

PERLAKUAN POST WELD HEAT TREATMENT (PWHT) BAJA SS400 TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO

Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin
Pada Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Disusun oleh:

M Izza Hazazi

2307230186P



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

MEDAN

2025

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : M. Izza Hazazi
Tempat/Tanggal lahir : Medan, 07-10-2000
NPM : 2307230186P
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya bahwa laporan tugas akhir saya yang berjudul :

“Pengaruh Perlakuan Post Weld Heat Treatment (PWHT) Baja SS400 Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro”

Bukan merupakan plagiarisme mencuri hasil karya milik orang lain dan bukan hasil kerja orang lain untuk kepentingan diri saya sendiri karena hubungan maerial dan non material ataupun segala kemungkinan hal lainnya yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis tugas akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemungkinan hari diduga kuat ada tidak sesuai antara fakta dengan kenyataan ini saya bersedia di proses oleh tim fakultas yang di bentuk untuk melakukan verifikasi dengan sanksi berupa pembatalan kelulusan keserjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak ada atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integeritas akademik di program studi teknik mesin, Fakultas Teknik, Univeristas Muhammadiyah Sumatera Utara

Medan, 30 September 2025

Menyatakan

M. Izza Hazazi

Perlakuan *Post Weld Heat Treatment* (PWHT)) Baja SS400 Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro

Post Weld Heat Treatment (PWHT) of SS400 Steel on Hardness and Microstructure

M. Izza Hazazi¹, Sudirman Lubis²

¹²Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Jl. Kapt. Mukhtar Basri No. 3 Medan Sumatera Utara 20238 – Indonesia

e-mail korespodensi: *sudirmanlubis@umsu.ac.id

Abstrak

Perlakuan panas pasca-pengelasan (Post Weld Heat Treatment – PWHT) memiliki pengaruh signifikan terhadap sifat mekanik dan mikrostruktur baja karbon rendah, khususnya pada daerah Base Metal, Heat-Affected Zone (HAZ), dan Weld Area. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan kekerasan serta mikrostruktur akibat PWHT pada suhu 400°C, 500°C, dan 600°C. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa pada suhu 400°C terjadi peningkatan sebesar 24,5 HV pada Base Metal, 8,9 HV pada HAZ, serta penurunan sebesar 5,4 HV pada Weld Area. Pada suhu 500°C, peningkatan kekerasan lebih signifikan dengan nilai 28,7 HV pada Base Metal, 19,8 HV pada HAZ, dan penurunan sebesar 15 HV pada Weld Area. Namun, pada suhu 600°C, Base Metal mengalami penurunan kekerasan sebesar 21,6 HV, HAZ tetap stabil tanpa perubahan, dan Weld Area mengalami penurunan sebesar 17 HV. Analisis mikrostruktur menunjukkan bahwa PWHT pada suhu 500°C menghasilkan perubahan yang lebih signifikan dibandingkan suhu lainnya, dengan pertumbuhan fasa ferit dan perlit yang lebih besar. Hal ini sejalan dengan peningkatan kekerasan pada daerah Base Metal dan HAZ. Selain itu, hasil pengamatan menunjukkan bahwa arus pengelasan 130A memberikan penetrasi yang optimal, menghasilkan ikatan metalurgi yang baik antara logam las dan Base Metal. Dengan demikian, penelitian ini menegaskan bahwa PWHT dapat dimanfaatkan untuk mengontrol kekerasan dan mikrostruktur material guna meningkatkan kualitas sambungan las pada baja karbon rendah. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa PWHT pada suhu 500°C merupakan kondisi paling optimal, karena mampu meningkatkan kekerasan dan memperbaiki struktur mikro material. Sebaliknya, PWHT pada suhu 600°C justru menyebabkan pelunakan material akibat penurunan kekerasan. Oleh karena itu, pemilihan suhu PWHT yang tepat menjadi faktor penting dalam meningkatkan kualitas sambungan las dan performa material secara keseluruhan.

Kata kunci: PWHT, Baja Karbon Rendah, Kekerasan, Mikrostruktur, Pengelasan.

