

Contents list available at [Sinta](https://sinta)

# ARMATUR

: Artikel Teknik Mesin &amp; Manufaktur

Journal homepage: <https://scholar.ummetro.ac.id/index.php/armatur>

## Pengaruh Variasi Temperatur *Preheating* Pada Pengelasan *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) Baja SM490 Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro

Agris Setiawan<sup>1</sup>, Andeliani Saputri<sup>2\*</sup><sup>1,2</sup>Prodi Teknik Metalurgi, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta, Jl. SWK Jl. Ring Road Utara No.104, Ngropoh, Condongcatur, Kec. Depok, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta

### ARTICLE INFO

#### Keywords:

Welding  
Preheating  
Impact test  
Tensile test  
Hardness test  
Microstructure

### ABSTRACT

*In the train manufacturing process, one of the components of the train structure is the train bogie. Train bogies are generally made using SM490 Steel material because they have good strength, toughness, machinability, and weldability. One of the commonly used welding methods is Gas Metal Arc Welding (GMAW). This study aims to determine the effect of the preheating process on the mechanical properties and microstructure of the welding results. Data obtained from tests including hardness testing, tensile testing, impact testing, and microstructure observations. Hardness testing showed a decrease in welding strength values, where the highest value was 179.53 HVN (untreated specimen) and the lowest value was 172.23 HVN (preheated specimen at 300°C). Tensile test data showed an increase in tensile strength and elongation obtained in the material with preheating at 200°C, namely 536.1 MPa with an elongation of 18.9%. Impact test data shows an increase in toughness in the material with preheating treatment. Microstructural observation data show a change in the microstructure in the weld metal area. It was also found from the microstructural observations that the ferrite phase dominates.*

\*Corresponding author: [116220003@student.upnyk.ac.id](mailto:116220003@student.upnyk.ac.id)

DOI: <https://doi.org/10.24127/armatur.v7i2.11773>

Received 03 Juni 2026; Received in revised form 21 Juni 2026; Accepted 21 Juni 2026

Available online September 2026

## Pendahuluan

Industri kereta api termasuk dalam salah satu industri manufaktur pembuatan, perbaikan, hingga perawatan kereta api. Dalam kegiatan produksi kereta api, terdiri atas struktur kereta api diantaranya *bogie*, *body*, *underframe* dan lainnya. *Bogie* merupakan salah satu bagian dari kereta yang berfungsi untuk menopang bagian struktur kereta di atasnya [1]. Produksi *bogie* kereta kini terus berkembang, hal ini dilihat melalui kegiatan ekspor struktur *bogie* kereta ke negara-negara seperti Singapura, Bangladesh, dan Selandia Baru [2].

Pembuatan *bogie* kereta terus mengalami perkembangan termasuk salah satunya pada bagian material penyusun. Umumnya kini penggunaan material untuk pembuatan *bogie* kereta yaitu menggunakan baja SM490. Baja SM490 sering digunakan karena memiliki kekuatan yang baik, ketangguhan yang tinggi, dan memiliki *weldability* yang baik. Berdasarkan sifat mekanis baja SM490, material ini cukup sesuai untuk menjadi material penyusun *bogie* kereta [3].

Baja SM490 merupakan baja struktural yang juga dikategorikan dalam baja karbon rendah. Berdasarkan standar ISO/TR 15608 komposisi karbon dari baja SM490 yaitu  $\leq 0.25\%$ . Sifat *weldability* yang dimiliki oleh baja SM490 menjadikan material ini optimal untuk dilakukan penyambungan dengan metode pengelasan [4]. Namun dalam aplikasinya masih terdapat adanya distorsi, hingga inisiasi retak pada hasil pengelasan yang menyebabkan penurunan sifat mekanis pada material [5]. Dalam penyambungan menggunakan pengelasan pada *bogie* kereta digunakan beberapa metode pengelasan salah satunya dengan metode GMAW (*gas metal arc welding*).

