Kelistrikan Dan Pengujian Alat Yoke Elektromagnetik Berbasis Arus FWDC Pada Material Ferromagnetik

Aldava Rizki Anjasmara[1], Yohanes Sinung Nugroho[2]

[1]*Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia*
E-mail: aldava.rizki.aer23@polban.ac.id
[2]*Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia*
E-mail: sinung@polban.ac.id

ABSTRAK

Magnetic Particle Testing (MT) berbasis arus *Full-Wave Direct Current* (FWDC) merupakan salah satu metode *Non-Destructive Testing* (NDT) yang esensial di industri untuk mendeteksi diskontinuitas pada material feromagnetik. Metode ini memiliki keunggulan dalam memvisualisasikan cacat permukaan hingga cacat *subsurface*. Namun, yoke konvensional di pasaran umumnya memiliki harga yang sangat mahal dan terkadang kurang optimal dalam mendistribusikan medan magnet secara merata. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang bangun yoke elektromagnetik alternatif berbasis arus FWDC. Kumparan yoke dirakit menggunakan kawat tembaga email berdiameter 0,8 mm sebanyak 1500 lilitan, yang ditenagai oleh *transformator step-down* 220 VAC ke 64 VAC yang disearahkan oleh *Rectifier Bridge*. Pada pengujian awal, alat menghasilkan arus sebesar 1,72 A masih di bawah kebutuhan ideal teoritis yakni 2,33 A dan memicu *overheating* pada sistem akibat lonjakan daya beban. Untuk mengatasi kendala termal tersebut, dilakukan modifikasi berupa penambahan resistor ballast berkapasitas 20 W 10 Ohm pada rangkaian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa modifikasi kelistrikan ini berhasil menstabilkan sistem dan mencegah kerusakan komponen akibat panas. Secara keseluruhan, hasil yoke elektromagnetik ini telah beroperasi dengan aman dan sukses menghasilkan medan magnet yang memadai untuk pelaksanaan inspeksi MT.

Kata Kunci:
Magnetic Particle Testing (MT), Arus FWDC, Yoke, *Non-Destructive Testing* (NDT), Diskontinuitas.

Magnetic Particle Testing (MT) based on Full-Wave Direct Current (FWDC) is one of the essential Non-Destructive Testing (NDT) methods in the industry for detecting discontinuities in ferromagnetic materials. This method has the advantage of visualizing surface defects down to sub-surface. However, conventional yokes on the market are generally very expensive and sometimes less optimal in distributing the magnetic field evenly. Therefore, this research aims to design an alternative electromagnetic yoke based on FWDC current. The yoke coil is assembled using 0.8 mm diameter enameled copper wire with 1500 turns, powered by a step-down transformer from 220 VAC to 64 VAC that is rectified. In the initial testing, the device produced a current of 1.72 A, still below the theoretical ideal requirement of 2.33 A, and triggered overheating in the system due to a power surge. To address the thermal constraints, a modification was made by adding a 20 W 10 Ohm ballast resistor to the circuit. The research results show that this electrical modification successfully stabilized the system and prevented component damage due to heat. Overall, this electromagnetic yoke prototype has operated safely and successfully generated an adequate magnetic field for the implementation of MT inspections.

Keywords:
Magnetic Particle Testing (MT), FWDC Current, Yoke, Non-Destructive Testing (NDT), Discontinuities.

1. PENDAHULUAN

Industri teknik, khususnya dunia aviasi, sangat menekankan kualitas dan keselamatan material melalui inspeksi dan perawatan terjadwal. Salah satu metode yang digunakan adalah Non-Destructive Testing (NDT) atau Uji Tak Rusak (UTR), yaitu metode inspeksi untuk mendeteksi cacat, retakan, dan *discontinuity* tanpa merusak komponen (1), (2), (3). Salah satu metode NDT adalah *Magnetic Particle Testing* (MT) atau *Magnetic Particle Inspection* (MPI), yang digunakan untuk mendeteksi cacat pada material feromagnetik dengan cara memagnetisasi material dan mengaplikasikan partikel magnetik pada permukaannya (4), (8). Proses ini umumnya menggunakan yoke elektromagnetik sebagai penghasil medan magnet (4), (9), (10).

Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada pembuatan yoke elektromagnetik berbasis *Full Wave Direct Current* (FWDC) yang ergonomis dan memiliki performa kompetitif dengan produk komersial (11), (12), (13), (14). Alat ini diharapkan dapat menjadi alternatif yang lebih terjangkau untuk mendukung kegiatan pembelajaran, praktik inspeksi, serta pengembangan penelitian NDT di lingkungan pendidikan maupun industri (15), (16).

2. TINJAUAN PUSTAKA

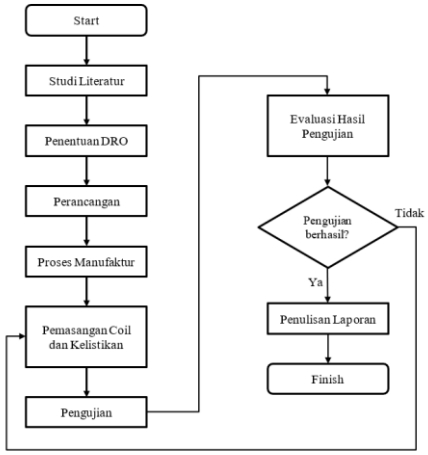
Penelitian dilakukan oleh J. F. Cook, J. Holm, and G. D. Lassahn dalam upaya menciptakan metode pengujian *non-destruktif* yang efisien dalam memunculkan cacat dibawah permukaan bahan feromagnetik. Teknik yoke arus bolak-balik (AC) dalam uji partikel magnetik (MT) dipilih karena kemudahan operasionalnya. Metode tambahan menggunakan arus eddy dengan probe diferensial. Metode ini diverifikasi pada sampel yang dilengkapi dengan retak dan cacat melalui berbagai ketebalan lapisan, baik nyata maupun simulasi. Studi analitis dan data uji disajikan, dengan hasil pengujian merekomendasikan perubahan pada persyaratan ASME Bagian XI (2).

Wina Yuliana Sumarna (2023) membuat tugas akhir yang berjudul "Rancang Bangun Ulang Alat *Magnetic Particle Testing Teknik Headshot*". Tugas akhir ini bertujuan untuk menyempurnakan alat Magnetic Particle Testing (MPT) Teknik *headshot* dengan hasil dapat mengindikasi retak pada spesimen atau bahan uji. Pada tugas akhir ini juga memperbaiki power supply yang digunakan karena output arus yang dikeluarkan pada power supply sebelumnya tidak sesuai dengan yang diinginkan (15).

Rifaldi Surya Ramadhan (2025) menyelesaikan tugas akhir yang berjudul "Rancang Bangun Yoke Elektromagnetik untuk Pengujian NDT dengan Metode *Magnetic Magnetic Particle Test* berbasis arus AC" merancang alat yoke elektromagnetik dengan arus AC untuk pengujian pada material ferromagnetic, guna menciptakan prototype baru untuk pembanding alat pengujian *Magnetic Particle Testing* (9).

3. METODE PENYELESAIAN MASALAH

Penyelesaian penelitian ini dilakukan dengan mengombinasikan metode analisis dan eksperimen seperti Gambar 1. Pada tahap analisis. Peneliti melakukan studi literatur, observasi, serta perancangan awal untuk memahami dasar teori dan konsep yang berkaitan dengan penelitian. Selanjutnya, tahap eksperimen dilakukan melalui proses-proses uji coba dan evaluasi untuk memastikan bahwa data yang diperoleh sudah sesuai,akurat, dan dapat dipertanggung jawabkan. Seluruh tahapn teresbut kemudian menjadi dasar dalam menarik kesimpulan serta menyusun laporan akhir yang memuat hasil dan temuan utama penelitian.



Gambar 1. *Design Requirement Objectives*

3.1. Studi Literatur

Studi literatur menjadi tahapan yang sangat penting dalam peningkatan pemahaman mahasiswa pada pelaksanaan penelitian ini. Materi terkait *Non destructive testing* dan *Magnetic particle testing* (MT) dari jurnal yang menjadi referensi utama saya adalah dokumen Training *Handout Magnetic Particle Testing* yang diedit oleh Wing Hendroprasetyo, E. Eng (2009) dan disusun oleh NDR Center ITS Surabaya. Didalamnya terdiri dari dasar teoritis yang meningkatkan pemahaman penulis dan menjadi pedoman juga sebagai klarifikasi fakta dalam pelaksanaan penelitian ini (1).

