

STUDI KOMPARATIF PENGGUNAAN YOKE AC DAN DC UNTUK DETEKSI CACAT SUBSURFACE PADA MATERIAL BERLAPIS CAT

Nur Fitria Pujo Leksonowati^{1*}, Nurman Pamungkas², Mufti Fathonah Mufariz², Adi Syahputra Purba¹, Meilani Mandhalena Manurung³, Windy Stefani³, Ninda Hardina Batubara³, Pandi Dupan¹

¹ Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Batam

² Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan, Politeknik Negeri Batam

³ Program Studi Teknologi Rekayasa Metalurgi, Politeknik Negeri Batam

*Corresponding author: nurfitriapujo@polibatam.ac.id

Article history

Received:

25-09-2024

Accepted:

05-06-2025

Published:

30-06-2025

Copyright © 2025

Jurnal Teknologi dan
Riset Terapan

Open Access

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi perbandingan efektivitas yoke AC dan yoke DC dalam mendeteksi cacat bawah permukaan (subsurface defect) pada pelat baja karbon A36 yang dilapisi cat dengan ketebalan bervariasi menggunakan metode *Magnetic Particle Inspection* (MPI). Lima spesimen baja dengan ketebalan lapisan cat 100, 200, 300, 400, dan 500 mikron diuji. Metode *visible wet particle* diterapkan setelah kalibrasi yoke AC dan DC sesuai standar BS 6072. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada ketebalan cat 100 mikron, yoke AC mendeteksi 93% cacat, sedangkan yoke DC mendeteksi 98%. Seiring dengan meningkatnya ketebalan cat, performa yoke AC menurun drastis, terutama pada ketebalan 500 mikron, di mana yoke AC hanya mampu mendeteksi 38% cacat, sementara yoke DC masih mampu mendeteksi 43%. Dengan demikian, yoke DC lebih efektif dalam mendeteksi cacat bawah permukaan pada spesimen dengan lapisan cat yang lebih tebal dibandingkan yoke AC.

Kata Kunci: Yoke AC, Yoke DC, *Magnetic Particle Inspection*, Subsurface Defect, Ketebalan Lapisan Cat

Abstract

This study investigates the comparative performance of AC and DC yokes in detecting subsurface defects in carbon steel A36 plates coated with varying thicknesses using the Magnetic Particle Inspection (MPI) technique. Five steel specimens were prepared with coating thicknesses of 100, 200, 300, 400, and 500 microns, and artificial defects of 0.5 mm width and varying depths were introduced. The visible wet particle method (7HF) was applied after calibrating both yokes according to BS 6072 standards to ensure consistent magnetic strength. The AC yoke demonstrated satisfactory performance at lower coating thicknesses, detecting 93% of defects at 100 microns, but its detection capability significantly decreased to 38% at 500 microns due to the limited penetration of magnetic fields caused by the skin effect. In contrast, the DC yoke consistently outperformed the AC yoke, detecting 98% of defects at 100 microns and retaining a higher detection rate of 43% at 500 microns. These results indicate that the DC yoke provides superior performance in detecting subsurface defects, particularly in specimens with thicker non-conductive coatings, making it more suitable for applications involving thick coatings.

Keywords: AC Yoke, DC Yoke, *Magnetic Particle Inspection*, Subsurface Defects, Coating Thickness

1.0 PENDAHULUAN

Dalam industri yang sangat mengutamakan keselamatan dan keandalan seperti industri perkapalan, integritas material merupakan faktor kunci dalam memastikan daya tahan dan umur panjang produk akhir. Pelat baja dalam konstruksi kapal sering disambungkan

melalui proses pengelasan yang dapat menghasilkan cacat permukaan (*surface defects*) dan bawah permukaan (*subsurface defects*), yang berpotensi mengurangi kekuatan struktural material. Pengelasan bawah air menggunakan metode SMAW pada pelat baja kapal menghasilkan cacat seperti porositas gas dan kurangnya

penetrasi yang memengaruhi kekuatan mekanis sambungan[1]. Pada pengelasan TIG untuk kapal pesiar besar, cacat seperti porositas dan inklusi terak mengurangi ketangguhan sambungan, terutama pada zona yang terpengaruh panas[2]. Cacat-cacat ini dapat dideteksi melalui pengujian non-destruktif seperti ultrasonik dan radiografi. Pengelasan baja tebal menggunakan metode EGW juga menunjukkan pengaruh signifikan pada ketangguhan fraktur, memerlukan penilaian kritis terhadap ukuran cacat yang dapat ditoleransi secara struktural[3]. Deteksi dini cacat sangat penting untuk menjaga integritas struktural kapal.. Deteksi dini terhadap cacat ini sangat penting untuk mencegah kerusakan yang lebih serius, terutama pada pelat yang telah dilapisi bahan non-konduktif seperti cat.

