

Effect of Welding Cooling Media on the Hardness and Microstructure of SPHC Material

[Pengaruh Media Pendingin Pengelasan Terhadap Kekerasan dan Strukturmikro Material SPHC]

Arnes Budi Kristanto¹⁾, Prantasi Harmi Tjahjanti^{*2)} (10pt)

¹⁾Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾ Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: prantasiharmi@umsida.ac.id

Abstract. Based on the research and analysis of the effect of cooling media on welding SPHC (Steel Plate Hot Rolled Coiled) material on hardness rockwell and microstructure, Quenching resulted in the highest hardness increase (HRB) compared to Quenching of air and oil. With hardness rockwell result of weld metal HRB 74.99, HAZ HRB 90.12 and Base metal HRB 81.39. Meanwhile the microstructure test result showed the highest increase in quenching water, with an increase in pearlite on the area HAZ (75%) and Base Metal (59%) compared to quenching of air and oil. Overall the welding point and quenching affect the mechanical of SPHC material. This research indicates the highest hardness increase after welding in the HAZ area for all three of quenching tested.

Keywords - SPHC, Quenching, HAZ, Hardness, Microstructure

Abstrak. Berdasarkan hasil penelitian dan analisa dari pengaruh media pendingin pengelasan material SPHC (Steel Plate Hot Rolled Coiled) terhadap kekerasan dan strukturmikro. Media pendingin air memberikan hasil peningkatan kekerasan (HRC) tertinggi dibandingkan media udara dan oli dengan nilai kekerasan bagian weld metal HRB 74.99, Haz HRB 90.12 dan Base Metal HRB 81.39. Sedangkan untuk hasil uji strukturmikro mendapatkan peningkatan tertinggi pada media pendingin air dengan peningkatan pada area HAZ pearlite 75% dan Base Metal 59% dibandingkan dengan media pendingin udara dan oli Secara keseluruhan titik pengelasan dan media pendingin mempengaruhi sifat mekanis pada material SPHC. Penelitian ini menunjukkan peningkatan kekerasan tertinggi paska pengelasan pada area HAZ untuk ketiga media pendingin yang diuji.

Kata Kunci - Media Pendingin, HAZ, Kekerasan, Strukturmikro

I. PENDAHULUAN

Sebelumnya pada penelitian Syaiful Anwar dan Mulyadi (2024) yang membahas pengaruh panas terhadap kekerasan dan struktur mikro telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh panas pada barang/material yang dilakukan proses pengelasan. Penelitian tentang pengaruh pengelasan dan media pendingin tersebut pada pegas daun dengan menggunakan pengelasan SMAW.[1] Serta diperjelas dengan penelitian yang dilakukan oleh Umar Ramadhan dan Sugeng (2024)) yang membahas tentang pengaruh variasi media pendingin terhadap sifat mekanis dan struktur mikro sambungan las MIG GMAW plat SPHC P.[2]

Berdasarkan permasalahan diatas kami berinisiatif untuk melakukan penelitian pada material SPHC. SPHC adalah Material Baja Plate komersial yang berkualitas. Material baja plate yang berbentuk lembaran Carbon Steel (Baja Karbon) canai panas (Hot Rolled Steel). SPHC merupakan material yang didefinisikan dalam standar JIS G 3131. SPHC menjadi salah satu material steel dengan baja karbon rendah yang memiliki keuletan dan ketangguhan yang sangat baik. Baja karbon rendah merupakan baja karbon yang memiliki kandungan karbon dibawah 0,3%.[3]

Proses quenching adalah proses perlakuan panas mengalami dimana pemanasan baja secara perlahan disusul dengan pendinginan secara cepat.[4] Quenching isothermal jika quenching dilakukan pada temperature yang sama sedangkan waktunya berubah-ubah. Untuk mengetahui ketahanan, kekuatan dan kekerasan pada material yang diuji dengan cara dilakukannya pengujian tarik dan kekerasan. Uji kekerasan dianggap lebih spesifik untuk mengetahui ketahanan suatu produk.[5]

Dengan adanya penelitian ini, maka akan dapat mengetahui jumlah presentase struktur perlit maupun ferit pada uji mikrostruktur.

