



ANALISA PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DAN WAKTU TAHAN PADA PROSES *POST WELDING HEAT TREATMENT* BAJA AISI 1020 TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO

Moch. Aris Alfarisi¹, Edi Santoso², Ichlas Wahid³, Zainun⁴.

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya
Jalan Semolowaru No. 45 Surabaya 60118, Tel. 031-5931800, Indonesia
email:
mocharisalfarisi67@gmail.com
edisantoso@untag-sby.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh fluktuasi temperatur dan waktu penahanan proses post-welding heat treatment (PWHT) terhadap sifat mekanik dan struktur mikro baja AISI 1020. Variabel parameter PWHT meliputi suhu (825°C , 875°C , 925°C) dan waktu tinggal (1, 2, 3 jam). Pengujian ini dilakukan terhadap sifat kekerasan dan analisis mikrostruktur menggunakan mikroskop optik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan suhu dan waktu tinggal PWHT secara umum dapat menurunkan nilai kekerasan khususnya pada daerah logam las dan HAZ. Nilai kekerasan tertinggi pada area logam las diatur pada perubahan suhu 925°C dan ditahan selama 3 jam, sehingga menghasilkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 246,26 HVN, sedangkan nilai terendah pada area logam las diatur pada perubahan suhu 825°C dan ditahan selama 2 jam, yang setara dengan nilai kekerasan rata-rata 146,02 HVN, yang merupakan nilai tertinggi pada area HAZ. Nilai terendah pada rentang HAZ ditujukan pada variasi temperatur 825°C dan ditahan selama satu jam sehingga menghasilkan nilai kekerasan sebesar 88,05 HVN. Hal ini terjadi akibat adanya proses transformasi mikrostruktur menuju fasa ferit dan perlit yang lebih stabil. PWHT juga menghasilkan struktur mikro yang lebih homogen dibandingkan kondisi tanpa perlakuan panas. Fluktuasi suhu dan waktu penahanan PWHT terbukti mempengaruhi distribusi kekerasan dan sifat mikrostruktur baja AISI 1020. Oleh karena itu, pemilihan parameter PWHT yang tepat diperlukan untuk mencapai sifat mekanik yang optimal dan meningkatkan kualitas sambungan las.

Kata kunci: PWHT, baja AISI 1020, kekerasan vickers, struktur mikro, SMAW.



PENDAHULUAN

Saat membuat komponen dari baja AISI 1020, pengelasan merupakan salah satu proses yang umum digunakan. Proses pengelasan khususnya Shielded Metal Arc Welding (SMAW) dapat menimbulkan berbagai permasalahan metalurgi yang kompleks. Siklus pemanasan dan pendinginan yang cepat pada saat pengelasan menyebabkan perubahan struktur mikro dan sifat mekanik material, terutama pada zona las dan zona pengaruh panas (HAZ). Perubahan ini dapat terwujud dalam pembentukan struktur martensit yang keras namun rapuh, peningkatan tegangan sisa dan distorsi yang berlebihan, sehingga dapat menurunkan kualitas dan masa pakai komponen secara keseluruhan. PWHT merupakan proses perlakuan panas pasca pengelasan dengan tujuan utama mengurangi tegangan sisa, mengurangi kekerasan berlebihan dan meningkatkan sifat mekanik material secara keseluruhan. PWHT memainkan peran penting dalam pengurangan tegangan dengan melunakkan struktur martensit, memperbaiki struktur mikro, dan meningkatkan sifat mekanik seperti ketangguhan dan keuletan. Parameter PWHT yang paling penting adalah suhu dan waktu tahan. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa fluktuasi suhu dan waktu penahanan PWHT mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap sifat mekanik material. Peningkatan suhu dan waktu penahanan PWHT dapat mengubah struktur mikro material dari martensit menjadi struktur yang lebih stabil seperti ferit dan perlit, yang selanjutnya mempengaruhi sifat mekanik seperti kekerasan, kekuatan tarik dan ketangguhan. Penelitian ini menunjukkan bahwa kondisi *as-welded* seringkali menghasilkan sifat mekanis yang tidak optimal untuk aplikasi yang memerlukan keandalan tinggi. *Post Welding Heat Treatment* (PWHT) telah terbukti menjadi solusi yang efektif untuk mengatasi permasalahan tersebut. Penelitian terdahulu mengenai korelasi variabel proses SMAW dan PWHT terhadap berbagai sifat mekanik logam las baja karbon rendah menunjukkan bahwa peningkatan arus pengelasan menyebabkan peningkatan kekerasan dan kekuatan tarik pada sampel las. Namun pengaruh spesifik fluktuasi suhu dan waktu tahan PWHT terhadap sifat mekanik dan struktur mikro material AISI 1020 masih memerlukan penyelidikan lebih mendalam. Studi komprehensif mengenai pengaruh parameter PWHT terhadap sifat mekanik dan struktur mikro material AISI 1020 masih relatif terbatas dalam literatur saat ini. Sebagian besar penelitian ini berfokus pada aplikasi struktur umum atau bejana tekan, sedangkan kajian sistematis mengenai pengaruh fluktuasi suhu dan waktu penahanan PWHT terhadap sifat material AISI 1020 masih perlu diteliti lebih lanjut. Optimasi parameter PWHT untuk material AISI 1020 sangat penting untuk mencapai kombinasi sifat mekanis yang optimal. Temperatur dan waktu tahan yang tepat dapat menghasilkan struktur mikro yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi, dengan mempertimbangkan aspek efisiensi proses dan kualitas metalurgi yang dihasilkan.

Berdasarkan uraian di atas, maka penelitian ini dilakukan untuk melakukan kajian sistematis mengenai pengaruh fluktuasi suhu dan waktu tahan PWHT terhadap sifat mekanik dan struktur mikro material AISI 1020. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengoptimalkan parameter PWHT untuk mendapatkan sifat material yang sesuai untuk berbagai aplikasi, dengan mempertimbangkan aspek efisiensi proses dan kualitas metalurgi material.