3.2. Design Requirement Objectives (DRO)

Design Requirements and Objectives (DRO) merupakan elemen krusial dalam tahap pengembangan rancangan. Detail spesifikasi yang disusun pada fase ini berperan sebagai acuan utama dalam pengambilan keputusan teknis sepanjang proses perancangan berlangsung. Penjabaran lengkap mengenai DRO dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. *Design Requirement Objective*

No	Design Requirement	Objectives
1	Material yang digunakan	• Inti besi yoke menggunakan Baja silikon. • Koker atau tempat lilitannya menggunakan ebonit paper bakelit. • Casing yoke adalah filamen.
2	Desain	*Software Solidwork*
3	Manufaktur	• Inti besi berbentuk U dengan kaki-kaki • Casing menggunakan 3D Print
4	Pemasangan Coil dan kelistrikan	• Menggunakan kawat tembaga email berdiameter 0,8mm untuk Coil. • Arus keluaran FWDC
5	Pengujian	Menggunakan 3 spesimen yang berbeda sebanyak 10 kali percobaan pada setiap spesimen dengan salah satu specimen cacat *subsurface*

3.3. Alat Yang Digunakan

Tabel 2 mencakup daftar lengkap alat dan bahan yang digunakan untuk mendukung proses perancangan dan pembuatan yoke elektromagnetik. Tabel ini mencakup komponen utama alat kontrol, elemen kelistrikan, dan berbagai perangkat pendukung lainnya yang digunakan selama tahapan manufaktur dan pengujian secara keseluruhan. Untuk memastikan kinerja terbaik, pemilihan setiap komponen didasarkan pada spesifikasi teknis yang sesuai dengan kebutuhan alat.

Tabel 2. Daftar Alat dan Bahan

No	Nama Alat	Jumlah
1	Gerinda Tangan	1
2	Gunting Plat	1
3	Bor	1
4	Mal Radius	1
5	Scriber/Penggores	1
6	*Wrench*	1
7	*Screwdriver*	1
8	Solder	1
9	Lampu	1
10	*Lux meter*	1
11	*GaussMeter*	1
12	*Pie Gauge*	1
13	*Autosol Metal Polish*	1
14	Besi Kern I dan E	1
15	*MPI Ink*	1
16	Ebonit Paper Bakelit	1
17	Filamen	1
18	Rectifier Bridge	1

3.4. Perancangan Yoke Elektromagnetik

Pada tahap ini dari perancangan sistem magnetisasi, seluruh komponen kelistrikan dan mekanik dihubungkan dan diatur fungsinya. Rangkaian sistem magnetisasi yoke terdiri dari beberapa bagian utama, mulai dari trafo step down, rangkaian kelistrikan, hingga jalur distribusi daya dan kumparan pada alat.

3.4.1 Perancangan Arus dan Lilitan

Rumus berikut digunakan untuk menentukan jumlah lilitan yang diperlukan agar yoke elektromagnetik dapat berfungsi secara optimal dalam menghasilkan medan magnet yang efektif

$$NI = \frac{35000}{(L/D)+2} \quad (1)$$

$$N = \frac{35000}{I[(\frac{L}{D})]+2} \quad (2)$$

N = Jumlah lilitan pada coil
I = Arus kumparan
L = Panjang benda uji
D = Diameter atau ketebalan benda uji

Dik:
I = 2,33 Ampere
L = 200 mm
D = 25 mm

Penyelesaian:

$$N.2,33A = \frac{35000}{(200/25)+2}$$

$$N.2,33A = \frac{35000}{(8)+2}$$

$$N = \frac{35000}{2,3x10} = \frac{35000}{23} = 1502$$

$$N = 1502\ Lilitan \approx 1500\ Lilitan$$

Adapun rumus serupa yang digunakan untuk menentukan jumlah arus yang diperlukan agar yoke elektromagnetik dapat berfunsgi secara optimal dalam memunculkan medan magnet yang efektif.

