

Optimasi Treatment Pemanasan pada Proses Pengelasan Pipa Penstock

Yani Kurniawan^{1*}, Yudi Iswanto², Bambang Sulaksono¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Jakarta, Indonesia

²Program Studi Magister Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Jakarta, Indonesia

* Email Corresponding Author: yani.kurniawan@univpancasila.ac.id.

ABSTRAK

Cacat retak pada sambungan las merupakan permasalahan utama dalam perakitan pipa penstock untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Cacat retak disebabkan oleh pendinginan yang cepat akibat aliran udara dingin (20°C) yang mengalir di dalam pipa penstock saat proses pengelasan. Pendinginan yang cepat dapat dihindari dengan melakukan perlakuan panas setelah proses pengelasan. Perlakuan panas dilakukan dengan menggunakan burner selama 40 menit dengan suhu 80°C-90°C untuk mengurangi cacat retak pada sambungan las pipa penstock. Namun dalam proses perakitan pipa penstock untuk satu sistem PLTA dibutuhkan gas LPG sebanyak 12500 Kg. Hal ini menyebabkan pemborosan biaya dalam proses pengelasan pipa penstock. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan proses perlakuan pemanasan pada pipa penstock setelah proses pengelasan. Selain itu juga dilakukan penelitian terhadap cacat retak, kuat tarik, dan kekerasan sambungan las akibat perubahan suhu dan waktu pemanasan. Perlakuan panas menggunakan variasi suhu 70, 80, 90, dan 100°C dengan variasi waktu 20, 30, 40, dan 50 menit. Pengujian menggunakan metode full factorial. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu 100°C dengan waktu pemanasan 20 menit merupakan parameter terbaik untuk menghilangkan cacat retak pada sambungan las pipa penstock. Kebutuhan gas LPG pada pemanasan menggunakan suhu 100°C dengan waktu pemanasan 20 menit sebesar 8126 Kg untuk satu sistem PLTA.

Kata kunci: PLTA, pipa penstock, perlakuan panas, suhu, waktu pemanasan

ABSTRACT

Crack defects in welding joints are a major problem in the assembly of penstock pipes for Hydroelectric Power Plants (PLTA). Crack defects are caused by rapid cooling due to cold air flow (20°C) flowing inside the penstock pipe during the welding process. Rapid cooling can be avoided by applying heat treatment after the welding process. Heat treatment is applied using a burner for 40 minutes with a temperature of 80°C-90°C to reduce crack defects in the welding joints of the penstock pipe. However, in the process of assembling penstock pipes for one PLTA system requires 12500 Kg of LPG gas. This wastes costs in the welding process of the penstock pipe. This study aims to optimize the heating treatment process on the penstock pipe after the welding process. Crack defects, tensile strength, and hardness of the welding joints due to changes in temperature and heating time were also investigated. Heat treatment uses temperature variations of 70, 80, 90, and 100°C with time variations of 20, 30, 40, and 50 minutes. Testing using the full factorial method. The results of the study showed that a temperature of 100°C with a heating time of 20 minutes is the best parameter to eliminate crack defects in the welding joints of the penstock pipe. The need for LPG gas when heating using a temperature of 100°C with a heating time of 20 minutes is 8126 Kg for one PLTA system.

Keywords: PLTA, penstock pipe, heat treatment, temperature, heating time

PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) merupakan salah satu energi terbarukan yang sangat potensial untuk dikembangkan di Indonesia [1][2]. Hal ini dikarenakan Indonesia merupakan negara yang memiliki potensi sumber daya alam Air yang tinggi. PLTA adalah suatu pembangkit yang mengandalkan energi kinetik dari putaran runner dan potensial air di rubah oleh trasformer menjadi energi listrik. Sistem PLTA memiliki beberapa komponen utama yaitu Waduk, Head Race Tunnel, Surge Tank,

Penstock, Gate Valve, Turbine, Generator, Trasformer, Power House, Swictyard, dan Jalur Transmisi [3]. Pipa penstock berfungsi untuk mengalirkan air dari dam melalui headrace tunnel ke turbine [4][5]. Pemasangan pipa penstock dalam sistem PLTA menggunakan proses pengelasan. Proses pengelasan yang dilakukan menggunakan las Shield Metal Arc Welding (SMAW). Dalam pengelasan pipa penstock sering mengalami cacat pada proses setelah pengelasan. Hal ini dikarenakan kondisi pada saat pengelasan ada nya aliaran udara yang relatif dingin (20°C) yang mengalir didalam pipa

penstock. Ketika proses pengelasan selesai dilakukan dan adanya udara yang mengalir dalam pipa penstock akan menyebabkan bagian sambungan las mengalami pendinginan yang cepat. Pendinginan yang cepat menyebabkan cacat crack pada sambungan pengelasan.

