

Implementasi Metode *Magnetic Particle Inspection* (MPI) untuk Inspeksi Cacat Las pada Sambungan Las Struktur Baja S355

M.Nur Dzikri Hasan^{*1}Adi Syahputra Purba, S.pd., M.Si., ^{1*}

* Politeknik Negeri Batam

Program Studi Teknik Mesin

Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia

¹E-mail: nurdzikri11@gmail.com

Abstrak

Industri minyak dan gas memerlukan metode inspeksi yang mampu menjamin kualitas serta keandalan sambungan las pada struktur baja. *Magnetic Particle Inspection* (MPI) merupakan metode Non-Destructive Testing (NDT) yang efektif untuk mendeteksi cacat permukaan dan dekat permukaan pada material ferromagnetik. Penelitian ini bertujuan mengimplementasikan metode MPI untuk mengidentifikasi dan menganalisis indikasi cacat pada 365 sambungan las struktur grillage baja S355 di proyek HAIL & GASHA Development Project. Inspeksi dilakukan menggunakan metode wet visible MPI sesuai ASTM E709 dan ASME Section V Article 7, sedangkan evaluasi hasil mengacu pada AWS D1.1. Hasil inspeksi menunjukkan 7 indikasi cacat (1,92%) yang terdiri atas 4 *longitudinal crack* dan 3 *porosity*, sedangkan 358 sambungan las (98,08%) memenuhi *acceptance criteria*. *Longitudinal crack* diindikasikan berkaitan dengan tegangan sisa dan pendinginan yang tidak merata, sedangkan *porosity* disebabkan oleh gas yang terperangkap selama proses pengelasan. Seluruh sambungan yang mengalami indikasi telah direpair dan dinyatakan Accepted setelah inspeksi ulang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi MPI efektif dalam mengidentifikasi cacat permukaan, mendukung proses repair, serta memverifikasi kualitas sambungan las pada kondisi inspeksi lapangan.

Kata kunci: *Magnetic Particle Inspection* (MPI), Non-Destructive Testing (NDT), sambungan las, struktur baja, crack, porosity.

Abstract

The oil and gas industry requires reliable inspection methods to ensure the quality and integrity of welded joints in steel structures. *Magnetic Particle Inspection* (MPI) is a Non-Destructive Testing (NDT) method capable of detecting surface and near-surface discontinuities in ferromagnetic materials. This study implements the MPI method to identify and analyze welding discontinuities in 365 welded joints of an S355 steel grillage structure for the HAIL & GASHA Development Project. Inspection was performed using the wet visible MPI technique in accordance with ASTM E709 and ASME Section V Article 7, while the results were evaluated based on AWS D1.1. The inspection identified seven discontinuities (1.92%), consisting of four longitudinal cracks and three porosity indications, while 358 welded joints (98.08%) satisfied the acceptance criteria. The cracks were associated with residual stress and uneven cooling, whereas the porosity indications were attributed to gas entrapment during welding. All affected welds were repaired and accepted after reinspection. The results demonstrate that MPI is effective for identifying surface discontinuities, supporting repair decisions, and verifying weld quality under actual field inspection conditions.

Keywords: *Magnetic Particle Inspection* (MPI), Non-Destructive Testing (NDT), welded joint, steel structure, crack, porosity.

1. Pendahuluan

Industri minyak dan gas (migas) termasuk sektor dengan tingkat risiko kegagalan struktur yang tinggi, sehingga memerlukan sistem pengendalian kualitas yang ketat untuk menjamin keselamatan serta keandalan operasional. Berbagai komponen struktur dalam industri ini harus mampu menahan beban kerja dan kondisi lingkungan ekstrem. Dengan demikian, deteksi dini terhadap potensi kerusakan menjadi imperatif. Dalam praktiknya, perusahaan inspeksi dan pengujian berperan penting dalam memverifikasi kualitas material serta struktur melalui metode *Non-Destructive Testing (NDT)*. Metode NDT diterapkan secara luas untuk mendeteksi cacat pada material tanpa menyebabkan kerusakan [1]. Oleh karena itu, pendekatan ini sangat efektif untuk komponen yang telah terpasang dan beroperasi di lapangan.

Salah satu objek utama inspeksi adalah sambungan las pada struktur baja, yang berfungsi sebagai penghubung antar-komponen dan secara signifikan memengaruhi kekuatan serta keandalan struktur secara keseluruhan. Namun, proses pengelasan sering kali menghasilkan cacat seperti retak, porositas, dan ketidaksempurnaan lainnya, yang dapat mengurangi integritas struktur. Jika cacat tersebut tidak terdeteksi secara dini, maka berpotensi memicu kegagalan struktur [2]. Oleh karena itu, inspeksi harus dilakukan dengan mengacu pada standar industri yang relevan. Misalnya, *ASTM E709* [3] dijadikan panduan untuk metode *Magnetic Particle Inspection (MPI)*, sedangkan *ASME Section V Article 7* [4] berfungsi sebagai prosedur inspeksi standar. Selain itu, standar *MPI* [5] digunakan sebagai dasar evaluasi hasil inspeksi serta penilaian kelayakan cacat pada sambungan las.