PROSEDUR EKSPERIMENT

1. Tahapan Proses Pembuatan

Tahap-tahap yang dilakukan dalam pembuatan sampel material yakni:

- a. Mempersiapkan material bahan yang akan dilakukan pemotongan (Baja AISI 1020)
- b. Melakukan pengelasan terhadap material yang sudah dilakukan pemotongan
- c. Masukan material yang sudah melalui proses pengelasan ke dalam tungku furnace untuk dilakukan proses *Heat Treatment*.
- d. Tungku dinyalakan untuk sistem Heat Treatment dengan suhu (825°C, 875°C, 925°C) masing-masing suhu ditahan selama (1, 2, 3 jam)
- e. Setelah proses pembakaran selesai lalu proses *Tempering* dengan suhu 400°C
- f. Setelah selesai, lalu proses pengujian uji kekerasan
- g. Setelah uji kekerasan telah dilakukan, mengambil hasil uji terbaik dan terburuk dari uji kekerasan
- h. Hasil terbaik dan terburuk dari uji kekerasan akan dilakukan ketahap uji struktur mikro

2. Proses Perlakuan panas

Dalam penelitian ini, proses perlakuan panas dilaksanakan di laboratorium proses manufaktur Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya. Adapun sampel yang digunakan sebagaimana berikut ini:

- a. 27 sampel dilakukan proses perlakuan panas hardening.
- b. 3 sampel baja dipanaskan pada suhu 825c waktu penahanan 1 jam media air PDAM.
- c. 3 sampel baja dipanaskan pada suhu 825c waktu penahanan 2 jam media air PDAM.
- d. 3 sampel baja dipanaskan pada suhu 825c waktu penahanan 3 jam media air PDAM.
- e. 3 sampel baja dipanaskan pada suhu 875c waktu penahanan 1 jam media air PDAM
- f. 3 sampel baja dipanaskan pada suhu 875c waktu penahanan 2 jam media air PDAM
- g. 3 sampel baja dipanaskan pada suhu 875c waktu penahanan 3 jam media air PDAM
- h. 3 sampel baja dipanaskan pada suhu 925c waktu penahanan 1 jam media air PDAM
- i. 3 sampel baja dipanaskan pada suhu 925c waktu penahanan 2 jam media air PDAM
- j. 3 sampel baja dipanaskan pada suhu 925c waktu penahanan 3 jam media air PDAM.
- k. Setelah semua proses hardening selesai, dilanjutkan dengan pemanasan ulang yaitu proses tempering pada 27 sampel material guna untuk mengurangi

kekerasan yang berlebih, meningkatkan ketangguhan, dan meningkatkan keuletan.

3. *Persiapan Media Pendinginan.*

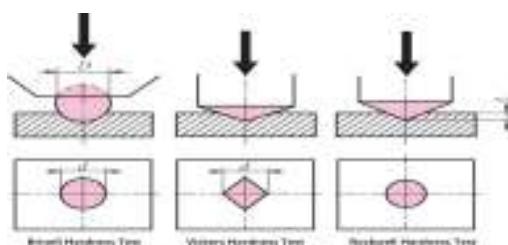
- a. Media Air PDAM

4. *Uji penelitian*

- a. Uji kekerasan menggunakan metode vickers yang dilakukan di lab Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang
- b. Uji Sturktur Mikro dilakukan di lab Politeknik Negeri Malang.

5. *Desain Pengujian*

- a. Pengujian kekerasan



Gambar 3. 1 Uji Kekerasan JIS Z 2243 : 1998

- b. Pengujian struktur mikro



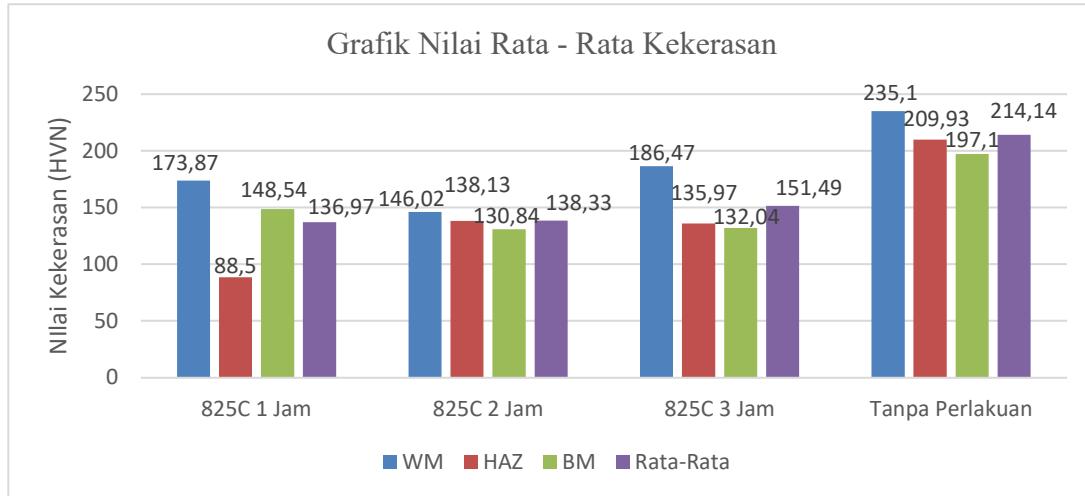
Gambar 3. 2 Uji struktur mikro

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Kekerasan Vickers

Pengujian kekerasan vickers dilaksanakan di laboratorium teknik mesin Politeknik Negeri Malang. Adapun material yang digunakan adalah baja AISI 1020 dengan ketebalan 10mm, lebarnya 20mm dan mempunyai panjang 50mm. Pengujian ini menggunakan alat uji *microvickers*. Indentor yang digunakan pada saat pengujian adalah piramida intan dengan sudut puncaknya 136° dan pembebanan yang diberikan pada pengujian kekerasan ini adalah 50Kgf dan waktu indentasi selama 10 detik. Pengambilan data yang digunakan adalah dengan mengambil 9 titik pada setiap spesimen dengan pembagian 9 titik pengujian ini adalah 3 titik dibagian *Weld metal*, 3 titik dibagian *HAZ*, dan 3 titik dibagian *Base metal*. Berikut adalah hasil dan analisa pembahasan dari pengujian kekerasan *vickers*:

*Grafik Rata – Rata Hasil Pengujian Kekerasan Vickers
PWHT 825 °C dan Non PWHT (Tanpa Perlakuan)*