Proses Pengelasan GMAW merupakan metode pengelasan yang umum digunakan karena prosedur yang sederhana dibandingkan pengelasan menggunakan metode lainnya. Pengelasan GMAW cukup efisien karena prosesnya memiliki efisiensi

yang tinggi dengan tingkat penetrasi yang baik [6], Namun proses pengelasan yang kurang optimal dapat menyebabkan penurunan sifat mekanis dari hasil lasan. Salah satu proses yang dapat dilakukan untuk mencegah penurunan nilai sifat mekanis pada hasil lasan yaitu dengan menerapkan proses *preheating*. *Preheating* bertujuan untuk memanaskan material sebelum dilakukan pengelasan untuk memperlambat laju pendinginan dan mencegah terjadinya *thermal shock* pada proses pengelasan [7].

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan variasi temperatur *preheating*, yakni 100°C, 200°C, dan 300°C. Penggunaan variasi temperatur ini mempertimbangkan pada temperatur minimum dari proses *preheating* optimal yakni pada 50°C [3]. Selain itu beberapa penelitian terdahulu juga telah banyak dilakukan dengan memvariasikan pada rentang 200°C hingga 300°C [8][9] Sehingga didapatkan kesesuaian temperatur *preheating* untuk mengkaji pengaruh temperatur *preheating* terhadap kualitas pengelasan baja SM490.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Jawad et al (2021) mengenai efek proses *preheating* terhadap nilai kekerasan dan nilai uji tarik (*tensile strength*), diperoleh peningkatan nilai sifat mekanis pada material (AISI 1045) hasil pengelasan dengan menggunakan *preheating* dibandingkan dengan hasil lasan tanpa *preheating*. Dalam penelitian ini menerangkan peningkatan nilai UTS (*ultimate tensile strength*) dari 575 MPa menjadi 587 – 625 Mpa dan nilai kekerasan meningkat dari 73 HRB menjadi 95 – 100 HRB [10].

Berdasarkan latar belakang tersebut diketahui bahwa proses pengelasan dapat menurunkan sifat mekanis material. Beberapa metode yang dapat dilakukan salah satunya dengan melakukan *preheating*. *Preheating* sendiri bertujuan untuk mengoptimalkan laju pendinginan, mencegah deformasi dan lain-lain. Berdasarkan hal tersebut *preheating* juga

dapat memengaruhi sifat mekanis yang terbentuk [11]. Sehingga pada penelitian ini dilakukan pengujian mengenai pengaruh proses *preheating* pada proses pengelasan GMAW baja SM490 terhadap sifat mekanis yang meliputi kekerasan, kekuatan tarik, dan ketangguhan.

### Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan metode percobaan eksperimental pada proses pengelasan *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) untuk material baja SM490 yang disertai proses perlakuan panas, yaitu *preheating* dan *non-preheating*, sebelum dilakukan pengelasan. Penelitian ini dilakukan dalam tiga tahapan utama, di antaranya preparasi material, proses pengelasan, dan proses pengujian. Diagram alir penelitian kali ini dapat dilihat pada Gambar 1.

Variabel penelitian. Variabel penelitian ini menggunakan variasi temperatur *preheating*, variasi suhu ini dapat dilihat pada tabel 1;

Tabel 1. Variasi temperatur *preheating*

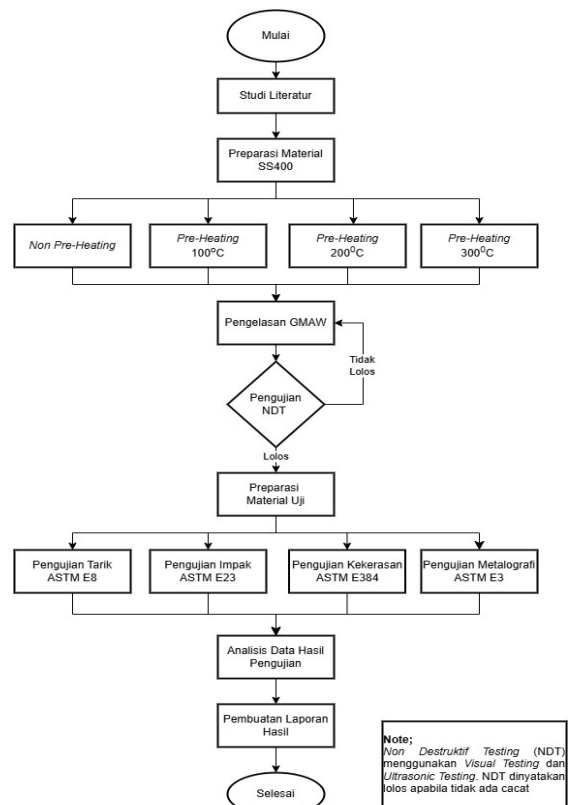
Spesimen	Kode Spesimen	Temperatur (°C)
Raw material	A	-
Preheating	B	100
Preheating	C	200
Preheating	D	300

