

Pengaruh Variasi Suhu *Preheat* Pengelasan GMAW terhadap Sifat Mekanik dan Metalografi Baja S355J2 pada *Container Flat Top Wagon 50 Feet*

Ahimsa Raihan Alwikan Abhipraya¹, Ravendra Muhammad Galang Fikri², Fikriawan Wahyunda Putra³, Dito Oky Syahrial⁴, Muza Rizqina Ramadhanti⁵, Fislam Aulia Rahman⁶, Deni Nur Fauzi⁷, Alfi Tranggono Agus Salim⁸, Dennis Priyangga⁹

^{1,2,3,5,8}Perkeretaapian, Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Madiun, Madiun, Jawa Timur, Indonesia

^{4,6,7}Teknologi Rekeyasa Otomotif, Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Madiun, Madiun, Jawa Timur, Indonesia

⁹Divisi Pengelolaan Kualitas dan Dukungan Produk, PT INKA, Madiun, Jawa Timur, Indonesia

Corresponding Author : deninurfauzi@pnm.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini dilatarbelakangi hasil observasi pada proses produksi *underframe Container Flat Top Wagon 50 Feet* di PT INKA (persero) sebelum dilakukan pengelasan GMAW pada material, dilakukan *preheat* yang teridentifikasi permasalahan. Permasalahan penelitian ini adalah parameter suhu *preheat* yang tidak tentu berdampak distorsi pada material sehingga mempengaruhi sifat mekanik material. Solusi permasalahan ini dilakukan penelitian yang menentukan pengaruh parameter suhu *preheat* yang paling sesuai untuk *Process Instruction* (PI). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan menentukan temperatur *preheat* yang sesuai untuk produksi *underframe Container Flat Top Wagon 50 Feet* di PT INKA (persero). Metode penelitian ini adalah metode eksperimental kuantitatif, objek penelitian ini adalah material baja S355J2 yang dilakukan *preheat* dengan variasi suhu *preheat* 200-225°C, 300-325°C dan *non-preheat* dengan pengelasan GMAW. Hasil penelitian ini adalah *preheat* suhu 300-325°C menghasilkan nilai kekuatan tarik dan kekerasan tertinggi. Kesimpulan dari penelitian ini adalah peningkatan temperatur *preheat* menghasilkan kekuatan tarik dan kekerasan meningkat, karena presentase fasa perlit bertambah. **Kata Kunci:** baja S355J2, *preheat*, pengelasan GMAW, sifat mekanik, suhu.

ABSTRACT

This research was motivated by observations of the production process of 50-foot Container Flat Top Wagons at PT INKA (Persero) prior to GMAW of the material, where preheating was identified as a problem. The research problem is that the uncertain preheating temperature parameters cause distortion in the material, thereby affecting its mechanical properties. The solution to this problem involves conducting research to determine the most suitable preheating temperature parameters for the Process Instruction (PI). This study aims to analyze and determine the appropriate preheating temperature for the production of 50-foot Container Flat Top Wagons at PT INKA (Persero). The research method used is a quantitative experimental method, with the research object being S355J2 steel material subjected to preheating at varying temperatures of 200-225°C, 300-325°C, and non-preheating, followed by GMAW welding. The research results indicate that preheating at 300-325°C yields the highest tensile strength and hardness values. The conclusion of this study is that increasing the preheating temperature results in increased tensile strength and hardness, as the percentage of pearlite phase increases. **Keywords:** S355J2 steel, preheating, GMAW, mechanical properties, temperature.

1 PENDAHULUAN

PT INKA (Persero) memproduksi gerbang data *container flat top wagon 50 feet* yang diekspor ke Selandia Baru. Proses produksi mengalami keterlambatan karena keretakan pada sambungan las *underframe* akibat metode pengelasan *gas metal arc welding* (GMAW) yang rawan keretakan. Untuk mengatasinya dilakukan *preheat* agar suhu logam dasar meningkat dan struktur mikro sesuai kebutuhan, sehingga mengurangi distorsi dan tegangan sisa yang berlebihan [1]. *Underframe container flat top wagon 50 feet* memiliki material utama baja S355J2 karena struktural dengan tegangan tarik yang tinggi, tetapi untuk mendapatkan hasil yang optimal dilakukan *preheat* dengan suhu yang tetap.