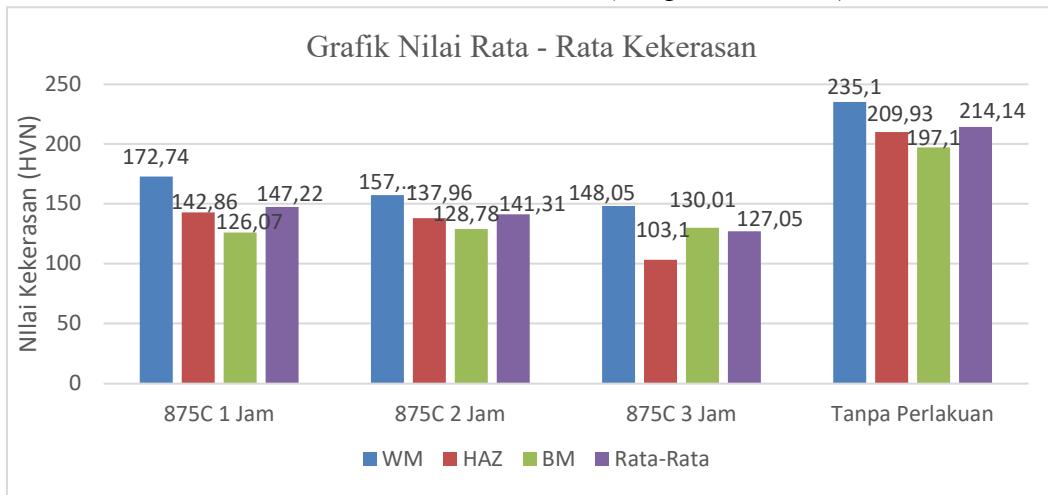


Gambar 4. 1 Grafik Nilai Perbandingan Nilai Kekerasan Spesimen Baja AISI 1020

Berdasarkan gambar 4.1 pengujian diatas, dijelaskan bahwa nilai uji kekerasan pada material tanpa perlakuan memiliki nilai kekerasan pada bagian *weld metal* sebesar 235,1 VHN, untuk daerah HAZ sebesar 209,93 VHN, sedangkan untuk daerah *base metal* sebesar 197,1 VHN. Dan untuk nilai rata-rata dari semua nilai posisi uji yaitu 214,14 VHN.

Sedangkan nilai kekerasan pada material yang dilas dan diberikan perlakuan panas di suhu 825°C dan ditahan selama 1 Jam, 2 Jam, dan 3 Jam sangat bervariasi. Untuk nilai yang di *holding time* selama 1 jam memperoleh nilai kekerasan dibagian WM 173, 87 VHN, bagian HAZ 88,5 VHN, dan pada bagian BM 148,54 VHN untuk nilai rata-rata keseluruhan pada semua bagian adalah 136,97 VHN. Untuk nilai yang di *holding time* selama 2 jam memperoleh nilai kekerasan dibagian WM 146,02 VHN, bagian HAZ 138,13 VHN, dan pada bagian BM 130,84 VHN untuk nilai rata-rata keseluruhan pada semua bagian adalah 138,33 VHN. Untuk nilai yang di *holding time* selama 3 jam memperoleh nilai kekerasan dibagian WM 186,47 VHN, bagian HAZ 135,97 VHN, dan pada bagian BM 132,04 VHN untuk nilai rata-rata keseluruhan pada semua bagian adalah 151,49 VHN.

*Grafik Rata – Rata Hasil Pengujian Kekerasan Vickers
PWHT 875 °C dan Non PWHT (Tanpa Perlakuan)*

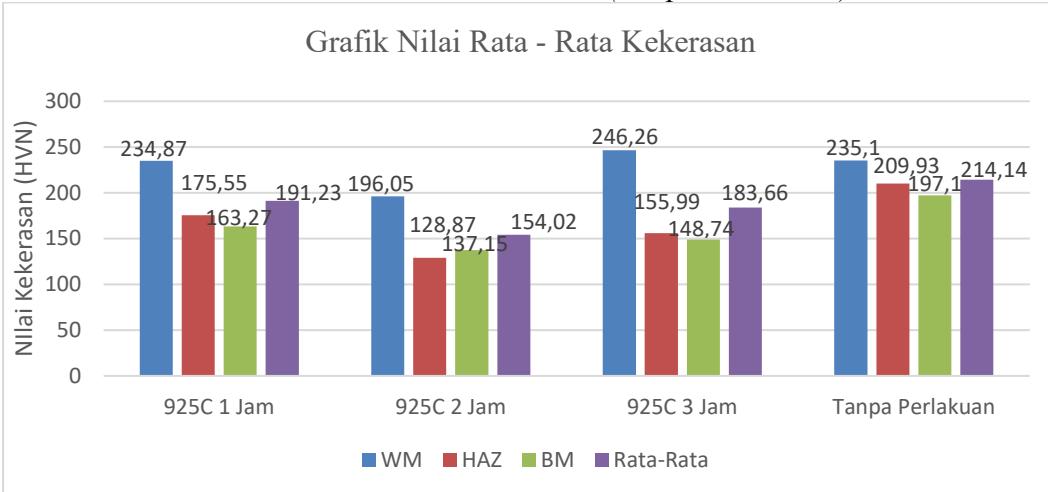


Gambar 4. 2 Grafik Nilai Perbandingan Nilai Kekerasan Spesimen Baja AISI 1020

Berdasarkan gambar 4.2 pengujian diatas, dijelaskan bahwa nilai uji kekerasan pada material tanpa perlakuan memiliki nilai kekerasan pada bagian *weld metal* sebesar 235,1 VHN, untuk daerah HAZ sebesar 209,93 VHN, sedangkan untuk daerah *base metal* sebesar 197,1 VHN. Dan untuk nilai rata-rata dari semua nilai posisi uji yaitu 214,14 VHN.