Seiring perkembangan teknologi inspeksi, berbagai metode *Non-Destructive Testing (NDT)* telah dikembangkan, masing-masing dengan karakteristik unik dalam mendeteksi cacat. Metode *Ultrasonic Testing (UT)* dan *Radiographic Testing (RT)* terbukti lebih efektif untuk mendeteksi cacat internal [1]. Sebaliknya, metode *Magnetic Particle Inspection (MPI)* lebih tepat untuk mengidentifikasi cacat permukaan serta cacat dekat permukaan pada material ferromagnetik. Prinsip kerja *MPI* melibatkan pemanfaatan medan magnet guna mengungkap diskontinuitas material melalui pola indikasi partikel magnetik yang terbentuk di permukaan. Metode *MPI* teknik wet visible sering diterapkan pada inspeksi sambungan las baja ferromagnetik karena dapat mempertajam indikasi cacat melalui black ink dan white contrast paint. Selain itu, penerapan AC Yoke pada inspeksi *MPI* terbukti efektif untuk mendeteksi cacat permukaan pada sambungan las baja struktural [6]. Menurut standar *ASTM E709* [3], metode ini menunjukkan sensitivitas tinggi terhadap cacat permukaan maupun cacat dekat permukaan. Selain itu, penelitian terkait mengonfirmasi bahwa *MPI* memiliki probabilitas deteksi cacat yang tinggi, sehingga dapat meningkatkan akurasi hasil inspeksi secara keseluruhan [2].

Penelitian terdahulu mengindikasikan bahwa metode *MPI* efektif dalam mendeteksi berbagai jenis cacat pada sambungan las, seperti retak, porositas, dan incomplete fusion. Metode ini juga menjadi dasar evaluasi kualitas hasil pengelasan. Selain itu, studi pada material baja S355J2 membuktikan efektivitas *MPI* dalam mengidentifikasi cacat pada material tersebut [7]. Lebih lanjut, metode *MPI* dapat diterapkan secara sistematis dengan merujuk pada standar pengujian, sehingga menghasilkan inspeksi yang akurat [2]. Studi oleh Leksonowati dkk membandingkan penggunaan AC Yoke dan DC Yoke dalam metode *Magnetic Particle Inspection (MPI)* dengan teknik wet visible pada baja karbon. Temuan penelitian mengonfirmasi bahwa *MPI* efektif untuk mendeteksi indikasi cacat pada material ferromagnetik, sekaligus meningkatkan akurasi inspeksi sambungan las [6].

Meskipun demikian, mayoritas penelitian sebelumnya masih menekankan kemampuan metode *Magnetic Particle Inspection (MPI)* dalam mendeteksi cacat dan menilai kualitas hasil pengelasan. Sebagai contoh, studi yang dilakukan oleh Alvaro dkk. [2] menguji spesimen sambungan las dalam kondisi

laboratorium dengan parameter terkendali, tanpa memperhitungkan faktor lapangan seperti keterbatasan akses inspeksi atau pengaruh kontaminasi permukaan material. Penelitian serupa juga cenderung melakukan pengujian *MPI* pada spesimen dengan kondisi ideal, sehingga kurang merepresentasikan situasi inspeksi pada proyek aktual. Dengan demikian, eksplorasi mengenai implementasi proses inspeksi lapangan termasuk interpretasi indikasi cacat berdasarkan observasi visual itu masih terbatas dan belum dibahas secara komprehensif, terutama dalam konteks kondisi proyek nyata.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, penelitian ini dibatasi pada penerapan metode *Magnetic Particle Inspection (MPI)* untuk mendeteksi cacat las pada sambungan las struktur grillage material baja S355 pada proyek HAIL & GASHA. Proses inspeksi mengacu pada ASTM E709 dan ASME Section V Article 7, sedangkan evaluasi hasil dilakukan berdasarkan *AWS D1.1*. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis indikasi cacat pada sambungan las, mengevaluasi kualitas sambungan las berdasarkan hasil inspeksi, serta mengkaji efektivitas penerapan *MPI* pada kondisi lapangan aktual. Apriliansyah [7] menunjukkan bahwa *MPI* efektif mendeteksi cacat halus hingga sub-milimeter dalam kondisi terkendali, sedangkan Alvaro dkk. [2] menunjukkan probabilitas deteksi signifikan pada ukuran cacat sekitar ± 2 mm. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran kualitas sambungan las pada struktur grillage serta mendukung kegiatan pengendalian kualitas di lingkungan fabrikasi.

2. Metodologi Penelitian

2.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dijalankan melalui serangkaian tahapan sistematis guna menghasilkan hasil inspeksi yang akurat dan dapat dipertanggungjawabkan. Diagram alir penelitian mengilustrasikan alur proses dari identifikasi permasalahan hingga penyusunan kesimpulan. Setiap tahapan dirancang berdasarkan metodologi penelitian teknik serta mematuhi prosedur inspeksi standar *Non-Destructive Testing (NDT)* [1].



Gambar 2.1 Diagram Alir

2.2 Studi Awal

Tahap awal penelitian diawali dengan studi literatur dan observasi lapangan untuk memperoleh pemahaman mengenai kondisi objek penelitian serta menentukan metode inspeksi yang paling sesuai. Studi literatur dilakukan dengan mengacu pada ASTM E709 sebagai pedoman pelaksanaan *Magnetic Particle Inspection (MPI)* [3], ASME Section V Article 7 sebagai acuan prosedur inspeksi [4], *MPI* sebagai dasar evaluasi hasil inspeksi sambungan las [5], serta sejumlah penelitian terdahulu yang membahas efektivitas metode *MPI* dalam mendeteksi cacat pada sambungan las [2].