Preparasi Spesimen, preparasi spesimen dilakukan dengan beberapa proses meliputi pemotongan material, pembersihan material uji, dan proses *preheating*. Material yang digunakan yaitu baja SM490 dengan dimensi 250 mm × 125 mm × 8 mm.

Proses *Preheating*, proses *preheating* dilakukan dengan menggunakan metode *flame open* atau pemanasan awal menggunakan nyala api. Proses *preheating* dilakukan pada daerah pengelasan yaitu 50 mm dari pusat daerah pengelasan dapat dilihat pada Gambar 2.

Proses pengelasan, Proses pengelasan dilakukan menggunakan metode pengelasan *Gas Metal Arc Welding*

(GMAW) dengan beberapa parameter seperti pada Tabel 2.



Gambar 1. Diagram alir penelitian



Gambar 2. Proses *preheating*

Tabel 2. Parameter proses pengelasan

Parameter	Keterangan	Satuan
Arus	120-150	A
Voltage	18-20	V
Kecepatan las	10-12	Cm/min
Shielding gas	Ar 82% + CO <sub>2</sub> 18%	
Filler	ER 70S-6	
Kampuh	Single Vee	
Posisi Las	Butt Joint	

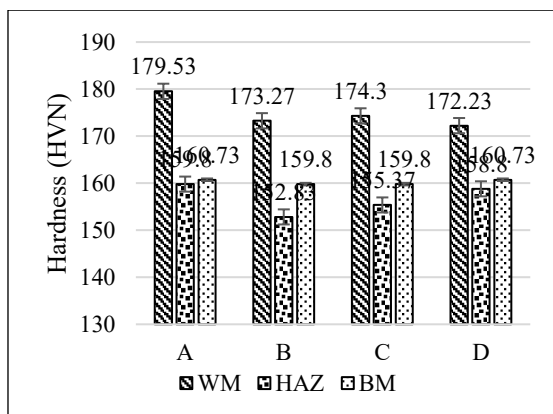
Hasil proses pengelasan kemudian dilakukan pengujian NDT untuk menganalisis cacat pada hasil pengelasan.

Pengujian *Non Destructive testing* merupakan salah satu metode yang digunakan dalam proses pengujian untuk menganalisis kecacatan yang terbentuk pada hasil percobaan tanpa perlu merusak spesimen uji [12]. Pengujian NDT ini juga ditujukan sebagai proses uji kelayakan untuk selanjutnya dapat dilakukan pengujian sifat mekanik maupun pengujian metalografi.

Pengujian spesimen, penelitian ini menerapkan dua jenis pengujian, yaitu pengujian sifat mekanik dan pengujian metalografi. Pengujian sifat mekanik dilakukan dengan tiga metode, yaitu uji kekerasan, uji tarik, dan uji impak. Pengujian dalam penelitian ini dilakukan melalui tiga tahapan, di antaranya preparasi, pengujian spesimen, dan analisis data hasil pengujian.

### Hasil dan Pembahasan

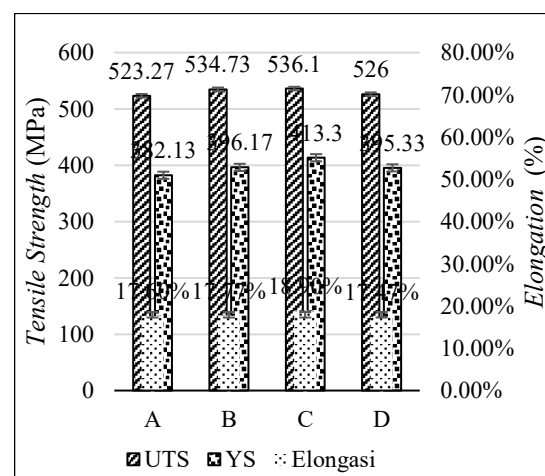
**Pengujian Kekerasan.** Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan *hardness tester vickers* pada setiap material dengan perlakuan tertentu. Pengujian dilakukan pada 3 titik pada setiap zona yaitu *base metal*, *heat affected zone* (HAZ), dan *weld metal* [13]. Pengujian ini dilakukan menggunakan standar ASTM E384. Dengan pembebanan senilai 30 kgf dalam pengujian kekerasan pada penelitian ini. Adapun hasil dari pengujian kekerasan *vickers* didapatkan nilai ukuran diameter jejak indenter yang selanjutnya dilakukan perhitungan kembali untuk memperoleh nilai kekerasan dari suatu sampel.