Cacat las pada fabrikasi pipa penstock pada pengerjaan PLTA Peusangan proyek Aceh Tengah telah dikaji oleh Fachrul Ferly Malik dkk. [6]. Hasil kajian menemukan permasalahan pada pipa penstock pada saat pembuatan di fabrikasi ditemukan cacat pada sambungan las, Cacat terjadi disebabkan oleh root gap terlalu rapat, posis elektroda terlalu tinggi, ampere root terlalu rendah, diameter elektroda terlalu besar, diameter elektroda root face terlalu besar, Kapuh kotor, kecepatan root terlalu tinggi, masalah cacat las mengakibatkan potensi retak takik, potensi karat internal, erosi internal dan pelemahan Sambungan akibat penurunan temperatur terlalu cepat. Tarkono dkk, telah melakukan studi penggunaan jenis elektroda Las Yang Berbeda Terhadap Sifat Mekanik Pengelasan SMAW Baja AISI 1045 [7]. Hasil studi menemukan kekuatan tarik yang dihasilkan oleh elektroda LB-52 dan RD 716-G standar ASTM dibandingkan dengan elektroda standar JIS cenderung lebih tinggi. Kebalikannya pada elektroda RD-80 kekuatan tarik standar pada standar JIS cenderung lebih tinggi dibandingkan standar ASTM. Kekuatan tarik maksimum yang diperoleh sebesar 666,667 MPa. Hamdani dkk, telah menganalisis pengaruh masukan panas proses pengelasan terhadap sifat mekanik baja AISI 1045 [8]. Hasil kajian saat proses pengelasan menggunakan SMAW dengan arus 80, 90, dan 100 A dan tegangan 20, 25, dan 28 V. Hasil pengujian menunjukkan bahwa masukan panas pengelasan mempengaruhi sifat mekanik baja AISI 1045. Masukan panas yang besar menghasilkan kekuatan tarik yang rendah. Parameter masukan panas dengan arus 80 A, tegangan 20 V menghasilkan kekuatan tarik sebesar 415 MPa. Niken Sari Arimbi dkk, telah meneliti pengaruh temperatur Quenching dengan pengelasan SMAW terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro hasil pengelasan baja Keylos 50 [9]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu selama proses pendinginan mempengaruhi kekuatan tarik dan struktur mikro material. Pada suhu rendah, bahan mikrostruktur berkisar dari ferit hingga martensit, dan kekuatan tarik tinggi yang dihasilkan adalah 685 MPa. Pada penelitian ini suhu ideal dicapai pada 15°C. Katon Muhammad dkk, telah meneliti cacat produk pada proses pengerjaan pipa penstock pada bendungan Karian [10]. Hasil penelitian didapatkan bahwa cacat las yang paling

signifikan terdapat pada pipa penstock adalah porosity dan slag inclusion dengan persentase kumulatifnya sebesar 98,5%. Selain itu, nilai sigma dengan DPMO sebesar 73.430.

Dari beberapa pustaka terlihat cacat pengelasan dapat dihindari dengan penggunaan pemanasan. Treatment pemanasan dengan menggunakan bunner selama 40 menit dengan temperatur 80°C-90°C setelah proses pengelasan telah dilakukan oleh peneliti. Setelah dilakukan Treatment pemanasan selama 40 menit, cacat pada bagian pengelasan telah hilang. Akan tetapi proses treatment pemanasan memerlukan gas Elpiji sebanyak 100 Kg persatu circle. Proses pengelasan pipa penstock dalam sistem PLTA membutuhkan sekitar 125 Circle bagian yang membutuhkan pengelasan, Sehingga dalam sistem PLTA memerlukan 12500 Kg gas Elpiji. Hal ini membuat pemborosan biaya dalam pengerjaan pengelasan pipa penstock. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengoptimasi proses treatment pemanasan pipa penstock setelah proses pengelasan. Pengaruh temperatur dan waktu treatment terhadap cacat, regangan tarik, dan kekuatan tarik juga diselidiki.