Variasi suhu *preheat* pada material baja S355J2 dalam pembuatan *container flat top wagon 50 feet* adalah yang pertama kali dilakukan di PT INKA (Persero). Penggunaan *preheat* dengan pengelasan GMAW di area ini belum banyak dilakukan secara spesifik sehingga penelitian ini menjadi kajian terkini terkait optimalisasi *preheat* [2].

Belum terdapat parameter suhu *preheat* yang tepat pada proses produksi *underframe*, sehingga belum diketahui batas maksimal suhu *preheat* yang efektif. Selain itu, penggunaan metode *preheat brander* pada material baja S355J2 belum dijelaskan secara lengkap dan memerlukan penelitian lebih lanjut.

Preheat merupakan bagian dari *heat treatment* yang berfungsi memanaskan material sebelum pengelasan untuk menurunkan suhu gradien dan mengurangi

distorsi [3]. *Preheat* juga mempengaruhi sifat mekanik dan struktur mikro material [4]. Baja S355J2 memiliki karakteristik struktur unggul, namun perlakuan suhu *preheat* perlu dikontrol agar sifat mekanik optimal.

Penelitian menggunakan variasi suhu *preheat* yang diaplikasikan dengan metode *brander* pada material baja S355J2 dan proses pengelasan GMAW. Pengujian dilakukan dengan uji tarik untuk sifat tarik, uji kekerasan *vickers* untuk kekerasan, serta analisis struktur mikro dan makro material. Variasi suhu *preheat* dijelaskan untuk menentukan pengaruhnya terhadap sifat mekanik dan metalografi[4].

Keterbaruan penelitian ini terletak pada pengujian variasi suhu *preheat* pada baja S355J2 khususnya pada *container flat top wagon 50 feet* yang menggunakan metode *brander*, dilakukan pertama kali di PT INKA (Persero). Riset ini mengembangkan rekomendasi suhu *preheat* berdasarkan hasil pengujian untuk proses produksi industri perkeretaapian.

2 TINJAUAN LITERATUR

2.1 Container Flat Top Wagon 50 Feet

Underframe container flat top wagon 50 feet produk PT INKA (Persero) diekspor ke Australia dan dipesan oleh KiwiRail, yang diproduksi dari November 2022 hingga April 2023 [2]. *Underframe container flat top wagon 50 feet* menggunakan baja S355J2 sebagai material utama dalam konstruksi *underframe* kereta. *Underframe* adalah bagian struktural utama dari kereta yang berfungsi untuk menopang beban dari bantalan. *Underframe* menerima beban statis dan dinamis yang timbul karena penyimpangan pada lintasan.



Gambar 1. *Container Flat Top Wagon 50 Feet Intermediate Goods* (a) dan *Finished Goods* (b)

2.2 Baja S355J2

Baja S355J2 adalah jenis baja struktural yang ditandai dengan huruf "S" di S355J2 dan diproduksi sesuai dengan standar ENISO 10025-2. Baja struktural terdiri dari besi dan karbon. Baja S355J2 memiliki sifat mekanik yang ditunjukkan pada tabel.