Gambar 3. Grafik nilai kekerasan

Dapat dilihat pada Gambar 3. Nilai kekerasan tertinggi dari masing-masing sampel terletak pada daerah *weld metal* atau area pengelasan. Hal ini disebabkan oleh pendinginan yang lebih cepat ketika adanya transformasi fasa *liquid* menjadi fasa *solid* [14]. Pada daerah HAZ dapat dilihat tidak adanya perubahan yang cukup signifikan dibandingkan dengan nilai kekerasan pada daerah *base metal* [15]. Hal ini dikarenakan nilai *heat input* yang cukup rendah sehingga paparan panas yang diterima oleh material tidak terlalu tinggi.

Berdasarkan data yang diperoleh pada Gambar 3. diketahui bahwa proses *preheating* cukup memengaruhi nilai kekerasan material terutama pada daerah *weld metal*. Dapat dilihat pada nilai kekerasan di daerah *weld metal*, material tanpa perlakuan memiliki nilai kekerasan sebesar 179.53 HVN. Material spesimen (B) dengan *preheating* 100°C memiliki nilai kekerasan sebesar 173.27 HVN, material spesimen (C) *preheating* 200°C memiliki nilai kekerasan sebesar 174.3 HVN, dan material spesimen (D) *preheating* 300°C memiliki nilai kekerasan sebesar 172.23 HVN. Hal tersebut menunjukkan adanya penurunan nilai kekerasan seiring meningkatnya temperatur proses *preheating* [16]. Penurunan kekerasan ini terjadi dikarenakan sifat keuletan material yang meningkat sehingga menyebabkan material cenderung lebih lunak.



Gambar 4. Grafik nilai kekuatan tarik

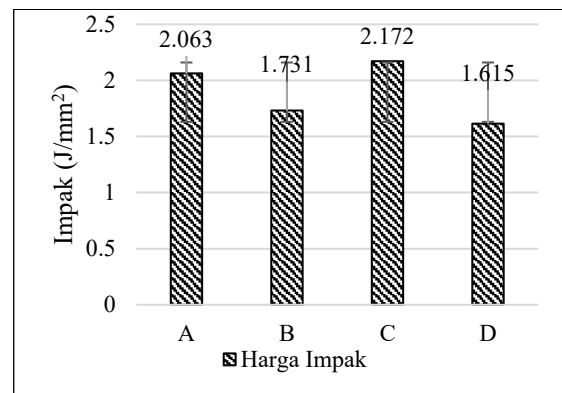
Pengujian Tarik. Pengujian tarik pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan standar pengujian yaitu ASTM E8/E8M. Pengujian tarik kali ini dilakukan tiga kali pada setiap sampel percobaan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan kecepatan penarikan sebesar 200 mm/min serta *pre-load* sebesar 0.1 lbf/in.

Gambar 4. menunjukkan nilai hasil pengujian tarik dari semua sampel percobaan. Dapat dilihat adanya peningkatan nilai *ultimate tensile strength* dan *yield strength* untuk material dengan diberi perlakuan *preheating* dibandingkan dengan sampel tanpa perlakuan. Hal ini terjadi dikarenakan *preheating* berfungsi memperlambat laju pendinginan yang juga membantu mengurangi tegangan sisa internal pada hasil pengelasan [17]. Berdasarkan hal tersebut, akan mampu untuk meningkatkan nilai kekuatan tarik dan keuletan dari material hasil pengelasan. Berdasarkan Gambar 4 yang menunjukkan hasil pengujian tarik, dapat dilihat nilai rata-rata *ultimate tensile strength* tertinggi yaitu pada sampel (C) variasi perlakuan *preheating* 200°C dengan nilai 536.1 MPa.