Selanjutnya, observasi lapangan dilakukan pada struktur grillage dalam proyek HAIL & GASHA untuk mengidentifikasi kondisi sambungan las dan potensi cacat yang mungkin dijumpai. Berdasarkan hasil studi literatur dan observasi tersebut, metode *Magnetic Particle Inspection (MPI)* dipilih karena memiliki kemampuan yang tinggi dalam mendeteksi cacat permukaan maupun cacat yang berada di dekat permukaan pada material ferromagnetik [3]. Seluruh kegiatan inspeksi kemudian dilaksanakan pada kondisi lapangan aktual dengan mengacu pada prosedur dan standar yang berlaku guna menjamin keandalan hasil pengujian.

Magnetic Particle Inspection (MPI) dapat diterapkan menggunakan dua teknik aplikasi partikel magnetik, yaitu dry visible dan wet visible. Metode dry visible menggunakan partikel magnetik berbentuk serbuk kering yang umumnya sesuai untuk inspeksi pada permukaan kasar atau komponen bersuhu tinggi. Sebaliknya, metode wet visible menggunakan partikel magnetik yang tersuspensi dalam media cair sehingga memiliki mobilitas partikel yang lebih baik dan mampu menghasilkan indikasi cacat yang lebih jelas pada permukaan material. Penelitian Pardede menunjukkan bahwa metode visible wet memiliki sensitivitas yang lebih baik dibandingkan visible dry dalam mendeteksi retak pada sambungan las. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan metode wet visible karena objek penelitian berupa sambungan las struktur baja S355 yang telah dipersiapkan permukaannya, sehingga diperlukan kejelasan indikasi dan sensitivitas yang tinggi untuk mendukung proses identifikasi cacat [8]

2.3 Identifikasi Objek Penelitian

Objek penelitian mencakup sambungan las pada struktur grillage tipe A di proyek *HAIL & GASHA* Development Project. Struktur tersebut terkomposisi dari komponen utama seperti H-beam, stiffener, flatbar, dan forklift pocket, yang semuanya berbahan baja struktural S355. Sambungan las berperan sebagai penghubung antar-komponen, sehingga secara esensial memengaruhi kekuatan dan keandalan struktur secara keseluruhan. Penelitian ini tidak menganalisis seluruh sambungan las, melainkan hanya memilih sebagian sebagai representasi kondisi inspeksi lapangan.



2.4 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilaksanakan melalui observasi langsung di lapangan dan tinjauan dokumen terkait proses fabrikasi serta inspeksi. Pendekatan ini merupakan praktik standar dalam penelitian teknik guna memperoleh data yang relevan dan akurat [1]. Data yang diperoleh mencakup informasi material, data sambungan las, serta spesifikasi peralatan inspeksi *MPI* yang diterapkan dalam penelitian

2.4.1 Data Material

Tabel 1. Data Material Struktur Grillage

No	Part Name	Dimension	Material	Remark
1	<i>H-Beam</i>	HEB 400 x 300 x 24 x 13.5 (3000)	S355	
2	<i>Stiffener</i>	PI. 20 – 348 x 141	S355	
3	<i>Pocket</i>	Forklift Pocket (C180)	S355	
4	<i>Flatbar</i>	FB-25x9	S355	

2.4.2 Data Sambungan Las

Tabel 2. Data Sambungan Las Struktur Grillage

No	Jenis Sambungan	Jenis Las	Material	Metode
1	<i>Fillet Weld</i>	FCAW	S355	<i>MPI</i>
2	<i>Full Penetration</i>	FCAW	S355	UT & <i>MPI</i>

*tidak menjadi fokus penelitian

2.4.3 Data Peralatan *MPI*

Tabel 3. Data Peralatan *MPI*

No	Peralatan	Fungsi
1	<i>KDE MP-A2 AC Leeb Magnet Yoke</i>	Media magnetisasi
2	<i>Magnaflux WCP-2 (White Contrast Paint)</i>	Media kontras
3	<i>Magnaflux 7HF (Black Ink)</i>	Partikel magnetik
4	<i>XR-1000 (Lux Meter)</i>	Mengukur pencahayaan
5	Senter / Flashlight	Membantu pencahayaan

Material yang digunakan berupa baja S355 dengan sambungan FCAW. Peralatan inspeksi terdiri atas AC Yoke, white contrast paint, black ink, lux meter, dan flashlight yang digunakan sesuai metode wet visible *MPI* [6].

2.5 Prosedur Pelaksanaan *MPI*

Pelaksanaan *MPI* meliputi:

- Pemeriksaan intensitas cahaya menggunakan lux meter
- Persiapan permukaan benda uji
- Aplikasi white contrast paint
- Magnetisasi menggunakan yoke
- Aplikasi partikel magnetik (black ink)
- Pengamatan indikasi cacat
- Evaluasi hasil inspeksi

- Demagnetisasi (jika diperlukan)
- Pembersihan akhir

2.6 Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan secara deskriptif berdasarkan *AWS D1.1* dengan mengevaluasi jumlah sambungan las, indikasi cacat, hasil inspeksi, dan status penerimaan [5]. Data disajikan dalam bentuk tabel dan persentase untuk menggambarkan kualitas sambungan las serta efektivitas metode *MPI*.