Tabel 1. Sifat Baja S355J2

Grade	Yield Strength min (MPa)	Ultimate Tensile Strength (MPa)	Elongation min (%)	Hardness (HV)
S355J2	355	470-630	17	155±5

2.3 Gas Metal Arc Welding (GMAW)

Pengelasan GMAW adalah teknik penyambungan logam yang memanfaatkan energi panas yang diubah dari energi listrik sebagai sumber panas [5]. Dalam proses ini, kawat las dalam bentuk gulungan digunakan sebagai elektroda, sedangkan gas pelindung disuplai untuk melindungi logam mereka dari kontaminasi selama proses pengelasan. Proses pengelasan GMAW terjadi karena perpindahan ion antara anoda dan katoda dalam logam dasar dan logam pengisi, yang memicu pembentukan panas tinggi hingga dua logam meleleh [6].

2.4 Preheat

Pemanasan awal adalah proses memanaskan logam induk sebelum pengelasan. Tujuan pemanasan awal adalah untuk mengurangi perbedaan suhu antara area las dan area sekitarnya, sehingga mengurangi risiko retak dan meningkatkan kualitas sambungan las. Dalam pengelasan busur, suhu tinggi sumber panas menyebabkan perbedaan suhu antara area las panas dan bahan induk dengan suhu yang lebih rendah, menghasilkan ekspansi di sekitar area pengelasan. Proses pemanasan awal membantu mengurangi perbedaan suhu, sehingga mengurangi potensi cacat seperti distorsi dan tegangan sisa yang berlebihan [7].

2.5 Tensile Test

Uji tarik adalah uji mekanis untuk menentukan karakteristik suatu material dengan menarik spesimen hingga gagal. Pengujian ini bertujuan untuk mengidentifikasi sifat mekanik material, seperti kekuatan tarik tertinggi (MPa), kekuatan luluh (MPa), dan perpanjangan (%) [8].

2.6 Vickers Hardness Test

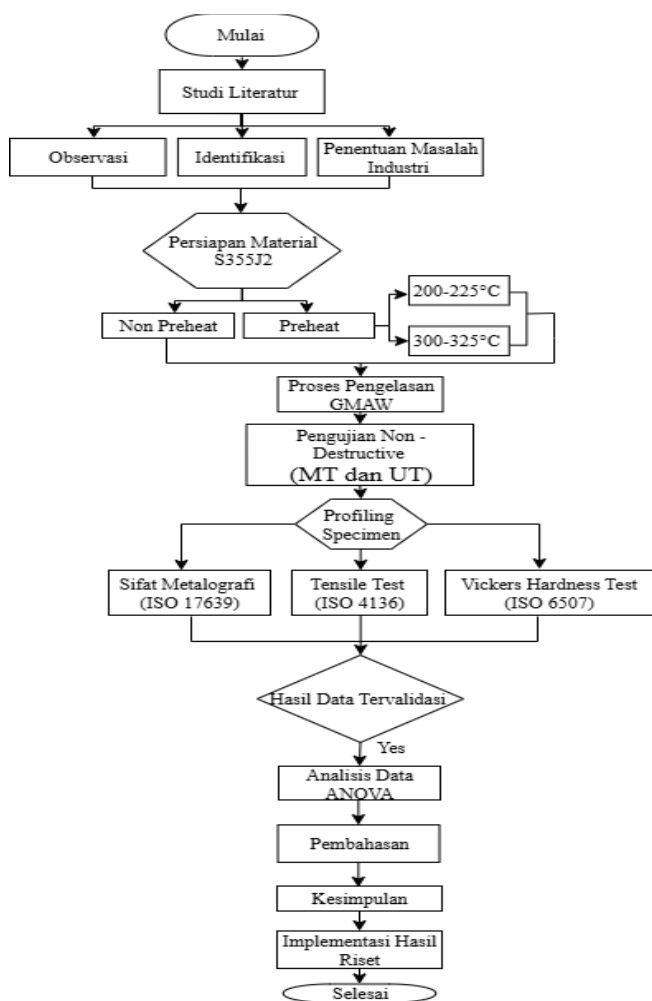
Uji kekerasan *Vickers* adalah pengujian untuk mengidentifikasi ketahanan suatu material terhadap indentor kecil berbentuk piramida dengan beban tertentu, menghasilkan nilai kekerasan *Vickers* (HV) [9].