Berdasarkan latar belakang di atas, adapun rumusan masalah adalah:

1. Bagaimana pengaruh media pendingin paska pengelasan terhadap kekerasan material SPHC?
2. Bagaimana pengaruh media pendingin paska pengelasan terhadap perubahan strukturmikro material SPHC?
3. Bagaimana pengaruh titik pengelasan terhadap perubahan kekerasan dan strukturmikro material SPHC dan variasi yang dihasilkan berdasarkan jenis media pendinginnya?

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka tujuan penelitian ini adalah:

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.

Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted.

1. Untuk Mengetahui pengaruh media pendingin paska pengelasan terhadap kekerasan material SPHC.
2. Untuk Mengetahui pengaruh media pendingin paska pengelasan terhadap strukturmikro material SPHC.
3. Untuk mengetahui pengaruh titik pengelasan terhadap perubahan kekerasan dan mikrostruktur material SPHC dan variasi yang dihasilkan berdasarkan jenis pendinginannya.

II. METODE

Metode Metodologi penelitian dimulai dengan studi literatur terkait material SPHC dan perubahan kekerasan serta mikrostruktur pada material sebelum dan sesudah welding. Sebelum proses welding akan dilakukan pengukuran kekerasan dan mikrostruktur pada material SPHC.

selanjutnya akan dilakukan proses welding menggunakan Las MAG (*Metal Active Gas*) pada material SPHC. Setelah itu akan dilakukan proses pendinginan pada spare part yang sudah dilas tersebut dengan 3 metode pendinginan yaitu Air, Oli, dan Udara. Untuk mendapatkan hasil perlakuan panas yang baik perlu memperhatikan beberapa faktor yang mempengaruhi laju pendinginan. Pertama adalah Densitas. Kedua adalah viskositas. [6]Setelah Spesimen tersebut sudah dingin selanjutnya akan dilakukan proses pengecekan kekerasan menggunakan mesin rockwel untuk mendapatkan data perubahan kekerasan setelah proses pengelasan. Setelah itu akan dilakukan proses *cutting*, *Grinding*, *Polyshing*, *Mounting* untuk persiapan atau proses awal pengecekan mikrostruktur pada spare part tersebut. Setelah itu akan dilakukan pengecekan mikrostruktur untuk mengetahui ada tidaknya perubahan setelah proses pengelasan.

A. Bahan dan Alat Penelitian

1. Bahan Penelitian

- Baja JIS G 3131 SPHC
JIS 3131 SPHC adalah singkatan dari *Steel Plate Hot Rolled Coiled* adalah pelat baja yang dihasilkan lewat proses canai panas dengan kualitas komersial.[3]
- Komposisi Kimia SPHC Baja
JIS G 3131 mendefinisikan komposisi kimia baja SPHC seperti di bawah: Persentase maksimum Carbon (C) 0.15%, Mangan (Mn) 0.60% Fosfor (P) 0.050%, Sulphur (S) 0.050%. [7] Dalam kasus penelitian kali ini menggunakan baja karbon rendah SPHC yang digunakan untuk Bahan Baku spare part Traktor dengan tebal 4.5mm.

