

PENGARUH MEDIA PENDINGIN PADA PENGELASAN METAL INERT GAS (MIG) BAJA SS400 TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN STRUKTUR MIKRO

Ariq Abid Firjatulloh

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: ariqabid.21049@mhs.unesa.ac.id

Mochamad Arif Irfa'i

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: arifirfai@unesa.ac.id

Abstrak

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam industri manufaktur mendorong peningkatan kualitas dan daya tahan produk melalui penggunaan material dengan kekuatan dan ketangguhan tinggi. Salah satu metode penyambungan logam yang banyak digunakan dalam industri adalah pengelasan Metal Inert Gas (MIG), khususnya pada baja SS400 yang dikenal memiliki sifat mekanik yang baik dan kemudahan dalam pengelasan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi media pendingin terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro pada hasil pengelasan baja SS400. Tiga jenis media pendingin yang digunakan dalam penelitian ini adalah air tawar, air garam, dan Power Coolant Top 1, yang masing-masing memiliki viskositas serupa namun perbedaan komposisi kimia yang signifikan. Proses pengujian melibatkan uji tarik dan analisis mikrostruktur pada masing-masing spesimen setelah dilakukan pengelasan dan pendinginan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa media pendingin memberikan pengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik dan pembentukan struktur mikro. Tegangan tarik tertinggi diperoleh pada spesimen yang didinginkan dengan Power Coolant Top 1 sebesar 401 N/mm², diikuti oleh air garam sebesar 395 N/mm², dan air tawar sebesar 342 N/mm². Uji statistik ANOVA One Way mengonfirmasi adanya perbedaan signifikan antara ketiga media tersebut. Dari segi mikrostruktur, Power Coolant Top 1 menghasilkan kombinasi struktur ferrit, perlit, dan bainit yang lebih stabil, sedangkan air tawar dan air garam menunjukkan dominasi fasa martensit yang meningkatkan kekerasan namun menurunkan ketangguhan. Penelitian ini mengindikasikan bahwa pemilihan media pendingin berperan penting dalam menghasilkan kualitas las yang optimal, dan penggunaan Power Coolant Top 1 dapat menjadi solusi yang efektif untuk mempertahankan mutu sambungan las dalam kondisi produksi industri yang menuntut efisiensi dan kualitas tinggi.

Kata Kunci: Pengelasan MIG, Media Pendingin, Uji Tarik, Struktur Mikro

Abstract

The advancement of science and technology in the manufacturing industry has driven improvements in product quality and durability through the use of materials with high strength and toughness. One of the widely used metal joining methods in the industry is Metal Inert Gas (MIG) welding, particularly for SS400 steel, which is known for its favorable mechanical properties and ease of welding. This study aims to evaluate the effect of different cooling media on the tensile strength and microstructure of MIG-welded SS400 steel. Three types of cooling media were used: freshwater, saltwater, and Power Coolant Top 1, each having similar viscosity but significantly different chemical compositions. The experimental procedures included tensile testing and microstructure analysis on each specimen after welding and cooling processes. The results indicate that the choice of cooling medium significantly affects the tensile strength and microstructural formation. The highest tensile strength was recorded in specimens cooled with Power Coolant Top 1 at 401 N/mm², followed by saltwater at 395 N/mm², and freshwater at 342 N/mm². Statistical analysis using one-way ANOVA confirmed significant differences among the three cooling media. In terms of microstructure, Power Coolant Top 1 produced a more stable combination of ferrite, pearlite, and bainite, while freshwater and saltwater showed a predominance of martensite phase, which increases hardness but reduces toughness. This study suggests that the selection of cooling media plays a critical role in achieving optimal weld quality, and that Power Coolant Top 1 offers an effective solution.

Keywords: MIG Welding, Cooling Media, Tensile Test, Microstructure

PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK) dalam industri manufaktur terus menghadirkan inovasi baru untuk memenuhi kebutuhan konsumen akan produk berkualitas tinggi dan tahan lama. Salah satu aspek penting dalam proses manufaktur adalah pemilihan material dengan kekuatan dan ketangguhan tinggi. Tingginya permintaan pasar memaksa perusahaan untuk tetap menjaga kualitas meskipun berada di bawah tekanan waktu produksi yang ketat.

