruktur Paska Pengelasan

Hasil pengamatan mikrostruktur pasca pengelasan menunjukkan bahwa komposisi ferit dan perlit pada ketiga media pendingin yang digunakan mengalami perubahan yang signifikan. Media pendinginan air mengalami perubahan mikrostruktur yang paling signifikan, terutama di daerah HAZ; fraksi perlit meningkat hingga 75% dan fraksi ferit menurun. Peningkatan fraksi perlit ini dikaitkan dengan nilai kekerasan yang lebih tinggi karena laju pendinginan yang cepat.



Gambar 4. Hasil uji mikrostruktur media pendingin oli setelah pengelasan

Pada media pendingin oli, peningkatan perlit masih terjadi namun tidak sebesar pada media air. Sementara itu, media pendingin udara menghasilkan perubahan mikrostruktur yang paling kecil, karena laju pendinginan yang lebih lambat memungkinkan terbentuknya struktur yang lebih mendekati kondisi awal material [13], [14]. Hasil pengamatan di daerah *weld metal* menunjukkan dominasi struktur perlit

dengan persentase yang berbeda pada setiap media pendingin. *Weld metal* dengan media udara memiliki fraksi ferit tertinggi, sedangkan *weld metal* dengan media air dan oli memiliki fraksi perlit yang lebih tinggi karena pendinginan yang lebih cepat.

f. Efek Media Pendingin terhadap Kekerasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa, dibandingkan dengan media oli dan udara, media pendingin air menghasilkan kekerasan tertinggi. Ini disebabkan oleh laju pendinginan yang cepat pada media air, yang mempercepat transformasi fasa dan memperhalus struktur mikro, terutama di daerah HAZ [15][16].

Dibandingkan dengan *weld metal* dan *base metal*, daerah HAZ memiliki kekerasan yang paling tinggi. Ini disebabkan oleh pemanasan daerah HAZ tanpa pencairan hingga suhu ekstrim, yang menghasilkan struktur mikro yang lebih keras. Karakteristik mikrostruktur dan sifat mekanik material SPHC paska pengelasan paling banyak dipengaruhi oleh variasi media pendingin. Hal ini menunjukkan bahwa variasi media pendingin memengaruhi karakteristik mikrostruktur, termasuk peningkatan fraksi perlit dan penurunan ferit [17].

4. KESIMPULAN DAN SARAN

a. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan diskusi tentang bagaimana media pendingin paska pengelasan memengaruhi kekerasan dan mikrostruktur material SPHC (Plate Baja Panas Tumbuk) dapat diambil kesimpulan berikut:

- 1) Setelah pengelasan, nilai kekerasan material SPHC dipengaruhi secara signifikan oleh media pendingin. Media pendingin air memiliki nilai kekerasan tertinggi dibandingkan dengan media oli dan udara, dengan HRB 91,33 yang paling tinggi.
- 2) Distribusi kekerasan material dipengaruhi oleh lokasi siklus termal pengelasan. Akibat pemanasan tinggi tanpa pencairan dan laju pendinginan cepat, daerah HAZ memiliki kekerasan tertinggi.
- 3) Perubahan mikrostruktur material SPHC juga dipengaruhi oleh media pendingin. Pendinginan menggunakan media air menghasilkan perubahan mikrostruktur yang paling signifikan, dengan peningkatan fraksi perlit hingga 75% pada daerah HAZ

dan 69% pada base metal. Perubahan mikrostruktur yang dihasilkan oleh media oli dan udara lebih rendah.

- 4) Perubahan mikrostruktur berkorelasi dengan peningkatan kekerasan. Jumlah fraksi perlit yang terbentuk meningkat seiring dengan kecepatan pendinginan, yang berkontribusi pada peningkatan nilai kekerasan material setelah pengelasan.
- 5) Berdasarkan standar kekerasan baja karbon rendah, nilai kekerasan maksimum yang ditemukan dalam penelitian ini masih dianggap relatif rendah untuk aplikasi yang membutuhkan kekuatan dan kekerasan tinggi. Akibatnya, material SPHC paska pengelasan dengan berbagai variasi media pendingin ini lebih cocok untuk aplikasi struktural ringan yang membutuhkan keuletan daripada aplikasi yang membutuhkan kekerasan tinggi.

B. Saran

Berdasarkan temuan penelitian, beberapa rekomendasi berikut dapat digunakan untuk melanjutkan penelitian:

