

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

Bambang Yunianto*, Prayogi Wicaksana

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, S.H., Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275

*E-mail: byunianto20@gmail.com

Abstract

Welding inspection is an important practice for assessing the integrity of structures and their components in many industrial applications including piping systems in the oil and gas, nuclear, power, and petrochemical industries. As is the case with PPSDM MIGAS Cepu as a government agency that conducts inspections on the welding results of training participants and welder certification participants so that they comply with predetermined standards. In this article, the author inspects the results of welding on ASTM A106 Grade B pipes using the NDT (Non-Destructive Test) method, namely the Magnetic Particle Test and the Liquid Penetrant Test. Based on the results of the inspection that has been carried out, indications of acceptable defects were found in accordance with the acceptance criteria of ASME Section IX Article 1 QW 195, namely pin hole and porosity defects. The indications of rejected defects are crack defects and four porosity pieces lined up in a line, so that both defects need to be repaired and re-examined to ensure that the defects found have disappeared.

Keywords: *liquid penetrant test; magnetic particle test; welding; welding defects*

Abstrak

Inspeksi pengelasan merupakan praktik penting untuk menilai integritas struktur dan komponennya dalam banyak aplikasi industri termasuk sistem perpipaan di bidang minyak dan gas, nuklir, listrik, dan petrokimia industri. Seperti halnya yang dilakukan oleh PPSDM MIGAS Cepu sebagai lembaga pemerintah yang melakukan inspeksi pada hasil pengelasan para peserta diklat maupun peserta sertifikasi juru las agar sesuai dengan standar yang telah ditentukan. Pada artikel ini, penulis melakukan inspeksi hasil pengelasan pada pipa ASTM A106 Grade B menggunakan metode NDT (*Non-Destructive Test*), yaitu *Magnetic Particle Test* dan *Liquid Penetrant Test*. Berdasarkan hasil pemeriksaan yang telah dilakukan, ditemukan indikasi cacat yang dapat diterima (*accepted*) sesuai dengan kriteria keberterimaan ASME Section IX Article 1 QW 195, yaitu cacat *pin hole* dan *porosity*. Adapun indikasi cacat yang ditolak (*rejected*) adalah cacat *crack* dan empat buah *porosity* yang berjajar dalam satu garis, sehingga kedua cacat tersebut perlu diperbaiki dan dilakukan pemeriksaan kembali untuk memastikan indikasi cacat yang ditemukan telah hilang.

Kata kunci: cacat las; *liquid penetrant test; magnetic particle test; pengelasan*

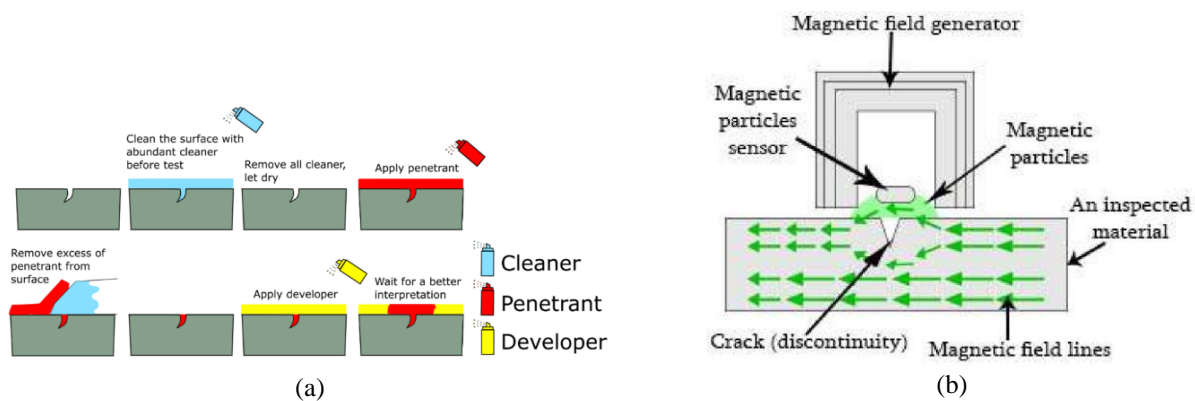
1. Pendahuluan

Pengelasan (*welding*) adalah teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan logam kontinyu [1]. Faktor yang mempengaruhi las adalah prosedur pengelasan, yaitu suatu perencanaan untuk pelaksanaan penelitian yang meliputi cara pembuatan konstruksi las yang sesuai rencana dan spesifikasi dengan menentukan semua hal yang diperlukan dalam pelaksanaan tersebut. Faktor produksi pengelasan adalah jadwal pembuatan, proses pembuatan, alat dan bahan yang diperlukan, urutan pelaksanaan, persiapan pengelasan (meliputi: pemilihan mesin las, penunjukan juru las, pemilihan elektroda, penggunaan jenis kampuh) [2].