METODE PENELITIAN

Material uji menggunakan baja SM 490 Grade B (JIS 3106) dengan dimensi 260 x 50 x 20 mm. Pengelasan menggunakan mesin las SMAW dengan elektroda Bohler Fox Cel 70PE7018 (JIS D 5016). Dimensi kampuh pada spesimen uji dibuat dengan sudut 60° dengan celah 2 mm. Variasi temperatur treatment yaitu 70, 80, 90, dan 100°C dengan variasi waktu 20, 30, 40, and 50 menit. Metode eksperimen menggunakan metode full factorial dengan jumlah 16 eksperimen seperti tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. Eksperimen menggunakan metode full factorial

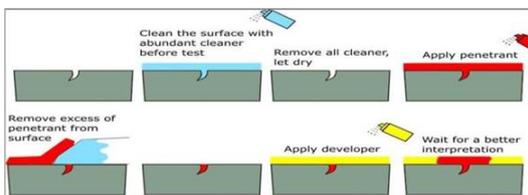
No.	Temperatur Treatment (°C)	Waktu Treatment (menit)
1	70	20
2	70	30
3	70	40
4	70	50
5	80	20
6	80	30
7	80	40
8	80	50

9	90	20
10	90	30
11	90	40
12	90	50
13	100	20
14	100	30
15	100	40
16	100	50

Proses pengelasan dimulai dengan mempersiapkan mesin las dengan kapasitas maksimal 160 A. Spesimen uji yang telah dibuat kampuh diletakkan diatas meja kerja las dimana terdapat bunner di bagian bawah untuk pemanasan saat proses pengelasan dan proses treatment setelah proses pengelasan selesai. Mesin las dihidupkan dan penyentelan ampere meter pada mesin las ke 80 A. Penjepit kabel diposisikan pada spesimen dan stang jepit elektroda dipasangkan digoreskan sampai menyala dan proses pengelasan plat baja uji siap dilaksanakan. Posisi pengelasan menggunakan 1G. Proses pengelasan menggunakan 4 tahapan, yaitu pengelasan *root*, *hot pass*, *filler*, dan *capping*. Saat melakukan pengelasan benda kerja dilakukan proses treatment setelah pengelasan sampai suhu ruangan dengan dua parameter yaitu temperatur treatment dan waktu treatment. Cacat hasil pengelasan diselidiki dengan metode pengamatan visual. Metode pengujian dengan dye penetrant dilakukan untuk melihat cacat crack yang terjadi pada hasil proses pengelasan. Alur proses pengujian dye penetrant terlihat pada Gambar 1.

$$\sigma_{uts} = \frac{F}{A_0} \quad (1)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2)$$



Gambar 1. Alur proses pengujian dye penetrant [11]

Kekuatan tarik hasil pengelasan diuji menggunakan tensile testing machine (WEW-300 D) seperti terlihat pada Gambar 2. Spesimen

uji tarik menggunakan standar ASTM E8 dengan dimensi seperti terlihat pada Gambar 3. Kekuatan tarik dihitung menggunakan Persamaan 1 [12]. σ_{UTS} adalah kekuatan tarik maksimum (Mpa). F merupakan gaya tarik maksimum yang terukur pada mesin uji tarik (N). A_0 adalah luas penampang area spesimen sebelum dilakukan uji tarik (m^2). Regangan tarik (ε) dihitung menggunakan persamaan 2 [12]. ΔL adalah selisih panjang spesimen sebelum dan sesudah uji tarik (m). L_0 merupakan panjang spesimen sebelum dilakukan uji tarik (m).

