

PENGARUH PROSES POST WELD HEAT TREATMENT PADA HASIL PENGELASAN BAJA S355J2 TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN STRUKTUR MIKRO

Mansyur Abdul Shaleh^{1a}, Oktavian Khayyan Bahiy¹, Muhammad Alfin¹, Aulia Irelin Sekar Remon¹

¹Program Studi Teknik Metalurgi, Fakultas Teknologi Mineral dan Energi, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta

Korespondensi:

^aProgram Studi Teknik Metalurgi, Fakultas Teknologi Mineral dan Energi, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta

mansyur.abdulshaleh@upnyk.ac.id

ABSTRAK

Post weld heat treatment merupakan sebuah perlakuan panas pasca pengelasan yang bertujuan untuk mengubah sifat fisik atau mekanik logam. Dalam penelitian ini *post weld heat treatment* yang digunakan berupa *stress relief annealing* pada 2 baja S355J2 yang salah satunya tidak mengalami PWHT dan mengalami PWHT serta proses pengelasan dilakukan dengan metode GMAW. Proses *stress relief annealing* ini dilakukan dengan temperatur 635°C dengan *holding time* selama 1 jam dan diikuti dengan pendinginan lambat di dalam tungku. Kekuatan tarik yang dimiliki pada baja yang tidak mengalami *stress relief annealing* sebesar 530 MPa dan 431,3 MPa pada baja yang mengalami *stress relief annealing*. Terdapat perubahan bentuk pada struktur mikro material yang mengalami *post weld heat treatment*, dimana pada baja yang tidak mengalami *stress relief annealing* memiliki batas butir yang nampak lebih tegas menjadi lebih meregang pada tiap butirnya. Selain itu juga fasa *pearlite* yang terkandung pada material yang mengalami *stress relief annealing* lebih sedikit dan didominasi oleh fasa *ferrite*.

Kata kunci: *post weld heat treatment, stress relief annealing, S355J2, kekuatan tarik, struktur mikro.*

ABSTRACT

Post weld heat treatment is a post-welding heat treatment aimed at altering the physical or mechanical properties of metals. In this study, the post weld heat treatment used is stress relief annealing on 2 S355J2 steels, one of which does not undergo PWHT and the other does, with the welding process carried out using the GMAW method. The stress relief annealing process was carried out at a temperature of 635°C with a holding time of 1 hour, followed by slow cooling in the furnace. The tensile strength of the steel that did not undergo stress relief annealing is 530 MPa, while the steel that underwent stress relief annealing has a tensile strength of 431.3 MPa. There are changes in the microstructure of the material that undergoes post-weld heat treatment, where the steel that does not undergo stress relief annealing has grain boundaries that appear sharper and more elongated in each grain. In addition, the pearlite phase contained in the material that underwent stress relief annealing is less and is dominated by the ferrite phase.

Keywords: *post weld heat treatment, stress relief annealing, S355J2, tensile strength, microstructure.*

1. PENDAHULUAN

Kereta api merupakan salah satu transportasi yang sangat membantu dalam kehidupan manusia yang membutuhkan sarana dan prasarana infrastruktur penunjang aktivitasnya. Kereta api ini juga menjadi suatu alat transportasi andalan di beberapa negara maju, seperti Jepang, Jerman, dan Perancis [1]. Terlepas dari manfaatnya yang besar ini, proses pembuatan kereta api ini memerlukan waktu dan tenaga yang cukup banyak. Dalam satu rangkaian kereta api, memiliki sebuah lokomotif yang berperan sebagai penggerak untuk menarik gerbong yang berfungsi sebagai pengangkut penumpang maupun barang.

Dalam proses produksinya, kereta api maupun gerbong kereta diproduksi dengan metode pengelasan. Material-material utama, seperti baja dan aluminium nantinya akan dipotong dan dibentuk sesuai bagiannya kemudian dilakukan penyambungan dengan metode pengelasan. Pengelasan ini merupakan sebuah proses penyambungan logam dengan cara memanaskan logam sampai meleleh dan diberi *filler* atau biasa disebut elektroda [2]. Salah satu metode pengelasan yaitu *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) yang merupakan las busur gas berupa CO₂ sebagai media pelindung dari kontaminasi lingkungan sekitar serta metode GMAW merupakan salah satu pengelasan yang biasa digunakan dalam bidang industri [3].