Selain itu, dapat dilihat untuk nilai rata-rata elongasi tertinggi didapati pada sampel (C) variasi perlakuan *preheating* 200°C dengan nilai elongasi sebesar 18.9%. Berdasarkan hal tersebut, variasi perlakuan *preheating* 200°C merupakan variasi perlakuan *preheating* yang paling optimal untuk meningkatkan kekuatan tarik hasil pengelasan baja SM490.

Pengujian Impak. Dalam penelitian ini pengujian impak dilakukan dengan menggunakan metode Charpy. Metode Charpy merupakan metode pengujian impak untuk menguji kegetasan suatu material. Metode ini memiliki prinsip dimana pendulum diarahkan dengan penekanan melalui bagian belakang material. Umumnya material dibentuk bertaktik berbentuk V dengan sudut 45° dengan posisi uji secara horizontal [18]. Pengujian impak dilakukan dengan mengacu pada standar ASTM E23. Pengujian menggunakan

Panjang lengan ayun 0.8 m dengan berat palu seberat 20 kilogram. Pengujian dilakukan dengan sudut 151° dan energi terpasang senilai 300 J.

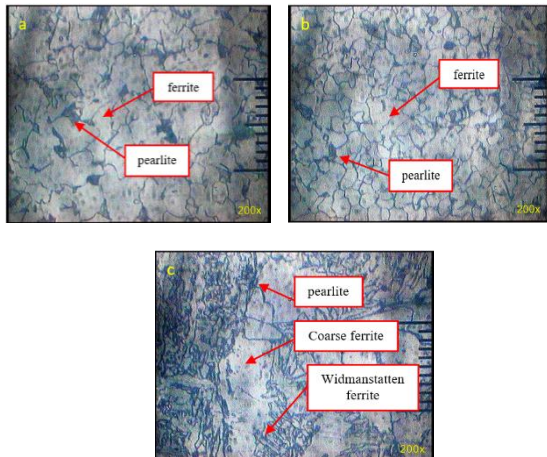


Gambar 5. Grafik nilai rata-rata beban impak

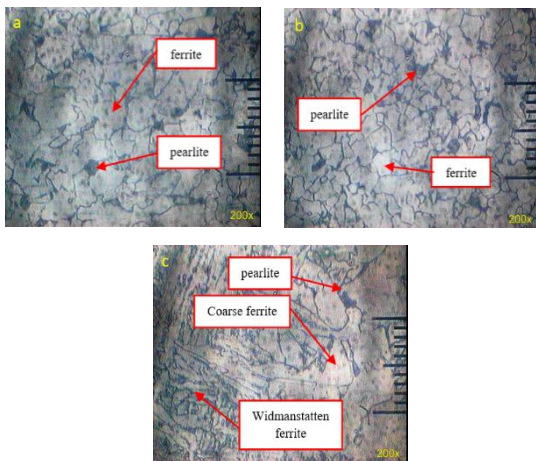
Berdasarkan Gambar 5. didapati adanya perbedaan pada nilai energi yang terserap dari material dan harga impak yang diperoleh dari pengujian. Dapat dilihat pada *raw material* memiliki nilai kekuatan beban impak yaitu 2.063 J/mm² yang dimana berdasarkan pada tabel diatas menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan material yang diberikan perlakuan *preheating* dengan suhu 100°C (spesimen B) dan 300°C (spesimen D). Sedangkan pada material spesimen (C) dengan perlakuan *preheating* suhu 200°C memiliki nilai kekuatan beban impak yang lebih tinggi. Hal ini menandakan perlakuan *preheating* dengan suhu 200°C merupakan perlakuan yang paling efektif dalam meningkatkan harga impak serta ketangguhan dari material. Penurunan nilai harga impak pada *preheating* dengan suhu 100°C dan 300°C dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya yaitu, jenis material yang digunakan, ketebalan material, serta kesesuaian terhadap nilai *heat input* selama pengelasan.