Weld Defect atau cacat las adalah kondisi dimana terdapat kerusakan atau ketidaksempurnaan pada permukaan las yang menyebabkan menurunnya kualitas sambungan las sehingga kekuatan sambungan las ikut menurun. Kondisi tersebut merupakan hasil pengelasan yang tidak memenuhi syarat keberterimaan yang sudah dituliskan di standar (ASME IX, AWS, API, ASTM). Penyebab cacat las dapat dikarenakan adanya prosedur pengelasan yang salah, persiapan yang kurang, dan juga dapat disebabkan oleh peralatan serta *consumable* yang tidak sesuai standar [3]. Achmadi menjelaskan bahwa jenis cacat las pada pengelasan ada dua tipe, yaitu cacat las internal (berada di dalam hasil lasan) dan cacat las

visual (dapat dilihat dengan mata/berada di permukaan). Contoh cacat las internal, antara lain: porositas (bisa terjadi di permukaan), *slag inclusion*, *tungsten inclusion*, dan *lack of inter run fusion*. Sedangkan contoh cacat las visual, antara lain: *undercut*, porositas, *incomplete penetration*, *incomplete fusion*, *over spatter*, *crack*, distorsi, *arc strikes*, *underfill*, *misalignment*, *excessive root penetration*, *overlap*, *root concavity*, dan *pin hole*.

Liquid Penetrant Test merupakan salah satu metode pengujian jenis NDT yang relatif mudah dan praktis untuk dilakukan. *Liquid Penetrant Test* ini dapat digunakan untuk mengetahui diskontinuitas halus pada permukaan seperti retak, berlubang atau kebocoran. Pada prinsipnya metode pengujian dengan *liquid penetrant* memanfaatkan daya kapilaritas. Kapilaritas adalah peristiwa naik atau turunnya permukaan zat cair pada *discontinuity*. *Discontinuity* adalah ketidaksempurnaan pada material akibat proses manufaktur, seperti lubang, retakan, kotoran, dll. [4]. Sedangkan *Magnetic Particle Test* merupakan salah satu metode yang digunakan dalam pengujian tidak merusak (NDT), dengan metode ini cacat pada permukaan (*surface*) dan di bawah permukaan (*subsurface*) suatu benda dari bahan *ferromagnetic* dapat diketahui dan diinspeksi. Prinsip kerja dari metode *Magnetic Particle Test* ini adalah dengan cara memagnetisasi bahan yang akan diuji. Apabila terdapat cacat atau *defect* yang tegak lurus terhadap arah medan magnet maka akan menyebabkan kebocoran pada arah medan magnet. Kebocoran medan magnet ini mengindikasikan adanya cacat pada material. Metode yang dipakai untuk mengetahui adanya kebocoran pada medan magnet, yaitu dengan menaburkan partikel atau serbuk magnetik pada permukaan benda uji. Partikel atau serbuk magnet yang sudah ditaburkan kemudian akan berkumpul tepat pada area yang terdapat kebocoran medan magnet [5]. Prinsip kerja *Liquid Penetrant Test* dan *Magnetic Particle Test* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Prinsip Kerja (a) *Liquid Penetrant Test* [6] dan (b) *Magnetic Particle Test* [7].

Inspeksi pengelasan merupakan praktik penting untuk menilai integritas struktur dan komponennya dalam banyak aplikasi industri termasuk sistem perpipaan di bidang minyak dan gas, nuklir, listrik, dan petrokimia industri. Adanya cacat di las struktur dapat disebabkan oleh berbagai alasan seperti robekan pipih yang sering disebabkan oleh kualitas baja yang buruk, dan retak karena regangan menyertai perubahan fasa dan penyusutan termal, serta lebar berbagai alasan lainnya. Kesalahan tersebut memang akan mempengaruhi integritas struktural struktur yang dilas, dan akibatnya, pengelasan memerlukan pemeriksaan rutin untuk memantau dan menilai kondisi mereka apakah sesuai untuk tujuan atau telah kehilangan sebagian dari integritasnya karena masalah penuaan dan mungkin mengambil tindakan saat kerusakan diketahui sebelum menyebabkan kebocoran atau kegagalan [8].