Abstract

Post weld heat treatment (PWHT) has a significant influence on the mechanical properties and microstructure of low carbon steel, especially in the Base Metal, Heat-Affected Zone (HAZ), and Weld

DOI: <http://10.23887/jptm.v13i2.94547>

267

Area regions. This study aims to analyze changes in hardness and microstructure due to PWHT at 400°C, 500°C, and 600°C. The hardness test results show that at 400°C there was an increase of 24.5 HV in the Base Metal, 8.9 HV in the HAZ, and a decrease of 5.4 HV in the Weld Area. At 500°C, the increase in hardness was more significant with a value of 28.7 HV in the Base Metal, 19.8 HV in the HAZ, and a decrease of 15 HV in the Weld Area. However, at 600°C, the Base Metal decreased in hardness by 21.6 HV, the HAZ remained stable without change, and the Weld Area decreased by 17 HV. Microstructure analysis shows that PWHT at 500°C produces more significant changes than other temperatures, with greater growth of ferrite and pearlite phases. This is in line with the increase in hardness in the Base Metal and HAZ areas. In addition, observations showed that a welding current of 130A provided optimal penetration, resulting in a good metallurgical bond between the weld metal and the base metal. Thus, this study confirms that PWHT can be utilized to control the hardness and microstructure of materials to improve the quality of welded joints in low carbon steel. Overall, it can be concluded that PWHT at 500°C is the most optimal condition, as it can increase hardness and improve the material's microstructure. Conversely, PWHT at 600°C actually causes material softening due to decreased hardness. Therefore, selecting the right PWHT temperature is a crucial factor in improving weld quality and overall material performance.

Keywords : PWHT, Low Carbon Steel, Hardness, Microstructure, Welding.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi industri semakin berkembang pengelasan merupakan salah satu metode yang banyak dipilih untuk menyambung logam, karena hampir semua hal yang berhubungan dengan logam tidak dapat dipisahkan dari proses ini (Gao et al., 2024). Pengelasan SMAW (Las Shielded Metal Arc Welding) adalah proses pengelasan dengan mencairkan material dasar yang menggunakan panas dari listrik antara penutup metal (elektroda). Dari seluruh jenis pengelasan tersebut salah satu jenis yang paling populer di Indonesia yaitu pengelasan dengan menggunakan busur nyala listrik (Shielded Metal Arc Welding/ SMAW) (Widodo, 2022, Hilaqil S & Amiruddin, 2024).

Post Weld Heat Treatment (PWHT) bertujuan untuk mengurangi tegangan sisa dan juga memperbaiki sifat mekanik setelah proses pengelasan. Material terutama Carbon Steel akan mengalami perubahan struktur karena proses pemanasan dan pendinginan, struktur yang tidak homogen inilah yang menyebabkan tegangan sisa pada material pasca pengelasan (Ashok G.S et al., 2025)(E. Prasetyo and P. H. Saputra, 2015).

Proses enneling proses perlakuan panas ini bertujuan untuk menghasilkan perlit kasar (coarse perlite) yang tetap ulet. Proses ini dilakukan dengan memanaskan material hingga mencapai suhu austenisasi, kemudian didinginkan secara perlahan di dalam tungku pemanas (furnace). Tujuan dari perlakuan ini adalah untuk memperbaiki sifat mekanik material, meningkatkan keuletannya, serta mengurangi tegangan sisa yang dapat menyebabkan kerapuhan(Syah Putri et al., 2020, Putra Nugraha et al., 2017).

Berdasarkan buku mechanical metallurgy, bahwa kekerasan merupakan ketahanan suatu material terhadap deformasi plastis atau perubahan bentuk secara permanen, kekerasan dibagi tiga yaitu kekerasan gores (scratch), pantulan (rebound) dan lekukan (indentation), namun yang paling utama ualah kekerasan dilihat dari jenis lekukan.(Purwaningrum, 2021).