Sedangkan nilai kekerasan pada material yang dilas dan diberikan perlakuan panas di suhu 875°C dan ditahan selama 1 Jam, 2 Jam, dan 3 Jam sangat bervariasi. Untuk nilai yang di *holding time* selama 1 jam memperoleh nilai kekerasan dibagian WM 172,74 VHN, bagian HAZ 142,86 VHN, dan pada bagian BM 126,07 VHN untuk nilai rata-rata keseluruhan pada semua bagian uji adalah 147,22 VHN. Untuk nilai yang di *holding time* selama 2 jam memperoleh nilai kekerasan dibagian WM 157,19 VHN, bagian HAZ 137,96 VHN, dan pada bagian BM 128,78 VHN untuk nilai rata-rata keseluruhan pada semua bagian uji adalah 141,31 VHN. Untuk nilai yang di *holding time* selama 3 jam memperoleh nilai kekerasan dibagian WM 148,5 VHN, bagian HAZ 103,1 VHN, dan pada bagian BM 130,01 VHN untuk nilai rata-rata keseluruhan pada semua bagian uji adalah 127,05 VHN.

*Grafik Rata – Rata Hasil Pengujian Kekerasan Vickers
PWHT 925 °C dan Non PWHT (Tanpa Perlakuan)*



Gambar 4. 3 Grafik Rata – Rata Hasil Pengujian Kekerasan Vickers PWHT 925 °C

Berdasarkan gambar 4.3 pengujian diatas, dijelaskan bahwa nilai uji kekerasan pada material tanpa perlakuan memiliki nilai kekerasan pada bagian *weld metal* sebesar 235,1 VHN, untuk daerah HAZ sebesar 209,93 VHN, sedangkan untuk daerah *base metal* sebesar 197,1 VHN. Dan untuk nilai rata-rata dari semua nilai posisi uji yaitu 214,14 VHN.

Sedangkan nilai kekerasan pada material yang dilas dan diberikan sebuah perlakuan panas di suhu 925°C dan ditahan selama 1 Jam, 2 Jam, dan 3 Jam sangat bervariasi. Untuk nilai yang di *holding time* selama 1 jam memperoleh nilai kekerasan dibagian WM 234,87 VHN, bagian HAZ 175,55 VHN, dan pada bagian BM 163,27 VHN untuk nilai rata-rata keseluruhan pada semua bagian uji adalah 191,23 VHN. Untuk nilai yang di *holding time* selama 2 jam memperoleh nilai kekerasan dibagian WM 196,05 VHN, bagian HAZ 128,87 VHN, dan pada bagian BM 137,15 VHN untuk nilai rata-rata keseluruhan pada semua bagian uji adalah 154,02 VHN. Untuk nilai yang di *holding time* selama 3 jam memperoleh nilai kekerasan dibagian WM 148,5 246,26, bagian HAZ 155,99 VHN, dan pada bagian BM 148,74 VHN untuk nilai rata-rata keseluruhan pada semua bagian uji adalah 183,66 VHN.

Dari beberapa grafik diatas menunjukkan perbandingan nilai kekerasan *vickers* pada beberapa perlakuan panas dengan variasi temperatur (825°C, 875°C, dan 925°C) dan waktu tahan (1, 2, dan 3 jam). Setiap perlakuan menghasilkan nilai kekerasan yang berbeda, dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Pengaruh non PWHT :

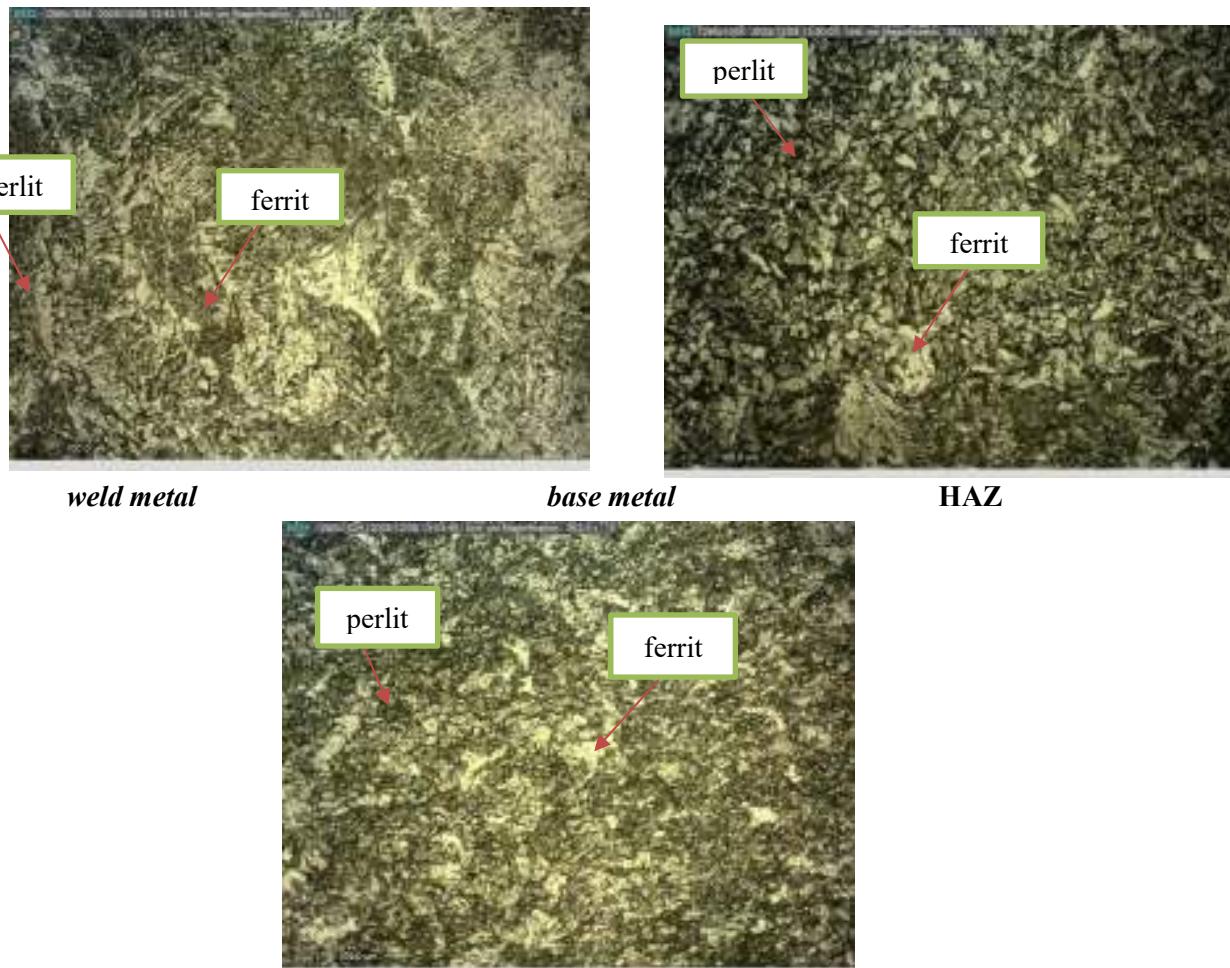
Hasil nilai rata-rata kekerasan yang diperoleh pada material telah melalui proses pengelasan tanpa mengalami perlakuan panas memiliki nilai yang relatif lebih tinggi khususnya di daerah *weld metal* dan *Heat affected zone* (HAZ) memiliki nilai rata-rata kekerasan pada material Non PWHT sebesar 214,14 VHN.