PPSDM MIGAS merupakan lembaga pemerintah yang melayani pelatihan, sertifikasi, PKL, dan laboratorium pengujian. Salah satu layanan sertifikasi yang dimiliki PPSDM MIGAS, yaitu sertifikasi Juru Las. Program sertifikasi ini bertujuan untuk mengukur kompetensi pekerja di bidang pengelasan sesuai dengan Keputusan Menteri Ketenagakerjaan Nomor 98 Tahun 2018 tentang Penetapan Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia Bidang Pengelasan SMAW [9]. Oleh karena itu, pihak PPSDM MIGAS melakukan inspeksi pada hasil pengelasan para peserta diklat maupun peserta sertifikasi agar sesuai dengan standar yang ditentukan. Pada artikel kali ini, penulis melakukan inspeksi hasil pengelasan pada pipa ASTM A106 Grade B menggunakan metode NDT (*Non Destructive Test*), yaitu *Magnetic Particle Test* dan *Liquid Penetrant Test*. Tujuannya untuk mengetahui apakah hasil pengelasan ditemukan cacat yang masih diterima (masih dalam standar) atau tidak (perlu perbaikan).

2. Material dan Metode Penelitian

2.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam pengambilan data menyesuaikan keadaan dengan cara:

1. Wawancara dan diskusi

Dengan cara memberikan pertanyaan kepada pembimbing atau petugas/operator yang berwenang, untuk mendapatkan data yang sesuai dengan tema.

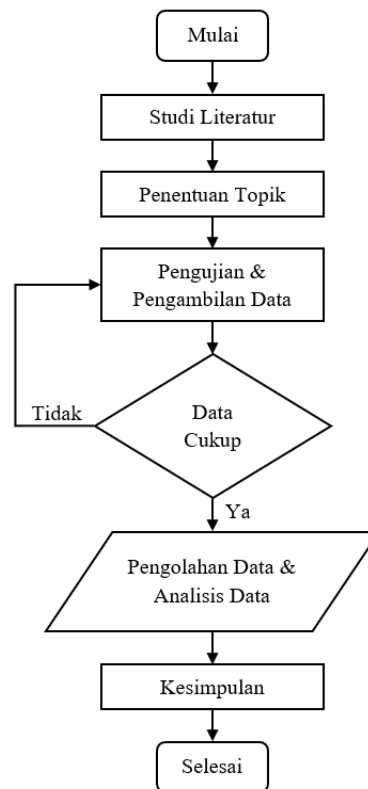
2. Pengamatan Langsung

Melakukan pengamatan secara langsung di lapangan untuk mengambil gambar dengan kamera dan mencatat data-data yang diperlukan.

3. Studi Literatur

Menambah wawasan/pengetahuan mengenai tema yang dikerjakan penulis dengan menelaah literatur-literatur di perpustakaan yang berhubungan dan bersesuaian.

Adapun skema kerja atau proses penelitian yang dilakukan dalam pengambilan data ditunjukkan oleh diagram alir pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Skema Kerja

2.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam pengujian *Liquid Penetrant Test* dan *Magnetic Particle Test* adalah sebagai berikut.

1. Spesimen uji (pipa ASTM A106 Grade B)
2. Sikat kawat
3. Kain majun
4. Cairan *Cleaner/Removal*
5. Cairan *Penetrant*
6. Cairan *Developer*
7. *Yoke*
8. *Weight lift test bar*
9. *Pie gauge*
10. Serbuk magnet (*wet magnetic particle*)
11. WCP (*White Contrast Paint*)
12. *Rubber blow*
13. Gauss meter
14. *Stopwatch*
15. *Vernier caliper*

2.3 Prosedur Pengujian

Adapun prosedur pengujian yang dilakukan dalam pengambilan data penelitian adalah sebagai berikut.