Analisis data mencakup:

- Pengenalan jenis cacat berdasarkan indikasi yang terdeteksi
- Interpretasi pola indikasi cacat pada permukaan material
- Penilaian hasil inspeksi sesuai kriteria standar

3. Analisa Data dan Pembahasan

3.1 Gambaran Data Penelitian

3.1.1 Sumber Data Penelitian

Data penelitian berasal dari dokumen *NDE Request* (RFI), Gambar Indikasi Aktual, dan Magnetic Particle Inspection Report (MT Report). RFI digunakan sebagai acuan objek inspeksi, sedangkan MT Report digunakan sebagai sumber hasil inspeksi dan evaluasi sesuai *AWS D1.1*.

NDE REQUEST													
TO :		ATTN :		FROM :		DATE OF INSP. :		TYPE OF INSP. :		NDEMT :		RFI No. : TFEJ0242606NDT-RFI-089	
WASCO/		CLIENT or OWNER :		TYPE/CWA/ID :								Page : 1 OF 1	
NO.	WASCO/	ITEM NO.	JOINT NO.	POSITION	MATERIAL	THICKS	LENGTH	WELDER	PROCESS	QTY	RESULT	REMARKS	
	CLIENT or OWNER												
1	WASCO	Top View	J9	1G	S355	24	428	GW-18	FCAW	1		DS-H025-DWG-G004	
2	WASCO	Top View	J10	1G	S355	24	428	GW-18	FCAW	1		DS-H025-DWG-G004	
3	WASCO	Top View	J11	1G	S355	24	428	GW-18	FCAW	1		DS-H025-DWG-G004	
4	WASCO	Top View	J12	1G	S355	24	428	GW-18	FCAW	1		DS-H025-DWG-G004	
5	WASCO	SECTION AA	J13	1G	S355	24	428	GW-18	FCAW	1		DS-H025-DWG-G004	
6	WASCO	SECTION AA	J14	1G	S355	24	428	GW-18	FCAW	1		DS-H025-DWG-G004	
7	WASCO	SECTION AA	J17	1G	S355	24	428	GW-18	FCAW	1		DS-H025-DWG-G004	
8	WASCO	SECTION AA	J18	1G	S355	24	428	GW-18	FCAW	1		DS-H025-DWG-G004	
9	WASCO	SECTION AA	J21	1G	S355	24	428	GW-18	FCAW	1		DS-H025-DWG-G004	
10	WASCO	SECTION AA	J22	1G	S355	24	428	GW-18	FCAW	1		DS-H025-DWG-G004	
11	WASCO	SECTION A1-A1	J23	1G	S355	24	428	GW-18	FCAW	1		DS-H025-DWG-G004	
12	WASCO	SECTION A1-A1	J32	1G	S355	24	428	GW-18	FCAW	1		DS-H025-DWG-G004	
13	WASCO	SECTION A2-A2	J33	1G	S355	24	428	GW-18	FCAW	1		DS-H025-DWG-G004	
14	WASCO	SECTION A2-A2	J42	1G	S355	24	428	GW-18	FCAW	1		DS-H025-DWG-G004	
15	WASCO	SECTION A4-A4	J53	1G	S355	24	428	GW-18	FCAW	1		DS-H025-DWG-G004	
16	WASCO	SECTION A4-A4	J62	1G	S355	24	428	GW-18	FCAW	1		DS-H025-DWG-G004	
17	WASCO	SECTION A6-A6	J73	1G	S355	24	428	GW-30	FCAW	1		DS-H025-DWG-G004	
18	WASCO	SECTION A6-A6	J82	1G	S355	24	428	GW-30	FCAW	1		DS-H025-DWG-G004	
19	WASCO	SECTION A8-A8	J93	1G	S355	24	428	GW-30	FCAW	1		DS-H025-DWG-G004	
20	WASCO	SECTION A8-A8	J102	1G	S355	24	428	GW-30	FCAW	1		DS-H025-DWG-G004	
21	WASCO	SECTION A10-A10	J113	1G	S355	24	428	GW-30	FCAW	1		DS-H025-DWG-G004	
22	WASCO	SECTION A10-A10	J122	1G	S355	24	428	GW-30	FCAW	1		DS-H025-DWG-G004	
23	WASCO	SECTION A12-A12	J133	1G	S355	24	428	GW-30	FCAW	1		DS-H025-DWG-G004	
24	WASCO	SECTION A12-A12	J134	1G	S355	24	428	GW-30	FCAW	1		DS-H025-DWG-G004	
25	WASCO	SECTION A12-A12	J137	1G	S355	24	428	GW-30	FCAW	1		DS-H025-DWG-G004	
26	WASCO	SECTION A12-A12	J138	1G	S355	24	428	GW-30	FCAW	1		DS-H025-DWG-G004	
27	WASCO	SECTION A12-A12	J141	1G	S355	24	428	GW-30	FCAW	1		DS-H025-DWG-G004	
28	WASCO	SECTION A12-A12	J142	1G	S355	24	428	GW-30	FCAW	1		DS-H025-DWG-G004	