2. Pengaruh PWHT :

Hasil nilai rata-rata kekerasan yang diperoleh pada material telah melalui proses pengelasan dan telah diberi perlakuan panas memiliki nilai rata-rata kekerasan yang berbeda-beda, pada material yang telah diberi perlakuan panas dapat dilihat pada nilai kekerasan yang paling tinggi yaitu pada variasi 925°C yang ditahan selama 1 jam, sehingga mendapatkan nilai total rata-rata yaitu 191,23 VHN, sedangkan nilai kekerasan yang paling rendah terlihat pada variasi 875°C yang waktu penahanannya selama 3 jam mendapatkan nilai total rata-rata yaitu 127,05 VHN.

Data hasil Uji Struktur mikro

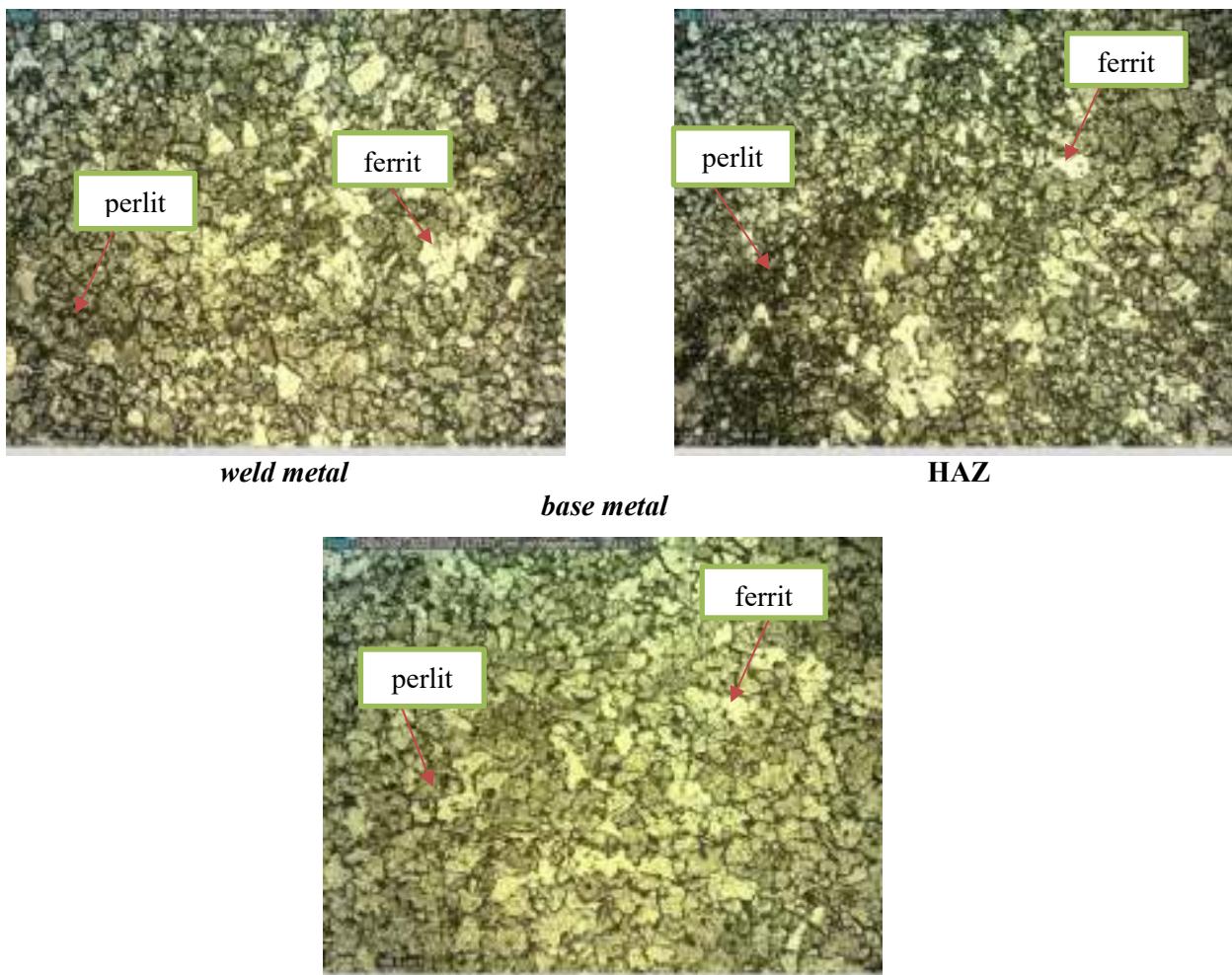
1. Hasil Pengujian Struktur Mikro Tanpa Perlakuan (Non PWHT)



Gambar 4. 4 Gambar Hasil Struktur mikro non pwht

Berdasarkan hasil uji struktur mikro pada sampel yang tidak dilakukan perlakuan panas pada bagian strukturnya (weld metal), ditemukan adanya kombinasi ferit dan perlit yang terbentuk melalui pendinginan setelah pengelasan. Karena siklus pengelasan termal yang cepat, distribusi fasa cenderung tidak merata dan ukuran butir sangat bervariasi. Pada area (HAZ), zona ini kemudian mengalami pemanasan yang kuat selama proses pengelasan, yang menyebabkan terjadinya transformasi struktural. Anda dapat melihat keberadaan ferit dan perlit dengan ukuran butiran lebih kasar. Dan pada bagian-bagiannya (base metal), struktur ferit-perlit relatif seragam dan halus. Demikianlah kondisi material baja AISI 1020 sebelum dilakukan proses pengelasan.