$$NI = \frac{35000}{(L/D)+2} \quad (3)$$

$$I = \frac{35000}{N[(\frac{L}{D})]+2} \quad (4)$$

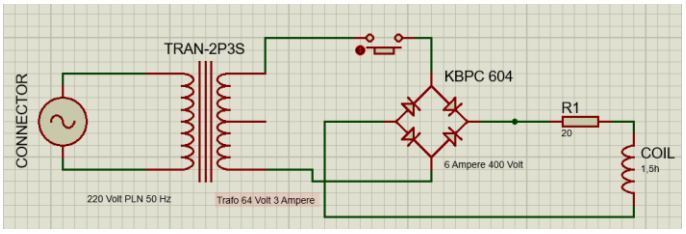
$$1500xI = \frac{35000}{(\frac{200}{25})+2}$$

$$1500xI = \frac{35000}{10}$$

$$I = \frac{35000}{1500x10} = \frac{35000}{15000} = 2,33\ Ampere$$

3.4.2 Skematik Wiring Diagram

Software Proteus 8.1 digunakan untuk membuat skema diagram untuk perangkat yoke, yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skematik Wiring Diagram

3.4.3 Proses Manufaktur

Setelah perancangan selesai, alat ini dimanufaktur menggunakan alat pemotong sheet manual dan mesin grinda. Pada proses ini dilakukan untuk pembuatan inti besi pada yoke

elektromagnetik dengan material silicon steel guna membentuk kaki-kaki dan bagian badan yoke elektromagnetik.

Tahap selanjutnya yaitu melakukan penghalusan dan sisi presisi menggunakan mesin grinda. Proses ini merupakan bagian yang penting sebagai finalisasi bentuk dari inti yoke dan kaki kaki agar sesuai dengan desain perancangan. Setelahnya dilanjutkan dengan proses melubangi plat yang nantinya akan menjadi tempat masuknya baut, dan rivet guna mengikat plat yang sudah dipotong.

Proses terakhir merupakan proses penumpukan dan assembly antar plat yang sudah dipotong dan dihaluskan tadi sampai membentuk ketebalan inti dan kaki-kaki yang sesuai dengan design yang sudah dirancang sebelumnya. Selanjutnya plat plat tersebut dilakukan assembly menggunakan baut dan rivet pada lubang yang sudah disiapkan sebelumnya seperti Gambar 3.

Gambar 3. Hasil Manufaktur

3.4.4 Pemasangan Coil dan Kelistrikan

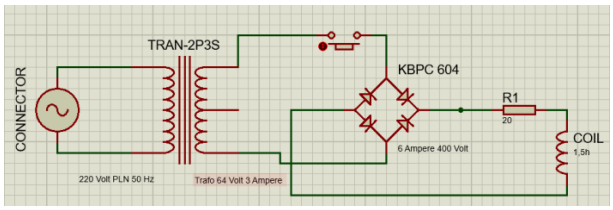
Tahap pemasangan coil dan kelistrikan disini adalah pengaplikasian dari proses penghitungan jumlah lilitan yang sesuai dengan rumus pada buku jurnal referensi. Kumparan dililit sebanyak 1500 lilitan dan diaplikasikan pada inti besi yoke seperti Gambar 4 agar nantinya tercipta medan magnet longitudinal dan koker dengan material ebonit paper bakelit sebagai dudukan dan penopangnya.

Gambar 4. Hasil Pemasangan Coil dan Kelistrikan

Setelah perakitan inti besi dan lilitan kumparan selesai dilakukan, tahap selanjutnya adalah proses instalasi komponen elektronik pendukung yang diperlukan untuk mengaktifkan yoke elektromagnetik. Komponen utama yang digunakan dalam instalasi ini meliputi:

- Konektor Listrik (Terminal Input)
- Resistor 20 Watt 10 Ohm
- Switch Button (Saklar Tekan)
- Rectifier Bridge 6 Ampere 400 Volt
- Coil

Dengan skematik yoke elektromagnetik dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Skematik Yoke Elektromagnetik