B. Alat Pembuat Bahan Uji

1. Alat Utama Pembuatan Bahan Spesimen

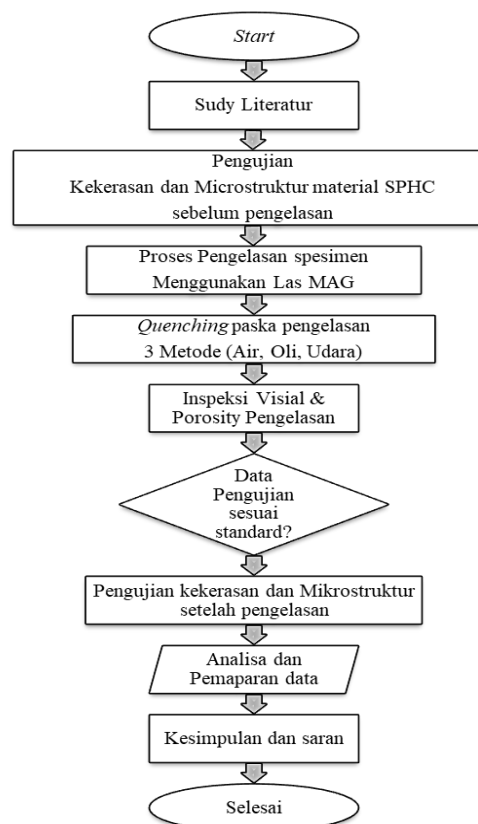
- Mesin Las MAG (*Metal Active Gas*)
Mesin pengelasan MAG (*Metal Active Gas Welding*) yang merupakan bagian dari las GMAW yang menggunakan gas pelindung (*inert gas*) karbondioksida (CO₂). Pengelasan MAG menggunakan kawat las sekaligus elektroda, yang berupa gulungan kawat (rol) dan gerakannya di atur oleh motor.[8]
- Kawat Las
Kawat Las adalah komponen pendukung pengelasan yang dilelehkan oleh panas busur listrik dan membentuk logam cair yang memungkinkan penggabungan material secara permanen. Besar kecilnya amper las terutama tergantung pada besarnya diameter elektroda dan tipe elektroda.[9] pabrik pembuat elektroda mencantumkan tabel variabel penggunaan arus las yang disarankan pada bagian luar kemasan elektroda[10]
- Mesin *Cutting*
Mesin ini merupakan perangkat yang digunakan untuk melakukan pemotongan spesimen material SPHC sebelum dan sesudah pengelasan. Pemotongan dipilih sesuai dengan bagian yang akan diamati struktur mikronya. Spesimen uji dipotong dengan ukuran yang diperlukan.[11]
- Mesin *Mounting* dan *Polishing*
Mesin ini merupakan perangkat yang digunakan untuk melakukan Proses *Grinding*, *mounting* dan *Polishing* pada spesimen material SPHC sebelum dan sesudah pengelasan. *Mounting* press digunakan untuk menanamkan sampel logam dalam bahan resin atau plastic. Proses *embedding* inilah yang disebut *mounting*. *Polishing* bertujuan bertujuan untuk menghasilkan permukaan spesimen yang mengkilap, halus, dan mencegah korosi pada spesimen. *Polishing* juga digunakan untuk membuat spesimen rata, dan membuat permukaan benda kerja bebas dari cacat untuk memudahkan pemeriksaan mikrostruktur.[12]

2. Alat Pendukung Pembuatan Bahan Spesimen

- Gerindra
- Oli

- Air
 - Ragum
 - Jangka Sorong/*Vernier Caliper*
 - Wadah Air dan Oli
3. Alat Uji Penelitian
- Uji Kekerasan *Rockwell*
 - Alat Uji *Rockwell*
Pengujian kekerasan menggunakan Innova test “Verzus TM700”, Pengujian kekerasan *Rockwell* adalah pengujian dengan cara menekan permukaan spesimen (benda uji) dengan suatu *indenter*. Penekanan *indenter* ke dalam benda uji dilakukan dengan menerapkan beban pendahuluan (beban *minor*), kemudian ditambah dengan beban utama (beban *mayor*), lalu beban utama dilepaskan sedangkan beban minor masih dipertahankan.[13]
 - *Indenter*
indenter bola yang terbuat dari baja yang dikeraskan atau dari tungsten karbida yang memiliki diameter 1/16", 1/8", 1/4", dan diameter 1/2". *indenter* bola baja sering digunakan untuk menguji kekerasan material-material yang lebih lunak.[14]
 - Skala Kekerasan *Rockwell*
Pada pengujian kekerasan material dengan metode *Rockwell* skala B yang biasanya diaplikasikan pada material yang lunak, seperti paduan-paduan tembaga, paduan aluminium dan baja lunak, dengan menggunakan *indenter* bola baja. Nilai satuan yang dihasilkan adalah HRB.[15]
 - Mesin Struktur Uji Mikro
Pengujian mikrostruktur dilakukan untuk mengetahui perubahan sifat – sifat mekanis dari hasil pengelasan MIG pada material SPHC. Pengujian menggunakan alat ukur mikroskop merk “Olympus BX51M” dengan perbesaran lensa 500x.[16] Pada uji mikrostruktur ini, hasil dari penelitian mengenai pengaruh media pendingin paska pengelasan MAG pada plat SPHC dan variasi perubahan mikrostruktur dan sifat mekanis material dapat diketahui.

C. Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

D. Prosedur Penelitian

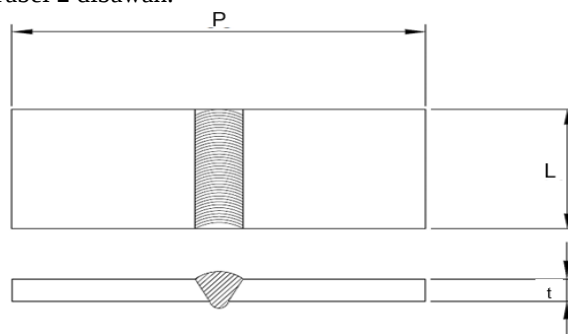
Tinjauan penelitian sebelumnya serta pencarian data pada buku, majalah dan jurnal adalah langkah pertama dalam setiap proyek penelitian.[17]

1. Parameter *Welding* atau Pengelasan
 - Parameter Pengelasan yang dibuat tetap
 - Posisi Pengelasan : Pengelasan Datar (1G)
 - Arah Pengelesan : Mundur
 - *Voltase* : 20 V
 - Ampere : 110 A
2. Proses Pengelasan
 - Parameter yang dibuat Variasi

Tabel 1. Variasi Parameter Proses

Kode Spesimen	Arus	Media Pendingin
A1	110 A	Air
A2	110 A	Air
A3	110 A	Air
U1	110 A	Udara
U2	110 A	Udara
U3	110 A	Udara
O1	110 A	Oli
O2	110 A	Oli
O3	110 A	Oli

- Proses Pengelasan
Pada penelitian kasus ini proses pengelasan menggunakan Las MAG dan menggunakan kampuh V untuk menyambungkan 2 *plate* material SPHC, dengan dimensi seperti yang ditampilkan pada gambar dan Tabel 2 dibawah.



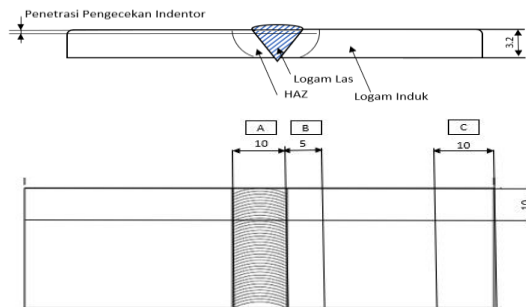
Gambar 2. Dimensi Spesimen

Tabel 2. Dimensi Area Pengecekan Spesimen

Content	P	L	t
Dimensi(mm)	75	40	4.5

3. Area Uji Kekerasan dan Mikrostruktur
 - Siklus Termal Daerah Pengelasan
Daerah lasan terdiri dari 3 bagian yaitu logam lasan, daerah pengaruh panas yang dalam bahasa inggrisnya adalah “*Heat Affected Zone*” dan disingkat menjadi daerah HAZ, dan logam induk yang tak terpengaruhi. Logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku.[18]
 - Area Uji Kekerasan dan Mikrostruktur

Mengacu pada siklus termal paska pengelasan Pengujian kekerasan dan mikro struktur material SPHC pada penelitian ini uji kekerasan dan microstruktur akan dilakukan pada 3 area yaitu Logam Las, HAZ, dan logam induk.



Gambar 3. Area Pengecekan Kekerasan dan Mikrostruktur

- Metode Pendinginan
Serta dalam pengujian ini juga akan dilakukan analisa terhadap media pendinginan atau *Quenching* setelah proses pengelasan. Dengan tujuan mengetahui atau memahami perbedaan perubahan kekerasan dan mikrostruktur material SPHC paska pengelasan MIG berdasarkan metode pendingin yang digunakan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Uji Kekerasan dan Mikrostruktur

- Uji Kekerasan Sebelum Pengelasan
Pada uji kekerasan material SPHC sebelum pengelasan didapatkan nilai kekerasan material adalah HRB 80.99
- Uji Mikrostruktur Sebelum Pengelasan
Pada uji mikrostruktur material SPHC sebelum pengelasan didapatkan nilai Nilai Pearlite 45% dan Ferrite 55%.

B. Pengelasan Bahan Uji

Penyambungan bahan uji menggunakan Las MAG dengan parameter ampere 110A, Voltase 20V.