1. *Liquid Penetrant Test*
 - a. Bersihkan area permukaan yang diuji menggunakan sikat kawat dan kain majun. Setelah itu, aplikasikan cairan *Cleaner/Removal* dan lap menggunakan kain majun hingga bersih.
 - b. Aplikasikan cairan *Penetrant* ke permukaan yang diuji dengan *dwell time* minimal 5 menit (sesuai Tabel T-672 dari ASME Section V Article 6 [10]).
 - c. Bersihkan sisa cairan *Penetrant* dengan kain majun (dibasahi sedikit cairan *Cleaner/Removal*).
 - d. Aplikasikan cairan *Developer*.
 - e. Lakukan interpretasi dan evaluasi pada indikasi cacat yang muncul di permukaan.
 - f. Bersihkan kembali permukaan yang diuji dari sisa cairan *penetrant* dan *developer*.
2. *Magnetic Particle Test*
 - a. Mengkalibrasi *yoke* untuk menguji kekuatan magnet dari alat tersebut. Jika *yoke* mampu untuk mengangkat *weight lift test bar*, maka *yoke* masih berfungsi dengan baik.
 - b. Bersihkan area permukaan yang diuji menggunakan sikat kawat dan kain majun. Setelah itu, aplikasikan cairan *Cleaner/Removal* dan lap menggunakan kain majun hingga bersih.
 - c. Lapisi permukaan yang diuji menggunakan WCP. Lalu diamkan selama 10 – 15 menit (sampai mengering).
 - d. Aplikasikan serbuk magnet pada permukaan yang diuji.
 - e. Berikan medan magnet (magnetisasi) kepada permukaan yang diuji menggunakan *yoke*.
 - f. Lakukan interpretasi dan evaluasi pada indikasi cacat yang muncul di permukaan.
 - g. Lakukan demagnetisasi (proses penghilangan magnet sisa).
 - h. Bersihkan kembali permukaan yang diuji dari sisa cairan *penetrant* dan *developer*.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Standar Keberterimaan

Interpretasi dan evaluasi akhir dari *Liquid Penetrant Test* dan *Magnetic Particle Test* dilakukan setelah indikasi cacat muncul di permukaan benda uji. Selama interpretasi, penyebab dan pengaruh indikasi terhadap benda uji harus ditentukan. Evaluasi mengikuti interpretasi. Indikasi diskontinuitas bisa lebih besar dari diskontinuitas yang menyebabkannya, namun ukuran indikasi yang dipakai sebagai dasar untuk mengevaluasi keberterimaan. Kemudian jika selama tahap evaluasi ditentukan bahwa diskontinuitas membahayakan pemakaian komponen, atau tidak memenuhi kriteria penerimaan dan penolakan, diskontinuitas tersebut selanjutnya diklasifikasikan sebagai cacat atau *defect*.

Indikasi yang muncul dan digunakan dalam interpretasi adalah indikasi relevan (indikasi sebenarnya) yang mana indikasi yang diakibatkan oleh diskontinuitas yang membuka ke permukaan yang ukuran terbesarnya > 1,5 mm. Kemudian dari segi bentuknya, indikasi relevan dibagi menjadi indikasi *linear* (memanjang) dan indikasi *rounded* (melingkar). Indikasi *linear* adalah indikasi-indikasi yang memiliki panjang lebih besar dari tiga kali lebarnya ($L > 3W$). Sedangkan indikasi *rounded* adalah indikasi-indikasi yang bentuknya bundar atau elips dengan panjang kurang dari atau sama dengan tiga kali lebarnya ($L \leq 3W$).



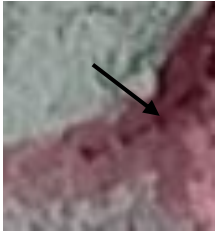

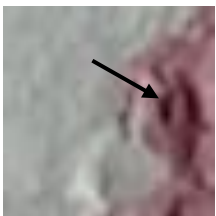

Kriteria keberterimaan (*acceptance criteria*) yang digunakan dalam pengujian ini mengikuti standar ASME Section IX Article 1 QW 195 [11], dimana semua permukaan yang diuji dianggap tidak dapat diterima bila pemeriksaan tersebut menunjukkan adanya indikasi yang melebihi batas yang ditentukan sebagai berikut:

- Indikasi *linear* yang relevan ($> 1/16$ inchi atau 1,5 mm).
- Indikasi *rounded* yang relevan, di mana ukurannya $> 3/16$ inchi (5 mm).
- Empat atau lebih indikasi *rounded* yang relevan berjajar dalam satu garis, terpisah satu sama lainnya pada jarak $\leq 1/16$ inchi (1,5 mm), dari ujung ke ujung.

3.2 Hasil Pengujian *Liquid Penetrant Test*

Hasil pengujian pada pipa ASTM A106 Grade B menggunakan metode *Liquid Penetrant Test* dilakukan interpretasi dan evaluasi untuk menentukan apakah diskontinuitas bisa diterima (*accepted*) atau ditolak (*rejected*). Tabel 1 menunjukkan hasil interpretasi dan evaluasi berdasarkan standar ASME Section IX Article 1 QW 195.