Pengamatan Struktur Mikro. Pengamatan struktur mikro dilakukan menggunakan *optical microscope* dengan mengacu pada standar ASTM E3. Pengamatan dilakukan pada zona *weld metal*, HAZ, dan *base metal* untuk setiap sampel dengan menggunakan perbesaran yaitu 200x. Untuk hasil pengamatan

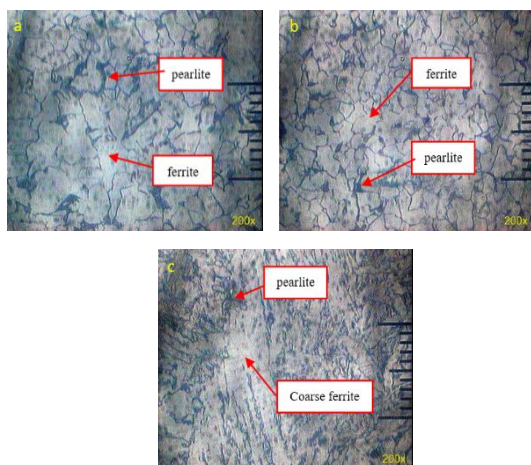
struktur mikro dapat dilihat pada gambar 6 sampai 9.



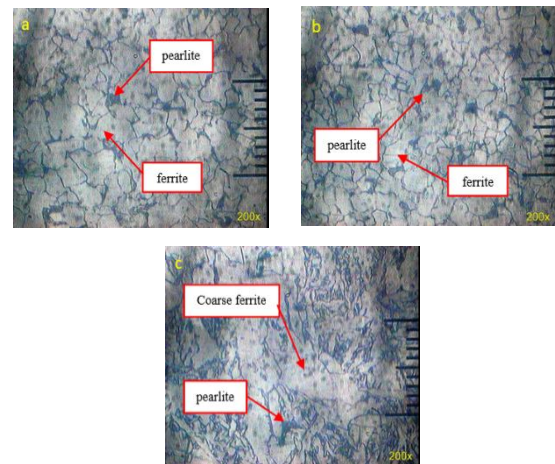
Gambar 6. Struktur mikro hasil pengelasan tanpa *preheating* (a). *Base metal*. (b) HAZ. (c) *Weld metal*



Gambar 7. Struktur mikro hasil pengelasan dan *preheating* 100°C (a). *Base metal*. (b) HAZ. (c) *Weld metal*



Gambar 8. Struktur mikro hasil pengelasan dan *preheating* 200°C (a). *Base metal*. (b) HAZ. (c) *Weld metal*



Gambar 9. Struktur mikro hasil pengelasan dan *preheating* 300°C (a). *Base metal*. (b) HAZ. (c) *Weld metal*

Berdasarkan pengamatan struktur mikro yang telah dilakukan, didapati struktur mikro yang terbentuk pada hasil pengelasan terdiri atas fasa *ferrite* dan *pearlite* [16]. Dapat dilihat untuk semua variasi pada gambar kedua (b) yang menggambarkan struktur mikro pada daerah HAZ, tidak banyak perubahan pada struktur mikro dibandingkan pada daerah *base metal* yang digambarkan pada gambar pertama (a). Pada daerah *base metal* dan HAZ juga didapati struktur mikro didominasi oleh fasa *ferrite*.

Berdasarkan hasil pengamatan, dapat dilihat untuk daerah *weld metal* adanya perubahan dengan diterapkannya proses perlakuan *preheating*. Pada struktur mikro untuk percobaan tanpa perlakuan diketahui adanya fasa *widmanstatten ferrite*, *coarse ferrite*, dan *pearlite*. Untuk perlakuan dengan *preheating* pada suhu 100°C belum ada perubahan yang signifikan. Untuk perlakuan dengan *preheating* pada suhu 200°C dan 300°C mulai terlihat adanya perubahan dengan berkurangnya struktur *widmanstatten ferrite* dan bertambahnya struktur *coarse ferrite*. Hal ini dikarenakan adanya pendinginan yang lebih lambat sehingga memicu pembentukan struktur *coarse ferrite*.