Gambar 4. Proses Pengelasan Bahan Uji dan Parameter Pengelasan



Gambar 5. Hasil Pengelasan Spesimen Uji

C. Pendingin Bahan Uji Paska Pengelasan

Proses *Quenching* isothermal Bahan spesimen setelah proses pengelasan menggunakan 3 media yaitu Air, Oli, dan Udara. Dengan waktu pendinginan yang telah ditetapkan yaitu Air 5 Menit, Oli 10 Menit, udara 20 Menit.



Gambar 6. Proses *Quenching* Spesimen

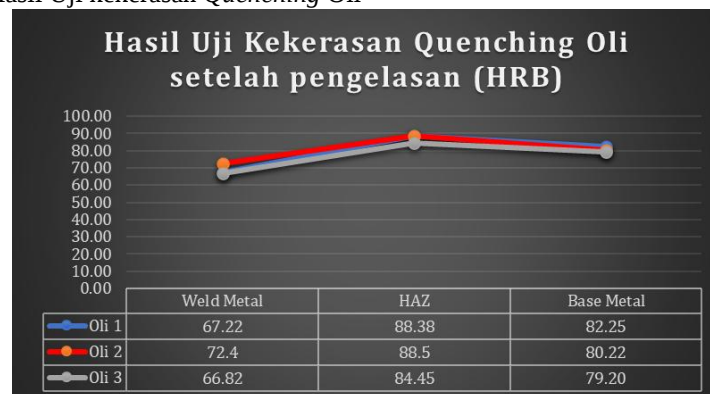
D. Uji Kekerasan dan Mikrostruktur Paska Pengelasan

- Pengujian Kekerasan Menggunakan Metode *Rockwell*



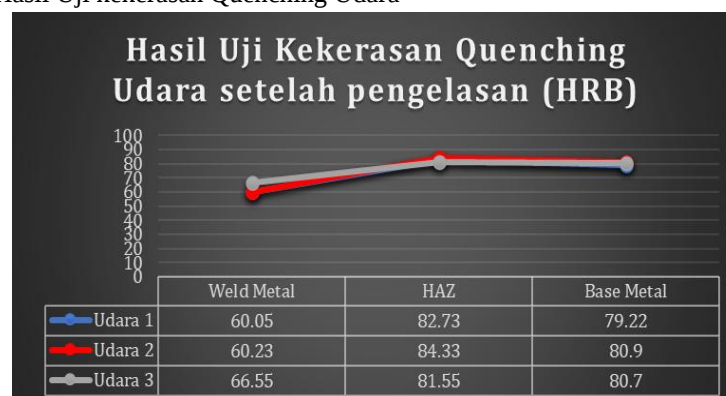
Gambar 7. Proses Uji Kekerasan Spesimen Setelah Pengelasan

- Hasil Uji Kekerasan pada 3 Media Pendingin Paska Pengelasan
Pada pengujian uji kekerasan media oli, udara dan air diketahui peningkatan kekerasan tertinggi pada area HAZ media pendingin air dengan nilai HRB 91.33.
- Hasil Uji kekerasan *Quenching Oli*



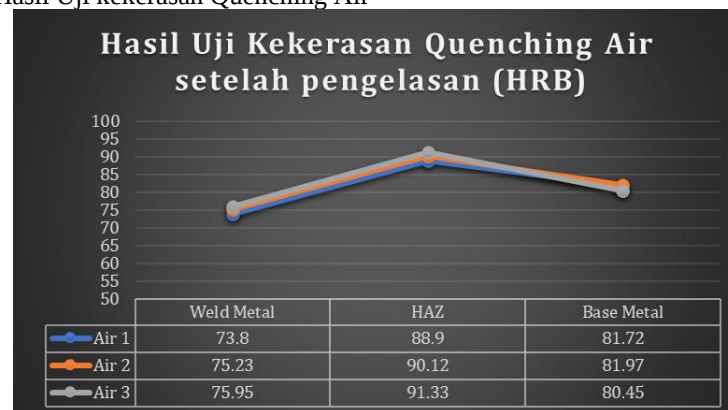
Gambar 8. Grafik Hasil Uji Kekerasan Media *Quenching Oli*