Tabel 1. Interpretasi Hasil Pengujian *Liquid Penetrant Test*

No.	Gambar	Interpretasi		Evaluasi		Keterangan
		Indikasi	Ukuran	Accepted	Rejected	
1.		<i>Linear</i>	5,20 mm		✓	<i>Crack</i>
2.		<i>Rounded</i>	Ø 0,24 mm	✓		<i>Pin hole</i>
3.		<i>Linear</i>	6,14 mm		✓	<i>Crack</i>
4.		<i>Rounded</i>	Ø 0,40 mm	✓		<i>Pin hole</i>
5.		<i>Rounded</i>	Ø 1,70 mm	✓		<i>Porosity</i>
6.		4 buah <i>rounded</i> segaris	Jarak antar indikasi: 1 mm		✓	<i>Cluster Porosity</i>

Berdasarkan hasil interpretasi pada Tabel 1 ditemukan dua indikasi yaitu *linear* dan *rounded*. Dikatakan indikasi *linear* karena memiliki panjang lebih besar dari tiga kali lebarnya ($L > 3W$). Sedangkan indikasi *rounded* bentuknya bundar atau elips dengan panjang kurang dari atau sama dengan tiga kali lebarnya ($L \leq 3W$). Ukuran panjang dari indikasi *linear* pada no. 1 dan 3 sebesar 5,20 mm dan 6,14 mm. Lalu ukuran diameter dari indikasi *rounded* pada no. 2, 4, dan 5 secara berurutan adalah 0,24 mm; 0,40 mm; dan 1,70 mm. Selanjutnya, ditemukan juga empat buah indikasi *rounded* berjajar dalam satu garis yang terpisah satu sama lainnya pada jarak 1 mm.

Beberapa indikasi di atas dievaluasi menurut standar keberterimaan ASME *Section IX Article 1 QW 195*. Indikasi *rounded* dapat diterima (*accepted*) karena memiliki ukuran < 5 mm. Namun, pada indikasi *linear* ditolak (*rejected*) karena

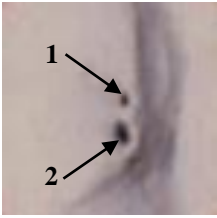
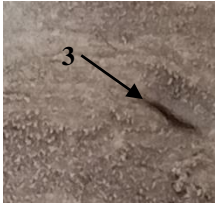
memiliki ukuran > 1,5 mm. Di samping itu, empat buah indikasi *rounded* yang berjajar dalam satu garis juga ditolak (*rejected*) karena jarak antara indikasi satu dengan yang lainnya ≤ 1,5 mm.

Kemudian diskontinuitas yang terbentuk pada indikasi *linear* adalah cacat *crack*. Diskontinuitas yang terbentuk pada indikasi *rounded* no. 2 dan 4 adalah cacat *pin hole*, sedangkan no. 5 dan 6 adalah cacat *porosity*.

3.3 Hasil Pengujian *Magnetic Particle Test*

Hasil pengujian pada pipa ASTM A106 Grade B menggunakan metode *Magnetic Particle Test* dilakukan interpretasi dan evaluasi untuk menentukan apakah diskontinuitas bisa diterima (*accepted*) atau ditolak (*rejected*). Tabel 2 menunjukkan hasil interpretasi dan evaluasi berdasarkan standar ASME Section IX Article 1 QW 195.

Tabel 2. Interpretasi Hasil Pengujian *Magnetic Particle Test*

Gambar	No	Interpretasi		Evaluasi		Keterangan
		Indikasi	Ukuran	Accepted	Rejected	
	1	<i>Rounded</i>	Ø 0,24 mm	✓		<i>Pin hole</i>
	2	<i>Rounded</i>	Ø 0,42 mm	✓		<i>Pin hole</i>
	3	<i>Linear</i>	5,22 mm		✓	<i>Crack</i>

Berdasarkan hasil interpretasi pada Tabel 2 ditemukan dua indikasi yaitu *rounded* dan *linear*. Ukuran masing-masing diameter dari indikasi *rounded* adalah 0,24 mm dan 0,42 mm, serta indikasi *linear* memiliki panjang sebesar 5,22 mm.