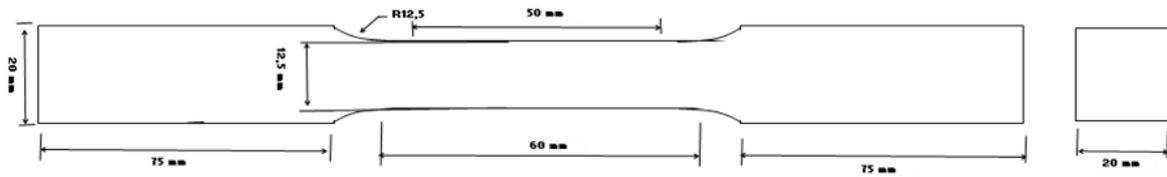


Gambar 2. tensile testing machine

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian yang dilakukan dari 16 spesimen terdapat beberapa cacat pada proses pengelasan dan proses treatment seperti tersaji pada Tabel 2. Berdasarkan hasil pengamatan ditemukan tiga indikasi cacat yaitu porosity, slag inclusion, dan Undercut.

Porosity terjadi akibat adanya gelembung gas yang terperangkap yang disebabkan kecepatan udara yang mengalir kecepatan 60 km/jam di permukaan saat spesimen pada penelitian ini menggunakan tiupan udara dari *blower* 60km/jam. *Undercut* terjadi cacat pengelasan akibat dari terumpannya bahan induk di daerah *HAZ* akibat terlalu terlalu melebarnya pergerakan kawat las dan ampere saat pengelasan *capping* terlalu Tinggi. *Slag inclusion* terjadi cacat akibat adanya kotoran dari debu dan pelindung kawat las yang tercampur dengan kawat las karena adanya tiupan udara dari blower dengan kecepatan tinggi 60km/jam dengan *Area* spesimen yang kecil hanya 50 mm sehingga kecepatan udara mempengaruhi dari proses terjadinya *Slag Inclusion* ini. Cacat *porosity* terbentuk dengan ukuran diameter rata-rata kisaran 0,15 - 0,25 mm, sedangkan slag inclusion kisaran 1,5 - 1,8 mm. Cacat under cut terbentuk dengan panjang sekitar 5,22 - 7,10 mm.



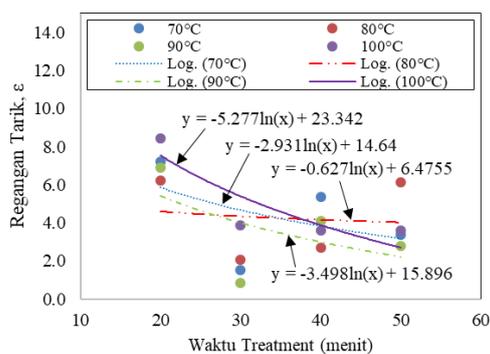
Gambar 3. Dimensi specimen uji tarik ASTM E8

Tabel 2. Hasil Penetrant Test

Spesimen	Gambar	Interpretasi		Evaluasi		Keterangan
		Indikasi	Ukuran	Diterima	Ditolak	
1		porosity	∅ 0,15 mm	√		dipermukaan
2		Undercut	1,5 mm	√		dipermukaan
3		porosity Undercut	∅ 0,15 mm 1,5 mm	√		dipermukaan
4		Slag Inclusion Undercut	3,5 mm 7,10 mm		√	diperbaiki permukaan capping
5		Slag Inclusion Undercut	2,5 mm 5,20 mm		√	diperbaiki permukaan capping
6		porosity	∅ 0,15 mm	√		dipermukaan
7		porosity Undercut	∅ 0,25 mm 1,25 mm	√		dipermukaan
8		porosity Undercut	∅ 0,20 mm 1,25 mm	√		dipermukaan
9		porosity Undercut	∅ 0,18 mm 2 mm	√		dipermukaan
10		Undercut	3.20 mm	√		dipermukaan
11		porosity claster Slag Inclusion	∅ 0,22 mm 1,15 mm		√	diperbaiki permukaan capping
12		porosity Undercut	∅ 0,18 mm 2 mm	√		dipermukaan
13		porosity	∅ 0,10 mm	√		dipermukaan
14		Slag inclusion Undercut	1,8 mmm 2,4 mm	√		dipermukaan
15		porosity	∅ 0,20 mm	√		dipermukaan
16		porosity	∅ 0,15 mm	√		dipermukaan

Berdasarkan standar ASME Section IX Article 1 QW 195, cacat porosity, slag inclusion, dan under-cut yang diijinkan sebesar $< 5\text{mm}$ [11]. Oleh karena itu, hasil pengelasan dapat dikatakan cacat porosity dan slag inclusion dapat diterima karena masih di bawah standar ASME. Namun, cacat under cut tidak dapat diterima karena nilai di atas standar ASME. Cacat porosity dan slag inclusion dapat digerinda untuk menghilangkan cacat, sedangkan cacat under cut perlu dilakukan perbaikan dengan melakukan pengelasan capping untuk menghilangkan cacat under cut.