Gambar 3. 1 RFI Type C

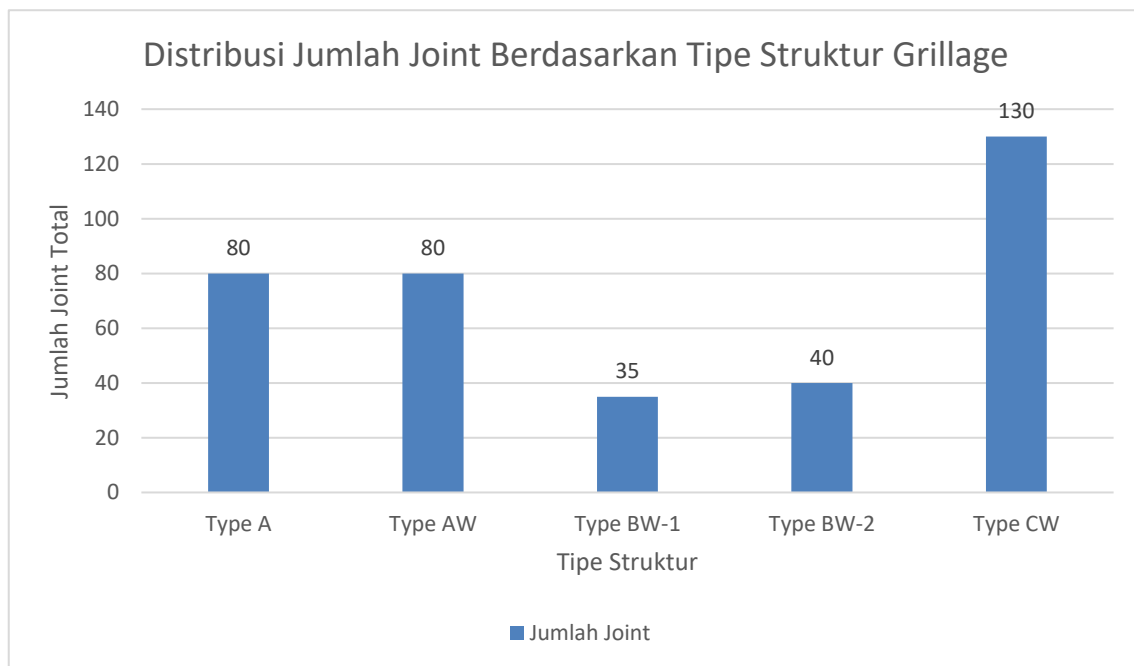
Gambar 3.1 menunjukkan salah satu contoh dokumen *NDE Request* yang digunakan sebagai dasar pelaksanaan inspeksi *MPI*. Dokumen tersebut memuat informasi mengenai nomor *joint*, jenis material, proses pengelasan, panjang sambungan las, serta area inspeksi yang akan diperiksa.

3.1.2 Rekapitulasi Sambungan Las yang Diinspeksi

Tabel 4. Rekap Sambungan Las yang Menjadi Objek Penelitian

Jenis Struktur	Jumlah RFI	Jumlah <i>Joint</i>	Persentase (%)
Type A	5	80	21,9
Type AW	5	80	21,9
Type BW-1	5	35	9,6
Type BW-2	5	40	11,0
Type CW	5	130	35,6
Total	25	365	100

Distribusi Jumlah *Joint* Berdasarkan Tipe Struktur Grillage



Gambar 3. 2 Diagram Jumlah Joint

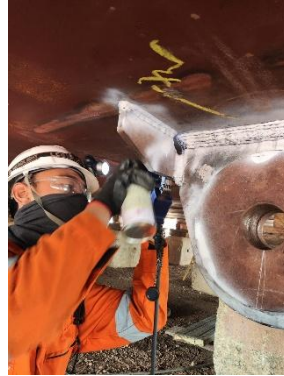
Rekapitulasi terhadap 25 dokumen *NDE Request* (RFI) yang digunakan sebagai sampel penelitian menunjukkan bahwa terdapat 365 sambungan las (*joint*) yang menjadi objek inspeksi menggunakan metode *Magnetic Particle Inspection* (MPI). Distribusi jumlah *joint* pada setiap tipe struktur grillage disajikan pada Tabel 4 dan divisualisasikan kembali pada Gambar 3.2.

Berdasarkan data pada Tabel 4 dan Gambar 3.2, struktur Type CW memiliki jumlah *joint* terbanyak, yaitu 130 *joint* atau sekitar 35,6% dari total objek inspeksi. Selanjutnya, Type A dan Type AW masing-masing memiliki 80 *joint* (21,9%). Sementara itu, Type BW2 terdiri atas 40 *joint* (11,0%), sedangkan jumlah *joint* paling sedikit ditemukan pada Type BW1, yaitu sebanyak 35 *joint* atau sekitar 9,6%. Variasi jumlah sambungan las pada setiap tipe struktur dipengaruhi oleh perbedaan konfigurasi dan tingkat kompleksitas desain grillage, sehingga kebutuhan sambungan las pada masing-masing tipe juga berbeda.

3.2 Pelaksanaan Inspeksi *Magnetic Particle Inspection* (MPI)

Setelah objek penelitian ditetapkan berdasarkan dokumen *NDE Request*, sebanyak 365 sambungan

las diperiksa menggunakan metode *Magnetic Particle Inspection (MPI)*. Selama proses inspeksi, setiap sambungan las dievaluasi untuk mendeteksi adanya indikasi cacat, baik pada permukaan maupun di dekat permukaan material. Selanjutnya, setiap indikasi yang teridentifikasi dievaluasi berdasarkan *AWS D1.1* untuk menentukan kebutuhan tindakan perbaikan (*repair*) sebelum dilakukan inspeksi ulang.