2.7 Sifat Metalografi

Pengujian makro dan mikro sesuai ISO 17639 dilakukan untuk menyalakan struktur dan sifat sambungan las. Pengujian makro menggunakan mikroskop digital dengan pembesaran hingga 50× untuk mengukur ketebalan dan lebar Zona Terpengaruh Panas (HAZ) serta karakteristik fusi sambungan [10]. Pengujian mikro menggunakan pembesaran 500× untuk mengidentifikasi struktur butir, morfologi butir, dan distribusi fasa pada logam. Pengujian kedua ini penting untuk menilai kualitas las dan korelasinya dengan perubahan mikrostruktur dan kinerja material mekanik [11].

3 METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Uji Bahan Politeknik Negeri Madiun dengan dukungan konsultasi dari mentor Divisi *Welding Technology* PT INKA (Persero). Proses pengujian meliputi *tensile test*, *vickers hardness test*, pengujian terkait sifat metalografi yang bertujuan untuk memperoleh data terukur mengenai pengaruh variasi suhu *preheat* terhadap sifat mekanik dan metalografi baja S355J2 pada *container flat top wagon 50 feet*.



Gambar 2. Tahapan Riset

Sebelum pelaksanaan eksperimen, dilakukan studi literatur dan observasi lapangan untuk mengidentifikasi permasalahan serta variabel riset berdasarkan referensi jurnal, artikel buku, dan survei industri terkait. Material baja S355J2 dipersiapkan dan dipotong sesuai ukuran 250 mm x 125 mm x 12 mm, kemudian dilakukan proses *preheat* menggunakan metode *brander* dengan variasi suhu *non-preheat*, 200–225°C, dan 300–325°C. Proses pengelasan Gas *Metal Arc Welding* (GMAW) dilakukan pada spesimen dengan sambungan *V groove* sudut 30°.

Setelah pengelasan, spesimen diuji menggunakan *Non Destructive Test* (*visual test*, *ultrasonic test*, *magnetic particle test*) untuk memastikan kualitas sambungan las sesuai standar. Spesimen yang lolos selanjutnya menjalani pengujian *tensile test*, *vickers hardness test*, *macro examination*, dan *micro examination* untuk mengukur sifat mekanik dan metalografi. *Tensile test* dilakukan sesuai ISO 6892:2009 untuk mendapatkan nilai *yield strength*, *ultimate tensile strength*, dan *elongation*. Pengujian kekerasan memakai metode *Vickers* dengan beban 0,98N pada 15 titik indentasi untuk menganalisis variasi kekerasan akibat perbedaan suhu *preheat*. Pemeriksaan makro dan mikro bertujuan menilai bentuk, lebar zona fusi las, dan struktur mikro serta persentase butir austenit melalui pengamatan mikroskopik pada pembesaran 500x setelah etsa dengan cairan nital 4%.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas hasil eksperimen pengaruh variasi suhu *preheat* (*non-preheat*, 200–225°C, 300–325°C) pada baja S355J2 dengan pengelasan GMAW terhadap sifat mekanik dan metalografi. Pengujian meliputi *tensile test*, *Vickers hardness test*, *macro examination*, dan *micro examination*, yang dianalisis menggunakan *One Way ANOVA* untuk menentukan pengaruh suhu *preheat* serta menemukan suhu optimal bagi produksi *container flat top wagon 50 feet* di PT INKA [12].