Berdasarkan data hasil pengujian sebanyak 16 specimen dengan pengujian tarik terhadap pengaruh suhu material dan waktu treatment seperti pada Tabel 1 dengan jenis material plat Baja SM 490 Grade B (JIS 3106) dan ketebalan plat 20 mm. Pada Gambar 4 Menunjukkan bahwa pada spesimen dengan suhu 100°C dan 20 menit waktu treatment memiliki tingkat regangan tertinggi yang didapatkan.

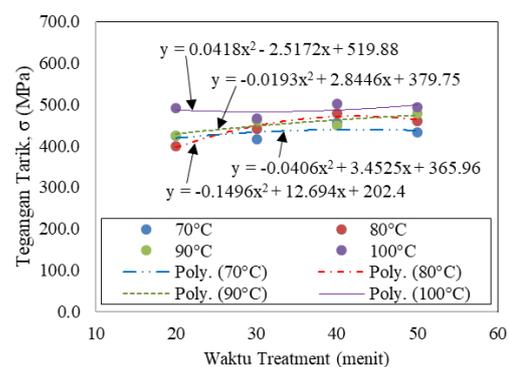


Gambar 4. Pengaruh waktu dan temperature treatment terhadap regangan tarik

Waktu treatment yang semakin meningkat dapat menyebabkan regangan tarik menurun. Ini terjadi karena adanya pertumbuhan butir. Butir-butir dalam material cenderung tumbuh lebih besar ketika selama pemanasan dan suhu tinggi. Butir yang lebih besar memiliki batas butir yang lebih sedikit, yang dapat mengurangi kemampuan material untuk mengalami deformasi plastis. Akibatnya, regangan tarik (kemampuan material untuk meregang sebelum putus) menurun. Selain itu, terjadi pengendapan fase kedua, dimana pemanasan yang lama dapat menyebabkan pengendapan fase kedua atau partikel-partikel kecil di dalam matriks material. Partikel-partikel ini dapat menghambat pergerakan dislokasi, sehingga mengurangi kemampuan material untuk meregang dan meningkatkan kekerasan, tetapi mengurangi regangan tarik. Pemanasan yang berkepanjangan dapat mengubah struktur mikro material, seperti transformasi fase atau hilangnya fase tertentu yang memberikan sifat ductile (ulet).

Perubahan ini dapat mengurangi kemampuan material untuk meregang sebelum putus. Pada suhu tinggi, material cenderung mengalami relaksasi tegangan, di mana tegangan internal berkurang seiring waktu. Hal ini dapat mengurangi kemampuan material untuk menahan deformasi plastis, sehingga regangan tarik menurun.

Hasil pengujian kekuatan Tarik dapat dilihat pada Gambar 5. Hasil pengujian menunjukkan trend waktu pemanasan semakin tinggi akan mengakibatkan kekuatan Tarik meningkat. Hal ini terjadi karena proses pengelasan yang dilakukan dalam kondisi ruangan yang dingin dengan kecepatan udara ruangan sekitar 60 m/s. Dimana kondisi ruangan yang dingin menyebabkan terjadinya effect proses pendinginan cepat. Pendinginan cepat (quenching) dapat meningkatkan tegangan tarik dalam material karena proses ini menghasilkan struktur mikro yang lebih keras dan kaku. Pendinginan cepat mencegah transformasi fasa austenit menjadi ferit dan perlite, yang biasanya terjadi pada pendinginan lambat. Sebaliknya, pendinginan cepat menghasilkan pembentukan martensit, yaitu struktur mikro yang sangat keras dan rapuh. Martensit memiliki struktur kristal tetragonal yang terdistorsi, yang meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik material. Proses pendinginan cepat juga menyebabkan bagian luar material mendingin lebih cepat daripada bagian dalam. Perbedaan laju pendinginan ini menciptakan tegangan internal (residual stress) dalam material. Tegangan ini dapat meningkatkan kekuatan tarik material, tetapi juga dapat menyebabkan retak atau deformasi jika tidak dikendalikan dengan baik.