Berdasarkan hasil analisis struktur mikro yang terbentuk dari hasil pengujian, hal ini sejalan dengan peningkatan nilai kekuatan tarik dan kekuatan impak. Hal ini

dapat dilihat dari terbentuknya struktur *coarse ferrite* akibat penerapan proses *preheating*. Selain itu dapat dilihat pada percobaan *preheating* 200 memiliki struktur *coarse ferrite* yang paling baik sehingga material menjadi lebih ulet dibandingkan material lainnya. Meningkatnya keuletan material hasil pengelasan cenderung menyebabkan menurunnya nilai kekerasan material tersebut.

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh, didapati proses *preheating* dapat memengaruhi sifat mekanik maupun struktur mikro yang dihasilkan dari hasil proses pengelasan. Berdasarkan pengujian kekerasan dapat disimpulkan bahwa proses *preheating* menyebabkan penurunan nilai kekerasan dari material hasil pengelasan. Berdasarkan pengujian tarik diketahui proses *preheating* dapat meningkatkan kekuatan tarik dari hasil pengelasan. Namun perlu adanya kontrol pada suhu *preheating*, hal ini dikarenakan adanya penurunan nilai kekuatan tarik pada hasil percobaan *preheating* dengan suhu 300°C. Berdasarkan pengujian impak yang telah dilakukan, diketahui proses *preheating* mampu meningkatkan ketangguhan dari hasil pengelasan. Untuk percobaan yang paling optimal dalam meningkatkan ketangguhan yaitu dengan menerapkan proses *preheating* pada suhu 200°C. Namun perlu diperhatikan kembali untuk jenis material yang digunakan serta ketebalan material agar diperoleh hasil yang optimal. Berdasarkan pengamatan struktur mikro yang telah dilakukan, dapat disimpulkan proses *preheating* dapat memengaruhi hasil dari struktur mikro hasil pengelasan pada daerah *weld metal*. Berdasarkan pengamatan yang dilakukan diketahui struktur mikro didominasi oleh fasa *ferrite*. Pada daerah *weld metal* terlihat adanya perubahan struktur *ferrite* dari *widmanstätten ferrite* menjadi *coarse ferrite* akibat perlakuan *preheating* pada suhu 200°C dan 300°C.

### Referensi

- [1] D. W. Karmiadiji *et al.*, “Verification of urban light rail transit (LRT) bogie frame structure design lifetime under variable fatigue loads,” *Mechanical Engineering for Society and Industry*, vol. 2, no. 1, pp. 42–53, Apr. 2022, doi: 10.31603/mesi.6938.
- [2] Yemima Dya Novitasari Br Haloho and Megahnanda Alidyan Kresnawati, “Indonesia-Bangladesh Commercial Diplomacy: Case Study Of Railway Carriage Exports By PT Inka From 2016 To 2020,” *Community Engagement & Emergence Journal*, vol. 6, no. 6, pp. 5497–5512, 2025.
- [3] N. Kamilah, M. Munir, and I. L. Kusminah, “Analisis Perbandingan Kombinasi Elektroda, Preheat, dan Interpass Pada Pengelasan GMAW Dissimilar Baja Bisalloy 400 Dengan Material SM 490 YA Terhadap Tekuk dan Makro,” *Jurnal Teknologi Maritim*, vol. 7, no. 2, pp. 66–76, Oct. 2024, doi: 10.35991/jtm.v7i2.38.
- [4] Beni Prabawanto and Akhmad Hafizh Ainur Rasyid, “PENGARUH ANNEALING TERHADAP SIFAT MEKANIS DAERAH HAZ PENGELASAN GMAW BAJA SM490 NORMALIZING DAN TANPA NORMALIZING PADA BOGIE KERETA API DI PT.INKA MADIUN,” *Jurnal Teknik Mesin Unesa*, vol. 6, no. 1, 2018.
- [5] Achmad Rifaldi, Agus Umar Ryadin, and Arif Rahman Hakim, “PENGARUH SUHU PREHEATING TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN KEKERASAN PELAT BAJA ASTM A36 PADA PENGELASAN SHIELDED METAL ARC WELDING (SMAW),” *Signa*