Metode Pengujian Tanpa Merusak (*Non-Destructive Testing* atau NDT) berbasis magnetik digunakan untuk mendeteksi cacat pada material feromagnetik seperti baja karbon. Penelitian menunjukkan bahwa teknik ini menggunakan mekanisme magnetisasi untuk memantau sifat mekanik dan mikrostruktur material, membantu mendeteksi stres internal dan sifat mikrostruktur[4]. Penelitian lain menggunakan sensor magnetik SQUID untuk mendeteksi cacat permukaan dan bawah permukaan dengan sensitivitas tinggi pada material paramagnetik dan feromagnetik[5]. Teknologi NDT magnetik juga diterapkan untuk mengevaluasi sifat mekanik dan mikrostruktur material dalam proses inspeksi industri baja[6].

Uji Partikel Magnetik (*Magnetic Particle Inspection* atau MPI) adalah metode pengujian non-destruktif (NDT) yang digunakan secara luas untuk mendeteksi cacat permukaan dan cacat dekat permukaan pada material feromagnetik. Teknik ini banyak diterapkan di berbagai sektor industri, khususnya untuk memastikan kualitas dan keandalan struktur logam yang berperan penting, seperti sambungan las dan komponen logam yang beroperasi di lingkungan ekstrem, termasuk dalam industri kelautan. Pada proses pengelasan, cacat seperti retakan, porositas, dan ketidaklengkapan fusi dapat mempengaruhi kekuatan struktural material. Penelitian menunjukkan bahwa MPI efektif dalam mendeteksi cacat ini, khususnya pada sambungan las baja karbon dan baja berkekuatan tinggi seperti S355J2. Apriliansyah (2023) meneliti tentang MPI untuk memastikan sambungan las memenuhi standar industri yang ketat, seperti AWS D1.1 dan ASTM E709[7]. Selain itu, Pydi et al. (2022) menunjukkan bahwa MPI dapat mendeteksi cacat kecil yang terbentuk selama proses pengelasan, seperti retakan dan pengelasan yang tidak sempurna[8].

Tantangan dalam industri kelautan salah satunya adalah menjaga integritas struktural komponen logam akibat paparan lingkungan laut yang korosif. Uji Partikel Magnetik (*Magnetic Particle Inspection* atau MPI) merupakan metode yang efektif dalam mendeteksi cacat permukaan dan dekat permukaan, termasuk retakan dan korosi, pada logam feromagnetik yang digunakan dalam struktur kapal dan galangan. Manivannan et al. (2023) menunjukkan bahwa baja lambung kapal EH47 sering mengalami kerusakan akibat korosi dan keausan ketika terpapar air laut dan pasir, dan penggunaan MPI membantu mengidentifikasi cacat tersebut secara dini[9].

Dalam inspeksi sambungan las di galangan kapal, MPI digunakan untuk mendeteksi cacat seperti retakan pada pengelasan butt-weld yang sering digunakan pada bagian penting dari kapal. Studi oleh Zhang et al. (2013) menunjukkan bahwa penggunaan MPI di galangan kapal efektif dalam mendeteksi cacat pengelasan, yang memungkinkan tindakan perbaikan sebelum komponen dioperasikan[10].

Penelitian sebelumnya terkait MPI telah banyak dilakukan, diantaranya Wu et al. (2023) membahas otomatisasi dalam MPI yang memanfaatkan pemrosesan citra dan NDT 4.0 untuk meningkatkan akurasi deteksi dengan mengurangi noise dan mengenali cacat secara real-time[11]. Staněk dan Skvor (2022) mengembangkan metode magnetisasi yang memungkinkan deteksi cacat dengan orientasi kompleks hanya dalam satu siklus pengujian[12]. Penelitian oleh Lednev (2022) menunjukkan bahwa ukuran partikel magnetik dalam rentang 0-15 mikron meningkatkan efektivitas deteksi cacat dalam MPI[13]. Ye et al. (2021) menemukan bahwa MPI efektif dalam mendeteksi cacat permukaan dan bawah permukaan melalui analisis fitur citra, yang membantu dalam identifikasi kebocoran medan magnet akibat cacat pada material feromagnetik[14].