Pada umumnya, proses pengelasan akan menyebabkan tegangan sisa akibat pendinginan yang tidak merata yang dapat menyebabkan berkurangnya sifat mekanis dari suatu material tersebut [4]. Material yang mengalami penurunan sifat mekanis akan lebih cepat mengalami kerusakan setelah beberapa kali digunakan. Untuk itu perlu perlakuan khusus pada material hasil pengelasan untuk menghilangkan tegangan sisanya dengan *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) atau perlakuan panas pasca pengelasan. PWHT ini sendiri sama seperti *heat treatment* hanya saja PWHT ini penerapannya dilakukan setelah proses pengelasan. *Heat treatment* ini merupakan proses mengubah sifat fisik maupun mekanik logam dengan pemanasan dan pendinginan yang terkontrol [5]. Untuk Perusahaan produsen lokomotif sendiri menggunakan PWHT berupa *stress relief annealing* untuk salah satu bagian kereta, yaitu *bogie frame*. Dengan dilakukannya *stress relief annealing* ini dapat menghilangkan tegangan residu dan memperbaiki sifat-sifat mekanis suatu material yang telah mengalami pengelasan [6-7].

Oleh karena itu, penulis melakukan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh dari proses *stress relief annealing* pada hasil pengelasan baja S355J2 terhadap kekuatan tarik dan struktur mikronya. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan untuk meningkatkan daya tahan dari komponen kereta api.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon rendah S355J2 dengan komposisi kimia yang telah tertera pada tabel 1 [8]. Langkah proses dari penelitian ini juga dapat dilihat pada gambar 1.

Tabel 1. Komposisi Kimia Baja S355J2

<i>Steel Grade</i>	<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Cu</i>	<i>N</i>
<i>S355J2</i>	<i>0,2</i>	<i>0,55</i>	<i>1,6</i>	<i>0,025</i>	<i>0,025</i>	<i>0,55</i>	<i>-</i>

Dalam penelitian ini, penulis menggunakan 4 plat baja dengan panjang 400 mm, lebar 200 mm, dan tebal 12 mm. Material plat baja yang telah dipilih ini akan dipreparasi terlebih dahulu dengan mesin *gas cutting* dengan bahan bakar campuran gas asetilen dan oksigen. Proses *chamfering* ini dilakukan untuk membuat *angle of bevel* atau sudut bevel sebesar 30°.

Plat baja yang telah *dichamfer* kemudian setiap dua buah plat di las menjadi satu sehingga dihasilkan dua pasang plat yang masing-masing telah dilas. Proses pengelasan dilakukan oleh tenaga ahli yang bersertifikat dan mengikut *welding procedure specification* supaya hasil akhir yang didapatkan dapat maksimal. Plat yang telah dilas dibersihkan dari kotoran, seperti *spatter* yang masih menempel di permukaan plat.

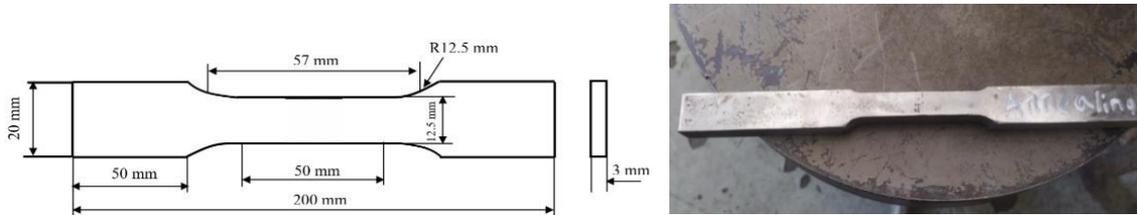
Plat yang telah di las, ditandai dengan spidol dengan plat satu yang akan dilakukan proses *stress relief annealing* dan plat dua yang tidak dilakukan proses *stress relief annealing*. Proses *stress relief annealing* untuk plat satu dilakukan dalam tungku *stress relief annealing* yang menggunakan bahan bakar minyak tanah.

Pada mulanya, pintu tungku *annealing* dibuka terlebih dahulu dan mengeluarkan *trolley* dari dalam tungku. Lalu, spesimen diangkat ke atas *trolley* kemudian memasukkan kembali ke dalam tungku dan spesimen siap di *stress relief annealing*. Proses *stress relief annealing* dilakukan pemanasan hingga temperatur 635°C lalu *holding time* selama 1 jam dan diikuti dengan pendinginan lambat di dalam tungku sekitar 4 jam.