Struktur mikro yang terbentuk melalui transformasi bergantung pada parameter proses perlakuan panas yang digunakan serta jenis proses perlakuan panas itu sendiri. Transformasi dekomposisi austenit menjadi struktur mikro lain bertujuan untuk mendapatkan sifat mekanik dan fisik yang dibutuhkan dalam aplikasi pengerjaan logam.(jr. George, E. Deter, 1961, Jeffus, 2012).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan untuk pemahaman pengaruh PWHT pada sifat mekanik maupun struktur mikro baja memberikan perubahan yang sangat signifikan pada kekuatan dan ketahanan material (Kaushik & Dwivedi, 2022, Franceschi et al., 2024). Variasi durasi PWHT dapat mempengaruhi sifat material dengan cara yang signifikan. Maka Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tentang kekerasan dan perubahan struktur mikro pada material baja SS400 setelah dilakukan pengelasan SMAW dan diberi perlakuan panas dengan variasi pemanasan

2. METODE

2.1. Material

Baja SS400 (Structural Steel) merupakan baja karbon rendah (mild steel) yang sesuai standar ASTM (American Society for Testing Material) A36, atau JIS (Japanese Industrial Standards) G3101 dengan dimensi 8 mm x 200 mm x 200 mm. Pengelasan dilakukan dengan metode SMAW pada spesimen yang sudah dibuat kampuh V tunggal sebelumnya. Dengan posisi pengelasan 1G dan kuat arus 130 A, kemudian menggunakan elektroda E6013 diameter 2,6 mm (Lubi & Susetyo, 2008).

Baja ini digolongkan ke dalam baja paduan rendah dimana komposisi kimia dapat dilihat pada tabel 1. Proses pengelasan baja SS400 dalam penelitian ini menggunakan elektroda E6013, hal ini sesuai dengan Jeffus yang menyatakan bahwa elektroda E6013 dapat digunakan untuk mengelas material konstruksi.

Table 1. Komposisi Kimia Baja SS400 (The American Society of Testing and Materials, n.d.)

Element	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	N
% Of Wt	0,14	0,13	0,69	0,009	0,005	0,01	0,01	<0,008

Table 2. Komposisi Kimia Elektroda E6013 (The American Society of Testing and Materials, n.d.)

Element	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
% Of Wt	0,08	0,60	0,94	0,011	0,006	0,01	<0,02	0,01

2.2. Pengujian Kekerasan

Metode vickers merupakan cara pengujian kekerasan yang paling sensitif dikarenakan dengan skala kontinyu untuk semua material. Vickers sangat memungkinkan penggunaan untuk beban ringan oleh sebab itu pengujian ini bisa diaplikasikan pada material dengan ketebalan sampai 0,005 inch (Tang et al., 2025). Metode pengujian hardness vickers dengan standar pengujian ASTM E 384 (Oktaviandy et al., 2023). Angka kekerasan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$HV = \frac{[2P \sin(\alpha/2)]}{d^2} = 1,854 P/d^2 \quad (1)$$

Keterangan:

P : Beban yang ditetapkan (Kg).

d : Panjang diagonal rata - rata.

α : Sudut antara permukaan intan yang berhadapan.

2.3 Pengujian Struktur Mikro

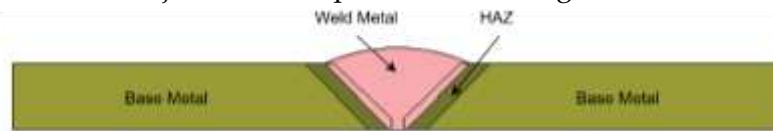
Metode ini untuk melihat struktur material yang tidak bisa dilihat kasat mata struktur mikro suatu material dapat diamati dengan bantuan alat, meskipun tidak dapat dilihat secara langsung dengan mata telanjang. Sifat fisis dan mekanik material sangat dipengaruhi oleh struktur mikronya. Dalam logam atau paduan, struktur mikro ditentukan oleh ukuran, bentuk, serta orientasi butirannya, jumlah fasa, proporsi, dan cara distribusinya. Faktor-faktor

yang memengaruhi struktur mikro paduan meliputi jenis elemen paduan, konsentrasi, serta perlakuan panas yang diberikan. Untuk mengamati struktur mikro, dilakukan pengujian menggunakan mikroskop dengan berbagai metode kerja dan tingkat pembesaran yang berbeda.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode Vickers dengan beban 500 gf. Pengujian ini mencakup area Weld Metal (sambungan las), Heat Affected Zone (HAZ), dan Base Metal (logam dasar), baik sebelum maupun sesudah proses PWHT. Berikut ini gambar area weld metal dan base metal pada spesimen uji pada Gambar 1. dan hasil pengujian kekerasan pada material baja SS400 didapatkan hasil sebagaimana Tabel 1. berikut