Gambar 3. 2 Pelaksanaan MPI

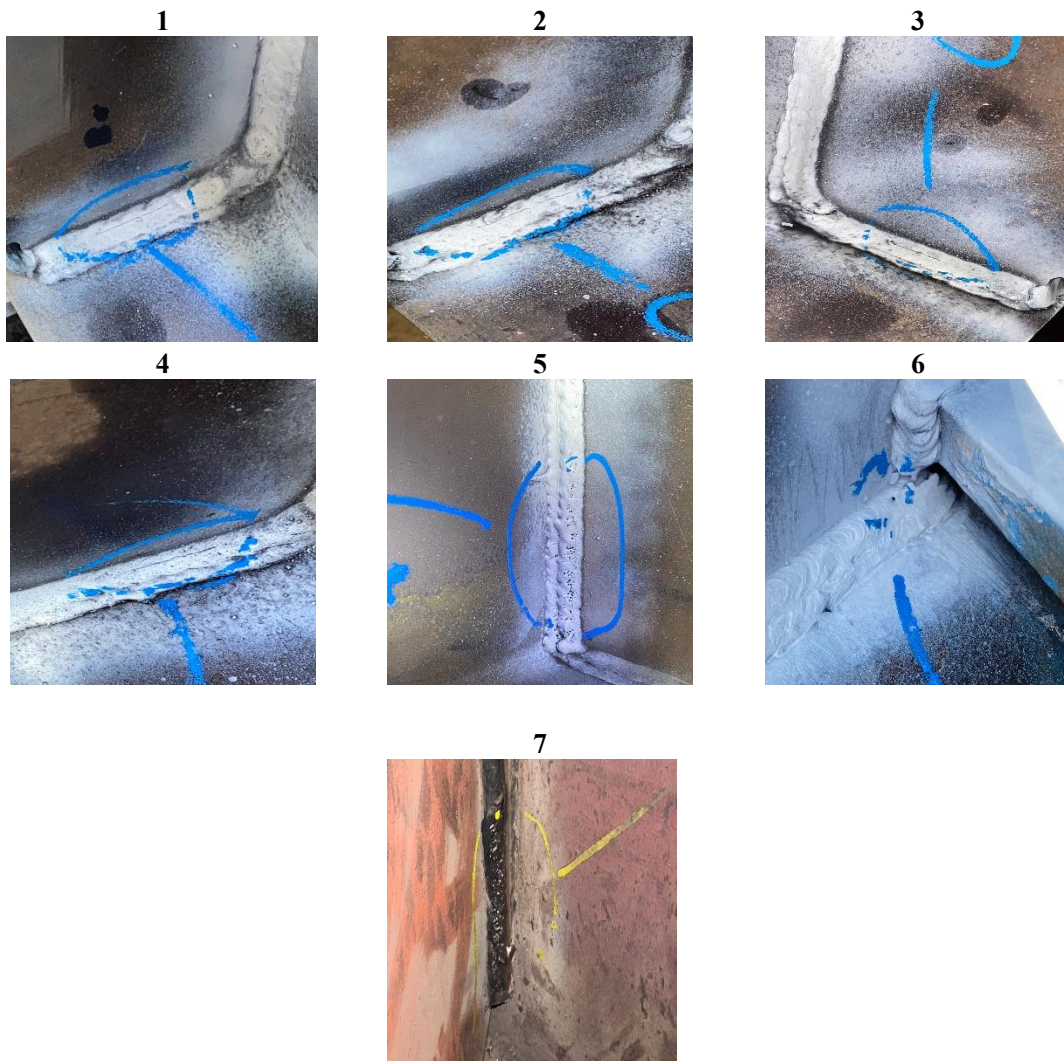


Gambar 3. 3 Equipment Wet Visible MPI

Pada penelitian ini, metode *Magnetic Particle Inspection (MPI)* diimplementasikan menggunakan teknik wet visible karena menghasilkan indikasi cacat yang lebih jelas dan memiliki sensitivitas lebih tinggi terhadap cacat permukaan dibandingkan dry visible, sehingga sesuai untuk inspeksi sambungan las baja S355 yang telah dipersiapkan permukaannya [8]. Sebelum inspeksi dilakukan, intensitas pencahayaan area kerja diukur menggunakan *lux meter* dan flashlight digunakan apabila pencahayaan belum memadai. Selanjutnya, inspeksi dilakukan menggunakan *AC Yoke* untuk membangkitkan medan magnet, kemudian diaplikasikan white contrast paint dan black ink sehingga indikasi cacat dapat diamati. Metode ini diimplementasikan pada proses inspeksi mulai dari identifikasi indikasi, marking, penentuan repair, hingga

inspeksi ulang untuk memastikan sambungan las memenuhi acceptance criteria.

3.3 Hasil Temuan Indikasi Selama Inspeksi



Tabel 5. Dokumentasi Temuan Indikasi Hasil Inspeksi

No	Lokasi	Jenis Indikasi	Panjang	Lebar	Status
1	Capping	<i>Longitudinal crack</i>	9mm	0.2mm	N/A
2	Capping	<i>Longitudinal crack</i>	9mm	0.1mm	N/A
3	Capping	<i>Longitudinal crack</i>	6mm	0.1mm	N/A
4	Capping	<i>Longitudinal crack</i>	10mm	0.1mm	N/A
5	Capping	Cluster Pore	15mm	0.6mm	N/A
6	Capping	Pore	0.5mm	0.7mm	N/A
7	Capping	Cluster Pore	13mm	0.5mm	N/A

Selama pelaksanaan inspeksi *MPI* terhadap 365 sambungan las, ditemukan 7 (1,92%) indikasi cacat yang memerlukan *repair*, terdiri atas 4 *longitudinal crack* dan 3 *porosity*. Dokumentasi pada Tabel 5 merupakan sampel yang mewakili karakteristik indikasi tersebut.