Material plat baja yang telah dilakukan *stress relief annealing* maupun yang tidak dilakukan *stress relief annealing* dilakukan penandaan atau *marking* dengan spidol untuk persiapan proses pemotongan. Untuk ukuran *marking* sendiri adalah 200 mm untuk panjang dan lebar sebesar 20 mm. Setelah *marking* selesai, kedua plat baja dipotong dengan mesin *bandsaw* yang dilakukan oleh tenaga ahli. Untuk satu plat baja ini menghasilkan empat plat dan satu plat persegi berukuran 50 mm untuk keperluan pengujian mikro.

Hasil dari pemotongan *bandsaw* dengan ukuran 200 mm x 20 mm ini akan dilakukan proses *machining* menggunakan mesin *milling*. Proses *machining* ini bertujuan untuk membentuk spesimen menjadi tulang anjing (*dog bone*) dikarenakan spesimen dengan ukuran 200 mm x 20 mm ini akan dilakukan proses pengujian tarik. Namun, sebelum proses pengujian tarik dilakukan, spesimen digerinda terlebih dahulu untuk menghilangkan lapisan oksida besi yang ada di permukaan spesimen.

Setelah didapatkan empat spesimen yang mengalami *stress relief annealing* dan empat spesimen yang tidak mengalami *stress relief annealing* dilakukan pengujian tarik dengan standar dimensi ASTM E8 [9]. Dengan dilakukannya pengujian tarik ini dapat diketahui perbedaan sifat mekanis material yang mengalami *stress relief annealing* maupun tidak, seperti kekuatan tarik, keuletan, dan perpanjangan material.



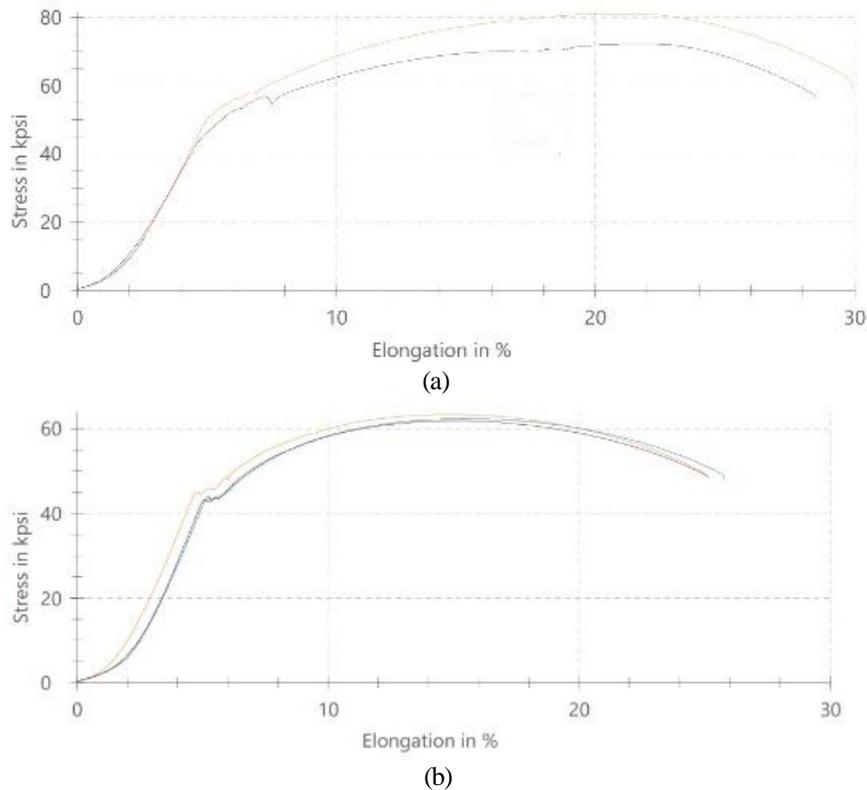
Gambar 1. Spesimen Pengujian Tarik

Selain pengujian tarik, terdapat pengujian lain yaitu pengujian struktur mikro menggunakan standar ASTM E3 dengan perbesaran 200 kali untuk melihat perbandingan antara material yang mengalami proses *stress relief annealing* dengan material yang tidak mengalami proses *stress relief annealing*. Seluruh data yang diperoleh kemudian dilakukan analisis dan dibandingkan antara material yang mengalami proses *stress relief annealing* dengan material yang tidak mengalami proses *stress relief annealing*. Kemudian dari analisis yang didapatkan akan ditarik kesimpulan terkait dampak proses tersebut.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh *Post Weld Heat Treatment* terhadap Kekuatan Tarik

Pada penelitian ini, pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui perbedaan kekuatan tarik dan elongasi dari logam hasil pengelasan yang mendapat perlakuan *post weld heat treatment* berupa *stress relief annealing* dan logam hasil pengelasan yang tidak mendapatkan perlakuan. Hasil pengujian tarik ini dapat dilihat pada tabel 2.