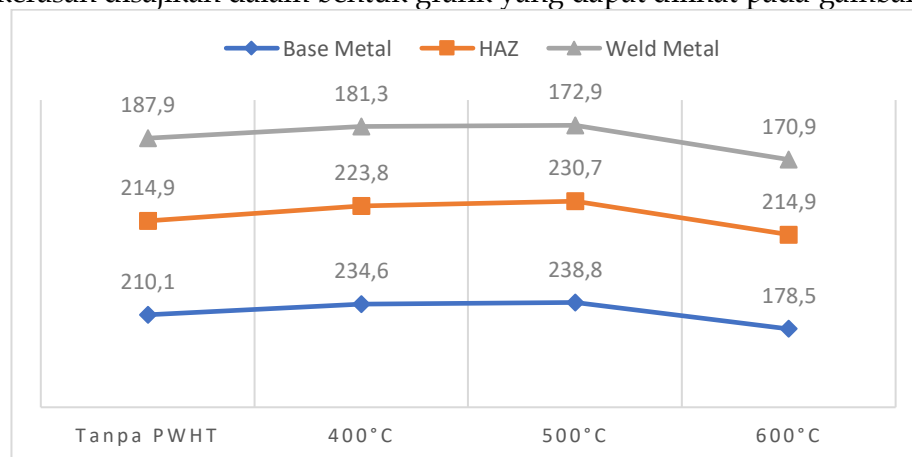


Gambar 1. Area Pengujian Kekerasan

Table 3. Seluruh Nilai Hasil Uji Kekerasan

Spesimen		HVN
Tanpa PWHT	Base Metal	210,1
	HAZ	214,9
	Weld Metal	187,9
400°C	Base Metal	234,6
	HAZ	223,8
	Weld Metal	181,3
500°C	Base Metal	238,8
	HAZ	230,7
	Weld Metal	172,9
600°C	Base Metal	178,5
	HAZ	214,9
	Weld Metal	170,9

Dari tabel 3 dapat dilihat nilai kekerasan keseluruhan setiap spesimen yang telah dilakukan pengujian baik tanpa PWHT maupun dengan perlakuan PWHT. Dan data hasil pengujian kekerasan disajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Grafik Seluruh Hasil Uji Kekerasan

Berdasarkan pengamatan yang disajikan pada gambar 2. Nilai kekerasan yang didapat mengalami peningkatan dan penurunan pada beberapa suhu pada perlakuan PWHT.