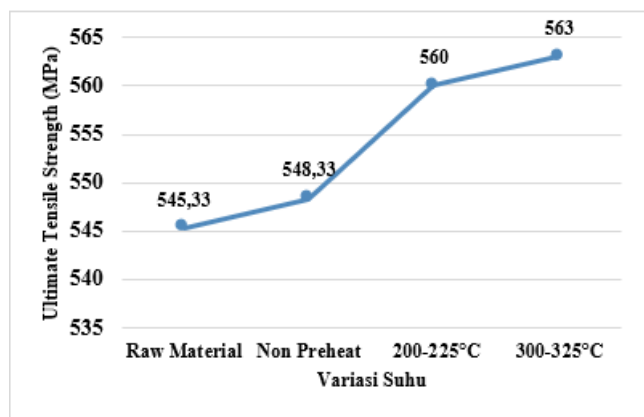
4.1 Hasil *Tensile Test*

Uji tarik adalah metode pengujian mekanik untuk menentukan karakteristik material dengan menarik spesimen hingga patah, mengukur kekuatan

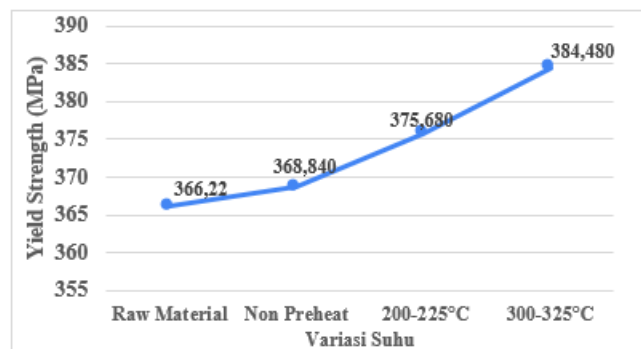
luluh, kekuatan tarik ultimit, dan perpanjangan sesuai standar ISO 4136.



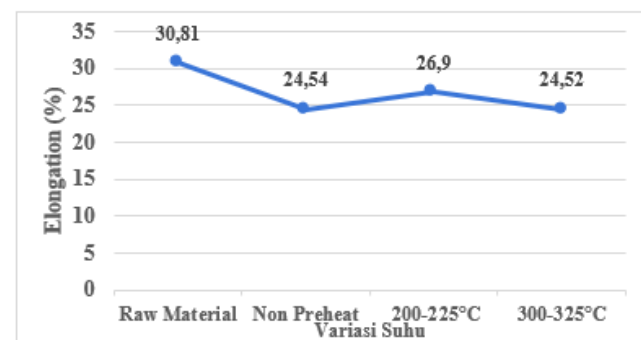
Gambar 3. Patahan Spesimen *Tensile Test*



Gambar 4. Grafik *Ultimate Tensile Strength*



Gambar 5. Grafik *Yiled Strength*



Gambar 6. Grafik *Elongation*

Proses *preheat* terbukti memiliki pengaruh signifikan terhadap peningkatan kekuatan tarik (tensile strength) dan ketahanan terhadap pendinginan plastis pada material baja S355J2, yang merupakan baja struktural berkarbon sedang dengan ketangguhan tinggi. Pemanasan awal ini membantu menstabilkan distribusi panas sebelum proses pengelasan dimulai, sehingga perbedaan temperatur antara daerah las (weld metal), daerah terpengaruh panas (HAZ), dan logam induk (base metal) menjadi lebih kecil. Dengan demikian, gradien suhu yang lebih landai mampu mengurangi tegangan termal yang biasanya memicu distorsi dan retak akibat pendinginan cepat [12]. Hasil pengujian menunjukkan bahwa meskipun terjadi penurunan kecil pada material keuletan, kualitas sambungan secara keseluruhan meningkat, memberikan ketebalan lebih tinggi terutama untuk aplikasi struktural yang membutuhkan kestabilan dan kekuatan las optimal [13]. Data ini menunjukkan bahwa variasi suhu *preheat* berperan penting dalam meningkatkan kinerja sambungan mekanis pengelasan pada baja S355J2.