Fikri et al. (2021) mengembangkan yoke magnet permanen yang dapat digunakan untuk pengujian MPI di area tanpa sumber listrik, dengan akurasi deteksi 96,78% pada cacat bawah permukaan material baja[15]. Penelitian oleh Lau et al. (2021) menunjukkan bahwa kekasaran permukaan mempengaruhi efektivitas deteksi cacat pada MPI basah, dan menekankan perlunya pemilihan parameter yang tepat untuk meningkatkan akurasi deteksi cacat pada permukaan yang kasar[16]. Shelikhov et al. (2022) mengulas berbagai jenis cacat yang dapat dideteksi oleh MPI, termasuk cacat produksi, teknis, dan operasional, serta memberikan deskripsi pola indikator cacat yang ditemukan melalui kontrol partikel magnetik[17].

Yoke AC dan DC memiliki keunggulan berbeda dalam inspeksi partikel magnetik (MPI) untuk mendeteksi cacat pada material logam. Vera Alvarado et al. (2024) menemukan bahwa probabilitas deteksi cacat pada sambungan las baja lebih tinggi dengan arus DC, terutama dalam mendeteksi cacat bawah permukaan dibandingkan dengan penggunaan partikel basah fluorescent[18]. Tang Jingyuan dan Li Bo (2020) mengembangkan detektor cacat magnetik multifungsi yang dapat beroperasi dengan medan magnet AC dan DC, memberikan fleksibilitas dalam mendeteksi cacat permukaan dan bawah permukaan[19]. Dong et al. (2013) merancang alat penguji sensitivitas cacat berbasis DC yang meningkatkan efisiensi dan sensitivitas deteksi cacat bawah permukaan selama pengujian partikel magnetik [20]. Lei Xiongjun et al. (2018) mengembangkan detektor cacat portabel berbasis logam cair yang menggunakan medan magnet DC untuk meningkatkan efisiensi deteksi cacat bawah permukaan[21]. Fikri et al. (2021) menguji yoke magnet permanen untuk mendeteksi cacat bawah permukaan pada sambungan pengelasan baja tanpa memerlukan sumber daya listrik eksternal, menunjukkan tingkat akurasi deteksi yang tinggi[15]. Lapisan cat yang

tebal sering kali menghalangi deteksi cacat, terutama jika cacat tersebut berada di bawah permukaan.

Meskipun demikian, masih terdapat *gap* dalam penelitian yang membahas efektivitas deteksi cacat bawah permukaan pada material yang dilapisi cat tebal, terutama di industri perkapalan, di mana pelat yang dilapisi cat sering kali digunakan dan cacat bawah permukaan dapat menimbulkan risiko signifikan. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan yoke AC dan DC dalam mendeteksi cacat bawah permukaan pada material yang dilapisi cat dengan ketebalan yang bervariasi. Penelitian ini akan menganalisis pengaruh ketebalan lapisan cat terhadap kemampuan deteksi yoke AC dan DC, mengukur efektivitas masing-masing yoke pada berbagai kedalaman cacat dan ketebalan lapisan, serta menentukan yoke yang lebih akurat dalam mendeteksi cacat bawah permukaan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada peningkatan teknik deteksi cacat menggunakan MPI, terutama di industri perkapalan yang sering berhadapan dengan material berlapis cat.

2.0 METODE

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan yoke AC dan yoke DC dalam mendeteksi cacat bawah permukaan (*subsurface defect*) pada pelat baja yang dilapisi cat menggunakan metode *Magnetic Particle Inspection* (MPI). Lima spesimen baja karbon A36 berukuran $150 \times 100 \times 10$ mm digunakan sebagai objek uji. Persiapan spesimen dilakukan melalui beberapa tahap. Pertama, permukaan baja digerinda untuk menghilangkan karat dan memastikan kehalusan permukaan. Selanjutnya, dibuat cacat buatan pada masing-masing spesimen dengan lebar 0,5 mm, panjang 100 mm, dan variasi kedalaman cacat sebesar 0,5 mm, 1 mm, 1,5 mm, 2 mm, dan 2,5 mm. Setelah pembuatan cacat, setiap spesimen dilapisi cat dengan ketebalan yang bervariasi, yaitu 100, 200, 300, 400, dan 500 mikron, yang diukur menggunakan *Paint Thickness Tester* untuk memastikan ketebalan yang sesuai.