- Hasil Uji kekerasan *Quenching Udara*



Gambar 9. Grafik Hasil Uji Media *Quenching Udara*

- Hasil Uji kekerasan Quenching Air



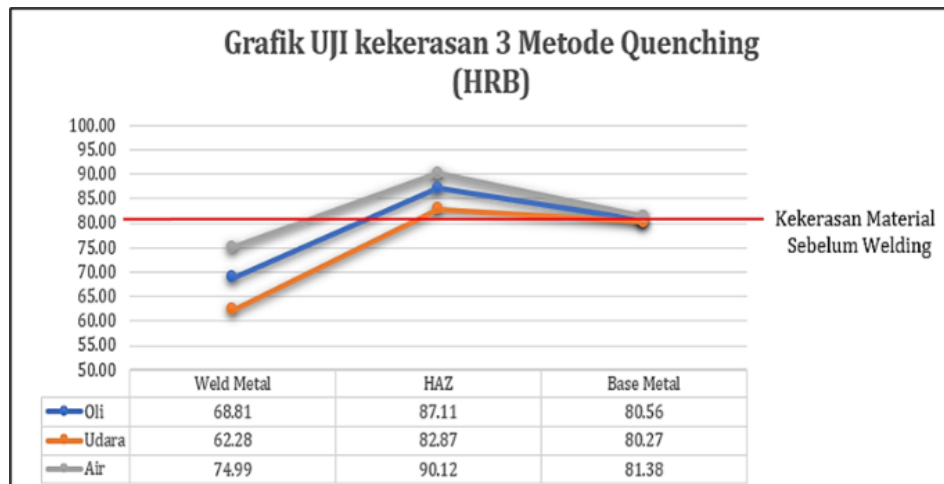
Gambar 10. Grafik Hasil Uji Kekerasan Media Quenching Air

Data – data hasil uji kekerasan pada spesimen dengan variasi metode *Quenching* yang sudah diperoleh kemudian dimasukkan kedalam persamaan yang ada. Data – data tersebut dapat selanjutnya dilihat dari tabel 3.dibawah.

Tabel 3. Data Hasil Uji Kekerasan Spesimen

Kode	Arus	Quenching	Hasil Uji kekerasan (HRB)		
			Weld Metal	HAZ	Base Metal
O1	110A	Oli	67.22	88.38	82.25
O2	110A		72.4	88.5	80.22
O3	110A		66.82	84.45	79.20
	Average		68.81	87.11	80.56
U1	110A	Udara	60.05	82.73	79.22
U2	110A		60.23	84.33	80.9
U3	110A		66.55	80.55	80.7
	Average		62.28	82.54	80.27
A1	110A	Air	73.8	88.9	81.72
A2	110A		75.23	90.12	81.97
A3	110A		75.95	91.33	80.45
	Average		74.99	90.12	81.38

- Grafik Peningkatan Kekerasan Paska Pengelesan
Berdasarkan pada kekerasan material sebelum pengelasan, pada penelitian ini diketahui jika pada 3 media pendingin untuk area HAZ dan Base metal mengalami peningkatan kekerasan, sedangkan untuk kekerasan logam las dibawah nilai kekerasan material.



Gambar 11. Grafik Hasil Uji Kekerasan Media Quenching

E. Uji Kekerasan dan Mikrostruktur Pakasa Pengelasan

- Bahan Uji Mikrostruktur
Setelah dilakukan proses pemotongan, *Mounting*, *Polishing* dan diberi cairan *Nitridacid* dan *alcohol*, dilakukan uji mikrostruktur pada 9 spesimen dengan masing – masing 3pcs berdasarkan media quenchingnya



Gambar 12. Proses Pengecekan Mikrostruktur Setelah Pengelasan

- Hasil Uji Mikrostruktur Bahan Uji Setelah Pengelasan
 - Media Pendingin Oli



Gambar 13. Hasil Uji Mikrostruktur Media Pendingin Oli Setelah Pengelasan

- Media Pendingin Air



Gambar 14. Hasil Uji Mikrostruktur Media Pendingin Air Setelah Pengelasan

- Media Pendingin Udara



Gambar 15. Hasil Uji Mikrostruktur Media Pendingin Udara Setelah Pengelasan

Data – data hasil uji mikrostruktur pada spesimen dengan variasi metode *Quenching* yang sudah diperoleh kemudian dimasukkan kedalam persamaan yang ada. Dari hasil penelitian kali ini diketahui untuk 3 media pendingin pada area HAZ dan logam las mengalami peningkatan pearlite, peningkatan tertinggi pada area Haz media pendingin air. Data – data tersebut dapat selanjutnya dilihat dari tabel 4 dibawah.