Tabel 2 Hasil Analisis Data ANOVA Tensile Test

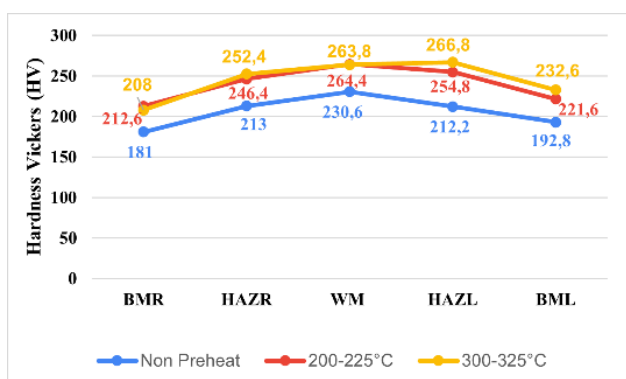
ANOVA					
UTS	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	640.899	3	213.633	10.065	.004
Within Groups	169.803	8	21.225		
Total	810.703	11			
Yield Strength					
Between Groups	790.643	3	263.548	4.466	.040
Within Groups	472.142	8	59.018		
Total	1262.785	11			
Elongation					
Between Groups	79.171	3	26.390	5.919	.020
Within Groups	35.668	8	4.458		
Total	114.839	11			

Dari hasil uji ANOVA dapat disimpulkan bahwa ada efek yang signifikan secara statistik dari perlakuan terhadap sifat mekanis yang diuji. Untuk UTS, nilai signifikansi dari $p = 0,004 (< 0,05)$ menunjukkan perbedaan yang signifikan antar kelompok. Demikian pula, kekuatan luluh menunjukkan nilai signifikansi $p = 0,040 (< 0,05)$, menegaskan bahwa variasi memiliki pengaruh yang signifikan. Selain itu, parameter perpanjangan juga menghasilkan nilai signifikansi $p = 0,020 (< 0,05)$, yang berarti bahwa variasi antar kelompok secara signifikan mempengaruhi keuletan material. Hasil ini menunjukkan bahwa parameter pengelasan yang diterapkan berkontribusi pada variasi yang signifikan dalam perilaku mekanis material.

4.2 Hasil *Vickers Hardness Test*

Pengujian kekerasan *Vickers* sesuai ISO 6507 dilakukan dengan beban 0,98 N pada 15 titik di lima

daerah utama spesimen. Nilai rata-rata kekerasan dari variasi suhu *preheat* non-*preheat*, 200–225°C, dan 300–325°C disajikan dalam grafik perbandingan antar daerah pengujian.



Gambar 7. Grafik Perbandingan

Kekerasan tertinggi ditemukan di daerah logam las yang meningkat seiring peningkatan suhu *preheat* akibat fusi filler metal dan pendinginan cepat, membentuk struktur mikro lebih keras [14]. Zona HAZ juga mengalami peningkatan kekerasan yang signifikan akibat perubahan struktur mikro dari pengelasan panas [15]. Sedangkan daerah base metal memiliki kekerasan terendah karena tidak mengalami fusi atau perubahan struktur signifikan, menunjukkan *preheat* efektif meningkatkan kekerasan permukaan las [16].

Tabel 1 Hasil Uji ANOVA

ANOVA					
Hardness result BM 1					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4538.829	2	2269.414	30.694	.001
Within Groups	443.613	6	73.936		
Total	4982.442	8			
Hardness result BM 2					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3010.469	2	1505.234	25.110	.001
Within Groups	359.673	6	59.946		
Total	3370.142	8			
Hardness result HAZ 1					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	24177.502	2	12088.751	278.037	.000
Within Groups	260.873	6	43.479		
Total	24438.376	8			
Hardness result HAZ 2					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	22139.682	2	11069.841	40.020	.000
Within Groups	1659.647	6	276.608		
Total	23799.329	8			
Hardness result WM					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1258620.667	2	629310.333	56.300	.000
Within Groups	67067.333	6	11177.889		
Total	1325688.000	8			