Pengujian dilakukan setelah spesimen siap. Pengujian melibatkan penggunaan yoke AC dan yoke DC pada spesimen yang telah dilapisi cat. Sebelum pengujian, yoke dikalibrasi untuk memastikan kekuatan magnetisasi yang tepat. Yoke AC diuji dengan kemampuan mengangkat beban 4,5 kg pada jarak tiang maksimal 300 mm, sedangkan yoke DC diuji untuk mengangkat beban 18 kg dengan jarak tiang antara 75 hingga 150 mm, sesuai dengan standar BS 6072. Setelah proses kalibrasi, metode *visible wet particle* (7HF) diterapkan dengan menyemprotkan partikel magnetik basah pada permukaan spesimen untuk meningkatkan visibilitas medan bocor magnet yang dihasilkan oleh cacat. Inspeksi dilakukan dengan mengamati kemunculan cacat buatan pada permukaan spesimen yang telah dilapisi cat dengan berbagai ketebalan.

Data yang dikumpulkan meliputi efektivitas yoke AC dan yoke DC dalam mendeteksi cacat bawah permukaan pada spesimen dengan variasi ketebalan cat. Analisis efektivitas yoke dilakukan dengan membandingkan kemampuan masing-masing yoke dalam

mendeteksi cacat pada kedalaman dan ketebalan lapisan cat yang berbeda.

3.0 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Pengukuran Ketebalan Cat

Hasil pengukuran ketebalan cat pada setiap spesimen yang dilapisi menunjukkan variasi yang mendekati target ketebalan yang telah ditentukan. Pengukuran dilakukan menggunakan *Paint Thickness Tester* pada lima spesimen baja karbon A36 dengan target ketebalan lapisan cat sebesar ± 100 mikron, ± 200 mikron, ± 300 mikron, ± 400 mikron, dan ± 500 mikron. Pada spesimen pertama, dengan target ketebalan 100 mikron, hasil pengukuran menunjukkan ketebalan aktual sebesar 104 mikron. Untuk spesimen kedua, dengan target ketebalan 200 mikron, ketebalan aktual yang terukur adalah 208 mikron. Spesimen ketiga, dengan target ketebalan 300 mikron, menunjukkan ketebalan aktual sebesar 310 mikron. Pada spesimen keempat, dengan target ketebalan 400 mikron, hasil pengukuran menunjukkan ketebalan 408 mikron. Terakhir, untuk spesimen dengan target ketebalan 500 mikron, ketebalan aktual yang diukur adalah 512 mikron. Pengukuran ini memastikan bahwa setiap spesimen telah memenuhi spesifikasi ketebalan yang diperlukan sebelum melanjutkan ke tahap pengujian menggunakan yoke AC dan DC dengan metode *Magnetic Particle Inspection* (MPI). Ketebalan cat yang terukur pada setiap spesimen ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1: Perbandingan antara Target dan Aktual Ketebalan cat

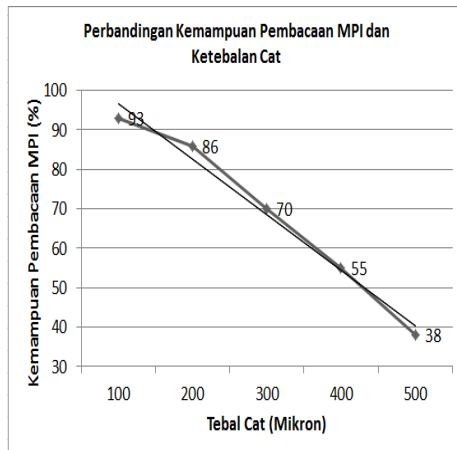
Target Ketebalan Cat (mikron)	Ketebalan Cat Aktual
100	104
200	208
300	310
400	408
500	512

3.2. Hasil Pemeriksaan dengan Yoke AC

Setelah dilakukan pemeriksaan dengan Yoke AC untuk masing masing specimen dengan ketebalan cat yang berbeda, data hasil eksperimen ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2: Persentase kemampuan pembacaan Yoke AC dalam MPI

Spesimen Tebal Cat (Mikron)	Panjang Aktual Cacat Buatan (cm)	Panjang Indikasi Cacat Buatan (cm)	Persentase (%) Kemampuan Pembacaan MPI
100	10	9.3	93
200	10	8.6	86
300	10	7	70
400	10	5.5	55
500	10	3.8	38
		Rata-Rata	68.4



Gambar 1: Grafik Perbandingan Kemampuan Pembacaan MPI Yoke AC dengan variasi ketebalan Cat