Gambar 2. (a) Grafik Uji Tarik Non-PWHT (b) Grafik Uji Tarik PWHT

Tabel 2. Hasil Pengujian Tarik Hasil Pengelasan Baja S355J2

No	Spesimen	Tegangan Max (MPa)	Rata-Rata Tegangan Max (MPa)	Tegangan Luluh (MPa)	Rata-Rata Tegangan Luluh (MPa)	Regangan (%)	Rata-rata Regangan (%)
1	Non-PWHT	530	530	387	387	15,7	15,7
2	PWHT	437		310		23,4	
3	PWHT	430	431,3	303	304	25	23,8
4	PWHT	427		299		23	

Dari tabel 1 dapat diketahui bahwa adanya penurunan nilai kekuatan tarik dari material yang dilakukan PWHT *stress relief annealing* sebesar 98,7 Mpa dan meningkatnya nilai elongasi dari logam tersebut sebesar 8,1%. Penurunan kekuatan tarik ini merupakan efek dari PWHT yang dilakukan, dimana tegangan sisa (*residual stress*) yang terbentuk selama proses pendinginan setelah pengelasan menyebabkan peningkatan kekerasan dapat dihilangkan dengan dilakukannya pemanasan dengan temperatur 550°C-650°C untuk paduan baja rendah [10]. Pemanasan tersebut menyebabkan material mengalami relaksasi dari sisi-sisi permukaan menuju tengah logam dan tegangan sisa yang ada dapat terbebas dari logam [11].

Sedangkan pada material hasil pengelasan yang tidak mengalami PWHT memiliki nilai uji tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan material PWHT dikarenakan *residual stress* ini dapat meningkatkan kekerasan sebuah material sehingga material akan semakin getas dikarenakan material yang semakin terisi [12]. Di sisi lain, *residual stress* ini dapat mengakibatkan efek yang buruk, seperti perubahan dimensi dan menyebabkan material mudah timbulnya inisiasi *crack*.

Penurunan nilai kekuatan tarik pada material PWHT tidak terlalu signifikan dengan kekuatan tarik tanpa PWHT dan logam yang mengalami proses PWHT ini juga dirasa lebih aman saat dipasang pada bagian-

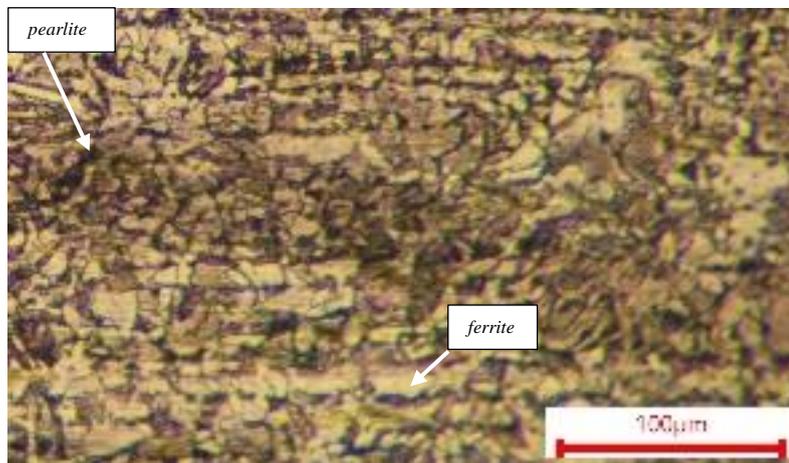
bagian transportasi atau pun sarana yang digunakan oleh manusia karena sifatnya yang kuat dan sedikit ulet. Pernyataan tersebut juga diperkuat dengan penelitian [13] menyatakan bahwa tegangan maksimal pada kondisi *exceptional loads* (beban luar biasa) yang telah disimulasikan dengan aplikasi *finite element model* dengan material baja S355J2+N mendapatkan nilai pada rentang 79-258 MPa pada berbagai bagian *bogie frame* yang berbeda. Sedangkan pada percobaan kali ini, logam yang mengalami *stress relief annealing* memiliki nilai tegangan maksimal 431,3 Mpa sehingga logam dengan perlakuan panas ini lebih dipilih karena kondisinya yang lebih aman dan tidak adanya *residual stress* pada logam.