Dari hasil uji ANOVA, dapat disimpulkan bahwa perlakuan tersebut memiliki efek yang signifikan secara statistik terhadap nilai kekerasan di semua zona

yang diuji. Untuk wilayah BM1, nilai signifikansi $p = 0,001 (< 0,05)$ menunjukkan perbedaan yang signifikan antar kelompok. Demikian pula, BM2 menunjukkan nilai signifikansi $p = 0,001 (< 0,05)$, mengkonfirmasi adanya variasi yang signifikan. Selain itu, HAZ1 dan HAZ2 menghasilkan nilai signifikansi $p = 0,000 (< 0,05)$, yang menunjukkan bahwa proses pengelasan sangat mempengaruhi kekerasan di zona yang terkena panas. Terakhir, wilayah WM juga menyajikan nilai signifikansi $p = 0,000 (< 0,05)$, membuktikan bahwa parameter pengelasan yang diterapkan secara signifikan mempengaruhi kekerasan logam las. Temuan ini menunjukkan bahwa variasi dalam kondisi pengelasan berkontribusi pada perbedaan substansial dalam distribusi kekerasan di berbagai wilayah sambungan las.

4.3 Sifat Metalografi

Pada zona las dan HAZ tanpa *preheat*, komposisi mikrostruktur relatif seimbang antara ferrit (sekitar 37-40%) dan perlit (60-62%). Peningkatan suhu *preheat* hingga 300-325°C menyebabkan dominasi perlit meningkat signifikan, hingga mencapai 88,31% pada zona las dan 79,21% pada logam dasar. Perubahan ini meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik karena perlit memiliki sifat mekanik lebih tinggi dibandingkan ferrit [16]. Pengujian makro menunjukkan lebar fusi las meningkat seiring suhu *preheat*, memperluas area pencampuran logam las dan logam dasar serta menghasilkan transisi yang lebih homogen tanpa cacat. Secara keseluruhan [13], *preheating* memperbaiki kualitas sambungan las melalui perubahan mikrostruktur dan distribusi panas yang lebih stabil [14].

5. KESIMPULAN

Peningkatan suhu *preheat* pada proses pengelasan baja GMAW S355J2 berpengaruh signifikan terhadap peningkatan sifat mekanik, khususnya kekuatan tarik dan kekerasan material. *Preheat* pada rentang suhu 300–325°C menghasilkan nilai kekuatan tarik dan kekerasan tertinggi, yang disebabkan oleh peningkatan persentase fasa perlit dalam struktur mikro. Selain itu, peningkatan suhu *preheat* juga memperluas lebar zona fusi las dan menghasilkan transisi yang lebih homogen antara logam dasar dan logam las tanpa cacat. Dengan demikian, pengendalian suhu *preheat* yang tepat dapat meningkatkan kualitas sambungan las, mengurangi distorsi, serta meningkatkan kinerja dan ketahanan struktur baja pada produksi *Container Flat Top Wagon 50 Feet*.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada pihak Direktorat Akademik Pendidikan Tinggi Vokasi (Dit. APTV) yang telah memberikan dana untuk Pekan

Kreativitas Mahasiswa (PKM) 2025. Kami mengucapkan terima kasih kepada PT INKA (Persero) dan Lab. Uji Bahan Gedung D Politeknik Negeri Madiun yang memfasilitasi kegiatan riset ini. Tidak lupa terima kasih juga kami sampaikan kepada rekan-rekan anggota yang turut bersinergi dalam melaksanakan riset ini hingga usai.