- Teknika*, vol. 4, no. 1, pp. 81–90, 2021.
- [6] Bayu Himawan Ajitama, Widiyanti, and Marsono, “Pengaruh Variasi Kuat Arus Terhadap Kekuatan Tarik Pada Hasil Pengelasan GMAW dan SMAW Baja Karbon ASTM A36 Dengan Posisi Pengelasan 1G ,” *JURNAL TEKNIK MESIN DAN PEMBELAJARAN*, vol. 6, no. 2, pp. 68–78, Dec. 2023.
- [7] 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 TEKNIKA*, vol. 4, no. 1, pp. 81–90, Jun. 2021, doi: 10.33373/sigmateknika.v4i1.3216.
- [8] Ahimsa Raihan Alwikan Abhipraya *et al.*, “Pengaruh Variasi Suhu Preheat Pengelasan GMAW terhadap Sifat Mekanik dan Metalografi Baja S355J2 pada Container Flat Top Wagon 50 Feet,” *Jurnal Perkeretaapian Indonesia (Indonesian Railway Journal)*, vol. 9, no. 2, Aug. 2025.
- [9] H. Muhammad, “PENGARUH PREHEATING PADA PENGELASAN DISSIMILAR ANTARA BAJA AISI 1020 DAN BAJA AISI 1045 MENGGUNAKAN LAS SMAW,” 2026.
- [10] M. Jawad *et al.*, “Revealing the microstructure and mechanical attributes of pre-heated conditions for gas tungsten arc welded AISI 1045 steel joints,” *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, vol. 192, p. 104440, Aug. 2021, doi: 10.1016/j.ijpvp.2021.104440.
- [11] D. Y. Akbar, Wartono, and D. R. Hartana, “PENGARUH TEMPERATUR PREHEAT TERHADAP SIFAT MEKANIS LAS SMAW PADA BAJA KARBON,” *CENDEKIA MEKANIKA*, vol. 1, no. 01, pp. 47–56, Sep. 2020, [Online]. Available: <https://journal.itny.ac.id/index.php/cendekia/article/view/802>
- [12] B. Putra, H. Abizar, and S. Saidu, “Analisa Hasil Pengelasan Pada Permukaan Pressure Vassel Menggunakan Non Destruktif Test Dengan Metode Radiografi Test,” in *Vocational Education National Seminar (VENS)*, 2023.
- [13] E. Tambing, T. Pagasis, O. T. Ranteallo, D. Mangallo, S. P. Siregar, and A. Agustinus, “Analisis Pengaruh Arus Listrik dan Elektroda Terhadap Kekuatan dan Kekerasan pada Proses Pengelasan SMAW Baja Karbon Rendah,” *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, vol. 8, no. 2, pp. 878–886, Apr. 2024, doi: 10.33379/gtech.v8i2.4070.
- [14] T. Swasono and E. Azriadi, “Pengaruh Arus Pengelasan Terhadap Kekerasan Hasil Las Pelat Baja Karbon S45c Dengan Proses SMAW,” *Jurnal Sains dan Ilmu Terapan*, vol. 1, no. 2, pp. 19–25, 2018.
- [15] Marthina Mini, Ramses Hutahaean, and Arius Kambu, “ANALISA KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PADA PROSES PENGELASAN BAJA TAHAN KARAT AISI 304 (STAINLES STEEL) DENGAN VARIASI MEDIA PENDINGIN ,”

- Jurnal Teknik Mesin*, vol. 8, no. 2, pp. 26–33, 1019.
- [16]S. Ramadhani, B. Basyirun, R. Rusiyanto, and S. Sunyoto, “Pengaruh Variasi Temperatur Preheat Pada Pengelasan Smaw Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan Baja Karbon SS400,” *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, vol. 7, no. 1, pp. 12–20, Apr. 2022, doi: 10.21831/dinamika.v7i1.46929.
- [17]A. R. A. Abhipraya *et al.*, “Pengaruh Variasi Suhu Preheat Pengelasan GMAW terhadap Sifat Mekanik dan Metalografi Baja S355J2 pada Container Flat Top Wagon 50 Feet,” *Jurnal Perkeretaapian Indonesia (Indonesian Railway Journal)*, vol. 9, no. 2, pp. 49–54, Nov. 2025, doi: 10.37367/jpi.v9i2.543.
- [18]Naufal Naashir, “Perancangan Alat Uji Impact Izod Untuk Laboratorium Teknik Mesin FT UM Sumbah ,” Universitas Muhammadiyah Sumatra Barat, Bukit Tinggi, 2024.