Berdasarkan definisi dari Duetch Industrie Normen (DIN) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat dijabarkan lebih lanjut bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas (Wiryosumarto, 2000).

Proses pengelasan memicu perubahan fasa logam karena pencairan dan pembekuan yang cepat. Hal ini berdampak pada struktur mikro logam, baik pada daerah las (weld metal) maupun zona yang terkena panas (Heat Affected Zone/HAZ). Dalam proses ini gas pelindung yang berupa gas akan melindungi las dari udara luar hingga terbentuk suatu sambungan yang tetap (Novianto, 2018). Sebagai contoh, baja karbon tinggi yang awalnya memiliki struktur pearlite dapat berubah menjadi bainite dan martensite setelah pengelasan, yang memengaruhi sifat mekaniknya, seperti kekerasan dan ketangguhan. Perubahan ini juga dapat menyebabkan keretakan jika tidak dikendalikan dengan baik.

Selain itu, efek pemuatan saat pemanasan dan penyusutan saat pendinginan dapat menimbulkan distorsi pada sambungan las. Oleh karena itu, media pendingin berperan penting dalam mengontrol laju pendinginan dan meminimalkan cacat pada sambungan. Media pendingin dengan tingkat kerapatan yang berbeda akan memberikan efek pendinginan yang berbeda pula, mempengaruhi pembentukan struktur martensite yang lebih keras, terutama jika kandungan karbon cukup tinggi.

Penelitian ini berfokus pada pengelasan baja SS400, baja karbon rendah yang umum digunakan dalam industri konstruksi dan manufaktur. Dengan kekuatan tarik minimum 400 MPa dan kandungan karbon sekitar 0,17%, baja ini memiliki kemampuan pengelasan yang baik, sehingga cocok untuk berbagai aplikasi struktural seperti jembatan, kapal, dan kendaraan.

Dalam rangka menjaga efisiensi dan kualitas produksi saat permintaan tinggi, penelitian ini mengeksplorasi penggunaan tiga jenis media pendingin setelah pengelasan yaitu Air tawar, air garam, dan Power Coolant Top 1. Power Coolant Top 1 mengandung air murni, etilen glikol, dan anti-karat, air garam mengandung mineral seperti yodium dan kalsium, sedangkan air tawar

memiliki sifat dasar tanpa tambahan zat aktif.

Menurut Syaifullah dkk (2021) Terdapat pengaruh setiap kenaikan % pada garam dalam media pendingin terhadap nilai kekerasan pada proses pengelasan baja St 60. Dimana semakin besar % garam dalam media pendingin, maka semakin tinggi pula nilai kekerasannya. Menurut Surdja dan Saito (1999: 82), kekerasan baja setelah dicelup dingin meningkat hampir berbanding lurus dengan kadar karbon sampai 0,6 % selanjutnya peningkatan gradient lebih kecil kalau kadar karbon meningkat.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana ketiga media ini mempengaruhi kekuatan tarik hasil pengelasan. Perbedaan tingkat laju pendinginan diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai struktur mikro yang terbentuk dan dampaknya terhadap sifat mekanik sambungan las. Selain untuk menjaga kualitas sambungan, penggunaan media pendingin yang tepat juga berkontribusi dalam efisiensi waktu dan biaya produksi.

Hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan rekomendasi praktis bagi industri dalam memilih media pendingin yang optimal untuk pengelasan baja SS400, sehingga proses produksi dapat berjalan lebih efektif tanpa mengorbankan kualitas. Selain itu, penelitian ini dapat memperluas wawasan dalam optimasi parameter pengelasan, khususnya dalam konteks pemilihan media pendingin berbasis sifat titik didih dan komposisi kimianya.

METODE

Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yang dilaksanakan di laboratorium untuk mengkaji pengaruh variasi media pendingin terhadap uji kekuatan tarik dan struktur mikro baja SS400.

Tempat dan Waktu Penelitian

• Tempat Penelitian

Penelitian dengan judul "Pengaruh Variasi Media Pendingin Pada Proses Pengelasan Metal Inert Gas (Mig) Pada Baja SS400 Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro" ini dilakukan di Politeknik Negeri Malang.

• Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Februari sampai April 2025 di Politeknik Negeri Malang.

Variabel Penelitian

Pada penelitian ini terdapat beberapa variabel sebagai berikut:

• Variabel Independen (Bebas)

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi media pendingin (*power coolant top 1*, air tawar, dan air garam.

Pengaruh Media Pendingin Pada Pengelasan *Metal Inert Gas* (Mig) Baja SS400 Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro

• Variabel Dependen (Terikat)

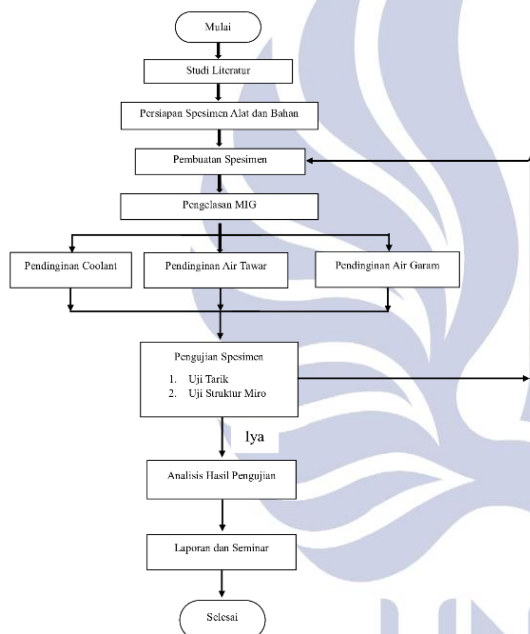
Variabel terikat ini adalah perbandingan nilai kekuatan tarik dan struktur mikro.

• Variabel Kontrol

Variabel kontrol dalam penelitian ini yaitu

- 1) Jenis material Baja SS400 dengan tebal 5 mm,
- 2) Jenis kawat yang digunakan adalah kawat elektroda ER70S-6,
- 3) Alat uji tarik
- 4) Proses pengelasan MIG dengan posisi 1G
- 5) Welder yang bersertifikasi
- 6) Waktu yang digunakan 10 menit selama pendinginan.
- 7) Mikroskop Metalografi
- 8) Pewarna Metalografi
- 9) Mikroskop Elektron

Diagram Alir



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Alat, Bahan, dan Instrumen Penelitian

Alat

- Mesin Las GMAW
- Jangka Sorong
- Kikir
- Bevel

Bahan

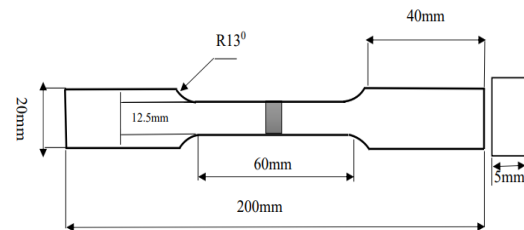
- Baja SS400
- Cairan Etsa Nital

Instrumen Penelitian

- Mesin Uji MTS Exceed E64
- Mikroskop Optik

Pembuatan Spesimen

Pembentukan Spesimen Setelah proses pengelasan dan quenching selesai dilanjutkan dengan pembuatan spesimen tes sesuai dengan standart ASTM E8 untuk pengujian Tarik. Potong bahan sesuai dimensi 200mm x 20mm x 5mm dan diampelas. Pembuatan kampuh V, pembentukan sudut 60° dengan kedalaman sudut 4mm. Desain spesimen sesuai standar ASTM E-8 dapat dilihat pada gambar



Gambar 2. Desain Spesimen Uji Tarik

Proses Pengelasan

- a. Menyiapkan spesimen uji yang akan dilas
- b. Menyalakan mesin las GMAW
- c. Mengatur parameter pengelasan
- d. Letakkan spesimen uji pada meja kerja
- e. Lakukan pengecekaman pada spesimen agar tidak berubah posisi saat pengelasan
- f. Lakukan proses pengelasan