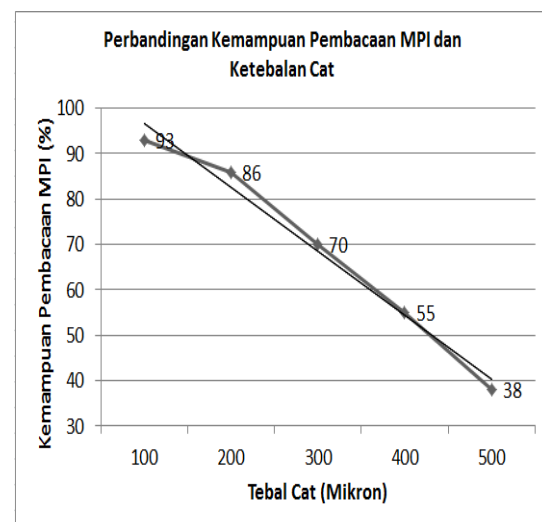
Berdasarkan hasil analisis tabel dan grafik mengenai kemampuan pembacaan *Magnetic Particle Inspection* (MPI) menggunakan yoke AC pada spesimen yang dilapisi cat dengan berbagai ketebalan, terlihat penurunan signifikan dalam deteksi cacat seiring dengan bertambahnya ketebalan cat. Pada ketebalan 100 mikron, yoke AC mampu mendeteksi hingga 93% panjang cacat buatan, namun kemampuan ini menurun menjadi 38% pada ketebalan 500 mikron. Penurunan ini disebabkan oleh terbatasnya penetrasi medan magnet AC akibat *skin effect*, yang membatasi distribusi medan magnet pada lapisan luar material, sehingga mengurangi efektivitas deteksi cacat bawah permukaan pada lapisan cat yang lebih tebal [15]. Hal ini sejalan dengan temuan Bissell et al. (2002), yang menyatakan bahwa ketebalan lapisan magnetik memengaruhi karakteristik medan magnet dan efisiensi deteksi cacat pada material berlapis [22]. Gortat (1977) juga mengidentifikasi bahwa semakin tebal lapisan pelindung material, semakin sulit medan magnet untuk menembus lapisan tersebut, terutama pada material non-konduktif seperti cat. Oleh karena itu, yoke AC lebih efektif digunakan pada material dengan lapisan tipis, sedangkan yoke DC lebih sesuai untuk deteksi cacat bawah permukaan pada material dengan pelapisan yang lebih tebal. Studi oleh Ye et al. (2022) mendukung temuan ini, menunjukkan bahwa partikel magnetik lebih efektif untuk mendeteksi cacat pada material feromagnetik dengan lapisan tipis. Saat lapisan cat semakin tebal, deteksi cacat bawah permukaan menjadi lebih sulit, yang menurunkan efisiensi proses inspeksi [14]. Penelitian lain oleh Morrow (1999) menekankan bahwa medan magnet AC lebih efektif dalam mendeteksi cacat permukaan, namun terbatas dalam mendeteksi cacat bawah permukaan pada material yang dilapisi lapisan non-konduktif yang tebal [23].

3.3. Hasil Pemeriksaan Spesimen dengan Yoke DC

Eksperimen pemeriksaan spesimen dilakukan dengan yoke DC, dengan hasil ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3: Persentase Pembacaan MPI menggunakan Yoke DC

Tebal Cat (Mikron)	Panjang Aktual Cacat Buatan (cm)	Panjang Indikasi Cacat Buatan (cm)	Persentase (%) Kemampuan Pembacaan MPI
100	10	9.3	93
200	10	8.6	86
300	10	7	70
400	10	5.5	55
500	10	3.8	38
		Rata-Rata	68.4



Gambar 2: Grafik Perbandingan Kemampuan Pembacaan MPI Yoke DC dengan variasi ketebalan Cat

Berdasarkan hasil tabel dan grafik terkait kemampuan pembacaan *Magnetic Particle Inspection* (MPI) menggunakan yoke DC pada spesimen yang dilapisi cat dengan berbagai ketebalan, terlihat bahwa kemampuan deteksi cacat menurun seiring dengan bertambahnya ketebalan cat. Pada ketebalan 100 mikron, yoke DC mampu mendeteksi hingga 98% dari panjang cacat buatan, namun kemampuan ini menurun hingga 43% pada ketebalan 500 mikron. Penurunan ini terjadi karena medan magnet DC, meskipun lebih efektif dalam mendeteksi cacat bawah permukaan dibandingkan medan magnet AC, tetap mengalami penurunan sensitivitas dengan bertambahnya ketebalan lapisan pelindung non-konduktif seperti cat [24]. Dalam studi terkait, penelitian oleh Pullen et al. (2018) menunjukkan bahwa penurunan densitas fluks magnetik pada plat baja dengan ketebalan yang lebih besar memengaruhi kemampuan deteksi cacat bawah permukaan, yang menjadi kurang efektif pada ketebalan tertentu [25].