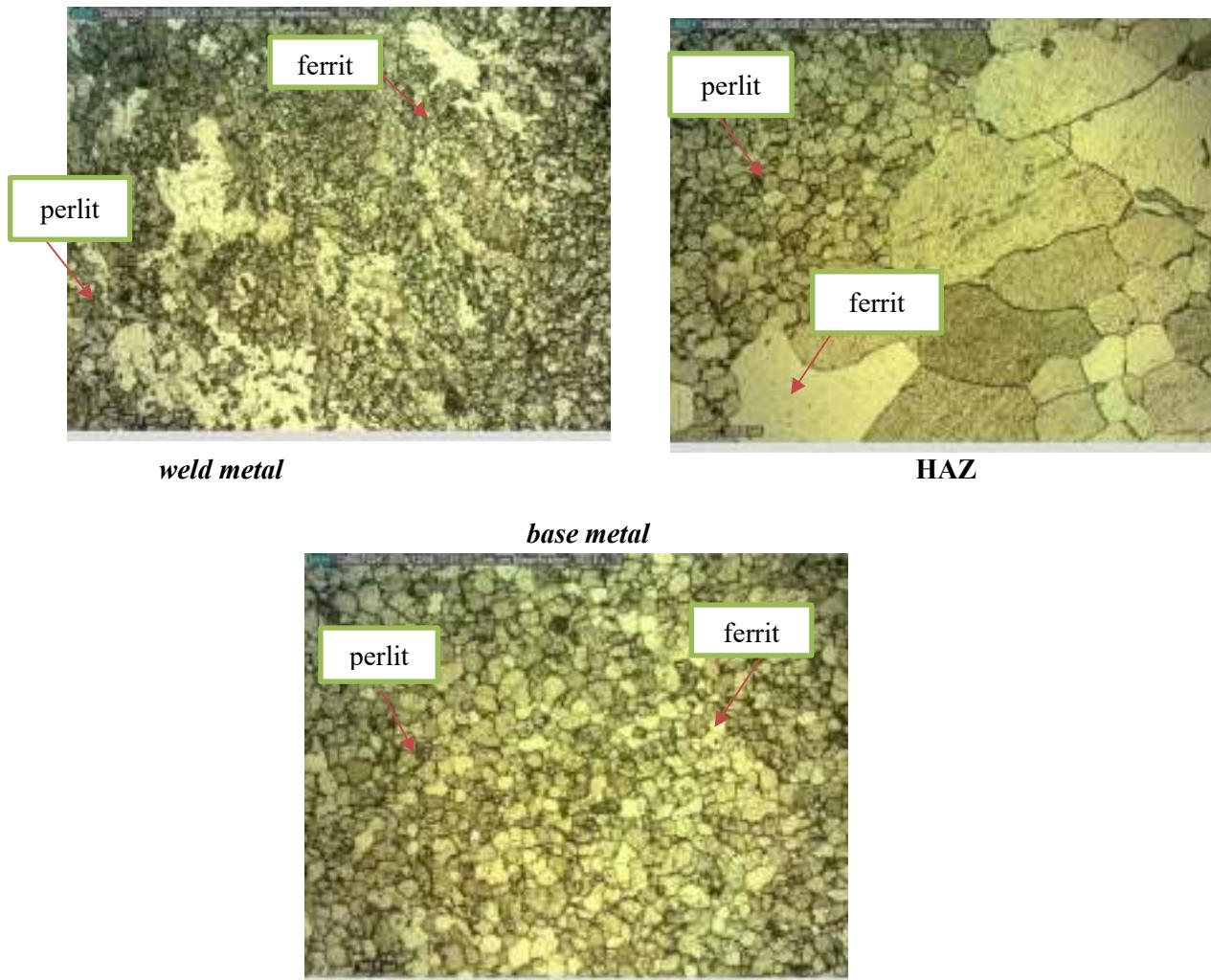
2. Hasil Pengujian Struktur Mikro Pada Material Yang Memiliki Nilai Rata-Rata Kekerasan Tertinggi Pada Variasi 925 °C Dan Ditahan Selama 1 Jam.



Gambar 4. 5 Gambar hasil struktur mikro hasil yang terbaik

Dari gambar struktur mikro di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa pada material baja AISI 1020 diberi perlakuan PWHT pada suhu 925°C dan didiamkan selama satu jam. Yang terjadi pada bagian (weld metal) adalah setelah PWHT, struktur ferit dan perlit menjadi homogen dan distribusinya lebih seragam. Proses pemanasan ulang pada suhu 925°C justru memungkinkan terjadinya rekristalisasi dan ukuran butir yang seragam. Kemudian terjadi perbaikan yang sangat signifikan pada struktur mikro di bagian (HAZ). Ferit dan perlit tersebar lebih merata dan memiliki batas butir yang lebih jelas. Ukuran butir menjadi lebih seragam, menunjukkan efektivitas PWHT dalam mengurangi heterogenitas struktural dan selanjutnya homogenitas. Dan hal terakhir yang terjadi pada bagian (base metal) adalah pada ferit perlit seragam, struktur mikronya tetap stabil dan tidak mengalami perubahan yang berarti karena jarak dari zona las sangat jauh.

3. Hasil Pengujian Struktur Mikro Pada Material Yang Memiliki Nilai Rata-Rata Kekerasan Terendah Pada Variasi 875 °C Dan Ditahan Selama 3 Jam.