REFERENSI

- [1] D. Wicaksono and M. N. Ilman, "Pengaruh Temperatur *Preheat* terhadap Distorsi dan Struktur Mikro Sambungan Las Tak Sejenis antara Baja Karbon ASTM A36 dan Baja Tahan Karat Austenitik AISI 304 Menggunakan GMAW," *Technologic*, vol. 12, no. 1, Feb. 2022, doi: 10.52453/t.v12i1.306.
- [2] D. H. Pratama, "Dokumen Observasi dan Identifikasi PT INKA (Persero)," PT INKA (Persero), Madiun, 2024.
- [3] S. Ramadhani, B. Basyirun, R. Rusiyanto, and S. Sunyoto, "Pengaruh Variasi Temperatur *Preheat* Pada Pengelasan Smaw Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan Baja Karbon SS400," *J. Din. Vokasional Tek. Mesin*, vol. 7, no. 1, pp. 12–20, Apr. 2022, doi: 10.21831/dinamika.v7i1.46929.
- [4] M. S. Shaikh, M. S. Shajib, M. A. Kader, D. Mondal, and Md. A. Islam, "Effect of *Preheating* on Microstructure and Mechanical Properties in Mild Steel Arc Weld Joints," *Int. J. Automot. Mech. Eng.*, vol. 22, no. 1, pp. 12133–12145, Mar. 2025, doi: 10.15282/ijame.22.1.2025.14.0931.
- [5] J. F. Lancaster, *Metallurgy of welding*, 6. ed., Repr. Cambridge: Woodhead Publ, 2007.
- [6] T. L. E. Company, "Gas Metal Arc Welding Guide".
- [7] E. Nuraliansyah, "Pengaruh Proses *Preheat* Dan Postheat Pada Pengelasan Gas Metal Arc Welding (GMAW) Baja Aisi 1045," *Gorontalo J. Infrastruct. Sci. Eng.*, vol. 5, no. 2, p. 59, Oct. 2022, doi: 10.32662/gojise.v5i2.2354.
- [8] H. Isworo, R. Subagyo, and R. N. Hidayah, "Pengaruh Variasi Temperatur *Preheating* Dan Kuat Arus Terhadap Uji Kekerasan Dan Struktur Mikro Hasil Pengelasan Smaw Baja," *Elem. J. Tek. MESIN*, vol. 8, no. 2, pp. 141–148, Aug. 2022, doi: 10.34128/je.v8i2.172.
- [9] C. Pramono and M. Eng, "Material Teknik".
- [10] D. Brandon and W. D. Kaplan, "Microstructural Characterization of Materials".
- [11] A. Fazadima, H. Pratikno, and H. Ikhwani, "Analisis Pengaruh Variasi Heat Input terhadap Uji Impact, Uji Metalografi, dan Laju Korosi pada Pengelasan SMAW Sambungan Pelat Baja A36 dengan Baja Structural Steel 400 (SS400)," *J. Tek. ITS*, vol. 11, no. 3, pp. G38–G43, Dec. 2022, doi: 10.12962/j23373539.v11i3.88068.
- [12] H. Isworo, R. Subagyo, and R. N. Hidayah, "Pengaruh Variasi Temperatur *Preheating* dan Kuat Arus Terhadap Uji Kekerasan dan Struktur Mikro Hasil Pengelasan SMAW Baja," *Elem. J. Tek. MESIN*, vol. 8, no. 2, pp. 141–148, Aug. 2022, doi: 10.34128/je.v8i2.172.
- [13] S. Kou, *Welding metallurgy*, 2nd ed. Hoboken, N.J: Wiley-Interscience, 2003. doi: 10.1002/0471434027.
- [14] A. Rifaldi, A. U. Ryadin, and A. R. Hakim, "Pengaruh Suhu *Preheating* Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan Pelat Baja ASTM A36 Pada Pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW)," *SIGMA Tek.*, vol. 4, no. 1, pp. 81–90, June 2021, doi: 10.33373/sigmateknika.v4i1.3216.
- [15] J. F. Lancaster, *Metallurgy of welding*, 6. ed., Repr. Cambridge: Woodhead Publ, 2007.
- [16] R. Sandy, "Pengaruh *Preheat*, Reheating, dan Kecepatan Pengelasan Gas Metal Arc Welding (GMAW) Baja AISI 1050 Terhadap Nilai Kekerasan," *J. Tek. Mesin*, no. 1, 2022.