Pendinginan

Proses pendinginan langsung di celupkan pada masing-masing varisi media pendingin pasca pengelasan yaitu di media pendingin power coolant top 1, air tawar, dan air garam selama 10 menit. Proses pembuatan air garam dengan konsentrasi 40% yaitu Air 60% + Garam 40% (6 Liter Air + 4 Kg Garam)

Pengujian Uji Tarik

- a. Menyiapkan spesimen yang sudah dipotong dan memberi label pada spesimen
- b. Ukur Panjang awal dan luas penampang benda uji
- c. Menyalakan mesin uji tarik.
- d. Memasang spesimen uji tarik pada bagian pengecam mesin.
- e. Mengatur besar pembebanan dan seting mesin sebagai pembebanan uji tarik.
- f. Memasang kertas milimeter blok pada bagian pengeplot grafik.
- g. Menjalankan mesin uji tarik.
- h. Benda uji yang telah putus lalu diukur seberapa besar penampang dan Panjang benda uji setelah putus kemudian catat hasil pengujian.

Pengujian Struktur Mikro

Berikut langkah dalam menggunakan mikroskop optic dalam melihat struktur mikro:

- Menyiapkan 1 spesimen tanpa media pendingin dan 3 spesimen dari hasil media pendingin.
- Specimen diletakkan pada landasan optic mikro.
- Menyalakan alat optic mikro dengan mendekatkan lensa pembesar pada daerah HAZ agar permukaan spesimen dapat diamati. Pengambilan foto struktur mikro dengan perbesaran 200 kali atau lebih dengan gambar struktur mikro yang jelas. Kemudian scan hasil foto spesimen dilayar monitor optic.
- Simpan data kedalam computer dan masukan ke dalam laporan.
- Matikan alat optic dan data analisa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

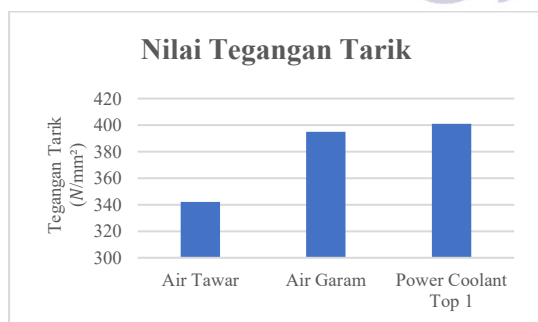
Pengujian Uji Tarik

pengujian tarik dilakukan menggunakan universal testing machine di laboratorium perlakuan dan pengujian bahan teknik jurusan teknik mesin politeknik negeri malang pada tanggal 8 Maret 2025. adapun data yang didapatkan adalah:

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Tarik

Media Pendingin		Beban Maksimum (N)	Pertambahan Panjang (mm)	Panjang Akhir (mm)	Tegangan Tarik (N/mm^2)	Regangan
Air Tawar	A1	20791,68	16,62	216,62	332,6	0,0831
	A2	22036,28	17,6	217,6	352,5	0,088
	A3	21313,04	18,5	218,5	341	0,0925
Rata - rata		21380	17,57	217,57	342	0,0876
Air Garam	B1	25188,94	21,04	221,04	403	0,1052
	B2	24807,72	20,04	220,04	396,9	0,1002
	B3	24076,64	19,99	219,99	385,2	0,0999
Rata - rata		24691	20,33	220,33	395	0,1017
Power Coolant Top 1	C1	25164,44	23,04	223,04	402,6	0,1152
	C2	24837,12	22,43	222,43	397,3	0,1121
	C3	25270,28	23,46	223,46	404,3	0,1173
Rata - rata		25290	22,97	222,97	401	0,1148

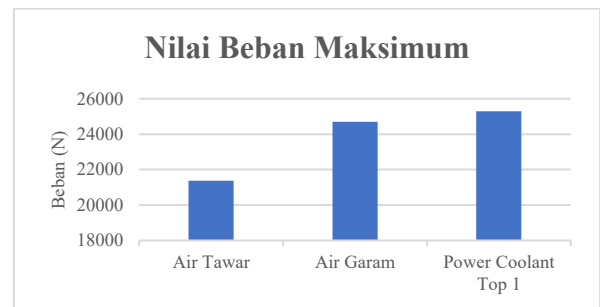
Pada pengujian Tarik dilakukan sebanyak tiga kali pada tiap variabel, didapatkan grafik seperti dibawah ini.