Gambar 4. 6 ambar Hasil struktur mikro yang terburuk

Dari gambar struktur mikro di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa material baja AISI 1020 yang telah diberi perlakuan PWHT pada suhu 875°C dan didiamkan selama tiga jam terjadi pada bagian (*weld metal*) adalah struktur ferit dan perlit dengan ukuran butir lebih kasar dibandingkan pada suhu 925 °C. Waktu penahanan yang lama (3 jam) menyebabkan pertumbuhan butir berlebih (pengkasaran butir). Kemudian terjadi sebuah pertumbuhan butir yang signifikan dengan batas butir pada penampang (HAZ) yang lebih besar. Struktur ferit mendominasi, meskipun sebaran perlitnya kurang optimal. Dan yang akhirnya terjadi pada bagian tersebut (*base metal*) adalah struktur mikronya relatif tidak berubah, namun ada kemungkinan tumbuhnya butiran sedikit karena waktu pemanasan yang sangat lama.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dianalisis pada penelitian yang membahas tentang pengaruh variasi temperatur serta waktu tahan pada proses *post weld heat treatment* (PWHT) baja aisi 1020 untuk mengetahui sifat mekanis dan struktur mikronya, sehingga dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengaruh *Non Post Weld Heat Treatment (Non PWHT)* terhadap nilai kekerasan.

Material yang tidak mengalami perlakuan panas setelah proses pengelasan mempunyai nilai kekerasan yang paling tinggi, khususnya pada daerah logam las dan HAZ yang disebabkan oleh terbentuknya martensit akibat proses pengelasan. Nilai rata-rata total material yang belum mengalami perlakuan panas adalah 214,14 VHN yang menunjukkan bahwa material tersebut sangat keras namun dapat menjadi rapuh.

2. Pengaruh *Post Weld Heat Treatment (PWHT)* terhadap nilai kekerasan

Meskipun seluruh material yang mengalami proses perlakuan panas setelah pengelasan mengalami penurunan nilai kekerasan material, namun proses PWHT sangat efektif dalam mengubah struktur mikro yang awalnya keras menjadi struktur yang lebih stabil. Menurunnya nilai kekerasan material PWHT disebabkan adanya proses tempering dan terjadi transformasi struktur mikro dari martensit ke fasa yang lebih stabil seperti ferit dan perlit.

3. Pengaruh variasi dan waktu tahan pada proses PWHT

Variasi temperatur dan waktu penahanan mempunyai pengaruh yang besar terhadap sifat mekanik baja AISI 1020 pada pengelasan SMAW terutama pada nilai kekerasan di area logam las, zona pengaruh panas (HAZ) dan logam dasar. Hal ini dapat dibuktikan dengan adanya perbedaan nilai kekerasan sangat signifikan antara material yang belum diberi perlakuan panas dengan material yang telah diberi perlakuan panas setelah pengelasan. Fluktuasi suhu dan waktu penahanan yang ditentukan menghasilkan hasil tertinggi dan terendah untuk hasil tertinggi yaitu pada suhu 925 °C dan ditahan selama 1 jam memperoleh nilai rata-rata keseluruhan sebesar 191,23 VHN, sedangkan hasil yang terendah yaitu pada suhu 875 °C dan ditahan selama 3 jam dan memperoleh nilai rata-rata sebesar 127,05 VHN.

4. Penjelasan Grafik Nilai Kekerasan *WELD METAL* pada suhu 925°C ditahan selama 3 jam dan Tanpa Perlakuan Panas.

Berdasarkan hasil uji kekerasan Vickers, nilai kekerasan bagian logam las dengan perlakuan PWHT mencapai nilai 246,26 HVN pada suhu 925 °C selama 3 jam, sedangkan nilai tanpa PWHT sekitar 235,10 HVN. Peningkatan logam las setelah perlakuan PWHT pada suhu 925 °C dan dipertahankan pada suhu tersebut selama tiga jam disebabkan oleh perubahan dan penghalusan struktur mikro akibat perlakuan panas. Pada suhu 925 °C, material mengalami proses rekristalisasi dan austenitisasi parsial, sehingga struktur hasil pengelasan yang awalnya tidak homogen menjadi lebih stabil. Dan waktu penahanan selama 3 jam memberikan kesempatan pada atom karbon untuk berdifusi dengan merata diseluruh logam las. Proses ini mengarah pada distribusi fase yang lebih homogen. Setelah pendinginan, struktur mikro cenderung terdiri dari ferit-perlit halus atau fase lain yang lebih stabil yang berkontribusi terhadap nilai kekerasan. Dari penjelasan tersebut dapat disimpulkan bahwa PWHT pada suhu 925 °C dan waktu penahanan 3 jam memberikan kondisi paling efektif dalam meningkatkan kekerasan logam las dibandingkan kondisi tanpa PWHT. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan panas pasca las (PWHT) tidak selalu menurunkan nilai kekerasan material, namun pada kondisi tertentu justru dapat meningkatkan kekerasan dengan membentuk struktur mikro yang lebih halus dan homogen.

Saran

Merujuk pada kesimpulan diatas, terdapat beberapa saran yang dapat dilaksanakan pada peneltian selanjutnya yakni sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui sifat mekanis pada baja AISI 1020 yang lebih efektif, disarankan menambahkan uji impact agar memberikan hasil yang lebih akurat.
2. Untuk proses pengelasannya harus dilakukan oleh welder yang bersertifikat resmi, agar tidak terjadi kesalahan waktu proses pengelasan.