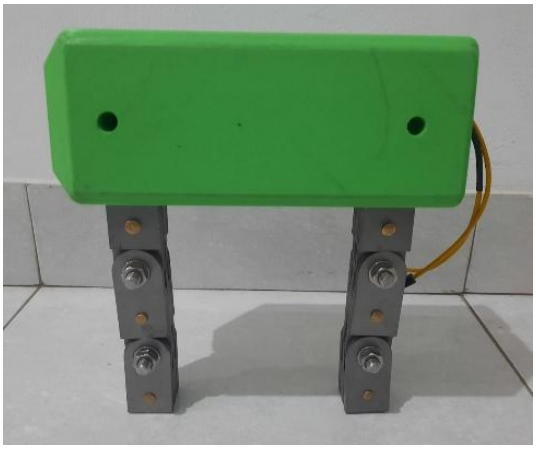
3.4.5 Pengujian

Pengujian kinerja yoke TA dilakukan sesuai dengan pedoman ASME Section V Article 7 dan ASTM E709. Tiga spesimen uji, Dua spesimen berukuran 200 × 100 × 5 mm dan 1 Pie Gauge, digunakan untuk menguji kemampuan yoke untuk menghasilkan medan magnet, yang selanjutnya diamati apakah medan magnet dapat menunjukkan cacat permukaan dengan efektif atau tidak.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Desain

Setelah dilakukan proses perancangan dan desain alat magnetisasi menggunakan software SolidWorks didapat hasil pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil Akhir Yoke Elektromagnetik

4.2 Hasil Pengujian

Pengujian dilakukan menggunakan pie gauge dan 2 spesimen yang berbeda dengan sepuluh kali percobaan pengujian secara berulang menggunakan yoke hasil penelitian.

4.2.1 Hasil Pengujian Pie Gauge

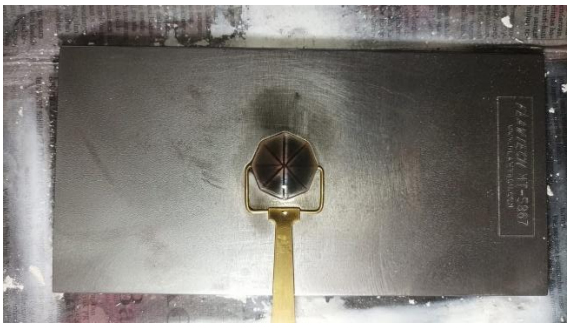
Pengujian pertama pada Tabel 3 dilakukan untuk melihat kemampuan magnetisasi dan juga sebagai validasi bahwa yoke dapat memunculkan cacat *subsurface*.

Tabel 3. Hasil Pengujian pada Pie Gauge

No	Waktu	Hasil
1	6 Detik	Sangat Kontras
2	7 Detik	Sangat Kontras
3	6 Detik	Sangat Kontras
4	6 Detik	Sangat Kontras
5	7 Detik	Sangat Kontras
6	7 Detik	Sangat Kontras
7	6 Detik	Sangat Kontras
8	6 Detik	Sangat Kontras
9	6 Detik	Sangat Kontras
10	6 Detik	Sangat Kontras

Gambar 7. Ketebalan Pie Gauge

Sebelum melakukan pengujian, Pie Gauge perlu diukur untuk mengetahui ketebalan cacat subsurface seperti pada Gambar 7.



Gambar 8. Pengujian Pie Gauge

Hasil dari pengujian pertama pada pie gauge seperti gambar Gambar 8 menggunakan yoke penelitian dengan metode wet visible dilakukan dalam 6 detik dengan indikasi diskontinuitas yang sangat jelas. Indikasi tersebut tampak seperti pola garis terang yang kontras terhadap permukaan, menunjukan cacat *subsurface*.

Hasil dari 10 kali pengujian Pie Gauge menunjukkan bahwa yoke elektromagnetik memiliki tingkat kemampuan dalam memunculkan medan magnet yang stabil, dan juga yoke elektromagnetik bisa memunculkan cacat *subsurface* kedalaman 2 mm dengan sangat kontras hanya dengan kurun waktu 6-7 detik saja.

4.2.2 Hasil Pengujian Spesimen MT-5867

Berdasarkan pengujian pada Tabel 4 oleh yoke hasil penelitian pada spesimen 1 (MT-5867) mendapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 4 Hasil Pengujian pada Spesimen MT-5867

No	Waktu	Panjang Cacat Vertikal	Panjang Cacat Horizontal
1	3 Detik	12, 22 mm	12,2 mm
2	3 Detik	12,23 mm	12,28mm
3	3 Detik	12,22 mm	12,30 mm
4	3 Detik	12,27 mm	12,27 mm
5	3 Detik	12,22 mm	12,2 mm
6	3 Detik	12,24 mm	12,22 mm
7	3 Detik	12,19 mm	12,25 mm
8	3 Detik	12,23 mm	12,24 mm
9	3 Detik	12,23 mm	12,25 mm
10	3 Detik	12,24 mm	12,26 mm