Penurunan sensitivitas pada deteksi cacat yang lebih dalam sejalan dengan hasil penelitian yang mengembangkan teknik magnetisasi variabel untuk mendeteksi pengurangan ketebalan material feromagnetik. Studi ini menunjukkan bahwa perubahan intensitas magnetisasi DC dapat memberikan hasil yang

lebih akurat dalam mendeteksi cacat pada material dengan lapisan tebal [24]. Oleh karena itu, meskipun yoke DC lebih efektif dalam mendeteksi cacat bawah permukaan dibandingkan yoke AC, ketebalan lapisan cat tetap membatasi kemampuan deteksi optimal, terutama pada ketebalan di atas 400 mikron.

3.4. Perbandingan Yoke AC dan DC

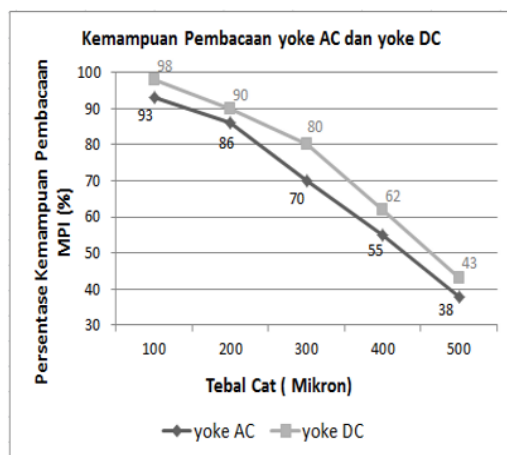
Berdasarkan pemeriksaan dengan kedua yoke, perbandingan nilai kedua nya dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4: Perbandingan persentase pembacaan MPI dengan yoke AC dan DC

Tebal Cat (Mikron)	Persentase (%) Pembacaan MPI dengan yoke AC	Persentase (%) Pembacaan MPI dengan yoke DC	Selisih Persentase (%) Kemampuan Pembacaan Cacat
100	93	98	5
200	86	90	4
300	70	80	10
400	55	62	7
500	38	43	5
		Rata-Rata	6.8

Grafik perbandingan persentase kemampuan pembacaan Yoke pada cacat buatan dengan ketebalan cat yang bervariasi dapat dilihat pada Gambar 3

Gambar 3. Grafik Perbandingan kemampuan pembacaan Yoke AC dan DC



Berdasarkan hasil tabel dan grafik mengenai perbandingan kemampuan pembacaan *Magnetic Particle Inspection* (MPI) menggunakan yoke AC dan DC pada spesimen yang dilapisi cat dengan ketebalan yang berbeda, terlihat bahwa yoke DC memiliki performa lebih baik daripada yoke AC pada semua ketebalan cat. Pada ketebalan cat 100 mikron, yoke AC mendeteksi 93% dari panjang cacat buatan, sementara yoke DC mampu mendeteksi hingga 98%. Penurunan kemampuan pembacaan terlihat pada ketebalan cat yang lebih besar,

namun yoke DC terus menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan yoke AC, dengan perbedaan yang paling mencolok pada ketebalan 300 mikron ke atas. Pada ketebalan cat 500 mikron, yoke AC hanya mendeteksi 38% cacat, sedangkan yoke DC masih mendeteksi hingga 43%. Penelitian ini konsisten dengan hasil studi sebelumnya, di mana penggunaan medan magnet DC menunjukkan penetrasi medan yang lebih dalam dibandingkan AC, sehingga lebih efektif dalam mendeteksi cacat bawah permukaan, terutama pada lapisan pelindung yang tebal [22]. Medan magnet AC, seperti yang dijelaskan oleh Gortat (1977), lebih terbatas pada permukaan material akibat efek "skin effect", yang membatasi sensitivitasnya terhadap cacat bawah permukaan [26]. Kamata (2010) juga menjelaskan bahwa metode potensial beda AC mengalami keterbatasan dalam material dengan permeabilitas magnetik tinggi seperti baja karbon, sehingga penggunaan medan magnet DC memberikan hasil yang lebih optimal dalam deteksi cacat [27]. Referensi ini memperkuat bahwa yoke DC lebih sesuai untuk aplikasi yang memerlukan deteksi cacat bawah permukaan pada material yang dilapisi dengan lapisan tebal, sementara yoke AC lebih efektif untuk deteksi cacat pada lapisan yang lebih tipis.