1. Untuk mengetahui lebih lanjut tentang pengaruh kombinasi parameter pengelasan terhadap kekerasan dan mikrostruktur material SPHC, penelitian selanjutnya harus memasukkan variabel pengelasan seperti arus, tegangan, dan kecepatan.
2. Agar sifat mekanik material SPHC setelah pengelasan dapat diperiksa secara menyeluruh, pengujian sifat mekanik seperti uji tarik dan uji impak diperlukan.
3. Untuk menilai dampak laju pendinginan yang lebih luas terhadap perubahan mikrostruktur dan kekerasan material, penelitian lanjutan dapat mempertimbangkan variasi media pendinginan lainnya atau kombinasi pendinginan bertahap.
4. Untuk memperoleh hasil yang lebih akurat, disarankan untuk menggunakan analisis mikrostruktur yang lebih kompleks, seperti pengujian dengan SEM atau analisis ukuran butir untuk menyelidiki hubungan antara peningkatan kekerasan material paska pengelasan dan ukuran butir.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Anwar and M. Mulyadi, “Pengaruh Media Pendingin terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Hasil Pengelasan SMAW Pasca Daur Mitsubishi PS 120,” *Innov. Technol. Methodical Res. J.*, vol. 3, no. 2, pp. 1–11, 2024, doi: <https://doi.org/10.47134/innovative.v3i2.103>.
- [2] U. Ramadhan and M. Sugeng, “Analisis Pengaruh Variasi Media Pendingin Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Sambungan Las Mig Gmaw Plat Baja SPHC-PO,” *J. Ilmiah Wahana Pendidik.*, vol. 10, no. 6, pp. 904–912, 2024.
- [3] A. Tamlicha *et al.*, “Evaluation of Welding Distortion and Hardness in the A36 Steel Plate Joints Using Different Cooling Media,” *Sustainability*, vol. 14, pp. 1–20, 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/su14031405>.
- [4] A. Rodrigues and A. Loureiro, “Effect of Cooling Rate on the Microstructure and Hardness of Austenitic Stainless Steel Welds,” *Mater. Sci. Forum*, vol. 455–456, pp. 312–316, 2004, doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.455-456.312.
- [5] Z. Mansjur and M. F. Suharto, “Pengaruh Media Pendingin Post – Weld Heat Treatment (PWHT) Terhadap Karakteristik Mekanik Dan Struktur Mikro Baja Karbon Hasil Pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW),” vol. 7, no. 1, pp. 126–137, 2024.
- [6] X. Wang, Y. Wang, J. Xu, J. Sun, Y. Wang, and G. Xie, “Effects of Cooling Media on Microstructure and Mechanical Properties in Friction Stir Welded SA516 Gr.70 Cryogenic Steel Joints,” *Materials (Basel)*, vol. 17, 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/ma17184661>.
- [7] B. H. Priyambodo, R. Laili, R. I. Yaqin, and Suhartoyo, “Effect of cooling media on hardness and microstructural changes in S45C carbon steel during heat treatment process,” *J. Polimesin*, vol. 21, no. 3, pp. 346–350, 2023.
- [8] D. Setyawan, F. Rhohman, and A. Mufarrih, “Pengaruh proses perlakuan panas terhadap penggunaan media pendingin terhadap kekuatan tarik material ST-41,” vol. 1, no. 1, pp. 10–18, 2018.
- [9] Rachmadani, Suharno, and H. Saputro, “PENGARUH MEDIA PENDINGIN PADA PENGELASAN BAJA S45C MENGGUNAKAN METODE PENGELASAN GAS METAL ARC WELDING TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO,” *NOZEL J. Pendidik. Tek. Mesin*, vol. 02, no. 1, pp. 11–26, 2020.
- [10] Y. P. Damayanti, Mulyadi, and Djuhana, “Analisa Pengaruh Variasi Arus Pengelasan Smaw Material Baja SS 316 L Terhadap Kekerasan Rockwell,” *J. Tech. Eng. Pist.*, vol. 3, no. 1, pp. 35–42, 2019.

- [11] A. A. Firjatulloh and M. A. Irfa'i, "PENGARUH MEDIA PENDINGIN PADA PENGELASAN METAL INERT GAS (MIG) BAJA SS400 TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN STRUKTUR MIKRO," *J. Tek. Mesin*, vol. 14, no. 1, 2025.
- [12] K. Wakchaure, R. Chaudhari, A. Thakur, K. Fuse, L. N. L. de Lacalle, and J. Vora, "The Effect of Cooling Temperature on Microstructure and Mechanical Properties of Al 6061-T6 Aluminum Alloy during Submerged Friction Stir Welding," *Metals (Basel)*, vol. 13, 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/met13071159>.
- [13] B. H. Saputro and N. S. Drastiawati, "PENGARUH VARIASI MEDIA PENDINGIN PADA PROSES PENGELASAN SMAW UNTUK MATERIAL BAJA ASTM A36 TERHADAP KEKUATAN TARIK , KEKERASAN , STRUKTUR MIKRO," *J. Tek. Mesin*, vol. 12, no. 1, 2023.
- [14] A. F. Arrochman and A. H. A. Rasyid, "PENGARUH VARIASI MEDIA PENDINGIN SETELAH PWHT PENGELASAN SMAW BAJA ST37 TERHADAP KETANGGUHAN DAN STRUKTUR MIKRO," *J. Tek. Mesin*, vol. 13, no. 2, 2024.
- [15] C. Pandey, N. Saini, J. G. Thakre, M. M. Mahapatra, and P. Kumar, "ScienceDirect Effect of cooling medium on microstructure evolution and tensile properties of creep-strength-enhanced ferritic steel," *Sci. Technol. of Materials*, vol. 30, pp. 86–91, 2018.
- [16] R. Purbadilaga, Firdaus, and D. Suryana, "PENGARUH MEDIA PENDINGIN KADAR AIR GARAM TERHADAP KEKERASAN PADA HASIL PENGELASAN SMAW BAJA KARBON RENDAH," *Mach. J. Teknol. Terap.*, vol. 3, no. 3, pp. 105–111, 2022, doi: <http://doi.org/10.5281/zenodo.7247133>.
- [17] F. Stir, W. Sa, and G. Cryogenic, "Effects of Cooling Media on Microstructure and Mechanical Properties in Friction Stir Welded SA516 Gr.70 Cryogenic Steel Joints," *Materials (Basel)*, vol. 17, 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/ma17184661>.