Gambar 9. Pengujian Spesimen MT-5867

Hasil dari proses pengujian menggunakan Yoke hasil penelitian dengan metode wet visible pada dilakukan dalam 3 detik sudah muncul diskontinuitas dengan jelas. Gambar 9 terlihat dari cacat horizontal dengan panjang 12,2 mm dan cacat vertikal dengan panjang 12,20mm

Gambar 10. Pengujian Spesimen MT-5867

Hasil dari proses pengujian menggunakan Yoke hasil penelitian dengan metode wet visible pada Gambar 10 dilakukan dalam 3 detik sudah muncul diskontinuitas dengan jelas. Hal ini terlihat dari cacat horizontal dengan panjang 12,28 mm dan cacat vertikal dengan panjang 12,23 mm.

Maka dari itu hasil dari 10 kali pengujian specimen MT-5867 menunjukkan bahwa yoke elektromagnetik memiliki tingkat kemampuan dalam memunculkan medan magnet yang stabil, dan juga yoke elektromagnetik bisa memunculkan cacat *surface* hanya dengan 3 detik dan data hasil pengujian cacat pun tidak memiliki berbedaan yang sangat signifikan.

4.2.3 Hasil Pengujain Spesimen MT-5866

Berdasarkan pengujian pada Tabel 5 oleh yoke hasil penelitian pada spesimen 1 (MT-5866) mendapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 5. Hasil Pengujian MT-5866

No	Waktu	Panjang pada Bagian Las	Panjang Pada Sisi Las
1	3 Detik	8,14 mm	19,29 mm
2	3 Detik	8,16 mm	19,10 mm
3	3 Detik	8,13 mm	19,30 mm
4	3 Detik	8,14 mm	19,24 mm
5	3 Detik	8,14 mm	19,22 mm
6	3 Detik	8,14 mm	19,26 mm
7	3 Detik	8,15 mm	19,29 mm
8	3 Detik	8,16 mm	19,15 mm
9	3 Detik	8,14 mm	19,18 mm
10	3 Detik	8,16 mm	19,20 mm

Gambar 11. Pengujian Spesimen MT-5866

Pengujian dengan metode wet visible pada Gambar 11 membuktikan bahwa Yoke yang dirakit pada penelitian ini mampu bekerja secara optimal. Indikasi cacat atau diskontinuitas dapat terdeteksi dengan jelas hanya dengan waktu pengujian selama 3 detik. Diskontinuitas yang ditemukan ada 2, yaitu 8,14 mm pada bagian las dan 19,26 mm pada bagian sisi las.

Gambar 12. Pengujian Spesimen MT-5866

Pengujian dengan metode wet visible Gambar 12 membuktikan bahwa Yoke yang dirakit pada penelitian ini mampu bekerja secara optimal. Indikasi cacat atau diskontinuitas dapat terdeteksi dengan jelas hanya dengan waktu pengujian selama 3 detik. Diskontinuitas yang ditemukan ada 2, yaitu 8,15 mm pada bagian las dan 19,29 mm pada bagian sisi las.

Setelah melakukan 10 kali pengujian pada specimen MT-5866, Yoke elektromagnetik terbukti mampu memunculkan cacat *surface* melalui pemberian medan magnet terhadap benda uji. Alat ini berhasil mendeteksi cacat *surface* hanya dalam waktu 3 detik, dengan hasil pengukuran yang terhitung konsisten dan tidak menunjukkan perbedaan signifikan di setiap percobaan pengujiannya.