Tabel 4. Data Hasil Uji Mikrostruktur Spesimen

Variasi Pendinginan	Titik Pengujian	Sebelum Pengelasan		Setelah Pengelasan	
		Ferrite (%)	Pearlite (%)	Ferrite (%)	Pearlite (%)
Oli	HAZ	55	45	40	60
	Logam Las	-	-	89	11
	Base Metal	55	45	43	57
Air	HAZ	55	45	25	75
	Logam Las	-	-	77	23
	Base Metal	55	45	31	69
Udara	HAZ	55	45	51	49
	Logam Las	-	-	96	4
	Base Metal	55	45	52	48

F. Pembahasan

- Pengaruh Media Pendingin Terhadap Kekerasan Material SPHC**
 Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat peningkatan kekerasan material yang bervariasi setelah proses pengelasan berdasarkan media pendingin. Media Air memberikan Peningkatan kekerasan tertinggi dengan rata – rata kekerasan HRB 90.18 pada area Haz, HRB 81.39 area base metal dan HRB 74.99 pada area logam las.
- Pengaruh Lokasi Perubahan Panas Terhadap Kekerasan Material SPHC**
 Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kekerasan pada area Haz dan base metal, Peningkatan kekerasan tertinggi area haz pada media pendinginan air dengan nilai HRB 87.11.
- Pengaruh Media Pendingin Terhadap Mikrostruktur Material SPHC**
 Hasil pengujian mikrostruktur menunjukkan perubahan komposisi struktur ferrite dan pearlite pada ketiga media pendingin. Berdasarkan nilai ferrite dan pearlite sebelum proses pengelasan maka

Perubahan struktur material tertinggi terjadi pada media pendingin air. dengan peningkatan ferrite 75% pada area haz dan 69%

- Pengaruh Lokasi Perubahan Panas Terhadap Mikrostruktur Material
Data hasil pengecekan mikrostruktur menunjukkan peningkatan ferrite dan penurunan pearlite pada area HAZ dan base metal, sedangkan untuk area logam las terjadi peningkatan pearlite dan penurunan ferrite pada ketiga media pendinginan.

IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa dari pengaruh **pengaruh** panas pengelasan material SPHC (*Steel Plate Hot Rolled Coiled*) terhadap kekerasan dan strukturmikro maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Media pendingin air memberikan hasil peningkatan kekerasan (HRC) tertinggi dibandingkan dengan media pendingin lainnya dan peningkatan kekerasan tertinggi terjadi pada area Haz.
- Dengan rata – rata peningkatan kekerasan HRB 90.12.
- Berdasarkan hasil uji mikrostruktur didapatkan area Haz dan Base metal mengalami peningkatan pearlite, sedangkan ferrite cenderung menurun pada ketiga variasi media pendingin tersebut. Peningkatan pearlite tertinggi pada media pendingin Air dengan peningkatan pada area Haz pearlite 75% dan Base Metal 59%.
- Berdasarkan standard kekerasan IIS F140002/99-11 untuk nilai kekerasan material baja karbon rendah adalah HRA 70.4 ~ 78.5. Pada penelitian kali ini peningkatan kekerasan material SPHC tertinggi adalah HRB 90.12, jika dikonversi pada satuan HRA berdasarkan tabel SAE J417, Nilainya masih dibawah HRA 60.5. Maka dapat disimpulkan jika material SPHC secara kekuatan kekerasan masih rendah dan tidak sesuai untuk aplikasi yang membutuhkan kekuatan atau kekerasan yang sangat tinggi.

Akhir kata hanya kepada Allah lah segalanya dikembalikan, dan penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan jurnal ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan penyusunan untuk menjadi perbaikan di masa yang akan datang.