Gambar 3. Hasil Rata-rata Tegangan Tarik

Berdasarkan Gambar 3 dapat menunjukkan bahwa hasil pengujian tarik dari variasi media pendingin menggunakan proses pengelasan Metal Inert Gas (MIG) didapatkan untuk variasi media pendingin air tawar mempunyai kekuatan tarik sebesar $342 N/mm^2$,

sedangkan untuk variasi media pendingin air garam mempunyai kekuatan tarik sebesar $395 N/mm^2$, dan untuk variasi media pendingin Power Coolant Top 1 mempunyai kekuatan tarik sebesar $401 N/mm^2$.



Gambar 4. Hasil Rata-rata Beban Maksimum

Selain itu, hasil pengujian juga memperlihatkan adanya keterkaitan antara kekuatan tarik dan beban maksimum yang dapat ditahan oleh material selama proses uji tarik berlangsung. Nilai beban maksimum tertinggi tercatat pada spesimen yang menggunakan Power Coolant Top 1, yakni sebesar 25.290 N. Spesimen yang didinginkan menggunakan air garam menempati posisi kedua dengan beban maksimum sebesar 24.691 N, sedangkan spesimen yang didinginkan dengan air tawar hanya mampu menahan beban maksimum sebesar 21.380 N. Untuk memastikan keakuratan hasil analisis dari diagram di atas, dilakukan uji data menggunakan metode One Way ANOVA. Berikut ini merupakan hasil dari uji One Way ANOVA tersebut.

Tabel 2. Data Hasil Uji Annova One Way

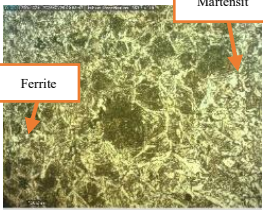
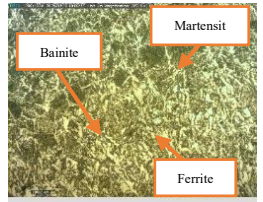
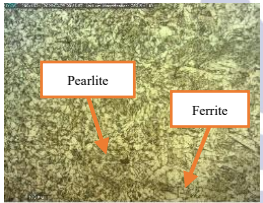
ANOVA					
	Nilai				
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	6371,450	2	3185,725	49,022	0,000
Within Groups	389,912	6	64,985		
Total	6761,362	8			

Berdasarkan hasil analisis One Way ANOVA, diperoleh nilai signifikansi sebesar 0,000 ($\alpha < 0,05$). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan dalam penggunaan variasi media pendingin terhadap variabel yang diamati. Hasil ini mengindikasikan bahwa jenis cairan pendingin yang digunakan Air Tawar, Air Garam, dan Power Coolant Top 1, berdampak berbeda secara statistik terhadap performa sistem.

Pengaruh Media Pendingin Pada Pengelasan *Metal Inert Gas* (Mig) Baja SS400 Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro

Pengujian Struktur Mikro

Tabel 3. Data Hasil Struktur Mikro

Media Pendingin	Heat Affected Zone (HAZ)	Weld Metal
Air Tawar		
Air Garam		
Power Coolant Top 1		

Pendinginan las MIG menggunakan air tawar menghasilkan struktur mikro khas berupa morfologi jarum-jarum panjang yang menunjukkan terbentuknya fasa martensit akibat laju pendinginan sangat tinggi. Martensit ini tampak sebagai area gelap padat dalam mikroskop dan bersifat keras namun rapuh karena terbentuk melalui transformasi non-difusional dari austenit. Di Heat Affected Zone (HAZ), terlihat kombinasi ferrit (terang) dan martensit (gelap), menunjukkan proses transformasi fasa yang tidak merata akibat gradien suhu tajam dari zona leleh ke HAZ.