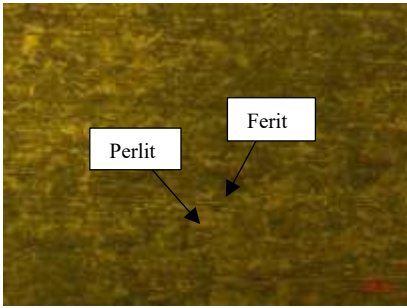
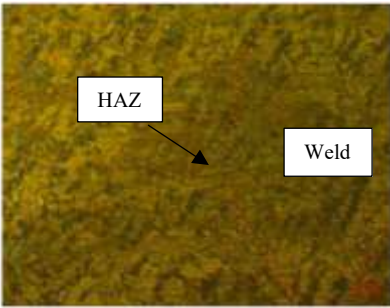
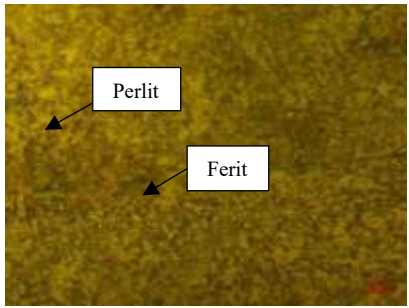
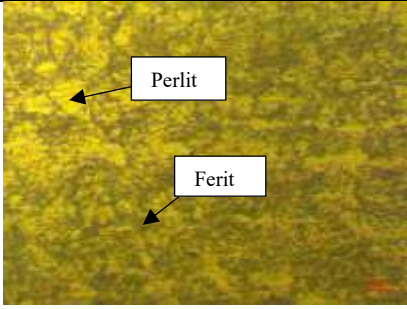
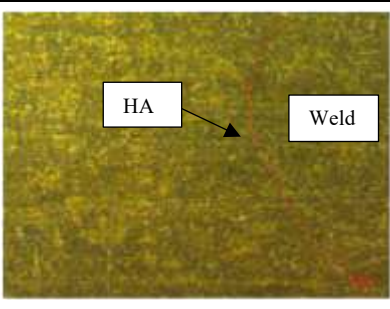
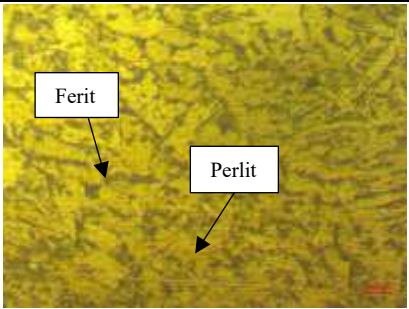
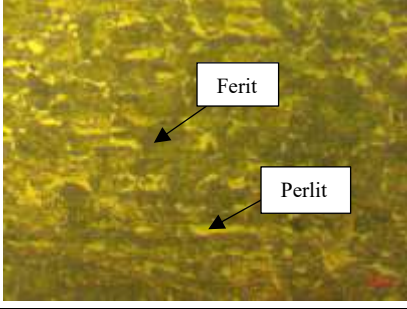
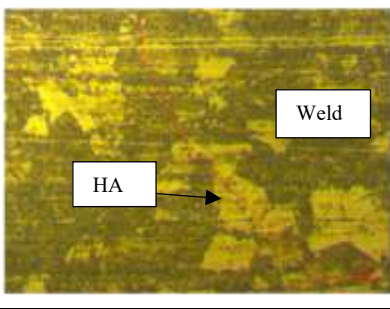
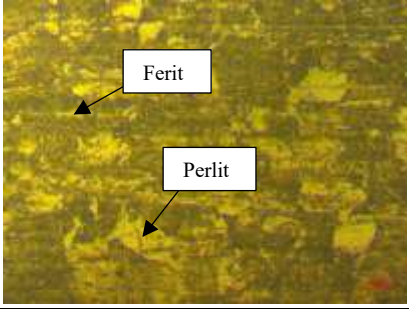
Dapat dilihat dimana pada suhu 400oC Base Metal mengalami peningkatan sebesar 24,5 HV, pada HAZ mengalami peningkatan sebesar 8,9 HV, dan pada area Weld mengalami penurunan sebesar 5,4 HV. Sedangkan pada suhu 500oC Base Metal mengalami peningkatan sebesar 28,7 HV, pada HAZ mengalami peningkatan sebesar 19,8 HV, dan pada area Weld mengalami penurunan sebesar 15 HV. Dan pada suhu 600oC Base Metal mengalami penurunan sebesar 21,6 HV, pada HAZ tidak mengalami perubahan, dan pada area Weld mengalami penurunan sebesar 17 HV.

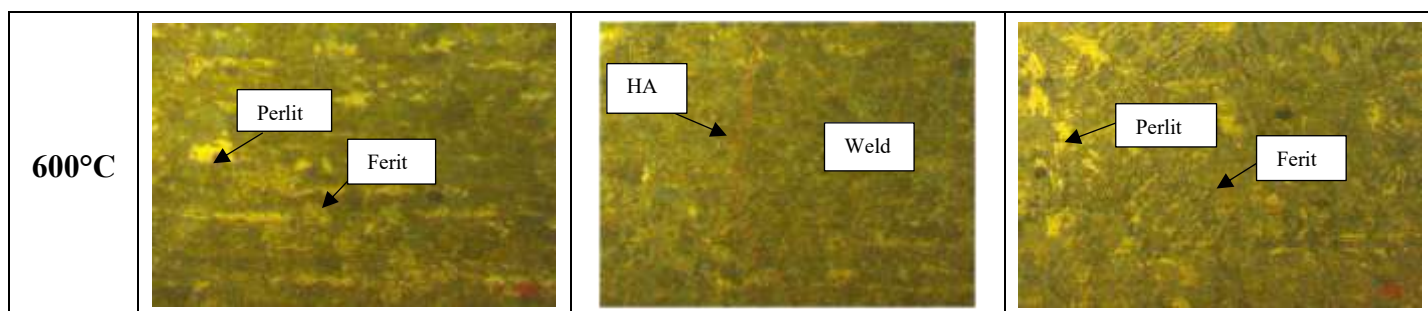
Dari hal tersebut dapat kita simpulkan dengan adanya perlakuan PWHT yang dilakukan dapat mempengaruhi nilai kekerasan material baik pada Base Metal, HAZ, dan Weld Area.