REFERENSI

- [1] S. Anwar and M. Mulyadi, “Pengaruh Media Pendingin terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Hasil Pengelasan SMAW Pegas Daun Mitsubishi PS 120,” *Innovative Technologica: Methodical Research Journal*, vol. 3, no. 2, pp. 1–11, 2024, doi: 10.47134/innovative.v3i2.
- [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,” *Maret*, vol. 2024, no. 6, pp. 904–912, 2024, doi: 10.5281/zenodo.10656939.
- [3] D. Cahyadi and M. Nafi, “Analisis Strukturmikro dan kekerasan pada hasil Pre heating pengelasan SMAW pelat baja JIS G 3131 SPHC dengan variasi temperatur dan media pendingin,” 1945.
- [4] R. Rachmadani, S. Suharno, and H. Saputro, “PENGARUH MEDIA PENDINGIN PADA PENGELASAN BAJA S45C MENGGUNAKAN METODE PENGELASAN GAS METAL ARC WELDING TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO,” *NOZEL Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, vol. 2, no. 1, p. 11, Apr. 2021, doi: 10.20961/nozel.v2i1.43237.
- [5] Y. Putri Damayanti and dan Djuhana, “Analisa Pengaruh Variasi Arus Pengelasan Smaw Material Baja SS 316 L Terhadap Kekerasan Rocwell,” *Journal of Technical Engineering: Journal of Technical Engineering: Piston*, vol. 3, no. 1, pp. 35–42, 2019.
- [6] M. Samsu Ni and J. Wayan Dika, “Analisa Pengaruh Variasi Media Pendingin Oli Bekas dan Coolant Engine Terhadap Uji Tarik Pada Sambungan Las Baja ST37 ANALYSIS OF THE EFFECT OF VARIATIONS OF USED OIL COOLING MEDIA AND COOLANT ENGINE ON TENSIL TEST ON ST 37 STEEL WELDING JOINTS,” 2021.
- [7] “JIS G 3131-Commercial Hot Rolled SPHC Steels,” no. Available: <https://www.materialgrades.com/jis-g-3131-commercial-hot-rolled-sphc-steels-24.html>, 2023.
- [8] H. Kadir, A. Syukur Alfauzi, and B. Sumiyarso, “Pengaruh kondisi parameter pengelasan MAG sambungan las baja tidak sejenis terhadap struktur mikro dan kekerasan daerah HAZ,” 2021. [Online]. Available: <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/rekayasa>
- [9] A. Saputra, “Pengaruh Ampere terhadap cacat las pada pengelasan baja lunak menggunakan pengelasan SMAW posisi pengelasan 2F,” 2021.
- [10] KISWEL, “SOLID 18 KISWEL KC-28,” 2020.

- [11] M. Dwi Cahyono, L. Indiyono, M. Yusuf Arnold, and D. Susiati, “Penerapan Metode Hirarc K3 Mesin Gerinda Tangan Pada Industri Fabrikasi,” *Universitas (Stuttg)*, vol. 45, no. 2, 2025, doi: 10.31004/jutin.v8i1.40700.
- [12] Alan Mochammad, “PERBANDINGAN NILAI KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO AKIBAT VARIASI KATALIS PADA PROSES CARBURIZING BAJA S45C,” 2012.
- [13] S. HutaerukPanangian, “Uji Kekerasan Material.,” 2014.
- [14] J. A. Brinell, “Uji Kekerasan Brinell,” 1900.
- [15] SAE J417, “Hardness-Conversion-table,” 1983.
- [16] R. Rachmadani, S. Suharno, and H. Saputro, “PENGARUH MEDIA PENDINGIN PADA PENGELASAN BAJA S45C MENGGUNAKAN METODE PENGELASAN GAS METAL ARC WELDING TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO,” *NOZEL Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, vol. 2, no. 1, p. 11, Apr. 2021, doi: 10.20961/nozel.v2i1.43237.
- [17] T. Prantasi H. and F. A’rasy, *BUKU AJAR MATA KULIAH METALURGI PRANTASI HARMI TJAHJANTI A’RASY FAHRUDDIN UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SIDOARJO 2020*. Sidoarjo: UMSIDA Press, 2020.
- [18] A. Nugraha, I. W. Pradana, Y. Nugroho, and A. Nugroho, “Analisis Proses Laser Cutting dengan Variasi Cutting Speed, Jarak Focusline, dan Gas Pressure Terhadap Kekerasan dan Kekasaran Material MS SPHC,” *JMPM (Jurnal Material dan Proses Manufaktur)*, vol. 7, no. 2, pp. 160–169, Dec. 2023, doi: 10.18196/jmpm.v7i2.19459.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.