4.0 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai kemampuan pembacaan *Magnetic Particle Inspection* (MPI) menggunakan yoke AC dan DC pada spesimen baja A36 yang dilapisi cat dengan ketebalan yang bervariasi, disimpulkan bahwa yoke DC secara konsisten menunjukkan performa yang lebih baik dalam mendeteksi cacat bawah permukaan dibandingkan yoke AC, terutama pada lapisan cat yang lebih tebal. Pada ketebalan cat 100 mikron, yoke AC dan DC mampu mendeteksi cacat dengan baik, namun seiring bertambahnya ketebalan hingga 500 mikron, kemampuan yoke AC menurun drastis, sementara yoke DC tetap menunjukkan kinerja yang lebih baik. Penurunan sensitivitas yoke AC disebabkan oleh terbatasnya penetrasi medan magnet yang hanya efektif pada permukaan material, sementara yoke DC mampu menembus lebih dalam sehingga lebih efektif dalam mendeteksi cacat bawah permukaan pada lapisan cat tebal. Hasil ini menegaskan bahwa yoke DC lebih ideal digunakan pada material dengan lapisan pelindung tebal, sementara yoke AC lebih efektif untuk aplikasi pada lapisan tipis dan cacat permukaan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. Çolak, Y. Ayan, and N. Kahraman, "Weld morphology and mechanical performance of marine structural steel welded underwater in a real marine environment," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 109, no. 1–2, pp. 491–501, Jul. 2020, doi: 10.1007/s00170-020-05679-y.
- [2] X. Liu, Z. Guo, D. Bai, and C. Yuan, "Study on the mechanical properties and defect detection of low alloy steel weldments for large cruise ships," *Ocean Engineering*, vol. 258, p. 111815, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.oceaneng.2022.111815.