3.2. Hasil Pengujian Struktur Mikro

Pengujian foto Struktur Mikro digunakan untuk mengetahui perubahan fasa yang terjadi karena adanya perlakuan panas. Berikut merupakan hasil pengujian foto Struktur Mikro hasil pengelasan baja SS400 setelah proses PWHT.

Table 4. Hasil Foto Struktur Mikro Pembesaran 200x

Variasi	Base Metal	HAZ	Weld Area
Tanpa PWHT			
400°C			
500°C			



Baja karbon rendah didominasi oleh paduan ferit dengan sedikit perlit, dimana fasa pada tabel 4. diatas menunjukkan bahwa perlit memiliki warna dominan putih dan ferit yang berwarna sedikit gelap. Mikro struktur baja Base Metal tanpa perlakuan PWHT dengan pembesaran 200x fasa yang terbentuk juga oleh perlit dan ferit.

Mikro struktur yang terbentuk setelah perlakuan PWHT menunjukkan perubahan yang signifikan pada suhu 500°C dimana perlit dan ferit yang terbentuk membesar dari suhu 400°C dan 600°C dan hal tersebut juga sesuai dengan hasil pengujian kekerasan yang menunjukkan nilai pada PWHT suhu 500°C mengalami peningkatan baik di area Base Metal, Weld Area dan area HAZ. Proses perlakuan panas dengan proses PWHT menunjukkan perubahan struktur pada logam dimana ferit dan perlit mengalami perubahan struktur bahwa semakin besar suhu mengakibatkan struktur mikro semakin rapat.

Dari hasil mikro struktur juga dapat dilihat penetrasi hasil pengelasan dengan kuat arus 130A menunjukkan hasil yang baik dimana weld dan logam induk terlihat menyatu dengan sempurna.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan panas pasca pengelasan (Post Weld Heat Treatment/PWHT) memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai kekerasan, mikrostruktur, dan kualitas sambungan las. Pada suhu 400°C, kekerasan base metal meningkat sebesar +24,5 HV, daerah HAZ meningkat +8,9 HV, sedangkan weld area justru mengalami penurunan -5,4 HV. Peningkatan lebih besar terlihat pada PWHT suhu 500°C, dengan base metal naik +28,7 HV, HAZ meningkat +19,8 HV, sementara weld area menurun hingga -15 HV. Namun, pada suhu 600°C, kekerasan base metal menurun drastis -21,6 HV, HAZ relatif stabil, dan weld area kembali mengalami penurunan -17 HV.

Perubahan mikrostruktur juga diamati, di mana PWHT pada suhu 500°C menghasilkan pertumbuhan ferit dan perlit yang lebih besar. Hal ini berkontribusi pada peningkatan nilai kekerasan, sekaligus memperbaiki sifat mekanik material.

Pengelasan dengan arus 130A menunjukkan hasil yang optimal, ditandai dengan penetrasi sempurna serta ikatan metalurgi yang baik antara logam las dengan base metal.

Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa PWHT pada suhu 500°C merupakan kondisi paling optimal, karena mampu meningkatkan kekerasan dan memperbaiki struktur mikro material. Sebaliknya, PWHT pada suhu 600°C justru menyebabkan pelunakan material akibat penurunan kekerasan. Oleh karena itu, pemilihan suhu PWHT yang tepat menjadi faktor penting dalam meningkatkan kualitas sambungan las dan performa material secara keseluruhan.