Berdasarkan hasil identifikasi, indikasi yang ditemukan pada sampel penelitian berupa *longitudinal crack* dan *porosity*. Indikasi *longitudinal crack* umumnya muncul pada area welding dan diduga dipengaruhi oleh residual stress yang terjadi selama proses pendinginan setelah pengelasan. Selain itu, faktor seperti desain sambungan, parameter pengelasan, dan kontaminasi material juga dapat memicu terbentuknya retak pada sambungan las. Sementara itu, indikasi *porosity* diduga disebabkan oleh gas yang terperangkap di dalam logam las akibat perlindungan gas yang kurang baik, adanya kelembapan atau kontaminasi pada permukaan material, serta parameter pengelasan yang kurang sesuai [9] [10] [11]. Kedua jenis indikasi tersebut termasuk cacat permukaan yang dapat dideteksi menggunakan metode *Magnetic Particle Inspection (MPI)* dan selanjutnya dievaluasi berdasarkan *acceptance criteria AWS D1.1*.

3.3.1 Evaluasi Berdasarkan Standar AWS D1.1

Tabel 6. Acceptance Criteria AWS D1.1

Discontinuity Category and Inspection Criteria	Statically Loaded Nontubular Connection	Cyclically Loaded Nontubular Connection
(1) Crack Prohibition Any crack shall be unacceptable, regardless of size or location.	X	X
(8) Porosity A) CJP groove welds in butt <i>joints</i> transverse to the direction of computed tensile stress shall have no visible piping <i>porosity</i> . For all other groove welds and for fillet welds, the sum of the visible piping <i>porosity</i> 1/32 in [1 mm] or greater in diameter shall not exceed 3/8 in [10 mm] in any linear inch of weld and shall not exceed 3/4 in [20 mm] in any 12 in [300 mm] length of weld.	X	

*sumber AWS D1.1 ED 2020

Berdasarkan Tabel 6, indikasi yang ditemukan selama inspeksi terdiri atas empat *longitudinal crack* dan tiga *porosity* yang seluruhnya berada pada area toe weld. Hasil tersebut kemudian dibandingkan dengan *acceptance criteria* pada AWS D1.1 Table 8.1. Berdasarkan kategori *Crack Prohibition*, seluruh indikasi crack dinyatakan tidak dapat diterima tanpa mempertimbangkan ukuran maupun lokasi. Sementara itu, indikasi *Porosity* dievaluasi berdasarkan ukuran dan distribusi pori sesuai *acceptance criteria AWS D1.1*. Oleh karena itu, seluruh indikasi yang pada sampel yang ditemukan dikategorikan tidak memenuhi *acceptance criteria* sehingga memerlukan proses *repair* sebelum inspeksi ulang dilaksanakan.

Sambungan las yang tidak memenuhi *acceptance criteria* kemudian dilakukan *repair* oleh grindman pada area yang telah ditandai (marking) oleh inspector. Setelah proses *repair* selesai, sambungan las diperiksa kembali menggunakan metode *MPI* hingga dinyatakan memenuhi *acceptance criteria AWS D1.1*.

3.4 Rekapitulasi Hasil Inspeksi Setelah Repair

Berdasarkan hasil identifikasi, sambungan las yang tidak memenuhi *acceptance criteria* sesuai ketentuan AWS D1.1 menjalani proses *repair*. Setelah seluruh proses perbaikan selesai, area yang telah diperbaiki diperiksa kembali menggunakan metode *Magnetic Particle Inspection (MPI)* untuk memastikan

bahwa indikasi cacat telah hilang dan sambungan las telah memenuhi kriteria penerimaan.

Tabel 7. Rekapitulasi Hasil Akhir

Jenis Struktur	<i>Joint</i>	Accept	Reject
Type A	80	80	0
Type AW	80	80	0
Type BW-1	35	35	0
Type BW-2	40	40	0
Type CW	130	130	0
Total	365	365	0

Berdasarkan data pada Tabel 7, seluruh 365 sambungan las dinyatakan Accept pada hasil inspeksi akhir karena telah memenuhi *acceptance criteria* sesuai standar yang berlaku. Hasil tersebut menunjukkan bahwa tahapan identifikasi indikasi, evaluasi berdasarkan *AWS D1.1*, pelaksanaan *repair*, hingga inspeksi ulang telah dilakukan secara efektif, sehingga kualitas sambungan las yang dihasilkan memenuhi persyaratan yang ditetapkan.

3.5 Efektivitas Penggunaan *MPI*

Implementasi metode *Magnetic Particle Inspection (MPI)* pada penelitian ini menunjukkan bahwa metode tersebut efektif diterapkan pada inspeksi lapangan aktual. Dari total 365 sambungan las yang diperiksa, *MPI* berhasil mengidentifikasi indikasi cacat sebagai dasar tindakan *repair* dan verifikasi hasil melalui inspeksi ulang. Setelah *repair* selesai, seluruh sambungan las memenuhi *acceptance criteria*. Hal ini menunjukkan bahwa Efektivitas *MPI* ditunjukkan oleh kemampuannya mengidentifikasi 7 indikasi cacat dari 365 sambungan las, mendukung penentuan *repair* berdasarkan *AWS D1.1*, serta memverifikasi hasil perbaikan melalui inspeksi ulang hingga seluruh sambungan memenuhi *acceptance criteria*.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian mengenai penerapan *MPI* pada proses quality control pengelasan yang menunjukkan bahwa metode *MPI* efektif untuk mengidentifikasi indikasi cacat, mendukung proses *repair*, serta memverifikasi hasil perbaikan melalui inspeksi ulang [12].