- [3] D.-P. Cho and M.-H. Kim, "Effect of Defects on Structural Integrity in High-Heat-Input Weldment," *Journal of Welding and Joining*, vol. 40, no. 5, pp. 377–384, Oct. 2022, doi: 10.5781/JWJ.2022.40.5.2.
- [4] B. Ducharne, "Non-destructive testing of ferromagnetic steel components based on their magnetic response," in *Non-Destructive Material Characterization Methods*, Elsevier, 2024, pp. 707–725. doi: 10.1016/B978-0-323-91150-4.00009-4.
- [5] Adamo. Maria, "Non Destructive Surface and Sub-surface Material Analysis using Scanning SQUID Magnetic Microscope.," *DOCTOR OF PHILOSOPHY AT UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II ITALY 30TH NOVEMBER 2008*, Nov. 2008.
- [6] Dobmann. G., "Magnetic NDT Technology for Characterizing Materials – A State of the Art Survey.," in *Indian Society for Non-Destructive Testing Hyderabad Chapter*, 2006.
- [7] M. A. Apriliansyah, "Experimental Analysis of Magnetic Particle Inspection on S355J2 Steel Weld Joints," *Journal of Metallurgical Engineering and Processing Technology*, vol. 4, no. 1, p. 23, Aug. 2023, doi: 10.31315/jmept.v4i1.7813.
- [8] H. P. Pydi, A. Pradeep, S. Vijayakumar, and R. Srinivasan, "Examination of various weld process parameters in MIG welding of carbon steel on weld quality using radiography & magnetic particle testing," *Mater Today Proc*, vol. 62, pp. 1909–1912, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.01.160.
- [9] S. Manivannan, P. Sivabalan, D. Logesh, S. H. Vishnu, N. A. Kafoor, and A. Bhuvanesh, "Synergic Study of Wear and Corrosion Behaviour of Low Alloyed High-Strength EH47 Ship Hull Steel," in *2023 International Conference on Energy, Materials and Communication Engineering (ICEMCE)*, IEEE, Dec. 2023, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICEMCE57940.2023.10434252.
- [10] P. L. Zhang, Z. Q. Zhao, Y. Sang, and Y. X. Xu, "Study on the Method of Typical Defects in Butt Welding of 20 Steel," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 456, pp. 421–424, Oct. 2013, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.456.421.
- [11] Q. Wu, K. Dong, X. Qin, Z. Hu, and X. Xiong, "Magnetic Particle Inspection: Status, advances, and challenges — Demands for automatic non-destructive testing," *NDT & E International*, vol. 143, p. 103030, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.ndteint.2023.103030.
- [12] P. Staněk and Z. Škvor, "Time Multiplexing of Currents for Magnetic Particle Inspection," *Research in Nondestructive Evaluation*, vol. 33, no. 6, pp. 267–276, Nov. 2022, doi: 10.1080/09349847.2022.2132336.
- [13] I. S. Lednev, "INQUIRY OF THE PROPERTIES OF DETECTION MEDIA FOR MAGNETIC PARTICLE INSPECTION," *Proceedings of VIAM*, no. 2, pp. 122–132, 2022, doi: 10.18577/2307-6046-2022-0-2-122-132.
- [14] J.-H. Ye, R.-H. Ni, and Q.-C. Hsu, "Image feature analysis for Magnetic Particle Inspection of forging defects," *Proc Inst Mech Eng B J Eng Manuf*, vol. 236, no. 14, pp. 1923–1929, Dec. 2022, doi: 10.1177/09544054211014443.
- [15] A. Fikri. , Mohammad, Hadiwijaya. , Lukman, Prasetyo. , Taufan, D. Wilujeng. , Auliana, and F. E. P. P. Muhammad, "Rancang bangun yoke permanen magnet untuk pendeteksian subsurface defect dengan metode mpi," in *Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV) Ke-XX*, ISAS Publishing, 2021.
- [16] S. M. Y. Lau, D. Eisenmann, and F. E. Peters, "Development of an Image Analysis Protocol to Define Noise in Wet Magnetic Particle Inspection," *International Journal of Metalcasting*, vol. 15, no. 4, pp. 1317–1325, Oct. 2021, doi: 10.1007/s40962-020-00566-4.
- [17] G. S. Shelikhov, Yu. A. Glazkov, and P. E. Kleyzer, "DEFECTS DETECTED BY MAGNETIC PARTICLE TESTING," *Kontrol'. Diagnostika*, no. 285, pp. 34–44, Mar. 2022, doi: 10.14489/td.2022.03.pp.034-044.
- [18] J. W. V. Alvarado, L. F. Caballero García, M. Taboada Neira, and J. W. V. Flores, "Probability of Defects Detection in Welded Joints using the Magnetic Particle Method," *Archives of Metallurgy and Materials*, pp. 607–612, Mar. 2024, doi: 10.24425/amm.2024.149789.
- [19] Tang Jingyuan, "Multifunctional magnet yoke flaw detector," 2020
- [20] Dong. , Guozhen, Changfu. , Liu, Shangqian. , Jing, and Wang. Yong, "DC (direct current) magnetic defect detector sensitivity detection device.," 2013
- [21] Xiongjun. , Lei, Lei. , Sheng, and J. Liu, "Portable magnetic defect detector based on liquid metal.," 2018
- [22] P. R. Bissell, T. Mercer, P.-C. Ardeleanu, A. Stancu, and L. Stoleriu, "Effects of magnetic layer thickness on noise in advanced double-layer metal particle tape," *J Appl Phys*, vol. 91, no. 10, pp. 8739–8741, May 2002, doi: 10.1063/1.1447488.
- [23] A. , Morrow. Richard. , "Battery powered AC electromagnetic yoke for Magnetic Particle Inspection.," 1999
- [24] Z. Deng, Z. Yuan, Z. Ye, X. Song, and Y. Kang, "A thickness reduction testing method for ferromagnetic materials based on variable intensity DC magnetization," *NDT & E International*, vol. 138, p. 102895, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.ndteint.2023.102895.
- [25] A. L. Pullen, P. C. Charlton, N. R. Pearson, and N. J. Whitehead, "Magnetic Flux Leakage Scanning Velocities for Tank Floor Inspection," *IEEE Trans Magn*, vol. 54, no. 9, pp. 1–8, Sep. 2018, doi: 10.1109/TMAG.2018.2853117.
- [26] M. I. Grad. Gortat. , "Indirect ferromagnetic material thickness measurement - uses test head with magnetic yoke with AC excitation to saturate material.," 1977
- [27] Yasuyoshi. Kamata, "Thickness nondestructive inspection method of measuring object, and device therefor.," 2010