Sementara itu, struktur mikro pada daerah weld metal tampak lebih halus dan merata karena solidifikasi berlangsung cepat akibat pendinginan instan oleh air. Hal ini berdampak positif terhadap sifat mekanik logam las, seperti peningkatan kekuatan tarik dan ketahanan aus, karena ukuran butir yang lebih kecil dan pembentukan fasa yang lebih terkendali. Sesuai dengan penelitian (Amosun & Hammed, 2023), pendinginan cepat dengan air mendorong terbentuknya martensit yang keras, namun menurunkan ketangguhan logam secara keseluruhan.

Struktur mikro pada daerah Heat Affected Zone (HAZ) hasil pengelasan dengan pendinginan air garam menunjukkan pembentukan fasa kompleks akibat suhu ekstrem dan laju pendinginan tinggi. Teramati martensit berbentuk jarum-jarum halus dan gelap yang menunjukkan transformasi non-difusional dengan kekerasan tinggi, disertai bainit bercabang yang terbentuk

melalui transformasi sebagian difusional. Ferrit tampak sebagai butiran terang berbentuk poligonal atau bulat, terbentuk melalui mekanisme difusional pada suhu lebih rendah. Air garam, dengan titik didih yang lebih tinggi dari air murni hingga 112°C, memperlambat transisi fase cair-ke-uap, memperpanjang pelepasan panas namun tetap menjaga laju pendinginan tinggi. Hal ini memungkinkan pembentukan martensit secara masif dengan kontrol suhu yang lebih stabil, mengurangi risiko retak akibat shock termal. Penelitian (Widiyono et al., 2018) mendukung temuan ini, di mana campuran pendingin air 80% + garam 20% menghasilkan dominasi struktur martensit sebesar 92%, jauh lebih tinggi dibanding air murni yang hanya membentuk 83% martensit.

Pada daerah weld metal, struktur mikro didominasi martensit penuh yang tampak sebagai jarum-jarum panjang dan rapat dengan kontras tinggi. Transformasi berlangsung secara langsung dari austenit ke martensit tanpa melalui fasa peralihan seperti bainit. Meskipun meningkatkan kekerasan dan ketahanan aus, dominasi martensit membuat logam las lebih getas dan rentan terhadap retak, terutama di bawah beban dinamis atau tegangan sisa. Oleh karena itu, pengendalian laju pendinginan serta perlakuan panas pasca-las (PWHT) sangat penting untuk menjaga ketangguhan dan mencegah kegagalan prematur pada sambungan las.

Struktur mikro pada daerah HAZ hasil pendinginan dengan Power Coolant Top 1 menunjukkan dominasi fasa ferrit dan sebagian kecil pearlite. Hal ini menandakan pendinginan yang lambat dan terkendali, memungkinkan transformasi austenit secara bertahap tanpa membentuk martensit. Ferrit yang terbentuk memiliki ukuran butir halus dan seragam, memberikan ketangguhan tinggi karena sifatnya yang lunak dan ulet. Pearlite, meskipun dalam jumlah moderat, turut meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik karena keberadaan sementit. Dalam penelitian (Couri et al., 2014), dijelaskan bahwa variasi laju pendinginan secara langsung memengaruhi fasa dalam mikrostruktur baja, di mana pendinginan yang lebih lambat menghasilkan dominasi ferrit dan pearlit yang berdistribusi lebih homogen. Kombinasi ferrit dan pearlite menciptakan struktur mikro yang seimbang, cocok untuk komponen yang memerlukan ketahanan terhadap beban dinamis tanpa mengorbankan kekuatan.

Pada weld metal, pendinginan dengan Power Coolant Top 1 menghasilkan morfologi halus dan homogen dengan struktur acicular lembut serta pertumbuhan dendritik stabil. Media berbasis ethylene glycol ini memiliki titik didih tinggi (110–115°C), memungkinkan proses pendinginan bertahap tanpa shock termal yang memicu martensit. Hasilnya adalah struktur mikro dengan ketangguhan, kekuatan, dan keawetan optimal. Sesuai dengan (Argade et al., 2021), media ini juga mengurangi laju korosi dan membentuk lapisan pelindung metal carboxylate, memberikan perlindungan jangka panjang pasca-pengelasan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dan dianalisa dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Variasi media pendingin berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro hasil pengelasan MIG. Media pendingin *Power Coolant Top 1* menghasilkan kekuatan tarik tertinggi (401 N/mm²), diikuti air garam (395 N/mm²), dan air tawar (342 N/mm²).
2. Pengaruh variasi media pendingin terhadap hasil pengelasan dibuktikan melalui analisis struktur mikro pada masing-masing spesimen. Analisis mikrostruktur menunjukkan bahwa pendinginan dengan *Power Coolant* menghasilkan struktur mikro yang lebih seimbang (ferrit, perlit, bainit), sedangkan air garam menghasilkan ferrit dan bainit dengan dominasi martensit. Sedangkan, air tawar menunjukkan ferrit dan dominasi martensit. Dengan demikian, pemilihan media pendingin memengaruhi pembentukan mikrostruktur dan kualitas sambungan las secara keseluruhan.