4 . Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai implementasi metode *Magnetic Particle Inspection (MPI)* pada inspeksi sambungan las struktur baja S355, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut.

- Inspeksi terhadap 365 sambungan las mengidentifikasi 7 indikasi cacat permukaan (1,92%) yang terdiri atas 4 *longitudinal crack* dan 3 *porosity*, sedangkan 358 sambungan las (98,08%) memenuhi *acceptance criteria* pada inspeksi awal. Analisis menunjukkan bahwa *crack* berkaitan dengan residual stress dan pendinginan yang tidak merata, sedangkan *porosity* berkaitan dengan gas yang terperangkap selama proses pengelasan.
- Evaluasi berdasarkan *AWS D1.1* menunjukkan bahwa 7 indikasi pada sampel penelitian tidak memenuhi *acceptance criteria*, sehingga diperlukan proses *repair*. Setelah dilakukan *repair* dan inspeksi ulang menggunakan metode *MPI*, seluruh sambungan las dinyatakan memenuhi *acceptance criteria*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa proses *repair* berhasil mengembalikan kualitas sambungan las sesuai standar yang berlaku.

- Implementasi *MPI* pada kondisi lapangan aktual terbukti efektif dalam mendukung pengendalian kualitas sambungan las melalui identifikasi indikasi, evaluasi berdasarkan standar, penentuan tindakan *repair*, dan verifikasi hasil perbaikan. Dengan demikian, metode ini dapat diandalkan sebagai salah satu teknik Non-Destructive Testing untuk menjaga kualitas dan integritas sambungan las pada proses fabrikasi struktur baja.

5 . Daftar Pustaka

Penulisan referensi menggunakan urutan angka seperti berikut, dimana nomor urut disesuaikan dengan nomor referensi yang ditulis di dalam isi paper.

- [1] M. R. M. Shaloo, M. Schnall, T. Klein, N. Huber, and B. Reitingner, "A Review of Non-Destructive Testing (NDT) Techniques for Defect Detection: Application to Fusion Welding and Future Wire Arc Additive Manufacturing Processes," *Materials (Basel)*., vol. 15, no. 10, 2022, doi: 10.3390/ma15103697.
- [2] L. F. C. G. J. W. Vera Alvarado and and J. W. V. F. M. Taboada Neira, "Probability of Defects Detection in Welded Joints Using the Magnetic Particle Method," *Arch. Metall. Mater.*, vol. 69, no. 2, pp. 607–612, 2024, doi: 10.24425/amm.2024.149789.
- [3] ASTM International, "ASTM E709-21, Standard Guide for Magnetic Particle Testing," *Des. E 778 – 87 (Reapproved 2004)*, vol. i, no. Reapproved, pp. 1–13, 2018, doi: 10.1520/E0709-21.2.
- [4] The American Society of Mechanical Engineers, "ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section V: Nondestructive Examination," *ASME BPVC.V-2025*, pp. 1–1125, 2025.
- [5] A. AWS D1.1, "AWS D1 .1/D1 .1 M :2020 Structural Welding Code - Steel," 2020.
- [6] N. F. P. Leksonowati *et al.*, "STUDI KOMPARATIF PENGGUNAAN YOKE AC DAN DC UNTUK DETEKSI CACAT SUBSURFACE PADA MATERIAL BERLAPIS CAT," vol. 7, no. 1, pp. 16–21, 2025.
- [7] M. A. Apriliansyah, "Experimental Analysis of Magnetic Particle Inspection on S355J2 Steel Weld Joints," *J. Metall. Eng. Process. Technol.*, pp. 23–30, 2023.
- [8] W. Hendroprasetyo, A. Putra, and M. Eng, "Comparative Analysis of Sensitivity of Magnetic Particle Inspection (Mpi) Method Using Visible Dry, Visible Wet and Wet Fluorescent Methods To the Detection of Surface Cracks of Weld Metal and Toe of Weld of Coated Weld Joint of Ship," 2016.
- [9] V. G. Priyanka and K. N. Vishnu, "Analysis of surface defects formed in MILD STEEL E250 IS 2062 Material by using magnetic particle testing in various types of welds," vol. 8, no. 2, pp. 229–235, 2020.
- [10] S. A. Rizvi and W. Ali, "Welding defects, Causes and their Remedies: A Review," *Teknomekanik*, vol. 2, no. 2, pp. 39–47, 2019, doi: 10.24036/tm.v2i2.3272.
- [11] Z. Ji, D. Xu, H. Wang, J. Chen, and Y. Fu, "Recent Advances in Non-Destructive Testing Technology for Coated Steel Structure Welds," *Sensors*, vol. 25, no. 22, 2025, doi: 10.3390/s25226923.
- [12] A. Arysuan, A. Sutan Hasibuan, H. Butar Butar, T. Havwini, and M. Gemala, "Evaluation of magnetic particle inspection for optimizing welding quality in back gouging boom structure preparation in heavy machinery," *J. Weld. Technol.*, vol. 7, no. 2, pp. 1–7, 2025.