Gambar 5. Pengaruh waktu dan temperature treatment terhadap tegangan tarik.

KESIMPULAN

Waktu treatment semakin meningkat dapat menyebabkan regangan tarik menurun, dan kekuatan Tarik meningkat. Regangan tarik

tertinggi didapatkan ketika waktu treatment 20 menit dengan temperature pemanasan sebesar 100°C. Sedangkan regangan tarik terendah ketika waktu treatment 50 menit dengan temperature pemanasan sebesar 90°C. Tegangan tarik tertinggi didapatkan ketika menggunakan waktu treatment 50 menit dengan temperature pemanasan sebesar 100°C. Tegangan Tarik terendah dihasilkan ketika menggunakan waktu treatment 20 menit dengan temperature pemanasan sebesar 80°C. Penggunaan waktu treatment 20 menit dengan temperature pemanasan sebesar 100°C merupakan parameter terbaik untuk menghilangkan cacat retak pada sambungan las pipa penstock.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Gokhale *et al.*, "A review on micro hydropower in Indonesia," *Energy Procedia*, vol. 110, pp. 316–321, 2017.
- [2] L. Lukas, D. Rohi, and H. H. Tumbelaka, "Studi kinerja pembangkit listrik tenaga air (plta) di daerah aliran sungai (das) brantas," *J. Tek. Elektro*, vol. 10, no. 1, pp. 17–23, 2017.
- [3] F. Alamsyah, "Studi Kinerja Generator Pembangkit Listrik Tenaga Air Ubrug Sukabumi," *J. Online Mhs. Bid. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 1, 2017.
- [4] A. O. Edeoja, J. S. Ibrahim, and E. I. Kucha, "Investigation of the Effect of Penstock Configuration on the Performance of a Simplified Pico-hydro System," *Br. J. Appl. Sci. Technol.*, vol. 14, no. 5, p. 1, 2016.
- [5] R. Gunawan, D. Gudnandar, and T. Aris, "Renewable energy facilities maintenance: Monitoring of West Java hydropower penstock coating," 2016.
- [6] F. F. Malik, A. Fathier, and Ariefin, "Kajian Catat Las Pada Fabrikasi Pipa Steel Penstock (Studi Kasus Pada PLTA Aceh Tengah)," *J. Mesin Sains Terap.*, vol. 7, no. 1, pp. 35–39, 2023.
- [7] Tarkono, Sugiyanto, and Andriyanto, "Studi penggunaan jenis elektroda las yang berbeda terhadap sifat mekanik pengelasan SMAW Baja AISI 1045," *J. Mech.*, vol. 1, no. 1, pp. 51–62, 2012.
- [8] Hamdani, "Pengaruh Masukan Panas Proses Pengelasan terhadap Sifat Mekanik Baja AISI 1045 suatu Kajian Analitis dan Analisa Numerik," *J. Polimesin*, vol. 17, no. 1, pp. 1–8, 2019.
- [9] N. S. K. Arimbi and Yunus, "Pengaruh Temperatur Quenching Dengan Pengelasan Smaw (Shield Metal Arc Welding) Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Hasil Pengelasan Baja Keylos 50," *J. Tek. Mesin*, vol. 10, no. 03, pp. 1–6, 2022.
- [10] K. Muhammad, F. Rifda, A. Syailendri, and A. A. Sibarani, "SPECTA Journal of Technology Analisis Cacat Produk pada Proses Pengelasan Pipa Penstock (Studi Kasus: PT. XYZ)," *SPECTA J. Technol.*, vol. 4, no. 3, pp. 61–71, 2020.
- [11] B. Yudianto, P. Wicaksana, J. Sudharto, K. UNDIP Tembalang, and J. Tengah, "Analisis Cacat Hasil Pengelasan Pada Pipa ASTM A106 Grade B Menggunakan Magnetic Particle Test dan Liquid Penetrant Test di Workshop Las dan Inspeksi PPSDM Migas Cepu," *Rotasi*, vol. 25, no. 2, pp. 54–60, 2023.
- [12] R. Steadman, *Materials science*, vol. 5, no. 2. 1970. doi: 10.1088/0031-9120/5/2/304.