5. KESIMPULAN

Setelah melaksanakan seluruh proses dalam penyelesaian penelitian alat yoke elektromagnetik berbasis arus FWDC, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Telah berhasilnya perancangan dan perakitan kelistrikan pada yoke elektromagnetik berbasis Arus FWDC. Dengan perakitan kumparan yang dilakukan menggunakan kawat tembaga email berdiameter 0,8 mm sebanyak total 1500 lilitan, menghasilkan medan magnet yang cukup kuat untuk pengujian *Magnetic Particle Test.* Sumber daya yang digunakan berasal dari trafo step-down 220 VAC ke 64V AC dengan keluaran arus sebesar 1,72 A. Nilai ini tentunya masih belum mencukupi kebutuhan ideal kumparan yaitu sebesar 2,33 A. Hasil ini membuat Yoke menjadi panas karena lonjakan arus, tentunya penambahan resistor 20 W 10 Ohm menjadi jalan keluar. Setelah dipasang resistor, tidak ada komponen yang terbakar lagi.
2. Pengujian dilaksanakan pada dua spesimen berukuran 200 mm x 100 mm x 5 mm menggunakan metode wet visible dengan melihat performa yoke hasil penelitian dari hasil pengujian memunculkan cacat dengan stabil atau tidak. Hasil menunjukkan bahwa alat yoke TA mampu menampilkan indikasi cacat, dengan waktu yang hampir menyerupai yoke konvensional yang biasa digunakan pada industri NDT.

DAFTAR PUSTAKA

1. MAGNETIC PARTICLE TESTING NDE CENTER DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE AND SHIP BUILDING ENGINEERING FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY SEPULUH NOVEMBER INSTITUTE OFTEHCNOLOGY (ITs)-SURABAYA"
2. J. F. Cook, J. Holm, and G. D. Lassahn, "Nondestructive examination of welds through painted surfaces: Final report," 1988
3. M. Amdani, "Buku Informasi Melakukan Magnetic Particle Test (Mt) C.24 Las 01.035.1," pp. 1–37, 2018.
4. D. Prado and J. L. Santin, "Detectability in Magnetic Particle Examination Using Direct Current Electromagnetic and Permanent Magnet Yokes," in Non destructive Testing '92, Elsevier, 1992, pp. 461–465. doi: 10.1016/B978-0-444 89791-6.50098-6.
5. A. International, "Standard Practice for Magnetic Particle Testing for Aerospace," ASTM International. [Online]. Available: https://store.astm.org/e1444_e144422a.htm.
6. Chady, T., & Łukaszuk, R. (2021). Examining ferromagnetic materials subjected to a static stress load using the magnetic method. Materials, 14(13), 3455
7. Sacarea, A. I., Oancea, G., & Parv, L. (2021). Magnetic particle inspection optimization solution within the frame of NDT 4.0. Processes, 9(6), 1067.
8. Tang, J., Wang, R., Qiu, G., Hu, Y., & Kang, Y. (2022). Mechanism of magnetic flux leakage detection method based on the slotted ferromagnetic lift-off layer. Sensors, 22(9), 3587
9. D. Jurusan and T. Mesin "RANCANG BANGUN YOKE ELEKTROMAGNETIK UNTUK PENGUJIAN NDT DENGAN METODE MAGNETIC PARTICLE TES BERBASIS ARUS AC oleh Rifaldi Surya Ramadhan POLITEKNIK NEGERI BANDUNG" 2025.
10. "ASME Sec V 2021."
11. M. Willcox, "DC or AC Magnetising Waveforms in Magnetic Particle Inspection," Magn. Part. Insp., 2000.
12. B. Kumar adn S.N Kain, "Full Wave Rectifier," EC8353, 2020.
13. Dinata, I., Haro, M. J., & Silaban, M. R. (2026). Analisis tegangan output dan tegangan diode penyearah jembatan gelombang penuh 1 phase menggunakan MATLAB Simulink. Jurnal Ilmiah Penelitian Mahasiswa, 4(2), 171–182
14. Z. Zeng, "Modeling of current excitation waveforms for magnetic particle inspection," AIP Publishing, Feb. 2003, pp. 1984–1990. doi: 10.1063/1.1473036 [15] Z. Zeng, "Modeling of current excitation waveforms for magnetic particle inspection," AIP Publishing, Feb. 2003, pp. 1984–1990. doi: 10.1063/1.1473036
15. D. Jurusan and T. Mesin, "RANCANG BANGUN ULANG ALAT MAGNETIC oleh Wina Yuliana Sumarna POLITEKNIK NEGERI BANDUNG" 2023.
16. D. Jurusan and T. Mesin, "Rancang Bangun Alat Demagnetisasi Untuk Praktik Magnetic Particle Testing Oleh Ayudya Gyani POLITEKNIK NEGERI BANDUNG," 2024.