3.2 Pengaruh *Post Weld Heat Treatment* terhadap Struktur Mikro

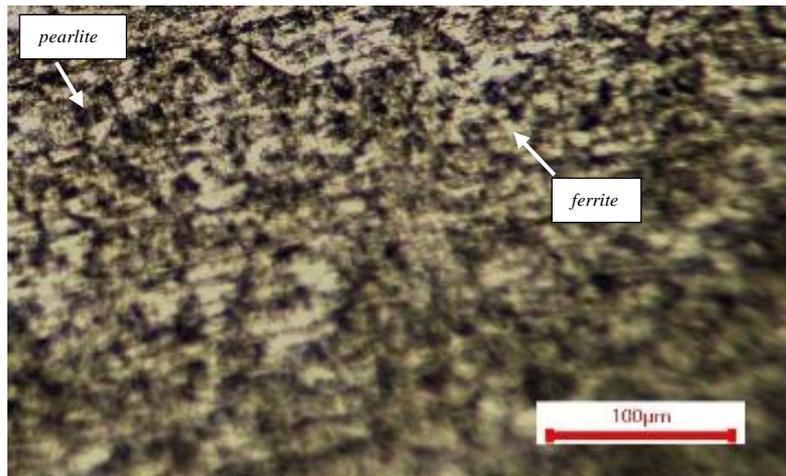
Pengujian tarik yang telah dilakukan didukung juga dengan dilakukannya pengujian struktur mikro. Proses pengujian struktur mikro ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan dari struktur mikro yang ada pada baja S355J2 daerah *heat affected zone* dengan perlakuan *stress relief annealing* serta yang tidak mengalami perlakuan *stress relief annealing*.

Dari hasil struktur mikro yang didapat diketahui bahwa warna putih pada gambar menunjukkan *ferrite* sedangkan warna gelap menunjukkan *pearlite*. Pada struktur mikro baja S355J2 daerah HAZ yang tidak mengalami perlakuan panas tampak didominasi oleh fasa *ferrite* dan beberapa fasa *pearlite*. Fasa *ferrite* ini memiliki sifat berupa kekuatan yang rendah, tetapi memiliki keuletan yang baik. Sedangkan fasa *pearlite* ini dapat memberikan kekuatan yang relatif tinggi dan keras [14]. Dari gambar juga terlihat batas butir yang nampak tegas.

Kemudian pada baja S355J2 daerah HAZ dengan perlakuan *stress relief annealing* memiliki struktur mikro yang sama, yaitu fasa *ferrite* yang lebih dominan dan beberapa fasa *pearlite*. Menurut Arif pada daerah HAZ baja S355J2 yang tidak mengalami perlakuan panas memiliki kandungan *ferrite* sebesar 65% dan *pearlite* sebesar 35% sedangkan pada daerah HAZ baja S355J2 yang mengalami *post weld heat treatment* memiliki kandungan *ferrite* sebesar 70,60% dan *pearlite* sebesar 29,40%. Dari gambar juga terlihat butir yang lebih memanjang akibat dari proses PWHT yang dilakukan.



Gambar 3. Hasil Pengujian Mikro Daerah *Heat Affected Zone* Perbesaran 200x Non-PWHT



Gambar 4. Hasil Pengujian Mikro Daerah *Heat Affected Zone* Perbesaran 200x PWHT

Dari penelitian tersebut terkait struktur mikro sejalan dengan pengujian tarik yang telah dilakukan diketahui bahwa terjadi pengurangan kandungan *pearlite* dan penambahan kandungan *ferrite* sehingga pada baja S355J2 yang mengalami PWHT [15]. Hal tersebut akan menurunkan nilai kekuatan tarik dari baja dikarenakan sifat *pearlite* yang dapat memberikan kekuatan dan kekerasan dari lapisan *cementite* yang ada diantara *ferrite*. Sedangkan pada baja S355J2 yang tidak mengalami PWHT memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi dikarenakan jumlah *pearlite* yang lebih banyak.