REFERENSI

- [1] A Assagaf, I. P., Ariyanto, Nurhidayat, Ilmal Yaqin, R., & Prasetyo, A. B. (2023). Analisa Hasil Pengelasan Pada Posisi 1G Baja St37 Dengan Metode Fault Tree Analysis. *Steam Engineering*, 5(1), 44–52. <https://doi.org/10.37304/jptm.v5i1.10857>
- [2] Arifah, A., & Ruswanto, S. (2020). Efek Post Weld Heat Treatment terhadap Sifat Mekanik AISI 316 Hasil Pengelasan GTAW. *Jurnal Mekanik Terapan*, 1(2), 81–87. <https://doi.org/10.32722/jmt.v1i2.3354>
- [3] Azwinur, A., A. J., M. Y., & Zulkifli, Z. (2020). Pengaruh Media Pendingin terhadap Kekerasan dan Ketangguhan Hasil Pengelasan Material AISI 1050 pada Proses las MAG. *Jurnal POLIMESIN*, 18(2), 124–130.
- [4] Damai, R., Rijanto, A., & Hakim, L. (2022). Analisis Pengaruh Media Pendingin Pada Pengelasan SMAW Terhadap Kekuatan Tarik Baja Karbon Rendah Plate Baja Aisi 1020. *Majamecha*, 4(1), 51–59. <https://doi.org/10.36815/majamecha.v4i1.1321>
- [5] Dayera, D., Salim, A. T. A., & Cahyono, M. H. (2022). Karakteristik Sambungan Pengelasan SMAW 3G Plate Variasi Arus Listrik Material ST36. *JEECAE (Journal of Electrical, Electronics, Control, and Automotive Engineering)*, Vol. 7 No.(1), 1–6.
- [6] Dewangan, S., Selvaraj, S. K., Karthikeyan, B., Adane, T. M., Chattopadhyaya, S., Królczyk, G., & Raju, R. (2022). Metallographic Investigation on Postweld Heat-Treated 0.21% C-1020 Steel Plates Joined by SMAW Method. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2022, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2022/9377591>
- [7] Fitri, M., Sukiyono, B., & Simanjuntak, M. L. (2019). Pengaruh Waktu Penahanan pada Perlakuan Panas Paska Pengelasan terhadap Ketangguhan Sambungan Las Baja. *SINTEK JURNAL: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 13(2), 80. <https://doi.org/10.24853/sintek.13.2.80-86>
- [8] Habibi, M., Ilhamda, R., Muhammad, & Putra, R. (2024). Analisa Komposisi Kimia Dan Struktur Mikro Hasil Proses Pack Carburizing Menggunakan Arang Kulit Singkong Pada Baja Aisi 1020. *Mechonversio: Mechanical Engineering Journal*, 6(2), 76–83. <https://doi.org/10.51804/mmej.v6i2.16460>
- [9] Hasil Karya Ilmiah, J., AlqarniM, W., Budiarto, U., & Wibawa Budi Santosa, A. (2024). *JURNAL TEKNIK PERKAPALAN Pengaruh Variasi Suhu PWHT Normalizing Pada Instalasi I Bracket Pasca Pengelasan FCAW*. c, 1–8.
- [10] Heinrich, T., Kaetzl, K., Libra, J. A., & Hoffmann, T. (2023). Influence of Thermochemical Conversion Technologies on Biochar Characteristics from Extensive Grassland for Safe Soil Application. *Energies*, 16(4). <https://doi.org/10.3390/en16041896>
- [11] Hilaqil S, M. F., & Amiruddin, W. (2024). *JURNAL TEKNIK PERKAPALAN 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.
- [12] Hristo Anggigi, Untung Budiarto, A. F. Z. (2019). Analisa Pengaruh Temperatur Normalizing Pada Sambungan Las SMAW (Shielded Metal Arc Welding) Terhadap Kekuatan Tarik , Tekuk dan Mikrografi Baja Karbon Rendah. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 7(2), 504–513.
- [13] INSTRON. (2024). Impact Charpy. <Https://Www.Instron.Com/En->

- Us/Resources/Glossary/Charpy?Region=North%20America&lang=en-US, 7(1).
- [14] Munir, M. M., Mukhlis, M., R, I. K., B, H., A, M. S., A, E., & W, A. A. (2019). Effect of Welding Sequence on Multi Pass Temper Bead Welding Joint of Pt .Inka Bogie Lrt on Distortion, Micro Structure and Hardness. *Jurnal Integrasi*, 11(2), 103–111. <https://doi.org/10.30871/ji.v11i2.1662>
 - [15] Nurhaji, S., Abizar, H., Abdillah, H., Ramdani, S. ., & Alimin. (2020). *Model pembelajaran conversation analysis and variation theory approach (CAVTA) pada pembelajaran pengelasan smaw posisi If.* 11(1), 51–66.
 - [16] Pangestu, D. A., Hastuti, S., Pramono, C., & Nurdin, A. (2024). *PENGARUH WAKTU PROSES THERMAL SPRAY ALUMINIUM TERHADAP LAJU KOROSI DAN STRUKTUR MORFOLOGI BAJA AISI.* 5(3).
 - [17] Panggabean, C. W., Budiarto, U., & Santosa, A. W. (2021). Pengaruh Variasi Arus Dan Polaritas Terhadap Kekuatan Tarik, Tekuk dan Kekerasan Hasil Las SMAW (Shielded Metal Arc Welding) Pada Baja SS 400. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 9(4), 350–359. <http://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
 - [18] Prayitno, H., Bahrawi, A., Willy, S., Wirawan, A., Studi, P., Pesawat, T., & Surabaya, P. P. (2024). *Pengembangan Keterampilan Las Listrik SMAW Pada Siswa Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) Di Workshop Politeknik Penerbangan Surabaya ** Correspondence Author.* 213–227.
 - [19] Purbonugroho, H. D. A., Suprihanto, A., & Haryadi, G. D. (2023). Analisis Metode Pengelasan SMAW Terhadap Laju Korosi dan Nilai Kekerasan Pada Baja Karbon Rendah AISI 1020. *Jurnal Teknik Mesin*, 11(4), 227–234.
 - [20] Resiana, N. H., & Widayanti, A. (2025). *Karakteristik Material RCA , Fly Ash , dan Agregat Alam sebagai Alternatif Material pada Campuran Perkerasan AC- BC Material Characteristics of RCA , Fly Ash and Natural Aggregates as Alternative Materials in AC-BC Pavement Mixtures.* 3(1), 53–61.
 - [21] Santosa, A. W. B., Bungkang, R. B., & Mursid, O. (2022). Analisa Pengaruh Metode Hot Dip Galvanizing Dengan Variasi Temperatur dan Waktu Pencelupan Terhadap Laju Korosi Pipa Air Laut Kapal Material Baja AISI 1020. *Teknik*, 43(2), 202–210. <https://doi.org/10.14710/teknik.v43i2.45612>
 - [22] Yahya, R., & Suhadi, A. (2024). *Analisa Kerusakan Knuckle Pin dan Knuckle Rod Lengan Meja Inspeksi.* 34(3), 46–56.

HALAMANINI SENGAJA DIKOSONGKAN