SARAN

1. Dalam rangka meningkatkan kualitas sambungan las pada baja SS400, disarankan untuk mempertimbangkan penerapan *preheat* (pemanasan awal) sebelum proses pengelasan. *Preheating* dapat memperlambat laju pendinginan setelah pengelasan, sehingga membantu mengurangi pembentukan struktur martensit yang keras dan getas, terutama di area Heat Affected Zone (HAZ). Dengan demikian, risiko retak akibat tegangan sisa dan getasnya struktur dapat diminimalkan.
2. Selain itu, penerapan *post-weld heat treatment* (PWHT) juga perlu dipertimbangkan, khususnya pada sambungan yang mengalami pembentukan martensit dalam jumlah signifikan. PWHT dapat membantu menstabilkan struktur mikro melalui proses pelunakan (*temper*), mengurangi tegangan sisa, dan memperbaiki sifat mekanik hasil pengelasan secara keseluruhan. Kombinasi antara *preheat* dan PWHT diharapkan dapat meningkatkan ketangguhan, mengurangi distorsi, serta memperpanjang umur pakai sambungan las pada aplikasi struktural yang kritis.

DAFTAR PUSTAKA

- Amosun, T. S., Hammed, S. O., de Lima, A. M. G., & Habibi, I. (2023). Effect of quenching media on mechanical properties of welded mild steel plate. *Mechanical Engineering for Society and Industry*, 3(1), 3–11. <https://doi.org/10.31603/mesi.7121>
- Argade, G. R., Patil, A. R., & Kulkarni, M. M. (2021). Corrosion resistance and heat transfer performance of ethylene glycol-based coolants for welding applications. *Materials Today: Proceedings*, 47, 1561–1567. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.03.014>
- ASTM E8. (2016). ASTM E8-E8M-16a. ASTM International,4.
- Bisri, H. (2022). Pengaruh Media Pendinginan Pada Proses Pengelasan Smaw Material Baja SS400 Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro.
- Couri, T., Silva, R. H., Almeida, R. M., & Silva, J. M. (2014). Effect of cooling rates on microstructure and mechanical properties of welded steel joints. *Journal of Materials Research and Technology*, 3(2), 123–130. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2014.02.007>
- Novianto, A. (2018). Teknik Pengelasan Gas Metal (MIG/MAG)
- Saputra, H. Et al. 2014. Analisis Pengaruh Media Pendingin Terhadap Kekuatan Tarik Baja ST 37 Pasca Pengelasan Menggunakan Las Listrik. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Unlam* 3(2): 91-98.
- Surdia, T., dan Saito, S. 1999. Pengetahuan Bahan Teknik. Cetakan keempat. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Syaifulah, M., Subhan, M., & Juanda, J. (2021). Pengaruh Air Garam Sebagai Media Pendingin Terhadap Nilai Kekerasan Pada Proses Pengerasan Baja ST 60. *Jurnal Syntax Admiration*, 2(8), 1555–1569. <https://doi.org/10.46799/jsa.v2i8.292>
- Widiyono, A., Purwanto, H., & Sugiyono. (2018). Analisa pengaruh penambahan garam di media pendingin air terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro pada baja karbon AISI 1050. *Jurnal SENIATI*, 4(2), 93–101. [Link alternatif jika tersedia di Google Scholar atau repositori institusi]
- Wiryosumarto, H. (2000). *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.