DAFTAR RUJUKAN

- Ashok, G. S. N., Singh, Y., S. M., Raju, C. H. V. S., Sundara, A. K., Priya, D. L., & Mehta, K. K. (2025). Effect of pre- and post-weld heat treatments on the microstructure and mechanical properties of the rotatory friction welded martensitic steel-soft magnetic alloy joints. *Materials Science and Engineering: A*, 929, 148121. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2025.148121>
- Prasetyo, E., & Saputra, P. H. (2015). *Material testing book*.
- Franceschi, M., Bregolin, E., Miotti-Bettanini, A., Pasqualini, L., Campagnolo, S., Zambon, A., Pezzato, L., & Dabalà, M. (2024). Effect of the welding technique and post-welding heat treatments on the microstructure and mechanical properties of a high silicon nanostructured carbide-free bainitic steel. *Journal of Materials Research and Technology*, 31, 718–732. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2024.06.075>
- Gao, K., Liu, Y., Gong, J., Ye, K., Gong, J., Dai, X., Du, J., & Li, P. (2024). Effect of post-weld heat treatment on microstructure and mechanical properties of induction roll welded joint for A283GRC steel and 5052 aluminum alloy. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 212, 105337. <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2024.105337>
- Hilaqil, S. M. F., & Amiruddin, W. (2024). Analisis pengaruh durasi post weld heat treatment annealing pada pengelasan GMAW baja ST60 terhadap kekuatan uji tarik, uji impak, uji bending, dan struktur mikro. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 12(3), 1–11. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- Jeffus, L. (2012). *Welding principles and application* (7th ed.). Cengage Learning.
- George, E. D. (1961). *Mechanical metallurgy*. McGraw-Hill.
- Kaushik, P., & Dwivedi, D. K. (2022). Al-steel dissimilar joining: Challenges and opportunities. *Materials Today: Proceedings*, 62, 6884–6899. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.211>
- Lubi, A., & Susetyo, F. B. (2008). Karakteristik sifat mekanik dan struktur mikro baja karbon sedang paska perlakuan panas tempering. *Jurnal Teknik Mesin*, 7(1), 1–7.
- Oktaviandy, N. R., Kardiman, K., & Hanifi, R. (2023). Effect of preheat temperature variation with cooling media on mechanical properties in welding SS400 steel. *SINTEK Jurnal: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 17(2), 130–142. <https://doi.org/10.24853/sintek.17.2.130-142>
- Purwaningrum, S. T. Y. (2021). Pengaruh temperatur post weld heat treatment (PWHT) terhadap sifat fisik dan mekanik pada sambungan las MIG baja AISI 1000 SS [Skripsi, Universitas Islam Indonesia]. UII Repository. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/29848>
- Putra Nugraha, Y. D., Suharno, S., & Estriyanto, Y. (2017). Pengaruh proses post weld heat treatment (PWHT) pada pengelasan material paduan super berbasis nikel dengan metode tungsten inert gas (TIG) terhadap kekerasan dan struktur mikro. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik dan Kejuruan*, 10(2), 75–83. <https://doi.org/10.20961/jiptek.v10i2.16916>
- Syah Putri, E. D. W., Surojo, E., Budiana, E. P., & Triyono. (2020). Current research and recommended development on fatigue behavior of underwater welded steel. *Procedia Structural Integrity*, 27, 54–61. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2020.07.008>
- Tang, W., Proehl, E. R., Zhong, W., Miller, R., & Yang, Y. (2025). Gas tungsten arc welding and post weld heat treatment effects on microstructure and mechanical property of castable nanostructured alloy steel. *Journal of Nuclear Materials*, 613, 155860. <https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2025.155860>
- The American Society of Testing and Materials. (n.d.). *ASTM E384 standard test method for microindentation hardness of materials*. ASTM International.

Widodo, K. R. (2022). Analisis keausan shaft pada front idler excavator (backhoe) Hitachi tipe EX-100. *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur*, 7(1), 56–66.
<https://doi.org/10.21009/jkem.7.1.8>