Setelah dievaluasi menurut standar keberterimaan ASME Section IX Article 1 QW 195, indikasi *rounded* dapat diterima (*accepted*) karena memiliki ukuran < 5 mm. Namun, pada indikasi *linear* ditolak (*rejected*) karena memiliki ukuran > 1,5 mm. Kemudian diskontinuitas yang terbentuk pada indikasi *rounded* adalah cacat *pin hole* dan diskontinuitas yang terbentuk pada indikasi *linear* adalah cacat *crack*.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

Liquid Penetrant Test merupakan salah satu metode pengujian jenis NDT yang relatif mudah dan praktis untuk dilakukan, serta dapat digunakan untuk semua jenis material logam, plastik, kaca, dan keramik. Akan tetapi, metode ini hanya dapat digunakan untuk mengetahui diskontinuitas pada permukaan yang halus saja, sebab permukaan yang terlalu kasar atau berpori-pori dapat mengakibatkan adanya indikasi palsu. Diskontinuitas di bawah permukaan (*subsurface*) tidak dapat dideteksi dengan cara ini.

Magnetic Particle Test merupakan salah satu metode NDT yang dapat mendeteksi cacat pada permukaan (*surface*) dan di bawah permukaan (*subsurface*) dari suatu material. Untuk cacat yang ada di dalam material tidak dapat dideteksi. Lalu hanya dapat digunakan pada bahan *ferromagnetic*. Pengujian ini juga memerlukan pengalaman, keterampilan, dan ketelitian dalam menginterpretasi indikasi.

Pada pemeriksaan yang telah dilakukan, ditemukan indikasi cacat yang dapat diterima (*accepted*) sesuai dengan kriteria keberterimaan ASME Section IX Article 1 QW 195, yaitu cacat *pin hole* dan *porosity*. Adapun indikasi cacat yang ditolak (*rejected*) adalah cacat *crack* dan empat buah *porosity* yang berjajar dalam satu garis, sehingga kedua cacat tersebut perlu diperbaiki dan dilakukan pemeriksaan kembali untuk memastikan indikasi cacat yang ditemukan telah hilang.

Daftar Pustaka

- [1] T. B. Santoso, Solichin, dan P. T. Hutomo, “Pengaruh Kuat Arus Listrik Pengelasan terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Las SMAW dengan Elektroda E7016,” *J. Tek. Mesin*, vol. 23, no. 1, hal. 56–64, 2015.
- [2] H. Wiryosumarto dan T. Okumura, *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita, 2000.
- [3] Achmadi, “18 Macam Cacat Las dan Penyebabnya Serta Cara Mengatasi,” 2022. <https://www.pengelasan.net/cacat-las/> (diakses 5 Januari 2023).
- [4] A. I. Rusmana, *Buku Informasi Melakukan Penetrant Test (PT)*. Jakarta Selatan: Kemnaker RI, 2018. [Daring]. Tersedia pada: https://blkserang.kemnaker.go.id/digilib/index.php?p=show_detail&id=78&keywords=
- [5] K. A. Kusuma, “Analisis Cacat Las Pada Pipa Carbon Steel ASTM A106 Grade B Dengan Dye Penetrant Test,” Universitas Diponegoro, 2022.
- [6] A. A. Muhsen, “Non-Destructive Testing Methods and their Application in Technology,” hal. 1–23, 2021, doi: 10.6084/m9.figshare.16926127.
- [7] N. H. M. M. Shrifan, M. F. Akbar, dan N. A. M. Isa, “Prospect of Using Artificial Intelligence for Microwave Nondestructive Testing Technique: A Review,” *IEEE Access*, vol. 20, hal. 1–24, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2934143.
- [8] M. A. Fitrah, M. Balfas, dan Mardin, “Analisis Cacat Las Hasil Pengelasan Kombinasi GTAW dan SMAW Posisi 6G pada Pipa SA 106 GRADE B,” *J-Move*, vol. 3, no. 1, hal. 1–5, 2021, [Daring]. Tersedia pada: <https://jurnal.ft.umi.ac.id/index.php/jmove/article/view/301>
- [9] Tim IT PPSDM Migas, “PPSDM Migas - Bridging Your Success,” 2023. <https://ppsdmmigas.esdm.go.id> (diakses 3 Januari 2022).
- [10] *ASME SECTION V 2019*. New York: The American Society of Mechanical Engineers, 2019.
- [11] *ASME SECTION IX 2019*. New York: The American Society of Mechanical Engineers, 2019.