4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa dengan dilakukannya *post weld heat treatment* dapat menurunkan kekuatan tarik logam sebesar 98,7 MPa dan meningkatkan elongasi sebesar 8,1% dikarenakan *residual stress* yang telah hilang. Terdapat perubahan bentuk pada struktur mikro material yang mengalami *post weld heat treatment*, dimana pada awalnya batas butir yang nampak lebih tegas menjadi lebih meregang pada tiap butirnya. Selain itu juga fasa *pearlite* yang terkandung pada material yang mengalami *post weld heat treatment* lebih sedikit dan didominasi oleh fasa *ferrite*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Biomantara K, Herdiansyah H. Peran Kereta Api Indonesia (KAI) sebagai Infrastruktur Transportasi Wilayah Perkotaan. *Cakrawala* [Internet]. 2019;19(1):1–8. Available from: <http://ejournal.bsi.ac.id/ejurnal/index.php/cakrawala>
- [2] Amiruddin MA, Setiawan H. Perancangan Dan Simulasi Rangka Welding Holder Untuk Pengelasan Pipa Pada Las Gmaw. *J CRANKSHAFT*. 2019;2(2):1–8.
- [3] Septiawan, D. R., Mahendra, G., & Shaleh, M. A. (2023). PENGARUH VARIASI KAMPUH TERHADAP KARAKTERISTIK SAMBUNGAN LAS PADA PROSES PENGELASAN METODE GLOBULAR ARC (GMAW). *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 9(2), 343-348.
- [4] Tolédano JC. The Structure Of Crystalline Solids. *Physical Basis of Plasticity in Solids*. 2011. 13–37 p.
- [5] Setiawan H, Khoeron S. Pengaruh Heat Treatment Pada Kekerasan Material Baja SKD 11. 2024;7(4):22–33.
- [6] Arif, M., Yuwono, I., Salim, A. T. A., Dharmawan, A., & Zuriah, D. L. (2024). EXPERIMENTAL STUDY THE MECHANICAL PROPERTIES OF GMAW WELDING RESULTS ON S355J2+ N MATERIAL WITH POST WELD HEAT TREATMENT (PWHT). *Media Mesin: Majalah Teknik*

- Mesin*, 25(1), 1-9.
- [7] Goo, B. C. (2021). *Effect of Post-Weld Heat Treatment on the Fatigue Behavior of Medium-Strength Carbon Steel Weldments*. *Metals* 2021, 11, 1700.
- [8] Major, M., Nawrot, J., & Major, I. (2019, July). Structural S235 and S355 steels–numerical analysis of selected rods connection. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 585, No. 1, p. 012007). IOP Publishing.
- [9] Widodo, A., & Ilman, M. N. (2022). Pengaruh Frekuensi Getaran Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanik Pada Sambungan Las Mig Aluminium Paduan AA 6061-T6. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 13(1), 171-178.
- [10] Harahap RP, Rahmat B, Studi P, Mesin T, Teknik F, Batam U, et al. Analisa Pengaruh Stress Relief Annealing Terhadap Perubahan Sifat Mekanik Baja Tahan Karat Type Sus 304. *Zo Mesin*. 2017;8(2):18–29.
- [11] Arief F, Ningsih TH. Pengaruh Variasi Holding Time PWHT Pada Hasil Pengelasan SMAW Baja AISI 1045 Terhadap Nilai Uji Tarik. *J Inov Teknol Manufaktur, Energi, dan Otomotif*. 2023;2(1):1–7.
- [12] Mahyoedin Y, Marthiana W, Arman R. Teg Yield. 2024;5(2):129–33.
- [13] Monalisa RL, Yuwono I, Salim ATA, Utomo AP, Mahfud MZ. Analisis Kekuatan Struktur Bogie Frame Kereta Ukur pada Kondisi Exceptional Loads. *JMPM (Jurnal Mater dan Proses Manufaktur)*. 2022;6(2):16–28.
- [14] Rudiyanto A, Anjani RD, Naubnome V. Analisis Proses Stress Relieving Annealing Terhadap Sambungan Las Gas Metal Arc Welding (GMAW) Material Baja SS 400. *J Ilm wahana Pendidik* [Internet]. 2022;8(22):84–93. Available from: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7322926>
- [15]. Ramadhani, M., Rochiem, R., Felicia, D. M., Wibisono, A. T., Jatimurti, W., & Rasjiddin, E. A. (2023). Analisis Pengaruh Variasi Logam Pengisi dan Arus Pada Hasil Pengelasan Baja Corten A dengan Metode GTAW Terhadap Struktur Mikro, Ketahanan Korosi, dan Sifat Mekanik. *Jurnal Teknik ITS*, 12(1), F69-F74.